

Tesztkészülék hangfrekvenciás teljesítményerősítők automatikus méréséhez.

TDK - Dolgozat

KÉSZÍTETTE:

Magda Martin

Győr – Széchenyi István Egyetem

2022

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	2
2. Felépítés és rész egységek	3
2.1. Arduino-UNO fejlesztői környezet.....	4
2.2. Központi egység	5
2.2.1. Gombok kezelése	5
2.2.2. Menürendszer felépítése.....	6
2.3. Műterhelés	7
2.4. THD mérés.....	7
2.5. V, I, W Mérés	8
2.6. Frekvencia generátor.....	9
2.6.1. Az AD9833 belsőfelépítése és fő paraméterei	12
2.6.2. TL074 felépítése és főbb paraméterei	13
2.7. Tápellátás	14
2.7.1. NE555 felépítése	15
3. Mérés beállítása és a mérés folyamata	16
3.1. Mért az I2C (Inter-Integrated-Circuit)?	17
4. A mért adatok kiértékelése	18
4.1. Adatbázisok kezelése,diagramok létrehozása	19
4.2. Excel Marko.....	20
5. Mérési lehetőségek	21
6. Összegzés	22
7. látvány tervek (Nyomtatott áramkör)	23
8. Kapcsolási rajzok.....	24
9. Felhasznált irodalmak és programok	25

1. Bevezető

Egyre gyakoribb a hágfrekvenciás erősítők körében, hogy az adattáblán leírt adatok nem egyeznek meg a valósággal.

Ez a tesztkészülék az erősítő valós paramétereit hivatott mérni. Az eszköznek a célja, hogy egyszerűen használható viszont kellően precíz méréseket végezzen és a mérésekből egy adatbázist létrehozva diagrammokon keresztül lehessen megmutatni a valós értékeit az erősítőeknek.

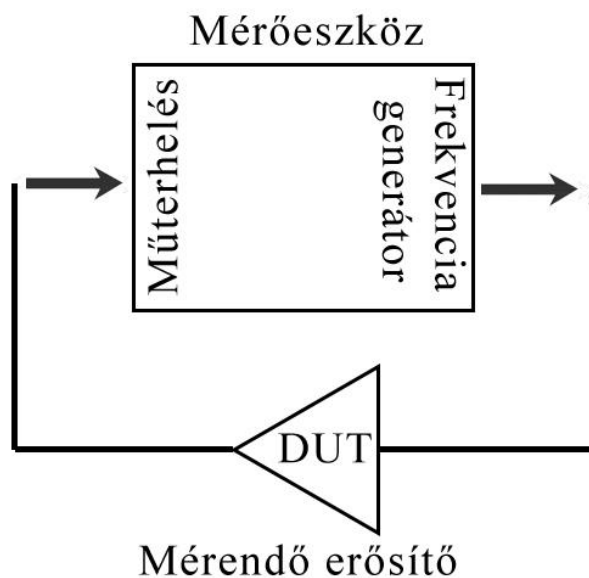
A használata nem igényel mérnöki tudást. A készülék kimenetét az erősítő bemenetére, a készülék bemenetét az erősítő

kimenetére kell kötni. Az erősítőnek minden csatornáját külön-külön lehet mérni. A készülék paramétereit könnyen egy LCD-n keresztül tudjuk beállítani.

Beállítás után el is indul a folyamat, amelyben Erősítésről, Torzításról, Teljesítményről, Jel-Zaj viszonyról gyűjt adatot a készülék amit egy SD kártyára ment el. Az erősítés mérésénél a bemeneti amplitudót hasonlítja össze a kimeneti amplitudó nagyságához, tehát egy valós frekvenciaátmenetet lehet mérni. Ezt kihasználva nem csak erősítőket lehet mérni hanem pl.: hangszórók, passzív szűrők, hangváltók valós frekvencia átmenetét. Az ilyen adatok birtokában átlehet tervezni a kapcsolási rajzot, hogy jobb minőségűvé lehessen alakítani az erősítőt vagy éppen a hangváltó vagy passzív szűrő vágási, letörési frekvenciáját finomhangolni lehessen.

Fontos tisztában lenni azzal hogy a boltban megvásárolt termék valóban tudja azokat a paramétereket amit ráírtak vagy sem. Ha ezekkel a valós paraméterekkel tisztában vagyunk, akkor tudni fogjuk, hogy milyen hangszórót, hangváltót, szűrőt kell rákötni az erősítőnkre, hogy hosszútávon se keletkezzen károsodás benne és a lehető legjobb minőségű hangzásvilágot létre tudjuk hozni, a lehető legnagyobb teljesítmény mellett.

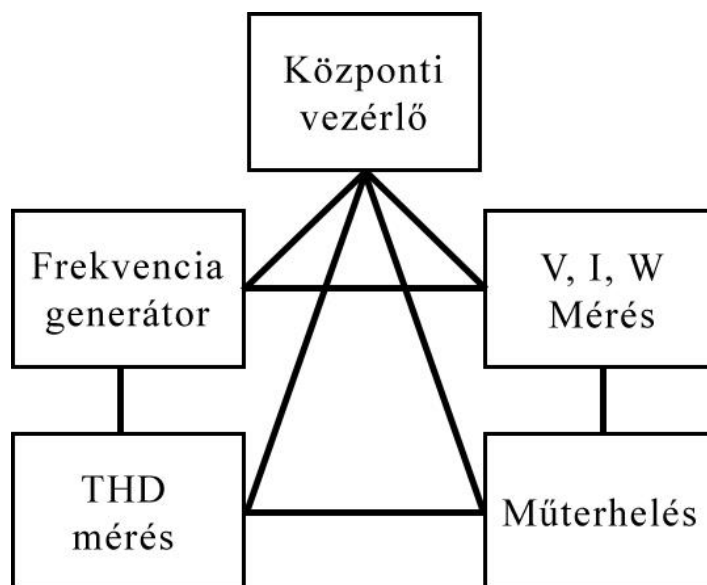
A készülék létrehozásánál C programozási nyelvet használtam. Arduino-UNO fejlesztőkönyezetben terveztem meg a teljes programot.



1. ábra Mérőeszköz bekötési ábrája

2. Felépítés és rész egységek

Eszköz belső felépítésének alap gondolati blokk rajza::



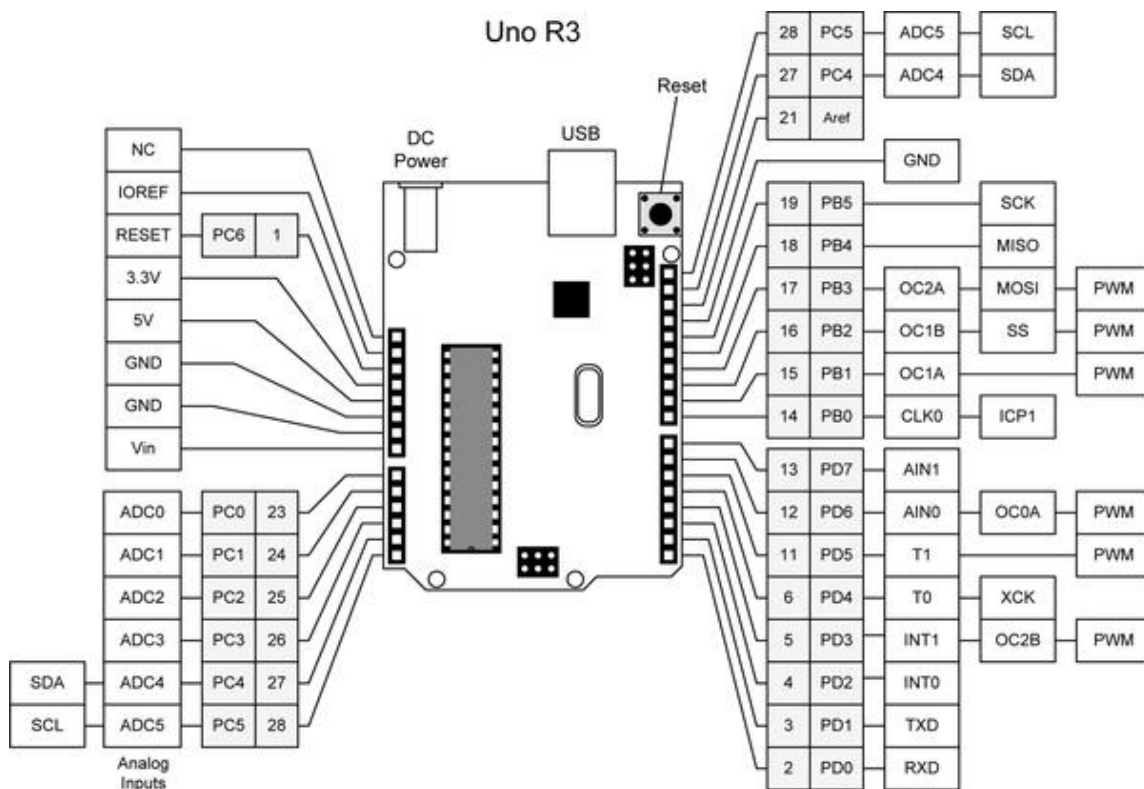
2. ábra blokk vázlat a belső felépítésről

Alap elgondolás az eszközt illetően, hogy részegységekből épüljön fel így összesen 5 részegységet tartalmaz:

- Központi egység
- Műterhelés
- THD mérés
- V, I, W mérés
- Frekvencia generátor

A 2. ábrán látható az összeköttetés az egységek között. A frekvencia generátornak mérhetőnek kell lennie az amplitudojának és a torzításának is. A műterhelésen pedig mérhetőnek kell lennie az amplitudonak és a torzításnak, ezért ezeknek külön összeköttetést kell biztosítani. A központi egységnek tudnia kell kommunikálni minden rész egységgel. A központi egységért 1 db Arduino-UNO fejlesztői környezet a felelős ezen van megírva a fő mérési procedúra, a mérés menete. A többi rész egységeket sikerült 1db Arduino-UNO-ra összesűríteni.

