



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 vizsgálgó 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	8
1.1	Otthon automatizálás kertkapcsolatos házakban.....	8
1.2	Öntözőrendszer bemutatása	9
2	Mérési elv.....	11
2.1	Kapacitív talaj nedvességtartalom mérés	11
2.1.1	Fizikai jelenség.....	11
2.1.2	Kapacitív szenzor mérési elve.....	11
2.1.3	Spektrum számítás	11
2.1.4	Szenzor kalibrációs mérése	12
3	Hardver tervezés	15
3.1	Elvi kapcsolási rajz egységek.....	15
3.1.1	Mágnesszelep működése elve	15
3.1.2	Mágnesszelep vezérlése	17
3.1.3	Kliens tápellátása	19
3.1.4	Bemeneti feszültség védelmei.....	19
3.1.5	Akkumulátor töltő áramkör.....	20
3.1.6	Szabályozott tápfeszültség előállítása	21
3.1.7	Programozó interface	22
3.1.8	Méréshez szükséges csatlakozó	23
3.1.9	Mérőjel előállító áramkör.....	23
3.1.10	Hőmérséklet- és nyomásmérő áramkör	26
3.1.11	ESP32 WROOM-32 periféria áramkörei	28
3.1.12	Egyéb funkciókat ellátó áramkörök.....	29
3.2	NYÁK terv	30
4	Szoftver tervezés	31
4.1	Kliens beágyazott szoftvere	31
4.2	Központi egység szoftvere	32

4.2.1	SWAN szerver szoftveres környezete.....	32
4.2.2	MQTT broker	32
4.2.3	SQLite	33
4.2.4	Node-RED.....	33
4.2.5	SWAN SERVER flow	36
5	Validációs mérés	44
5.1	NYÁK bemérése	44
5.2	Szenzor bemérése.....	44
6	Irodalomjegyzék.....	45
7	Függelék.....	46

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. 12. 01.

.....
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 ajtónkról élő kameraképet nézhetünk távolról.

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

Hazánkban lakóövezet szerint a házak 62%-a családi ház, zártkerti vagy külterületi ingatlan. [\[1\]](#) 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 öntözőrendszerrel, 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 öntözőrendszerek viszont lehetőséget adnak a könnyű automatizálásra, hiszen egy mágnesszelepes csap segítségével villamos jelekkel irányítható az öntözés.

1.2 Öntözőrendszer bemutatása

Jelen szakdolgozat témája egy öntözőrendszerbe 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. [\[2\]](#)



1-1. ábra SWAN logó

Az öntözőrendszer 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.

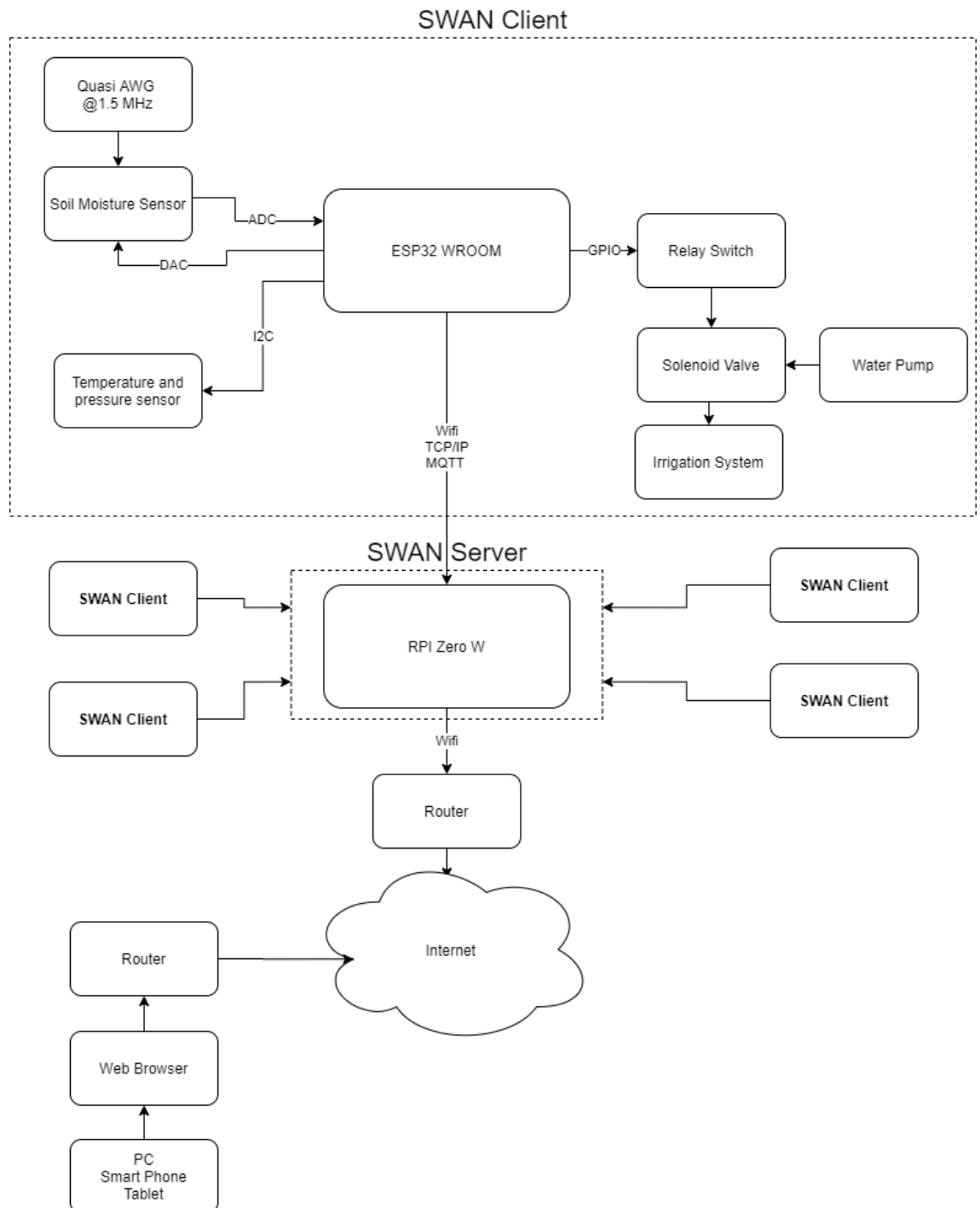
Minden kliens a talaj nedvességtartalmát, a levegő hőmérsékletét és páratartalmát méri. A mért adatok, dátum, illetve pontos idő felhasználásával avatkozik be minden egység, amely ellátott az ehhez szükséges hardver elemekkel. Minden mért adatot batchenként közlik a kliensek a szerverrel, mely utasítást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

