

Széchenyi István Egyetem
Gépészmérnöki, Informatikai és
Villamosmérnöki Kar

SZAKDOLGOZAT

Rábai Balázs
Villamosmérnök BSc.

2024

[Gerincen:] Rábai Balázs, 2024



**SZÉCHENYI
EGYETEM**
UNIVERSITY OF GYŐR
GÉPÉSZMÉRNÖKI, INFORMATIKAI
ÉS VILLAMOSMÉRNÖKI KAR

Szakdolgozat

Okostermosztát rendszer tervezése és kivitelezése a felhasználói kényelem és energiahatékonyság javítására

Rábai Balázs

**Villamosmérnöki BSc szak
Automatizálási szakirány**

2024

Feladat-kiíró lap szakdolgozathoz

Nyilatkozat

Alulírott, Rábai Balázs (BK2W0W), Villamosmérnök, BSc. szakos hallgató kijelentem, hogy az *Okos termosztát rendszer tervezése és kivitelezése a felhasználói kényelem és energiahatékonyság javítására* című szakdolgozat feladat kidolgozása a saját munkám, abban csak a megjelölt forrásokat, és a megjelölt mértékben használtam fel, az idézés szabályainak megfelelően, a hivatkozások pontos megjelölésével.

Eredményeim saját munkán, számításokon, kutatáson, valós méréseken alapulnak, és a legjobb tudásom szerint hitelesek.

Győr, [2024. x.y]

Rábai Balázs

Kivonat

Okos termosztát rendszer tervezése és kivitelezése a felhasználói kényelem és energiahatékonyság javítására

Abstract

Developing and implementation of a smart thermostat system to improve user comfort and energy efficiency

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
1.1. Lakossági felhasználás	1
1.2. Ipari felhasználás.....	2
1.3. Probléma leírása	3
1.4. Innovatív megoldási javaslat.....	4
2. Hardver Elemek	6
2.1. espTouch	6
2.1.1. ESP WIFI modul	6
2.1.2. Rezisztívinterfész	7
2.1.3. SPI busz fizikai felépítése	9
2.1.4. Hő- és páratartalom- kombinált érzékelő modul.....	10
2.1.5. One-Wire busz	11
2.2. espCarryable.....	13
2.2.1. OLED kijelző	13
2.2.2. I ² C busz architektúrája	15
2.2.3. További perifériák	15
2.3. Controller for heating systems	16
2.3.1. RS-485 hálózat.....	17
2.3.2. Relés modulok.....	20
3. Kommunikációs szoftver elemek	23
3.1. Eszköz belső protokolljai	23
3.1.1. I ² C protokoll.....	23
3.1.2. SPI protokoll	24
3.2. Eszközök közti protokollok	25
3.2.1. Modbus protokoll	25
3.2.2. WIFI kommunikáció	27
4. Perifériák tervezése.....	28
4.1 Rendszer terv készítése	28
4.1.1 Rendszer követelmények	28
4.1.2 Eszköz követelmények.....	29
4.2. Hálózati modulok frekvenciájának tervezése	30
4.2.1. Inicializáló feladat (Init task)	31

4.2.2. Fő feladat (main task)	31
4.2.3. Kommunikációért felelős feladat (wifi task)	32
4.2.4. Eszköz beállításáért felelős feladat (Serial task)	33
4.3. espTouch periféria felhasználói interakcióinak tervezése	34
4.3.1. Beavatkozási funkcióinak megtervezése	35
4.3.2. A Programs aloldal	36
4.3.3. Az Options gomb következménye	37
4.3.4. serial task felhasználói oldalának tervezése	38
4.4. espCarryable felhasználói interakcióinak tervezése	39
4.4.1. espCarryable fizikai kialakítása	39
5. Modulok szoftveres implementációja	41
5.1. Adatbázisok felépítése	42
5.1.1. Az espTouch adatbázisa	42
5.1.2. Az espCarryable adatbázisa	45
5.1.3. EEPROM szerepe az adatbázis felépítésében	46
5.2. espTouch részletes implementációja	47
5.3. espCarryable szoftveres implementációja	48
6. Összefoglaló	48
Irodalomjegyzék	
Ábrajegyzék	
Mellékletek	

1. Bevezetés

1.1. Lakossági felhasználás

A modern, digitális fali termosztátok számos előnyt kínálnak a lakossági és kereskedelmi felhasználóknak. Először is, ezek az eszközök jelentős mértékben hozzájárulnak a kényelem növeléséhez azáltal, hogy lehetővé teszik az épületek hőmérsékletének pontos szabályozását. Az optimális hőmérséklet fenntartása nemcsak az általános komfortérzetet javítja, hanem fontos szerepet játszik az egészség megőrzésében is.

Egy másik jelentős előny az energiahatékonyság. A digitális termosztátok lehetővé teszik a fűtési és hűtési rendszerek pontos időzítését, vezérlését, és csökkentheti az energiafogyasztást. Ez nemcsak a rezsiköltségek mérsékléséhez járul hozzá, hanem a környezeti terhelést is csökkenti azáltal, hogy kevesebb energiát használnak fel. Így csökken a szén-dioxid-kibocsátás is.

Az ilyen eszközök programozhatósága további előnyt jelent. A felhasználók előre beállíthatják a kívánt hőmérsékletet a különböző napszakokra, például alváshoz, munkába induláshoz vagy hazatéréshez. Ez nemcsak kényelmes, hanem lehetőséget ad arra is, hogy energiafogyasztásukat optimalizálják. Csak akkor fűtenek vagy hűtenek, amikor arra ténylegesen szükség van.

Mindazonáltal a digitális fali termosztátok használata bizonyos kihívásokat is jelenthet. Sok modern modell számos fejlett funkcióval rendelkezik, amelyek használata a technikailag kevésbé jártas felhasználók számára bonyolult lehet. A megfelelő beállítások elvégzése gyakran alapos tanulmányozást igényel, vagy szakember segítségét teszi szükségessé.

Ezen kívül, a digitális fali termosztátok elhelyezése is kritikus fontosságú. Az eszközöknek olyan helyiségekben kell lenniük, ahol a vezérelt fűtőkör működik, hogy pontosan mérhessék a hőmérsékletet, és hatékonyan szabályozhassák azt. Az ideális elhelyezés hiánya csökkentheti a rendszer hatékonyságát, és pontosságát.

Összefoglalva, a digitális fali termosztátok számos előnnyel rendelkeznek, amelyek javítják a kényelmet, növelik az energiahatékonyságot, és csökkentik a környezeti terhelést. Ugyanakkor a felhasználók számára fontos, hogy megfelelően megismerjék ezeknek az eszközöknek a használatát, beállítását, hogy maximálisan kihasználhassák azok előnyeit, miközben minimalizálják a használatukkal járó kihívásokat.

1.2. Ipari felhasználás

A termosztátokat széles körben alkalmazzák az ipar különböző területein, ahol a hőmérséklet precíz szabályozása elengedhetetlen. Ilyen területek például a gyártási folyamatok, ahol a termékek minőségének biztosítása érdekében elengedhetetlen, hogy a hőmérséklet egy meghatározott szinten maradjon. A megfelelő hőmérsékleti körülmények fenntartása nemcsak a gyártás során, hanem a termékek tárolása alatt is kiemelten fontos.

Az ipari berendezések és gépek hőmérsékletének ellenőrzése szintén kritikus jelentőségű. Ezek az eszközök csak egy adott hőmérsékleti tartományban működnek optimálisan, és ezen tartomány túllépése jelentős károkat okozhat. A hőmérséklet megfelelő szabályozása és karbantartása hozzájárul a gépek élettartamának meghosszabbításához. Így jelentős költségmegtakarítást eredményezhet a vállalat számára.

A gyárakban nemcsak a gyártósorok és gépek hőmérsékletének szabályozása fontos, hanem az irodaépületekben dolgozó munkavállalók komfortérzetének biztosítása is. Az ipari környezetben gyakran központi fűtési rendszereket alkalmaznak, amelyeket automatizált rendszerek irányítanak, így a falra szerelt termosztátok használata nem szükséges. Az ilyen rendszerek lehetővé teszik az épület egészének hőmérsékleti szabályozását anélkül, hogy a munkavállalóknak manuálisan kellene beállítaniuk a hőmérsékletet.

Az ipari hőmérséklet-figyelés teljesen automatizált, és előre megtervezett rendszereken alapul. Ezek a rendszerek folyamatosan monitorozzák és szabályozzák a hőmérsékletet, biztosítva a megfelelő körülményeket a gyártási folyamatok, és a munkavállalók számára egyaránt. A fejlett automatizáció révén nincs szükség falra szerelt termosztátokra, mivel a központi rendszerek biztosítják a hőmérséklet állandó és precíz szabályozását.

Összességében a termosztátok, és hőmérséklet-szabályozó rendszerek kulcsfontosságú szerepet játszanak az iparban, hozzájárulva a gyártási folyamatok hatékonyságához, a gépek élettartamának meghosszabbításához, valamint a munkavállalók kényelméhez és biztonságához. Az automatizált hőmérséklet-szabályozás révén az ipari vállalatok jelentős költségmegtakarítást érhetnek el, miközben fenntartják a magas szintű működési hatékonyságot.

1.3. Probléma leírása

Az otthonokban, (és az iparban) alkalmazható termosztátok döntő többségben egy adott fűtési kört tud kapcsolni, és nem rendelkeznek olyan okos funkciókkal, amelyek segítenék a fejlesztési lehetőségeket.

Általában program beállíthatósága bonyolult, illetve az egyes paraméterek akár több gomb kombináción keresztül érhetőek el, kezdetleges karakteres kijelzővel rendelkeznek, amelyek nehezen olvashatóak, emiatt működésük nehezen érthető, beállításuk nehézkes. Ezzel szemben egy érintő kijelzős egység magában hordozza a lehetőséget arra, hogy a fejlesztők által implementált interaktív elemeket a felhasználó a rendszer egyes paramétereit nagyon könnyen változtathassa meg.

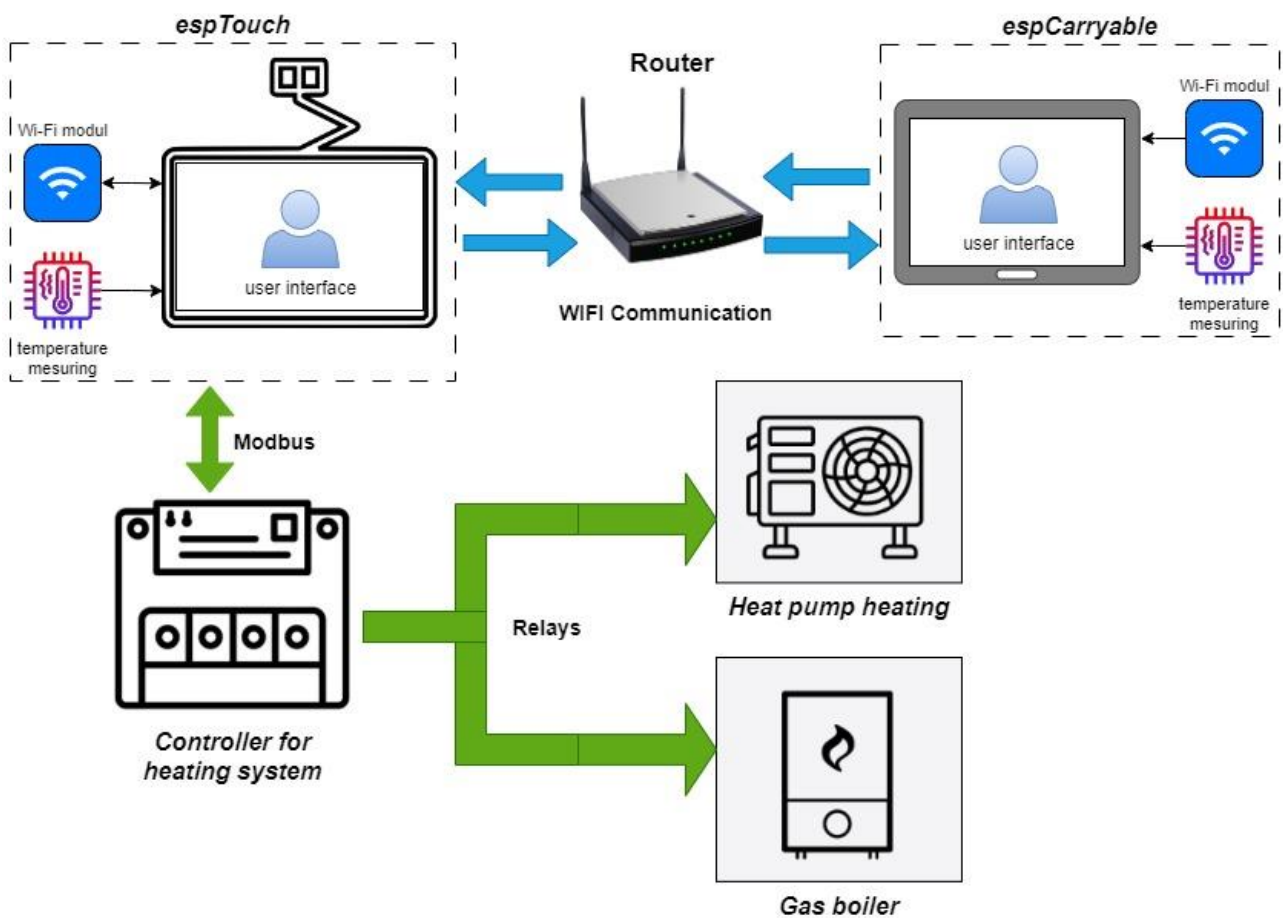
A nem innovált termosztátok hátrány az is, hogy egy fűtési körre a lakótérben egy termosztátot építenek ki, ami általában a teljes ház hőmérsékletéért felel. A fixen telepített eszközök magukban hordozzák azt a hátrányt, hogy fűtés korszerűsítés esetén komoly kompromisszum megkötésére kényszerülünk.

A fentiek tekintetében, ezen hibák kiküszöbölésére szeretnék egy megoldási javaslatot tenni, hogy hogyan lehetne egy innovatív és univerzális rendszert létrehozni.

1.4. Innovatív megoldási javaslat

A termosztátok kulcsfontosságú szerepet töltenek be az otthonok és munkahelyek kényelmének, energiahatékonyságának és költséghatékonyságának biztosításában. A felhasználók olyan termosztátokat keresnek, amelyek könnyen kezelhetők, megbízhatók és programozhatók, hogy pontosan szabályozhassák a hőmérsékletet és optimalizálhassák az energiafogyasztást.

A megoldási javaslatomban egy olyan termosztát rendszert tervezek, amely több különböző eszközt integrál, így a hőmérséklet szabályozása teljesen autonóm módon történik.



1.ábra. Folyamatábra a tervezett rendszerről

Ennek megvalósításához, és demonstrálásához két eszközt tervezek, amelyek WIFI-n keresztül kommunikálnak egymással. A két eszköz az „espTouch” és „espCarryable” elnevezést kapta, aminek hardveres és szoftveres felépítését részletesen ismertetem a következő fejezetekben.

Az *espTouch* egy helyhez kötött egység, ami hőmérsékletet és páratartalmat mér, valamint egy érintő kijelzős interfésszel rendelkezik, amin keresztül be lehet állítani a felhasználói preferenciákat. Ezeket az igényeket az eszköz számos funkcióval elégíti ki, beleértve a felhasználó által beállítható fűtési programokat. Ennek célja a fűtési költségek minimalizálása, és

hatékonyságának növelése, valamint választható a fűtés típusa (*Heat pump heating, Gas Boiler*) is, ha több opció is van a fűtés megvalósítására. Mind emellett a rendszerben ez a periféria képviseli a szerveret, azaz kommunikálni fog az *espCarryable*- lel a mérési adatokról és egyéb felhasználó igényekről, és a fűtés vezérlővel (*Controller for heating system*), hogy milyen energia alapú fűtést indítson el. A kommunikáció a rendszereszközök között egy belső hálózaton fog lezajlani, míg a fűtés vezérlést (*Controller for heating system*) RS-485 buszon keresztül lesz elérhető a szervernek, amely *Modbus* protokollt használ.

Az *espCarryable* egy hordozható eszköz melynek a feladata az, hogy folyamatosan mérje a környezeti hőmérsékletet, illetve a hozzá tartozó páratartalmat. Erre az eszközre nyomógombokat implementáltam, melyekhez univerzális, és interaktív funkciókat csatoltam, amelyekkel az *espTouch*-nak egyes adatait lehet befolyásolni.

Az 1. ábrán található (*Controller for heating system*) lesz a felelős azért, hogy a rendszerben definiált kritériumok teljesüljenek attól függetlenül, hogy az milyen működési elven alapszik. Jelen esetben, egy hőszivattyús, és gázkazánon keresztül lehet fűteni az épületet, amelynek vezérlése a külső hőmérséklet függvényében eldönti, hogy villamos vagy gáz alapú energiát használjon fel a szobák felfűtésére. Valamint az egyes alrendszerek áramellátásához relés modulok vannak használatban.

A rendszer lényege, hogy több *espCarryable* legyen üzemelve egy háztartásban, amik szobákként vannak elhelyezve. Ennek célja az, hogy a fűtést működéséért felelős berendezés, azaz az *espTouch*, informálva legyen arról, hogy mely szobában szükséges még fűteni, illetve hol sikerült elérni a felhasználó által beállított hőmérsékletet. Mindezekén túl szeretném úgy megtervezni a szóban forgó rendszert, hogy a már meglévő fűtés vezérlő rendszerekbe is implementálható legyen.

Ez az intelligens termosztát rendszer nemcsak, hogy növeli a kényelmet és az energiatakarékosságot, de egy új szintre emeli a hőmérséklet-szabályozás élményét is

2. Hardver Elemek

2.1. espTouch

A következőkben be fogom mutatni az *espTouch* fizikai felépítését, amik alátámasztják az [1.4. Innovatív megoldási javaslat fejezetben](#) leírtakat. Kifejtem továbbá az eszköz megvalósításához alkalmazott mikrokontrollert, illetve a további ezekhez tartozó egyéb perifériákat.

Az elkészült kapcsolási rajzokat az *I. és II. mellékeltben* vizualizáltam.

2.1.1. ESP WIFI modul

A mikrovezérlő programozható, kis méretű integrált áramkörök, amit kifejezetten speciális feladatok végrehajtására terveztek. Egy ilyen modul, mint például az ESP32 rendkívül sokoldalú és különböző alkalmazási területeken használható, ahol szükség van az alacsony költségű és energiahatékony megoldásokra.

Az ESP32 egy olyan fejlesztői mikrovezérlő sorozat, amelyet az Espressif Systems hozott létre. Ebből a sorozatból választottam az ESP32-WROOM-32, amely az ESP32-D0WDQ6 chip-pel van felszerelve, ami 32 bites Tensilica Xtensa LX6 processzor architektúrával rendelkezik.