2.1. Arduino-UNO fejlesztői környezet

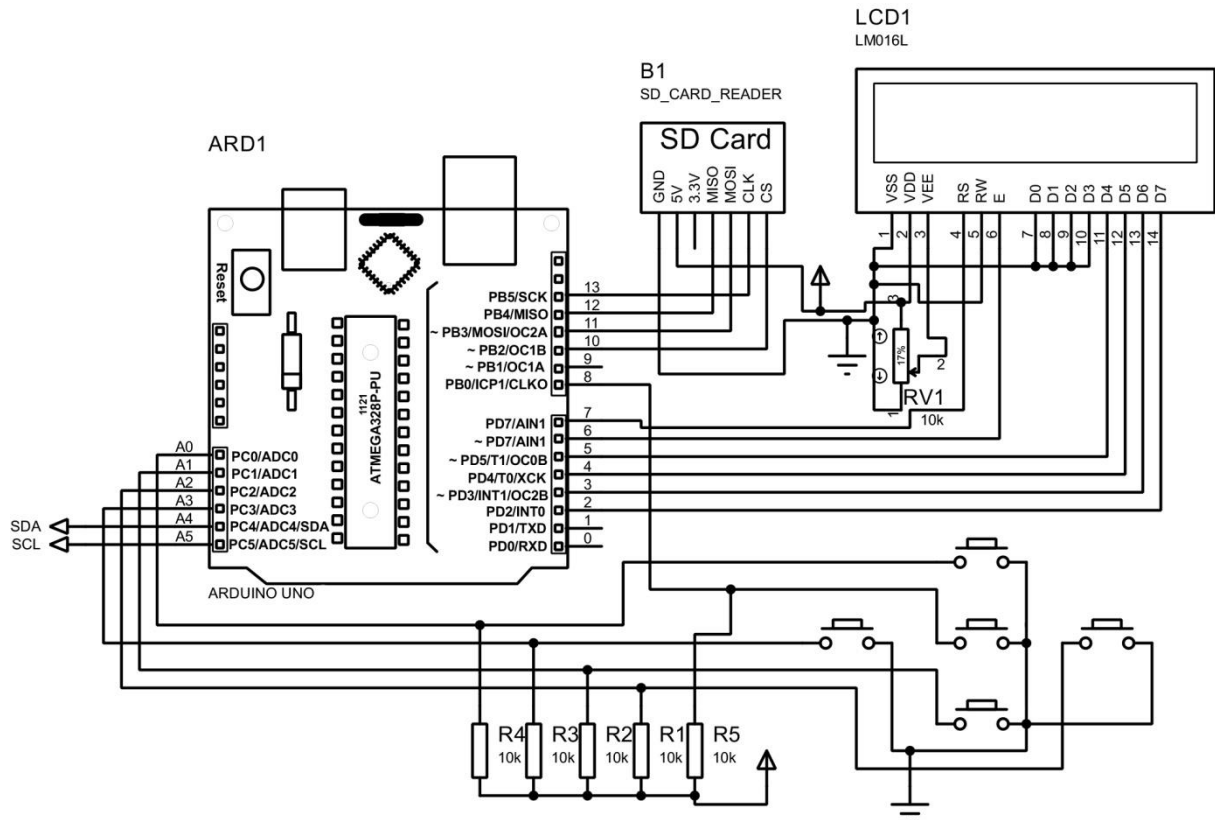


3. ábra Arduino-UNO kivezetések

Az arduino fejlesztői környezet fő komponense egy **ATMEGA328P** mikrovezérlő. Erre a vezérlőre kerül fel a program és ennek a vezérlőnek vannak kivezetve a lábai az alábbi módon. (3. ábra) Található rajta még egy másik ATMEGA mikrovezérlő amin a bootloader található. Ez felel az USB soros kommunikációért és a programozásért. Az arduinonak saját programozásra használt szoftvere van az „ARDUINO IDE”. Táp ellátási lehetőség van az USB-n keresztül és egy külön jack tápcsatlakozón keresztül maximum 12V-ig. Azért az arduino-ra esett a választás mert ennek a fejlesztői környezetnek van a legnagyobb követő és támogató tábora, ehez van a legtöbb könyvtár és előre megírt függvény ami segítségül volt a munkám során. A sok előre megírt függvénynek köszönhetően gyorsan lehet új eszközöket létrehozni erre a fejlesztői környezetre. Minden könyvtárhoz leírás is tartozik így a gyors megértésben is segítségül van a nagy támogató tábor.

2.2. Központi egység

A központi egység feladatai közé tartozik az LCD kijelzőn megjeleníteni a menü rendszert és megvalósítani a beállításokat. Gombokat kezelni amivel a menüben operálhatunk. Adatokat küldeni a részegységeknek és SD kártyára menteni a részegységektől visszaérkező adatokat.



4. ábra Központi egység kapcsolási rajza

2.2.1. Gombok kezelése

A gombok bemeneteit felhúzó ellenállással a tápfeszültségre vannak csatlakoztatva így az esetleges zajok nem befolyásolják a működést és a lehető legpontosabb az érzékelés. A gomb amikor megnyomásra kerül a bemenetet földre köti így ezt a logikai jelet kell figyelni a programban. Egy további bool típusú változót amikor a gomb megnyomásra kerül *IGAZ* állapotba állítom így elkerülve a többszöri lefutást a programban. Amikor újra az alap állapotba kerül a gomb ezt a változót *HAMIS* állapotra állítom,

```
if(!digitalRead(fel) && !G[0]){  
    G[0]=1;  
}else if(digitalRead(fel) && G[0]){  
    G[0]=0;  
}
```

5. ábra Gomb kezelés program részlet

2.2.2. Menürendszer felépítése

1. Mérési frekvencia
 - 20-22kHz
 - 1kHz
 - egyedi: 00001Hz
2. Mérési terhelés
 - mind
 - 4 ohm
 - 8 ohm
 - 16 ohm
3. Bemeneti amplitúdó
 - Min:0.01V
 - Max: 1.00V
 - Felosztás: 10
4. Elvégzendő mérések
 - Erősítés
 - Wrms
 - THD
 - Jel-zaj viszony

Az 1. menüpontban kiválaszthatjuk a mérési frekvenciát, hogy 20Hz – 22.000Hz között legyen, ilyenkor 100db mérés történik ezen a frekvencia tartományon belül logaritmikus felosztásban. 1kHz és egyedi frekvencia esetén egyetlenn frekvencián történik a mérés.

A 2. menüpontban kiválaszthatjuk, hogy a műterhelés értéke mi legyen. A „mind” választása esetén minden műterhelést egymás után kapcsol rá az erősítő kimenetére.

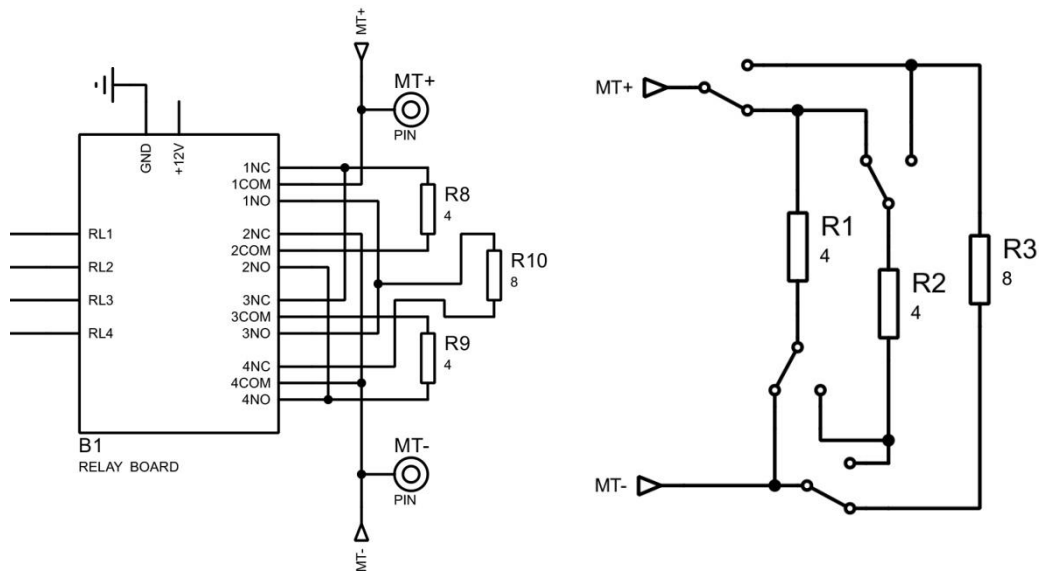
A 3. menüpontban beállítható, hogy a mérés milyen minimum és maximum amplitudójú jellel menjen végbe. A felosztással azt tudjuk beállítani, hogy a minimum és maximum értékek között hány mérés legyen.

A4. menüpontban kiválaszthatjuk, hogy a folyamat során milyen mérések legyenek végrehajtva.

Minden mérési érték 1 frekvencián 1 amplitudóhoz 1 terheléshez van hozzárendelve. Ha 20Hz – 22.000Hz frekvenciát választjuk (100db érték) és 10 felosztást alkalmazunk mindegyik műterhelésen mérve, ez összesen 3000db értéket jelent 1 mérésnél. Ha mindegyik mérést kiválaszjuk összesen 12.000db mérés történik az erősítőn!

2.3. Műterhelés

A műterhelés az erősítőnek a kimenetén egy ohmikus ellenállás, ezzel szimulálva a hangszóró névleges impedanciáját.



6. ábra Műterhelés kapcsolási rajza

Első megoldásként a boltban kapható nagy teljesítményű ellenállás volt a gondolat de az túl drágának bizonyult ilyen nagy értéknél mint a 4ohm és 8 ohm. Ezért az ellenállás 0.6mm vastag réz huzalból van feltekerve. Olajos tarjtályba van merítve a kellő hűtés érdekében. A rövid terheléseknek köszönhetően 4ohm-on és 8 ohm-on maximum 500W teljesítményt visel el, 2 ohm-on akár 1000W-ot is. Kapcsolási lehetőségek lehetnek 2ohm-4ohm-8ohm-16ohm.

2.4. THD mérés

Alapvetően a THD (Total Harmonic Distortion) mérést el lehetne végezni analog módon is sávzárókkal és erre a sávra hangolt frekvencia generátorral. Ehez rengeteg sávzáró szűrőre lenne szükség ami jócskán eldrágítaná az egész folyamatot ígyhát digitálisan lett megoldva a THD mérés.