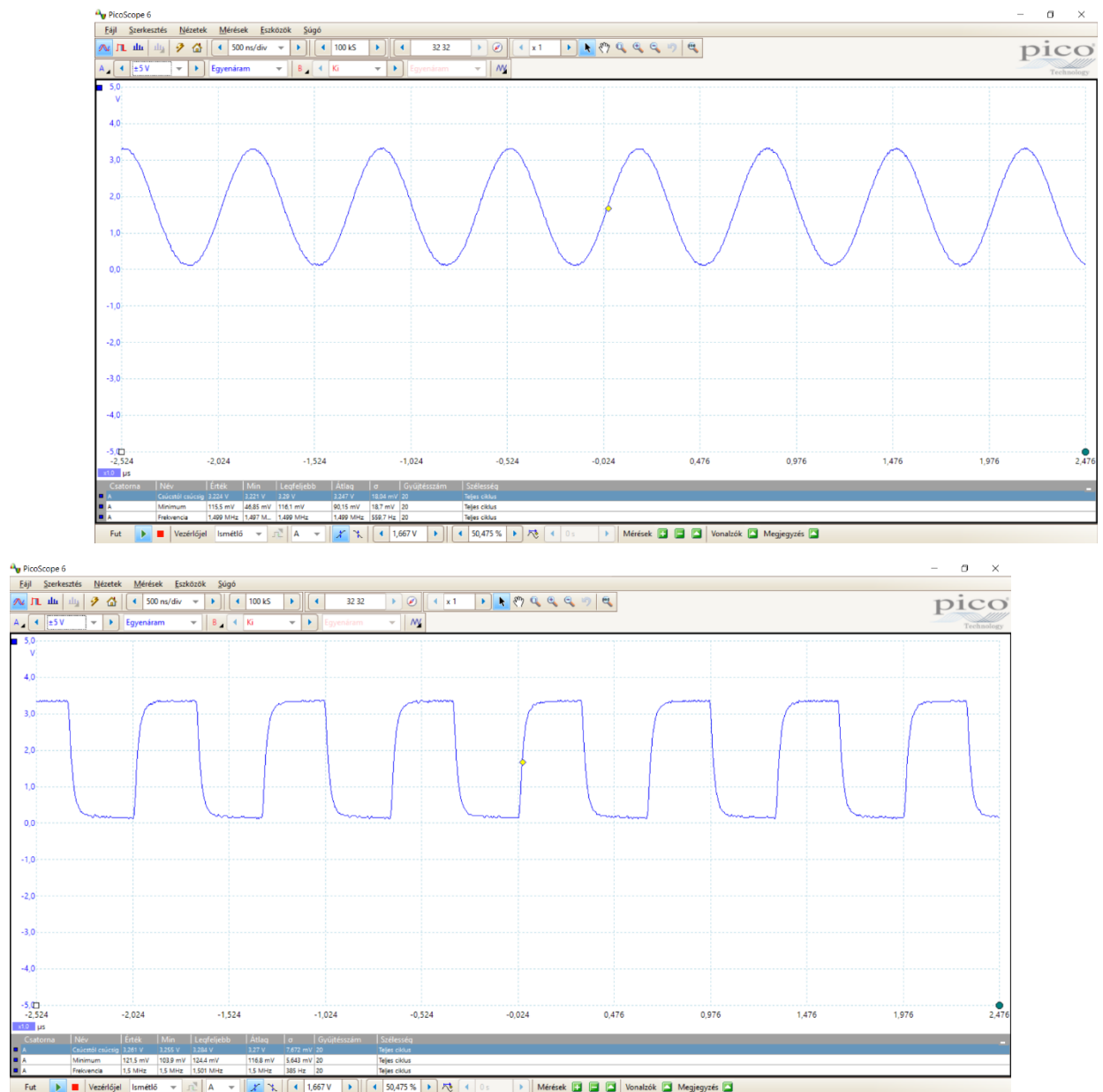
2.1.1 Fizikai jelenség

2.1.2 Kapacitív szenzor mérési elve

2.1.3 Spektrum számítás

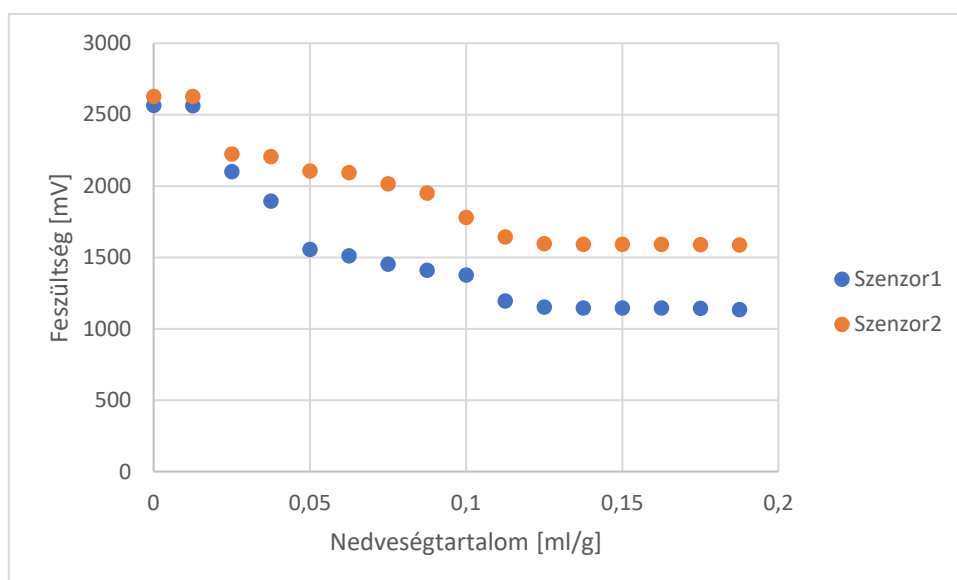
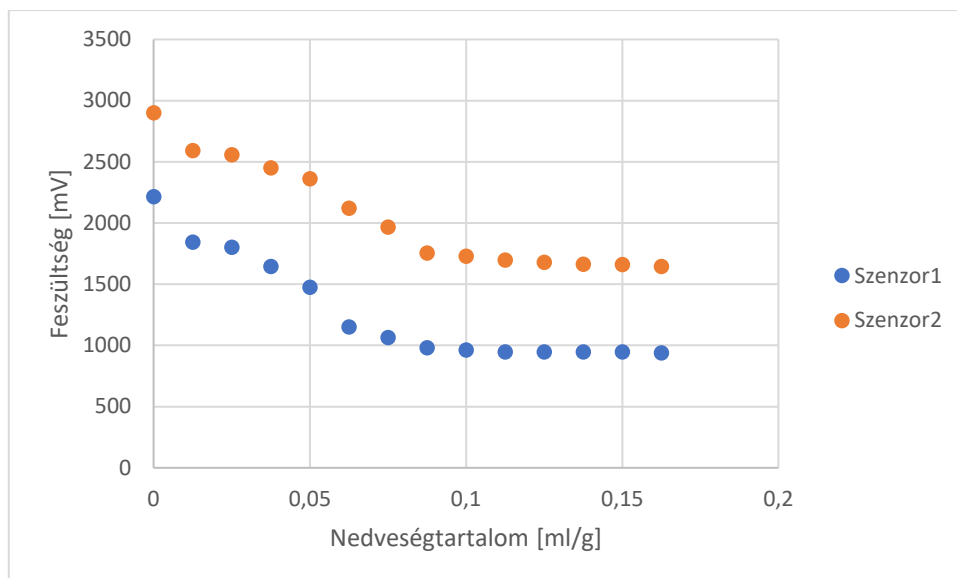
$$u(t) = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & \text{ha } -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \\ 0, & \text{egyébként} \end{array} \right\}$$

2.1.4 Szenzor kalibrációs mérése



Nedvességtartalom [ml/g]	Feszültség szenzor1 [mV]	Feszültség szenzor2 [mV]
0	2214	2901
0,0125	1842	2592
0,025	1801	2556
0,0375	1645	2451
0,05	1474	2360
0,0625	1151	2121
0,075	1064	1965
0,0875	979	1755
0,1	961	1728
0,1125	945	1697
0,125	946	1678
0,1375	947	1662
0,15	945	1659
0,1625	939	1644

Nedvességtartalom [ml/g]	Feszültség szenzor1 [mV]	Feszültség szenzor2 [mV]
0	2563	2627
0,0125	2562	2626
0,025	2100	2223
0,0375	1893	2205
0,05	1555	2105
0,0625	1510	2093
0,075	1452	2015
0,0875	1410	1950
0,1	1375	1780
0,1125	1195	1643
0,125	1152	1595
0,1375	1144	1590
0,15	1145	1590
0,1625	1144	1590
0,175	1143	1589
0,1875	1134	1587



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.

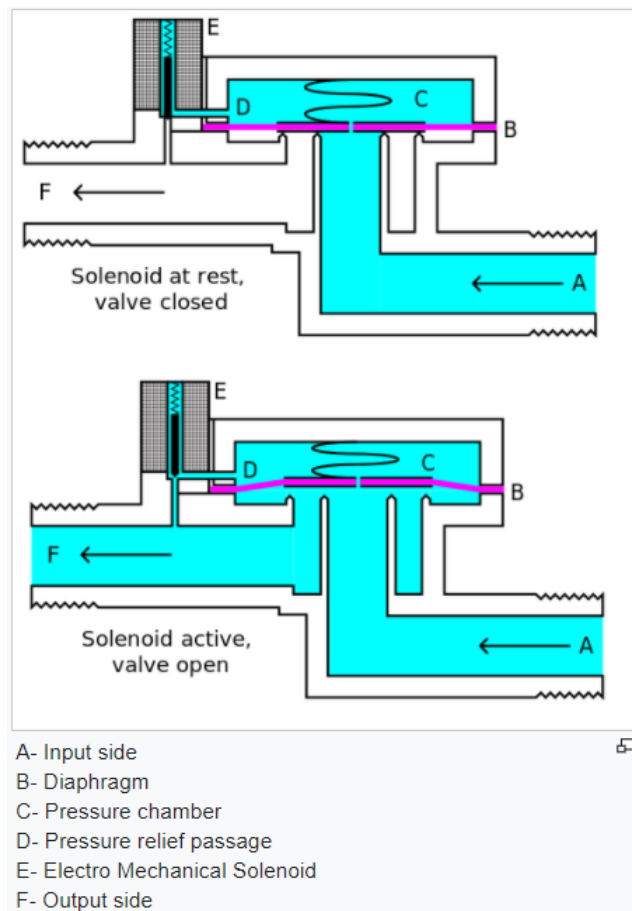
Ez a beavatkozószer egy mágnesszelep, amely elektromechanikusan működtetett szelep. A mágnesszelepek a folyadékokat szállító rendszerekben leggyakrabban használt vezérlőelemek. Számos alkalmazási területen megtalálhatók. Feladatuk a folyadékok útjának elzárása, felszabadítása, a folyadék adagolása, elosztása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

A 3-1. ábra egy általános szelep kialakítását mutatja, amely a 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, amelyet egy rugó nyom le. Ha az áram áthalad a mágnesszelepen, a csapot mágneses erővel visszahúzza, ekkor a C kamrában lévő víz gyorsabban üríti ki a D járatot, mint amennyit a lyuk képes feltölteni. A C kamrában a nyomás csökken, a beérkező nyomás megemeli a membránt, ezáltal kinyitva a fő szelepet. A víz a mágnesszelep inaktiválódásáig közvetlenül A-ból F-be áramlik.

Amikor a mágnesszelep inaktiválódik, a D járat ismét záródik, ekkor a rugónak nagyon kevés erőre van szüksége a membrán újbóli lenyomásához, a főszelep bezárul. A gyakorlatban gyakran nincs külön rugó; a membrán úgy van kialakítva, hogy rugóként is funkcionáljon. [3]



3-1. ábra Mágnesszelep működése

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

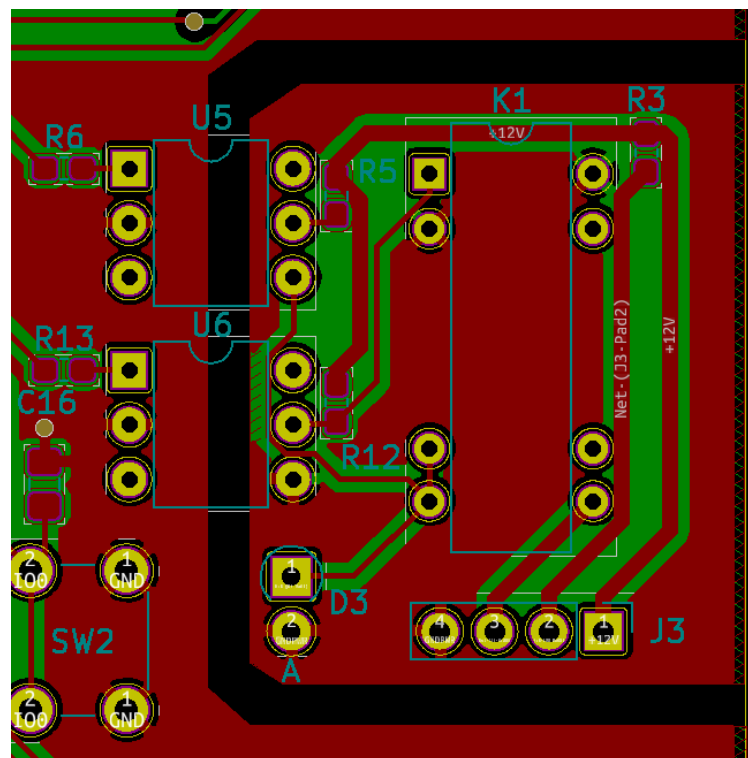
3.1.2 Mágnesszelep vezérlése

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, így a tekercs energizálásához nem szükséges szinuszos vezérlő jelet előállítani. A méretezés ebben az esetben 12 V-ról működő és maximum 6 W-ot fogyasztó szelep alapján történt.

A kliensek alacsony fogyasztású mérőeszközök, nem rendelkeznek 12 V-os tápfeszültséggel, viszont 12 V-os táp csatlakoztatásával vezérelhető lesz a 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 minimumtávolság többszörös betartásával. (3-2. ábra)

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



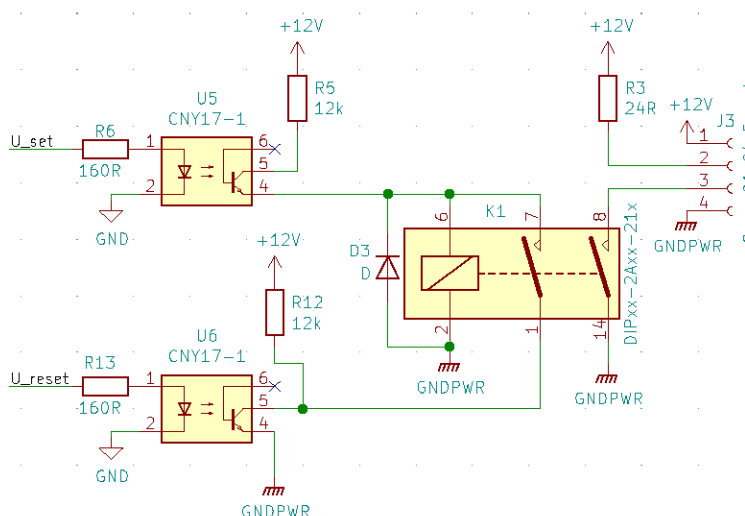
3-2. ábra Galvanikusan leválasztott öntartó relé kapcsolás realizációja

A 3-3. ábra 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 vezérlőjelek azonosak, legalább 6 μs széles 3.3 V feszültségű impulzusok. A R_6 , R_{13} 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 teljesítménydióda 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

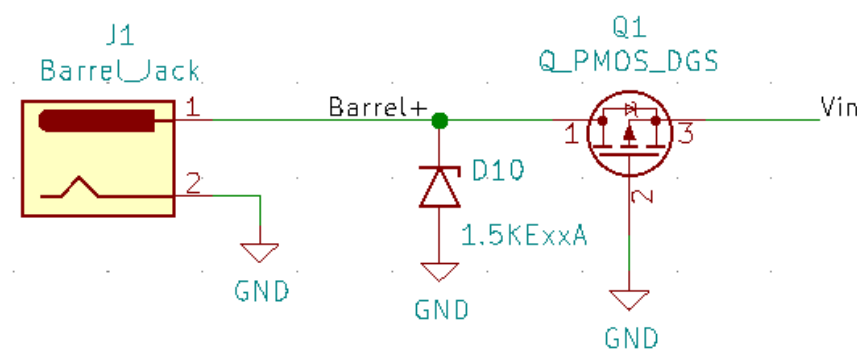
A kliensek mérési helyszíne nem teszi lehetővé a kényelmes csatlakozást a villamos hálózathoz. Mindenképpen telepes vagy akkumulátoros tápellátásra van szükség.