A Tensilica Xtensa LX6 kialakítása végett az ESP32-s chip-ek két processzormaggal rendelkeznek, amik magonként akár 240 MHz-s működési frekvenciát is elérhetnek. A két mag lehetővé teszi, hogy a feladatokat párhuzamosan és hatékonyan hajtsa végre. Mindezek mellett kifejezetten pozitív hatást kelt, hogy modul alacsony energiafelvétellel rendelkezik, ami különösen fontos az IoT és hordozható eszközök esetében.

A modul emellett gyorsítótárakkal is el van látva, azaz *cache*-sel, ami 520 KB belső SRAM-t (Static Random Access Memory) tartalmaz, illetve a mikrokontroller 480 KB ROM-val (Read-Only Memory) is rendelkezik.

Ezekon kívül 4 MB flash memóriát integráltak a chip-be, ami egy olyan memória terület, hogy tápellátás nélkül is megőrzi a memóriában tárolt adatokat, amiket tetszés szerint újra lehet írni. Ez által flash memória fogja a későbbiekben tárolni a futtatni kívánt programot, valamint egyéb fontos adatokat, mivel a periféria nem rendelkezik beépített EEPROM-mal.

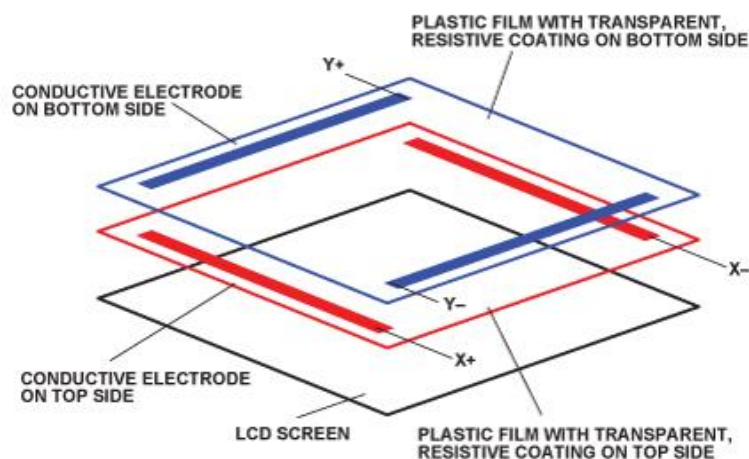
Mindezek mellett az ESP32 mikrokontroller, azaz *MCU* kifejezetten választékos perifériákkal rendelkezik még, amit az *1. táblázatban* lehet megtekinteni.

1. táblázat. ESP32 Hardware specifikáció (forrás: [A1])

Categories	Items	Specifications
Hardware	Module interfaces	SD card, UART, SPI, SDIO, I ² C, LED PWM, Motor PWM, I ² S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC, Two-Wire Automotive Interface (TWAI [®] , compatible with ISO11898-1)
	On-chip sensor	Hall sensor
	Integrated crystal	40 MHz crystal
	Integrated SPI flash	4 MB
	Operating voltage/Power supply	3.0 V ~ 3.6 V
	Operating current	Average: 80 mA
	Minimum current delivered by power supply	500 mA
	Recommended operating temperature range	-40 °C ~ +85 °C
	Package size	(18.00±0.10) mm × (25.50±0.10) mm × (3.10±0.10) mm
	Moisture sensitivity level (MSL)	Level 3

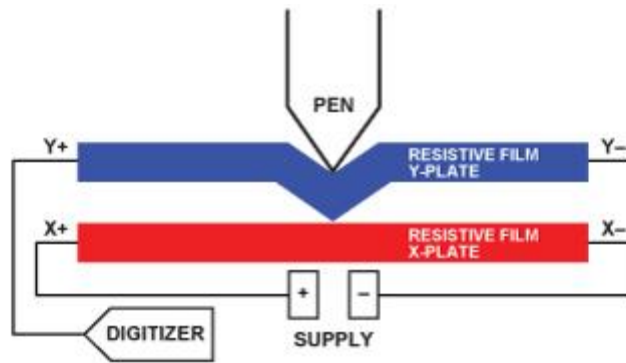
2.1.2. Rezisztívinterfész

A felhasználói interakcióhoz, egy LCD kijelzőt használok, aminek az átmérője 7.112 cm, és 240x320 darab pixelből áll, ezen felül színes képet képes produkálni. Az eszközt SPI buszra lehet csatlakoztatni, amivel a felhasznált *MCU* is rendelkezik, valamint rezisztív érintő felülettel van ellátva.



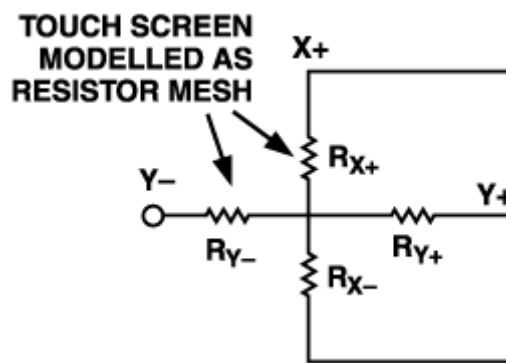
2.ábra. Érintő szenzor kialakítása a kijelző felett (forrás: [A2])

A kijelző két vékony rétegből áll össze, ezen rétegek alkotnak egy koordináta egységet. Ahogy a 2.ábrán is megtekinthető a két réteget egymásra merőlegesen kell elhelyezni, mivel a felület lenyomásával fog létrejönni egy koordináta rendszerbeli pont. Ezt úgy kell értelmezni, hogy két azonos rétegbeli elektróda között végtelen sok az elektródákra merőleges egyenes jön létre.



3.ábra. Érintő szenzor működése (forrás: [A2])

A két réteg egyenesei is merőlegesek egymásra, amiből azt a következtetést lehet levonni, hogy egy egyenes a koordináta rendszer egyetlen pontját tartalmazza. Ebből következik, hogy ha egy tetszőleges ponton megnyomjuk a szenzort, ahogy 3.ábrán is látható, akkor két egymásra merőleges egyenest fogunk egy pontban egymáshoz nyomni, azaz két egyenesben tárolt adat fogja ismertetni a lenyomás helyének a pontját, ahol az egyenes összeérnek.



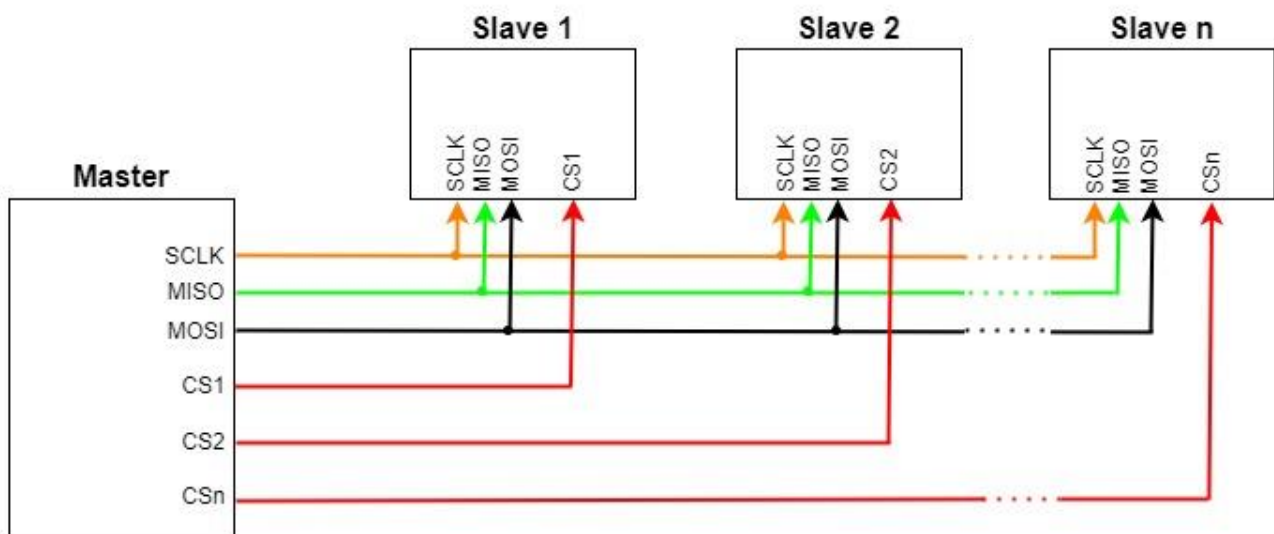
4.ábra. Érintő szenzor ellenállás osztása (forrás: [A3])

Az említett működési elv fizikailag úgy épül fel, hogy a két rétegből csak az egyik kap tápellátást, míg a másik rétegen feszültséget mérünk. Tegyük fel, hogy megnyomjuk a kijelzőt egyetlen pontban úgy, hogy csak két egyenes fog érintkezni. A két egyenes ilyenkor két-két szakaszra bomlik fel, és ezen szakaszokat ellenállással lehet helyettesíteni, amiknek aránya függ az érintési pont elhelyezkedésétől. Ezek az arányok úgy alakulnak ki, hogy egy rétegben az elektródák távolságait a lenyomott ponttól elosztjuk egymással. Gyakorlatilag a 2.ábrán az Y réteg az érintett felületen létrehozza a feszültségosztót, amit a 4. ábrán lehet szemlélni, és mivel csak a 2.ábrán az X réteg kap tápellátást, így az érintett pontban az X rétegbeli ellenállások között egy potenciál fog megjelenni, amit az Y réteg ellenállásai között is megfog jelenni. Mivel az ellenállásokat nem ismerjük, csak a mért potenciált, ami közös mindkét rétegben, és a távolságokat az azonos rétegbeli elektródák között. Ezáltal visszaszámolható a mérés alapján az ellenállás nagysága az érintési pont és az elektródák között, amiből vissza lehet következtetni a szakaszok távolságára is, amik az előbb említett pontok

között húzódnak, valamint egy referencia tengelyen az érzékelt pont koordinátáját fogják meghatározni.

2.1.3. SPI busz fizikai felépítése

Az SPI (Serial Peripheral Interface) busz fizikai felépítése egyszerű, ami lehetővé teszi, hogy több eszköz is csatlakoztatható legyen egy közös buszra. Ez a kialakítás egy szinkron soros kommunikációs protokollt használ, amelyen keresztül a *Master* eszköz (általában egy mikrovezérlő) kommunikálhat a buszra csatlakoztatott *Slave* eszközökkel. A *Slave*-ek különböző perifériák, mint például szenzorok, kijelzők, memória modulok, de akár egy másik mikrokontroller is lehet.



5.ábra. SPI busz általános implementálása

Az SPI busz alapvetően négy vezetékét használ, ahogy azt az 5.ábrán is láthatjuk és ezek sorra az *SCLK*, *MOSI*, *MISO*, *CS*. A következő ismeretek az [1] forrásból származnak.

- *SCLK*: Azaz órajelet, amit a *Master* szolgáltat, hogy szinkronizálja a *Slave*-t az adatátvitelhez.
- *MOSI*: *Master* kimenet, *Slave* bemenet. Ez a vonal a mester eszköztől küldött adatokat továbbítja a periféria azaz *Slave* eszköz felé.
- *MISO*: *Master* bemenet, *Slave* kimenet. Ezen a lábon keresztül érkezik az adat a perifériától az *MCU* felé, azaz a *Master* felé.
- *CS*: *Chip Select*, *Master* ezen lábon keresztül választja ki azt a modult, amivel kommunikálni szeretne.

A busz hálózaton a *MISO*, *MOSI*, *SCLK* lábak a buszon közössé válnak, így csak a *CS* láb szüksége a *Master*nek, hogy melyik *Slave*-vel akar kommunikálni, ahogy az 5. ábrán látható.

2. táblázat. SPI busz adatátviteli módok az órajel függvényében (forrás: [A4])

SPI Mode	CPOL	CPHA	Clock Polarity in Idle State	Clock Phase Used to Sample and/or Shift the Data
0	0	0	Logic low	Data sampled on rising edge and shifted out on the falling edge
1	0	1	Logic low	Data sampled on the falling edge and shifted out on the rising edge
2	1	0	Logic high	Data sampled on the rising edge and shifted out on the falling edge
3	1	1	Logic high	Data sampled on the falling edge and shifted out on the rising edge

Ezeket túl az SPI buszt négy különböző módon lehetséges használni, amint a 2. táblázatban is lehet szemlélni.

SPI-ben a *Master* választhatja ki az óra polaritását és az óra fázisát. A CPOL bit állítja be az órajel polaritását az üresjárat állapotban. Az üresjárat állapot az, amikor a CS magas, és az átvitel kezdetén alacsonyra vált, vagy amikor a CS alacsony, és az átvitel végén magasra vált. A CPHA bit választja ki az órajelfázist. A CPHA bit függvényében az órajel felfutó vagy lefutó élét használják az adatok mintavételezésére, és/vagy eltolására. A *Master*nek kell kiválasztania az óra polaritását és az óra fázisát, az alcsomópont követelményeinek megfelelően. A CPOL és CPHA bit kiválasztásától függően négy SPI üzemmód áll rendelkezésre. Az ismeret az [1] forrásból származik.

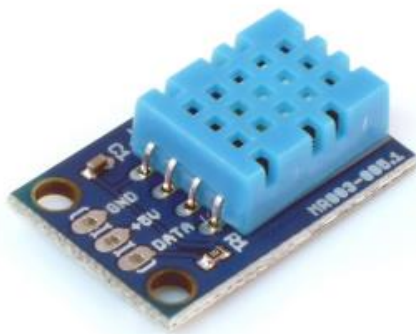
A busz előnyei közé tartozik továbbá, hogy teljes duplex kommunikációra képes, ami azt jelenti, hogy az adatok egyidejűleg mindkét irányba továbbíthatók. Hátrányai, hogy több vezeték igényel, mint néhány más soros buszhálózat. Továbbá a hozzá tartozó kommunikációs protokoll nem rendelkezik beépített hibajavítással vagy címezési mechanizmussal.

2.1.4. Hő- és páratartalom- kombinált érzékelő modul

A DHT11-s szenzorba egy SI7021 chip van beépítve, amely egy fejlett digitális hőmérséklet- és páratartalom-érzékelő. A kombinált érzékelő megbízható és pontos méréseket biztosít, valamint az adatokat digitális formában továbbítja a csatlakoztatott MCU-nak.

Az SI7021 chip hőmérséklet mérésére egy NTC (Negative Temperature Coefficient) hőérzékelőt használ, ezen felül a páratartalom méréséhez egy kapacitív érzékelővel van ellátva. A chip-et gyártás során kalibrálták, ami biztosítja, hogy az érzékelő a teljes működési élettartama alatt pontos méréseket végezzen. A hőmérsékletmérés pontossága általában $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, illetve mért értékét 0.1°C tudja változtatni. Míg a páratartalom mérése $\pm 2\%$ pontossággal történik.

Ezek az adatokat a [2] forrásból származnak, amely a DHT11 adatlapjára hivatkozik.



6.ábra. DHT11 (forrás: [A5])

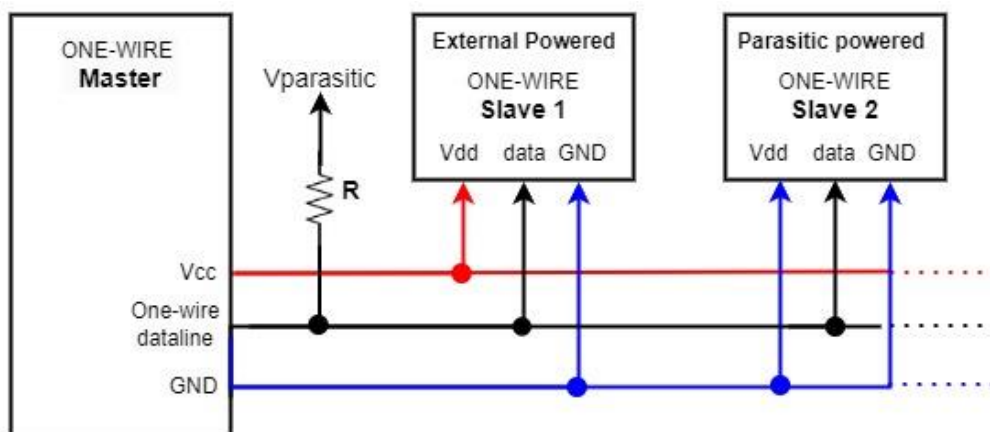
Az érzékelő a mikrokontrollerrel való kommunikációjához One-Wire buszt használ, amit a következőben fogok ábrázolni.

2.1.5. One-Wire busz

A One-Wire busz egy soros aszinkron kommunikációs busz, ami egyetlen adatvezeték és egy közös földvezeték használatán alapul. Ezáltal két vezeték biztosítja a kapcsolatot az adatátvitelhez, és bizonyos esetekben az energiaellátást is biztosíthatja. A One-Wire busz különösen alkalmas egyszerű és költséghatékony rendszerek kialakítására.

Minden eszköz egyedi 64 bites sorozatszámmal rendelkezik, amely lehetővé teszi több eszköz együttes működését egyetlen buszon. Számos eszköz képes a szükséges energiát buszvezetékéből kinyerni, amihez az integrált kondenzátorát használja. Ezt nevezzük parazita táplálásnak, aminek segítségével tovább egyszerűsíti a rendszer kialakítását és csökkenti az energiaellátásra vonatkozó követelményeket. Az egyszerű felépítés és az alacsonyabb vezetékszám felhasználása miatt gazdaságos megoldást nyújt különféle alkalmazásokhoz. Továbbá, ideális a közeli érzékelési és monitorozási alkalmazásokhoz. Például a hőmérséklet- vagy nyomásérzékelők esetében, mivel egyszerű és hatékony adatgyűjtési lehetőséget biztosít.

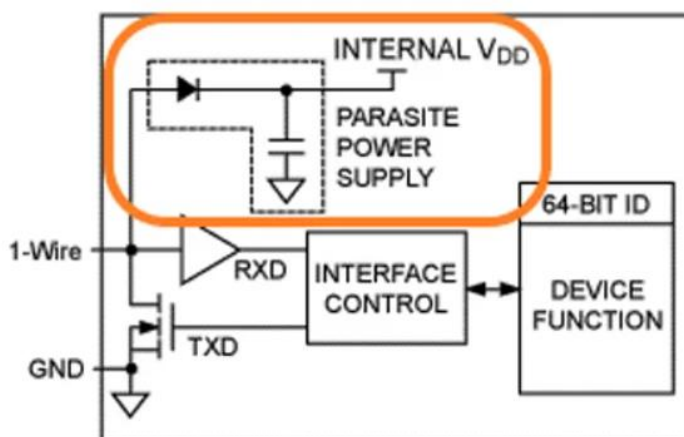
A kommunikáció során a *Master* eszköz (általában egy mikrokontroller) küld egy start jelet, amit az összes csatlakoztatott eszköz érzékel a buszon. Az adatátvitel bitenként történik, ahol a buszvezeték logikai állapota (magas vagy alacsony) határozza meg a továbbított bit értékét. Az eszközök válaszüzenetei szintén a busz logikai szintjének változtatásával történnek, biztosítva a pontos és hatékony adatcserét a rendszerben.



