



SZAKDOLGOZAT FELADAT

Berta Máté (HPD5LB)

Villamosmérnök hallgató részére

Talaj nedvességtartalom mérés IoT eszközzel

Manapság népszerű kutatási, fejlesztési terület az IoT. Ezen belül is nagy népszerűségnek örvendenek a különféle otthon automatizálási megoldások. A hallgató feladata is ebbe a témakörbe illeszkedik egy automatizált kerti öntözőrendszerhez tartozó mérőegység megtervezésével. Az egységgel szemben további elvárás, hogy illeszkedjen a hallgató önálló laboratórium feladatában tervezett rendszerbe, a méréseket adott időközönként és módon végezze, a gyűjtött adatokat a rendszer központi egysége felé továbbítsa.

A feladat első része a mérőegység rendszertervének elkészítése, figyelembe véve a már meglévő rendszerbe történő illesztés támasztotta követelményeket. Ennek része a megfelelő perifériák (például rádiós kommunikációhoz, beavatkozó szervhez) kiválasztása, a mérési adatok megfelelő formátumra hozása, a mérőegység villamosenergia igényének figyelembevétele (becslés akkumulátoros üzemidőre), költségszámítás és az elosztott szenzorhálózatba építés realizálásának mérlegelése.

A hallgató feladatának – a fentiek felül – a következőkre kell kiterjednie:

- Szakirodalmi kutatás a talaj nedvességtartalom kapacitív elven történő méréséről
- Kapacitív szenzor kiválasztása
- A választott szenzorhoz különböző vizsgáló jeleket létrehozó áramkörök illesztése
- Kapcsolási rajz készítés
- NYÁK terv készítés
- Az elkészült áramkör bemérése, élesztése
- A mérőegység feldolgozó egységére beágyazott szoftver készítése
- Kalibrációs mérés a szakirodalomban is megtalálható módszerek segítségével
- A központi egység szoftverében módosítások végzése a mért adatok rendszerezett megtekinthetőségére elérése érdekében

Tanszéki konzulens: Naszály Gábor, mestertanár

Budapest, 2020.10.10.

.....
Dr. Dabóczi Tamás
tanszékvezető
egyetemi tanár, DSc

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Berta Máté

TALAJ NEDVESSÉGTARTALOM MÉRÉS IOT ESZKÖZZEL

KONZULENS

Naszály Gábor

BUDAPEST, 2020

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	7
1.1	Otthon automatizálás kertkapcsolatos házakban.....	7
1.2	Öntöző rendszer bemutatása	7
2	Mérési elv	10
2.1	Kapacitív talaj nedvességtartalom mérés	10
2.1.1	Fizikai jelenség.....	10
2.1.2	Kapacitív szenzor mérési elve.....	10
2.1.3	Szenzort kiegészítő áramkörök szerepe	10
3	Hardver tervezés	11
3.1	Elvi kapcsolási rajz egységek.....	11
3.1.1	Mágnesszelep működése elve	11
3.1.2	Mágnesszelep vezérlése	13
3.1.3	Kliens tápellátása	15
3.1.4	Bemeneti feszültség védelmei.....	15
3.1.5	Akkumulátor töltő áramkör.....	16
3.1.6	Szabályozott tápfeszültség előállítása	17
3.1.7	Programozó interface	18
3.1.8	Méréshez szükséges csatlakozó	19
3.2	NYÁK terv	20
4	Szoftver tervezés	20
4.1	Kliens beágyazott szoftvere	20
4.2	Központi egység szoftvere	20
5	Irodalomjegyzék.....	21
6	Függelék.....	22

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Berta Máté, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy hitelesített felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Kelt: Budapest, 2020. 11. 11.

.....
Berta Máté

Összefoglaló

Ide jön a ½-1 oldalas magyar nyelvű összefoglaló, melynek szövege a Diplomaterv Portálra külön is feltöltésre kerül.

Abstract

Ide jön a ½-1 oldalas angol nyelvű összefoglaló, amelynek szövege a Diplomaterv Portálra külön is feltöltésre kerül.

1 Bevezetés

1.1 Otthon automatizálás kertkapcsolatos házakban

Az otthonainkban egyre jobban betörő IoT eszközök megváltoztatják elvárásainkat háztartási eszközeinkkel szemben. Az „smart” jelzővel ellátott használati tárgyaink száma egyre nő, melyek gyakran, egyes kényelmi funkciókon túl, távoli elérést tesznek lehetővé. Olyan információkat gyűjthetünk otthonunkról, mint például napelem celláink teljesítménye, házunk áramfelvétele, háztartási eszközeink fogyasztása vagy akár bejárati ajtónkra élő kamera képet nézhetünk távolról.