Alacsony fogyasztású alkalmazásoknál a telepes tápellátás nagy előnyökkel bír, hiszen technológiai 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 tárolókapacitása, 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-es és 3.7 V nominális feszültséggel rendelkező akkumulátorra esett, melynek a kapacitása 2600 mAh és maximális áramterhelhetősége 10A. A 18650 elnevezés az akkumulátor 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 alkatrészek árának $\frac{1}{4}$ része. (A hardveres költségek összegzését külön alfejezet tárgyalja.)

3.1.4 Bemeneti feszültség védelmei



3-4. ábra ESD és fordított polaritás védelem

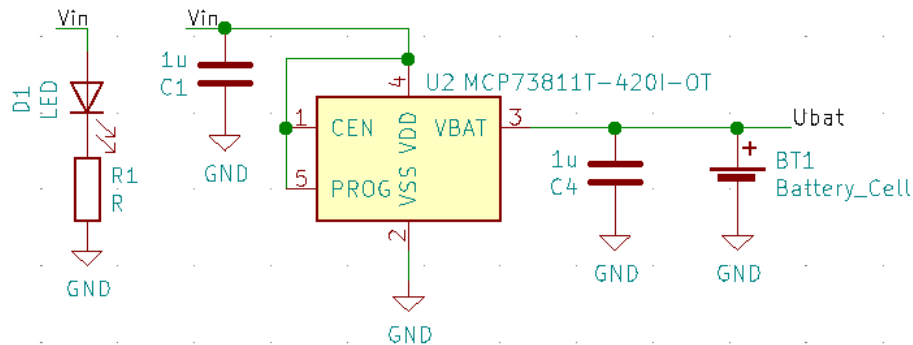
A 3-4. ábra a bemeneti feszültségre alkalmazott ESD és fordított polaritás védelem áramkörének kapcsolási rajzát tartalmazza. Az ESD védelmet TVS dióda látja

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, így elfogadható a töltési idő.

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

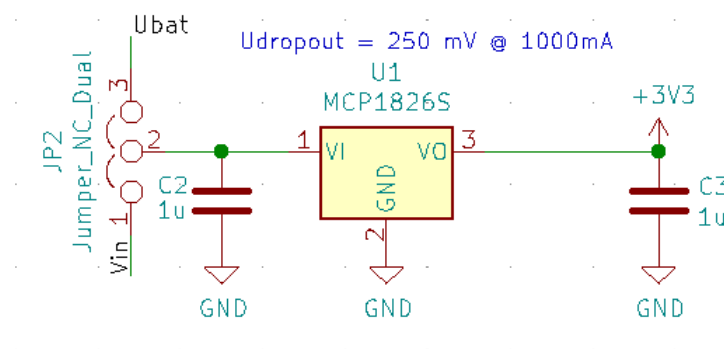
3.1.6 Szabályozott tápfeszültség előállítása

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

A lineáris feszültségszabályozókat nagyfrekvenciás zajok ellen védeni kell, ennek gyakori megoldása 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 egy viszonylag drága áramköri elemre, a tekercsre. A felsorolt érvek miatt (kis zajtartalmú 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.

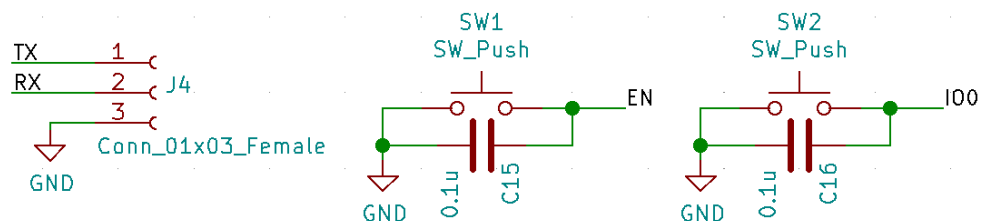
3.1.7 Programozó interface

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 küldhetők 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.

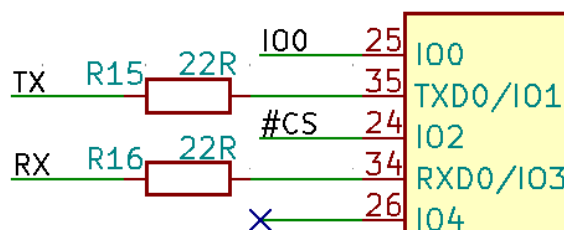
A nyomógombok pergésmentesítésére az ESP32 Dev Kit C adatlapja által javasolt megoldást alkalmaztam. **(HIVATKOZÁS)**

A programozó interface és a pergésmentesített nyomógombok kapcsolási rajzát a 3-7. ábra tartalmazza.



3-7. ábra Programozó interface

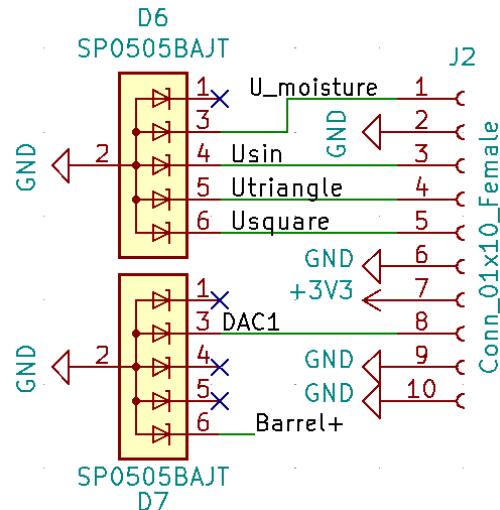
Kihasználva a NYÁK-on megjelenő parazitakapacitásokat, kis értékű 22 Ω értékű ellenállások felhasználásával TX és RX jelek meredek éleit szűröm, ezzel csökkentve az általuk a NYÁK-on keltett zajt.



3-8. ábra Digitális jel szűrőáramkör

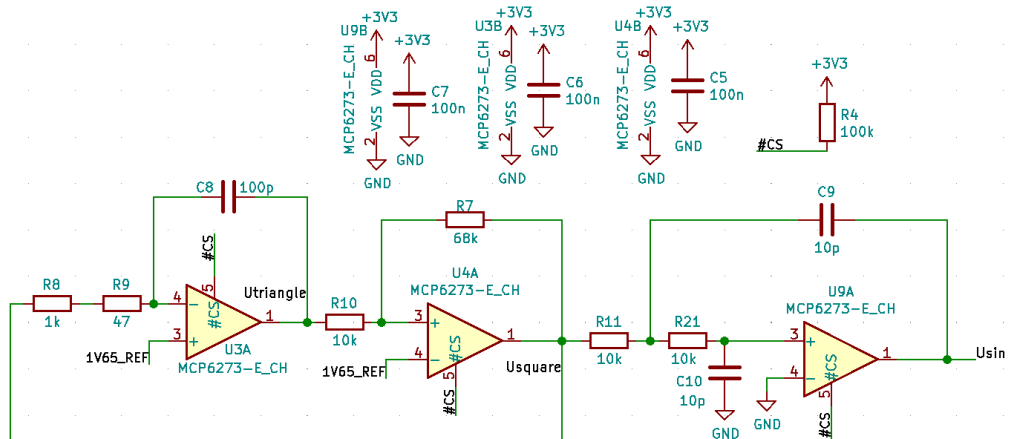
3.1.8 Méréshez szükséges csatlakozó

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 kapcsolata miatt ESD védelemmel láttam el a tüskesor csatlakozót, TVS dióda tömb alkalmazásával.



3-9. ábra Tüskesor csatlakozó ESD védelme

3.1.9 Mérőjel előállító áramkör



3-10. ábra Mérőjel előállító áramkör

A 3-10. ábra tartalmazza a méréshez szükséges 1.5 MHz-es jeleket előállító áramkört. A méréshez DC komponens is tartalmazó, háromszögjelet, négyszögjelet és szinuszjelet állítunk elő.

Az áramkör három alapkapcsolásból, egy invertáló integrátorból, egy Schmitt-triggerből és egy Sallen-Key szűrőből áll, melyek együttesen hozzák létre a kívánt jeleket.

Ha egy invertáló integrátor áramkör bemenetére konstans egyenfeszültséget kapcsolunk, akkor annak kimenetén lineárisan csökkenő feszültséget kapunk. Amennyiben ezt a lineárisan csökkenő feszültséget egy Schmitt-trigger bemenetére kapcsoljuk, majd annak kimenetét visszacsatoljuk az invertáló integrátorra, folyamatosan változó előjelű lineáris feszültségváltozást mérhetünk a kimeneten, azaz háromszögjelet állítottunk elő. Emellett a Schmitt-trigger kimenetén V_{cc} és GND között váltakozó egyenfeszültségeket mérhetünk, azaz négyszögjelet állítottunk elő.

A szinuszjel előállítására analóg aktív szűrőt alkalmazhatunk. Ismeretes, hogy periodikus jel leírható szinuszjelek végtelen sorának összegeként. Amennyiben, a jel periódus ideje által meghatározott alap frekvencia és az első felharmonikus frekvenciája közé helyezett törési frekvenciájú aluláteresztő szűrőt alkalmazunk a jelen, a szűrő kimenetén jó alakhűséggel rendelkező szinusz jelet kapunk.

A 3-10. ábra által ábrázolt kapcsolásban a létrehozott négyszögjel kerül szűrésre, egy Sallen-Key kapcsolás másodfokú aluláteresztő kapcsolás alkalmazásával.

Mindhárom alapkapcsoláshoz lineáris műveleti erősítőre van szükség, mellyel szemben a következő feltételeket határoztam meg:

- legalább 1.5 MHz működési sávszélesség
- aszimmetrikus táp lehetősége
- rail-to-rail működés
- alacsony fogyasztás

A választás a MCP6273 gyártói jelű integrált áramkörre esett, mely egy 170 μA fogyasztási móddal és aszimmetrikus táppal rendelkező 2 MHz sávszélességű rail-to-rail műveleti erősítőt tartalmaz. **(HIVATKOZÁS)**

Az erősítő engedélyezéséhez egy aktív alacsony jelet kell a mikrovezérlőnek előállítani. A \overline{CS} lába az IC-nek 100 k Ω ellenálláson keresztül 3.3 V feszültségre van kötve.

Az mérőjelet előállító áramkör működéséhez szükség van az erősítéseket, frekvenciát és hiszterézist meghatározó passzív R, C elemekre.

A méretezés során figyelembe vettem, hogy 0603 és 0508 méretekkkel rendelkező SMD alkatrészekkel történik a megvalósítás, illetve az E24-es szabványsor szerinti értékek érhetők el.

A mérőjel frekvenciáját meghatározó RC-tag a 3-10. ábra C8, R8 és R9 elemeiből tevődik össze.