Első körben a vizsgálni kívánt frekvencia 2 szerezésén mintavételezem a jelet.(7.ábra)

```
for(int i=0; i<SAMPLES; i++)
{
    microseconds = micros();

    vReal[i] = analogRead(A0);
    vImag[i] = 0;

    while(micros() < (microseconds + sampling_period_us)){
    }
}
```

7. ábra Mintavételezési szekvencia C nyelven

128 mintát ragadok ki a jelből és ezt FFT (Fast Fourier Transform) –vel frekvencia komponensekre bontom.(8.ábra)

```
/*FFT analízis*/
FFT.Windowing(vReal, SAMPLES, FFT_WIN_TYP_HAMMING, FFT_FORWARD);
FFT.Compute(vReal, vImag, SAMPLES, FFT_FORWARD);
FFT.ComplexToMagnitude(vReal, vImag, SAMPLES);
double peak = FFT.MajorPeak(vReal, SAMPLES, freq^2);
```

8. ábra FFT alkalmazása meglévő könyvtárakat használva

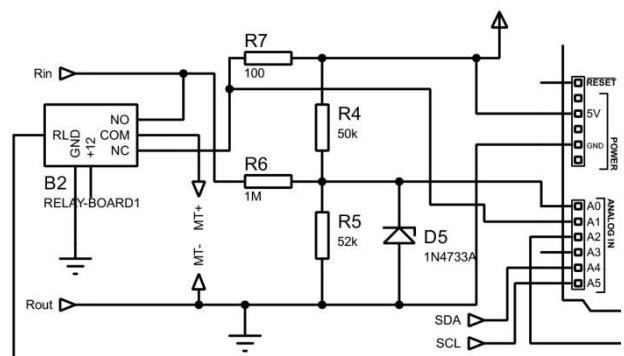
A Fourier analízis után a „vReal” tömbbe kerülnek vissza az amplitudo értékek. Ezt a tömböt felhasználva négyzetösszegzem az adatokat. Az adatok négyzetösszegéből gyököt vonva és ezt elosztva a alap frekvenciának az amplitudojával megkapjuk a THD-t százalékos értékben. Ezt az értéket még 1000-rel megszorozva integer típusú változóba megfelelő formátummá alakítom így 0.001% pontosságú lesz a mérési határom. Ez lesz a visszatérő érték a központi egységnek.(9.ábra)

```
double double sqsum=0;
for(int i=0; i<(SAMPLES/2-1); i++)
{
    sqsum += vReal[i+1]*vReal[i+1];
}
sqsum = sqrt(sqsum)/vReal[0];
return sqsum*1000;
```

9. ábra Négyzet összegzés és THD számítási szekvencia

2.5. V, I, W Mérés

A feszültség mérésénél a legnagyobb problémát a nagy mértékű feszültség eltérés okozta. Az erősítőknek a kimeneti feszültsége sokkal magasabb (akár több száz volt) mint az Arduino analog bemenetének a mérési határa (5V). Feszültség osztót kellett alkalmazni de ez sem akármilyen feszültség



10. ábra Amplitudo méréshez szükséges kapcsolás

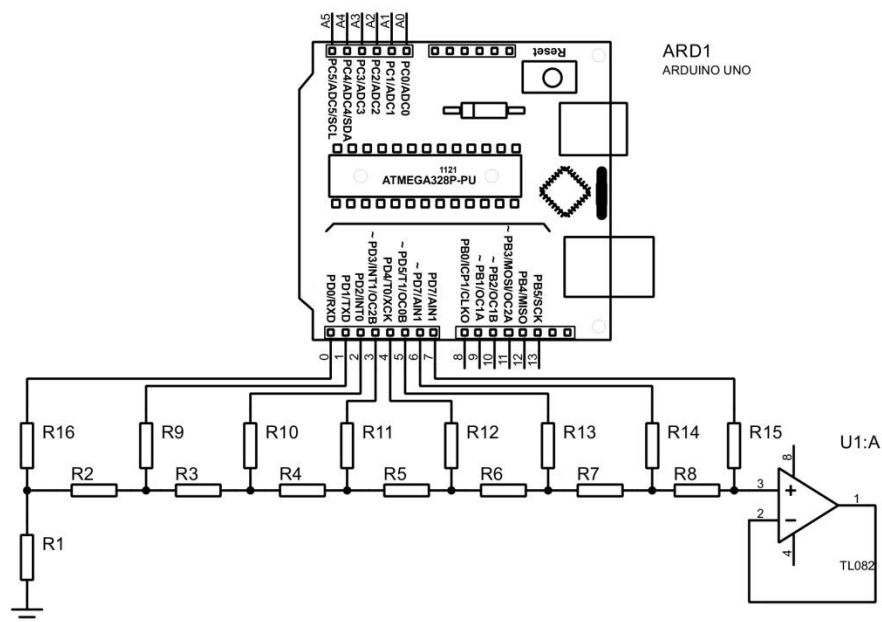
osztó lehet mivel negatív irányba is lemehet az amplitudó ezért egy olyan feszültség osztót kellett megalkotni ami +-100VAC-ot alakít át 0-5VDC –re.

A feszültségosztó úgy lett kialakítva, hogy maximum 100V-ot lehet rákapcsolni.(10.ábra) Ha ennél nagyobb feszültség érkezik a bemenetre akkor a védelmi szempontot betöltő 5,1V-os zener dióda meggátolja, hogy túl nagy feszültség kerüljön az arduino bemenetére így megvédi a rajta lévő mikrovezérlőt. Ebben a szekcióban kapott helyet a műterhelés mérése és kapcsolása is. Ha a kapcsoló alap állapotban van akkor az erősítő kimenete „lóg a levegőben” az az csak az amplitudo mérésére szolgáló feszültség osztó terheli. Ez esetben a műterhelésre egy 100ohm-os ellenálláson keresztül 5V-ot kapcsol. Ez a soros ellenállás kapcsolás egy feszültség osztót alkot aminek a kimenete az egyik analog bemenetre csatlakozik, ezáltal lehet mérni a rajta eső feszültséget amiből vissza lehet következtetni az alsó ellenállás értékét. Ez egy ellenőrző mérés a műterhelés beállításához.

A műterhelés beállítása után az erősítő kimenetére rákapcsolja a terhelést így tudni lehet, hogy milyen ellenállás értéken mérte ezeket a feszültség értékeket ebből ki lehet számítani az áramot és teljesítmény értékeket is.

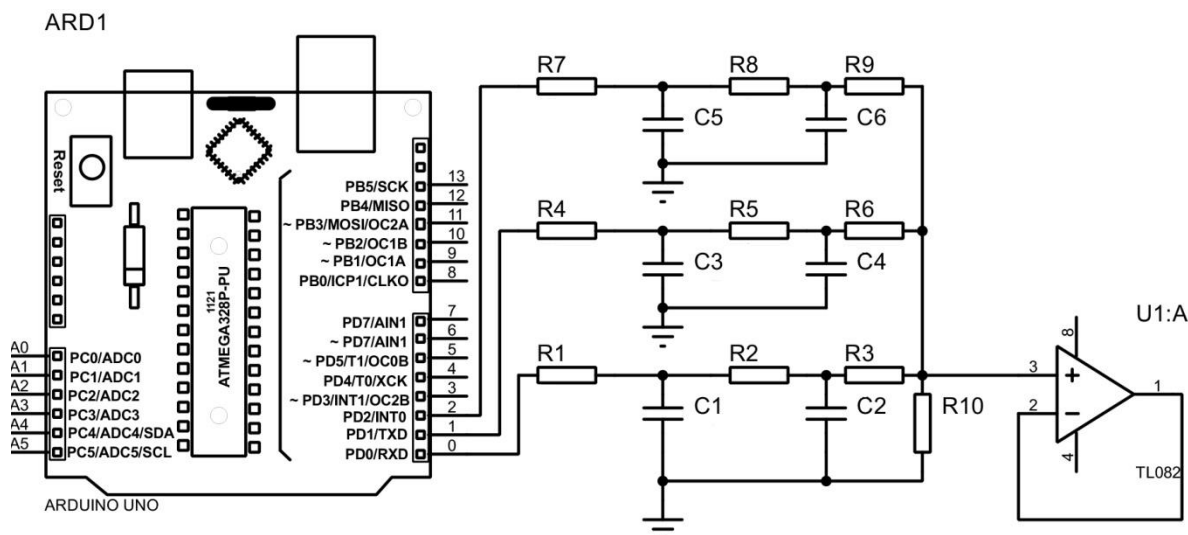
2.6. Frekvencia generátor

Fő szempont egy ilyen mérésnél a pontos és precíz mérőjel előállítás. Ez okozta a legtöbb fejtörést. Első ötletként az Arduino kimeneteit kapcsolgatva egy 8 bites DAC volt az elképzelés(10.ábra), de ez meggyűlölt mert az arduino sinus jel előállításához ehez túl lassú.



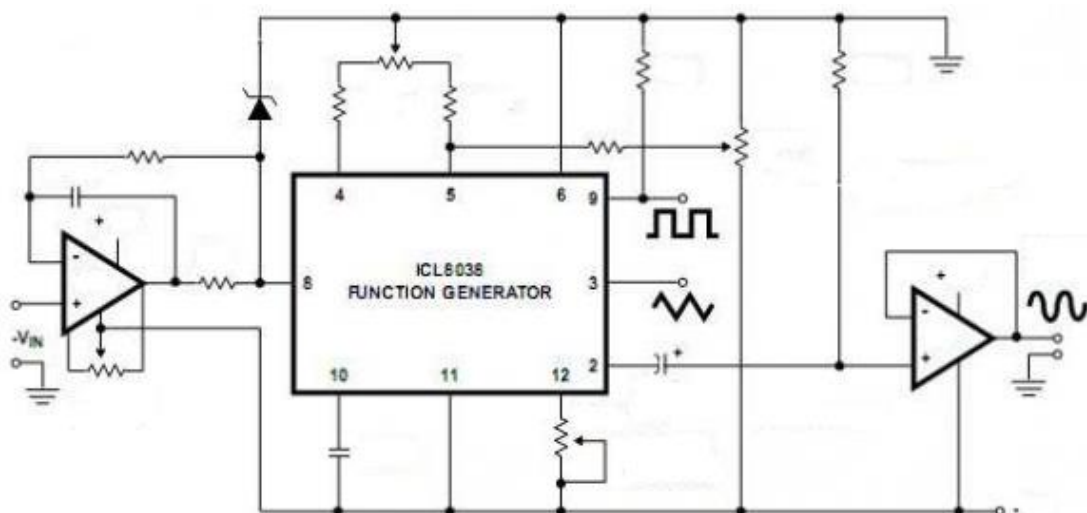
11. ábra Arduinomind 8bit DAC

Következő ötlet amihez már elég gyors a mikrovezérlő egy adott lábán 50%-os kitöltöttségű négyszög jelet ad ki ami bele megy egy dupla aluláteresztő szűrőbe így előállítva a szinusz jelet(12.ábra). Ez egészen jó megoldának tűnt elsőre, de nagy volt a torzítása és nagy volt az amplitudó esése frekvenciánként ezért bonyolult lett volna megoldani az amplitudo stabilizálást. Másodrészt a nagy amplitudo esés miatt több szűrőt berakva feleslegesen bonyolult lett az áramkör, ezáltal drága ezért ez sem lett jó megoldás.