Az otthon automatizálási feladatok ellátásával szemben állított jellemző műszaki követelmények közé tartozik az alacsony fogyasztás, integrálhatóság valamilyen IoT rendszerbe, könnyű kezelő felület és relatív alacsony ár.

Hazánkban lakóövezet szerint a házak 62%-a családi ház, zártkerti vagy külterületi ingatlan. (KSH 2001, **HIVATKOZÁS**) Az ilyen típusú ingatlanok gyakran rendelkeznek kertkapcsolattal, ahol konyhakert vagy gyümölcsös található vagy telepíthető. Az ilyen ingatlanok esetén az otthon automatizálást kiterjeszthető a kerti feladatok automatizálására, melyek közül az egyik legkevesebb infrastrukturális változtatást megkövetelő az öntözőrendszer „okosítása”.

Sok kert rendelkezik kiépített öntöző rendszerrel, amely egy vagy több csap megnyitásával lehetővé teszi az öntözést. Ezek a rendszerek gyakran időzítőkkal vannak ellátva, mely bizonyos szintű automatizált megoldást nyújt, de ezek a rendszerek nem tudják figyelembe venni az időjárási körülményeket, gyakran sok emberi beavatkozást is igényelnek, illetve állapotuk nem ellenőrizhető távolról.

A kiépített öntöző rendszerek viszont lehetőséget adnak a könnyű automatizálásra, hiszen egy szolenoid szelepes csap segítségével villamos jelekkel irányítható az öntözés.

1.2 Öntöző rendszer bemutatása

Jelen szakdolgozat témája egy öntöző rendszerbe építhető mérő- és beavatkozó egység. A rendszer követelményeit és a mérőegység alapelvének működőképességét

önálló laboratórium feladatom definiálja és támasztja alá, az erről készült dokumentum elérhető nyilvánosan. **(HIVATKOZÁS)**



1-1. ábra SWAN logó

Az öntöző rendszer a Smart Watering Automation System (S.W.A.N.) nevet kapta. A mérő- és beavatkozó egységre SWAN kliensként, a rendszerhez tartozó központi egységre SWAN szerverként hivatkozok a továbbiakban.

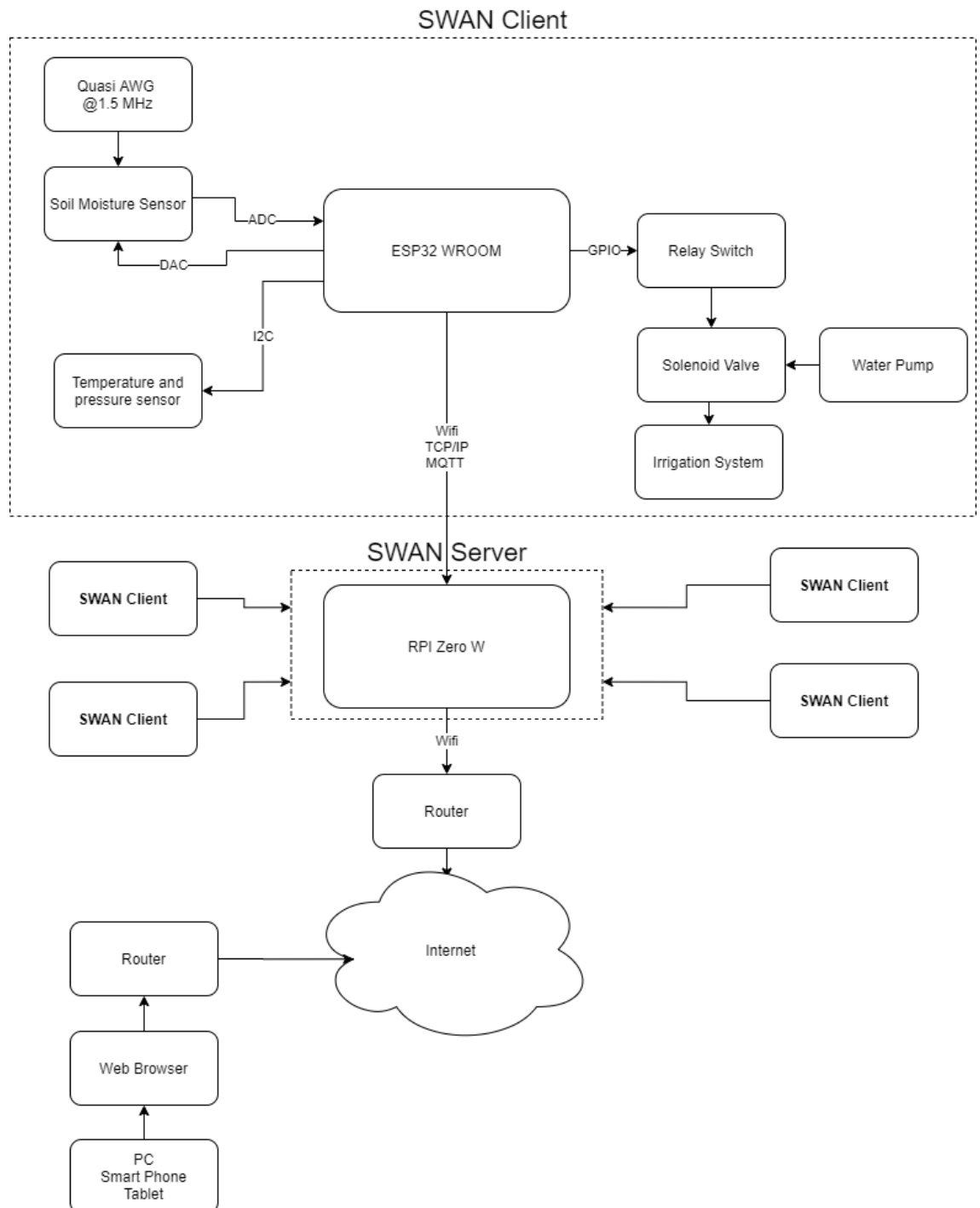
Minden kliens a talaj nedvességtartalmát a levegő hőmérsékletét és páratartalmát méri. A mért adatok, dátum, illetve pontos idő felhasználásával avatkozik be minden egység, amely ellátott az ehhez szükséges hardver elemekkel. Minden mért adatot batchenként közlik a kliensek a szerverrel, mely utasítást is adhat a klienseknek, amikor azok bejelentkeznek hozzá.