A frekvencia a következő egyenlet szerint számítható:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{(R_8 + R_9) \cdot C_8} \cong 1520104.52 \text{ Hz} \approx 1.5 \text{ MHz}$$

A komparátor (Schmitt-trigger) billenési feszültségét a következő módon származtathatjuk:

$$IN_+ = U_{ref}$$

$$IN_+ = U_{triangle} \cdot \frac{R_7}{R_{10} + R_7} + U_{square} \cdot \frac{R_{10}}{R_{10} + R_7}$$

$$U_{billenési} = \left(1 + \frac{R_{10}}{R_7}\right) \cdot U_{ref} - \frac{R_{10}}{R_7} \cdot U_{square}$$

,ahol $U_{ref} = 1.65V$, $R_7 = 68 \text{ k}\Omega$ és $R_{10} = 10 \text{ k}\Omega$

Ezek alapján a billenési feszültségek:

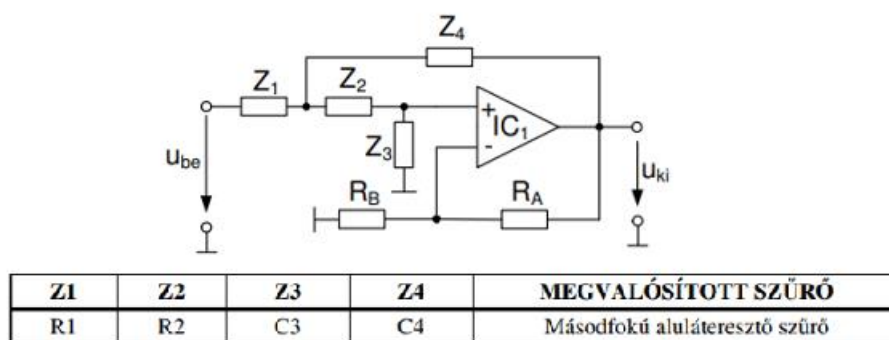
$$U_1 \cong 1.41V$$

$$U_2 \cong 1.89V$$

(HIVATKOZÁS)

A bevezetett hiszterézis ugyan a háromszögjel szimmetriáján ront, viszont biztosítja, hogy nem történhet oszcillálás a komparátor kimenetén.

A szinuszos mérőjel előállításához Sallen-Key alaptagot alkalmaztam, mellyel másodfokú aluláteresztő szűrőt valósítok meg. (HIVATKOZÁS)

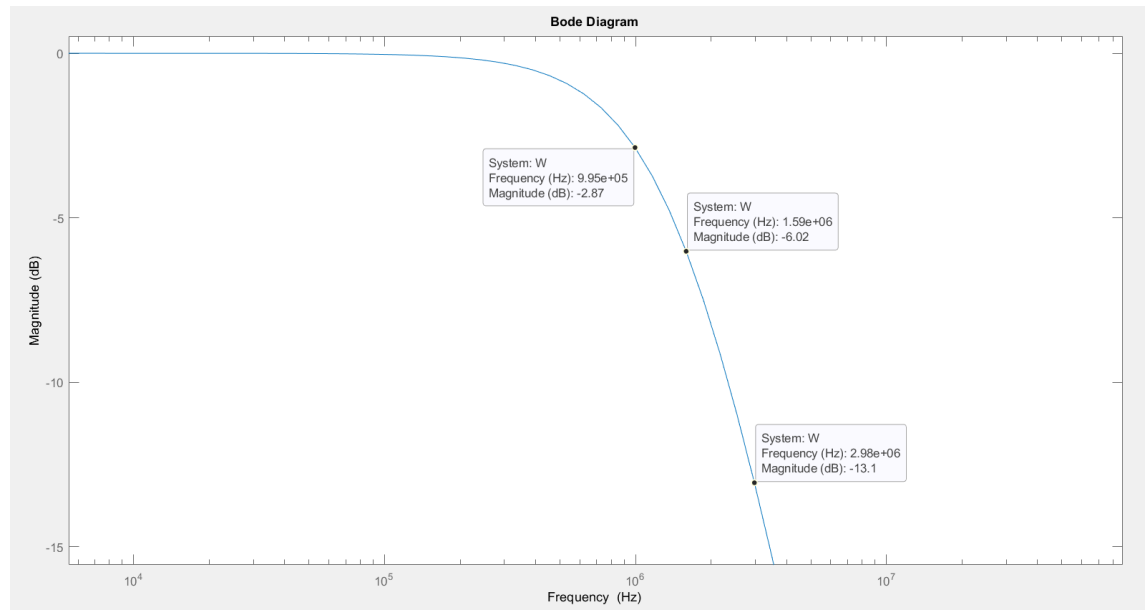


3-11. ábra Sallen-Key alaptag

A 3-10. ábra szerinti kapcsolásban R_1 szerepét R_{11} , R_2 -t R_{21} , C_3 -t C_{10} és C_4 -t C_9 veszi fel.

A kapcsolás átvitele a következő:

$$\frac{U_{ki}(s)}{U_{be}(s)} = \frac{\frac{1}{R_{11}C_{10}R_{21}C_9}}{s^2 + s\left(\frac{1}{R_{21}C_9} + \frac{1}{R_{10}C_9}\right) + \frac{1}{R_{11}C_{10}R_{21}C_9}}$$



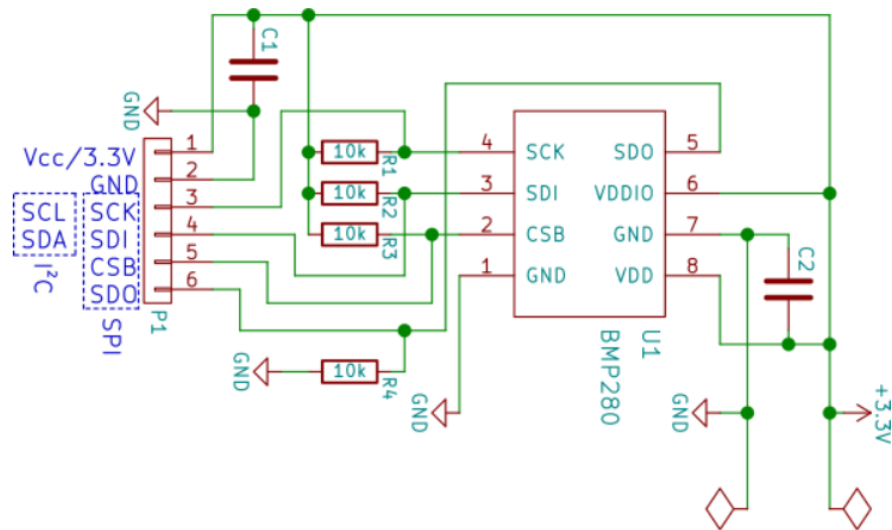
3.1.10 Hőmérséklet- és nyomásmérő áramkör

Az öntözőrendszer számára fontos, hogy a környezeti hőmérsékletet (elsősorban talajközeli levegőréteg hőmérsékletét) legalább 1 °C pontossággal mérje, annak érdekében, hogy fagy vagy fagyközeli levegőhőmérséklet esetén, ne kapcsolja be az öntözést, még a talaj nedvességtartalmának csökkenése esetén sem.

A levegő nyomásának mérésével következtethetünk az időjárás változására például a nyári záporok előtt nyomásváltozás történik. **(HIVATKOZÁS)**

Erre a feladatra a BMP280 elnevezésű szenzort használtam. Amellett, hogy megfelelő pontossággal mér hőmérsékletet és nyomást, kapható ún. breakout boardon is, így külön kis NYÁK-ra került a szenzor és a nagyáramot is szállító NYÁK hőmérséklete kevésbé befolyásolja a hőmérséklet mérést.

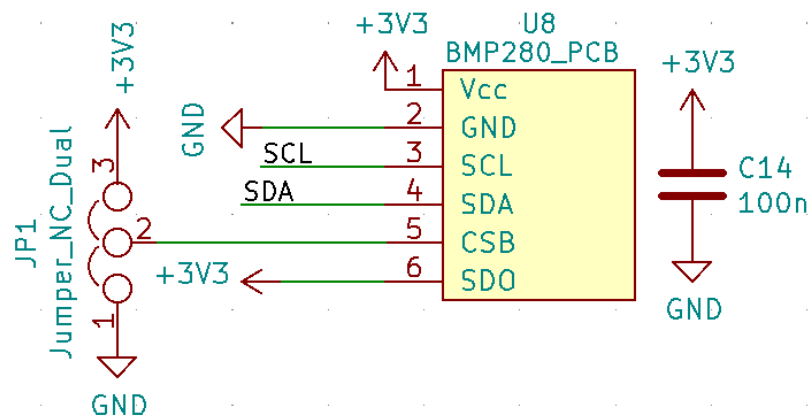
A szenzort I2C (opcionálisan SPI) buszon lehet elérni 0x76 és 0x77 címen, melyen hardveresen lehet állítani, egy jumper segítségével. A kapcsolás belső felépítését a 3-12. ábra, a kliens NYÁK-hoz csatlakozását a 3-13. ábra mutatja.



3-12. ábra BMP280 PCB belső felépítése

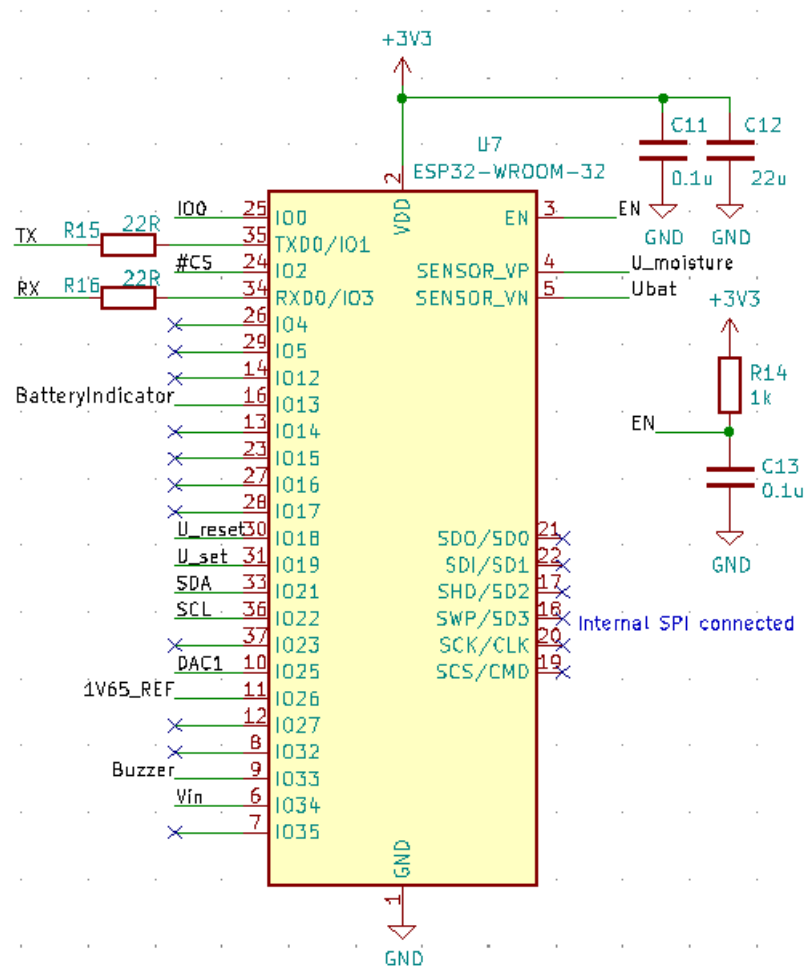
<https://startingelectronics.org/pinout/GY-BMP280-pressure-sensor-module/>