12. ábra Dupla aluláteresztős megoldás több frekvenciára hangolt különálló szűrővel

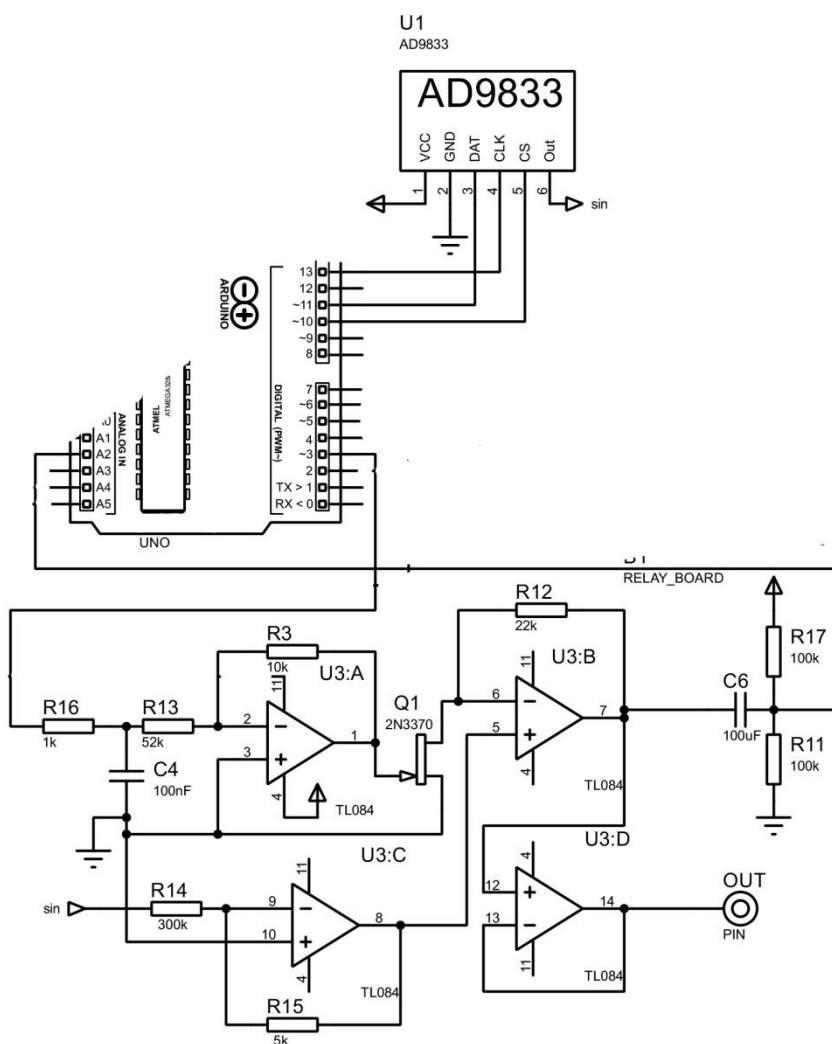
Ezt követő ötlet már megoldásnak tűnt egy cél IC, funkció generátor ICL8038. Kellően alacsony torzítás van viszont a frekvencia beállítása meglehetősen bonyolult áramkört kíván.



13. ábra ICL8038 Funkció generátor feszültség vezérelt frekvenciával

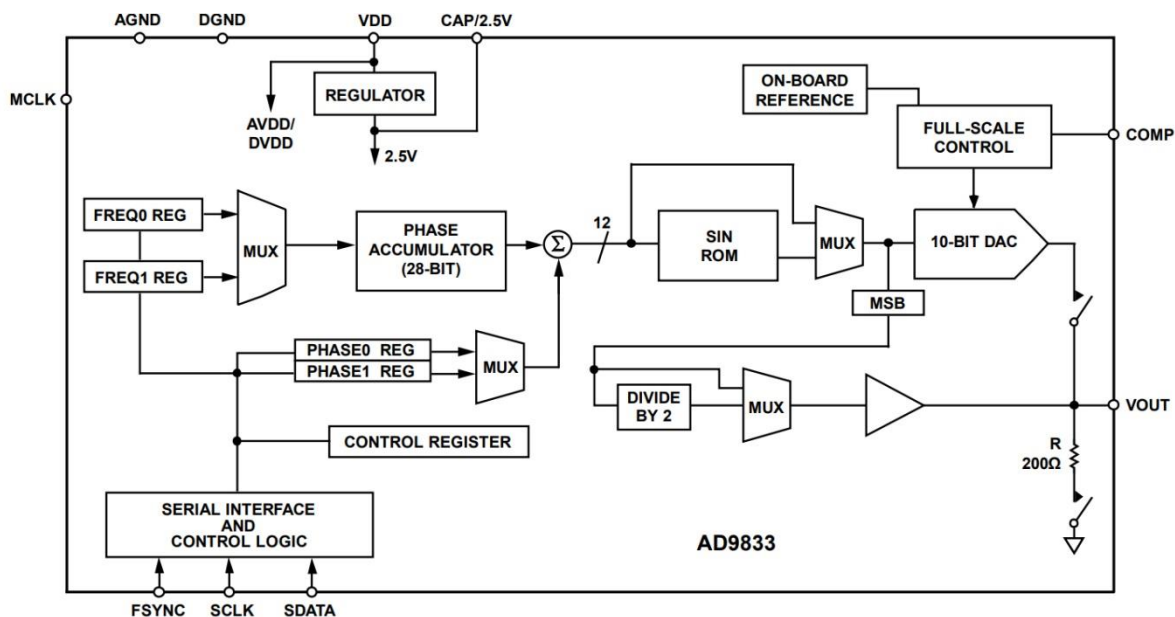
Ezt a kapcsolást tovább bonyolította volna az amplitudo beállítás is ezért tovább keresve rátaláltam egy olyan IC-re amit programból SPI protokolon keresztül lehet vezérelni és beállítani a frekvenciáját a kimenetén pedig fix 0.6V amplitudójú jelet ad.

Ezért esett a választás az AD9833 nevű IC-re. Ezt kiegészítve egy amplitudo beállítással lett kész a teljes terv.(14.ábra) Amplitudo beállítását műveleti erősítőkkel és egy JFET-tel végeztem el. Az arduinonak egy lábán PWM jelet állítok be. Ennek veszem az átlagát egy egyszerű R-C integráló taggal (R16-C4). Ezt a feszültséget egy műveleti erősítő a JFET-nek megfelelő feszültségre erősíti. A következő fokozatban a JFET egy feszültségre változó ellenállást alkot, így a következő fokozat erősítését lehet vele állítani. Az AD9833 kimenetét 5/300 arányban leosztva 0,6V helyett 0,01V lesz a kimeneten és ezt erősíti tovább a JFET-el kiegészített műveleti erősítő. Ennek a jelnek a nagyságát visszacsatolva az arduinonak egy analog lábára kell beállítani a PWM jelet, hogy mindig a megfelelő amplitudójú legyen a jel. Ezek után egy követő erősítő van a kimeneten, hogy ne az áramkör legyen terhelve.



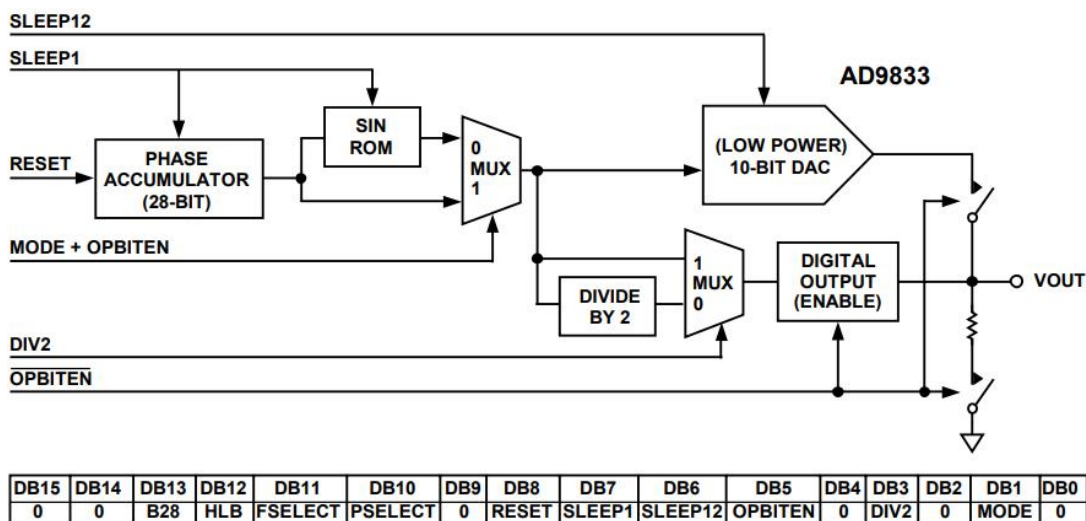
14. ábra AD9833 Amplitudo beállítással

2.6.1. Az AD9833 belső felépítése és fő paraméterei



15. ábra AD9833 Belső felépítés

Az AD9833 SPI-t azaz Serial Pheripheral Interface-t használ. Első körben a beállítási adatokat kell kiküldeni hogy milyen módon működjön a chip. (inicializálás)

