



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet
Mikroelektronikai és Technológia Tanszék

SZAKDOLGOZAT

OE-KVK
2023

Hallgató neve: **Kaluczky Marcell Pál**

Hallgató törzskönyvi száma: T009259/FI12904/K

Budapest, 2024.



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Kaluczky Marcell Pál

Szakedolgozat száma: SZD2309290841171763TQVPJQ

Törzskönyvi száma: T009259/FI12904/K

Neptun kódja: TQVPJQ

Szak: villamosmérnöki (magyar nyelven)

Specializáció: Mikroelektronika és technológia specializáció

A dolgozat címe: Rádióvezérelt Nixie-csöves óra

A dolgozat címe angolul: Radio controlled Nixie-display clock

A feladat részletezése: Tervezzon és készítsen el egy mikrovezérlővel meghajtott Nixie-kijelzős órát, ami DCF-77 rádiójjelrel szinkronizált.

Intézményi konzulens neve: Horváth Márk

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

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2023. 11. 14.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet
Mikroelektronikai és Technológia Tanszék

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Kaluczky Marcell 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, 2024.01.10.

hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	3
2.	A projekt bemutatása	4
2.1.	A megvalósítandó feladat.....	5
2.1.1.	Az óra megépítése	5
2.1.2.	Programozás.....	5
3.	Felhasznált eszközök és technológiák.....	6
3.1.	Nixie-csövek:	6
3.2.	DCF77 rádiójel:	7
3.3.	AVR mikrokontroller:	8
3.4.	RTC:.....	9
3.5.	Transzformátor:	9
3.6.	Hőmérséklet szenzor:.....	10
3.7.	Shift regiszterek:	12
3.8.	Kapcsolóüzemű tápegység:	13
4.	Projekt megvalósítása	14
4.1.	Anyagbeszerzés	14
4.2.	Tervezés.....	14
4.2.1.	Transzformátor	14
4.2.2.	Tápegység	20
4.2.3.	Nyomtatott áramkör	20
4.2.4.	Programozás.....	36
4.3.	Megvalósítás.....	36
4.3.1.	Transzformátor	36
4.3.2.	Nyomtatott áramkör	40
4.3.3.	Programozás.....	45
5.	Összegzés.....	48
6.	Summary	49

7.	Irodalomjegyzék.....	50
8.	Ábrajegyzék	52
9.	Függelék	55

1. Bevezetés

A szakdolgozat tárgyát magam találtam ki. Azért ezt a projektet tűztem ki célul, mert rég óta foglalkoztatnak a régebbi idők technológiái és azok eszközei, melyekből előszeretettel építtek saját kezűleg használati tárgyakat, de hasonlóan szívesen ötvözőm őket ötleteim szerint az újabb technológiák eszközeivel is, ezáltal tapasztalatot szerezve és átélve az alkotás örömét.

Másik terület, ami szintén rég óta foglalkoztatott az általa kínált lehetőségek számossága miatt: a mikrovezérlők világa. E téren korábban nem rendelkezttem jelentős tapasztalattal, de el akartam sajátítani.

Az említett területeken való érvényesüléshez szükséges ismeretek elsajátítása céljából választottam az egyetem Mikroelektronikai és technológia tanszékét szakosodásom helyéül. A szakdolgozatom tárgyának választott óra megépítése jó lehetőséget kínált eme területeken való ismeretszerzésre.

2. A projekt bemutatása

A projektem tárgya egy nixie-csöves asztali óra megépítése, valamint az órát működtető szoftver megírása. Az óra által kijelzett idő adatai manuálisan beállíthatók, valamint rádiójellel szinkronizálva automatikusan frissülni is képesek. Az eszköz továbbá képes a környezetének hőmérsékletét is kijelezni és dekoratív kiegészítő világítással is rendelkezik.

A tárgyalt eszköz az alkalmazott technológiáinak aktualitását tekintve igen vegyes.

A nixie-csöveket régebben is inkább műszerekben alkalmazták, manapság pedig a régi műszereket leszámítva talán épp csak az ilyen órákban. A számkarakterek kijelzésének ezen módja manapság nem elterjedt, hisz költséges és energiaigényes.

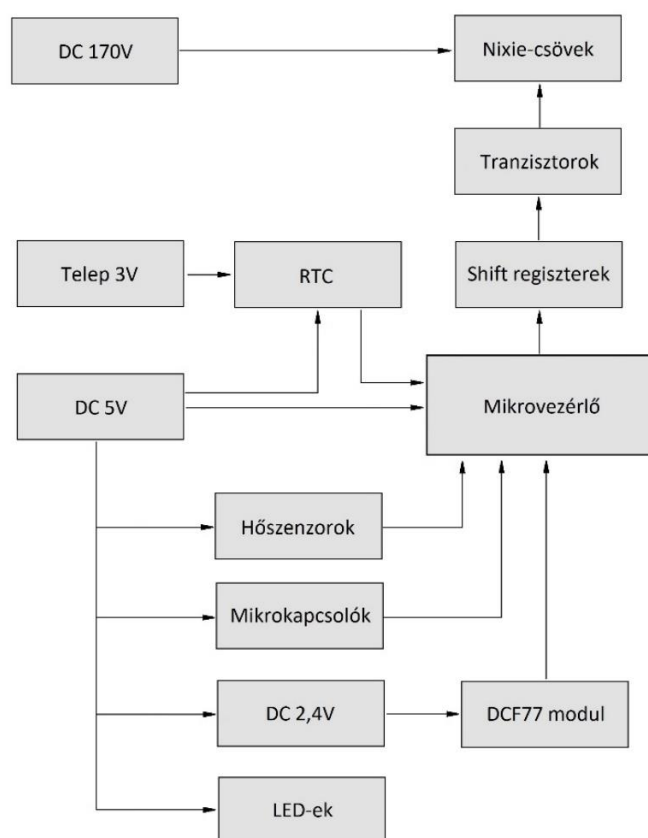
A DCF rádiójel alkalmazása ma is széles körben elterjedt, a rádióvezérelt órák közkedvelt, népszerű termékek.

Asztali órákban gyakran alkalmazott kiegészítő funkció a hőmérséklet mérése is, ez is mindenkori hasznossággal és aktualitással bír.

Ha az eszközre potenciális sorozatgyártott termékként tekintünk, akkor a célközönsége egy igen szűk réteg lesz, hisz bár az általa ellátott feladatok kiszolgálása manapság is igénynek örvend a fogyasztók részéről, a csövek okozta többlet költség és az ipari megjelenés miatt nem mindenki kívánja magáénak.

Céлом egy működőképes eszköz készítése volt (saját felhasználásra), az egyetemen, illetve korábbi kísérletezéseim alkalmával szerzett ismereteim felhasználásával.

Az óra részegységeit és összeköttetéseiket az alábbi blokkvázlat mutatja be.



2.1. ábra: Blokkvázlat [saját ábra]

2.1. A megvalósítandó feladat

2.1.1. Az óra megépítése

- Áramkörök összeállítása, testreszabása
- Kapcsolási rajz készítése
- NYÁK megtervezése, legyárttatása
- Alkatrészek:
 - elkészítése
 - kiválasztása
 - beszerzése
 - beépítése

2.1.2. Programozás

- Idő és dátum:
 - kijelzése
 - manuális beállítása
 - automatikus frissítése
 - tárolása kikapcsolt állapotban
- Környezeti hőmérséklet kijelzése

3. Felhasznált eszközök és technológiák

3.1. Nixie-csövek:

A nixie-csövek számok és egyéb szimbólumok kijelzésére szolgáló eszközök, melyeket a LED és LCD kijelzők elterjedése előtt használtak, főként műszerek kijelzőiként az 1950-es évektől kezdve. A csövek egy anódot és több hideg katódot tartalmaznak, melyek egy kisnyomású neon gázzal töltött zárt üvegburában foglalnak helyet. Működésük alapjául a gázkisülés jelensége szolgál.^[1]

Az általam használt csövek: Gazotron IN-14, IN-3



3.1. ábra: Gazotron IN-14 (Газотрон ИИ-14) nixie-cső



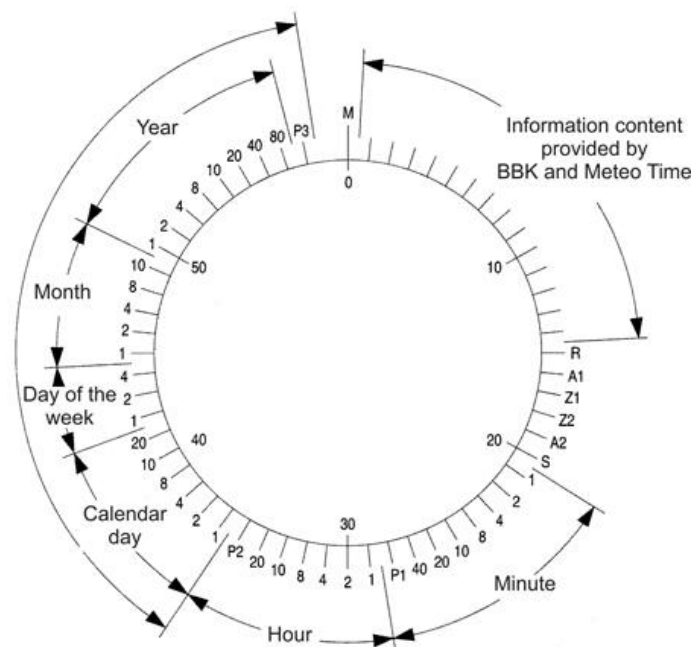
3.2. ábra: Gazotron IN-3 (Газотрон ИИ-3) neon jelzőlámpa

Az IN-14-es csövekből négy darabot használok. Sorban egymás mellé helyezem őket, az óra alapállapotában a bal oldali csőpáros az órát, a jobb oldali a percet jelzi ki. A két csőpár között foglal helyet két egymás fölött elhelyezkedő IN-3-as cső, amik a másodpercek telését jelzik fel-felvillanásukkal.

Azért ezeket a csöveket választottam végül, mert máig nagy számban állnak rendelkezésre régi készülétekben és viszonylag olcsók.

3.2. DCF77 rádiójel:

A DCF77 egy amplitúdó billentyűzéssel modulált, (ASK) rádiójel, melyet a Németországi Mainflingenből sugároznak. Nevében a 77 a vivőfrekvenciára utal, ami 77,5 kHz. A jel 1bit/s nettó bitrátájú impulzusszélesség-kódolt, tartalmazza a percet, az órát, a dátumot (év, hónap, nap) és, hogy milyen nap van. Amplitúdója minden másodperc első töredékében visszaesik a csúcs jelszintjének 25%-ára, ami az aktív jelszint. A visszaesés időtartama 0,1 vagy 0,2 másodperc lehet, előbbi a bináris nulla, utóbbi az egy szélessége. Az alábbi ábrán látható, hogy melyik bitekhez mely decimális értékeket rendeljük.[2]



3.3. ábra: DCF77 idő kód

Az általam használt vevőmodul: Pollin DCF-Empfangsmodul DCF1



3.4. ábra: Pollin DCF-Empfangsmodul DCF1 vevőmodul

A modul egy hangolt ferrit antennával rendelkezik, a NYÁK lemezén pedig egy integrált áramkör foglal helyet, amely az említett AM jelet négyszögjellé alakítja. Így az eszköz (áramkör) kimenetén a jelmodulációk – 0V jelszinttel elválasztva egymástól – 0,1 és 0,2 másodperc széles négyszög impulzusok formájában jelennek meg.

3.3. AVR mikrokontroller:

Az AVR-ek Harvard architektúrájú 8 bites mikrokontrollerek. Gyártójuk eredetileg az Atmel cég (ma már a Microchip) és mikrovezérlő gyártmányaik több termékszaládba sorolhatók (méreteik, kivezetéseik száma és FLASH memóriájuk mérete szerint, stb). Integrált FLASH memóriával, kiterjesztett perifériákkal (timerek, prescalerek, ADC, soros port,) rendelkeznek.

[3]

Az általam választott AVR mikrovezérlő:



3.5. ábra: Microchip ATmega32A (PDIP) mikrovezérlő

Azért választottam ezt a típust, mert sok ki-bemeneti lábbal rendelkezik, ezáltal előnyös a használata mind a sok külső periféria kezelése, mind gyakorlás céljából. A furatszerelt kivitel lehetővé teszi a cserét, ha később valamely okból tönkremenne. Ekkor a NYÁK-ba forrasztott foglalatból könnyen kivethető.

3.4. RTC:

Az RTC a Real Time Clock rövidítése. Ezek az integrált áramkörök az idő pontos mérésére képesek és naptár funkcióval is rendelkeznek. Az eszköz (amibe beépítésre került) tápfeszültségétől függetlenül, folyamatosan képes működni. Hogy ezt megvalósíthassa, önálló tápforrással is ellátják, ami jellemzően egy 3V-os CR2032-es telep, de lehet akár szuperkondenzátor is. [4]

Más eszközökkel való kommunikációra (idő adatok beírására és kiolvasására) két vezetékes soros kommunikációt, I²C protokollt használnak.

Az idő folyamatos frissítéséhez szükséges órajelet egy kvarc oszcillátorból nyerik, mely 32768 Hz-en rezeg. Ez ugyanaz a frekvencia amit általában a kvarc órákban használnak. Azért ez a frekvencia használatos, mert a kettőnek egész kitevős hatványa, (15) így könnyű ezt leosztva pontos 1Hz-es periódusokat kinyerni, hisz az osztással együtt osztódik az eredeti órajel frekvenciájának hibája is.

Az általam választott RTC integrált áramkör: DS1307



3.6. ábra: Dallas Semiconductor DS1307 (SOIC)

Azért döntöttem amellett, hogy a projektemet kiegészítem vele, mert az óra folyamatos, szünetmentes üzemeltetése a csövek fogyasztása és élettartama miatt sem feltétlenül észszerű. Az idő alatt tehát, amíg az óra ki van kapcsolva, valahogy nyomon kell követni az idő múlását. Az IC használatának további előnye, hogy a mikrovezérlőnek így effektíve nem kell az időt mérnie, elegendő az idő adatokat lekérnie a DS1307-től. (Ezzel számítási kapacitás szabadul fel a mikrovezérlő oldalon.) A felületszerelt változat jó helytakarékossgal bír.

3.5. Transzformátor:

A transzformátor a váltakozó jelű villamos teljesítmény feszültség-áram arányainak változtatására képes villamos gép. Alapvető részei a tekercsek és a vasmag. [5]

A hálózati kistranszformátorokat általában a hálózati 230V effektív feszültségnek a használati eszköz üzemi feszültségének megfelelő értékre való lecsökkentésére használják.

A kereskedelemben nem akadtam az igényeimet kielégítő olyan kistranszformátorra aminek szekunder feszültsége a nixie-csövek üzemeltetésére alkalmas lett volna, ezért döntöttem amellett, hogy magam tekercselek újra egyet. Az általam szerzett kistranszformátor vasmagja egy EI48-as szabványú darab.



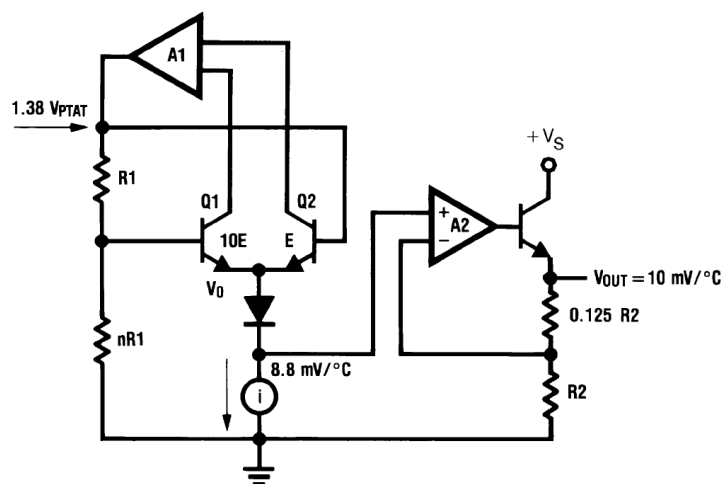
*3.7. ábra: Újratekercselt transzformátorom
[saját kép]*

A transzformátor alkalmazása mellett azért döntöttem, mert előnye, hogy nagy frekvenciás zajokat nem termel, de közre játszott a régi technológiák iránti érdeklődésem is. Fentebb említett okokból kellett magam tekercseljek – amennyiben a transzformátor használatához ragaszkodtam – ezért ez a körülmény is jó teret biztosított a kísérletezésre.

3.6. Hőmérséklet szenzor:

Az LM35 egy integrált hőszensor, ami a pn átmeneteken eső feszültség hőfüggését használja ki a hőmérséklet mérése céljából. (Egy állandó árammal átjárt pn átmenet feszültsége a hőmérsékletével fordítottan arányos.)^[6]

Az LM35 konkrét esetében integrált tranzisztorok bázis-emitter feszültségeinek különbsége a jelforrásunk (állandó kollektor áram mellett).



DS005516-23

3.8. ábra: LM35 blokkvázlat [9]

A tranzisztorok hőmérsékletfüggésének linearitása szűk, azonban a lineáris tartomány tetszőleges szintre tolható a kollektoráram változtatásával. A két tranzisztor emitterének felülete eltérő nagyságú, a bal oldalié tízszerese a jobb oldalinak (10E, E tranzisztorok a 3.8-as ábrán). Az IC a kimenetén a hőmérséklettel egyenesen arányos villamos feszültséget ad le és 10mV/°C meredekséggel változik.[6]

Az LM35 három változatban kapható aszerint, hogy mely hőmérsékleti tartományokban használható az adott típus:

3.1. táblázat: LM35 típusok és üzemelési hőmérsékleteik [9]

Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX}
(Note 2)

LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Az általam jelenleg használt hőszensorok: LM35DZ; LM35CZ



3.9. ábra: National Semiconductor LM35DZ (TO-92)

Azért választottam ezeket a hőszensorokat, mert relatíve jó linearitással bírnak és az általuk kimeneti jelként adott feszültség könnyen olvasható a mikrovezérlő számára. Kettő szenzort használok, egy DZ és egy CZ jelölésűt, előbbit a benti, utóbbit a kinti hőmérséklet mérésére.