(HIVATKOZÁS)



3-13. ábra BMP280 PCB külső áramköre

3.1.11 ESP32 WROOM-32 periféria áramkörei



3-14. ábra ESP32 WROOM-32

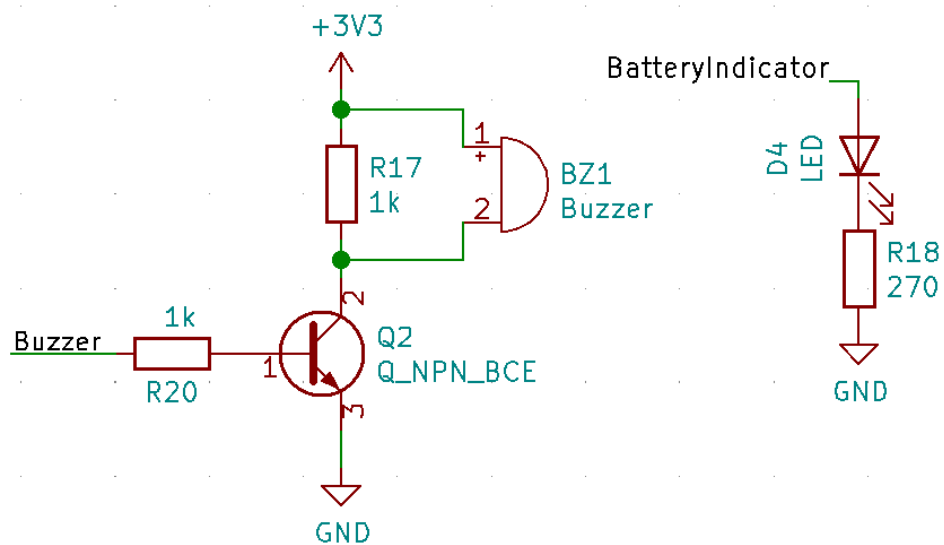
Az ESP32 modul ezen alkalmazáshoz szükséges periféria áramkörök nagy részét tartalmazza, így nem volt szükség sok külső alkatrész csatlakoztatásához.

A 3-14. ábra C₁₁ és C₁₂ hidegítő kondenzátorok a gyártó által javasolt méretekkel rendelkeznek.

R₁₄ és C₁₃ az engedélyező jel (EN) hullámosságának csökkentésére szolgál.

Az általam használt WROOM-32 modul tartalmaz 4 MB flash memóriát, amely SPI buszon keresztül összeköttetésben áll a processzorral. Emiatt a modul 17-22 lábait nem szabad semmilyen külső egységhez kötni.

3.1.12 Egyéb funkciókat ellátó áramkörök



3-15. ábra Buzzer és LED meghajtó áramkörök

A 3-15. ábra tartalmazza a keresési funcióhoz szükséges buzzer meghajtó áramkört, illetve az akkumulátor indikátor áramkört.

A LED 5 mA-es árammal és 2 V nyitófeszültséggel lett méretezve.

A buzzer áramkört 20-20 kHz közötti négyszögjellel kell meghajtani.

3.2 NYÁK terv

Net Classes								
Name	Clearance	Track Width	Via Size	Via Drill	μVia Size	μVia Drill	dPair Width	dPair Gap
Default	0.25 mm	0.25 mm	0.9 mm	0.7 mm	0.3 mm	0.1 mm	0.25 mm	0.25 mm
Power	0.25 mm	0.3048 mm	1.5 mm	1 mm	0.3 mm	0.1 mm	0.25 mm	0.25 mm

4 Szoftver tervezés

4.1 Kliens beágyazott szoftvere

4.2 Központi egység szoftvere

4.2.1 SWAN szerver szoftveres környezete

A SWAN szerver egy Raspberry Pie Zero W single board computeren fut. A RPI hivatalos operációs rendszerét DietPi szoftverre cseréltem, annak érdekében, hogy minél kevesebb erőforrást használjon el az operációs rendszer és több maradjon az MQTT broker futtatására és a webes felület kiszolgálására.

<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/?resellerType=home>

<https://dietpi.com/dietpi-software.html>

A teljes rendszerhez való hozzáférés SSH-n keresztül vagy monitor és USB billentyűzet csatlakoztatásával lehetséges. Ezen felül az eszköznek kiosztott IP címen keresztül különböző telepített szoftverek kezelőfelületei is elérhetőek lokális hálózatról.

A teljes szoftveres felépítéshez egy publikusan elérhető SD kártya image-t használtam fel, amely több használt alkalmazás szoftverét előre telepített és „élesztett” állapotban tartalmazta.

<https://www.sensorsiot.org/diet-pi-supporting-material-videos-126-and-128/>

4.2.2 MQTT broker

Az MQTT protokoll ideális IoT rendszerek adatainak közvetítésére, mivel kis erőforrás és kód igényű, megbízható és kétirányú kommunikációt valósít meg.

Az MQTT Publish/Subscribe architektúrát leíró protokoll, amelyben alap esetben egy broker és több kliens közötti kommunikációt tesz lehetővé.

Minden üzenet küldés akár egy kliens, akár a bróker küldi egy adott témába (topic) kerül publikálásra. A kliensek feliratkoznak egyes témákra, amelyet a bróker jegyez és abban az esetben, ha arra üzenet érkezik minden feliratkozott kliensnek közvetíti. A brókeren keresztül megy minden üzenet, nincs lehetőség kliens-kliens közvetlen kapcsolatra.

A választásom a brókert megvalósító szoftverre, a mosquitto mqtt broker, amely egy nyílt forráskódú lightweight megoldás.

<https://mosquitto.org/>

4.2.3 SQLite

A kliensek felől érkezett adatokat tárolni kell a szerveren, hogy azokat feldolgozhassuk, illetve megjelenítsük a felhasználó számára. Nagy mennyiségű adat rendszerezett tárolására az egyik legelterjedtebb módszer a relációs adatbázisok alkalmazása. Az adatbázisokhoz való hozzáférés szabványosan Structured Query Language (SQL) nyelv segítségével tehetjük meg.

A SWAN szerver SQLite adatbázis motort alkalmazza, mely nyílt forráskódú lightweight megoldást nyújt. Lekérdezések mellett böngészőben megnyitott felületen is van lehetőségünk elérnünk az adatbázis kezelő motort. Ilyen módon került létrehozásra az a két tábla (SWAN,serialnumbers), amelybe adatokat szűr be a szerver működése során.

```
CREATE TABLE 'SERIALNUMBERS' ('key' INTEGER PRIMARY KEY NOT NULL, 'timestamp' DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP)
```

```
CREATE TABLE 'SWAN' ('primkey' INTEGER PRIMARY KEY NOT NULL, 'id' INTEGER, 'moisture' REAL, 'temperature' REAL, 'pressure' REAL, 'status' INTEGER, 'battery' REAL, 'timestamp' DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP)
```

<https://www.sqlite.org/index.html>

https://vik.wiki/images/f/f0/Info2_Adatb%C3%A1zisok_jegyzet_%28r%C3%A9gi%29.pdf

4.2.4 Node-RED

A SWAN szerver három fő feladatot lát el, felhasználói felületet biztosít a mért adatok megtekintéséhez és a kliensekhez való hozzáférésnek, MQTT brókert futtat és adatbázisban tárolja a mért adatokat.

A három fő funkció összefésülésére egy IoT rendszerekben gyakran használt programozási eszközt használtam, a Node-RED alkalmazást.

<https://nodered.org/>

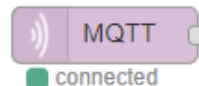
Az alkalmazás lehetővé teszi, hogy úgynevezett node-k összekötésével egyszerű és átlátható módon készítsünk backend-et és frontend-et összekötő szoftvert. Lehetővé teszi, hogy adatáramlást figyelve programozzunk, magas absztrakciós „nyelven”. Node.js alapon működik, amely egy esemény vezérelt modellű lightweight szoftverrendszer.

<https://nodejs.org/en/>

Az alkalmazást, úgynevezett flow-t, böngészőben elérhető grafikus felületen érhetjük el. A következőben ismertetem a SWAN szerver elkészült szoftverében szereplő node-okat általánosan, majd külön alfejezetben a konkrét programot.

MQTT input node:

Feladata a MQTT brókeren keresztül érkező üzenet fogadása egy megadott témában. Tekinthejtük úgy, hogy a node-red flow így iratkozik fel egy témára. Legfontosabb kimenete, msg.payload amely az üzenetet tartalmazó karakterlánc.



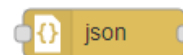
MQTT output node:

Kimenetként az MQTT bróker felé továbbít egy üzenetet egy megadott témával. Tekinthejtük úgy, hogy a node-red flow így publikál egy adott témában. Legfontosabb kimenetei; msg.payload és msg.topic. A node beállításakor a Quality of Service és Retain flag beállítására is ügyelnünk kell.



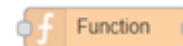
JSON node:

JSON objektumot karakterláncá vagy karakterláncot JSON objektummá alakít. msg.payload attribútumon kívül mást nem módosít.



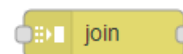
Function node:

Bármilyen javascript programot tartalmazhat ez a node. Kimenetét return kulcsszóval vagy node.send() függvénnyel küldheti tovább a következő node-nak. A kimeneti üzenet a node-red konvenciónak megfelel, amennyiben a függvény blokk nem állítja a kapott msg attribútumait azokat tovább adja a következő node számára.



Join node:

Több node által küldött üzeneteket egyesíthetünk ezzel a node-dal. Beállítása szerint az üzenetek száma, időkorlát vagy msg.complete attribútum bebillentése okozza az addigi üzenetek összekapcsolását. Szintén beállítható az egyesítés módja (tömb, kulcs-érték objektum vagy objektum összefonás).

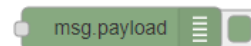


SQLite node:



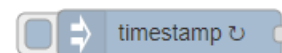
Az adatbázissal kapcsolatot teremtő node. A bemenetére érkezett üzenet témáját (msg.topic) kérdezi le az adatbázistól. Az adatbázis válaszát a kimenetre üzenetként továbbítja (msg.payload).

Debug node:



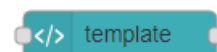
Fejlesztéshez elengedhetetlen, hogy a debug fülön nyomonkövethető legyen az adatáramlás. Ez a node a bemenetét a debug fülre továbbítja, illetve időbélyeggel is ellátja azt. A jobb oldalán található zöld gombbal ki/be kapcsolható hatása, a könnyebb fejlesztés érdekében.

Inject node:



Beállításai szerint induláskor vagy periodikusan vagy a fejlesztő felületen megnyomásakor az aktuális időbélyeget küldi ki üzenetként. Debugolásra vagy timer megvalósításra alkalmas node.

UI template node:



A felhasználói felületet UI node-k reprezentálják. A template node bármilyen HTML állomány fogadására képes. A HTML állományban leírt objektum a node-hoz rendelt dashboard elemen jelenik meg.

Chart node:

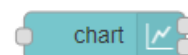
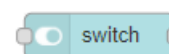


Chart node segítségével egyszerűen hozhatunk létre dinamikusan formálódó kétdimenziós ábrát. A bemenetén kapott Y értékeket automatikusan árbrázolja az aktuális időbélyeg szerint egy kétdimenziós ábrán. A bejövő üzenet témája (msg.topic) külön árbrázolja az adatokat. Állapotát nem őrzi meg, minden újraindítás után üresen indul az ábra. Lehetőség van a Chart.js könyvtár dokumentációja szerinti paraméterezésre, amellyel egyszerre több X-Y pár megadása is lehetséges (pl. régebbi adatok betöltése érdekében). Ezt a lehetőséget a SWAN serveren futó node-red verzióval viszont nem sikerült kihasználni.