A szerver és a kliensek feltételezik, hogy saját rádiós perifériáiknak hatótávolságán belül vezeték nélküli kapcsolaton (WIFI) keresztül hozzáférésük van a helyi hálózathoz, melyen kommunikálnak egymással és pontos dátum-idő információt (NTP) szerezhetnek.

A kliensek akkumulátoros üzemre optimalizáltak, viszont hálózatról (3,5V-6V DC) is meghajthatóak. Az akkumulátor töltése DC tápon keresztül történik, a szükséges töltések közötti idő minél hosszabbra növelése szempontja mind a hardveres, mind a szoftveres tervezésnek.

A SWAN kliens és szerver az alábbi rendszerterv szerint épül fel és csatlakozik egymáshoz.

Rendszerterv



1-2. ábra S.W.A.N rendszerterv

2 Mérési elv

2.1 Kapacitív talaj nedvességtartalom mérés

2.1.1 Fizikai jelenség

2.1.2 Kapacitív szenzor mérési elve

2.1.3 Szenzort kiegészítő áramkörök szerepe

3 Hardver tervezés

3.1 Elvi kapcsolási rajz egységek

3.1.1 Mágnesszelep működése elve

A kliensek kimenete egy az öntözőrendszerben meglévő beavatkozó szervhez kapcsolódik, mely működési elvének megértése szükséges a megfelelő vezérlőjel előállításához.

Ez a beavatkozószer egy mágnesszelep, amely elektromechanikusan működtetett szelep. A mágnesszelepek a folyadékokat szállító rendszerekben leggyakrabban használt vezérlő elemek. Feladataik a folyadékok útjának elzárása, felszabadítása, a folyadék adagolása, elosztása vagy keverése. Számos alkalmazási területen megtalálhatók. A mágnesszelepek gyorsak és biztonságosak, nagy megbízhatóságúak, hosszú élettartammal rendelkeznek.