7.ábra. One-Wire busz

A 7.ábrán látható, az adatvonalat a busz felhúzó ellenállása magasra ($V_{parasitic}$) húzza, ekkor a *Slave 2* nevezetű egység belső diódája nyitó irányba előfeszül, és feltölti a belső kondenzátorát. Ebben az esetben *Slave 1*-gyel csak is akkor lehetséges a kommunikáció, ha megszűnik a kommunikáció időintervallumára a magas potenciál a $V_{parasitic}$ lábon.

A *Slave 1* egy direkt tápellátású eszköz a One-Wire buszrendszeren, amely saját, dedikált tápellátást kap egy külön tápfeszültségen (V_{cc}) keresztül. Illetve könnyen integrálható olyan rendszerekbe, ahol többféle *Slave* együttesen működik, mivel nem igényli a parazita tápellátás speciális körülményeit, valamint sokkal stabilabb működésűek a direkt táplált *Slave* eszközök.



8.ábra. One-Wire *Slave* belső általános felépítése (forrás: [A6])

Az 8. ábrán bemutatott One-Wire *Slave* működésének szemléltetésére szolgáló diagram alapján megállapítható, hogy a *Slave* eszköz belső kondenzátora tárolt töltése biztosítja az energiaellátást a vezérlő áramkör működtetéséhez, amikor a busz alacsony feszültségű állapotba kerül. Ebben az állapotban a dióda záró irányban van előfeszítve, ami megakadályozza az energia áramlását a

kondenzátorból. A busz aktív állapotában van, amikor a *Master* eszköz adatkommunikációt folytat a *Slave* eszközzel. Az alacsony feszültségű állapot alatt elvesztett töltés később visszanyerésre kerül, amikor a 1-Wire adatvonal feszültsége ismét átlépi a 2,8 V-os potenciálú küszöbértéket, ekkor a dióda nyitó irányban van előfeszítve. Ezt a mechanizmust, amely lehetővé teszi az adatvonalon keresztül történő energianyerést és felhasználást, parazita tápellátásnak nevezzük. Utóbbi bekezdések az [5] forrásból származnak, amely a One-Wire buszról értekezik.

2.2. espCarryable

A következőkben be fogom mutatni az *espCarryable* felépítését, amik biztosítani fogják az [1.4. Innovatív megoldási javaslat fejezetben](#) leírtakat.

Az *espCarryable* egy hordozható eszköz, hasonló az *espTouch*-hoz, mivel ugyanolyan *MCU*-val van ellátva, és funkcióiban is sok közös van.

Alapvetően ez az eszköz egy OLED kijelzővel rendelkezik, amellyel I²C buszon keresztül lehet kommunikálni. Valamint három nyomógommbal, amivel a felhasználó minimális változtatásait hajthatja végre. Ezek a változtatások kvázi valós időben láthatóvá válnak a kijelzőn, és az *espTouch*-on. Ezen felül lehetőség van arra is, mint az *espTouch*-nál, hogy soros porton keresztül lehessen a belső változóit paraméterezni a megfelelő működés érdekében.

2.2.1. OLED kijelző

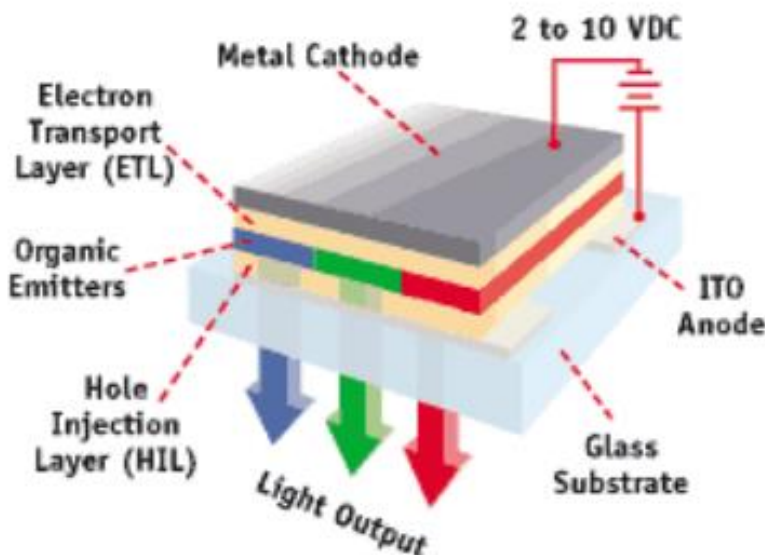
A szerves fénykibocsátó diódák (OLED) mint újfajta kijelzőtechnológia világszerte nagy figyelmet kapnak. Az OLED-ek számos előnnyel rendelkeznek a hagyományos kijelzőtechnológiákkal szemben. Az OLED-k elektrolumineszcencián alapuló energiaátalakító eszközök (elektromosság-fény). Az elektrolumineszcencia olyan szilárd anyag fénykibocsátása, amelyen elektromos áramot vezetnek keresztül.

LCD-vel szemben több előnye is van, amelyek a következők:

- Az OLED-et különböző szögekből lehet nézni anélkül, hogy színvesztést érzékelne a néző.
- Nincs szükségük háttérvilágításra.
- Meghajtófeszültség és az energiafogyasztás alacsony

Az OLED egy szilárdtest- vagy elektronikai eszköz, amely egy szerves vékonyrétegből áll, ami jellemzően két vékonyrétegű vezető elektróda közé van elhelyezve. Az OLED gyártásához egy tervezett szénelapú molekulát használnak, amely fényt bocsát ki, amikor elektromos áram halad át rajta, amit „electro phosphorescence”-nek neveznek, amely a [3] forrásból lett idézve. A kijelzőknek

nagyon kevés tápellátásra van szükségük, azaz mindössze 2-10V, valamint a fekete szín megjelenítéséhez nincs szükség működési feszültségre, ami az OLED sajátossága. Ezáltal energia hatékonyabb, és képmegjelenítési képessége is jobb lesz, mint az LCD kijelzőé, ami a működéséhez állandó háttérfényt igényel. Ezek mellett az OLED szerves anyaga segíti feljavítani a fényerő és a fény színének szabályozását.



9.ábra. OLED technológia strukturális felépítése (forrás: [A7])

A 9.ábra bemutatja az OLED technológia strukturális architektúráját, és működési elvét, amiket a következő bekezdésekben fogok leírni.

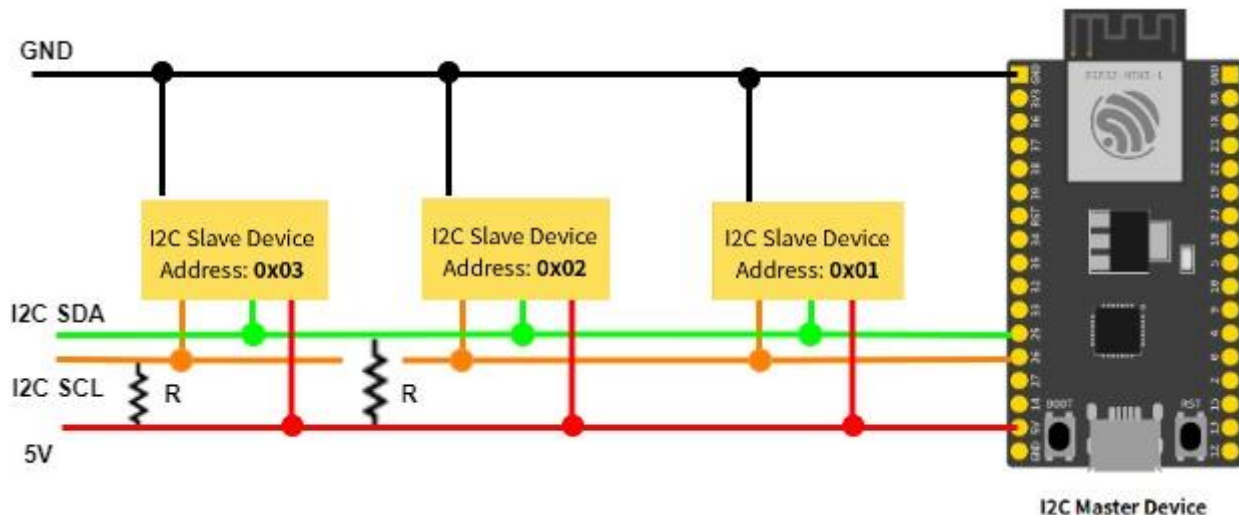
Az aktív rétegek olyan minimális vastagságúak ($\sim 10\text{\AA}$ és 100 nm közöttiek), hogy az egyes rétegekben lévő elektromos mezők monumentálisak, 105-107 V/cm nagyságrendűek. Ezek a magas, közel a töréspontához tartozó elektromos mezők támogatják a töltések befecskendezését az elektróda/aktív rétegek határfelületein keresztül. A lyukakat az anódról, amely jellemzően átlátszó, az elektronokat pedig a katódról injektálják. Az injektált töltések ellentétes irányban vándorolnak egymás ellen, végül találkoznak és újra egyesülnek. A rekombinációs energia felszabadul, és a molekula vagy a polimer szegmens, amelyben a rekombináció megtörténik, kilépett állapotba kerül. A feszültségek molekuláról molekulára vándorolhatnak végül egyes molekulák vagy polimer szegmensek az energiát fotonok vagy hő formájában szabadítják fel. Fontos, hogy az összes felesleges gerjesztési energia fotonként (fényként) szabaduljon fel.

A töltések rekombinációs helyekre való eljuttatására használt anyagok általában (de nem mindig) gyenge foton sugárzók (a gerjesztési energia nagy része hő formájában szabadul fel). Ezért megfelelő adalékanyagokat adnak hozzá, amelyek először átadják az eredeti gerjesztésből származó energiát, és az energiát hatékonyabban szabadítják fel fotonokként.

Ezek az ismereteket a [3] forrásból származnak, ami az OLED technológiát mutatja be.

2.2.2. I²C busz architektúrája

Az I²C, azaz Inter-Integrated Circuit, egy olyan szinkron soros busz, amely lehetővé teszi a *Master* és a *Slave* közötti adatátvitelt egy rendszeren belül. Ez a kapcsolat szabadon bővíthető, több *Master*rel és *Slave*-el is rendelkezhet. A busz tápfeszültsége általában 3.3-5V, ami kompatibilis a legtöbb mikrovezérlő kimeneti feszültségével.



10.ábra. I²C busz minta kialakítása

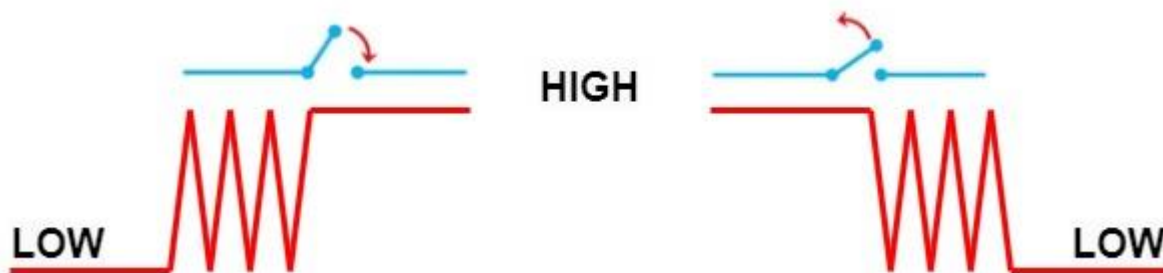
Felépítése a 10.ábrán látható, amely nagyon hasonló a One-wire busz kialakításához, mivel egy adat vezetéken (SDA: Serial Data Line) történik a kommunikáció az eszközök között. A különbség az, hogy a *Master* és *Slave* egymáshoz képest szinkronban van a kommunikáció során. Ezt úgy lehet kivitelezni, hogy az adatláb mellett az eszközökön még egy csatlakozási pont van, ez pedig a SCL (Serial Clock Line). Ezáltal a *Master* óra jelet generálja a *Slave*-nek, hogy a kommunikáció során ne történjen szinkronvesztés, ezáltal adatvesztés.

Az állításaim a [4] forrásban található cikkekre támaszkodik, ami az I²C busz alapjairól szól.

2.2.3. További perifériák

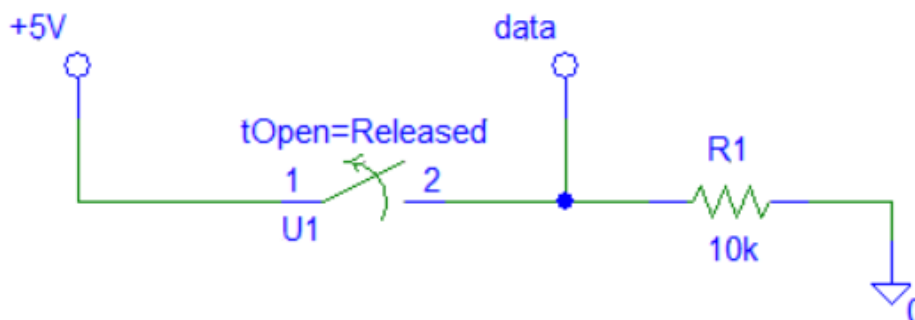
A kapcsoló elemek jelentősége sem elhanyagolható, hiszen ezek fizikai érintkezői nagymértékben befolyásolják az eszköz működését. Ha rosszul vannak bekötve a nyomógomb, akkor a felhasználói interakció hatására az eszköz tönkremenetelét okozza. Az *espCarryable* eszközben három darab pergesmentes nyomógombot használok, amik kulcsfontosságúak, mert ha hagyományos kapcsolókat alkalmaznék, a lenyomáskor vagy elengedéskor sokkal több érintkezés történne, mint amennyit a felhasználó szándékozott megtenni, ami általában egy. Ezzel biztosítom, hogy a

felhasználói beavatkozások pontosak és megbízhatóak legyenek, elkerülve a nem kívánt többszörös érintkezéseket.



11.ábra. Kapcsoló működés

A 11. ábrán látható, hogyan működik egy kapcsoló, és mire kell gondosan odafigyelni, amikor digitális áramkörben használjuk. Ezeknek az eszközöknek képesnek kell lenniük egy rövid lenyomást 1-es értéknek érzékelni, megfelelő mintavételezési idővel. Ez azonban hibát hordoz magában, mivel előfordulhat, hogy egy-egy lenyomást nem érzékel az eszköz, ha az nem pontosan a mintavételi időben történik. Az én megoldásom erre az első érzékelés utáni késleltetés. Ha az elején tüskeszerű impulzus jelentkezik, a rendszer azt egy lenyomásnak érzékeli.



12.ábra. Kapcsolási rajz a kapcsolók mikrovezérlőhöz illesztéséről

Amint a *data* láb bemenete magasra vált a 12.ábrán, a rendszer azonnal késlelteti a működését, éppen annyira, hogy a felhasználó ne vegye észre, amíg el nem engedi a kapcsolót.

2.3. Controller for heating systems

A termosztát rendszer úgy van meg tervezve, hogy bármilyen fűtés szabályzó berendezést, illetve rendszert képes legyen vezérelni. Azaz, attól függetlenül, hogy milyen technológiával működik, valamint, hogy a szabályozott rendszer realizálva lett vagy sem, vezérlő *espTouch* alkalmazható lehessen.

Jelen pillanatban egy olyan rendszerhez lett igazítva a kimenete, ami már implementálva lett.

Ez egy hibrid rendszer, ami több levegős hőszivattyúval, és egy gázkazánnal van felszerelve. Ezek a berendezések egymástól függetlenül is el tudják látni a feladataikat, ami a külső hőmérséklettől függ. A döntési folyamatokat, egy központi digitális áramkör dönti el.

A rendszer a berendezéseket relés modulokkal kapcsolja a hálózati tápellátásukhoz, attól függően, hogy éppen melyik fűtés modul kerül használatba/kiválasztásra.

Mivel több opció is elérhető a fűtés típusa szerint, így szükséges egy olyan termosztát egység, ami képes kommunikálni a fűtést szabályzó rendszerrel. Ennek az az oka, hogy a hőszivattyú képes -5 °C működni, de fűtési hatékonysága az alacsony hőmérséklet miatt csökken egy bizonyos alsó küszöb hőmérséklettől, amit egy fűtőszállal lehet valamelyest kompenzálni. Ezekkel ellentétben egy gázkazán a külső hőmérséklettől függetlenül tud működni, ami lehetőséget ad arra, hogy alacsony hőmérsékleten valamivel energiahatékonyabban lehessen fűteni. Ennek előnye, hogy kevesebb idő alatt lehet felfűteni egy épületet. Így választható opciók létrehozása egy rendszernél kulcsfontosságú, valamint teljes mértékben növeli a felhasználói kényelmet.

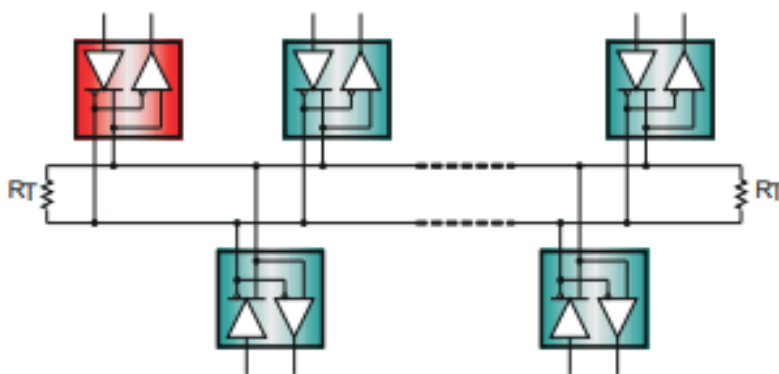
2.3.1. RS-485 hálózat

Mivel univerzális eszközt szeretnék létrehozni, amely nem csak most kiépített rendszerénél használható, hanem akár a későbbiekben máshol is alkalmazható/adaptálható. Így a fűteskapcsolást modbusz kommunikációval fogom megvalósítani az *espTouch* és a *Controller for heating system* között, amelyhez RS-485-s buszhálózatot kell kialakítani.

1983-ban az Electronics Industries Association (EIA) egy új kiegyensúlyozott szabványt hagyott jóvá az *RS-485*-t, amely ipari, orvosi- és fogyasztói alkalmazásokban széles körben elfogadott.