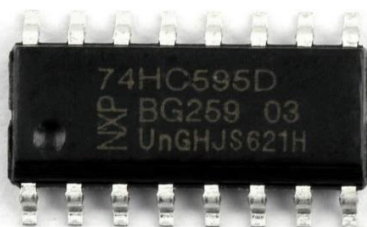
3.7. Shift regiszterek:

A shift regiszterek (vagy léptető regiszterek) digitális funkcionális áramkörök, amik n db bit tárolására és azok órajel hatására való léptetésére alkalmasak. Egy shift regiszter D tárolók kaszkádba kapcsolásával jön létre, (amiből jellemzően szintén többet kaszkádba kapcsolhatunk). Egy soros bemenettel és (szintén) n darab párhuzamos kimenettel rendelkeznek. [7]

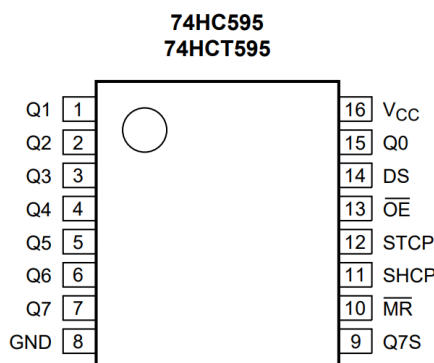
A nixie-csöves kijelzés előteremtésének egyik nehézsége, hogy a csövek sok lábbal rendelkeznek, így egyidejű vezérlésük sok kimenetet igényel mikrovezérlő oldalon. Más nixie-csöves órák jellemzően multiplexeléssel hidalják át a problémát, így időben eltolva „villogtatják” a csöveket.

Nekem jobban imponált az az elképzelés, hogy a csövek időben folytonosan üzemeljenek. A shift regiszterek alkalmazása kevés – mindössze öt – kimenetet igényel. További előny, hogy a működési időnek túlnyomó hányada szabadon marad és más feladatok ellátására hasznosulhat.

A választott shift regiszter: NXP 74HC595D



3.10. ábra: NXP 74HC595D (SO16)



3.11. ábra: 74HC595 lábkiosztás [10]

- Q0...Q7: Párhuzamos kimenetek
- Q7S: Soros kimenet (Órajel hatására itt lép ki az addig Q7-en tárolt bit.)
- GND: Föld
- $\overline{MR}$: Master Reset (Logikai alacsony szintre a memória törlődik.)
- SHCP: Bemeneti órajel (Felfutó élre a soros bemeneti lábra adott jelet be-, a memóriában lévő biteket eggyel arrébb lépteti.)
- STCP: Kimeneti órajel (Felfutó élre a memória tartalmát a kimenetekre küldi.)
- $\overline{OE}$: Kimenet engedélyezése (Logikai alacsony szintre a kiírandó adatok megjelenhetnek a kimeneteken.)
- DS: Soros adatbemenet (Órajelre az ide adott jelet lépteti be.)
- V_{CC} : Tápfeszültség

A 74HC595 egy 8 bites shift regiszter tehát egyidejűleg 8 bit tárolására képes és ugyanennyi párhuzamos kimenettel rendelkezik.

A nixie-csőveknek több katódja van, mint amit a mikrovezérlő kimeneteivel közvetlenül vezérelni lehetne, ezért használom projektemhez a shift regisztereket. Az adatok shift regiszterekbe való soros beírásához és párhuzamos kiírásához mindössze öt láb megfelelő vezérlése szükséges. Kaszkádba kötésük által lehetőség nyílik tetszőleges számú kimenet vezérlésére.

3.8. Kapcsolóüzemű tápegység:

A kapcsolóüzemű tápegységek a tranzisztorokat kapcsoló üzemben használják és így állítják elő kimeneti feszültségüket. Ezek a tápegységek megvalósíthatók váltakozó- és egyenáramú betáplálással egyaránt. Az egyenáramú átalakítókat DC-DC konvertereknek vagy feszültség átalakítóknak hívják.^[8]

Az MC34063 egy integrált áramkör, amely DC-DC átalakítók vezérlésére lett kifejlesztve. Ezt az IC-t választottam az alternatív tápforrásom vezérlőjének.

Azért döntöttem úgy, hogy az órának a kapcsolóüzemű tápellátást is elérhetővé teszem alternatívaként, mert amennyiben a jövőben a többi panelből is építek majd órát, akkor ott valószínűleg nem fogok transzformátort tekercselni. A kapcsolóüzemű tápegység összeállítása olcsóbb és egyszerűbb.



3.12. ábra: ON Semiconductor MC34063 (DIP8)

4. Projekt megvalósítása

Ebben a fejezetben az egyes részfeladatok megoldásának folyamatát mutatom be, különválasztva az alkotóelemek tervezését és a gyakorlati megvalósításukat.

4.1. Anyagbeszerzés

Nixie-csövek:

A számok kijelzésére Gazotron IN-14-es, a kettőspont reprezentációjául IN-3-as csöveket választottam. Interneten rendeltem és vásároltam a csöveket.

DCF77 rádiójel vevő modul:

Német gyártmányú, hangolt ferritantennával és dekóderrel ellátott áramkör. Szintén interneten rendeltem.

Transzformátor:

Ismeretség útján jutottam hozzá egy használt transzformátorhoz és a tekercseléshez szükséges huzalokhoz egyaránt.

Elektronikai alkatrészek:

Passzív alkatrészek (ellenállások, kondenzátorok, tekercsek, kvarc kristályok), aktív alkatrészek (tranzisztorok), LED-ek, integrált áramkörök (mikrovezérlő, műveleti erősítő, shift regiszter), stb. Hazai kiskereskedőnél vásároltam.

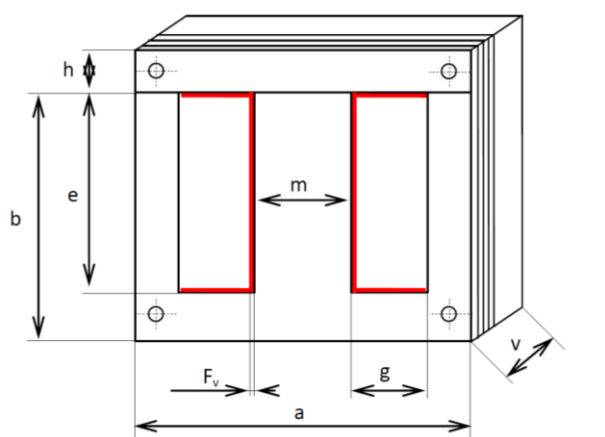
Nyomtatott áramkör:

A tervezést követően egy kínai céggel gyártattam le és szállíttattam magamhoz postán.

4.2. Tervezés

4.2.1. Transzformátor

A transzformátor tervezésekor adottak voltak a vasmag és a csévetest méretei, így ezekhez igazodtam. Két tápfeszültség előállítása volt a célom, ezért két szekunder tekercset kellett megterveznem. Törekedtem arra, hogy a lehető legnagyobb keresztmetszetű rézhuzalokból készítsem a szekundereket, ezzel mérsékelve az ellenállásaik okozta veszteségeket, a vasmag ablaka által kínált méreteket túl nem lépve.



4.1. ábra: Transzformátor vasmagjának méretei [11]

4.1. táblázat: Vasmag méretek [11]

Vasmag típus	e (mm)	g (mm)	m (cm)	v (cm)
EI 48	24	8	1,6	1,63

Az 5V-os tápfeszültséget a 7805-ös IC kimenetén kívánjuk előállítani, ennél fogva számolni kell a „dropout” feszültséggel [12], s a bemenetére adott feszültséget annyival növelni a kimenetihez képest. Figyelembe veendő körülmény a Graetz-híd diódáin eső feszültség is, ami két szilícium dióda nyitófeszültségének összegével egyenlő.[13] Végül számolni kell a szinuszos váltakozófeszültség csúcsstényezőjével is, ami 2 négyzetgyöke.[14]

$$u_{s5} = \frac{(5V + U_d)}{\sqrt{2}} + 2 \cdot U_{ny} = \frac{(5V + 2V)}{\sqrt{2}} + 2 \cdot 0,7V = 6,3497V$$

A csövek tápellátása egyszerűbb feladat, elegendő a csúcsstényezővel és a diódák nyitófeszültségével számolni, hisz itt nem használunk feszültségszabályozó áramkört.

$$u_{sn} = \frac{170V}{\sqrt{2}} + 2 \cdot U_{ny} = \frac{170V}{\sqrt{2}} + 2 \cdot 0,7V = 121,6082V$$

ahol:

- u_{s5} az 5V-os kör szekundere feszültségének effektív értéke [V]
- u_{sn} a 170V-os kör szekundere feszültségének effektív értéke [V]
- U_d a dropout feszültség [V]
- U_{ny} a szilícium dióda nyitófeszültsége [V]

A primer tekercset érintetlenül akartam hagyni, menetszámát (illetve a menetfeszültséget) azonban meg kellett határoznom. Ezért, továbbá, hogy érintőleges ismereteket szerezzek a transzformátor hatásfokáról, az alábbiakban részletezett néhány egyszerű mérést végeztem.

A transzformátort – még eredeti állapotában – üzem alá helyeztem és megmértem a szekunder oldali üresjárási- és terhelt feszültségét. Utóbbi mérésekor a terhelést a jövőben várható teljesítménynek megfelelően állítottam be, annyira közelítettem, amennyire a rendelkezésemre álló (és szükséges teljesítmény besorolással bíró) ellenállások engedték. A leendő fogyasztók ohmikusnak tekinthetők, ezért a továbbiakban a látszólagos és valós teljesítményeket egyenlőként kezelem.

A csövek által felvett áram és az igényelt feszültség értékek az alábbi táblázatokban láthatók.

4.2. táblázat: IN-14 katalógus adatai [15]
(Fő elektromos és világítási paraméterek)

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ	
Напряжение возникновения разряда, В, не более	170
Ток индикации для цифр, мА, не более	2,5
Ток индикации для «запятых», мА, не более	0,3
Яркость свечения катодов, кд/м ² , не менее	100
Угол обзора, градус, не менее	±30

4.3. táblázat: IN-3 katalógus adatai [16]
(Fő műszaki adatok)

1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ		
1. 1. Напряжение зажигания, В,	не менее	60
	не более	90
1. 2. Напряжение гашения при сопротивлении в цепи анода 300 ком, В,	не менее	55
1. 3. Номинальный ток, мА		0,8

Ebből számolható tehát a csövek összesített árama, azaz, hogy a 170V-os tápfeszültségről mekkora áramot veszünk majd fel:

- IN-14-es csövek árama:

$$I_{IN-14} = 4 \cdot 2,5mA = 10mA$$

$$I_{IN-3} = 2 \cdot 0,8mA = 1,6mA$$

Így a csövek áramainak összege:

$$I_{170V\ max} = I_{IN-14} + I_{IN-3} = 11,6mA$$

A mikrovezérlő, a LED-ek és egyéb, 5V-os tápra csatlakozó eszközök összesített árama várhatóan az alábbiak szerint alakul majd:

- ATmega32A mikrovezérlő árama:

4.4. táblázat: ATmega tápárama [3]

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
I _{CC}	Power Supply Current	Active 1MHz, V _{CC} = 3V (ATmega32L)		1.1		mA
		Active 4MHz, V _{CC} = 3V (ATmega32L)		3.8	5	
		Active 8MHz, V _{CC} = 5V (ATmega32)		12	15	
		Idle 1MHz, V _{CC} = 3V (ATmega32L)		0.35		
		Idle 4MHz, V _{CC} = 3V (ATmega32L)		1.2	2.5	
		Idle 8MHz, V _{CC} = 5V (ATmega32)		5.5	8	
	Power-down Mode ⁽⁵⁾	WDT enabled, V _{CC} = 3V		< 10	20	μA
		WDT disabled, V _{CC} = 3V		< 1	10	

Az adatlap alapján a mikrovezérlő maximális árama nagyjából 15 mA lehet, bár 16MHz-es órajelű esetet az adatlap nem tárgyal:

$$I_{ATmega} = 15mA$$

- 74HC595 shift regiszterek összesített árama:

4.5. táblázat: Shift regiszterek nyugalmi árama [10]

I _{CC}	supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0 A; V _{CC} = 6.0 V	-	-	80	-	160	μA
-----------------	----------------	---	---	---	----	---	-----	----

7 db shift regiszter esetén ez legrosszabb esetben a következő állandó áramfelvételt jelentheti:

$$I_{74HC595} = 7 \cdot 160\mu A = 1,12mA$$

- LM358 műveleti erősítő árama:

4.6. táblázat: Műveleti erősítő nyugalmi árama [17]

I_{CC}	Supply current, all amp, no load $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC}^+ = +5V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC}^+ = +30V$		0.7	1.2 2	mA
----------	---	--	-----	----------	----

A nyugalmi áram:

$$I_{LM358} = 1,2mA$$

- LED-ek áramai:
 - Csővilágító LED-ek (maximális fényáram):

$$I_{CS LED} = 4 \cdot 20mA = 80mA$$

- DCF visszajelző LED:

$$I_{DCF LED} = \frac{2,5V}{1000\Omega} = 2,5mA$$

- DCF Zener dióda árama:

4.7. táblázat: Zener áram [18]

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T _{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)													
PART NUMBER	ZENER VOLTAGE RANGE			TEST CURRENT		REVERSE LEAKAGE CURRENT				DYNAMIC RESISTANCE		TEMPERATURE COEFFICIENT OF ZENER VOLTAGE	
	V _Z at I _{ZT1}			I _{ZT1}	I _{ZT2}	I _R at V _R		I _R ⁽¹⁾ at V _R		Z _Z at I _{ZT1}	Z _{ZK} at I _{ZT2}	TK _{VZ}	
	V			mA		μA	V	μA	V	Ω		% / K	
	MIN.	NOM.	MAX.							TYP.	TYP.	MIN.	MAX.
TZMC2V4	2.28	2.4	2.56	5	1	< 50	1	< 100	1	< 85	< 600	-0.09	-0.06

$$I_{ZT} = 5mA$$

A többi alkatrész áramfelvétele ezen kívül olyan csekély, hogy nem érdemes számolni velük. A feltárt áram értékek összege tehát a következőképp alakul:

$$I_{5V max} = I_{ATmega} + I_{74HC595} + I_{LM358} + I_{CS LED} + I_{DCF LED} + I_{ZT} =$$

$$= 15mA + 1,12mA + 1,2mA + 80mA + 2,5mA + 5mA = 104,82mA$$

Csekély túlzással tehát számolhatunk 105mA-rel.

Várható maximális teljesítmény:

$$S_{S5} = U_{S5} \cdot I_{S5} = 7V \cdot 0,105A = 0,735VA$$

$$S_{Sn} = U_{Sn} \cdot I_{Sn} = 170V \cdot 0,0116A = 1,972VA$$

$$S_{össz} = S_{S5} + S_{Sn} = 0,7VA + 1,972VA = 2,707VA$$

A teljesítmény számításakor az egyenirányított feszültségekkel számoltam, mert az azokkal kapott szorzatok jobban tükrözik a transzformátor kimenetén valójában leadott teljesítményt. Valójában a transzformátor feszültségének effektív értéke nem változik a gyakorlatban, azonban az áram átlagos értéke – nagy terhelés esetén – nagyobb lesz mint az itt korábban meghatározott. Ez a pufferkondenzátorok töltése miatt van így.

Terhelés:

$$R_t = 98,5\Omega$$

$$P = \frac{u_s^2}{R_t} = \frac{15,9^2}{98,5} = 2,57W$$

Transzformátoron mért értékek:

- $u_{sü}=16,4V$ (eredeti szekunder feszültségének effektív értéke üresjárásban)
- $u_{st}=15,9V$ (eredeti szekunder feszültségének effektív értéke terhelés alatt)

Megmértem a mérésakor épp aktuális hálózati feszültség effektív értékét, mely csak igen csekély mértékben tér el a kerek 230V-tól. Ekkor tehát ismertem a primer és szekunder feszültségeket üresjárás, és terhelés mellett. Ezeket az adatokat vettem alapul, hogy a menetfeszültséget és a primer tekercs menetszámát is ki tudjam következtetni.

Az eredeti szekunder tekercs lecsévélezésekor 176 menetet számoltam. Ebből és a szekunder üresjárási feszültségből a menetfeszültség már meghatározható volt:

$$u_m = \frac{u_{sü}}{N_s} = \frac{16,4V}{176} = 93,1818mV$$

Az egyes leendő szekunder tekercsek menetszáma ennek és a hatásfoknak ismeretében kiszámítható, azonban a hatásfokot még nem ismerjük. Az alábbi képletből fejeztem ki és számítottam ki végül, ami az egy voltra eső menetszám, a szekunder tekercs menetszám, a szekunder feszültség és a hatásfok összefüggését vázolja. [11]

$$N_s = U_s \cdot N_{1V} \cdot \left[1 + \left(\frac{1 - \eta}{2} \right) \right]$$

Ebből kifejezve a hatásfok:

$$\eta = 3 - \frac{2N_s}{U_s \cdot N_{1V}} = \frac{2 \cdot 176}{15,9V \cdot 10,73 \frac{1}{V}} = 0,9371$$

$$\left(N_{1V} = \frac{1}{U_m} = \frac{1}{0,0931818V} = 10,73 \frac{1}{V} \right)$$

ahol:

- U_s az eredeti szekunder feszültségének effektív értéke [V]
- η a hatásfok [% vagy 1]
- N_s az eredeti szekunder tekercs menetszáma [1]
- N_{1V} az 1V feszültségre jutó menetszám [1]
- U_m a menetfeszültség [V]

A hatásfok, az effektív szekunder feszültség és az egy Voltra eső menetszám ismeretében az új szekunder tekercsek menetszámait az eredeti képletbe visszahelyettesítve kapjuk meg.