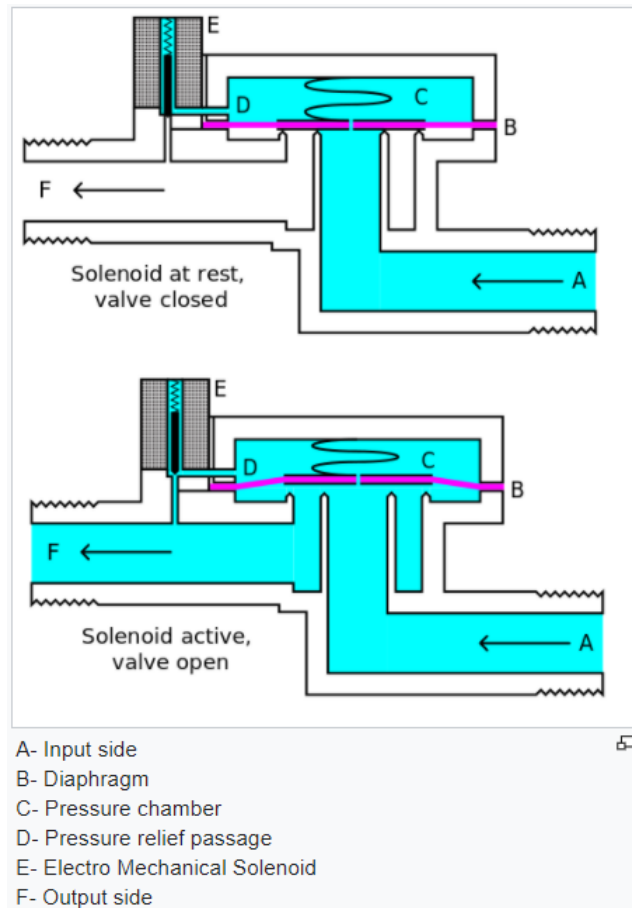
A Hiba! A hivatkozási forrás nem található. egy általános szelep kialakítását mutatja, amely víz áramlását szabályozza ebben a példában. A legfelső ábrán a szelep zárt állapotban van. A nyomás alatt levő víz A. pontba kerül. B egy rugalmas membrán, fölötte pedig egy gyenge rugó található, amely lenyomja a membránt. A membrán középpontjában lyuk található, amely lehetővé teszi, hogy nagyon kis mennyiségű víz áramoljon rajta keresztül. Ez a víz úgy tölti ki a membrán másik oldalán lévő C üreget, hogy a nyomás a membrán mindkét oldalán egyenlő legyen, azonban az összenyomott rugó összességében lefelé irányuló erőt szolgáltat. A rugó gyenge, és csak azért képes bezárni a beömlőnyílást, mert a membrán mindkét oldalán kiegyenlítődik a víznyomás.

Amint a membrán bezárja a szelepet, az alja kimeneti oldalán lévő nyomás csökken, és a fenti nagyobb nyomás még szilárdabban zárja. Így a rugónak nincs jelentősége a szelep zárva tartása szempontjából.

Mindez azért működik, mert a kis D lefolyójáratot egy csap rögzíti, amely az E mágnesszelep armatúrája, és amelyet egy rugó nyom le. Ha az áram áthalad a mágnesszelepen, a csapot mágneses erővel visszahúzza, és a C kamrában lévő víz gyorsabban üríti ki a D járatot, mint amennyit a lyuk képes feltölteni. A C kamrában a nyomás csökken, és a beérkező nyomás megemeli a membránt, ezáltal kinyitva a fő szelepet. A víz most közvetlenül A-ból F-be áramlik.

Amikor a mágnesszelep ismét inaktíválódik, és a D járat ismét záródik, a rugónak nagyon kevés erőre van szüksége a membrán újbóli lenyomásához, és a főszelep bezárul. A gyakorlatban gyakran nincs külön rugó; a membrán úgy van kialakítva, hogy rugóként is funkcionáljon.

(HIVATKOZÁS) https://en.wikipedia.org/wiki/Solenoid_valve



3-1. ábra Mágnesszelep működése

Ez a kialakítás normálisan zárt (NC) állapotú, amely ebben az alkalmazásban jó, hiszen energiát, csak nyitott állapot közben fogyaszt. Egy öntözőrendszer egy nap során legtöbbet zárt állapotban van, nem öntözünk folyamatosan.