Főbb jellemzői az alábbiak:

- Differenciális jelküldés.
- Legfeljebb 32 *Slave* csatlakoztatható a hálózatra.
- 12m hosszú csavart érpáron maximum 10Mbps sebesség érhető el.
- Maximum 1200m hossz lehet a busz két végpontja között.

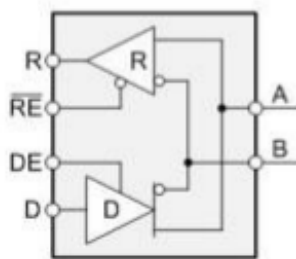


13.ábra. RS-485 busz Half-duplex struktúrája (forrás: [A9])

Half-duplex felépítésű hálózat esetén, amit a 13. ábrán látható, csak egy csavart érpárt alkalmazunk, így az adatok küldése különböző időpontokban történhet meg. Mivel egy vezetékpárral lehet realizálni a buszt, így annak lezárásáról gondoskodni kell, hogy adatküldés közben ne történjen, vagy minimalizált legyen a reflexió, azaz a jelvisszaverődés. A hálózat két végére R_T lezáró ellenállásokat kell elhelyezni, amelynek nagysága függ az alkalmazott kábel hosszától, és annak impedancia karakterisztikájától, valamint a kommunikáció sebességétől (baud rate) is.

$$\Gamma = \frac{Z_T - Z_0}{Z_T + Z_0} \quad (1)$$

Az RS-485-s hálózathoz ajánlott szabványos UTP kábel érpárját használni, mivel annak hullámimpedanciája (Z_0) 120Ω . Az ilyen típusú vezetékpárt szintén 120Ω nagyságú lezáró ellenállással (Z_T) kell lezárni, hogy a reflexió tényezője nulla legyen, azaz ne következzen be jelvisszaverődés. Egy vezetékpárnak a reflexió tényezőjét (r) az (1) számú képlet segítségével lehet kiszámolni.

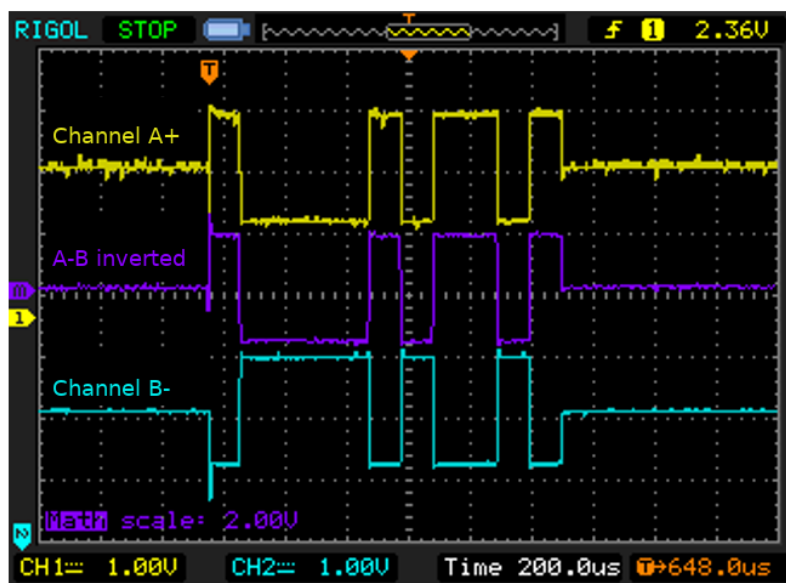


14.ábra. RS-485 transceiver (forrás: [A10])

A busz konfigurációja *Master/Slave* architektúrájú, és általában egy *Master* van a hálózatra kapcsolva, és a kommunikációt mindig a *Master* kezdeményezheti. Továbbá minden eszközt a buszra egy transceiver-n keresztül lehet a hálózatra felcsatlakoztatni, hogy a buszkommunikáció egységes legyen. Az 14.ábrán egy transceiver blokkábrája látható, és csatlakozási pontjai a következőt jelentik:

- **R**: Adatok fogadása
- **\overline{RE}** : Vevő engedélyezése (magas: inaktív, alacsony: aktív)
- **DE**: Adó engedélyezése (magas: aktív, alacsony: inaktív)
- **D**: Adatok küldése
- **A és B**: RS-485-s buszt alkotó érpár

Működés során mindig csak egy eszköz adhat, ilyenkor a *DE* és a \overline{RE} magas logikai állapotban vannak. Ezt követően a *D* lábon keresztül lehet a buszra adatfolyamot indítani. Üzenet fogadásához az engedélyező lábakat alacsony állapotba kell kapcsolni és az *R* lábon keresztül lehet feldolgozni a bejövő adatokat.



15.ábra. RS-485 buszon küldött adatfolyam oszcilloszkóp felvétele (forrás: [A11])

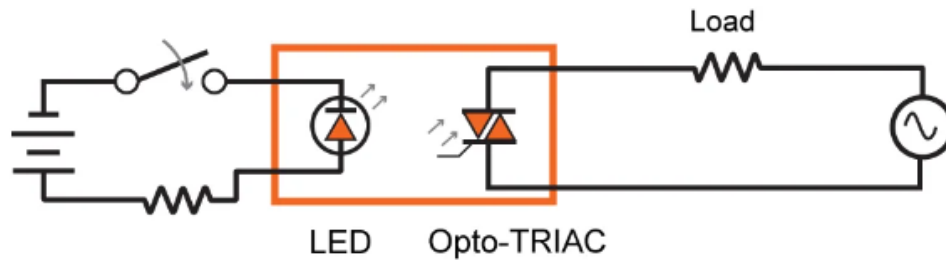
A 15.ábrán látható a differenciális jelküldés, amely az RS-485 kommunikációs szabvány egyik fontos tulajdonságára utal, ami azt jelenti, hogy az adatátvitelhez használt jeleket két vezeték között küldik, amelyek ellentétes polaritásúak. A rendszerben az adatok két vezetéken keresztül kerülnek továbbításra, legyenek ezek *A* és *B*. Az egyik vezeték (*A*) a jel pozitív verzióját hordozza, míg a másik vezeték (*B*) az ellentétes, negatív verzióját, és a vevő a két jel közötti feszültségekülönbséget méri.

Előnyös az ilyen típusú jelküldés, mivel a külső elektromágneses zajokra csak minimálisan lesz érzékeny a hálózat. A csavart érpár csökkenti a külső zajok befolyását az adatfolyamra, valamint a két vezetékre ugyan úgy hatnak ezek a külső zajok. Ebből következik, hogy a két jel elenyészően fog torzulni a zaj hatására, ezzel védve a buszon lévő eszközöket, illetve a jelek különbsége továbbra is megfog egyezni a jelfeldolgozó eszköznél.

Az eddig leírtakhoz a [6], [7] források tartalmát használtam fel, hogy ismertessem az RS-485 busz működését.

2.3.2. Relés modulok

Olyan relét választottam, amelyet a bemenetén keresztül kisfeszültséggel lehet vezérelni, hogy a kimeneti oldalán hálózati feszültséget legyen képes kapcsolni. Ez a reléfajta nem más, mint a szilárd test relé, röviden *SSR*. Ezeket a reléket arra fogom használni, hogy a *Controller for heating system* a *Gas boiler*-t és/vagy a *Heat pump heating*-t tápellátását kapcsolja.



16.ábra. SSR Relé általános felépítés (forrás: [A12])

A 16.ábrán általános kialakítását láthatjuk a SSR-nek, ami képes egyenáram (DC) és váltakozó áram (AC) kapcsolására, valamint némely típus képes mindkettőre. A hagyományos relével szemben a kapcsoló eleme nem mechanikus, és többféle is lehet, mint például a bipoláris vagy MOS tranzisztor, SCR (Tirisztor), TRIAC, vagy ezek kombinációja.

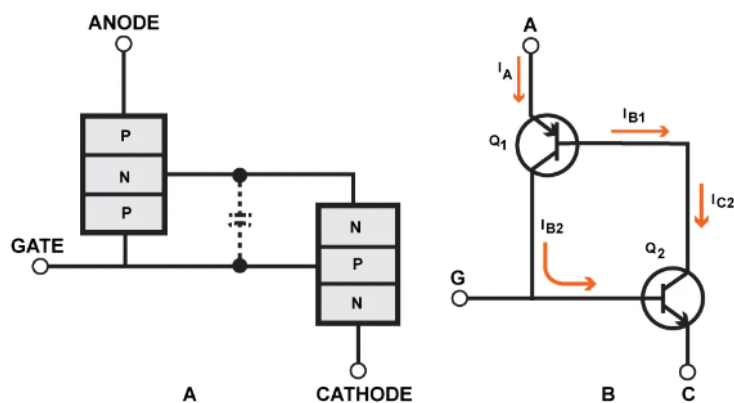
Erről a technológiáról szól ismereteket a [8] forrásban is megtalálhatóak.



17.ábra. Crydom LR Series LR600240D25R (forrás: [A13])

Az általam választott SSR relé a Crydom LR Series LR600240D25R-s modellje, amely 4-32V (DC) vezérelhető, és 24-280V (AC) képes kapcsolni és maximum 25A-t. A kapcsoló eleme az SCR, amely nagy kapcsolási kapacitást és hosszú élettartamot biztosít. Az adatok az eszközzel kapcsolatban [9] forrásban lehet megtalálni.

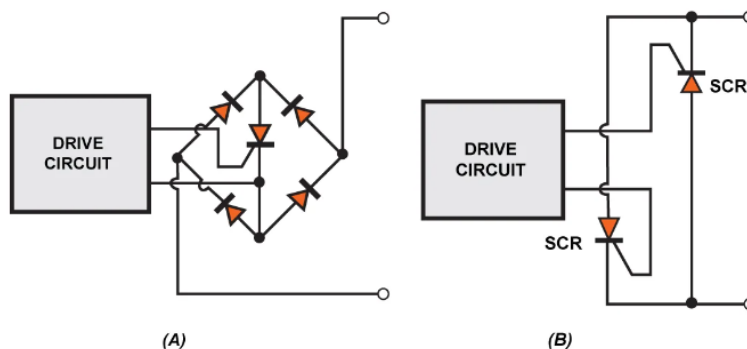
Az SCR kapcsoló azaz Tirisztor négy rétegű félvezető elem, amely struktúráját a PNPN felépítés jellemez. Három lába van, ezek sorra az anód, katód, és a vezérlő láb (gate).



18.ábra. PNPN struktúra megértése (forrás: [A12])

A modul működési elvének megértéséhez szükséges lesz az egymást követő négy réteget több ismert elemre bontani. Tegyük fel, hogy két bipoláris tranzisztorral lehet helyettesíteni a négy réteget, amely a 18. ábrán látható. Mivel $Q1$ PNP kialakítású tranzisztor és $Q2$ NPN kialakítású, így ábrán tisztán láthatóvá válik, hogy négy rétegről van szó, mivel mindkét tranzisztor kollektora, egyben a másik tranzisztor bázisa is.

Bekapcsoláskor a *Gate*-re I_{B2} nagyságú áramot kell kapcsolni, hogy $Q2$ tranzisztor kapcsoló üzembe kerüljön, és teljesen kinyisson. Ebből következik, hogy I_{C2} áram fog $Q2$ -n átfolyni, ami egyben az I_{B1} is. I_{C2} és I_{B1} nagysága és iránya is megegyezik, mivel $Q1$ tranzisztor PNP felépítésű. Amely azt jelenti, hogy a bázisból kifolyó áram hatására fog kinyitni $Q1$. Ha bekapcsolási folyamat megtörtént, akkor *Gate* vezérlése nélkül is képes működni a kapcsolás. Ebből következik az, hogy egy SCR elem, akkor fog kikapcsolni, ha az anód és katód között áram nullára csökken. Mivel váltakozó áramú hálózatot fog kapcsolni az eszköz, így minden pozitív félperiódus végén az eszköz kikapcsol, és újabb *Gate* vezérlésre van szükség.



19.ábra. SCR alapú SSR teljes periódus kapcsolására (forrás: [A12])

Az említett kapcsoló modul csak a szinusz hullám pozitív félperiódusban tud működni, így ahhoz, hogy a mindkét fél periódusban működhessen szükséges kiegészíteni az áramkört a következőképpen. amit a 19. ábrán láthatunk. Azaz egy SCR-t vagy dióda hídba kapcsolunk, hogy a

váltakozó áram teljes periódusát vezesse, vagy egymással párhuzamosan és ellentétesen. Utóbbiból az következik, hogy mind két SCR csak az egyik fél periódust vezérli, így mikor megtörténik a nulla átmenet, és az egyik kikapcsol, akkor a másik SCR-re vezérlő *Gate* áramot adva bekapcsoljuk azt.

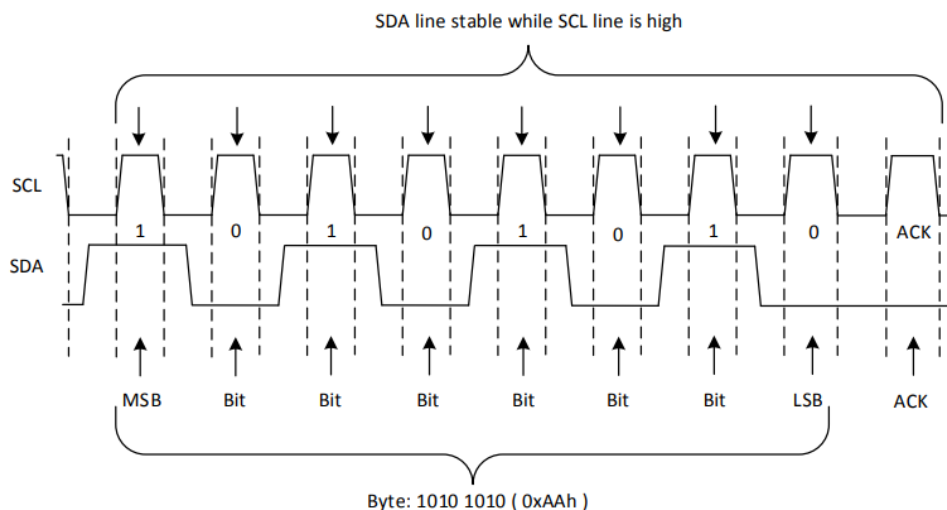
3. Kommunikációs szoftver elemek

A működőképes rendszer felépítéséhez elengedhetetlen az az ismeret, amit a Hardver elemek fejezetben leírtam, továbbá a szükséges ezen elemekkel, modulokkal kommunikációt létesítenie a mikroprocesszornak. Ezek a kommunikációs szabályok alapján épülnek fel, amelyeket egy szóval protolloknak neveznek. Ezen protollokkal adatokat képes kinyerni a mikrokontroller a szenzorokból, vagy adatot, adathalmazt tud küldeni az adott modulnak, amely végeredménye a felhasználó számára is láthatóvá válik. Például egy kijelző képének frissítése.

3.1. Eszköz belső protokolljai

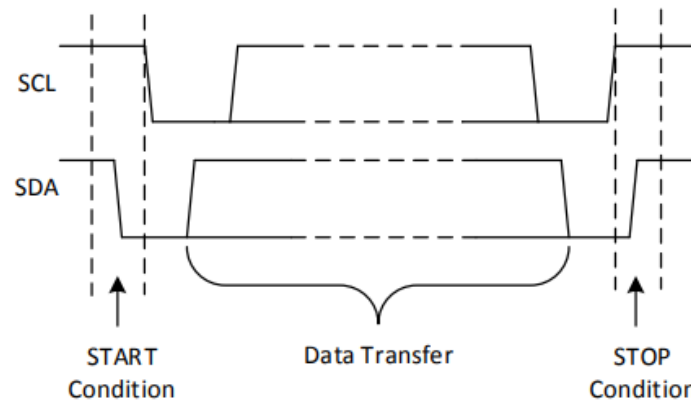
3.1.1. I²C protokoll

Az I²C, azaz Inter-Integrated Circuit hardveres felépítéséről a 2.2.2. *I²C architektúrája* című alfejezetben már ismertette van, így ebben a fejezetben az ott említetteket is fel fogom használni.



20.ábra. Példa az I²C adatcsomagra (forrás: [A14])

A szabvány 7-16 biten történő kommunikációt biztosít, valamint adatátviteli sebessége általában 10 kbit/s-tól egészen 3.4Mbit/s-ig terjed. Ellentétes logikával működik, amely azt jelenti, hogy az alacsony jelszintet logikai 1-nek lehet tekinteni, ezért szükség van egy felhúzó ellenállásra a rendszer helyes működéséhez, még akkor is, ha nincs aktív eszköz a buszon. Egy adatcsomagra a 20. ábrán lehet egy példát látni.



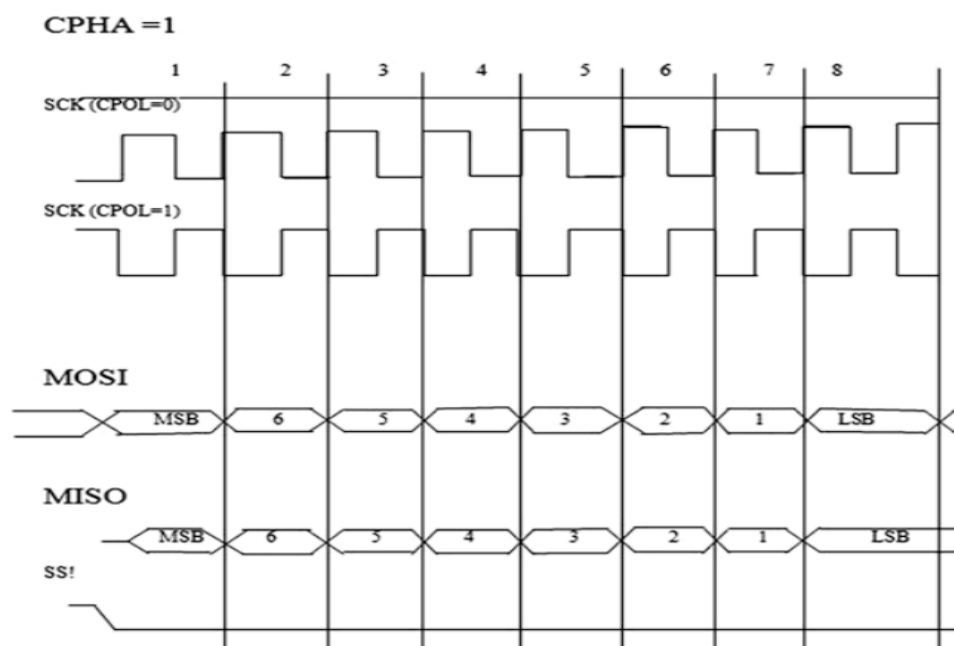
21.ábra. I²C protokoll alapú kommunikáció kezdete és vége (forrás: [A14])

A kommunikáció kezdete egy start frame-mel indul, majd az adatsomag következik, például 7 bit hosszan. Ezután egy bit jelzi, hogy az eszköz olvasni vagy írni fog-e. A *Master* egy nyugtát vár az utolsónak küldött bit után a *Slave*-tól annak érdekében, hogy megkapta-e az adatsomagot. A kommunikáció lezárását a *Master* egy stop bittel fogja jelezni. Függetlenül az üzenetküldés sikerességétől az SCL és SDA visszatér a magas állapotba a tápfeszültség környékére.