Így tehát az 5V-os táp szekunderének számítása:

$$N_{s5}' = u_{s5} \cdot N_{1V} \cdot \left[1 + \left(\frac{1 - \eta}{2} \right) \right] = 6,3497V \cdot 10,73 \frac{1}{V} \cdot \left[1 + \left(\frac{1 - 0,9371}{2} \right) \right] = 70,38$$

Ezt fölfelé kerekítve a menetszám:

$$N_{s5} = 71$$

A nixie táp szekunderének számítása:

$$N_{sn}' = u_{sn} \cdot N_{1V} \cdot \left[1 + \left(\frac{1 - \eta}{2} \right) \right] = 121,6082 \cdot 10,73 \frac{1}{V} \cdot \left[1 + \left(\frac{1 - 0,9371}{2} \right) \right] =$$

$$= 1345,89$$

$$N_{sn} = 1346$$

A szekunder tekercsek huzalátmérőjének kiválasztásához gyors számításokat végeztem, alapul véve a vasmag ablakában még szabadon lévő keresztmetszetet. 0,15 és 0,2 mm átmérőjű huzalok közül választhattam a 170V-os szekunder tekercseléséhez, az 5V-oshoz az eredeti 0,4mm-eset terveztem újra hasznosítani.

A rézhuzalok maximális árama keresztmetszetenként_[11]:

$$I_{\max 0,15} = J_{Cu} \cdot A_{0,15} = J_{Cu} \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2 \cdot \pi = 2,5 \frac{A}{mm^2} \cdot \left(\frac{0,15mm}{2} \right)^2 \cdot \pi = 44,18mA$$

$$I_{\max 0,2} = J_{Cu} \cdot A_{0,15} = 2,5 \frac{A}{mm^2} \cdot \left(\frac{0,2mm}{2} \right)^2 \cdot \pi = 78,54mA$$

$$I_{\max 0,4} = J_{Cu} \cdot A_{0,15} = 2,5 \frac{A}{mm^2} \cdot \left(\frac{0,4mm}{2} \right)^2 \cdot \pi = 314,16mA$$

Alap elgondolásom az volt, hogy a vasmag ablak szabadon álló keresztmetszete, a huzal keresztmetszetek és a menetszámok ismeretében meg tudom állapítani, hogy a tekercsek elférnek-e majd az ablakban.

Mivel a huzalok keresztmetszete kör, s így az egymás mellé/főlé rendeződő huzalmenetek közti légrés számunkra hasznos vezetővel be nem tölthető, így korrigáltam az egységnyi élű négyzet területének és az egységnyi átmérőjű kör területének arányával:

$$\frac{A_{\square}}{A_{\circ}} = \frac{4}{\pi}$$

$$g' = 3,82mm$$

$$e' = 22mm$$

$$A_{as} = g' \cdot e' = 3,82mm \cdot 22mm = 84mm^2$$

$$A_{\square 0,4} = \frac{4}{\pi} \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot N_{s5} = 4 \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2 \cdot N_{s5} = 4 \cdot \left(\frac{0,4mm}{2} \right)^2 \cdot 71 = 11,36mm^2$$

$$A_{\square 0,2} = 4 \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2 \cdot N_{sn} = 4 \cdot \left(\frac{0,2mm}{2} \right)^2 \cdot 1346 = 53,84mm^2$$

$$A_{\square \text{össz}} = A_{\square 0,4} + A_{\square 0,2} = 11,36mm^2 + 53,84mm^2 = 65,2mm^2$$

ahol:

- g' a vasmag ablaknak a csévetest falvastagságával csökkentett szélességi mérete [mm]
- e' a vasmag ablaknak a két csévetest falvastagsággal csökkentett magassági mérete [mm]
- A_{as} a vasmag ablak szekunderok számára szabadon álló keresztmetszete [mm²]
- $A_{\square \text{össz}}$ a szekunder tekercsek által igényelt ablakkeresztmetszet [mm²]

(A számítások alapján a tekercseknek el kellett volna férniük a csévetesten, az azonban – a 0,2mm átmérőjű huzallal tekercselve – nagyjából 1000-1100-as menetszámnál betelt. Ezután a huzalt visszatekersem és végül a 0,15-össel megismételve az eljárást jártam sikerrel.)

4.2.2. Tápegység

Az óra jelenlegi (transzformátoros) megvalósításának megfelelően tápegység alatt a transzformátor egyenirányító és simító, stb. kiegészítéseit értem.

Mindkét szekunder tekercs vonalára beiktattam 1-1 panelre forrasztható SMD biztosítékot, hogy az 5- vagy 170 voltos oldalakon esetlegesen fellépő túláram ne okozhasson komoly károkat akkor sem, ha egy ilyen túláram (vagy zárlat) a primer oldali biztosítót nem aktiválná. Az SMD biztosítók maximális árama 250mA.

Az egyenirányítás feladatát Graetz-hidak látják el.

A Graetz-hidak kimenetein pufferkondenzátorok simítják a feszültséget. Értéküket minél nagyobbra választottam úgy, hogy méretükből adódóan a két panelt még ne taszítsák túl messzire egymástól. A várható bűgőfeszültségek:

$$\Delta U_5 = \frac{I_{max\ 5} \cdot t}{C_{p\ 5}} = \frac{0,1A \cdot 0,01s}{4700 \cdot 10^{-6}} = 212,77mV$$

$$\Delta U_{170} = \frac{I_{max\ 170} \cdot t}{C_{p\ 170}} = \frac{0,015A \cdot 0,01s}{220 \cdot 10^{-6}} = 681,82mV$$

A 170V-os tápfeszültség zavarűrlő kondenzátorát konzulensem tanácsára elhagytam, hisz a nixie-csövek vélhetően nem érzékenyek a nagyfrekvenciás zavarokra. Az 5V-os tápvonalon a 7805-ös feszültségstabilizátor be- és kimeneti oldalán is elhelyeztem egy-egy 100nF-os szűrőkondenzátort az IC adatlapjának megfelelően.^[12]

4.2.3. Nyomatott áramkör

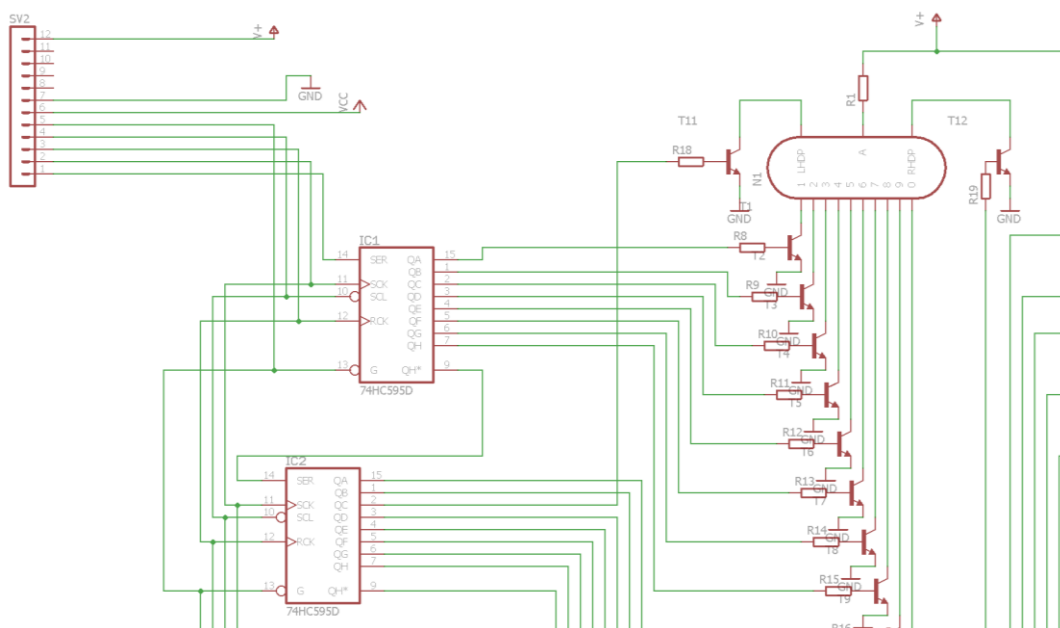
Az óra áramköreinek összeköttetéseit két nyomatott áramköri (továbbiakban: NYÁK) lemezen valósítottam meg, melyek elektronikusan egy 12 pólusú tűskesoron, mechanikusan négy darab csavar-anya együttesel kapcsolódnak egymáshoz. A NYÁK lemezek terveit Cadsoft Eagle 7.3 szoftverrel készítettem.

Elsőként a felső „csővezérlő” panelt gyárttattam le, hogy az alapvető próbaüzem megvalósulhassék, ezáltal egy fejlesztési folyamat bontakozhassék ki, ami a másik „alaplap” panel tervezésének is irányt szabhatott később.

4.2.3.1. Csővezérlő (felső) NYÁK

A kijelzés a következőképp valósul meg:

A csővezérlő panelen kaszkádba kapcsolt shift regiszter IC-k fogadnak digitális jeleket az alaplapról. (Ezek a jelek egy bináris bitsorban kódolva tartalmazzák az aktuális kijelzendő számadatokat.) A shift regiszterek kimenetei a törpefeszültségnél nagyobb (maximum 300V) feszültséget kapcsolni képes tranzisztorokat (MPSA42 ^[19]) kapcsolnak ki és be, amelyek a csöveket működtetik, az épp megfelelő katódjaikat földre kötve.



4.2. ábra: Csővezérlő NYÁK kapcsolási rajzának részlete, bemenetek, shift regiszterek és IN-14-es csövek kapcsolódásai [F1]

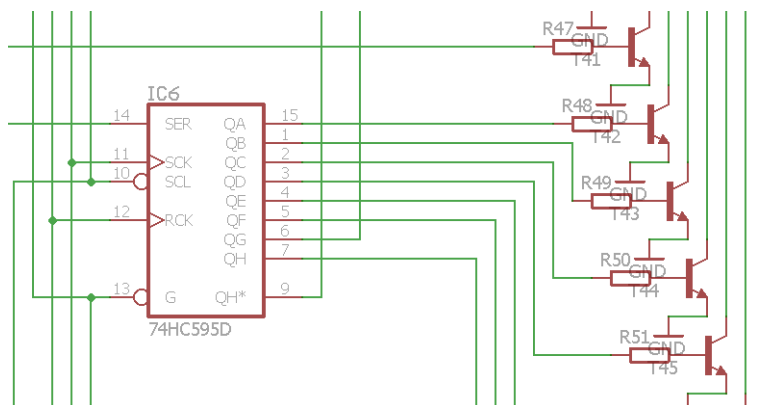
Tápvonal jelölések a kapcsolási rajzon:

- V+: 170V
- VCC: 5V
- GND: Föld

Számítások:

A shift regiszterek kimenetei 5V feszültséget adnak le. A tranzisztorok bázisai és a shift regiszterek kimenetei közé ellenállást kell beiktatni (a bázis-emitter pn átmenetek áramának korlátozása végett), ezek értékét a tranzisztor áramerősítési tényezője [19], a kollektor áram (nixie-csővek anódárama [15]) és Ohm törvénye [14] alapján meg lehet határozni:

$$R_B' = \frac{5V - U_{BE(sat)}}{\frac{I_C}{\beta}} = \frac{5V - 0,9V}{\frac{0,0025A}{25}} = 41k\Omega$$



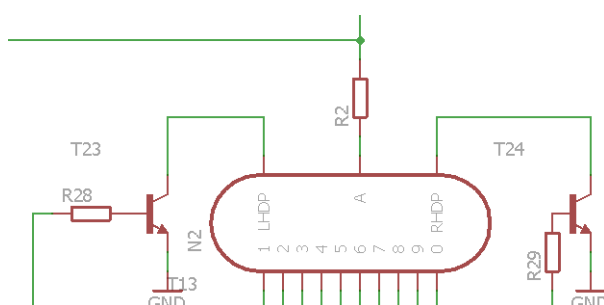
4.3. ábra: Shift regiszter és a tranzisztorok kapcsolódása [F1]

Végül – hogy a tranzisztorok biztosan jól telítettek legyenek – az eredményül kapott ellenállás érték felénél is kisebb értékű ellenállásokat választottam. Az így választott ellenállás érték még mindig nem okoz jelentős teljesítmény disszipációt. Helytakarékoság céljából SMD ellenállásokat választottam.

$$R_B = 18k\Omega$$

Az IN-14-es csövek előtét ellenállásainak értékét az adatlap alapján számítottam ki. A csövek gyújtófeszültsége 170V, azonban a hosszabb távon üzemeltető feszültségük csupán 145V, ezért e két feszültség különbsége és az áram értéke határozza meg az előtét ellenállások értékét [15]:

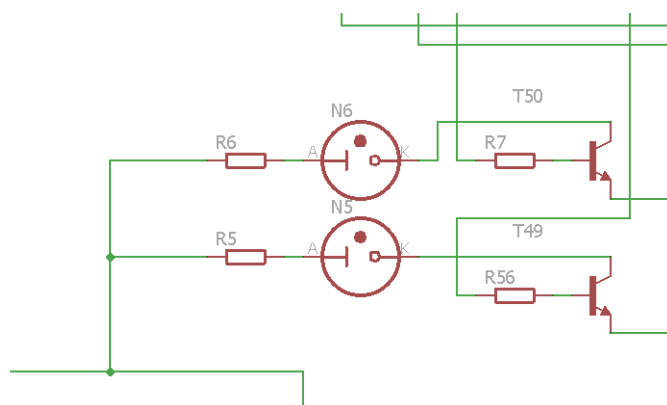
$$R_{e_{\text{IH14}}} = \frac{U_{tn} - U_{üz}}{I_{a_{\text{IH14}}}} = \frac{170V - 145V}{0,0025A} = 10k\Omega$$



4.4. ábra: IN-14-es cső előtétellenállása (itt R2) [F1]

Az IN-3-as csöveket természetesen szintén a 170V-ról volt észszerű üzemeltetni. Előtét ellenállásaikat 55V-os üzemeltetési feszültségük és 0,8mA anódáramuk alapján választottam meg [16]:

$$R_{e_{\text{IH3}}}' = \frac{U_{tn} - U_{üz}}{I_{a_{\text{IH3}}}} = \frac{170V - 55V}{0,0008A} = 137,5k\Omega$$



4.5. ábra: IN-3-as csövek előtétellenállásai (R6 és R5) [F1]

Ebből fölfelé kerekítve egy közeli, kereskedelemben kapható ellenállás értékre a következőt választottam:

$$R_{e_{\text{IH3}}} = 150k\Omega$$

A csövek alá díszilágítás gyanánt akartam 1-1 kék fénybocsátó diódát helyezni. Ez összesen négy kék LED-et jelent. A LED-eket egymással párhuzamosan kötöttem. Az 5V-os tápfeszültségről akartam meghajtani őket, ezért sorba kötés nem jöhetett szóba, hisz a kék LED-jeim nyitófeszültségei 2,55V körül voltak. (Erről méréssel győződtem meg.) Az egyes LED-ek áramát 20mA-nek választottam, ezzel túl nem lépve egy átlagos 5mm-es LED maximális megengedett áramát [20]. Kirchhoff csomóponti törvényét alapul véve [14] a párhuzamosan kapcsolt LED-ek áramai összeadódnak:

$$R_{eLED}' = \frac{U_{t5} - U_{ny}}{4 \cdot I_{LED}} = \frac{5V - 2,55V}{4 \cdot 0,02A} = \frac{2,45V}{0,08A} = 30,625\Omega$$

$$R_{eLED} = 33\Omega$$

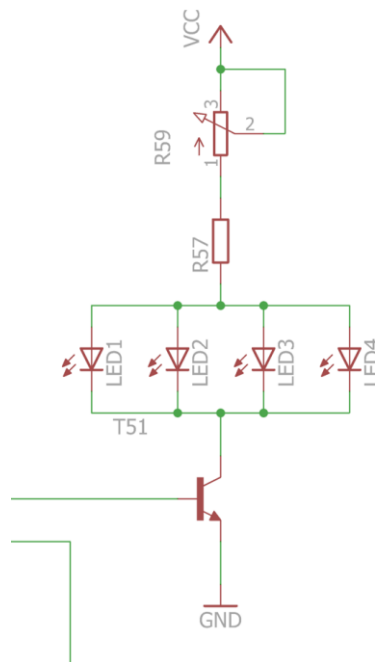
THD ellenállást alkalmaztam, mert az átlagos SMD ellenállások maximális teljesítménye az itt fellépő teljesítményt nem múlja felül jelentős mértékben.

$$P_{ReLED} = I^2 \cdot R_{eLED} = 0,08^2 A \cdot 33\Omega = 211,2mW$$

Hogy a LED-ek fényárama szabályozható legyen, a LED-ekkel és az ellenállással sorba kapcsoltam egy lineáris potenciométert is.

$$R_p = 5k\Omega$$

A LED-ek ki- és bekapcsolását eredetileg szintén tranzisztorral terveztem megvalósítani (ezt később mechanikus kapcsolóra cseréltem), ezért a LED-ekkel sorba kapcsoltam egy bipoláris tranzisztort a kapcsolási rajzon.



4.6. ábra: LED-ek kapcsolása [F1]

Alkatrészjegyzék:

4.8. táblázat: Alkatrészjegyzék [F5]

Alkatrész	Érték	Tokozás	Név	Leírás	db
3RP/1610N	5k	3RP/1610N	R59	16mm Potentiometer one level	1
BC547-NPN- TO92-CBE		TO92-CBE	T51	NPN Transistor	1
LED5MM		LED5MM	LED1, LED2, LED3, LED4	LED	4
MA12-1W		MA12-1W	SV2	PIN HEADER	1
MPSA42- NPN-TO92- CBE		TO92-CBE	T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25, T26, T27, T28, T29, T30, T31, T32, T33, T34, T35, T36, T37, T38, T39, T40, T41, T42, T43, T44, T45, T46, T47, T48, T49, T50	NPN Transistor	50
R- EU_0207/12		0207/12	R1, R2, R5, R6, R30, R43, R57, R58	RESISTOR, European symbol	8
R-EU_R1206		R1206	R3, R4, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25, R26, R27, R28, R29, R31, R32, R33, R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R44, R45, R46, R47, R48, R49, R50, R51, R52, R53, R54, R55, R56	RESISTOR, European symbol	50
74HC595D	74HC595D	SO16	IC1, IC2, IC3, IC4, IC5, IC6, IC7	8-bit SHIFT REGISTER, output latch	7
IN-14	IN-14	IN-14	N1, N2, N3, N4	IN-14: medium numeric frontview nixie tube	4
IN-3	IN-3	IN-3	N5, N6	IN-3: nixie bulb	2

A teljes kapcsolási rajz a függelékben található. [F1]

A kapcsolási rajz elkészülte után következhetett a rajzolatok tervezése.