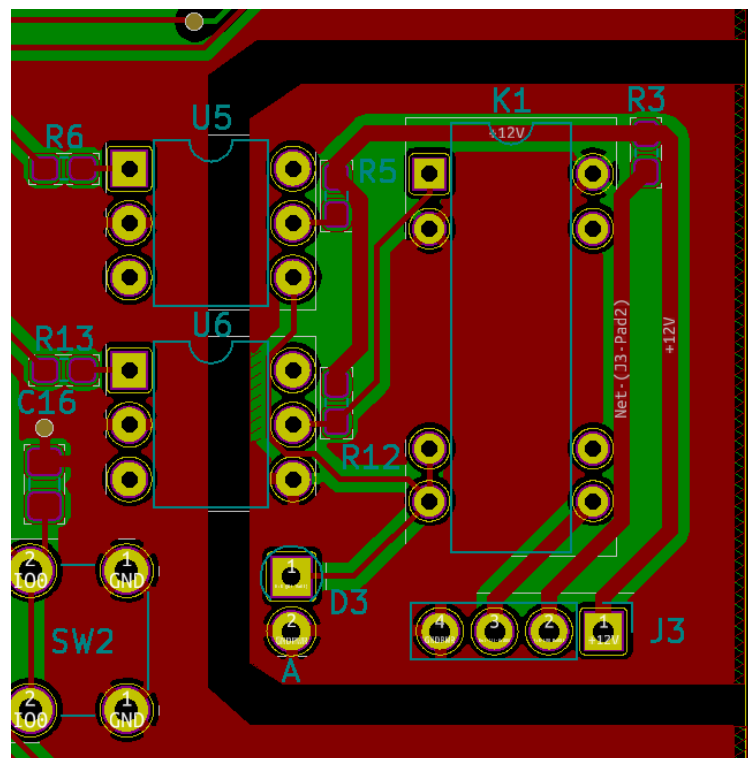
3.1.2 Mágnesszelep vezérlése

A mágnesszelep működési elvéből kitalálhatjuk, hogy villamos vezérlés szempontjából egy tekercset (vagy gondolkozhatunk úgy is, hogy egy elektromágnest) kell energizált állapotba hozni, majd kikapcsolni. A rendszer olyan szelepeket tud kezelni, melyeket elegendő DC feszültséggel ellátni, és a tekercs energizálásához nem szükséges szinuszos vezérlő jelet előállítani. A méretezés 12 V-ról működő és maximum 6 W-ot fogyasztó szelep alapján történt.

A kliensek alacsony fogyasztású mérőeszközök, nem rendelkeznek 12V-os tápfeszültséggel, viszont 12V-os táp csatlakoztatásával vezérelhető lesz mágnesszelep.

A 12 V-os táp galvanikusan leválasztott a kliensek akkumulátorról előállított feszültségeitől. A leválasztást optikai csatoló áramkörrel és külön PWRGND rézréteg segítségével realizáltam, az IPC2221 szabvány által definiált minimum távolság többszörös betartásával. **(Hiba! A hivatkozási forrás nem található.)**

(HIVATKOZÁS) <https://www.smpspowersupply.com/ipc2221pcbclearance.html>



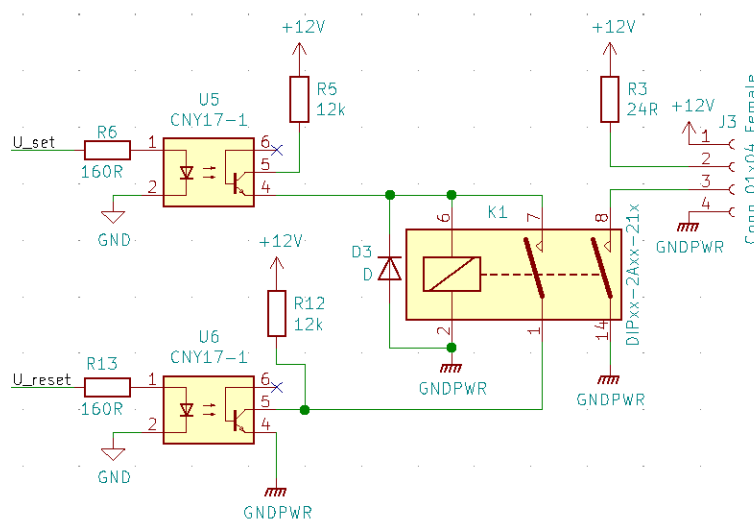
3-2. ábra Galvanikusan leválasztott öntartó relé kapcsolás realizációja

A **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** tartalmazza az elvi kapcsolási rajzot. Az áramkörnek két bemenete van U_{set} és U_{reset} , melyek a be- és kikapcsolásért felelnek. A be- és kikapcsoló vezérlő jelek azonosak, legalább 6 μs széles 3.3 V feszültségű impulzus. A soros ellenállások áramkorlátozó szereppel rendelkeznek, 2 mA a maximális áram.

A bekapcsoló impulzus hatására U5 kapcsolón keresztül 1 mA-es áram folyik K1 relé tekercsén, mely hatására K1 NC kontaktusai bezárnak és J3 csatlakozón keresztül maximum 500 mA áram mellett a mágnesszelep tápot kap.

A bekapcsoló impulzus után az áramkör öntartásban marad K1 relé 1-7 kontaktusán keresztül, mindaddig amíg a relé tekercsének potenciálját a kikapcsoló impulzus hatására U6 kapcsoló 0 V-ra nem húzza.