[4]

3.1.2. SPI protokoll

Az SPI kommunikáció során a *Master* az órajel segítségével irányítja az adatátvitelt, amikor kommunikációt kezdeményez egy *Slave*-vel.



22.ábra. SPI protokoll adatsomag küldésére példa, amikor CPHA=1 (forrás: [A15])

A kommunikáció kezdetén a kiválasztott *Slave CS* lábát alacsony potenciálra állítja be, a többi buszra csatlakoztatott *Slave CS* lábát pedig magasra. Ezt követi a szinkronizáció, amelyet a *Master* biztosít egy előre meghatározott órajellel.

Az adatküldés során 8 bites, azaz 1 byte-s csomagokat képes küldeni a *Master* a *Slave*-nek, vagy a *Slave* a *Master*-nek. Mivel az SPI busz full-duplex működésre képes, így az adatok küldése és fogadása egyidejűleg zajlik a két modul között.

[10]

3.2. Eszközök közti protokollok

3.2.1. Modbus protokoll

A 2.3.1. RS-485 hálózat című alfejezetben írtam arról, hogy épül fel egy olyan busz rendszer, amelyen modbus protokollal lehet kommunikálni. A következőkben az ott leírtakra és a [12] forrásban található tudásra fogok támaszkodni. A protokoll két kommunikációs módot kínál az adatfolyam felépítésére, ezek a ASCII és az RTU módok.

ASCII mód:

Start of Frame	Device Address	Function Code	Data	LRC Check	End of Frame
1 character (:)	2 characters	2 characters	n characters	2 characters	2 characters (CRLF)

23.ábra. ASCII adatcsomag felépítése (forrás: [A16])

23. ábrán a Modbus üzenetek ASCII-framingjét mutatja. A frame kezdete egyszerűen egy kettőspont (:), a keret vége pedig a két ASCII karaktert igénylő CRLF szekvencia. Az ASCII karakterek mindegyike 7 bit. A többi mezőben lévő összes többi karakternek vagy a 0-9 számoknak, vagy az A-F betűknek kell lennie, mivel az adatokat hexadecimális formátumban kell ábrázolni, de ASCII karakterek formájában kell megjeleníteni. Például a 03-as funkciókódot két ASCII-karakterként „0” és „3” jelenítené meg. Ugyanez vonatkozik az adatokra is. Az ASCII mód egyik előnye az időzítés. A karakterek között akár egy másodperc is eltelhet időkiesési hiba nélkül. Ezért egy jó gépiró szimulálhat egy mestert úgy, hogy egy CRT-terminálon beír egy karakterláncot egy szolga számára, és megfigyeli a szolga választát.

Az üzenetek azonban meglehetősen tömörek és hatékonyak bizonyulnak, mégis az RTU üzemmód továbbra is a népszerűbb formátum.

RTU mód:

Start of Frame	Device Address	Function Code	Data	CRC Check	End of Frame
4 character times	8 bits	8 bits	n x 8 bits	16 bits	4 character times

24. ábra. RTU mód adatcsomag felépítése (forrás: [A16])

RTU üzemmódban történő működés esetén az időzítés sokkal kritikusabb. Nincs specifikus *Start of Frame* karakter, ehelyett az üzenetkeret négy karakteres jelöléssel kezdődik. Ezt az intervallumot követően az eszközcím, majd a funkciókód és az adatok következnek. Vannak más különbségek is az ASCII üzenetkerethez képest, amint az a 24. ábrán látható. Az ASCII-keretben alkalmazott *Longitudinal Redundancy Check* (LRC) helyett az RTU-keretben az adatok robusztusabb *Cyclic Redundancy Check* (CRC) történik. A keret végének jelzése szigorúan négy karakteres jelölésen alapul.

Modbus regiszter parcellái

3. táblázat. Modbus funkciók *Master* és *Slave* között

Code	1/16-bit	Description	I/O Range
01	1-bit	Read coils	00001 – 10000
02	1-bit	Read contacts	10001 – 20000
05	1-bit	Write a single coil	00001 – 10000
15	1-bit	Write multiple coils	00001 – 10000
03	16-bit	Read holding registers	40001 – 50000
04	16-bit	Read input registers	30001 – 40000
06	16-bit	Write single register	40001 – 50000
16	16-bit	Write multiple registers	40001 – 50000
22	16-bit	Mask write register	40001 – 50000
23	16-bit	Read/write multiple registers	40001 – 50000
24	16-bit	Read FIFO queue	40001 – 50000

A 3. táblázat foglalja össze, hogy milyen publikus funkciókkal lehet a *Master* és *Slave* között kommunikálni. Bizonyos funkciókódok meghatározott regisztertartományokat jelentenek. A korai PLC-k többnyire diszkrét bemenetekkel és diszkrét kimenetekkel foglalkoztak, amelyeket a regiszterterképen egy-egy bit képviselt. A Modicon PLC-k esetében a diszkrét kimenetek a 00001-es helyen kezdődnek, a diszkrét bemenetek pedig az 10001-es helyen. Mindegyikhez egy-egy bites tárolóhely szükséges. A bemenetek, az úgynevezett érintkezők, csak olvashatók, a kimenetek, a tekercsek, pedig olvashatók vagy írhatók.

Ahogy a PLC-k összetettsége növekedett, az analóg be- és kimenetek (I/O) kezelésére és a matematikai számítások végrehajtására való képesség is bekerült. A 16 bites regiszterreferenciák I/O tartománya 30001-nél kezdődik a csak olvasható analóg bemenetek, és 40001-nél az általános célú olvasási/írási regiszterek esetében, amelyek analóg kimenetekként is szolgálhatnak. 40001 felett már valóban nincsenek korlátozások.

3.2.2. WIFI kommunikáció

4. Perifériák tervezése

Az *1.4. Innovatív megoldási javaslat* című alfejezetben nagyvonalakban bemutattam a tervezni kívánt rendszert, és ebben a fejezetben ezt fogom részletezni, pontosítani.

4.1 Rendszer terv készítése

A rendszereszközök implementációjához elengedhetetlen, hogy követelményeket fogalmazzak meg, hogy mit várok el az egyes eszközök működésétől, és mik azok a funkciók, amik szükségesek a megfelelő működéshez. Több követelményt is meg fogok fogalmazni, amelyek biztosítani fogják a helyes és stabilis működést. Ezek a következők:

- Rendszer követelmények
- Eszközök követelmények

Minden követelményt jellemzően rövid, lényegre törő mondatokkal fogok leírni, hogy a további tervezés és az implementáció során előre meghatározott lépések alapján készítsem el az egyes komponenseket.

4.1.1 Rendszer követelmények

A rendszer követelmény alatt azt értem, hogy mit várok el a teljes hálózat működésétől. Ezekből a követelményekből fogom meghatározni az eszközökre vonatkozó elvárásaimat.

Az eszközök feladata, hogy megbízhatóan a felhasználó preferenciái alapján egy adott háztartás belső hőmérsékletét a megfelelő hőmérsékletre szabályozza.

- Vezeték nélküli kapcsolat a *szerver* és *kliensek* között állandó és stabilis legyen.
- Eszközök távoli elérése monitorozás céljából.
- Rendelkezzen olyan beavatkozásszervekkel, amelyek a felhasználót segítik a beállításokban.
- A fő eszköz(*szerver/espTouch*) képes legyen kommunikálni a *Controller for heating system-mel*, hogy az adott légterekben a beállításoknak megfelelő hőmérséklet legyen.
- *Klients (espCarryable)* eszközzel dinamikusan bővíthető legyen a hálózat.
- Szoftveres meghibásodás esetén térjen vissza az utolsó stabil állapotába.

4.1.2 Eszköz követelmények

A hálózatot egy *espTouch*, és több *espCarryable* (akár nulla is lehet ebből), valamint egy router alkotja. A router független az általam tervezett rendszertől, és egyetlen *espTouch*-al is működtethető. Ebből következik, hogy az eszközök követelményeit úgy kell meghatározni, hogy azok kielégítsék a rendszer követelményeket.

Ezen elvárásokat kétfelé bontom, hogy az eszközök közti különbséget érzékeltessem, és az implementálás során tudjam, hogy mik azok a komponensek, amelyek különbözni fognak.

Közös követelmények:

- A DHT hőmérsékletmérő szenzor mérései pontosak legyenek.
- Állandó kapcsolat a router-rel.
- Weboldal működtetése, élő adat szolgáltatása, és ezek feldolgozása, mentése az adatbázisba.
- Helyes működéshez szükséges adatok beállítására szolgáló kezelőfelület.
- Jelezze ki az időt, kívánt és szenzorral mért hőmérsékletet, aktív fűtéstervet, páratartalmat, és a fűtési kör állapotát.
- Rendelkezzen dinamikusan bővíthető adatbázissal.

***espTouch*-csal szembeni elvárások:**

- Dinamikusan kezelje a csatlakozott *Klienseket* (*espCarryable*).
 - Weboldalon megjelenjen a *Klients(ek)* elérhetősége(i).
 - Grafikus interfészen is látható legyen a *Klients(ek)*, és az(ok) adatai.
- Grafikus felületen keresztül lehessen beállítani:
 - Kívánt hőmérsékletet
 - 24 órás fűtéstervet, órákra bontva.
 - Több különböző fűtésterv legyen elérhető.
 - Fűtés típusát (Gáz alapú vagy automatikus, ami a külső hőmérséklet függvényében fogja eldönteni, hogy a Gázkazán vagy a hőszivattyú lesz-e az aktív fűtő szerv.)
- Dinamikusan lehessen beállítani a fűtési körök számát.

***espcarryable*-l szembeni elvárások:**

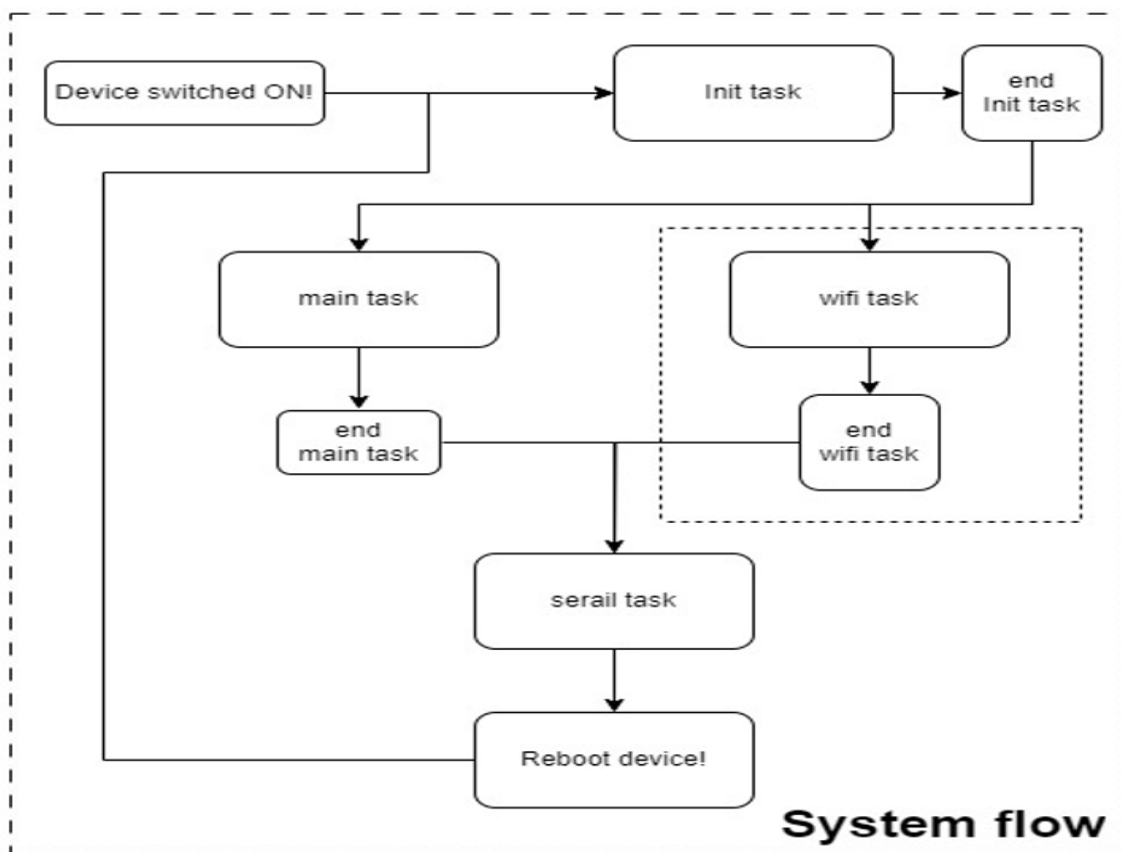
- Kapcsolódjon az *espTouch* webservere.
- Az aktív fűtéstervet és kívánt hőmérsékletet nyomógombos beavatkozó szervvel változtatni lehessen.

4.2. Hálózati modulok főszekvenciájának tervezése

A két eszköz központi modulja egy-egy ESP32-s mikroprocesszor, amely rendelkezik két processzormaggal, így ennek tudatában kell az eszköz követelményekből megtervezni a modulok szekvenciáit. Az elvárásokat halmazokra csoportosítom, és egy-egy követelményhalmaz fog alkotni egy-egy feladatot (*task*-ot).

A halmazok a következők:

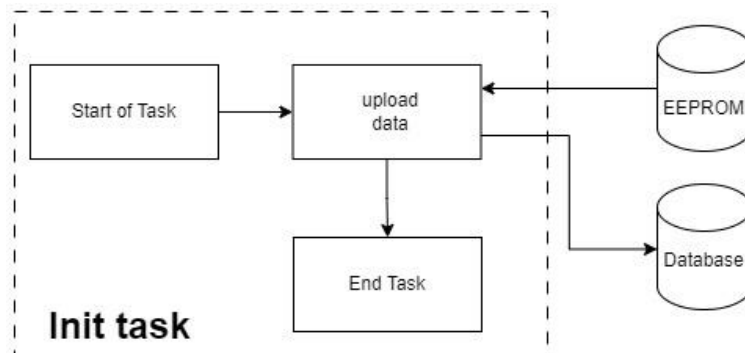
- Inicializáló feladat (*Init task*)
- Fő feladat (*main task*)
- Kommunikációért felelős feladat (*wifi task*)
- Eszköz beállításáért felelős feladat (*serial task*)



25.ábra. Rendszer működésének folyamatábrája

25. ábrán látható az általam megtervezett rendszer folyamatábrája. Amikor az *espTouch* vagy egy *espCarryable* bekapcsol, akkor ennek megfelelően kell működnie. Ha az *Init task* befejeződött, akkor az adott eszköz a *main task*-t és a *wifi task*-t fogja elindítani. Addig fognak futni ezek a programok, amíg a felhasználó ki nem kapcsolja az adott eszközt, vagy ha olyan beállítást akar állítani, amit majd az újból bekapcsoláskor az *Init task* be tud állítani az adatbázisban.

4.2.1. Inicializáló feladat (*Init task*)



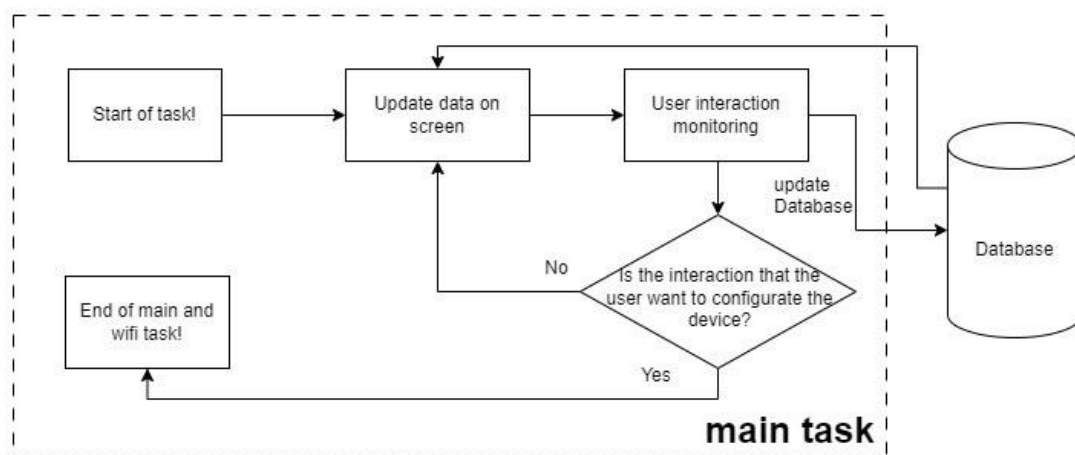
26.ábra. *Init task* folyamatábrája

Minden egyes bekapcsoláskor a rendszerelemek az EEPROM-ba mentett specifikus adatokkal fogják létrehozni az adatbázist, valamint ebből a memóriamodulból fogják feltölteni adatokkal a már létrehozott adatbázist. Amikor az adatbázis elkészült, akkor véget ér a feladat és a *main*, illetve a *wifi task* fog elindulni. (26. ábra) Az adatbázis adatai a felhasználó által beállított adatok lesznek, amiket a *serial task* futása során tud a felhasználó beállítani. Amíg üres az adatbázis, addig az eszközök egy *default* (általános) beállítás alapján fognak elindulni. A *default* beállítás önmagában annyit tesz lehetővé, hogy az espTouch/espCarryable elindítható állapotba kerüljön, hogy a felhasználó be tudja azt későbbiekben konfigurálni. Ez a feladat lényegében egy jól megszokott *bootloader*-ként értelmezhető.

A konfigurációs adatokról a *serial task* bemutatásakor lesz szó részletesebben.

Az adatbázist az eszközökre implementált kód nyelvén fogom elkészíteni, amelyet a későbbiekben fogok részletezni.