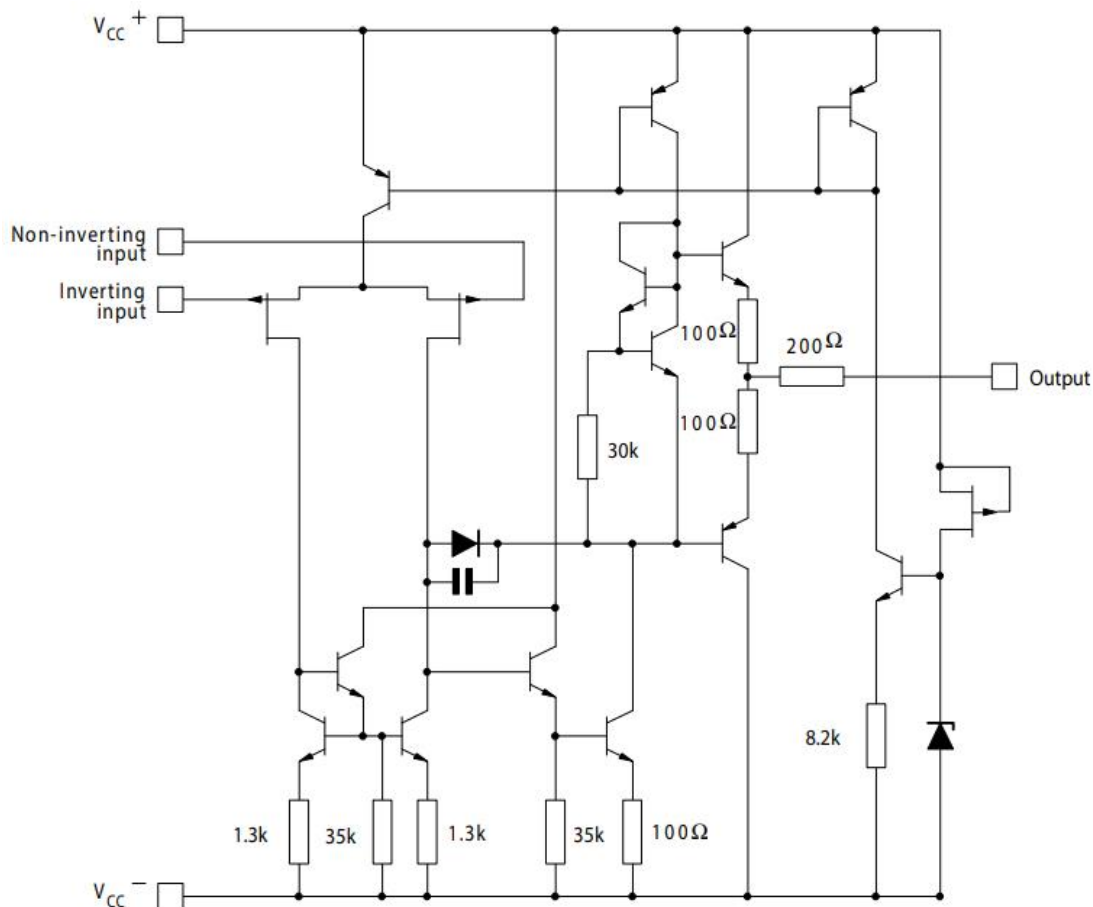


16. ábra AD9833 Inicializáló bitek

Ha az inicializálás megtörtént, utána a 28bit hosszúságú frekvencia adatokat kell kiküldeni és a chip a beállított módon szinusz, háromszög vagy négyszög jelet fog előállítani egy 10-bit-es digitál analog átalakítóval. Maximális frekvenciája 268 435 456Hz (2.68MHz)

A torzítása elenyésző -66dBc ami 0,0005%, ezt a jelet már lehet használni precíz hangfrekvenciás mérésekre vagy akár alacsony, közép frekvenciás mérésekhez.

2.6.2. TL074 felépítése és főbb paramétere



17. ábra TL074 Belső felépítése

A műveleti erősítő fajtájának kiválasztásánál fontos szempont volt az alacsony zajszint, a magas slew rate a gyors működéshez, a nagy frekvencián való működés, a nagyon alacsony torzítás és az alacsony feszültségről való működés. Ezért esett a választás a TL074-re.

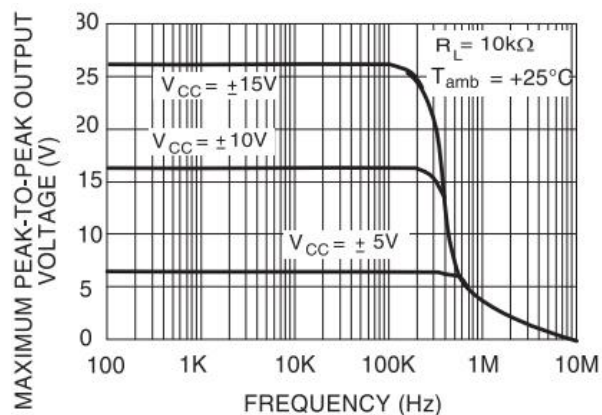
Főbb paramétere:

Tápfeszültség: 6-36V (+5V ról is jól működik)

Zajszint: $15\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ami -156dB (elég alacsony a kis feszültségű mérésekhez is)

THD: 0.01% (még így is a HI-FI minősítés alatt van ezért HF erősítők méréséhez jól alkalmazható)

Slew rate: $13\text{V}/\mu\text{s}$ (elég magas akár a 100kHz-s tartományhoz is).

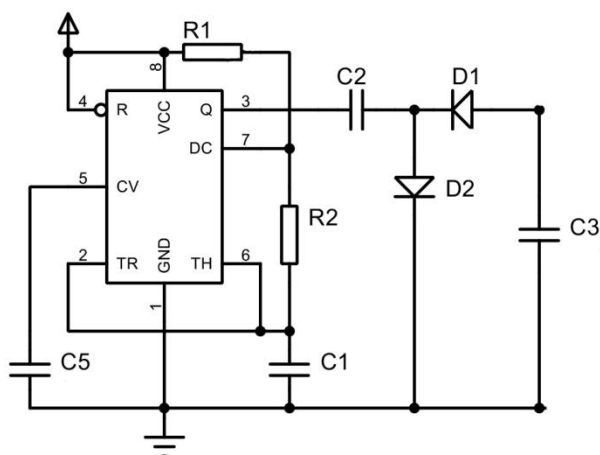


18. ábra Maximum csúcsfeszültsége frekvencia függvényében

Kimeneti zárlat védelemmel is rendelkezik ha valami rosszul lenne összekötve a mérés előkészítésekor.

2.7. Tápellátás

Az egyszerű működés érdekében nem hálózati feszültségről és nem is külön tápegységről van meg táplálva az áramkör hanem USB 5V-ről. A műveleti erősítőnek a -5V feszültséget egy NE555 IC segítségével astabil multivibrátorként alkalmazva áll elő.

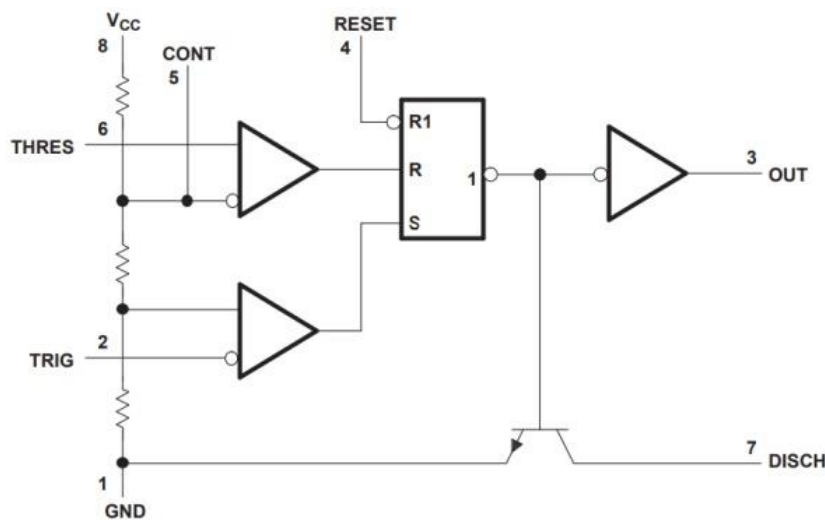


19. ábra NE555 negatív feszültség előállítás

Amikor a kimenet pozitív a C2 kondenzátor bal oldalán felhalmozódik a pozitív töltés, ez azt eredményezi, hogy a jobb oldalán a negatív töltések fognak felhalmozódni C3 aljáról D2 diódán keresztül. Amikor a kimenet átvált negatívra (nullára) a felhalmozódott negatív töltéseket lelöki magáról C2 ami a D1 záróirányú diódán keresztül a C3 felső részére tud jutni, a C2 jobb oldalán pedig a pozitív töltések kezdenek el halmozódni C3 felső részéről. Amikor a kimenet negatívról pozitívrá vált, a felhalmozott pozitív töltést ismét taszítani fogja ami a D2 nyitóirányú diódán keresztül a C3 alsó részén pozitív töltéseket halmoz. Tehát C3 kimeneti kondenzátornak a felső részén negatív, alsó részén pedig pozitív töltések lesznek. így a C3 felső része a nullához képest negatívabb lesz. A kapcsolási frekvenciát a C1 kondenzátorral és R1-R2-vel tudjuk befolyásolni.

2.7.1. NE555 felépítése

Belső felépítését tekintve áll egy SR tárolóból 2 komparátorból 1 invertálóból és egy „Discharge” tranzisztorból. Astabil működés közben a „THRES” és a „TRIG” lábak össze vannak kötve. Ha a kondenzátor eléri az átbillenési feszültséget ami a tápfeszültség 2/3-a akkor átvált a kimenet ezzel kinyitja a „DISCH” tranzisztort és R2-n keresztül elkezd kisülni a kondenzátor. Ha eléri a tápfeszültség 1/3-át akkor újra átvált a kimenet és elkezd újra tölteni a kondenzátort (R1+R2)-n keresztül.