A K1 relé tekercsének kikapcsolásakor figyelembe kell venni, hogy a tekercs mágneses terében tárolt energia kontrollált módon disszipálódjon el. D3 teljesítmény dióda ezt a feladatot látja el, kikapcsolás esetén a tekercs a diódán keresztül disszipálja el energiáját.



3-3. ábra Galvanikusan leválasztott öntartó relé kapcsolás

A 12V-os külső táp J3 csatlakozón keresztül kerül a NYÁK-ra, így szükség esetén más DC feszültséget is kapcsolathatunk a kliens eszközökkel, például 24 V-ot. Ekkor az ellenállás értékek változtatása szükséges lehet. A huzalok szélessége és egymástól való távolsága megengedi 3.3 V-tól 24 V-ig terjedő külső feszültség használatát.

3.1.3 Kliens tápellátása

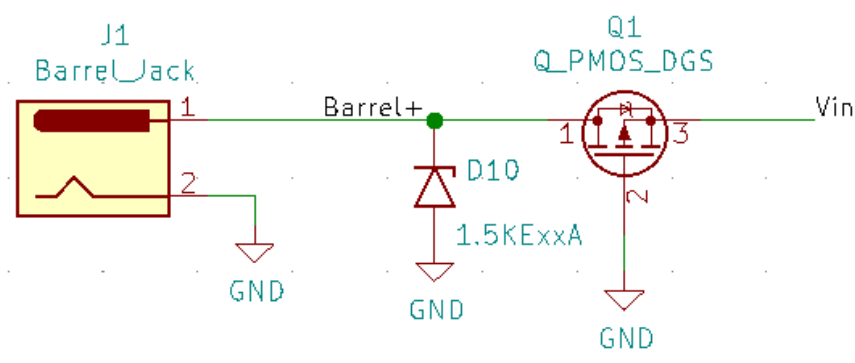
A kliensek mérési helyszíne nem teszi lehetővé a kényelmes csatlakozást a villamos hálózathoz. Mindenképpen telepes vagy akkumulátoros tápellátásra van szükség.

Alacsony fogyasztású alkalmazásoknál a telepes tápellátás nagy előnyökkel bír, hiszen technológia előnye az akkumulátorokkal szemben, hogy elhanyagolható az önkisülési jelenség. Viszont egy tipikus CR2032 telep 100 mA-es csúcsnál nagyobb áram leadására nem képes, emiatt nagy méretű hidegítő kondenzátorokra (akár szuper kondenzátorokra) lenne szükség, hogy az ESP32 vezeték nélküli kommunikációja közben elegendő áramot tudjon szolgáltatni egy ilyen cella. Mindemellett 200-300 mAh-s tároló kapacitása, sem lenne elég a kliens ellátására.

Az viszonylag magas áramleadási szükséglet és nagy 2000-3000 mAh-s tárolókapacitás érdekében Li-ion akkumulátor alkalmazása mellett döntöttem.

A választás egy 18650-ös és 3.7 V nominális feszültséggel rendelkező akkumulátorra esett, mely kapacitása 2600 mAh és maximális áramterhelhetősége 10A. A 18650 elnevezés az akkumulátor cella felépítésének dimenzióit adja meg, emiatt legalább 6,5 cm (praktikusan 8 cm) helyre van szükség a NYÁK-on az akkumulátornak. A helyigény mellett az akkumulátor beszerzési ára a legnagyobb hátránya ennek a megoldásnak, hiszen az körülbelül az alkatrész ár $\frac{1}{4}$ része. (A hardveres költségek összegzését külön alfejezet tárgyalja.)

3.1.4 Bemeneti feszültség védelmei



3-4. ábra ESD és fordított polaritás védelem

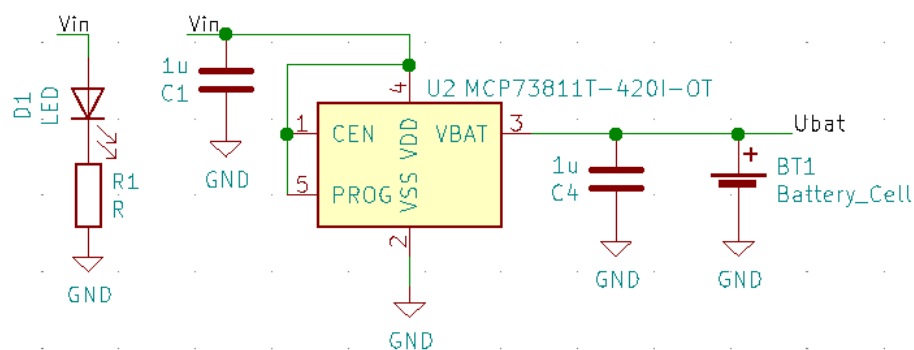
A Hiba! A hivatkozási forrás nem található. a bemeneti feszültségre alkalmazott ESD és fordított polaritás védelem áramkörének kapcsolási rajzát

tartalmazza. Az ESD védelmet TVS dióda látja el. Amennyiben J1 csatlakozón fordított polaritású feszültség jelenik meg Q1 P csatornás MOS-FET szakadásként viselkedik, ezáltal védve az áramkört.