4.2.2. Fő feladat (*main task*)



27.ábra. *main task* folyamatábrája

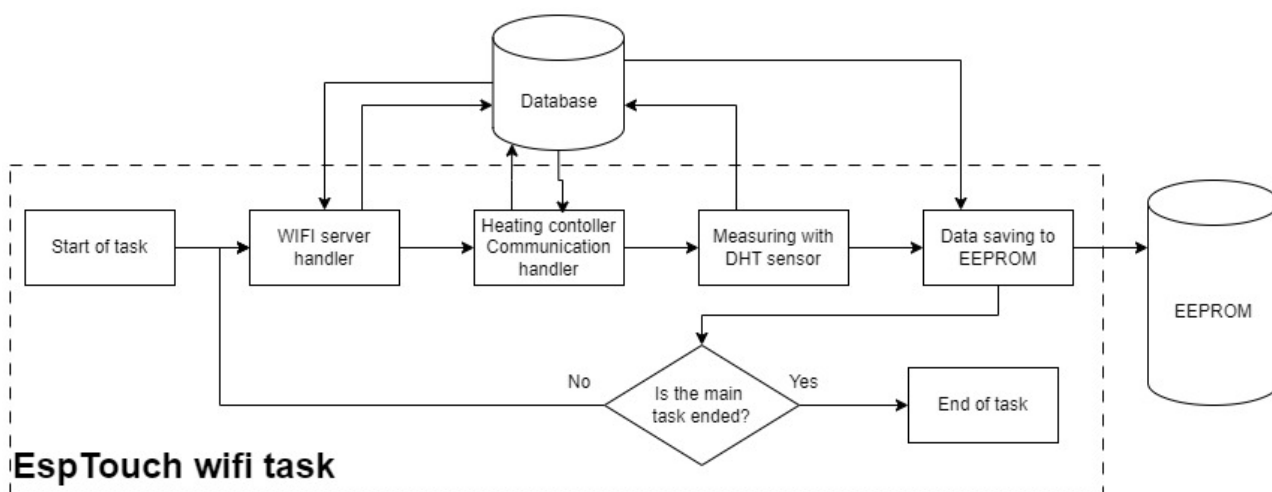
27. ábrán látható az általam megtervezett feladat folyamatábrája, amely biztosítani fogja, hogy az adatok kvázi valós időben frissüljenek a felhasználó számára, amely visszacsatolásként szolgál a rendszer helyes működéséről a felhasználó felé (*Update data on screen*). Továbbá az *espTouch/espCarryable* rendelkezik beavatkozó szervekkel is, így a feladat ezen interfészeket is monitorozni fogja. Ha valamilyen beavatkozás történik, akkor a *user intreacion monitoring* frissíteni fogja az adatbázist.

Ez a feladat az ESP32 mikroprocesszor egyik processzormagján fog futni, amely biztosítani fogja a kvázi valós időben történő kijelző frissítését. Amikor a felhasználó interakcióba lép az eszközzel a beavatkozószerveken keresztül, akkor annak hatása a kijelzőn azonnal meg fog jelenni.

4.2.3. Kommunikációért felelős feladat (*wifi task*)

Mivel egy processzormag teljes mértékben le van foglalta, így a kettőből egyre maradnak azon elvárások, amelyek eleget fognak tenni az eszközök követelményeinek. Mivel a két modul egy rendszert fog alkotni és ennek a hálózatnak központi eleme az *espTouch (server)*, így a *wifi task*-ban is lesz különbség.

espTouch wifi task:



28.ábra. *espTouch wifi task* folyamatábrája

A 28. ábrán látható a megtervezett szekvencia. A funkciók a folyamatábrán komplexek, és azért felelnek, hogy az eszköz követelményeket teljesítsék. Fontos megjegyezni, hogy egyik funkcióban sem szabad túl sokáig várakozni.

WIFI server handler felelős azért, hogy stabil kapcsolatot teremtsen a routerrel, ezzel biztosítva bármiféle *kliens* (általában *espCarryable*, de lehet böngésző is, például Microsoft Edge) csatlakozását a *szerverre*. Minden egyes eszköznek egy HTML weboldalt kell üzemeltetnie websockets kommunikációval. A *fő szerver* (weboldal) az *espTouch-n*, a *kliens szerverek* pedig az *espcarryable-*

n működnek. Amikor a *kliens* csatlakozik a *szerverre*, akkor adatküldés és fogadás indul el az eszközök között. Ezen megosztott adatokat mindkét fél a saját adatbázisában fogja eltárolni, hogy a *main task* hozzá férhessen az új adatokhoz.

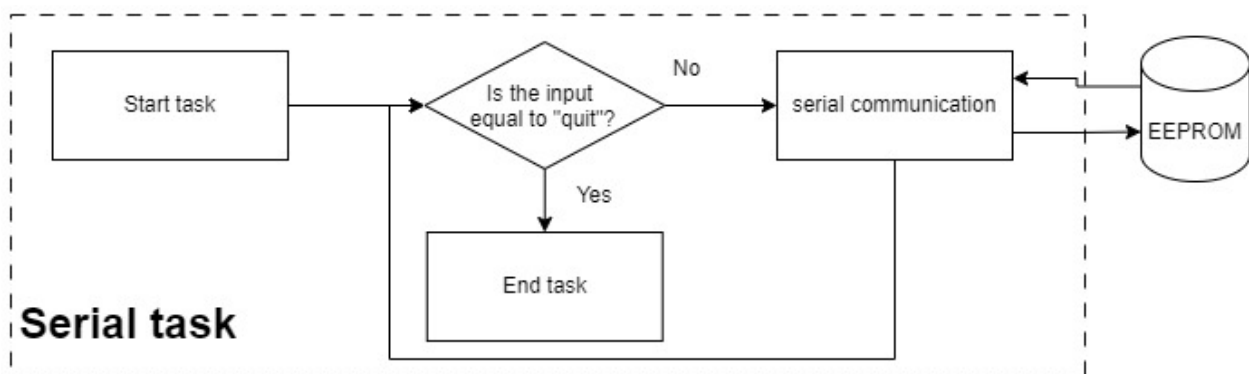
Heating controller communication handler feladata az, hogy üzenjen a *controller for heating system*-nek, ha bármilyen beavatkozás szükséges. Ezek a beavatkozások a fűtés indítása vagy leállítása lehetnek, továbbá, hogy milyen típusú fűtő eszközzel működjön a rendszer (Gázkazán vagy hőszivattyú).

Measuring with DHT sensor feladata, hogy a DHT11-s szenzorral megmérje a szoba hőmérsékletét. Az ESP32-höz van csatlakoztatva a szenzor, amihez One-Wire buszt használnak.

Data saving to EEPROM feladata, hogy a fontos adatokat elmentse az EEPROM-ba, ha megváltozik az adott adat, vagy ha a felhasználó mentési funkciót kér a *main task*-n keresztül.

A *wifi task*-nak akkor lesz vége, ha a *main task* befejeződik, ami akkor lehetséges, ha a felhasználó konfigurálni szeretné az eszközt.

4.2.4. Eszköz beállításáért felelős feladat (*Serial task*)



29.ábra. *serial task* folyamatábrája

A *serial task* feladata, hogy a termosztát rendszert a kialakított vagy még tervezett fűtésrendszerhez lehessen alakítani. A felhasználó vagy a fűtés rendszert kivitelező személy beállíthatja ezen feladaton keresztül, hogy milyen előre meghatározott paraméterekkel dolgozzon az *espTouch* és az *espCarryable*. A szükséges paraméterek azok, amikkel egy dinamikus adatbázis hozható létre, és ezzel együtt dinamikus rendszert lehet működtetni.

WIFI hálózati elérhetőségek. A rendszer működéséhez kell egy router, így ennek paramétereit lehet elmenteni az EEPROM-ba (SSID, jelszó). Mindkét típusú eszköz egy-egy webszervert is működtetni fog, így a kommunikációhoz szükséges átjáróra is szükség van. Tehát egy port számot is meg kell adni, amit érdemes úgy megválasztani, hogy könnyen hozzá férhetőek legyenek a webszerverek a felhasználónak, például: 80-s.

A fő egység az *espTouch* egyszerre több fűtési kört is képes monitorozni, és mellette ez az eszköz is része az egyiknek. Így a *Serial task*-ban be kell tudni állítani, hogy hány fűtési körrel rendelkezik a háztartás, amelyben el lesz majd helyezve, és hogy az *espTouch* ezek közül melyiknek a része. Míg az *espCarryable*-nél ezeknek a paramétereknek egy saját egyedi azonosítónak kell lenniük, és egy olyan azonosítónak, amely meghatározza, hogy a *Kliens* eszköz melyik fűtési körhöz tartozik.

Fontos beállítani továbbá azt is, hogy az *espTouch* milyen paraméterekkel tudjon kommunikálni a *Controller for heating system*-mel, mivel a két eszköz között RS-485 busznak kell biztosítania a fizikai összeköttetést, amely modbusz protokollt használ. Így a beállítandó elemek lennének az olvasni vagy írni kívánt regiszternek a címe és annak száma, továbbá a *Controller for heating system* azonosító száma. Fontos megjegyezni, hogy ezeket a paramétereket csak az *espTouch* esetében lehetséges meghatározni.

Egy rendszeren belül több egyforma eszköz is lehetséges és ezek sokféle módon meg vannak különböztetve egymástól. Ettől függetlenül a felhasználó számára is fontos lenne megkülönböztetni az eszközöket. Így lehetőséget biztosítok arra is, hogy különböző nevekkkel (*NickName*-mel) lehessen ellátni a két modult.

Természetesen mivel egy fűtésterv 24 elemből áll, azaz minden órához tartozik egy hőmérséklet. A rendszer ezeket az értékeket akarja elérni működése során, így fontos, hogy az eszközökön az órát is be lehessen állítani. Ez alatt azt értem, hogy hány óra hány perccel *boot*-oljanak be az egyes eszközök.

Azért, hogy biztosak legyenek a beállítást végző személyek, lehetőség van arra is, hogy minden beállítható értéket ki lehessen listázni, és ha szükséges, akkor minden paramétert egy paranccsal ki lehessen törölni. Azaz egy *default* értéket vegyenek fel, amelyekkel az eszközök hibátlanul be tudnak majd *boot*-olni.

(29. ábra)

4.3. *espTouch* periféria felhasználói interakcióinak tervezése

Az *espTouch* kapcsolási rajzát az 1. és 2. számú mellékletben tekinthető meg, a rajzok ismertetik az eszköz felépítését.

Az *espTouch* központi elem egy ESP32-s mikroprocesszor, amelyhez egy rezisztív interfész és egy LCD kijelző van csatlakoztatva. Az érintőkijelzőt és a processzort SPI busz köti össze. Ez a beavatkozó szerv lesz a felelős a felhasználó interakciókért. Továbbá egy DHT21 hőmérséklet és páratartalom mérő szenzorral van ellátva, amely One-Wire buszon keresztül csatlakozik a mikroprocesszorhoz. Ez DHT21-s szenzor a 2.1.5. *One-Wire busz* című fejezet szerint csatlakozik a

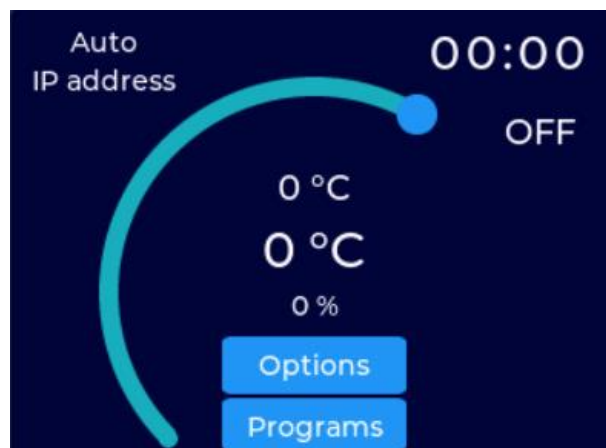
központi elemhez, és a modul adat lába az ESP32 27. lábra csatlakozik, amely egy ki/be -meneti port.

4.3.1. Beavatkozásszerv funkcióinak megtervezése

A *4.1. Rendszer terv készítése* című alfejezetben ismertetett követelmények alapján tervezem az interfész dizájnját, hogy a felhasználó a preferenciáit kényelmesen, és egyszerűen tudja beállítani.

Tervezéshez a SquareLine Studio-t használom, amely kifejezetten a projektemhez és ehhez hasonló projektek készítésében nyújt segítséget. Az alkalmazásban ki lehet választani a hardvert és a kijelzőt is, amelyre a design készül. Továbbá előre meghatározott elemekkel és funkciókkal lehet használni. Az elkészült design-ból az alkalmazás képes programkódot generálni, amely animáció hűen tud viselkedni, de szükséges logikai összekapcsolásokat azt már programozónak kell megcsinálnia.

Összesen négy oldalas GUI-t (graphical user interface) tervezek az *espTouch*-ra, amely biztosítani fogja, hogy a be tudja állítani a fűtésterveket, és akár egyéni kívánt hőmérsékletet, fűtés típusát. Továbbá a GUI az adatbázis fontos elemeit fogja megmutatni.



30.ábra. espTouch főoldala

30.ábrán az eszköz fő oldala látható, ahol a felhasználó a kör alakú csúsztatható gomb segítségével beállíthatja, hogy mekkora legyen a kívánt hőmérséklet. Ennek értékét középen legfelső szám fogja megmutatni, alatta pedig a mért hőmérséklet és páratartalom lesz látható. Ha megváltozik a főoldalon a beállított hőmérséklet, akkor a következő egész óráig az eszközön ez a kívánt hőmérséklet lesz látható, és *Auto* felirat *Manual* feliratra változik meg. Így lényegében csak átmenetileg fog megváltozni a kiválasztott programterv. Ha kívánt hőmérséklet kisebb, mint a mért hőmérséklet, akkor az *OFF* felirat *ON* fog váltani. Továbbá itt lesz látható az idő, és az eszköz IP címe is, ha sikerült a külső routerhez csatlakoznia. Két gombot terveztem még erre a kijelzőre, amik két különböző GUI oldalt jelenítenek meg.

4.3.2. A *Programs* aloldal



31.ábra. *Programs* aloldal

31. ábrán be lehet állítani a program terveket, ebből összesen öt van. A beállítás nagyon egyszerű *prog 1* mezőben a programtervet lehet kiválasztani, és mellette ugyan így azt az időpontot, ahol a kívánt hőmérsékletet szeretné a felhasználó állítani.



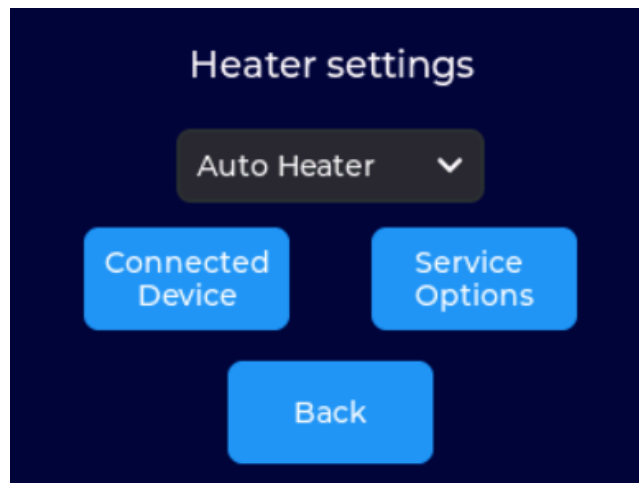
32.ábra. programterv és időpont választó interakció

A programterv és időpont a 32. ábra szerint van létrehozva. A *Programs* oldalon mindig csak a kiválasztott fog látszódni, az ábrán ez a *Item 3.* függőleges interakcióval meg lehet változtatni a kiválasztott elemet.

Ha kiválaszt a felhasználó egy időpontot, akkor a *Wanted Temperature* alatt a csúszó gomb pozíciójával meg lehet változtatni az időponthoz tartozó hőmérséklet értékét, amely a grafikonon azonnal láthatóvá válik. A csúszó gomb melletti szám jelezni fogja, hogy a kiválasztott időpontban, milyen érték került beállításra.

Amíg a *Save* gomb lenyomásakor, az összes változás az EEPROM-ba kerül mentésre, hogy ha az eszköz újra indul, akkor a változások maradandóak legyen. Ha a felhasználó nem nyomja le a gombot, akkor a változások szerint fog az eszköz működni mindaddig, amíg újra nem indul az *espTouch*. A *Back* gombbal a főoldalra lehet visszalépni.

4.3.3. Az Options gomb következménye



33.ábra. Options aloldal

33. ábrán több funkció is elérhető lesz, ezek a következők:

- *Back* gomb: visszaváltja kijelzőt a főoldalra.
- *Service Options* gomb lenyomáskor *serial task-t* fog betöltődni, a kijelző elsötétül és a *main*, illetve a *wifi task* befejeződik.
- Ki lehet választani a fűtés típusát (*Auto Heater/ Gas Heater*). A típusra „kattintva” egy lenyíló ablak fog megjelenni, ahol ki lehet választani a preferált típust.
- *Connected Device* gomb megnyomásakor egy újabb ablak töltődikbe.

Connected Device oldal



34.ábra. Connected Device aloldal

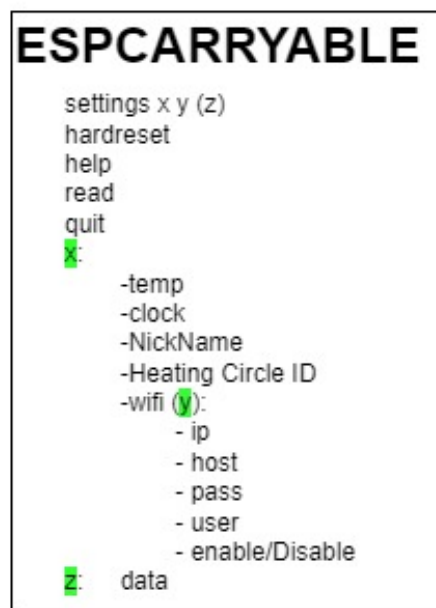
34. ábrán látható oldalon a szerverhez kapcsolódott *espCarryable* adatait lehet vizsgálni. Többek között, hogy az adott eszköz mekkora hőmérsékletet mér, mi a MAC címe, és hol helyezkedik/hogy hívják az perifériát. Ez az oldal visszacsatolásként szolgál a felhasználónak, hogy

minden használt *espCarryable* csatlakozva van-e a központi elemhez, az *espTouch*-hoz.

4.3.4. *serial task* felhasználói oldalának tervezése

A *serial task* mind a két eszköznél ugyan úgy fog felépülni, de más tartalom lesz elérhető a felhasználó számára. Így egy úgy kell megterveznem, hogy használat szerint meg egyezzenek, de tartalmát implementáláskor könnyű szerrel lehessen bővíteni.

Mivel a soros porton való kommunikáción keresztül lesz elérhető ez funkció, így a felhasználó a csatlakozott számítógépen egy konzolban foglya majd látni az adatokat. Ezen keresztül tud kommunikálni az eszközzel parancsszavak felhasználásával.



35.ábra. példa az *espCarryable* menürendszer felépítésére

A 35. ábrán látható a tervezett menü rendszer. Alapvetően a menünek tetszőlegesen bővíthetőnek kell lennie, és fa struktúrát kell követnie. Ez azt jelenti, hogy minden funkciónak egy kijelölt menühöz kell tartoznia, és ezek a menük egy másik menünek részének kell lennie. Kivételt fog képezni a fő menü, amely a *serial task* betöltésekor megjelenik a felhasználó számára. Ezen menü rendszer implementálásról a későbbiekben lesz szó.