20. ábra NE555 Belső felépítése

A timer IC-t sok minen másra is alkalmazható:

- Astabil multivibrátor
- Monostabil multivibrátor
- Bistabil multivibrátor
- PWM jel előállítás
- Step-UP konverter
- Step-DOWN konverter
- Frekvencia moduláció (FM)

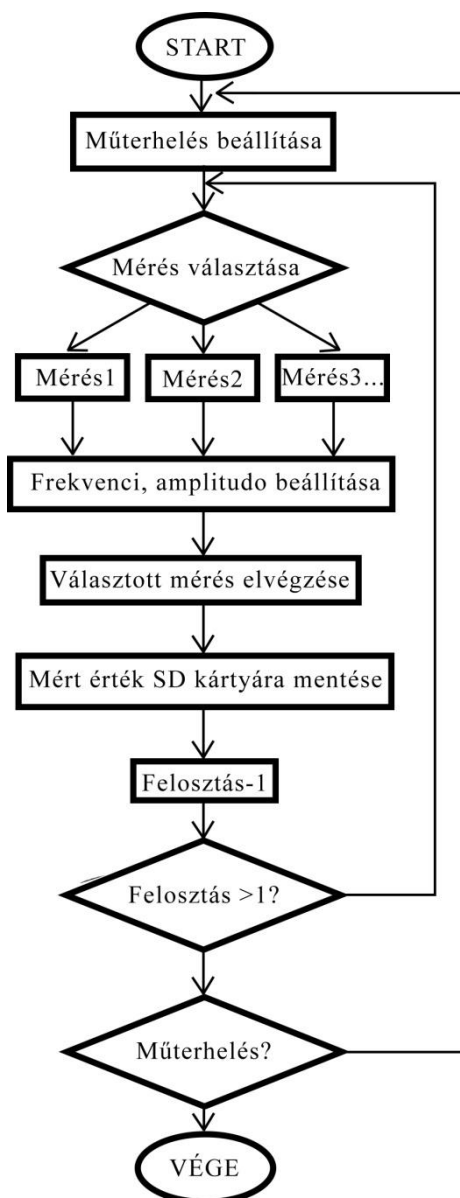
A PWM jel előállítási lehetőségnek köszönhetően akár egy D-osztályu hangfrekvenciás erősítőt is létrelehet hozni vele!

3. Mérés beállítása és a mérés folyamata

A mérés beállítását LCD-n keresztül egy 5gombos vezérléssel lehetséges. A gombok funkcióit tekintve a lehető leggyorsabb manőverezésre lettek optimalizálva:

- Fel: felfele lépés a menüben, értékek növelése beállításnál
- Le: lefele lépés a menüben, értékek csökkentése beállításnál
- Jobbra: almenükbe belépés, helyiérték léptetése egyes beállításoknál
- Balra: almenükből kilépés, helyiérték léptetése egyes beállításoknál
- Középső/Enter: egyedi érték mentése, menüpont kiválasztása, teszt indítása

(Részletesebb beállítási leírás „2.2.2. Menürendszer felépítése”)



21. ábra Mérés folyamatába

A központi egység és a mérőegység I2C protokolon keresztül kommunikál egymással. Egy speciális Master-Master kapcsolatban vannak, ami annyit tesz, hogy mind a 2 egység vesz minden információt a vonalról és mind a 2 egység reakciója hatással van a másik egység reakciójára.

A mérés elkezdésekor a központi egység kiküldi a mérőegységnek a műterheléssel kapcsolatos adatokat és beállítja a műterhelést. A központi egység addig nem halad tovább a programban amíg a mérőegység vissza nem küld egy „ACKNOWLEDGE”(ACK) üzenetet. Az ACK feltétele, hogy a mérőegység a beállításokat elvégezte és után mért hogy valóban megtörtént-e a beállítás. Amint az ACK megérkezik a program tovább halad a mérés kiválasztásához. A felhasználó által kiválasztott mérés fut csak le! A mérés kiválasztása után a központi egység újabb üzenetet küld a mérőegységnek a frekvenciával és amplitudo beállítással kapcsolatban. Ha ez megtörtént nekilát a mérésnek. A mért értéket elmenti sd kártyára. A beállításoknál a „bemeneti amplitudo” menüpontban a felosztásnál beírt érték szerint fognak lefutni a választott mérések, hogy minden egyes amplitudo értéken megtörténjen minden mérés. A mérések után megvizsgálja, hogy melyik műterhelés lett kiválasztva és ha a „mind” van választva vissza lép a program elejére és megismétli a mérést.

3.1. Mért az I2C (Inter-Integrated-Circuit)?

Mi a baj az aszinkron soros kommunikáció(UART)-val? Mivel asszinkron (nincsenek órajeladatok), az őket használó eszközöknek előre kell megállapodniuk az adatsebességről. A két készüléknek ugyanolyan sebességűnek kell lennie, ha a sebességükben túl nagy eltérés van, akkor az adatok átvitele nem 100 százalékosan garantálható. Az aszinkron soros portok másik alapvető hibája az, hogy a kétirányú kommunikációt jellemzően csak 2 eszköz közötti kommunikáció megvalósítására tervezték.

Mi a baj az Serial Pheripharia Interface(SPI)-vel? Az SPI legnyilvánvalóbb hátránya a szükséges kivezetések száma. Egy mester csatlakoztatása egyetlen slave-hez egy SPI buszhoz négy vezetékkel igényel, csak egy mestert engedélyez a buszon.

Ellentétben az I2C többmesteres rendszert is támogathat, amely lehetővé teszi, hogy egynél több mester kommunikáljon a busz összes eszközével. Az I2C is csak két vezetékkel igényel, mint például az UART. A 2 kommunikációs protokoll előnyeit ötvözi az I2C ezért esett erre a választás.

4. A mért adatok kiértékelése

Az SD kártyára egy „Mérés(x)” nevű mappa fog létrejönni. Az X helyén egy szám lesz, hogy hanyadik mérés. A mappán belül a méréseknek a nevével 1-1 „CSV” formátumu file van.

Név	Dátum	Típus
Mérés(1)	2022. 04. 10. 17:00	Fájlmappa
Mérés(2)	2022. 04. 10. 17:04	Fájlmappa
Mérés(3)	2022. 04. 10. 17:05	Fájlmappa

Név	Módosítás dátuma	Típus	Méret
Erősítés.CSV	2022. 04. 06. 11:16	Microsoft Excel C...	85 KB
Teljesítmény.CSV	2022. 04. 10. 17:04	Microsoft Excel C...	44 KB

22. ábra File rendszer

Fájloknak a belső felépítése azonos:

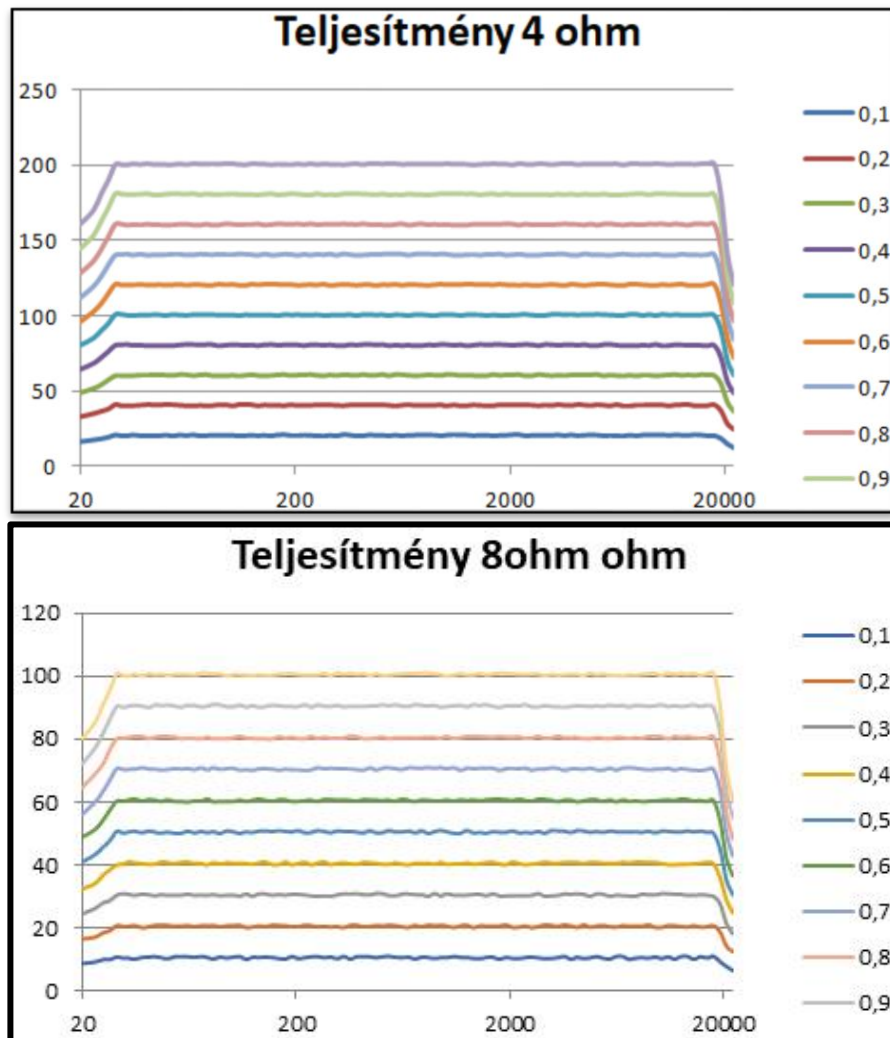
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Teljesítmény	4ohm							
2	amplitudo		20517	19134	17844	16642	15520	14474	13498
3	0,1	12,98813	14,90396	18,24909	20,06391	20,60018	20,13267	20,26844	20,90154
4	0,2	24,85494					0254	40,59526	40,99653
5	0,3	36,1566						60,93702	60,23013
6			56,09092	77,4032	80,20384	80,12783	80,33613	80,43455	80,57841
7			70,993				100,4107	100,7233	
8	0,6	72,02235	84,856				120,738	120,0458	120,3403
9	0,7	84,48954	98,41052	126,9416	140,8985	140,9304	140,738	140,2711	140,175
10								160,8587	160,7645
11								2993	180,7476
12	1	120,7642	138,5291	158,874	180,6347	200,9619	200,6757	200,2124	200,6479
13	Teljesítmény	8ohm							
14	amplitudo	22000	20517	19134	17844	16642	15520	14474	13498
15	0,1	6,777647	7,013884	9,948459	10,71166	10,61616	10,83764	10,96722	10,56107
16	0,2	12,57924					20,4859	20,13608	20,82052
17	0,3	18,37242					30,53321	30,11667	30,32168
18	0,4	24,2607	2				40,39347	40,85673	40,50969
19	0,5	30,24242	3				50,12429	50,00524	50,16191
20	0,6	36,52348	42,64147	54,79525	60,35084	60,16203	60,48857	60,27041	60,05142
21	0,7	42,39486	49,01527	63,33625	70,11083	70,06615	70,74306	70,82183	70,00502
22	0,8	48,18618	56,46371	72,30819	80,66093	80,16474	80,50352	80,6555	80,57726
23	0,9	54,67976	63,9082	81,38949	90,35124	90,46431	90,11632	90,24099	90,79223
24	1	60,77826	70,43214	90,17424	100,4894	100,8832	100,0739	100,3177	100,9427

23. ábra File-ok belső felépítése

Mindegyik file úgy van kialakítva, hogy könnyen lehessen belőle diagramokat készíteni. Az oszlopok a frekvencia adatok amin a mérés történt a sorok pedig az amplitudo amin a mérés történt.