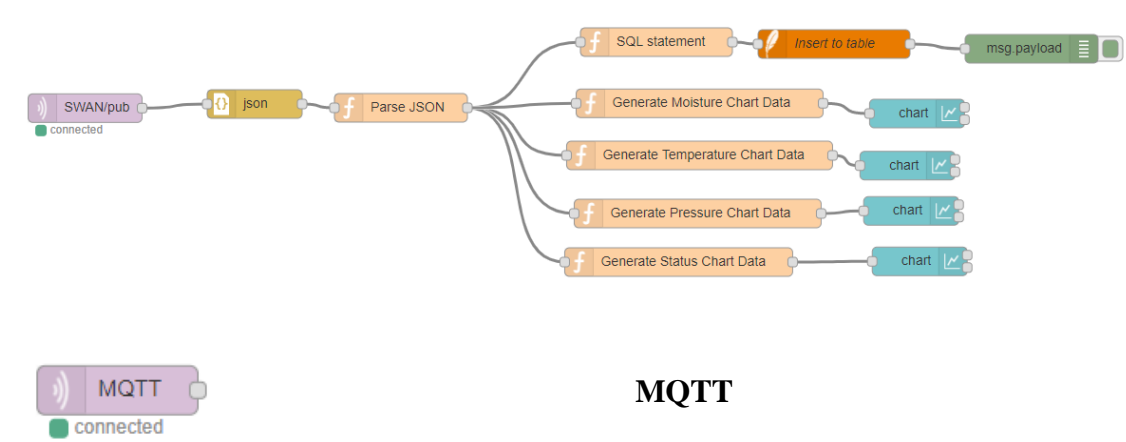
<https://www.chartjs.org/>

Dashboard Switch node:



A felhasználói felületen egy kapcsoló jelenik a beállított dashboard elemen. A kapcsolóra való kattintás során a node előre beállított üzenetet továbbít.

4.2.5 SWAN SERVER flow



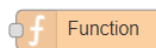
Feladat:	
Kód:	

Function

Parse JSON

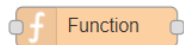
Feladat:	
Kód:	<pre>1 var avgtemp; 2 var avgmoist; 3 var avgpres; 4 var status= msg.payload.status; 5 var id=msg.payload.Client; 6 var battery = 7 msg.payload.Battery_Voltage; 8 9 avgtemp = (msg.payload.temp[0]+ 10 msg.payload.temp[1]+ 11 msg.payload.temp[2]+ 12 msg.payload.temp[3]+ 13 msg.payload.temp[4])/5; 14 avgpres = (msg.payload.pressure[0]+ 15 msg.payload.pressure[1]+ 16 msg.payload.pressure[2]+ 17 msg.payload.pressure[3]+ 18 msg.payload.pressure[4])/5; 19 avgmoist = (msg.payload.U_moisture[0]+ 20 msg.payload.U_moisture[1]+ 21 msg.payload.U_moisture[2]+ 22 msg.payload.U_moisture[3]+</pre>

	<pre> msg.payload.U_moisture[4])/5; 11 12 13 temp = avgtemp.toFixed(2); 14 pres = avgpres.toFixed(2); 15 moist = avgmoist.toFixed(2); 16 17 var data = {payload: [id,moist,temp,pres,status,battery]}; 18 19 return data; </pre>
--	---



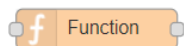
SQL statement (insert payload)

Feladat:	
Kód:	<pre> 1 var topic = " INSERT INTO \"SWAN\" (\"ID\", \"moisture\", \"temperature \", \"pressure\", \"status\", \"battery\") VALUES ('"+msg.payload[0]+"', '"+msg.payload[1] +\"'\", '"+msg.payload[2]+"', '"+msg.payload[3]+ \"'\", '"+msg.payload[4]+"', '"+msg.payload[5]+"'"); 2 var newmsg={}; 3 newmsg.topic = topic; 4 return newmsg; </pre>



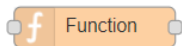
Generate Moisture Chart Data

Feladat:	
Kód:	<pre> 1 var msg1 = { payload:msg.payload[1], topic:msg.payload[0] }; 2 3 return msg1; </pre>



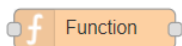
Generate Temperature Chart Data

Feladat:	
Kód:	<pre> 1 var msg1 = { payload:msg.payload[2], topic:msg.payload[0] }; 2 3 return msg1; </pre>



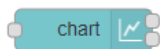
Generate Pressure Chart Data

Feladat:	
Kód:	<pre>1 var msg1 = { payload:msg.payload[3], 2 topic:msg.payload[0] }; 3 return msg1;</pre>



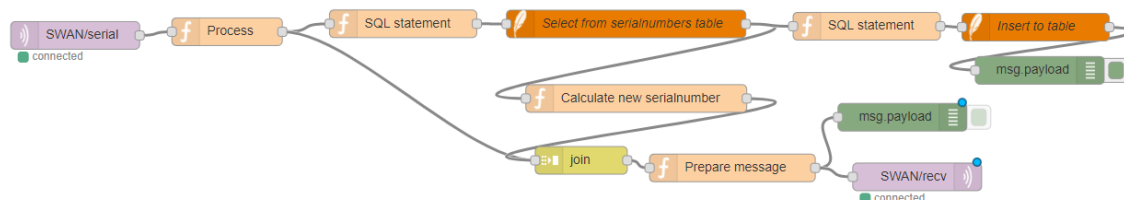
Generate Status Chart Data

Feladat:	
Kód:	<pre>1 var msg1 = { payload:msg.payload[4], 2 topic:msg.payload[0] }; 3 return msg1;</pre>



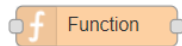
Chart

Típus:	Function
Feladat:	
Kód:	



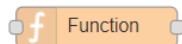
MQTT

Feladat:	
Kód:	



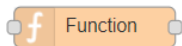
Process

Feladat:	
Kód:	<pre>1 msg.payload = parseInt(msg.payload); 2 3 return msg;</pre>



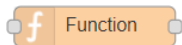
SQL statement (Select maxkey)

Feladat:	<p>A blokk feladata, hogy SQL blokk számára előállítsa a SQL lekérést. newmsg.topic tartalmazza az érvényes SQL állítást. A serialnumbers táblából SELECT utasítással a key oszlop értékeit kérjük le. MAX() függvénnyel módosítjuk a lekérést, ezáltal csak az oszlop legnagyobb értékét kapjuk vissza.</p> <p>A létrejövő MAX(key) javascript objektumot hibás szintaxisú, ezért AS kulcsszóval új nevet adunk neki, maxkey, amely már javascript kompatibilis.</p>
Kód:	<pre>1 var topic = "SELECT MAX(key) AS maxkey FROM serialnumbers"; 2 3 var newmsg={} 4 newmsg.topic = topic; 5 return newmsg;</pre>



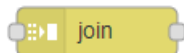
SQL statement (inject newkey)

Feladat:	
Kód:	<pre>1 var tempnum = msg.payload[0].maxkey+1; 2 serialnumber = tempnum.toString(); 3 4 5 var topic = " INSERT INTO \"SERIALNUMBERS\" (\"key\") VALUES ('"+serialnumber+"')"; 6 var newmsg={} 7 newmsg.topic = topic; 8 return newmsg;</pre>



Calculate new serialnumber

Feladat:	
Kód:	<pre>1 if (msg.payload[0].maxkey === null){ 2 msg.payload = 1;} 3 else{ 4 msg.payload = msg.payload[0].maxkey + 1 5 }; 6 return msg;</pre>



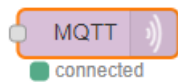
Join

Típus:	Function
Feladat:	
Kód:	



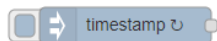
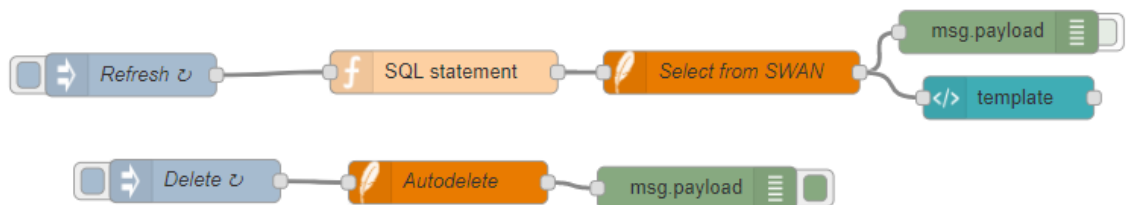
Prepare message

Feladat:	
Kód:	<pre>1 msg.payload = msg.payload[0].toString() + "\", " + msg.payload[1].toString(); 2 3 return msg;</pre>



MQTT

Feladat:	
Kód:	



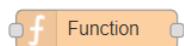
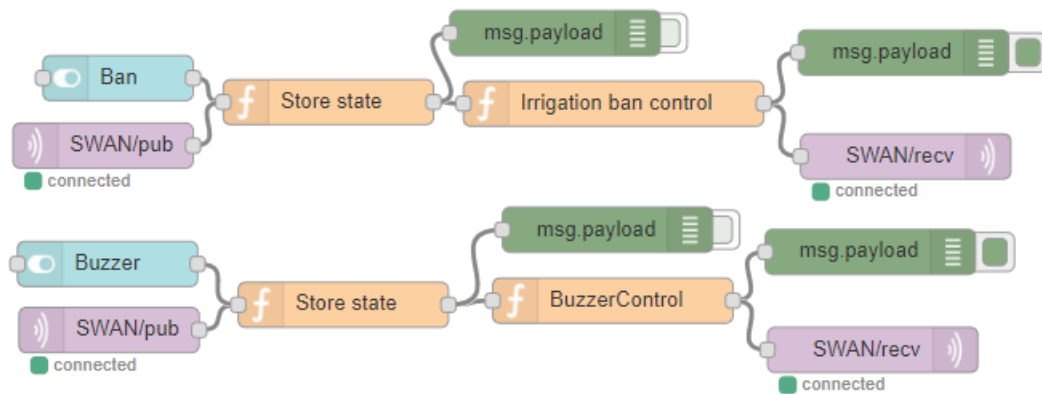
Refresh

Feladat:	
Kód:	



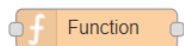
Delete

Feladat:	
Kód:	



Store state

Feladat:	
Kód:	<pre> 1 var state = context.get('state') false; 2 3 if (msg.topic == 'switch') { 4 state = msg.payload; 5 context.set('state', state); 6 } 7 8 return {payload: state}; </pre>



Irrigation ban control

Feladat:	
Kód:	<pre> 1 if (msg.payload === true) { 2 msg.payload = "banned"; 3 } 4 else { 5 msg.payload = "enabled"; 6 } 7 8 return msg; </pre>

Feladat:	
Kód:	<pre> 1 if (msg.payload === true) { 2 msg.payload = "lost"; 3 } 4 else { 5 msg.payload = "found"; 6 } 7 return msg; </pre>