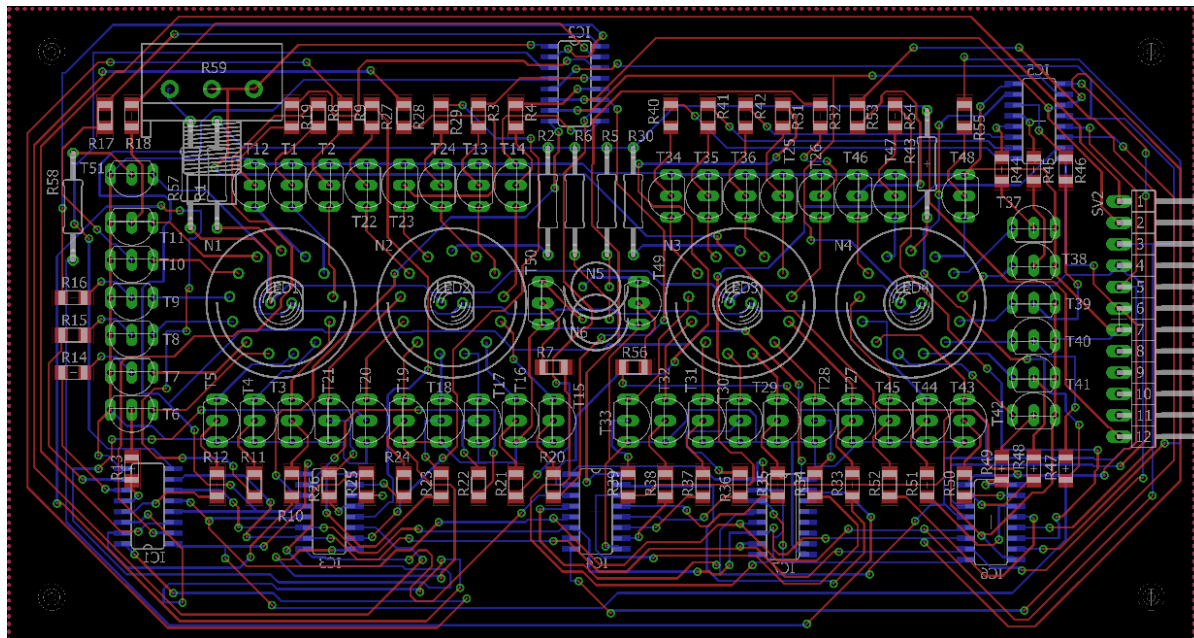
Az alkatrészeket mind magam helyeztem el végleges pozíciójukba. A vezetősávokat az autoroute paranccsal, a szoftverrel készítettem el.

Választott tervezési direktíváim, melyek alapján az autorouter a rajzolatot készítette:

- vezetősávok szélessége: 10 mil.
- vezetősávok, forrszemek, lyukgalvánok közti minimális hézagok: 16 mil.

A NYÁK kétoldalú és a tervek szerint az alkatrészek közül csak a tűskesor és a shift regiszterek kerültek volna a panel alsó oldalára. (Később a tranzisztorokat is alulról helyeztem be.)

Kész NYÁK terv:



4.7. ábra: Csővezérlő NYÁK terv [F2]

4.2.3.2. Alaplap NYÁK

Tápvonal jelölések:

- VCC: Szabályozott 5V-os tápfeszültség vonala
- V+: 170V-os tápfeszültség vonala
- GND: Föld potenciál

Tápegységek:

Hogy az óra – az összeépítéstől függően – transzformátorról vagy kapcsolóüzemű tápról is üzemelhessen, a kapcsolási rajzot mind a kettőhöz elkészítettem egyazon tervben, a NYÁK terven mind a kettőhöz szükséges rajzolatot kialakítottam.

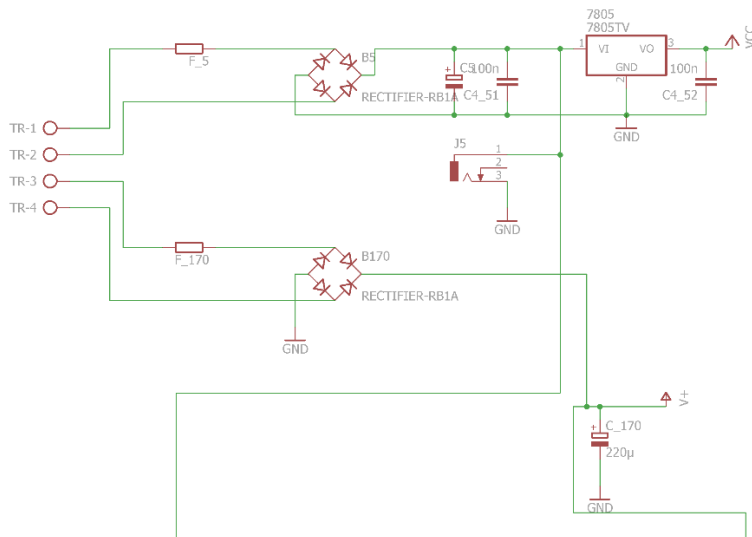
A transzformátoros részen az egyenirányításról Graetz-hidak gondoskodnak, egy az 5V-os és egy a 170V-os tápfeszültség körében. A hidak mindkét esetben egy-egy elektrolit kondenzátort töltenek, ehhez az 5V-os táp esetén egy kerámia kondenzátor is kapcsolódik párhuzamosan. Az elektrolit kondenzátorok a feszültség szintet simítják ki, a kerámia kondenzátor a hálózati frekvenciára ülő nagyfrekvenciás zajokat szűri ki. A nixie tápfeszültségének előállítása a simításban ki is merül, azonban az 5V-os körről működik a mikrovezérlő, amely érzékeny a tápfeszültség túlnövekedésére [3].

Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground	-0.5V to $V_{CC}+0.5V$
Voltage on $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground	-0.5V to +13.0V
Maximum Operating Voltage	6.0V
DC Current per I/O Pin	40.0mA
DC Current V_{CC} and GND Pins	200.0mA and 400.0mA TQFP/MLF

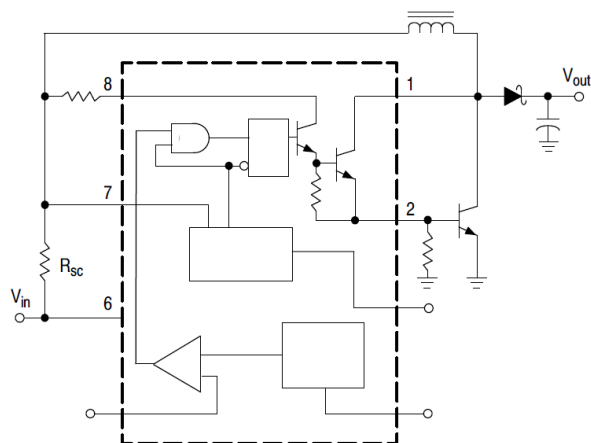
4.8. ábra: ATmega32 maximális feszültség és áram adatai [3]

Az 5V-os szekunder tekercset igen nehéz lenne úgy méretezni, hogy egyenirányított feszültség szintje az 5V-ot sose lépje túl, de eltérő terhelések mellett se essen kívánt szint alá, ezért mögé egy L7805-ös feszültségszabályzót is beiktattam.



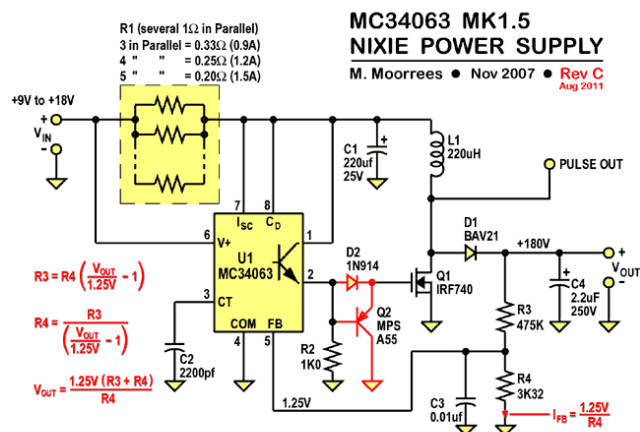
4.9. ábra: Tápegység [F3]

A kapcsolóüzemű (feszültségnövelő) táp központi vezérlőegységét egy MC34063-as integrált áramkör képezi. Az általam felhasznált alapkapsolás az IC katalógusában található.



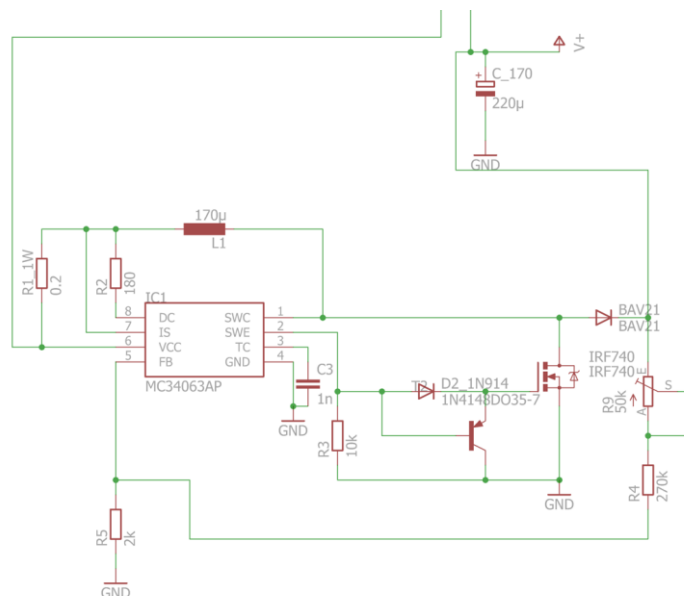
4.10. ábra: MC34063A '9a' alapkapcsolás [21]

A külső kapcsoló MOSFET kikapcsolásának megsürgetése, illetve szinteltolás céljából (hogy a gate-re jutó feszültség jól vezéreljen) az IC kimenetét egy kiegészítő áramkörrel is elláttam.



4.11. ábra: 'Active pull down' kiegészítés (pirossal jelölve) [22]

Az IC komparátorának a referenciafeszültséget feszültségosztóval állítottam elő a kimeneti feszültségből (R_4 , R_5). Hogy a kimeneti feszültség változtatható legyen, a feszültségosztó 170V föléi ellenállásával sorba kötöttem egy trimmer potenciometert (R_9) is. Itt is igyekeztem helytakarékosabb felületszerelt alkatrészeket használni, ahol lehetett, az IC-ből azonban furatszereltet választottam, hogy meghibásodása esetén foglalatából könnyen kivethető és cserélhető legyen.

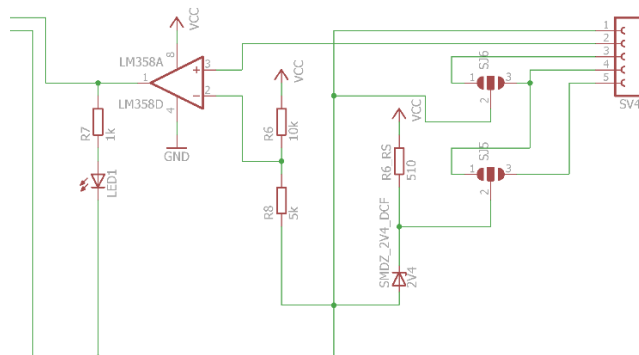


4.12. ábra: Kapcsolóüzemű táp kapcsolási rajza [F3]

DCF77:

A DCF77 vevő modul – adatlapja szerint – 1,2...3,3V feszültségről működik. [23] Tápellátásáról egy 2,4V-os zener diódával gondoskodtam. A zener árama a katalógus szerint minimum 5mA [18], így ehhez és a zener dióda, illetve az 5V különbségéhez választottam ellenállás értéket:

$$R_z = \frac{U_{t5} - U_{ZT}}{I_z} = \frac{5V - 2,4V}{0,005A} = 520\Omega$$



4.13. ábra: DCF77 vevőmodul áramköre, csatlakozása [F3]

A DCF modul alacsony tápfeszültsége a kimeneti logikai magas jelének alacsony feszültség szintjét is magával vonja (közelítőleg a maga tápfeszültségével egyenlő). Ennél fogva a modul és a mikrovezérlő között szintillesztést kellett alkalmaznom, ehhez pedig egy LM358-as műveleti erősítőt használtam komparátor üzemmódban. [24] A komparálási szintet két ellenállásból álló feszültségosztóval állítottam be:

$$U_{komp} = U_{t5} \cdot \frac{R_8}{R_8 + R_6} = 5V \cdot \frac{2k\Omega}{10k\Omega + 2k\Omega} = 833mV$$

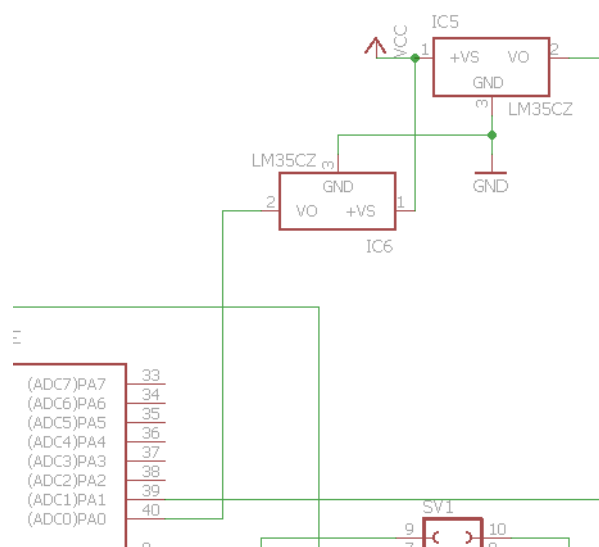
A műveleti erősítő kimenetére egy LED-et is kapcsoltam. Ez a felhasználót hivatott segíteni abban, hogy a DCF jeles frissítés indításakor az órát felemelve és mozgatva kereshessen olyan helyet, ahol a jel a lehető legtisztábban fogható.

Hogy a LED villogása és a vevő modul is kikapcsolható legyen amikor idő frissítés nincs folyamatban, a LED katódját és minden egyéb pontot aminek föld potenciálra kötése a működésének feltétele, egy mikrovezérlő kimenetre – nevesül a B port PB0 lábára – kötöttem. A forrasztható jumpereket azért alkalmaztam, mert a vevő modulok amiket eddig be sikerült szerezniem, egymásétól eltérő lábkiosztással rendelkeznek. Így a NYÁK a megfelelő rövidzárak beiktatásával a rákerülő modulhoz igazítható. [F3]

Ezen a területen – szintén a helytakarékoság érdekében – ahol tudtam, felületszerelt alkatrészeket alkalmaztam.

LM35:

A szenzorok bekötése egyszerű, három kivezetésük a tápfeszültség, a föld és a kimenő feszültség.

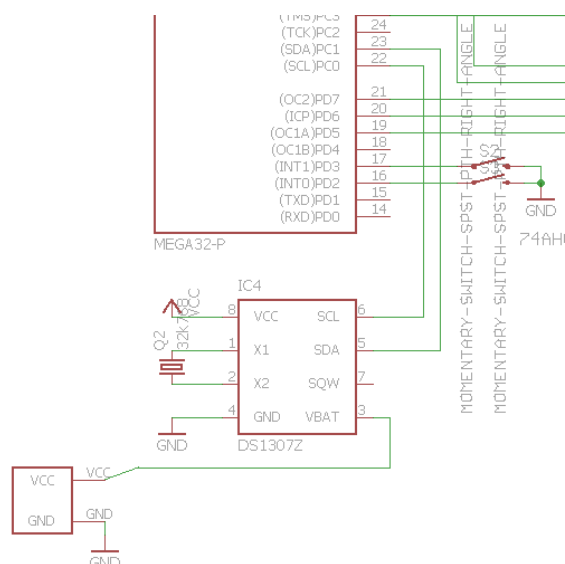


4.14. ábra: LM35-ös szenzorok [F3]

Mindkét IC kimenetét a mikrovezérlő A portjára kellett kötnöm, hisz ez a port kapcsolódik az AD konverterrel. [3]

RTC:

A DS1307-es IC alap tápforrása ugyanúgy az 5V-os kör, másodlagos a CR2032-es lítium elem. Utóbbi a rajzon látható VCC és GND felirattal rendelkező téglalap. Az 1-es és 2-es lábakra közvetlenül csatlakozik a 32,768kHz-es oszcillátor két kivezetése. A négyszögjel kimenetet nem használjuk, ezért nem kötöttem sehova. Az SCL (serial clock) és SDA (serial data) kivezetések a kétvezetékes soros kommunikációért felelnek. Az i²c protokollal kommunikációért az ATmegán kitüntetett lábak felelnek a C porton (PC0 és PC1 lábak), ezért oda kötöttem az SCL és SDA kivezetéseket. [F3] [25]



4.15. ábra: RTC modul csatlakozásai [F3]

A kapcsolási rajzon látszik egy mulasztásom: az open drain-es SDA és SCL vonalakat nem húztam fel tápfeszültségre felhúzóellenállásokkal. Ezeket utólag kellett pótolnom.

12-es tüskesor:

A shift regiszterekre küldött jeleket a C portról küldetem ki a csővezérlő panelre.