Ennek bizonyítására végezzünk gondolatkísérletet. Tegyük fel, hogy Q1 kapcsoló zárt állapotban van, ekkor V_{in} GND-hez képest negatív feszültség. Egy P csatornás FET csak negatív gate-source feszültség (U_{GS}) mellett van zárt állapotban. Viszont V_{in} GND-hez viszonyítva pontosan $-U_{GS}$, tehát negatív V_{in} feszültség esetén U_{GS} pozitív, melyből következik, hogy a tranzisztor nyitott állapotban kell legyen.

Összegezve Q1 tranzisztor csak helyes bemeneti feszültség mellett lehet nyitott állapotban, U_{DS} maximális feszültségig védi az áramkört a fordított polaritás ellen.

3.1.5 Akkumulátor töltő áramkör



3-5. ábra Li-ion akkumulátor töltő áramkör

Az akkumulátor töltését egy single-cell (egy cellás) Li-ion akkumulátor töltő integrált áramkör látja el. Az akkumulátort konstans áramú töltés mellett 4.2 V feszültségig tölti az áramkör. Az IC PROG lábának logikai magas feszültségre kötésével 500 mA-es töltőáram lett beállítva. Így az akkumulátor $\frac{2600 \text{ mAh}}{500 \text{ mA}} = 5.2h \sim 5h$ alatt tölthető fel. Azáltal, hogy töltésre ritkán van szükség és az akkumulátor kevesebb, mint egy éjszaka alatt feltölthető, elfogadható a töltési idő.

C_1 és C_4 kondenzátorok a be- és kimeneti feszültségek hullámosságának csökkentésére és impulzusszerű áramfelvételek töltés szükségletének ellátására szolgálnak. Más szempontból nézve passzív RC szűrőként funkcionálnak a tápvonalakon.

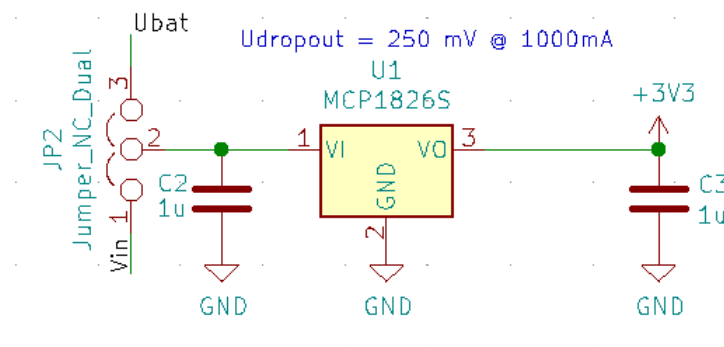
3.1.6 Szabályozott tápfeszültség előállítása

Az ESP32 és egyéb a kliens részét képező IC-k számára a tápfeszültséget egy 1000 mA-t leadni képes Low Dropout Voltage lineáris ún. áteresztő tranzisztoros szabályozó látja el. LDO-ra szükség az akkumulátor feszültség nominális értékének és 3.3 V-os előállítandó feszültségnek közelsége és a felesleges hőfejlesztés elkerülése miatt volt szükség.

C₂ és C₃ kondenzátorok szerepe megegyezik a 3.1.5 pontban szereplő C₁ és C₄ kondenzátorokkal.

A feszültség szabályzó bemenetére jumper segítségével külső tápfeszültséget is lehet csatlakoztatni, de ennek szerepe szigorúan fejlesztési célú.

A lineáris feszültségszabályozókat nagyfrekvenciás zajok ellen védeni kell, ennek gyakori megoldási egy a szabályzóval sorba kötött L-C szűrő. A szűrésre, azért van szükség, mivel a szabályzóban lévő tranzisztor nem képes végtelen sávszélességgel kapcsolni és a többletfeszültséget eldisszipálni. Azonban a Li-ion akkumulátorok feszültsége kevés zajt tartalmaznak, eleve jól szűrt tápforrásnak tekinthetők. Emellett még passzív LC szűrő alkalmazásához is szükség van viszonylag drága áramkörü elemre, egy tekercsre. A felsorolt érvek miatt (kis zaj tartalmú forrás, költségminimalizálás) nem került szűrő az LDO bemenetére.