Table

ID	Moisture Voltage [V]	Temperature [°C]	Pressure [hPa]	Status	Timestamp
1 1		23.27	1010.05	0	2020-11-29 21:07:38
1 1		22.6	1010	0	2020-11-29 20:51:53
1 1		21.85	1010.11	0	2020-11-29 20:36:10
1 1		22.56	1010.09	0	2020-11-29 20:20:27
1 1		23.18	1010	0	2020-11-29 20:04:45
1 1		23.73	1009.92	0	2020-11-29 19:49:03
1 1		24.13	1009.78	0	2020-11-29 19:33:21
1 1		24.09	1009.67	0	2020-11-29 19:17:37
1 1		24.04	1009.58	0	2020-11-29 19:01:53
1 1		23.98	1009.63	0	2020-11-29 18:46:09
1 1		23.89	1009.59	0	2020-11-29 18:30:25
1 1		23.92	1009.43	0	2020-11-29 18:14:42
1 1		24.02	1009.46	0	2020-11-29 17:58:58
1 1		24.17	1009.41	0	2020-11-29 17:43:15
1 1		24.15	1009.38	0	2020-11-29 17:27:31
1 1		23.81	1009.26	0	2020-11-29 17:11:47
1 1		23.47	1009.27	0	2020-11-29 16:56:05
1 1		23.43	1009.19	0	2020-11-29 16:40:26
1 1		23.43	1009.17	0	2020-11-29 16:38:36
1 1		23.42	1009.13	0	2020-11-29 16:36:20
1 1		23.37	1009.06	0	2020-11-29 16:30:34
1 1		23.36	1009.05	0	2020-11-29 16:29:15
1 1		23.36	1009.04	0	2020-11-29 16:28:26
1 1		23.3	1008.94	0	2020-11-29 16:17:43
1 1		23.29	1008.91	0	2020-11-29 16:15:25
1 1		23.28	1008.94	0	2020-11-29 16:13:07
1 1		23.27	1008.88	0	2020-11-29 16:10:49

5 Validációs mérés

5.1 NYÁK bemérése

5.2 Szenzor bemérése

6 Irodalomjegyzék

[1] KSH, A lakott lakások lakóövezeti jelleg szerint (2001)

http://www.ksh.hu/nepszamlalas/docs/tablak/lakasviszonyok/12_02_28.xls

[2] Önálló laboratórium projekt

<https://github.com/Zaion-BM/SWAN>

[3] Mágnesszelep működése

https://en.wikipedia.org/wiki/Solenoid_valve (2020.10.15)

[4]

[5]

[6]

[7]

[8]

[9]

[10]

[11]

[12]

[13]

[14]

[15]

7 Fűggelék

Sallen_Key_filter.m

```
1 %% Sallen-Key 2nd order Low Pass Filter transfer function
2
3 %Parameters
4 R10 = 1.E4;
5 R21 = 1.E4;
6 C10 = 1.E-11;
7 C9 = 1.E-11;
8
9 %Transfer function
10 W = tf((1/(R10*C10*R21*C9)), [1, 1/(R21*C9)+1/(R10*C9), ...
11     1/(R10*C10*R21*C9)]);
12
13 %Bode diagram solely with amplitude
14 h = bodeplot(W);
15 setoptions(h, 'FreqUnits', 'Hz', 'PhaseVisible', 'off');
```

buzzer.h

```
1 #ifndef BUZZER_H
2 #define BUZZER_H
3
4 void buzzer_TASK(void *pvParameters);
5
6 #endif /*BUZZER_H*/
```

buzzer.ino

```
1 #include "Buzzer.h"
2
3 void buzzer_TASK(void *pvParameters){
4     const byte buzzerInputGPIO = 33; //GPIO connected to buzzer
5     pinMode(buzzerInputGPIO, OUTPUT); //Select pinmode
6     vTaskDelay(1000); //yield
7
8     Serial.println("Buzzer task starts.");
9     while(lost){ //If lost, than generate squarewave (~400 Hz)
10         digitalWrite(buzzerInputGPIO, HIGH);
11         vTaskDelay(1);
12         digitalWrite(buzzerInputGPIO, LOW);
13         vTaskDelay(1);
14     }
15     while(1){
16         vTaskResume(sleep_TaskHandle); //Resume sleepTask
17         Serial.println("Buzzer task ends.");
18         vTaskDelay(delayTime*2);
19     }
20 }
```

Sleep.h

```
1 #ifndef SLEEP_H
2 #define SLEEP_H
3
4 void sleep_TASK(void *pvParameters);
5
6 #endif /*SLEEP_H*/
```

Sleep.ino

```
1 #include "Sleep.h"
2
3 void sleep_TASK(void *pvParameters){
4     while(1){
5         vTaskDelay(100); //yield
6         Serial.println();
7         Serial.println(F("SWAN Client enters deep sleep ..."));
8         //Enable and configure wakeup cause
9         esp_sleep_enable_timer_wakeup(TIME_TO_SLEEP *
            uS_TO_S_FACTOR);
10        //Go to deep sleep on both cores
11        esp_deep_sleep_start();
12    }
13 }
```

MQTT.h

```
1 #ifndef MQTT_H
2 #define MQTT_H
3
4 void MQTT_TASK(void *pvParameters);
5
6 #endif /*MQTT_H*/
```

MQTT.ino

```
1     #include "MQTT.h"
2     #include <WiFi.h>
3     #include <PubSubClient.h>
4     #include <ArduinoJson.h>
5
6     /*Credential for wifi and mqtt broker IP*/
7     const char* ssid = "*****";
8     const char* password = "*****";
9     const char* mqtt_server = "192.168.0.202";
10
11     // Callback function called when MQTT message is received
12     void callback(char* topic, byte* message,
        unsigned int length) {
```

```

13     Serial.print("Message arrived on topic: ");
14     Serial.print(topic);
15     Serial.print(". Message: ");
16     String messageTemp;
17     //Process and log message
18     for (int i = 0; i < length; i++) {
19         Serial.print((char)message[i]);
20         messageTemp += (char)message[i];
21     }
22     Serial.println();
23
24     //Set and log associated variables
25     if( messageTemp == "banned") {
26         Serial.print("I'm banned");
27         Serial.println();
28         banned = true;
29     }
30     if( messageTemp == "enabled") {
31         Serial.print("I'm enabled");
32         Serial.println();
33         banned = false;
34     }
35     if( messageTemp == "lost") {
36         Serial.print("I'm lost");
37         Serial.println();
38         lost = true;
39     }
40     if( messageTemp == "found") {
41         Serial.print("I'm found");
42         Serial.println();
43         lost = false;
44     }
45 }
46
47 void MQTT_TASK(void *pvParameters){
48     vTaskDelay(10); //yield
49     Serial.println();
50     Serial.print("Connecting to ");
51     Serial.println(ssid);
52
53     //Start wifi connection
54     WiFi.begin(ssid, password);
55
56     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
57         //If not connected retry every 0.5s
58         vTaskDelay(500);
59         Serial.print(".");
60     }
61
62     /*Log wifi information*/
63     Serial.println("");
64     Serial.println("WiFi connected");
65     Serial.println("IP address: ");
66     Serial.println(WiFi.localIP());
67
68     /*Set up connection with MQTT broker*/

```



```

69     client.setServer(mqtt_server, 1883);
70     client.setCallback(callback);
71     client.connect("SWAN1");
72     client.subscribe("SWAN/recv");
73     Serial.println("MQTT connected");
74
75     char payload[512]; //Buffer array
76
77     //Send messages only after mutex is taken
78     if(xSemaphoreTake( measurementMutex, ( TickType_t ) 10 )
== pdTRUE){
79         Serial.println("Publishing...");
80
81         //"Creating JSON"
82         StaticJsonDocument<512> doc;
83
84         doc["Client"] = serialNumber;
85         doc["Battery_Voltage"] = Ubat;
86         doc["status"] = irrigatonStatus;
87
88         JsonArray temperature = doc.createNestedArray("temp");
89         for(int i=0;i<5;i++){
90             temperature.add(temp[i]);
91         }
92
93         JsonArray pres = doc.createNestedArray("pressure");
94         for(int i=0;i<5;i++){
95             pres.add(pressure[i]);
96         }
97         JsonArray U_mois = doc.createNestedArray("U_moisture");
98         for(int i=0;i<5;i++){
99             U_mois.add(U_Moisture[i]);
100         }
101
102         //Generate string from JSON
103         serializeJson(doc, payload);
104         //Publish payload to /pub topic
105         client.publish("SWAN/pub", payload);
106
107         //UART logging
108         Serial.print(payload);
109         Serial.println();
110
111         //Give mutex
112         xSemaphoreGive(measurementMutex);
113
114         //yield
115         vTaskDelay(delayTime/2);
116
117         //Resume buzzerTask
118         vTaskResume(buzzer_TaskHandle);
119     }
120     while(1){vTaskDelay(delayTime);} //yield
121 }

```

Irrigation.h

```
1 #ifndef IRRIGATION_H
2 #define IRRIGATION_H
3
4 void irrigation_TASK(void *pvParameters);
5
6 #endif /*IRRIGATION_H*/
```

Irrigation.ino

```
1  #include "Irrigation.h"
2
3  void irrigation_TASK(void *pvParameters){
4      const byte resetPulse = 18; //GPIO connected to optocoupler
5      const byte setPulse = 19; //GPIO connected to optocoupler
6      pinMode(resetPulse, OUTPUT); //Set pinmode
7      pinMode(setPulse, OUTPUT); //Set pinmode
8      float limit = 1.5;
9
10     Serial.println("Irrigation task starts.");
11
12     while(1){
13         if(frozen || banned) { //Turn off valve
14             digitalWrite(setPulse, LOW);
15             digitalWrite(resetPulse, HIGH);
16             irrigatonStatus = 0;
17             Serial.println("Irrigation task end(OFF).");
18             vTaskDelay(delayTime);
19         }
20         else{
21             //Turn on valve if average sensor voltage is
22             under limit
23             if(((U_Moisture[0]+U_Moisture[1]+U_Moisture[2]
24 +U_Moisture[3]+U_Moisture[4])/5) > limit ){
25                 digitalWrite(resetPulse, LOW);
26                 digitalWrite(setPulse, HIGH);
27                 irrigatonStatus = 1;
28                 Serial.println("Irrigation task end(ON).");
29                 vTaskDelay(delayTime);
30             }
31             else{ //Turn off valve if average sensor voltage
32             is above limit
33                 digitalWrite(setPulse, LOW);
34                 digitalWrite(resetPulse, HIGH);
35                 irrigatonStatus = 0;
36                 Serial.println("Irrigation task end(OFF).");
37                 vTaskDelay(delayTime);
38             }
39         }
40     }
41 }
```

BMP280_task.h

```
1 #ifndef BMP280_TASK_H
2 #define BMP280_TASK_H
3
4 void BMP280_TASK(void *pvParameters);
5 void printValues(int);
6 void BMP280_Sleep(int device_address);
7
8 #endif /*BMP280_TASK_H*/
```