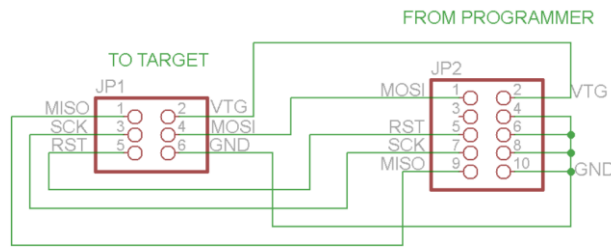
A lábkiosztás az egyes shift regiszter bemenetekkel párosítva a következőként alakul:

4.9. táblázat: Tüskesor csatlakozásai a shift regiszterekhez és a mikrovezérlőhöz [F5]

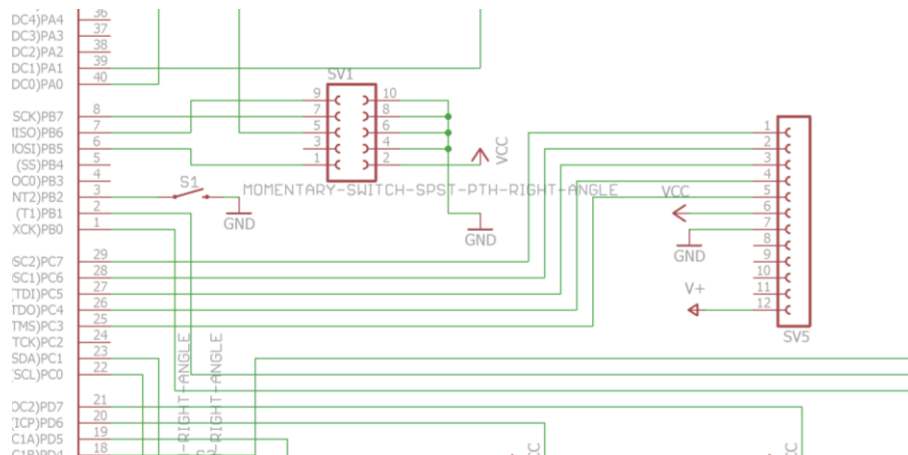
Tüskesor láb	Megnevezés	Atmega láb
1	DS	PC7
2	SHCP	PC6
3	STCP	PC5
4	OE	PC4
5	MR	PC3
6	Ut5	
7	GND	
8		
9		
10		
11		
12	Ut170	

AVR ISP:

A mikrovezérlő programozásának lehetőségét az alaplapi panelbe való behelyezését követően is fenn akartam tartani, ezért egy 2*5-ös tüskesort is elhelyeztem a NYÁK-on. A tűskék és az ATmega lábak párosítása az alábbi ábra szerint alakul:



4.16. ábra: ISP programozó lábkiosztása [26]



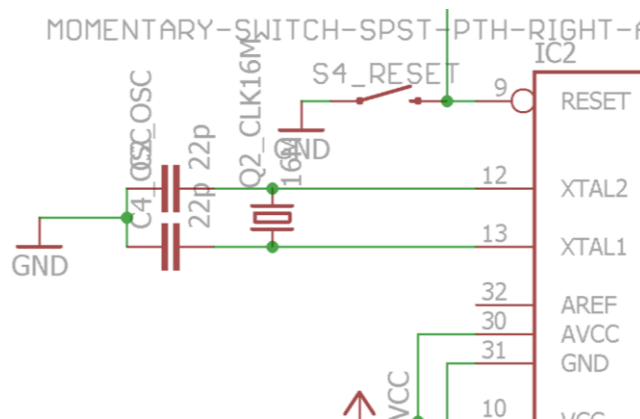
4.17. ábra: ISP csatlakozás [F3]

Oscillátor:

A mikrovezérlőnek szüksége van egy stabil frekvenciájú órajel forrásra. Legszéleskörűbben alkalmazott eljárás a kvarc oszcillátorok használata, melyek rendkívül stabil, hőmérséklettől relatíve független frekvenciával képesek rezegni, és olcsók.

Egy kvarc oszcillátor két részből áll: egy erősítőlől és egy kristályból. Az ezek alkotta hurokra kell a Barkhausen feltételeknek teljesülnie, hogy a stabil rezgés megvalósulhassék (1-es körerősítés; 0 vagy $n \cdot 2\pi$ rad fázistolás). [27]

Magam egy 16MHz-re hangolt kvarc kristályt választottam:

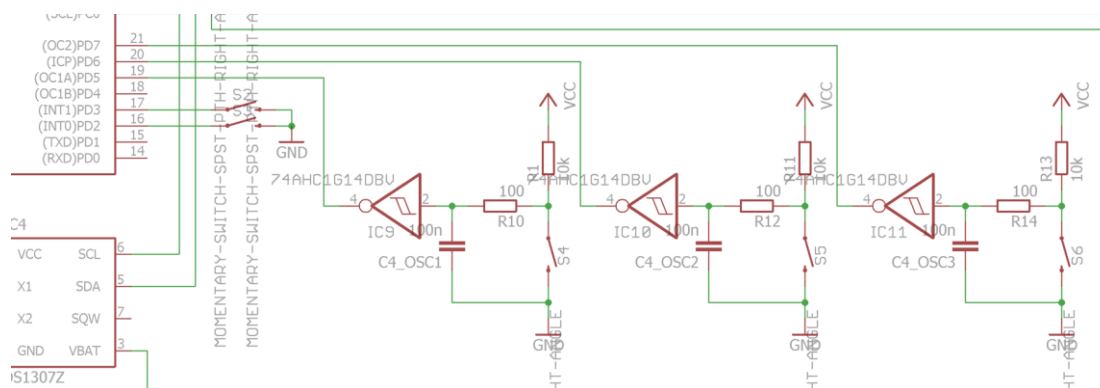


4.18. ábra: Kristály oszcillátor [F3]

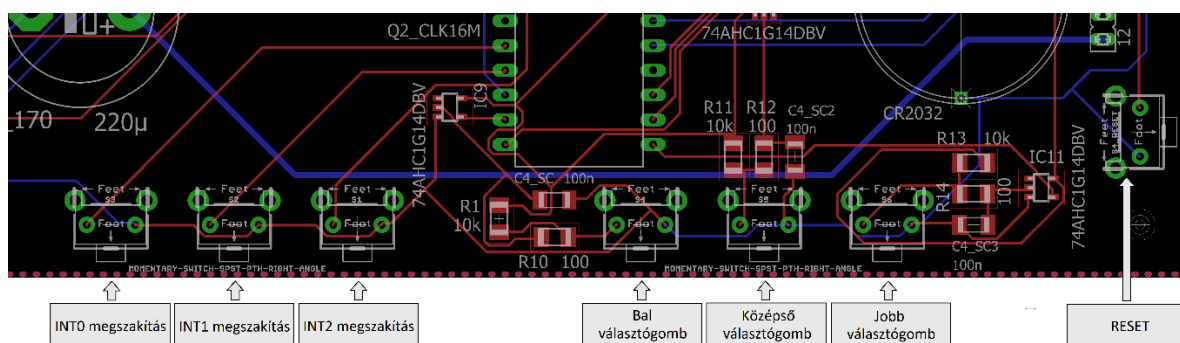
Gombok:

A dedikált, saját megszakítási vektorral rendelkező AVR lábak pergésmentesítése szoftveres (delay.h) késleltetések nélkül is könnyen megvalósítható, ezért ezeket közvetlenül a mikrokapcsolókra kötöttem.

A másik három mikrokapcsoló esetében hardveres pergésmentesítést alkalmaztam. A feladatot ellátó áramkörök egyenként két ellenállást, egy kondenzátort és egy schmitt trigger tartalmaznak. [28] Bemenetek lekezelése terén tapasztalat híján voltam amikor a kapcsolási rajzot összeállítottam, ezért alkalmaztam a hardveres pergésmentesítést. Végül ezen bemenetek lekezeléséhez késleltetéseket alkalmaztam.



4.19. ábra: Hardveresen pergésmentesített gombok [F3]



4.20. ábra: Gombok elrendezése a NYÁK-on és funkcióik [F4]

Alkatrészjegyzék:

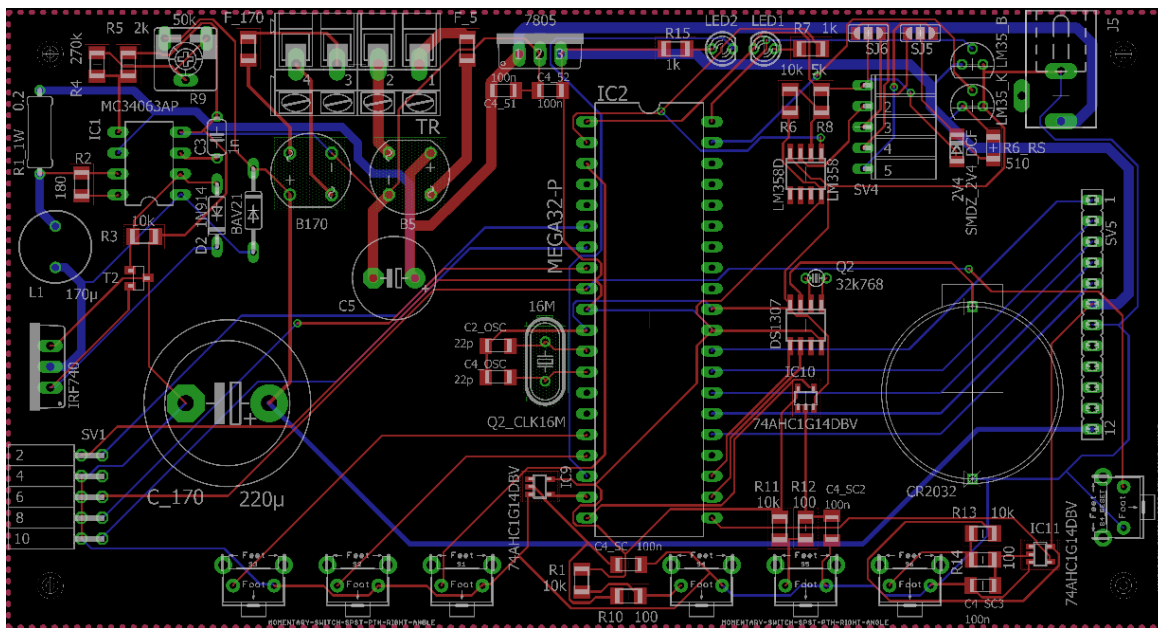
4.10. táblázat: Alkatrészjegyzék [F5]

Alkatrész	Érték	Tokozás	Név	Leírás	db
1N4148DO35-7	1N4148DO35-7	DO35-7	D2_1N914	DIODE	1
74AHC1G14DBV	74AHC1G14DBV	SOT23-5	IC9, IC10, IC11	Single Schmitt-Trigger Inverter Gate	3
7805TV	7805TV	TO220V	7805	Positive VOLTAGE REGULATOR	1
AK300/4		AK300/4	TR	CONNECTOR	1
BAV21	BAV21	DO35-10	BAV21	DIODE	1
C-EU050-024X044	1n	C050-024X044	C3	CAPACITOR, European symbol	1
C-EUC1206K	100n	C1206K	C4_51, C4_52, C4_SC, C4_SC2, C4_SC3	CAPACITOR, European symbol	5
C-EUC1206K	22p	C1206K	C2_OSC, C4_OSC	CAPACITOR, European symbol	2
CPOL-EUE10-20	220μ	EB20D	C_170	POLARIZED CAPACITOR, European symbol	1
CPOL-EUE5-10.5		E5-10,5	C5	POLARIZED CAPACITOR, European symbol	1
CR2032	CR2032	CR2032-20MM	CR2032		1
CRYSTALHC49U-V	16M	HC49U-V	Q2_CLK16M	CRYSTAL	1
CRYSTALTC26V	32k768	TC26V	Q2	CRYSTAL	1
DCJ0303		DCJ0303	J5	DC POWER JACK	1
DS1307Z	DS1307Z	SOIC8	DS1307	I2C-Bus CLOCK/CALENDAR	1
FE05-2W		FE05-2W	SV1	FEMALE HEADER	1
FE05W		FE05W	SV4	FEMALE HEADER	1
FE12-1		FE12	SV5	FEMALE HEADER	1
IRF740	IRF740	TO220BV	IRF740	N-CHANNEL MOS FET	1
LED3MM		LED3MM	LED1, LED2	LED	2
L-EU6000-XXX-RC	170μ	6000-XXXX-RC	L1	INDUCTOR, European symbol	1
LM358D	LM358D	SO08	LM358	OP AMP also LM158; LM258; LM2904	1
LM35CZ	LM35CZ	TO92	LM35_B, LM35_K	Single-Supply Centigrade Temperature Sensor	2
MC34063AP	MC34063AP	DIL08	IC1		1

MEGA32-P	MEGA32-P	DIL40	IC2	MICROCONTROLLER	1
MMBT2907ALT1-PNP-SOT23-BEC		SOT23-BEC	T2	PNP Transistor	1
MOMENTARY-SWITCH-SPST-PTH-RIGHT-ANGLE	MOMENTARY-SWITCH-SPST-PTH-RIGHT-ANGLE	TACTILE SWITCH PTH RIGHT ANGLE	S1, S2, S3, S4, S4_RESET, S5, S6	Momentary Switch (Pushbutton) - SPST	7
RECTIFIER-RB1A	RECTIFIER-RB1A	RB1A	B5, B170	Rectifier	2
R-EU_0309/10	0.2	0309/10	R1_1W	RESISTOR, European symbol	1
R-EU_M1206		M1206	F_5, F_170	RESISTOR, European symbol	2
R-EU_M1206	100	M1206	R10, R12, R14	RESISTOR, European symbol	3
R-EU_M1206	10k	M1206	R1, R3, R6, R11, R13	RESISTOR, European symbol	5
R-EU_M1206	180	M1206	R2	RESISTOR, European symbol	1
R-EU_M1206	1k	M1206	R7, R15	RESISTOR, European symbol	2
R-EU_M1206	270k	M1206	R4	RESISTOR, European symbol	1
R-EU_M1206	2k	M1206	R5	RESISTOR, European symbol	1
R-EU_M1206	5k	M1206	R8	RESISTOR, European symbol	1
R-EU_R1206	510	R1206	R6_RS	RESISTOR, European symbol	1
SJ2W		SJ_2	SJ5, SJ6	SMD solder JUMPER	2
TRIM_EU-CA6V	50k	CA6V	R9	POTENTIOMETER	1
ZENER-DIODESOD80C	2V4	SOD80C	SMDZ_2V4_DCF	Z-Diode	1

A teljes kapcsolási rajz a függelékben található. [F3]

Kész NYÁK terv:



4.21. ábra: Alaplap panel NYÁK terv [F4]

Az alkatrészeket igyekeztem az igényeiknek megfelelően elhelyezni, azaz: az esetleg jelentős teljesítményt disszipáló TO220-as tokozású eszközöket a lapos hátukkal kifelé a NYÁK szélére; illetve a foglalatban ülő IC-eket úgy, hogy később ki lehessen őket emelni helyükről.

Az autoroute parancs véghezvitele előtt a vezetősávok közül a szélesebbeket magam rajzoltam be. A szélességüket a réz vezetők áramsűrűségét [11] alapul véve választottam meg, hogy a keresztmetszetük elégséges legyen.

$$A_{5V} = \frac{I_{max}}{J_{Cu}} = \frac{0,105A}{2,5 \frac{A}{mm^2}} = 0,042mm^2$$

Ezt osztva a standard rézfólia 35 μ m vastagságával:

$$b_{5V}' = \frac{A_{5V}}{35\mu m} = \frac{0,042mm^2}{0,035mm} = 1,2mm = 47,244mil$$

Ebből fölfelé kerekítve az öt voltos tápvonal vezetősávjának szélessége:

$$b_{5V} = 50mil$$

Ugyanígy számoltam a 170V-os tápvonal szélességét is:

$$A_{170V} = \frac{0,015A}{2,5 \frac{A}{mm^2}} = 0,006mm^2$$

$$b_{170V}' = \frac{A_{170V}}{35\mu m} = \frac{0,006mm^2}{0,035mm} = 0,171mm = 6,749mil$$

Itt többet kerekítettem fölfelé:

$$b_{170V} = 24mil$$

Az LM35-ös IC-ket nem közvetlenül a panelbe terveztem forrasztani, helyette USB kábellet akartam megoldani, az IC-k lábait a vezetékek lecsupaszított végeire forrasztva. A beltéri hőmérő saját hőmérsékletének a leendő óradoboztól való függetlenítését, illetve a kinti egység nyílászáró melletti résen vagy egyéb módon a kültéri közegbe való kijuttatását.

Választott tervezési direktíváim, melyek alapján az autorouter a rajzolatot készítette:

- vezetősávok szélessége: 10 mil.
- vezetősávok, forrszemek, lyukgalvánok közti minimális hézagok: 8 mil.

Az alsó panel méretét, a furatok és a tűskesor pozícióját úgy választottam meg, hogy a fenti csővezérlő panelhez illeszkedjék.

4.2.4. Programozás

A leendő programkódot előre alprogramokra (függvényekre) bontottam, s egyenként kezdem megírni, majd kipróbálni őket a gyakorlatban. Így később a végleges programba is darabonként integráltam őket, elhárítva az épp aktuálisan felmerülő hibákat és igazítva őket egymáshoz.