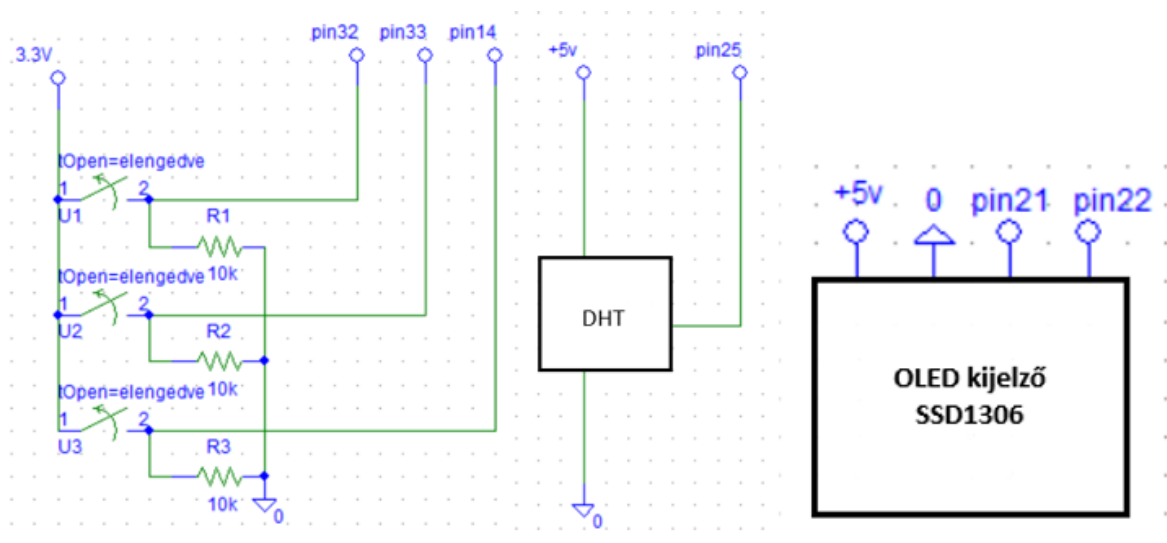
Mivel minden hívható applikációnak megvannak a saját tulajdonságai, így ezen tulajdonságok alapján lesznek meghatározva az elérhető funkciók, például *settings* egy almenü, amely a beállítható paramétereket foglalja magába, egyben ez lesz a parancs szava is az almenük.

Mivel parancsszavakkal elérhetőek az egyes funkciók, így két típusú elérést biztosítok a felhasználónak. Vagy parancsszavakként halad célja felé, vagy minden parancsszót felhasznál az az elérni kívánt funkcióhoz, például „*settings wifi ip 192.168.0.103*”. Utóbbiból az kell, hogy

következzen, hogy a megadott IP címet az eszköz elmenti az EEPROM-ba, ha az szintaxisa megfelelő. A parancsszavakkénti megközelítést azért adom, hozzá a terveimhez, mert a felhasználók általában nincsenek tisztában eszközük pontos működésükkel. Ebből következik, ha valamit be szeretne állítani, akkor „help” parancssal az aktuális menü elemeit fogja ki listázni, és ezek alapján fel tudja térképezni a modul belső funkcióit. Ezzel azért könnyítem meg a felhasználó munkáját a konfigurálás során, mert a „help” parancsszóval az aktuális parancsokat listázom ki a felhasználónak.

4.4. espCarryable felhasználói interakcióinak tervezése

4.4.1. espCarryable fizikai kialakítása



36.ábra. espCarryable-t kiegészítő kapcsolások

A 36. ábrán látható, hogy milyen elemekkel egészítem ki a 3. mellékletben szereplő modul kapcsolását. Az espCarryable-t három nyomógombbal, egy hőmérséklet érzékelővel (DHT), és egy kisméretű OLED kijelzővel láttam el.

A három darab nyomógomb 5 funkciót fog ellátni, ezek pedig a kívánt hőmérséklet szabályozása egytizedes tűréssel. Ezt az U1 és U2 kapcsolók végzik pozitív és negatív irányban. A harmadik kapcsoló U3 lenyomásával a programot lehet majd változtatni, ha U3-t nyomva tartjuk, akkor U1 és U2 segítségével tudjuk a kívánt programot kiválasztani. Továbbá, ha a felhasználó U1 és U2 nyomógombokat egyszerre nyomja le, akkor a programnak a serial task-t kell elindítania, és minden más futó task-nak le kell állnia. (36.ábra)

A hőmérséklet mérésért felelős DHT szenzor a mikroprocesszor 25-s lábára fog csatlakozni. Ezen pin-n keresztül fog a az espCarryable kommunikálni a hő és páratartalom mérő szenzorral kommunikálni One-Wire buszon keresztül. (36.ábra)

Az felhasználó számára fontos adatokat egy OLED kijelzőn fogom megjeleníteni, amely I²C buszon keresztül kapcsolódik az ESP32-höz. A kommunikációhoz szükséges lábak az SCL és az SDA, az *espCarryable* 21-s lába lesz az SCL és a 22-s pedig a SDA. (34. ábra)

Kijelző design tervezése



37.ábra. OLED kijelző dizájnja

A kijelzőn több adatot is tervezek megjeleníteni, ezek a kívánt hőmérséklet(*wtmp*), az óra (*00:00*), a szenzor által mért hőmérséklet (*0.0 °C*) és páratartalom (*hmd:*), a fűtés rendszer állapota (*ON*), és végül a kiválasztott aktív fűtésterv (*prog:*).

Ezen adatok az eszköz monitorozására alkalmasak, és a beiktatott változások ellenőrzésére, hogy megváltozott-e az adott adat az adatbázisban. Mivel egy rendszer része lesz az eszköz, így nem csak nyomógomb segítségével lehet beavatkozni, hanem a server maga is megváltoztathat adatokat. Így a kiválasztott adatok kvázi valós idejű frissítése a kijelzőn segít ellenőrizni a rendszer helyes működését.

(37. ábra)

5. Modulok szoftveres implementációja

Az ESP32 mikrovezérlő (MCU) különböző módszerekkel programozható, például C vagy C++ nyelven, illetve Python nyelven is. A probléma az, hogy a piacon számos ESP32 modul található, amelyekhez egyedi nyomtatott áramkört kell tervezni annak érdekében, hogy a processzorra *flash*-elni lehessen az elkészült programot. Az ESP32 UART-n keresztül lehet *flash*-elni. Ennek protokollja nem kompatibilis egy USB-s kommunikációval, így szükséges van egy *bridge*-re, amely biztosítja a konvertálást a két kommunikáció protokoll között. A *bridge*-t egy chip fogja biztosítani, amely a CP2102-s lesz, amely Silicon Labs fejlesztett ki, adatlapja a [11] forrásban megtalálható. A chip lehetővé teszi, hogy a számítógép felismerje, mint csatlakoztatott eszközt, de ehhez telepíteni kell az adott számítógépre a chip illesztő programját, amit a Silicon Labs weboldalán keresztül el lehet érni.

A program elkészítéséhez, és annak le fordításának, MCU-ra *flash*-éséhez további programokra van szükség. Programozásához számos fejlesztői környezet áll rendelkezésre, amelyek különböző programozási nyelveket és eszközöket támogatnak. Az Arduino IDE egyszerű és könnyen használható, támogatja a C/C++ nyelvet, és széles körben elterjedt. A PlatformIO szintén C/C++ alapú, és modern, rugalmas fejlesztői környezet, amely integrálható a Visual Studio Code-dal is. Az Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF) az Espressif Systems hivatalos keretrendszere, amely mélyebb hardverszintű programozást tesz lehetővé C nyelven.

A MicroPython egy könnyű Python implementáció, amely gyors prototípus-készítést és oktatási célokat szolgál. A NodeMCU firmware lehetővé teszi az ESP32 programozását Lua nyelven, egyszerűsítve a fejlesztést. Az Espruino JavaScript interpretáló segítségével JavaScript nyelven is programozhatunk, ami szintén gyors prototípus-készítést tesz lehetővé. Végül, az Eclipse IDE, az ESP-IDF pluginnel kombinálva, egy robusztus és bővíthető fejlesztői környezetet kínál C/C++ nyelven. Ezek az eszközök különböző előnyöket kínálnak, így a választás az alkalmazás követelményeitől és a fejlesztő preferenciáitól függ.

Az Arduino IDE sokak által kedvelt, és rendelkezik egy platformmal, amely a fejlesztők számára elérhető. Erre a platformra különböző megoldásokat lehet feltölteni, illetve letölteni, amelyek ESP32-vel is kompatibilisek. Továbbá az Arduino IDE-ba beépített fordító és *flash*-ésre szolgáló applikáció is van. Ezek a tulajdonságok miatt választottam ezt az alkalmazást, hogy a megírt programot *flash*-ljem a mikroprocesszorra. A könnyű program készítése, és a jobb átláthatóság érdekében viszont a Visual Studio Code-t fogok használni.

5.1. Adatbázisok felépítése

Az eszközök adattárolására olyan adatbázist készítek, amelyet az inicializáláskor az eszköz maga képes felépíteni, és működése közben dinamikusan tud változni. Az automatikus adatstruktúra felépítésről a 4.2.1. *Inicializáló feladat (Init task)* című alfejezetben megtervezett *Init task* fog gondoskodni, amely az EEPROM-ban tárolt adatok alapján fog dolgozni. Ahhoz, hogy tudjam, hogy melyek a fontos építő adatok, ahhoz meg kell határoznom, hogy milyen adatokkal fog dolgozni mind a két eszköz.

5.1.1. Az *espTouch* adatbázisa

Adatbázis építést C/C++ nyelven fogom implementálni, így külső adatbázist kezelő alkalmazás használatára nincs szükségem. Programozás során objektum orientált programozási módszert fogok használni, amely azt jelenti, hogy adat struktúráimat egy halmazba gyűjtöm a hozzájuk tartozó funkciókkal együtt. Ennek előnye, hogy Globális változóktól mentesen tudok az objektum belső változóihoz hozzáférni, valamint egy objektum lehet részese egy másiknak, továbbá egyik a másiknak lehet leszármazottja vagy őse/szülője.

Az eddigiek alapján a következő objektumokat kell létrehoznom, hogy megfelelő adatbázissal rendelkezzen az eszköz, valamint a következő belső változókkal fognak ezek az osztályok rendelkezni.

- Fűtést kezelő objektum (*Heathandler*)
- Fűtésprogram, és kívánt hőmérséklet tartalmazó osztály (*programs*)
- WIFI kommunikációs adatok tárolására szolgáló objektum (*wifi_data*)
 - Tartalmazza a Router csatlakozási adatait (SSID, jelszó).
 - Webszerver működési portját.
- Idő és időzítésért felelős osztály (*Clock*)
 - Időt, mint óra és perc.
 - Két flag-t, amelyek olyan információval bírnak, hogy változott-e az óra és perc értéke.

Ezeket az objektumokat fogja tartalmazni a *DataHandler* osztály, amelyet a program működése során dinamikusan tud majd bővíteni, illetve zsugorítani. Ezek a beágyazott objektumok csak egy-egy elérési utat biztosítanak a működéshez szükséges adatokhoz.

Fűtésprogram, és kívánt hőmérséklet tartalmazó osztály

A *programs* osztály feladata, hogy az tárolja, és frissítse az ott megtalálható adatokat. Különböző flag-eket tartalmaz, ezek segítenek a változások lekezelésében.

Attribútumai a következők:

- *activ_program_index*: Ez a változó fogja az aktív fűtésprogram számát tartalmazni, amit a felhasználó ki tud választani
- *ProgHour_index*: Minden órához tartozik egy hőmérséklet érték, amely a fűtéstervben megtalálható. Ez a változó aktuális órához tartozó értéknek útvonalát fogja biztosítani.
- *Programs*: A változó egy előre meghatározott méretű tömb, amely fűtésprogramokat képes el tárolni. Azaz olyan tömböket, amelyek 24 elemből állnak, és bennük minden egyes elem egy-egy hőmérsékletet adat.
- *Wanted_temp*: A kívánt hőmérséklet értéke, ha felhasználó a GUI oldalán át állítja az értéket, akkor ez a változó fog változni nem pedig a *Programs* változóban fog változni a megfelelő elem. Így biztosítom, hogy adat változás a *Programs* változóban akkor jöhessen csak létre, ha a felhasználó azt a megfelelő beavatkozási oldalon teszi.

Flag-ek:

- *active_program_index_changed*
- *ProgHour_index_changed*
- *program_changed*
- *wtmp_wtmp_changed*
- *server_update_wtmp*
- *server_update_prog_index*

Ezek a flag-ek bool típusúak, és biztosítják a megfelelő logikai össze kötetest az egyes funkciók között. A GUI változói az adatbázis elemét a saját változóiba másolja. Ha valami megváltozik felhasználó interakció során vagy kliens-től kapott üzenet során, akkor ezek flag-k állításával el lehet érni azt, hogy GUI változói csakis akkor frissüljenek, ha valamilyen változás történt a rendszerben. Azért előnyös ezeket a flag-eket használni, mert így fel lehet gyorsítani a program működését, mivel nincs felesleges adatmásolás.

Funkciók:

A *programs* osztálynak alapvetően rengeteg funkciója van, ezek lényegében arra szolgálnak, hogy a változókat és flag-eket be lehessen állítani, és ki lehessen olvasni a tartalmait.

Fűtést kezelő objektum

Az *HeatHandler* osztály feladata, hogy minden csatlakozott eszközt a megfelelő fűtési körhöz csoportosítsa, és eltárolja ezek eszközök adatait, el kell tudnia tárolnia az *espTouch* szenzora által mért hőmérsékletet, és hogy a szenzor melyik fűtési körön fog elhelyezkedni.

Attribútumai:

- *HeatingCircles*: Olyan objektum tömb, amely a csatlakozott eszközök és szenzorok adatainak tárolásáért felel.
- *number_of_HeatingCircles*: A létrehozott objektum tömb nagyságát, elemszámát fogja tartalmazni.
- *status*: A változó egy bool tömb, amely nagysága megegyezik a *HeatingCircles* változóval, és tartalmazni fogja, hogy melyik fűtési körön szükséges fűtést bekapcsolni.
- *Heating_mode*: A kiválasztott fűtés típusát fogja eltárolni, amely vagy Gázkazán általi fűtés lesz, vagy Hőszivattyú általi.
- *modbus*: Ez a változó a *modbusHandler* objektumhoz tartozik, amely a modbus kommunikációs szükséges adatokat fogja tárolni, és az üzeneteket küldeni a *Controller for heating system*-nek

Flag-jeit illetően egy darab van, *heating_mode_changed*. Ez arra szolgál, ha a fűtés mód megváltozik, akkor a rendszernek ezt azonnal közölnie kell a *Controller for heating system*, hogy a megfelelő típusú fűtés móddal fűtsön, ha szükséges.

Funkciói:

- *set_modbus_communication*: Ezen függvénnyel lehet eltárolni a modbusz kommunikációhoz szükséges adatokat.
- *add_HeatingCircles*: hozzá lehet adni fűtési kört a rendszerhez, amely előre meghatározott számú, mivel az eszköz konfiguráláskor be lehet állítani, hogy hány fűtési körre rendelkezik a teljes rendszer.
- *add_device_to_HeatingCircles*: A csatlakozott kliens adatait lehet ezek a függvényen keresztül hozzá adni az adatbázishoz.
- *remove_device_from_HeatingCircles*: Ha egy kliens le csatlakozik a hálózatról, akkor ezen funkció segítségével fog törölni véglegesen az adatbázisból.
- *add_Measuringsensor*: A konfiguráció során meg kell határozni, hogy az eszköz melyik fűtési körön fog elhelyezkedni. Ez a funkció az meghatározott értékhez tartozó fűtési körön fogja eltárolni saját adatait és méréseit.
- *get_HeatingCircles_status*: A kívánt hőmérsékletet átadva, meghatározza minden

fűtési körön azt, hogy kell-e fűteni vagy sem. Minden fűtési körre vonatkozó eredményt a status tömbben fog menteni a függvény.

További funkcióival a változók, és további objektumok változóit lehet elérni.

Fűtési köröket kezelő objektum

A *HeatingCirclesHandler* objektum feladata, hogy dinamikusan hozzá lehessen adni az adatbázishoz a csatlakozott kliensek adatait, és el tárolja az *espTouch* adatait.

Belső változói:

- *measuring*: *TemperatureMeasuring* objektum típusú, itt lesznek az eszköz adatai eltárolva.
- *devices*: *DeviceComponents* osztály típusú, ahol a kliensek adatai lesznek eltárolva.

A változók csak elérési utat fognak biztosítani az adatokhoz, így funkcióival vagy visszakapjuk az adatokra mutató elérési utat és ez által adatokat módosítani, vagy az elérési úton keresztül új klienseket lehet hozzá adni.

A *measuring* struktúrában az eszköz adatai lesznek eltárolva, és szenzor által mért hőmérséklet és páratartalom. Az eszköz saját adatai, hogy melyik fűtési körön helyezkedik el, mi a neve az eszköznek, és a szenzor *offset*, amely számbeli érték, hogy mennyivel kevesebbet vagy többet mérnie az DHT szenzormodulnak.

A *devices* pointer egy elérési útvonalat biztosít, a csatlakozott klienseket tároló objektumhoz, amely *Components* osztály típusú. Ez a típus el fogja tárolni a kliensek által mért hőmérsékletet, a nevét, egyedi azonosítóját, MAC címét, IP címét. Az objektum létre hoz ezen adatokból egy panelt, amelyeken az adatok szerepelnek. A panel a GUI-ban fog megjelenni a 4.3.3. *Az Options gomb következménye* című alfejezet 34. ábrája szerint fog megjelenni. Minden panel természetesen egyszer fog megjelenni a grafikus felületen.

A *Components* típusú objektum belső funkcióival lehet az adatokat frissíteni, lekérdezni, és megjelenési pozíciót frissíteni. Utóbbi fogja biztosítani, hogy minden panel egymás után helyezkedjen majd el a GUI *Connected Device* oldalán.

5.1.2. Az *espCarryable* adatbázisa

Az *espTouch* működéséhez szükséges adatbázis összetett és rendelkezik minden olyan elemmel, amely az *espCarryable* adatbázis felépítésének is meg felel. Lényegi különbség az, hogy a kliens eszköznek csak saját adatait és az *espTouch* által közös adatait kell tárolnia.