4.1. Adatbázisok kezelése, diagramok létrehozása

A kész excel adatbázisokból egy általam elkészített makro segítségével azonnal készíthetünk diagramot a mérések eredményéről.



24. ábra Diagram minta

A függőleges tengely a mért értékekkel egyezik meg. A vízszintes tengely 20-22000 értékek között logaritmikus skála. A színek a méréshez használt amplitudó értéke.

- A Teljesítmény mérésénél W-ban látjuk az eredményt
- A Erősítés mérésénél viszyszámban látjuk az eredményt
- A THD mérésénél %-ban látjuk az eredményt
- A Jel-zaj mérésénél viszonzámban látjuk az eredményt

A tesztelő programban a függvények úgy vannak megírva, hogy a visszatérési értéket lehet váltani eredeti értékben vagy decibelben. Akár új méréseket is lehet hozzáadni.

4.2. Excel Marko

```
Sub Macro()  
Attribute Macro.VB_ProcData.VB_Invoke_Func = " \n14"  
    Range("B2:B12").Select  
    Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select  
    ActiveSheet.Shapes.AddChart.Select  
    ActiveChart.ChartType = xlXYScatterSmoothNoMarkers  
    ActiveChart.SetSourceData Source:=Range("Sheet1!$B$2:$CW$12")  
    ActiveChart.Axes(xlCategory).Select  
    ActiveChart.Axes(xlCategory).ScaleType = xlLogarithmic  
    ActiveChart.Axes(xlCategory).MinimumScale = 1  
    ActiveChart.Axes(xlCategory).MaximumScale = 25000  
    ActiveChart.Axes(xlCategory).MinimumScale = 20  
    ActiveChart.Axes(xlCategory).MaximumScale = 22000  
    ActiveChart.Legend.Select  
    ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = "=Sheet1!$A$3"  
    ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = "=Sheet1!$A$4"  
    ActiveChart.SeriesCollection(3).Name = "=Sheet1!$A$5"  
    ActiveChart.SeriesCollection(4).Name = "=Sheet1!$A$6"  
    ActiveChart.SeriesCollection(5).Name = "=Sheet1!$A$7"  
    ActiveChart.SeriesCollection(6).Name = "=Sheet1!$A$8"  
    ActiveChart.SeriesCollection(7).Name = "=Sheet1!$A$9"  
    ActiveChart.SeriesCollection(8).Name = "=Sheet1!$A$10"  
    ActiveChart.SeriesCollection(9).Name = "=Sheet1!$A$11"  
    ActiveChart.SeriesCollection(10).Name = "=Sheet1!$A$12"  
    ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleAboveChart)  
    ActiveChart.ChartTitle.Select  
    Selection.Caption = "=Sheet1!R1C3"  
    Range("C1").Select  
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-2]&"" ""&RC[-1]&"" ohm"""  
End Sub
```

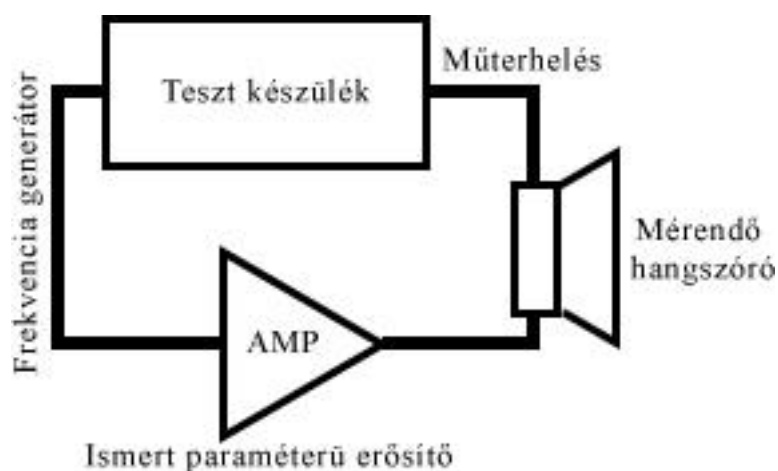
25. ábra Excel makro program

Ebben a makróban egyenlőre csak egy minta diagramot lehet létrehozni, később ez a program alapján önműködő makrót lehet létrehozni ami meg is vizsgálja hogy hágy mérés történt és úgy alakít ki diagramokat.

5. Mérési lehetőségek

Bár hangfrekvenciás mérésekre lett tervezve az eszköz a kapcsolás és a program kis változtatásával akár nagyobb frekvenciákig is el lehet menni.

Hangfrekvenciás tartományban erősítők mérésére lett specializálva de hangváltók, szűrők és akár hangszóró impedanciáját is lehet mérni. Ezeknek a tudatában maximalizálni lehet a hang tisztaságát és az erősítő számára impedancia illesztés lehet létrehozni.



26. ábra Példa hagszóró impedancia mérésére

A 26.ábrán bemutatott példával lehet mérni hangszórók, hangváltók, szűrők impedanciáját. A mérés a műterhelésen történik választott terhelésen de mindenképpen kisebbben mint a hanzsóró névleges impedanciája! A fő szempont és viszonyítási alapot nyújtó erősítőnek ismerni kell a paramétereit és a karakterisztikáit, ahhoz kell hasonlítani a mért adatokat.

A tesztelő programot akár kilehet egészíteni egy ilyen menüpontal is, hogy „impedancia” így egyből lehet használni a mért adatokat.

6. Összegzés

Kitűzött célok:

- Olcsón összerakható (10.000Ft alatt)
- Kis fogyasztású
- Precíz méréseket végez
- Multifunkciós, nem csak egy mérésre alkalmas
- Adatot rögzít
- Széles teljesítmény határok között alkalmazható
- Széles frekvencia tartományban alkalmazható
- Későbbiekben könnyen fejleszthető

Az legtöbb kitűzött célt sikerült elérni, a megvalósítás során még egy kicsit túl is szárnyalta a valóság. Az olcsó összerakást nem sikerült teljesíteni teljesen. A keretet átlépte de nem jelentősen.

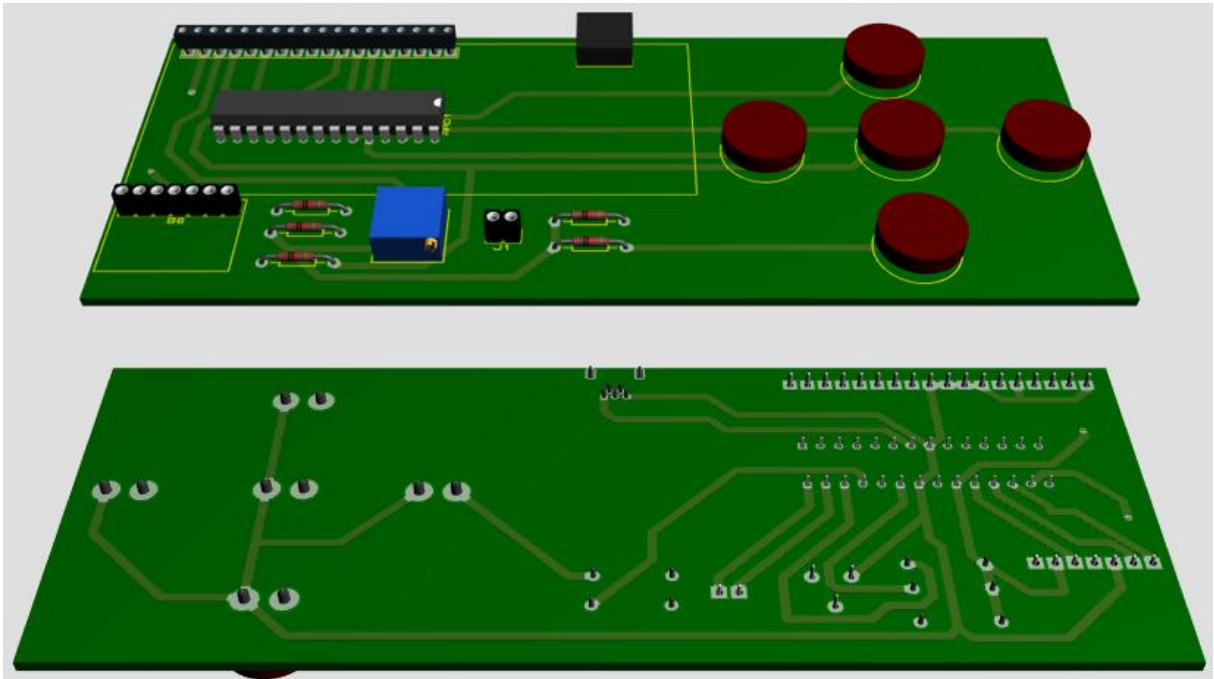
A főbb problémát okozó és a sok időt felemésztő rész a frekvencia generátor létrehozása volt. Itt jelentősen a torzítás mértéke miatt volt a probléma. Ennek kellően alacsonnak kellett lennie, hogy a kis jelű méréseknél is precízen lehessen mérni de nagy frekvenciatartományban kellett működnie. Emiatt a 2 szempont miatt megdrágult az egész fejlesztést és több időt vett igénybe mint az összes többi rész megoldása együtt véve.