Az egyes részfeladatok és kezdeti programok:

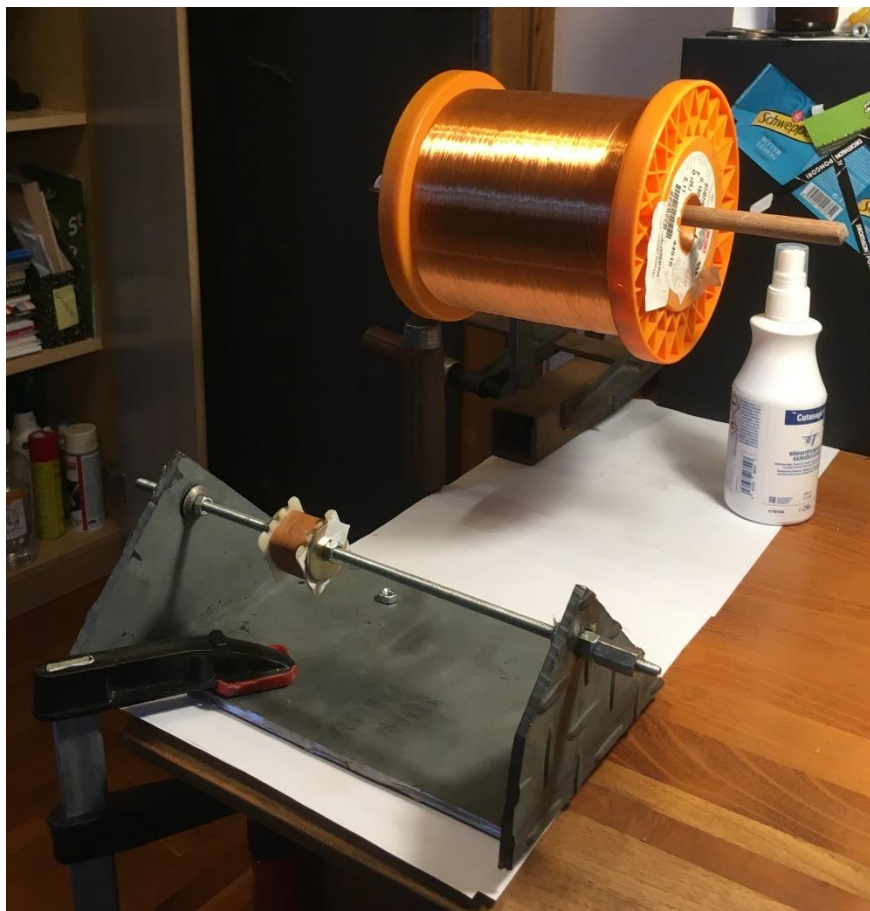
- Csővezérlés
 - Egyetlen cső vezérlése: Kimeneti lábak szimpla kapcsolatai késleltetésekkel.
 - Vezérlő panelbe épített csövek vezérlése: Bitsorok összeállítása kiírandó számoknak megfelelően; shift regiszterek vezérlése. {kellenek ezek ide?}
- Bemenetek lekezelése
 - Gombok pergesmentesítése és információ-feldolgozás
- Megszakítások
 - Időzítővel (OVF/CTC) vezérelt
 - Kívülről vezérelt
- I²C kommunikáció
 - RTC írása és olvasása
- A/D konverter
 - LM35 jelének feldolgozása
- DCF jel (ASK) dekóder
 - DCF77 vevő modul jelének feldolgozása

4.3. Megvalósítás

4.3.1. Transzformátor

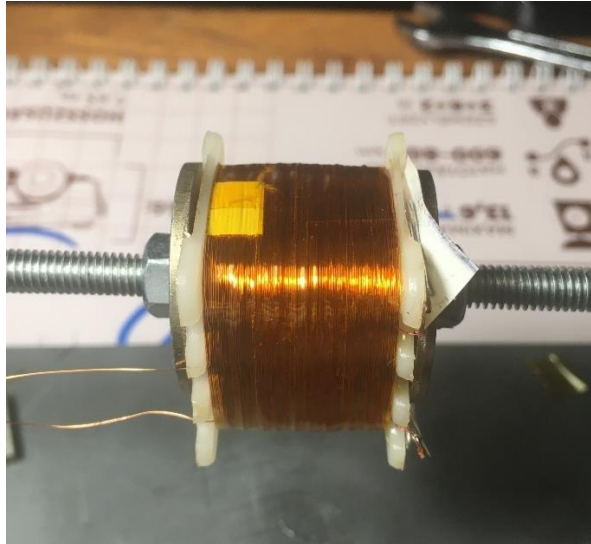
A transzformátor EI48-as lemezelt vasmaggal rendelkezik, tekercselése hengeres elrendezésű. A vasmagot megbontva és a csévetestet kiszabadítva hozzáálltam a szekunder tekercs lecsévélésének, közben számolva a meneteket. A primer tekercset borító szigetelő papírszalagot érintetlenül hagytam. Ez után előkészítettem tekercseléshez a leendő 170V-os szekunder tekercselőhuzalát és felfűztem a gépem tengelyére a csévetestet. Azért ezzel a szekunderrel kezdtem, mert a huzal – lévén vékonyabb – jobban képes a csévetesthez simulni, (ami kezdetben a sarkok kis rádiusza miatt előnyös,) valamint, ha bármelyik szekunder a későbbiekben módosításra szorulna, akkor a 71 meneteset szívesebben bontanám meg, hogy hozzáférjek az 1300 meneteshez, mint fordítva.

A tekercselőgépet [4.22. ábra] otthon, hulladékvasból szereltem össze. Mechanikus vagy egyéb számlálóval nem szereltem fel, így magamnak kellett számolnom a meneteket.



4.22. ábra: Tekercselőgép [saját kép]

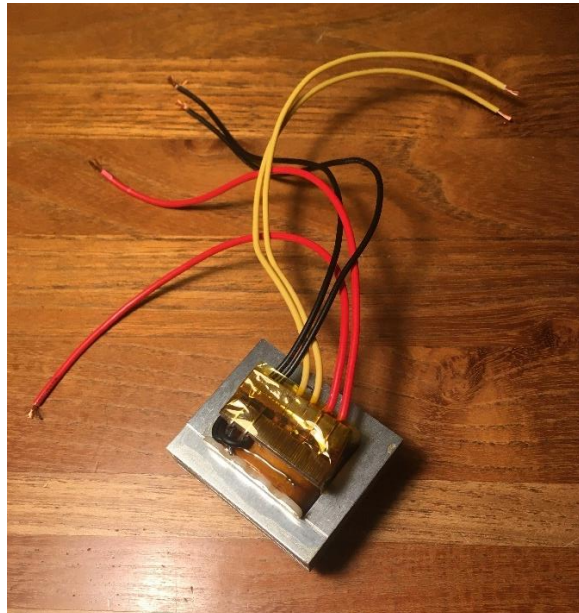
A huzalt feltekercseltem a csévetestre. A huzalvégeket óvatosan lerögzítettem, hogy ne legyenek útban a következő tekercselésnél és ne is törjenek meg. A tekercselés fölé kapton szalagból készítettem szigetelést.



4.23. ábra: A nixie táp szekundere készen [saját kép]

Következtetett a másik, 5V-os tekercs. Huzaljának a transzformátor eredeti szekunder tekercsének huzalját használtam fel. A folyamat végeztével a huzal zománcrétegének sértetlenségéről a tekercs ellenállásának mérésével igyekeztem hozzávetőleges információt nyerni. A mért érték alapján úgy tűnt, hogy nem sérült meg a lakkozás, bár ez csak igen durva ellenőrzés, egyértelműen csak a beüzemeléskor derülhetett ki egyéb vizsgálat hiányában. A tekercseket elválasztó szigetelések épségéről is meggyőződtem, ehhez a multiméteremmel megmértem az egyes tekercsek kivezetései közti ellenállást. Eredményül szakadást kaptam, ami azt mutatta, hogy a tekercsek galvanikusan nem kapcsolódnak egymáshoz.

Ezt követően a vasmag EI lemezeit elkezdtem befűzni a csévetestbe. Végül a lemezek szoros illesztése miatt satuval kellett összenyomnom őket.



4.24. ábra: Készre szerelt transzformátor [saját kép]

Ezután ellenőriztem a transzformátor működését. Elsőként az üresjárási váltakozó feszültség effektív értékét mértem meg, utána az egyenirányított, pufferkondenzátorral szűrt üresjárási feszültséget. Végül az egyenirányított, szűrt kimenetet leterheltem az alább bemutatott ellenállásokkal és feljegyeztem a pufferkondenzátorokon ezúttal mért feszültséget is.

4.11. táblázat: *Transzformátor teszteredményei* [F5]

	R_t [Ω]	u [V]	$U_{\bar{u}}$ [V]	U_t [V]
170V-os szekunder	14700	125	172	158
5V-os szekunder	94	6,8	8,6	7,2

ahol:

- R_t a terhelő ellenállás értéke
- u a szekunder feszültség effektív értéke
- $U_{\bar{u}}$ az egyenirányított üresjárási feszültség
- U_t az egyenirányított terhelt feszültség

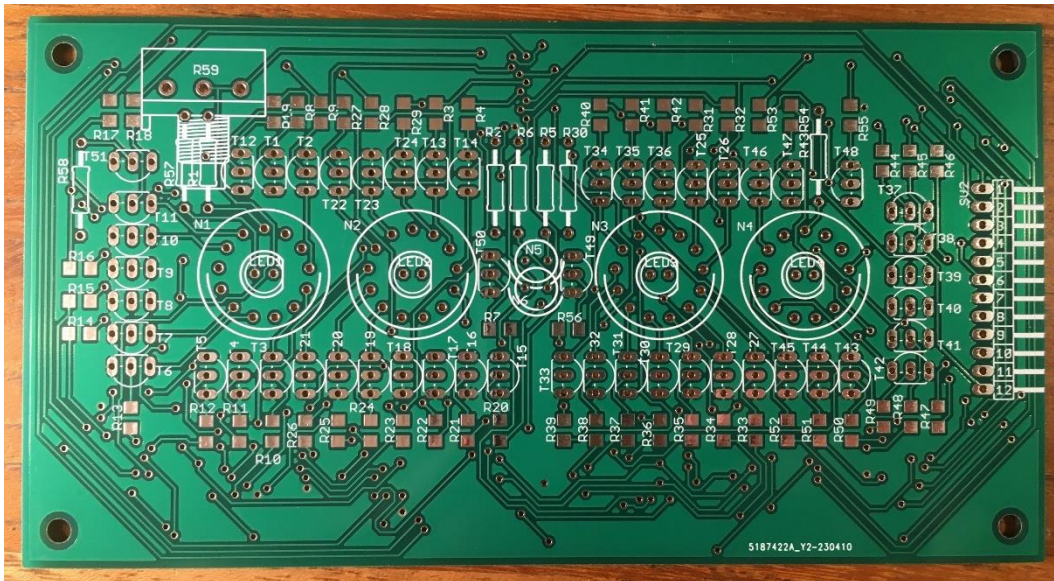
Látszik, hogy a 170V-os szekunder feszültsége bő tíz volttal lecsökkent, ez azonban – korábbi tapasztalataim alapján – nem fog a csövek üzemeltetésében feltűnő vagy zavaró hatást előidézni.

Az 5V-os szekundert nagyjából 76mA árammal terheltem le. Ez az áramfelvétel akkor valósulhat majd meg, ha a díszvilágításként szolgáló LED-eket közel bő közepes áramerősségükkel üzemeltetem. A feszültség így 1,4 volttal lecsökkent, azonban a 7805-ös IC dropout feszültsége igényelte feszültségkülönbség még így is fedezve volt.

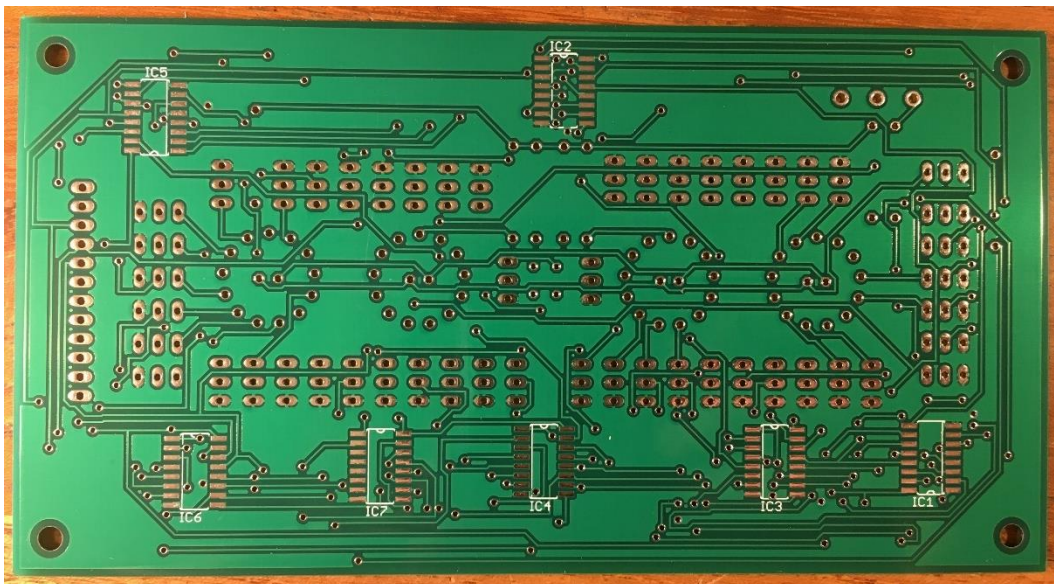
Az eredmények alapján a transzformátor vélhetően képes lesz feladatának ellátására.

4.3.2. Nyomtatott áramkör

4.3.2.1. Csővezérlő NYÁK



4.25. ábra: Csővezérlő panel, felső oldal [saját kép]



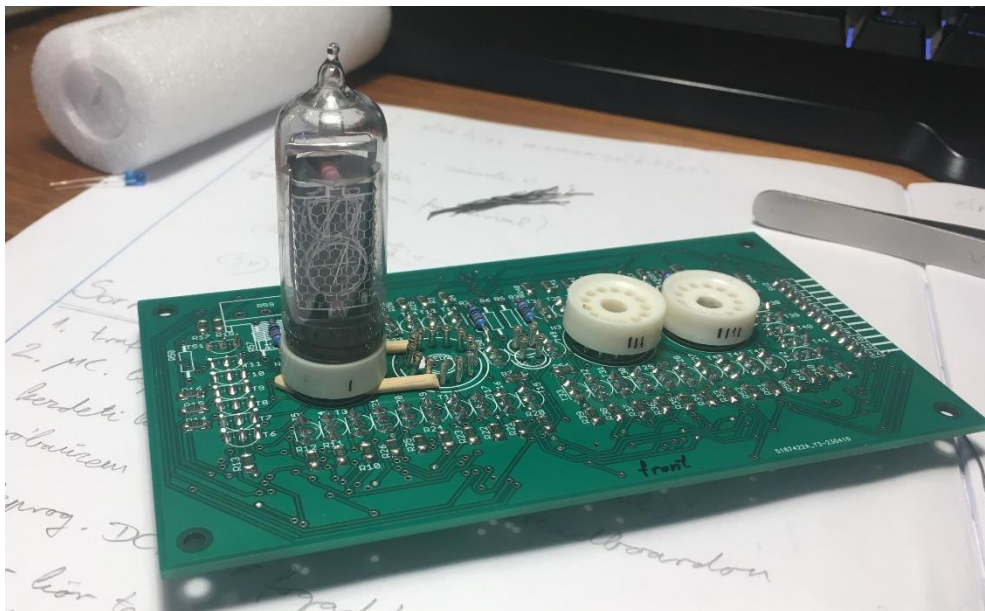
4.26. ábra: Csővezérlő panel, alsó oldal [saját kép]

Úgy határoztam, hogy a csövek cseréjét megkönnyítem azzal, hogy nem forrasztom be őket a panelbe, helyette foglalatokat készítek.

A kézhez kapott kész NYÁK lemezre felforrasztottam az alkatrészeket. A felületszerelt alkatrészekkel kezdtem, utána következtek a furatszereltek. A furatszerelt alkatrészek között elsőként – hogy még jól hozzájuk férjek – forrasztottam be a csőfoglalatokat. A foglalatokat tördelhető tűkesor aljzatokból kinyert hüvelykontaktusokból készítettem, amiket a csövekhez kapott távtartókba szúrtam bele.

Az órának a jövőben dobozt tervezek készíteni, ezért ehhez igazodtam a következő eljárásokkal:

- Az MPSA42-es tranzisztorokat végül alulról forrasztottam a NYÁK-ba, hogy a leendő doboz teteje felülől jobban megközelíthesse a lemezt. Ezzel biztosítottam, hogy a csövek teljes magasságukkal kiemelkedhessenek majd a dobozon kívülre.
- A díszvilágító kék LED-ek előtét potenciométerét és kapcsolóját nem a panelbe forrasztottam, hanem vezetékeken keresztül kötöttem őket az áramkörbe.



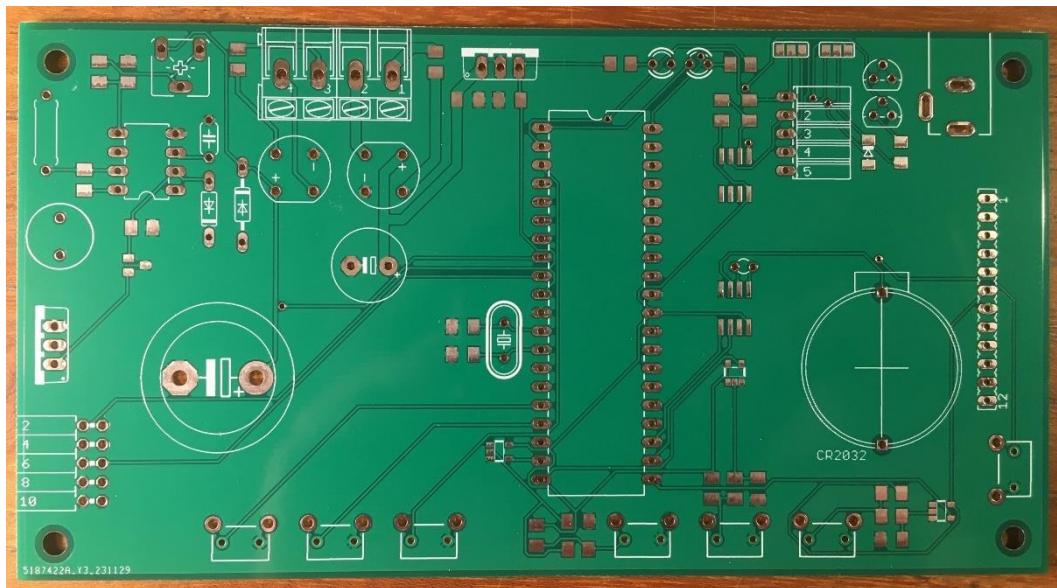
4.27. ábra: Foglalatok elkészítése [saját kép]

Azért, hogy a csövek vezetékeit ne a tövükhöz túl közel kelljen elvágnom, a fehér műanyag fészkeket távtartó pálcikákkal támasztottam alá, így 2mm-re elemelve őket a paneltől. Ezzel a csövek vezetékeit is 2-2mm-rel hosszabbra hagyhattam. A műanyag fészkeket végül olvadékragasztóval rögzítettem a panelhoz.