Ezekből következő a következő adatbázist tervezem felépíteni hasonlóképpen, mint az *espTouch* esetében:

- *measuring*: *TemperatureMeasuring* típusú. Az eszköz adatait fogja eltárolni.
 - Változói: eszköz név, eszköz azonosító, eszköz fűtőkör azonosítója, szenzor által mért adatok (hő, páratartalom)
- *progs*: *programs* objektum típusú, amely a fűtésrendszernek fontos adatokat fog eltárolni.
 - változói: kívánt hőmérséklet, aktív fűtésprogram indexe, és a fűtőkör fűtés állapotát jelző bool változó.
- *Clock*: idő és időzítésért feleős objektum változója.
 - változói: idő, mint óra, perc.
- *wifi*: A Router, és espTouch webszerve kapcsolódásához szükséges adatok tárolása
 - változói: SSID, jelszó, szerver IP címe, kommunikációs port.

Az adatbázis objektumainak funkció az adott belső változó eléréséhez, vagy annak beállítására szolgál.

Az *espCarryable* szerepe a rendszerben az adatszolgáltatás a szervernek, felhasználó szempontjából a rendszer monitorozása. Ezen kívül minimális változásokat tud a rendszer működésében véghez vinni a felhasználó beavatkozása miatt. Minimális változás a kívánt hőmérséklet, és aktív fűtésprogram változtatása nyomógombok segítségével. Ezen funkcióik segítik a felhasználói kényelem növelését lehet tovább növelni, valamint a rendszer komplexitása és hatékonyságát is lehet növelni.

Az eszköz változást is létre tud hozni a rendszerben, így az ilyen változókhoz tartozó változók tartoznak flag-k, amelyek biztosítani fogják, hogy akkor küldjék a főszerver a változást, ha a flag-k azt jelzik.

5.1.3. EEPROM szerepe az adatbázis felépítésében

Rengeteg szó esett már az EEPROM-ról, és hogy az adatbázis felépítésére szolgáló fontos adatokat tartalmaz. Az EEPROM a *flash* memóriához hasonlóan tápellátás nélkül is képes megőrizni a regiszterekbe írt biteket. Az ESP32 csak *flash* memóriával rendelkezik, amelyet az *flash*-kor négy partícióra szerveződik. Ezek a partíciók egyenként felelősek a Bluetooth és WIFI működtetésért, valamint feltöltött program tárolásáért. Az utolsó partíció viszont lehetőséget biztosít, hogy EEPROM memória típust emuláljak.

A programban szereplő változóknak típusai vannak, ezek típusok az egyes elemek megváltoztatására szolgál. De minden típus változóinak értéke bit szinten van eltárolva, és minden változónak van egy memória címe, ami az adott típus változójának értékére fog mutatni, illetve a

változó elsőbájtjára. Mivel minden változó előre meghatározott méretű, így elegendő a változó első bájtjának helyét ismerni a memóriában.

Automatikus indításhoz, és megfelelő rendszer működéshez a következő változók szükségesek:

- modbus konfigurációs változók:
 - Slave ID, regiszter címe és száma, ezek *unsigned int* típusúak.
- Fűtési körök létrehozásáért felelős változók, amik szintén *unsigned int* típusúak.
 - fűtési körök száma, és szenzor helye a fűtési körökön. (*espTouch*)
 - egyedi azonosító, és eszköz helye a fűtési körön. (*espCarryable*)
- WIFI konfigurációs adatok:
 - SSID, jelszó, szerver IP címe az *espCarryable*-nél, ezek karakterenként vannak eltárolva, amelynek típusa a *char*.
 - kommunikációs port szám, amely *unsigned int* típusú.
 - WIFI kommunikációt engedélyező változó, amely *bool* típusú.
- Fűtés programok, amelyekből összesen 5 darab lesz. Egy fűtésterv 24 elemből áll, amely valós számokból állnak, így az elemek egy-egy *double* változóban lesznek eltárolva.
- Az órát és percet *unsigned int*-ben fogom tárolni.
- A hőmérő által mért hőmérséklet korrigáló *offset* -ét *double* fogom tárolni.
- Az eszköz elnevezését pedig karakterenként (*char* típus) fogom eltárolni.

A gyors memória olvasáshoz érdemes a változókat szorosan egymás mellé elhelyezni úgy, hogy az elemek között ne legyen szünet, azaz nem használt memória. Továbbá érdemes típusonként a regiszterekbe írni az adatokat úgy, hogy a legnagyobb helyet igénylő típussal kezdődjön a memória terület írása.

4. táblázat. Típusok méretei bájtban

Típus	Memóriában foglalt terület
Unsigned int	4 bájt
double	8 bájt
char	1 bájt
bool	1 bájt

5.2. espTouch részletes implementációja

5.3. espCarryable szoftveres implementációja

6. Összefoglaló

/*

Ki egészíteném fűtőkör szelep szabályzással, hogy hogyan oszoljon el az előre menő víz az egyes helységekben. (fejlesztési javaslat az össze foglalóban?)

A külső klienssekkel való kommunikáció során, meg kell tudni állapítani, hogy az az elem a rendszer részét képező modul (*espCarryable*), vagy egy webböngésző, amelyet a felhasználó monitorozás céljából használ. Mivel az *espCarryable* is üzemel egy webszerveren, amelyet ugyan úgy monitorozás céljából tervezek, így az *espTouch*-nak csak meg kell vizsgálni a csatlakozó kliens IP címét egy HTTP GET kéréssel. Erre kapott válasz során, és az *espTouch* websockets kommunikációs kezdeményezésre érkező válasz alapján eldönthető a kliensről, hogy a rendszer részét akarja képezni vagy sem. A websocket válasz az *espCarryable*-től olyan adatokat kell hordoznia, ami alapján a rendszerben elhelyezhetővé válik, például, hogy melyik fűtőkörhöz tartozik, mi az egyedi azonosítója, mi a MAC címe, mekkora hőmérsékletet mér, melyik szobában helyezkedik el. Az első kérdésre adott válasz a helyét fogja meghatározni. A többi kérdésre azért van szükség, mert az ezekre kapott válaszok a felhasználó számára adnak információt, hogy pontosan be tudja azonosítani a kliens eszközt, illetve ezek az adatok lesznek megjelenítve a GUI-n is. A felhasználó számára kialakítani kívánt felületről, ahol a csatlakozott *espCarryable*-k adatai fognak megjeleneni a 34. ábrán van példa.

*/

Irodalomjegyzék

- [1] Piyu Dhaker: *Introduction to SPI Interface*
Analog Dialogue 52-09, September 2018
- [2] DHT11 hő és páratartalom mérő modul:
<https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>
2024. augusztus 12.
- [3] Mr. Bhrijesh N. Patel (, Mr. Mrugesh M. Prajapati): OLED: A Modern Display Technology
International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4, June 2014
- [4] Jonathan Valdez (, Jared Becker): Understanding the I2C Bus
Application Report Texas Instruments, SLVA704 June 2015
- [5] Dan Awtrey: Transmitting Data and Power over a One-Wire Bus
Sensors: The journal of Applied Sensing Technology, Dallas Semiconductor, February 1997
- [6] Thomas Kugelstadt: The RS-485 Design Guide
Texas Instruments, Application Report – SLLA272D, február 2008
- [7] John Griffith: RS-485 Basics: When Termination Is Necessary, and How to Do It Properly
Texas Instruments, Technical Article – SSZTB23, július 2016
- [8] Anthony Bishop: CRYDOM company: Solid-State-Relay Handbook with applications
- [9] Szilárd test relé katalógusa:
https://hu.mouser.com/datasheet/2/657/lr_series_ac_pcb_mount_sr_datasheet-2933688.pdf
2024. augusztus 12
- [10] Suresh C. Satapathy (, Vikrant Bhateja,) :Smart Computing and Informatics
Smart Innovation, Systems and Technologies volume 77, Proceedings of the First
International Conference on SCI 2016, Volume 1
2024. október 25
- [11] Silicon Labs: Single-Chip to UART bridge (CP2102)
https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Cp2102%20datasheet&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAire5BhCNARIsAM53K1iE5ZLfoGGdDQQulM2ZRnaksywbueVzZ-3DgcYuGquAWAt72OPwe1kaApUkEALw_wcB
2024. november 08
- [12] George Thomas: Introduction to the:Modbus Protocol
the EXTENSION, A Technical Supplement to Control Network, Contemporary Control
Systems, Inc. Volume 9 Issue , July – August 2008
2024. november 09

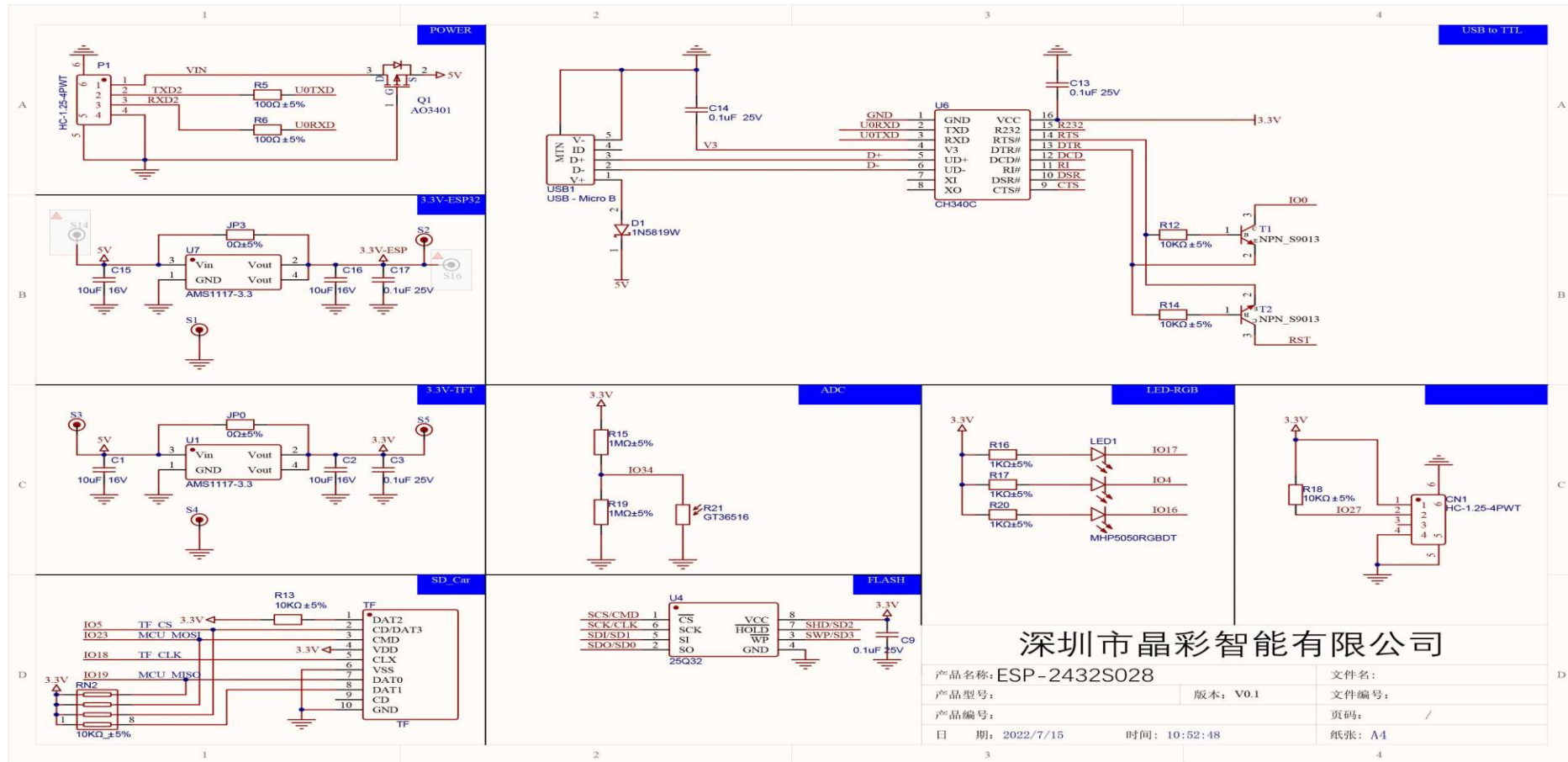
Ábrajegyzék

- [A1] https://github.com/witnessmenow/ESP32-Cheap-Yellow-Display/blob/main/OriginalDocumentation/4-Driver_IC_Data_Sheet/ESP32-WROOM-32.PDF
(utolsó látogatás időpontja: 2024. július 18.)
- [A2] <https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-45/number-2/articles/gesture-recognition-on-resistive-touch-screens.pdf>
(utolsó látogatás időpontja: 2024. július 18.)
- [A3] <https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-35/number-1/articles/the-pda-challenge-met.pdf>
(utolsó látogatás időpontja: 2024. július 18.)
- [A4] Piyu Dhaker: *Introduction to SPI Interface*
Analog Dialogue 52-09, September 2018
- [A5] <https://www.tme.eu/Document/7a4fd48d400b8c4c8309ef1e2b13cdd4/MR003-005-1.pdf>
(utolsó látogatás időpontja: 2024. július 18.)
- [A6] <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/low-pin-count-serial-communication-introduction-to-the-1-wire-bus/>
(utolsó látogatás időpontja: 2024. augusztus 12.)
- [A7] <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=404ce87063f98616c42e08b2c969f8d52cfa6a1e>
(utolsó látogatás időpontja: 2024. július 18.)
- [A] <https://espressif-docs.readthedocs-hosted.com/projects/arduino-esp32/en/latest/api/i2c.html>
(utolsó látogatás időpontja: 2024. július 18.)
- [A9] Application Report The RS-485 Design Guide by Texas Instruments
(utolsó látogatás időpontja: 2024. augusztus 20.)
- [A10] Technical Article RS-485 Basics: When Termination Is Necessary, and How to Do It Properly by Texas Instruments
(utolsó látogatás időpontja: 2024. augusztus 20.)
- [A11] <https://olegkutkov.me/2019/11/08/rs-485-practice-and-theory/>
(utolsó látogatás időpontja: 2024. augusztus 21.)

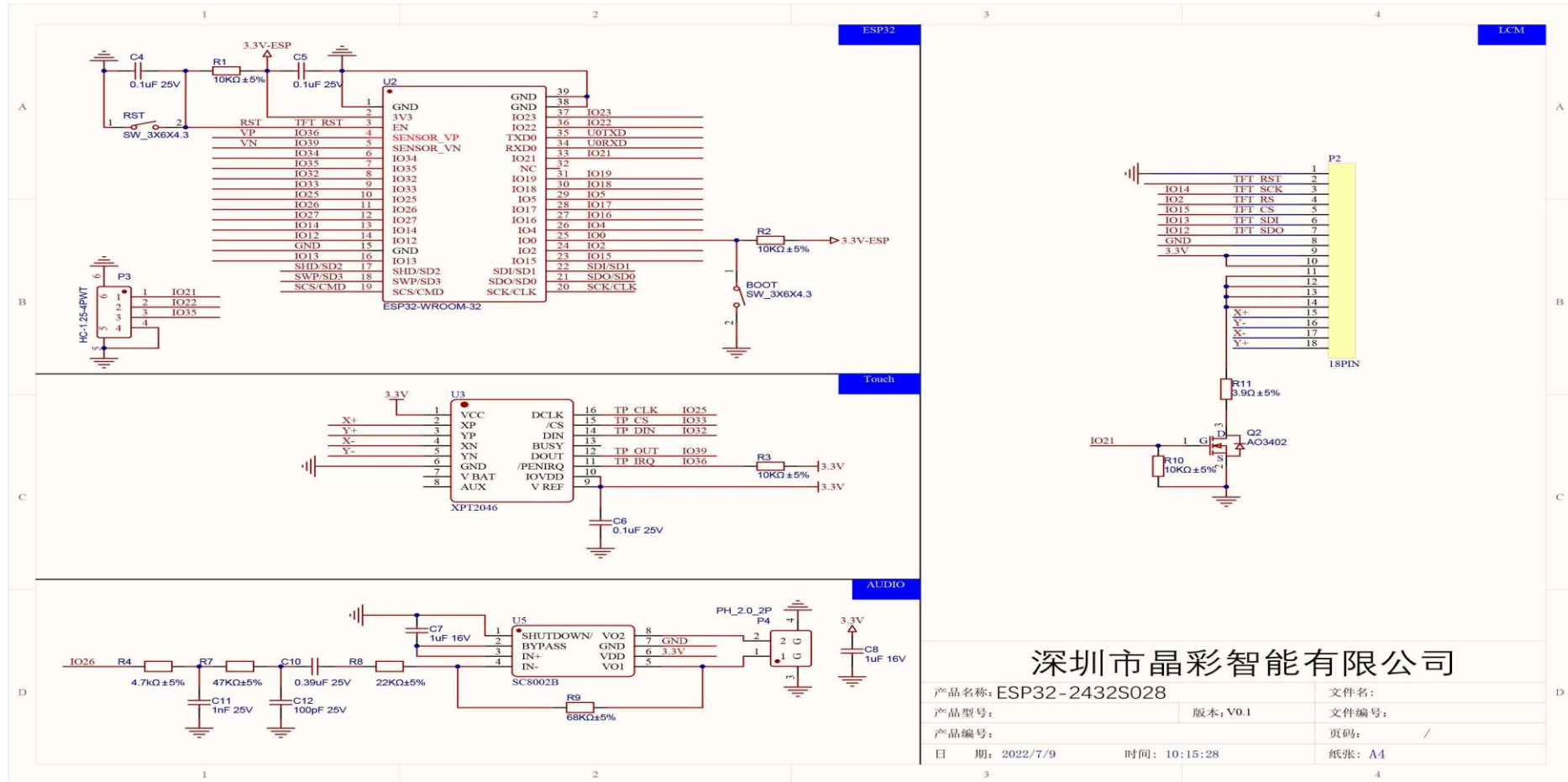
- [A12] <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/basics-of-ssr-solid-state-relay-the-switching-device/>
(utolsó látogatás időpontja: 2024. július 25.)
- [A13] <https://www.sensata.com/products/relays/lr-series-ac-output-pcb-mount-ssr-lr600240d25r>
(utolsó látogatás időpontja: 2024. augusztus 5.)
- [A14] https://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf?ts=1729748308484&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
(utolsó látogatás időpontja: 2024. október 24.)
- [A15] Suresh C. Satapathy (, Vikrant Bhateja): Smart Computing and Informatics
Smart Innovation, Systems and Technologies volume 77, Proceedings of the First
International Conference on SCI 2016, Volume 1
2024. október 25
- [A16] George Thomas: Introduction to the:Modbus Protocol
the EXTENSION, A Technical Supplement to Control Network, Contemporary Control
Systems, Inc. Volume 9 Issue , July – August 2008
2024. november 09

Mellékletek

1. melléklet



2. melléklet



深圳市晶彩智能有限公司

产品名称: ESP32-2432S028	文件名:
产品型号:	版本: V0.1
产品编号:	文件编号:
日期: 2022/7/9	时间: 10:15:28
纸张: A4	页码: /

3. melléklet