3-6. ábra LDO fix 3.3 V kimeneti feszültséggel

A kimeneten található 1µF-os kerámia kondenzátor mellett minden IC táplábaihoz közel 100 nF-os kondenzátor van párhuzamosan kötve C₃ kapacitással. Ennek segítségével növelve a kondenzátorok effektív sávszélességét.

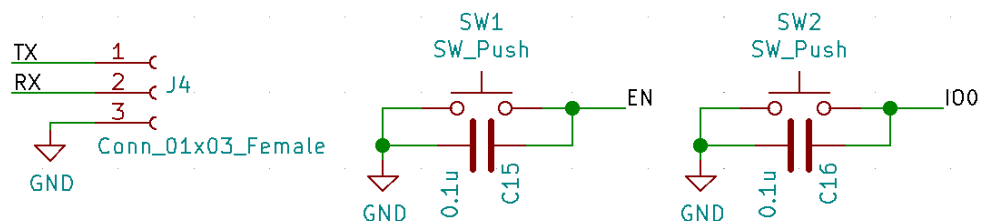
3.1.7 Programozó interface

Az ESP32 programozása UART periférián keresztül történik. Ez az UART periféria nem csak a programozhatóságot teszi lehetővé, hanem debug portként is használható fejlesztés közben, vagy javítások elvégzésénél. (Hibaüzenetek közölhetők rajta.)

Az ESP32 modul programozható állapotba hozásához szükséges a processzor IO0 lábát alacsony logikai szinten tartani, erre nyomógomb segítségével van lehetőség. Programozás után hardveres reset szükséges, melyet EN jel logikai alacsony szintre húzásával érhetünk el, nyomógomb segítségével.

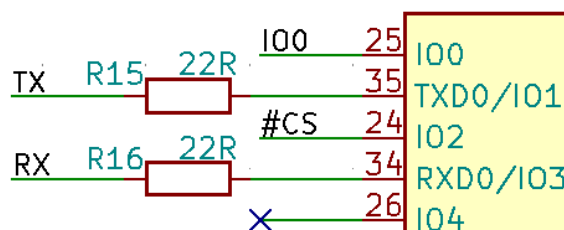
A nyomógombok pergésmentesítésére az ESP32 Dev Kit C adatlapja által javasolt megoldást alkalmaztam. **(HIVATKOZÁS)**

A programozó interface és a pergésmentesített nyomógombok kapcsolási rajzát a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** tartalmazza.



3-7. ábra Programozó interface

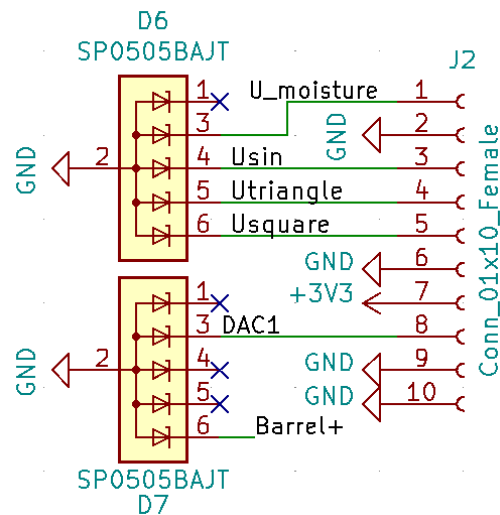
Kihasználva a NYÁK-on megjelenő parazitakapacitásokat, kis értékű 22 Ω értékű ellenállások felhasználásával TX és RX jelek meredek éleit szűröm, ezzel csökkentve az általuk a NYÁK-on keltett zajt.



3-8. ábra Digitális jel szűrőáramkör

3.1.8 Méréshez szükséges csatlakozó

A méréshez szükséges gerjesztőjelek és a mért jel, 3.3 V és GND jelekkel kiegészítve tüskesor csatlakozón található a NYÁK-on. A mérővezetékek hossza, illetve a külvilággal való rendeltetésszerű kapcsolat miatt ESD védelemmel láttam el a tüskesor csatlakozót, TVS dióda tömb alkalmazásával.



3-9. ábra Tüskesor csatlakozó ESD védelme

3.2 NYÁK terv

4 Szoftver tervezés

4.1 Kliens beágyazott szoftvere

4.2 Központi egység szoftvere

5 Irodalomjegyzék

6 Függelék