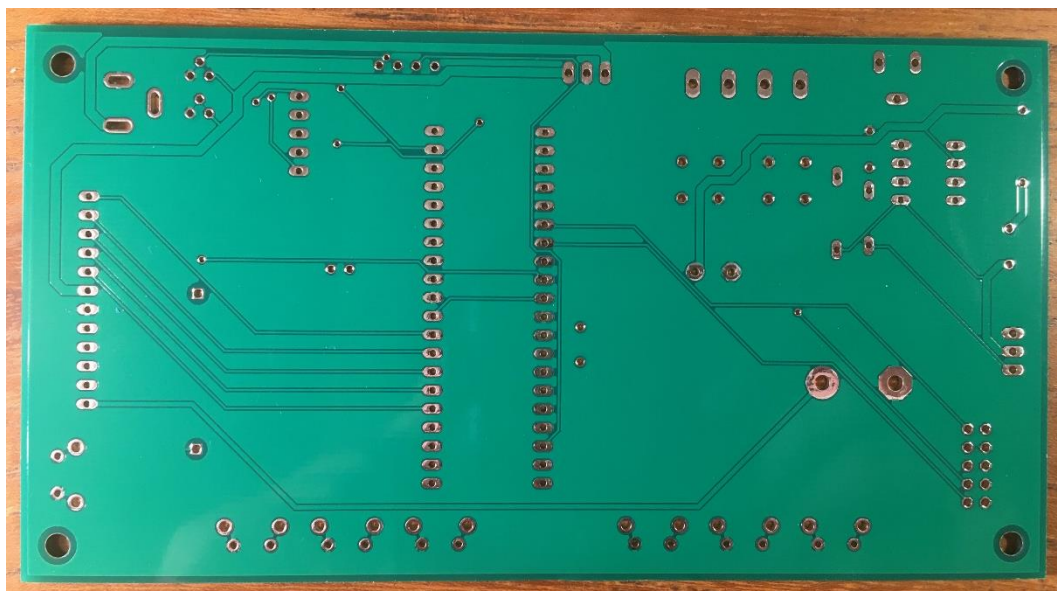
A nixie-csövek lábkiosztását tartalmazó eagle könyvtár fájlokban az IN-3-as csövek polaritása fel van cserélve, ezért a NYÁK jelenlegi állapotában polaritáshelyesen behelyezve ezeket a csöveket az elejük hátrafelé néz.

A rövidszárú 12-es tüskesort később, a két panel egyesítéséhez hosszabbra kellett cserélnem.

4.3.2.2. Alaplapi NYÁK

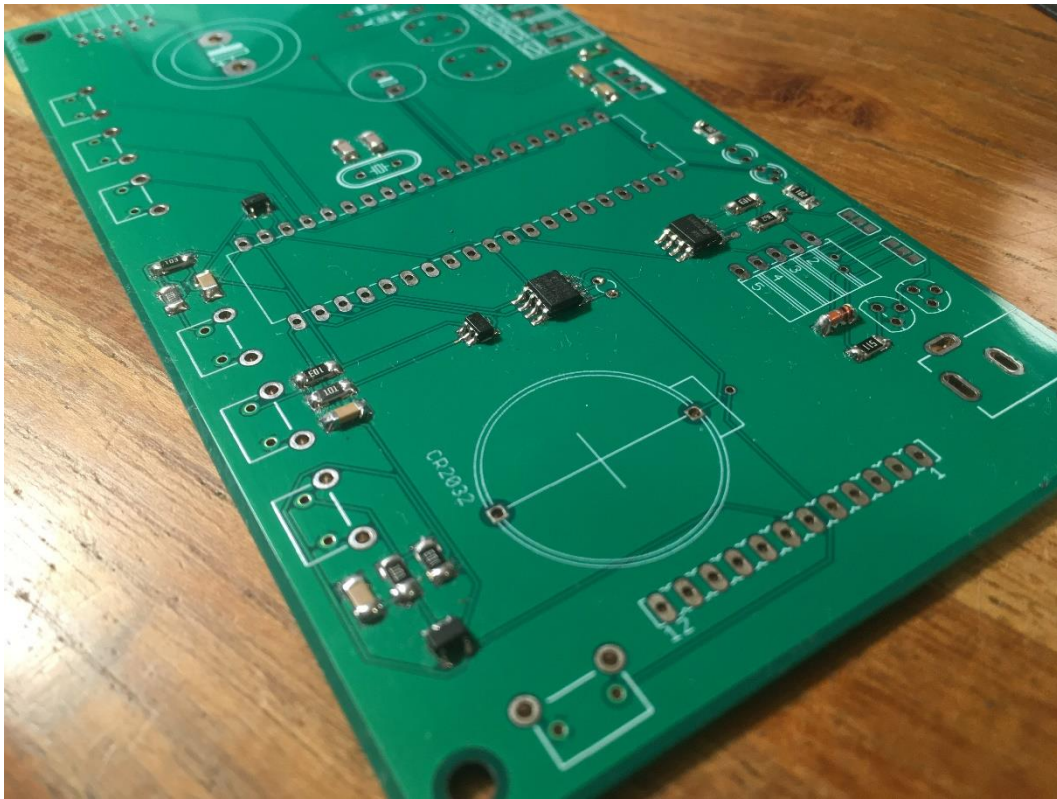


4.28. ábra: Alaplap panel, felső oldal [saját kép]



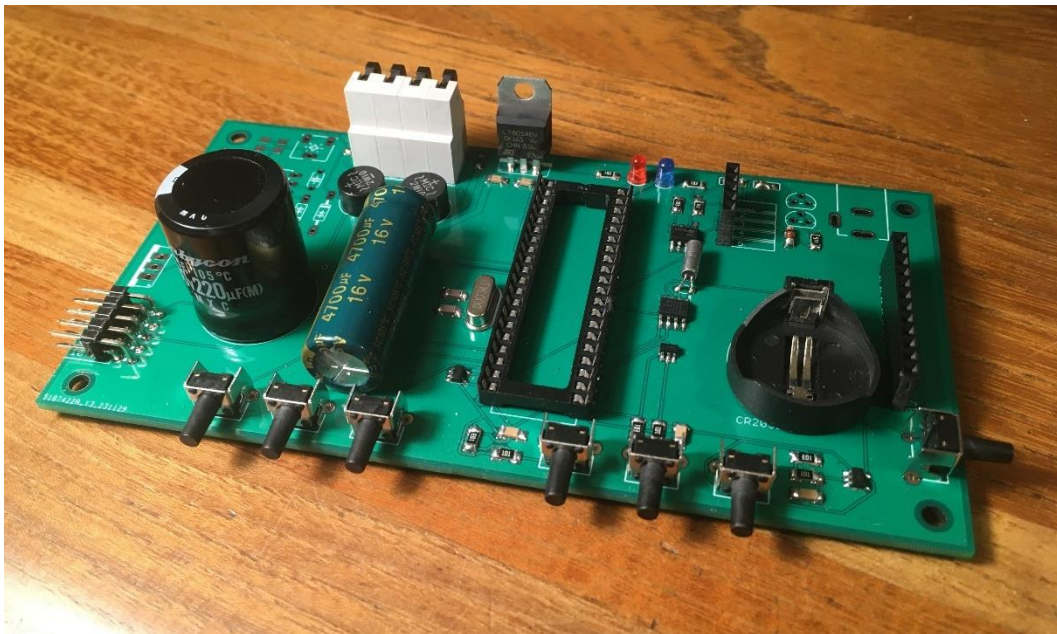
4.29. ábra: Alaplap panel, alsó oldal [saját kép]

A NYÁK lemezre felforrasztottam az alkatrészeket, természetesen itt is a felületszerelt alkatrészekkel kezdve.



4.30. ábra: SMD forrasztás [saját kép]

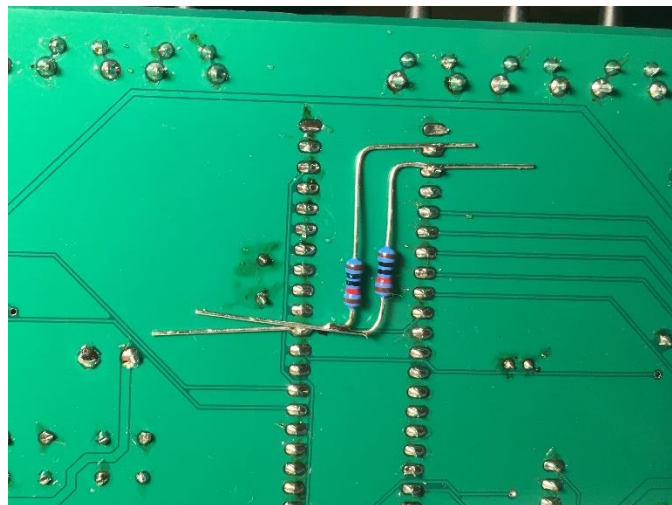
Folytatva a forrasztást, következtek a felületszerelt alkatrészek, majd az LM35 IC-k helyére 1-1 USB kábel 3-3 vezetéke, melyeknek túlsó végeire forrasztottam magukat az IC-ket.



4.31. ábra: Alsó panel [saját kép]

A mikrovezérlőt beillesztettem foglalatába, majd 3 mm menetátmérőjű metrikus csavarokkal és anyákkal rögzítettem az alsó panelhez a felsőt.

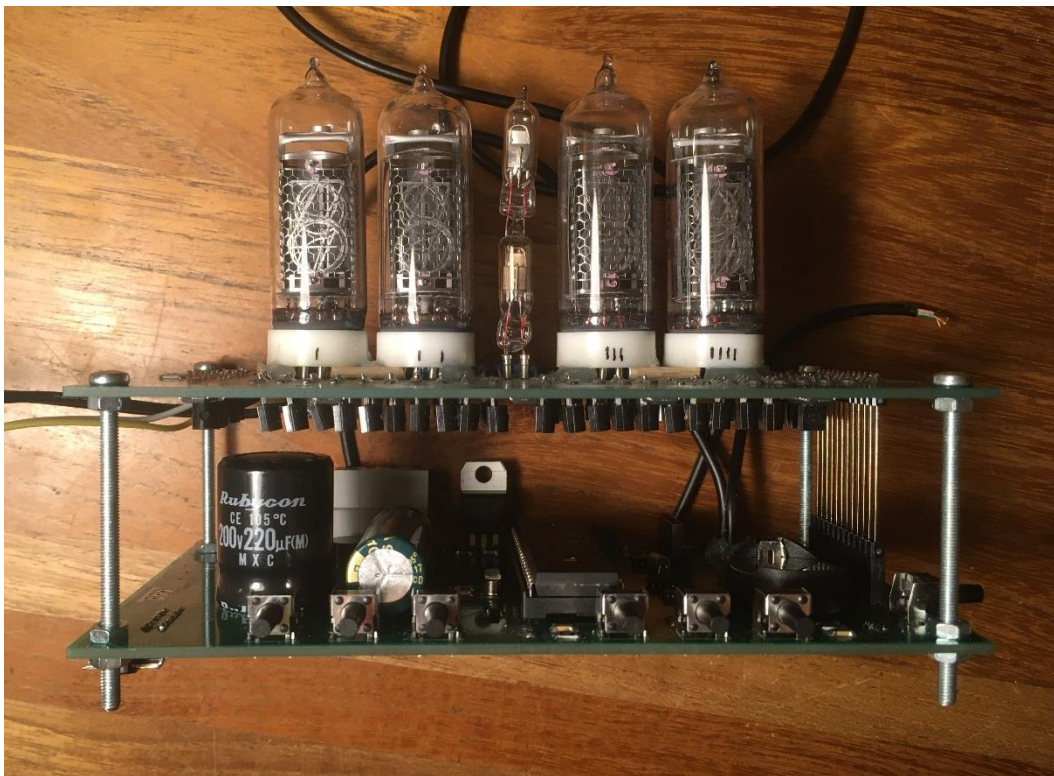
A NYÁK terven hibát vétettem, nevesül: elfelejtettem az i^2c vonalakat (SDA, SCL) ellenállásokkal felhúzni a tápfeszültségre. Ezt így utólag pótoltam felületszerelt 10k Ω -os ellenállások felforrasztásával.



4.32. ábra: Felhúzó ellenállások utólagos pótlása [saját kép]



4.33. ábra: Az óra összeszerelve [saját kép]



4.34. ábra: Az óra előlnézetből [saját kép]

4.3.3. Programozás

Az AVR-re töltött programot Microchip Studio-ban írtam és AVR ISP-vel töltöttem fel a mikrovezérlőre.

A végleges program szempontjából is jelentős alprogramok közül az első az volt, ami a számadatok kiírását végzi.

Az egyes csövekhez 12 elemű tömböket rendeltem és minden kiírási ciklusban ezeket töltöttem fel a kiírandó számnak megfelelő bitsorral. Végül sorra véve a számkijelző és a kettőspontokat reprezentáló csövek tömbjeit, a tartalmukat kikülddtem a shift regiszterek soros bemenetére. Ez az alprogram lett a kiiras() függvény. Az IN-14-es csövek lábkiosztása az Eagle könyvtárfájlban nem egyezik a valódival, ezért ezt a programkódban kellett korrigálnom.

Amikor az óra épp nem lát el egyéb feladatot, a kiírás függvényt félmásodpercenkénti időzített megszakítások alkalmával hívja meg, egyéb esetekben időzítéstől függetlenül, kívülről beolvasott gombnyomások hatására. Utóbbi esetekben a függvény az aktuális feladatnak megfelelő adatokat kapja meg értékátadással, s azokat írja ki.

Külön függvénykollekció látja el az i²c kommunikáció feladatát az RTC modullal. Az RTC modul binárisan kódolt decimális formátumban kezeli az adatokat.

A DCF modulról beérkező jeleket egy négy darabból összeálló függvényegyüttes dolgozza fel. Az idő adatok lekérdezése gombnyomással indítható. Ezek közül az első a polling(), amely maximum 2-3 másodpercig folyamatosan mintavételezi a jelet és a másodpercenkénti mintavételi ciklusok elejét a bejövő modulációk kezdetéhez szinkronizálja.

Ezt követi az elővizsgálati `dcf_ev()` függvény. Ez több feladatot lát el, többek közt a polling által meghatározott szinkron időzítését vizsgálja felül, ellenőrzi, hogy általa valóban kiértékelhető jeleket rögzít-e. Ehhez három egymást követő periódus impulzusait vizsgálja meg. Ha az adatok nem kiértékelhetők, akkor a program visszatér a polling függvényre, ha viszont igen, akkor megvizsgálja, hogy a három periódus tartalmazott-e percszinkront. Itt újabb elágazás következik. Meglévő percszinron esetén máris indulhat az adatrögzítés, ellenkező esetben pedig a percszinkron vadászat. Utóbbi azt jelenti, hogy addig várakozunk és vizsgáljuk az egyes periódusok adattartalmát, míg rá nem akadunk a percszinkronra (ami a modulálatlan periódus, egy 0-s bittel kísérve). Ez után értelemszerűen szintén kezdődhet az adatrögzítés.

Az óra külső megszakításai „alapjáraton” mind aktívak és mind egy-egy menüt nyit meg.

4.12. táblázat: Megszakítások és menük párosítása [F5]

INT0	hőmérséklet kijelzése
INT1	idő menü
INT2	dátum menü

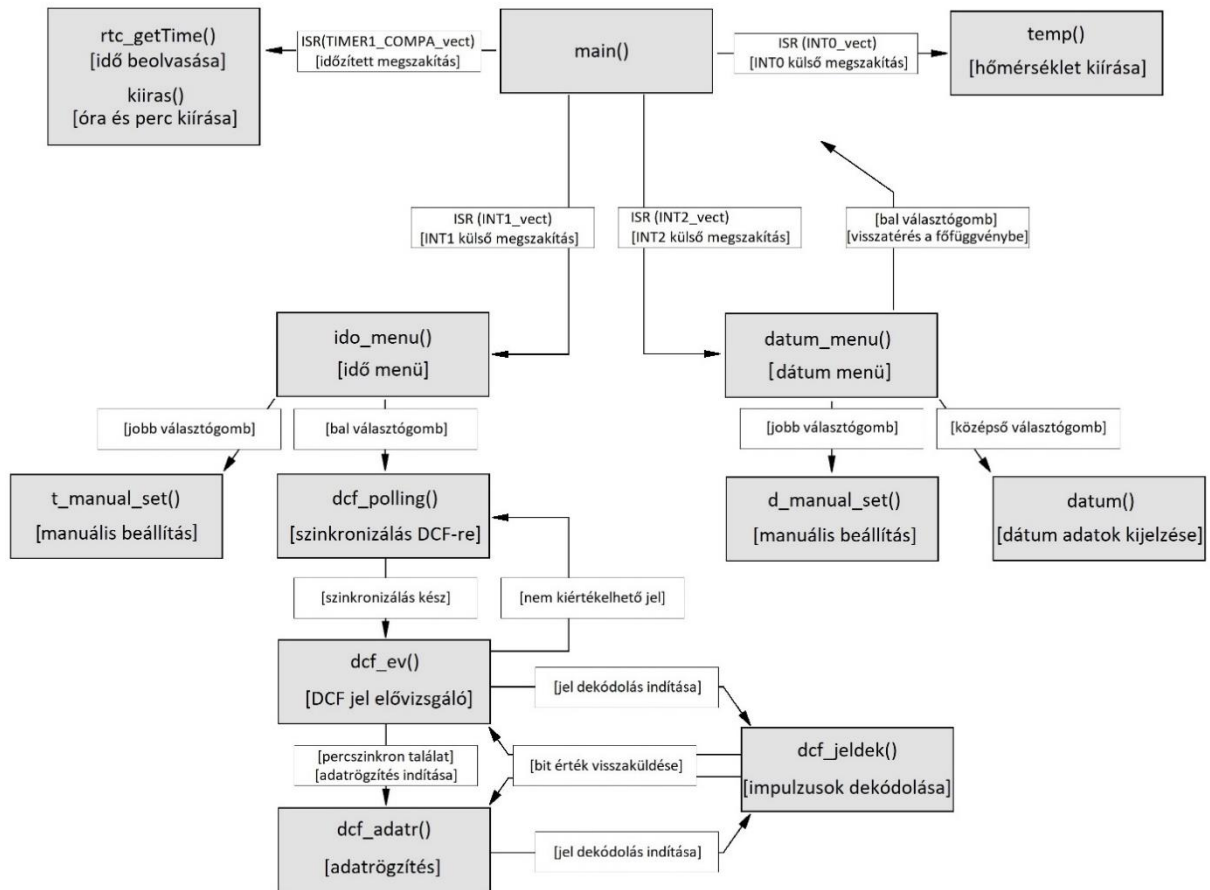
Az idő menüt megnyitva három lehetőségünk van: az idő manuális beállítása; perc és másodperc kiírása; idő frissítése a DCF77 jelének segítségével.