Továbbfejlesztési lehetősége sok van:

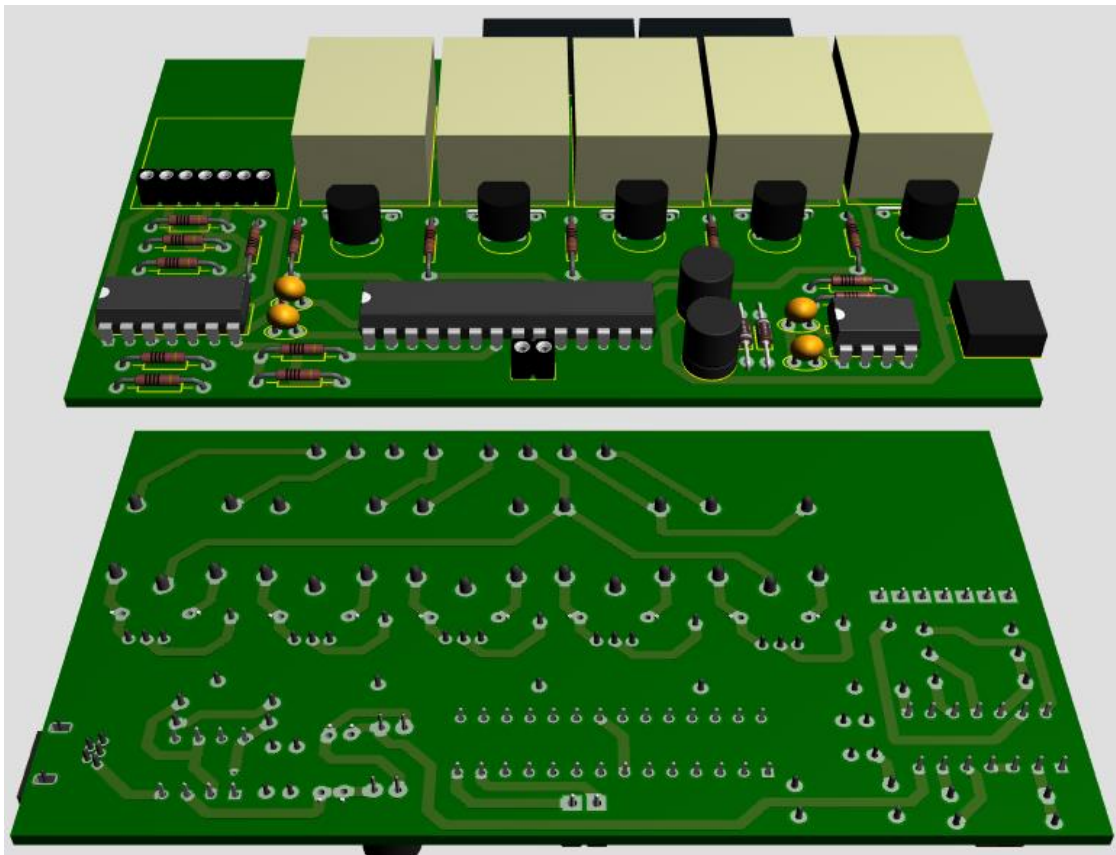
- Torzítás tovább csökkentése
- Mérés határok kibővítése
- Teljesítmény határok kibővítése
- Extra mérések bevezetése
- Eszköz kibővítése újabb műszeres egységekkel
- Program optimalizálása és mérés felgyosítása
- Kijelzés pontosítása részletezése mért érték kimutatása

A jövőbeni fejlesztéseket mind szoftveres mind hardveres szempontból is el lehet végezni a I2C kommunikációnak köszönhetően akár több műszert is hozzá lehet csatolni a készülékhez.

7. látvány tervek (Nyomtatott áramkör)

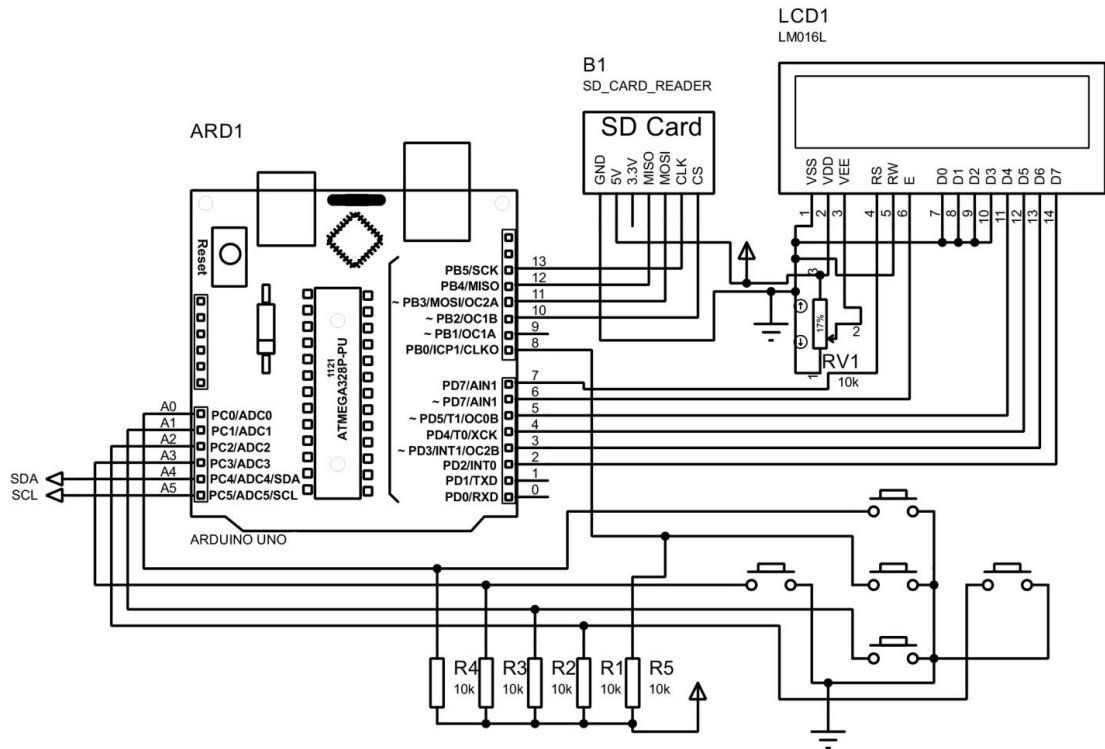


27. ábra Központi egység nyomtatott áramkör látványterv

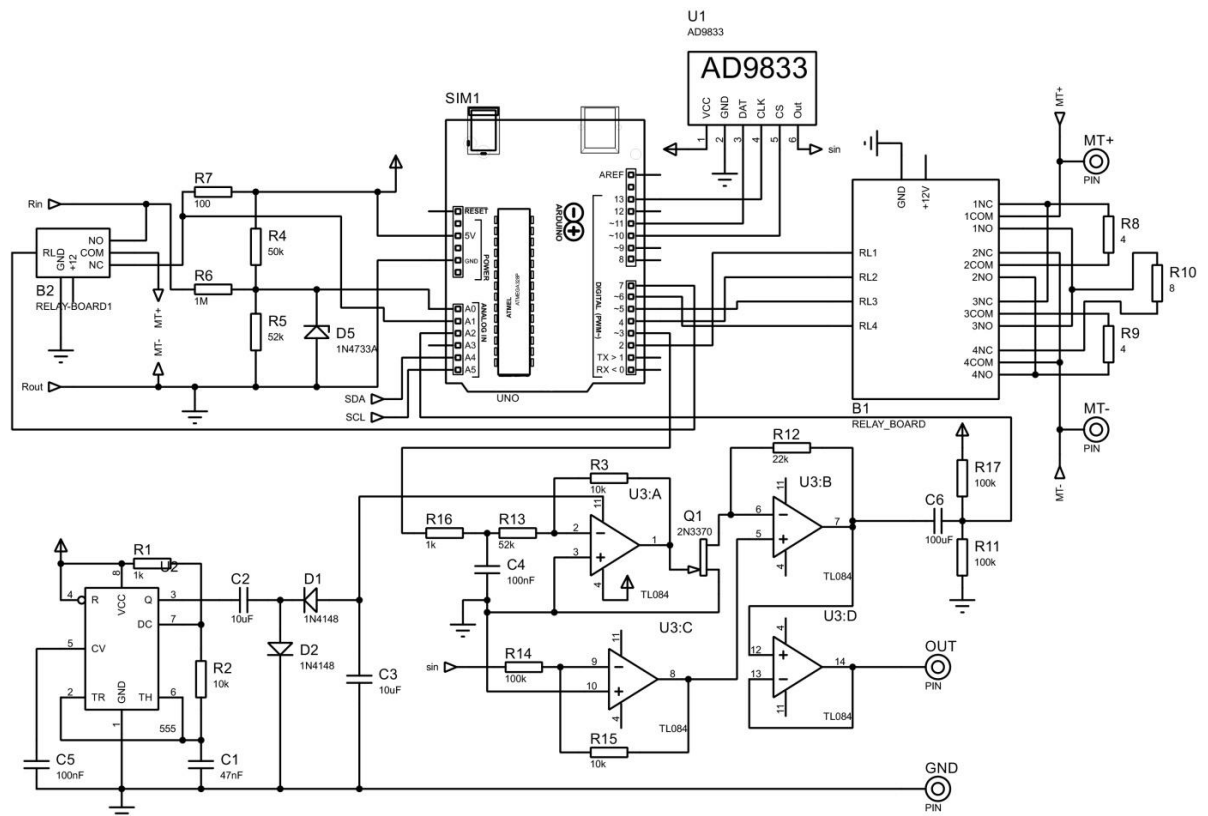


28. ábra Mérő egység áramkör látványterv

8. Kapcsolási rajzok



30. ábra Központi egység teljes kapcsolási rajza



29. ábra Mérő egység teljes kapcsolási rajza

9. Felhasznált irodalmak és programok

- [1] [Borbély Gábor Dr.: **Elektronika II.**](#) Győr : Széchenyi István Egyetem, 2006. 209 p. *[elektronikus jegyzet (pdf)]*
- [2] [Borbély Gábor Dr.: **Elektronika I.**](#) Győr : Széchenyi István Egyetem, 2006. 209 p. *[elektronikus jegyzet (pdf)]*
- [3] <https://hu.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [4] <http://skory.gylcomp.hu/tablazatok/huzal.html>
- [5] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad9833.pdf>
- [6] <https://www.arduino.cc/>

Kapcsolási rajzokhoz és a nyák tervezéshez proteus ISIS lett használva