BMP280_task.ino

```
1 #include <Adafruit_Sensor.h>
2 #include <Adafruit_BMP280.h>
3
4 #include "BMP280_task.h"
5
6 Adafruit_BMP280 bmp; //variable for sensor
7 int device_address = 0x76; //I2C address
8
9 RTC_DATA_ATTR float temp[5]; //Temperature values [°C]
10 RTC_DATA_ATTR float pressure[5]; //Pressure values [hPa]
11
12
13 void BMP280_TASK(void *pvParameters){
14     unsigned long retryTime = 300000; //5*6*10*1000*1ms = 5min
15     bool status; //I2C device status
16     float avgTemp; //Average temperature [°C]
17
18     status = bmp.begin(device_address); //Start I2C
19     communication
20
21     if (!status) {
22         Serial.println("Could not find sensor!");
23         while (1){//Periodically attempt to find sensor
24             vTaskDelay(retryTime);
25         };
26     }
27
28     //Sleep to save power
29     BMP280_Sleep(0x76);
30
31     while(1) {
32         Serial.println();
33         Serial.println("BMP280_TASK begins");
34
35         bmp.begin(device_address);
36         Serial.println("BMP280 to Normal mode...");
37
38         if(measurementCounter < 5){//Read measurements in normal mode
39             temp[measurementCounter] = bmp.readTemperature();
```

```

39     pressure[measurementCounter] = bmp.readPressure() /
40 100.0F;
41     }
42
43     for(int i=0;i<5;i++){
44         avgTemp += temp[i]; //Calculate average temperature
45     }
46     avgTemp = avgTemp / 5;
47
48     //If temperature is under 5°C, ambient temperature can be
49 below 0°C
50     if( (avgTemp - 5.0)< 0.01 ){frozen = true;}
51
52     printValues();
53
54     //Sleep to save power
55     BMP280_Sleep(device_address);
56     Serial.println("BME280 to Sleep mode...");
57
58     Serial.println("BMP280_TASK ends");
59     vTaskDelay(delayTime);
60 }
61
62 void printValues() { //UART logging
63     Serial.print("Temperature: ");
64     for(int i=0; i<5;i++){
65         Serial.print(temp[i]);
66         Serial.print(" *C ");
67     }
68     Serial.print(", ");
69
70     Serial.print("Pressure: ");
71     for(int i=0; i<5;i++){
72         Serial.print(pressure[i]);
73         Serial.print(" hPa ");
74     }
75     Serial.println();
76 }
77
78 void BMP280_Sleep(int device_address) {
79     // Mode[1:0]  Mode
80     //    00      'Sleep' mode
81     //    01 / 10  'Forced' mode, use either '01' or '10'
82     //    11      'Normal' mode
83
84     Wire.beginTransmission(device_address);
85     Wire.write((uint8_t)0xF4);
86     Wire.write((uint8_t)0b00000000);
87     Wire.endTransmission();
88 }

```

ADC.h

```
1 #ifndef ADC_H
```

```

2 #define ADC_H
3
4 void ADC_TASK(void *pvParameters);
5
6 #endif /*ADC_H*/

```

ADC.ino

```

1  #include "ADC.h"
2
3  float Vin= 0.0; //Power supply voltage [V]
4  RTC_DATA_ATTR float U_Moisture[5]; //Moisture sensor
   voltage [V]
5  float Ubat = 0.0; //battery voltage [V]
6
7  int ADC1_CH0 = 36; //GPIO36, U_Moisture
8  int ADC1_CH3 = 39; //GPIO39, Ubat
9  int ADC1_CH6 = 34; //GPIO34, Vin
10
11 void ADC_TASK(void *pvParameters){
12
13     //Take mutex
14     xSemaphoreTake(measurementMutex, portMAX_DELAY);
15
16     while(1){
17         if(measurementCounter==5){//Cyclic index
18             measurementCounter=0;
19         }
20
21         dacWrite(26, 127); //Set 1.65V as reference
22         digitalWrite(2, LOW); //Enable opamps
23         vTaskDelay(500); //Wait for transients
24
25         Serial.println();
26         Serial.println("ADC_TASK begins");
27
28         //Measure moisture sensor voltage
29         U_Moisture[measurementCounter] = (float)( analogRead(
ADC1_CH0) / 4095);
30
31         //Measure battery voltage
32         Ubat = (float)( analogRead(ADC1_CH3) / 4095);
33
34         //Measure power supply voltage
35         Vin = (float)( analogRead(ADC1_CH6) / 4095);
36
37         //Disable opamps
38         digitalWrite(2, HIGH);
39
40         /*Serial logging*/
41         Serial.print("Voltage of soil moisture sensor: ");

```

```

42     for(int i=0; i<5;i++){
43         Serial.print(U_Moisture[i]);
44         Serial.print(" ");
45     }
46     Serial.print(" V, ");
47
48     Serial.print("Battery voltage: ");
49     Serial.print(Ubat);
50     Serial.print(" V, ");
51
52     Serial.print("PSU voltage: ");
53     Serial.print(Vin);
54     Serial.println(" V");
55
56     //Increment measureindex
57     measurementCounter++;
58
59     /*When 5 measurements are taken,
60     resume irrigation, MQTT task and give mutex*/
61     if(measurementCounter == 5 ){
62         xSemaphoreGive(measurementMutex);
63         vTaskResume(irrigation_TaskHandle);
64         vTaskResume(MQTT_TaskHandle);
65     };
66
67     Serial.println("ADC_TASK ends");
68     vTaskDelay(delayTime);
69 }
70 }

```

SWAN_CLIENT.ino

```

1  #if CONFIG_FREERTOS_UNICORE
2  #define ARDUINO_RUNNING_CORE 0
3  #else
4  #define ARDUINO_RUNNING_CORE 1
5  #endif
6
7  #define uS_TO_S_FACTOR 1000000 //us to s conversion
8  #define TIME_TO_SLEEP  900 //sleep time in s
9
10
11 /*Includes*/
12 #include <WiFi.h>
13 #include <PubSubClient.h>
14 #include <EEPROM.h>
15 #include "getSerialNumber.h"
16
17 #define EEPROM_SIZE 1
18

```

```

19 RTC_DATA_ATTR int measurementCounter = 0; //index for
20 measurements
21 unsigned long delayTime = 10000;    //10*1000*1ms = 10sec
22 unsigned int serialNumber; //serial number of client
23 bool banned = false; // if true client won't actuate
24 bool frozen = false; // if true client won't actuate
25 bool lost = false; // if true client runs buzzer
26 int irrigatonStatus; //
27
28 /*Wifi and MQTT client instances*/
29 WiFiClient espClient;
30 PubSubClient client(espClient);
31
32 /*FreeRTOS task handles*/
33 TaskHandle_t bmp280_TaskHandle = NULL;
34 TaskHandle_t adc_TaskHandle = NULL;
35 TaskHandle_t sleep_TaskHandle = NULL;
36 TaskHandle_t buzzer_TaskHandle = NULL;
37 TaskHandle_t irrigation_TaskHandle = NULL;
38 TaskHandle_t MQTT_TaskHandle = NULL;
39
40 /*Mutex*/
41 SemaphoreHandle_t measurementMutex;
42
43 void setup() { //Run once after every reset
44     setCpuFrequencyMhz(80); //Slows CPU to save power
45
46     Serial.begin(115200); //UART for debugging
47
48     //Reading non-volatile serialnumber from EEPROM
49     EEPROM.begin(EEPROM_SIZE);
50     serialNumber = EEPROM.read(0);
51
52     //Acquire serialnumber if it is not set
53     if(serialNumber == 255){
54         getSerialNumber();
55         serialNumber = EEPROM.read(0);
56         Serial.print(" SerialNumber: ");
57         Serial.println(serialNumber);
58         delay(10);
59         ESP.restart();
60     }
61
62     //Create mutex to block MQTT task while measurements are
    made
63     measurementMutex = xSemaphoreCreateMutex();
64
65     //Create task
66     xTaskCreatePinnedToCore(
67         BMP280_TASK
68         , "BMP280Task"
69         , 2048
70         , NULL
71         , 3
72         , &bmp280_TaskHandle
73         , ARDUINO_RUNNING_CORE);

```

```

73
74 //Create task
75 xTaskCreatePinnedToCore(
76     ADC_TASK
77     , "ADC_TASK"
78     , 1024
79     , NULL
80     , 3
81     , &adc_TaskHandle
82     , ARDUINO_RUNNING_CORE);
83
84 //Create task
85 xTaskCreatePinnedToCore(
86     sleep_TASK
87     , "SleepTASK"
88     , 1024
89     , NULL
90     , 2
91     , &sleep_TaskHandle
92     , ARDUINO_RUNNING_CORE);
93
94 //Suspend task immediately
95 vTaskSuspend(sleep_TaskHandle);
96
97 //Create task
98 xTaskCreatePinnedToCore(
99     buzzer_TASK
100     , "BuzzerTask"
101     , 1024
102     , NULL
103     , 2
104     , &buzzer_TaskHandle
105     , ARDUINO_RUNNING_CORE);
106
107 //Suspend task immediately
108 vTaskSuspend(buzzer_TaskHandle);
109
110 //Create task
111 xTaskCreatePinnedToCore(
112     irrigation_TASK
113     , "IrrigationTask"
114     , 1024
115     , NULL
116     , 1
117     , &irrigation_TaskHandle
118     , ARDUINO_RUNNING_CORE);
119
120 //Suspend task immediately
121 vTaskSuspend(irrigation_TaskHandle);
122
123 //Create task
124 xTaskCreatePinnedToCore(
125     MQTT_TASK
126     , "MQTTTask"
127     , 5120
128     , NULL

```



```

129     , 2
130     , &MQTT_TaskHandle
131     , ARDUINO_RUNNING_CORE);
132
133 //Suspend task immediately
134 vTaskSuspend(MQTT_TaskHandle);
135 }
136
137 void loop(){//Mapped to idle task
138     client.loop();
139 }

```

getSerialNumber.h

```

1 #ifndef GETSERIALNUMBER_H
2 #define GETSERIALNUMBER_H
3
4 #include <WiFi.h>
5 #include <PubSubClient.h>
6 #include <EEPROM.h>
7
8 void getSerialNumbert(void);
9
10 #endif /*GETSERIALNUMBER*/

```

getSerialNumber.ino

```

1 #include "getSerialNumber.h"
2
3 //Wait for broker sending serialnumber back
4 bool wait = true;
5
6 //Pseudorandom number to identify with broker without serialnumber
7 int rndNum;
8
9 // Callback function called when MQTT message is received
10 void serialcallback(char* topic, byte* message, unsigned int length) {
11     Serial.print("Message arrived on topic: ");
12     Serial.print(topic);
13     Serial.print(". Message: ");
14     String messageTemp;
15
16     //Process and log message
17     for (int i = 0; i < length; i++) {
18         Serial.print((char)message[i]);
19         messageTemp += (char)message[i];
20     }
21
22     //Process message string into random number and serialnumber
23     int numberTemp = messageTemp.toInt();
24     if(rndNum == numberTemp){//If sent and received random number is
        identical get serialnumber
25         int separatorIndex = messageTemp.indexOf(",");

```

```

26     numberTemp = messageTemp.substring(separatorIndex+1).toInt();
27     if(numberTemp != 0){
28         EEPROM.write(0, numberTemp);
29         EEPROM.commit();
30     }
31     wait = false;
32     Serial.println();
33 }
34     Serial.println();
35 }
36
37 void getSerialNumber(){
38     Serial.println();
39     Serial.print("Connecting to ");
40     Serial.println(ssid);
41
42     //Start wifi connection
43     WiFi.begin(ssid, password);
44
45     //If not connected wait
46     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED);
47
48     /*Set up connection with MQTT broker*/
49     client.setServer(mqtt_server, 1883);
50     client.setCallback(serialcallback);
51     client.connect("SWAN");
52     client.subscribe("SWAN/recv");
53     Serial.println("MQTT connected");
54
55     char payload[512];
56     rndNum = esp_random();//generate random number
57     sprintf(payload, "%d", rndNum); //convert int to string
58
59     //Publish random number
60     client.publish("SWAN/serial", payload);
61
62     while(wait){client.loop();}
63     return;
64 }

```