A manuális beállítás a másik (jobb oldali) három gomb működtetésével lehetséges. Ezek funkciói a következők: aktuálisan kiválasztott számjegy növelése; számjegy csökkentése; lépés a következő számjegyre, illetve kilépés a menüből a sor végére érve. A folyamat végén a megadott idő adat beíródik az RTC-be.

A dátum menüt megnyitva a hónap és nap jelenik meg. Jobb oldali választógombbal a dátum manuális beállítása menüpont nyílik meg, ahol a navigáció az idő menü manuális beállítás pontjával egyezően zajlik. A középső választógomb nyomására sorban egymást követően iratható ki, hogy a hét melyik napja van és az év.

Hőmérséklet menü. A menüt megnyitva a külső hőmérséklet íródik ki, középső választógomb nyomására a belső hőmérséklet.

A programkód '.c' fájlja jelenlegi (még fejlesztésre szoruló) formájában a függelékben található. [F6]



4.35. ábra: Egyszerűsített programvázlat

5. Összegzés

Egy nixie-csőves óra alapjairól való megépítése sok éven át halasztott tervem volt már, amit azóta meg akartam valósítani, hogy egyszer internetes keresgéléseim alkalmával szembejött velem.

Mint azt korábban kifejtettem, a céloom nem egy sorozatgyártásra szánt termék készítése volt, sokkal inkább, hogy magamnak, saját felhasználásra alkossak egy eszközt. Bár az ötlet, hogy vállalkozást alapítsak aminek kereteiben esetleg nixie-csőves órákat gyártok tagadhatatlanul imponáló, mégsem lehet eltekinteni attól a sok piaci riválistól akik jelen vannak, valamint attól, hogy az ilyen termékek iránti kereslet nem jelentős, nem beszélve a régi nixie-csővek egyre kifutó elfekvő készleteiről, vagy a manapság gyártott új csövek áráról.

A projekt megvalósítása előtt határoznom kellett afelől, hogy milyen funkciókkal akarom felruházni a leendő órát. Majd minden beépítendő alkatrész, illetve megvalósítandó funkció felől a magam preferenciái és ízlése szerint határoztam, tehát szem előtt nem tartva a költséghatékonyságot, hatásfokot és hasonló szempontokat.

Így köteleztem el magam a transzformátor, a DCF77 modul, no meg persze maguk a nixie-csővek használata mellett.

Legnagyobb kihívásként – amivel a megvalósítás alatt szembesülnöm kellett – az óra két részegységét említeném, ezek a transzformátor építése és a mikrovezérlő használata (és beprogramozása) voltak.

Mivel a transzformátorok használata a kisteljesítményű háztartási elektromos berendezések tápellátása terén manapság nem bírnak azzal a relevanciával mint egykor, és az építésüket tárgyaló szakirodalom nagyon összetett, így – részben a rendelkezésemre álló idő szűkössége miatt – egy rövid útmutatóra kellett hagyatkoynom. Az összerakott transzformátor végül a várakozásaimnak eleget téve hibátlanul működött és kiváló tápforrásnak bizonyult.

A projekt megvalósításának kereteiben programoztam elsőként AVR mikrovezérlőt. A feladat megvalósításához az AVR adatlapja mellett útmutató videókból és konkrét problémák megoldását célzó internetes fórumokból tájékozódtam. A C nyelvű programozás alapjait az egyetemen sajátítottam el.

A program főbb részei működési elveinek vegyes és olykor kiforratlan terveim szabtak kezdeti irányt, de legtöbbjük végül működőképesnek bizonyult. (Itt az időzített- illetve a külső megszakítások használatára, továbbá a DCF77 jelének mintavételezéssel megoldott átlagképzéses dekódolására és hasonlókra utalok.)

A DCF77 rádiójel használatától óvva intettek a befogásának nehézségei miatt. Végül – bár a vevőantenna ide-oda mozgatását valóban igényli olykor – úgy találtam, hogy a jelző LED villogásának figyelésével átlag körülmények között elég jól befogható a jel.

A nyomtatott áramkörök tervezése szintén olyan része volt a megvalósításnak amiben tapasztalatot akartam szerezni. Bár terveztem már NYÁK-ot, alkalmanként most mégis kitértem olyan részletekre is, amire korábban nem (pl.: vezetősávok és hézagok szélességei, stb).

A megvalósítást nem előzte meg kellően átgondolt tervezés, ezért a végeredményt áttekintve sok hibám tetten érhető, mégis jó lehetőséget nyújtottak, hogy tanuljak általuk. A vétett hibák némelyike jelen NYÁK lemezek használata mellett nem javítható (pl. forrszemek hibás elhelyezése; kihagyott alkatrészek), mások annál inkább (pl.: programhibák).

A folyamat ami alatt az órát elkészítettem elég sok olyan tapasztalattal gazdagodtam, amit szándékomban állt elsajátítani. Arra is jó lehetőséget kínált a projekt, hogy az egyetemen szerzett ismereteimet kamatoztassam.

6. Summary

Creating a nixie-clock out of scratch has been something I wanted to do for many years now, ever since I've seen one sometime wandering on the internet.

As I've mentioned before, my goal wasn't to create something for mass production, rather to create something for myself to use. Even though it would be preferable for me to build a firm myself and maybe manufacture nixie-clocks, there are many rival participants in the market to compete with and the demand along people is clearly only a narrow band of them, not to mention the continuously declining stocks of old nixie-tubes or the price of new ones manufactured today.

Before beginning to execute the project I had to decide what capabilities I want the clock to have. Almost every part or feature I've chosen to build into it was according to my preferences and my taste, so then again: not to be cost- or power efficient.

This is how I ended up with using a transformer and the DCF77 receiver module (along the nixie-tubes of course).

The two units of the clock's parts that were the most challenging to build, handle and finalize, were the transformer and the microcontroller.

Since transformers are getting less and less relevant on the field of powering small performance household items these days and the literatures that explain the building of them are very complex, I relied on some simplified, short tutorial (partly because of my time being short).

The transformer turned out to work flawlessly, it makes an excellent power source.

It was the first time for me to program an AVR microcontroller. To complete the task, besides relying on the AVR's datasheet I've also watched tutorial videos and read about specific solutions on forums. The basics for programming in C language I've also learned at the university.

The software's main principles made a diffuse collection of ideas in my plans initially, but most of them turned out to be functional at the end. Here I'm referring to the usage of timer triggered- and external interrupts; radio signal's decoding via sampling and average value calculation and so on.

I was warned about the difficulties of receiving the DCF77's radio signal. At the end, even though it really requires some moving around of the device, but while paying attention to the indicator LED's blinking it is quite possible and well usable in average circumstances.

Designing circuit boards was just another part of the process at which I wanted to gain some experience and even though I have done it before, there were some occasions when I had to apply solutions that I haven't before (e.g.: calculate the width of signal lines and clearances).

The materializing wasn't preceded by a deliberate enough planning, therefore there are many mistakes to be seen, still, it was a good way to gain some experience. Some of the mistakes can't be fixed using the presented circuit boards (e.g.: misplacement of some soldering points; omitted components) and some can be fixed in the future (e.g.: software issues).

The process it took me to create this device gave me quite some experience that I was hoping to acquire. It was also a very good possibility to apply the knowledge that the university granted me to get.

7. Irodalomjegyzék

- [1] Bozó Balázs: A nixie cső és a nixiecsöves óra
link: <http://www.elektroncso.hu/cikkek/nixie.php#0>
- [2] Physikalisch-Technische Bundesanstalt National Metrology Institute: DCF
link: https://www.ptb.de/cms/en/ptb/fachabteilungen/abt4/fb-44/ag-442/dissemination-of-legal-time/dcf77.html?fbclid=IwAR34O_9KQIURyhwhz-Hybxqgu_LW9ID5BkJ9VUJwSllas3bhkjHyuaiyMs0g
- [3] Microchip: ATmega32 adatlap
link: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc2503.pdf>
- [4] DigiKey: Enabling Timekeeping Function and Prolonging Battery Life in Low Power Systems
link: <https://www.digikey.com/en/articles/enabling-timekeeping-function-and-prolonging-battery-life-in-low-power-systems>
- [5] Dr. Oláh Ferenc - Dr. Rózsa Gábor: VILLAMOSENERGIA-ELLÁTÁS
link: http://www.sze.hu/~jager/Rendszerek_Energiaellatasa/villamosenergia-ellatas.pdf
- [6] Dr. Pödör Bálint: Érzékelők I. Hőmérséklet érzékelők I.
link: http://mti.kvk.uni-obuda.hu/adat/tananyag/sensor/erzekelok_04.pdf
- [7] Zalotay Péter: Digitális Technika I.
- [8] Czentrár Ákos: PC tápegységek vizsgálata és tervezése
link: <http://midra.uni-miskolc.hu/document/30905/26917.pdf>
- [9] National Semiconductor LM35 hőszenzor adatlap
link: <https://d25vv4z8gtre3w.cloudfront.net/fajlcsatolas/1754.pdf>
- [10] NXP 74HC595 shift regiszter adatlap
link: https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT595.pdf
- [11] Dr. Kiss László: Egyfázisú hálózati kistranszformátorok méretezése
link: <https://docplayer.hu/8354747-Egyfazisu-halozati-kistranszformatorok-meretezese.html>
- [12] ST Microelectronics L7805 lineáris feszültségszabályzó adatlap
link: <https://d25vv4z8gtre3w.cloudfront.net/fajlcsatolas/3145.pdf>
- [13] Dr. Nemes József: Egyenirányító áramkörök, tápegységek
link: https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciai_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/6_0917_037_101115.pdf
- [14] Gergely István: Elektrotechnika
link: <https://www.scribd.com/document/480910141/Gergely-Istvan-Elektrotechnika-pdf>
- [15] Газотрон ИИ-14 adatlap
link: https://www.tube-tester.com/sites/nixie/dat_arch/IN-14_01.pdf

- [16] Газотрон ИИ-3 adatlap
link: https://www.tube-tester.com/sites/nixie/dat_arch/IN-3.pdf
- [17] ST Microelectronics LM358 műveleti erősítő adatlap
link: <https://d25vv4z8gtre3w.cloudfront.net/fajlcsatolas/3668.pdf>
- [18] Vishay TZM Zener diódák adatlapja
link: <https://www.vishay.com/docs/84122/tzm.pdf>
- [19] ON Semiconductor MPSA42 tranzistor adatlapja
link: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/mpsa42-d.pdf>
- [20] Luckylight 5mm LED adatlapja
link: <https://www.luckylight.cn/media/component/data-sheet/504BC2V-B4-2BD.pdf>
- [21] ON Semiconductor MC34063A vezérlő IC adatlapja
link: <https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/mc34063a-d.pdf>
- [22] MC34063 feszültségnövelő áramkör 'active pull up' kiegészítés
link: <https://threeneurons.wordpress.com/nixie-power-supply/>
- [23] Pollin DCF77 vevőmodul adatlapja
link: <https://www.pollin.de/productdownloads/D810054B.PDF>
- [24] Dr Iváncsyné Csepesz Erzsébet: Elektronika I.
link: https://elearning.uni-obuda.hu/edt/pluginfile.php/216/mod_resource/content/1/ELEKTRONIKA_I_ICSE_OE.pdf
- [25] Dallas Semiconductor DS1307 RTC modul adatlapja
link: <https://d25vv4z8gtre3w.cloudfront.net/fajlcsatolas/999.pdf>
- [26] OLIMEX AVR ISP programozó adatlapja
link: <https://www.olimex.com/Products/AVR/Programmers/AVR-ISP-MK2/resources/AVR-ISP-MK2.pdf>
- [27] Microchip: Selecting and Testing 32 KHz Crystal Oscillators for AVR® Microcontrollers adatlap
link: https://ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/AN2648-Selecting_Testing-32KHz-Crystal-Osc-for-AVR-MCUs-00002648B.pdf
- [28] Jack G. Ganssle: A Guide to Debouncing útmutató
link: <https://my.eng.utah.edu/~cs5780/debouncing.pdf>

8. Ábrajegyzék

- 2.1. ábra: Blokkvázlat
- 3.1. ábra: Gazotron IN-14 (Газотрон ИИ-14) nixie-cső
[<https://www.tube-tester.com/sites/nixie/data/in-14/in-14.htm>]
[2023.11.12.]
- 3.2. ábra: Gazotron IN-3 (Газотрон ИИ-3) neon jelzőlámpa
[<https://www.ebay.com/itm/255723168517>]
[2023.11.12.]
- 3.3. ábra: DCF77 idő kód
[<https://www.ptb.de/cms/en/ptb/fachabteilungen/abt4/fb-44/ag-442/dissemination-of-legal-time/dcf77/dcf77-time-code.html>]
[2023.11.05.]
- 3.4. ábra: Pollin DCF-Empfangsmodul DCF1 vevőmodul
[<https://www.pollin.de/p/dcf-empfangsmodul-dcf1-810054>]
[2023.11.05.]
- 3.5. ábra: Microchip ATmega32A (PDIP) mikrovezérlő
[<https://www.component7.com/atmega32a-pu>]
[2023.11.07.]
- 3.6. ábra: Dallas Semiconductor DS1307 (SOIC)
[https://www.ventor.co.in/images/medium/DS1307-SMD_MED.jpg]
[2023.10.26.]
- 3.7. ábra: Újratekercselt transzformátorom
[saját kép]
- 3.8. ábra: LM35 blokkvázlat [9]
- 3.9. ábra: National Semiconductor LM35DZ (TO-92)
[<https://hu.szks-kuongshun.com/uploads/201810680/original-lm35dz-lm35-to-92-temperature-sensor08538220417.jpg>]
[2023.11.16.]
- 3.10. ábra: NXP 74HC595D (SO16)
[<https://hu.szks-kuongshun.com/uploads/201810680/original-lm35dz-lm35-to-92-temperature-sensor08538220417.jpg>]
[2023.11.16.]
- 3.11. ábra: 74HC595 lábkiosztás [10]
- 3.12. ábra: ON Semiconductor MC34063 (DIP8)
[<https://sharvielectronics.com/product/mc34063-ic-dc-to-dc-converter-ic/>]
[2023.12.27.]
- 4.1. ábra: Transzformátor vasmagjának méretei [11]

- 4.2. ábra: Csővezérlő NYÁK kapcsolási rajzának részlete, bemenetek, shift regiszterek és IN-14-es csövek kapcsolódásai [F1]
- 4.3. ábra: Shift regiszter és a tranzisztorok kapcsolódása [F1]
- 4.4. ábra: IN-14-es cső előtétellenállása (itt R2) [F1]
- 4.5. ábra: IN-3-as csövek előtétellenállásai (R6 és R5) [F1]
- 4.6. ábra: LED-ek kapcsolása [F1]
- 4.7. ábra: Csővezérlő NYÁK terv [F2]
- 4.8. ábra: ATmega32 maximális feszültség és áram adatai [3]
- 4.9. ábra: Tápegység [F3]
- 4.10. ábra: MC34063A '9a' alapkapcsolás [21]
- 4.11. ábra: 'Active pull down' kiegészítés (pirossal jelölve) [22]
- 4.12. ábra: Kapcsolóüzemű táp kapcsolási rajza [F3]
- 4.13. ábra: DCF77 vevőmodul áramköre, csatlakozása [F3]
- 4.14. ábra: LM35-ös szenzorok [F3]
- 4.15. ábra: RTC modul csatlakozásai [F3]
- 4.16. ábra: ISP programozó lábkiosztása [26]
- 4.17. ábra: ISP csatlakozás [F3]
- 4.18. ábra: Kristály oszcillátor [F3]
- 4.19. ábra: Hardveresen pergésmentesített gombok [F3]
- 4.20. ábra: Gombok elrendezése a NYÁK-on és funkcióik [F4]
- 4.21. ábra: Alaplap panel NYÁK terv [F4]
- 4.22. ábra: Tekercselőgép [saját kép]
- 4.23. ábra: A nixie táp szekundere készen [saját kép]
- 4.24. ábra: Készre szerelt transzformátor [saját kép]
- 4.25. ábra: Csővezérlő panel, felső oldal [saját kép]
- 4.26. ábra: Csővezérlő panel, alsó oldal [saját kép]
- 4.27. ábra: Foglalatok elkészítése [saját kép]
- 4.28. ábra: Alaplap panel, felső oldal [saját kép]
- 4.29. ábra: Alaplap panel, alsó oldal [saját kép]
- 4.30. ábra: SMD forrasztás [saját kép]

- 4.31. ábra: Alsó panel [saját kép]
- 4.32. ábra: Felhúzó ellenállások utólagos pótlása [saját kép]
- 4.33. ábra: Az óra összeszerelve [saját kép]
- 4.34. ábra: Az óra előlnézete [saját kép]
- 4.35. ábra: Egyszerűsített programvázlat

9. Függelék

- [F1] Csővezérlő panel kapcsolási rajza
NCsO_csv_kapcsolási rajz_800dpi
- [F2] Csővezérlő panel NYÁK terv
NCsO_csv_NYÁK terv_1500dpi.png
- [F3] Alaplap panel kapcsolási rajza
NCsO_al_kapcsolási rajz_800dpi.png
- [F4] Alaplap panel NYÁK terv
NCsO_al_NYÁK terv_1500dpi.png
- [F5] Adattáblák
NCsO_táblázatok.xlsx
- [F6] Programkód
main.c