Tartalom

[1 Tápellátás 2](#_Toc33127166)

[1.1 Követelmények 2](#_Toc33127167)

[1.2 A tápcsatlakozás 2](#_Toc33127168)

[1.3 Az akkumulátor 3](#_Toc33127169)

[1.4 Az feszültség szabályozása 5](#_Toc33127170)

[1.5 A fogyasztás felügyelete 7](#_Toc33127171)

[1.6 Power-on reset 8](#_Toc33127172)

[1.7 Források 9](#_Toc33127173)

# Tápellátás

## Követelmények

Mivel az eszköznek folyamatos külső tápellátás nélkül is üzemképesnek kell lennie, ezért beépített akkumulátorral kell rendelkeznie. Az akkumulátor egyszerű tölthetőségének érdekében a beépített microUSB csatlakozón keresztül kell biztosítani az akkumulátor töltését. A hagyományos USB szabvány maximum 500mA-es terhelést enged meg, ennél nagyobb töltőáram hálózati adapter segítségével biztosítható, ennek támogatása opcionálisan megvalósítható. A piacon a legelterjedtebbek és legkönnyebben elérhetőek a Li-Ion akkumulátorok, melyek fő előnyei a magas energiasűrűség, alacsony ár és magas névleges feszültség (3.7V). Legfőbb hátrányuk, hogy a túltöltésre és túlzott kimerítésre egyaránt rendkívül érzékenyek, ezért az akkumulátor megfelelő védelméről gondoskodni kell. Opcionálisan támogatható az akkumulátor monitorozása is, mint például a töltöttségi állapot becslése, élettartamának becslése, valamint feszültsége és áramfelvétele (fuel gauge).

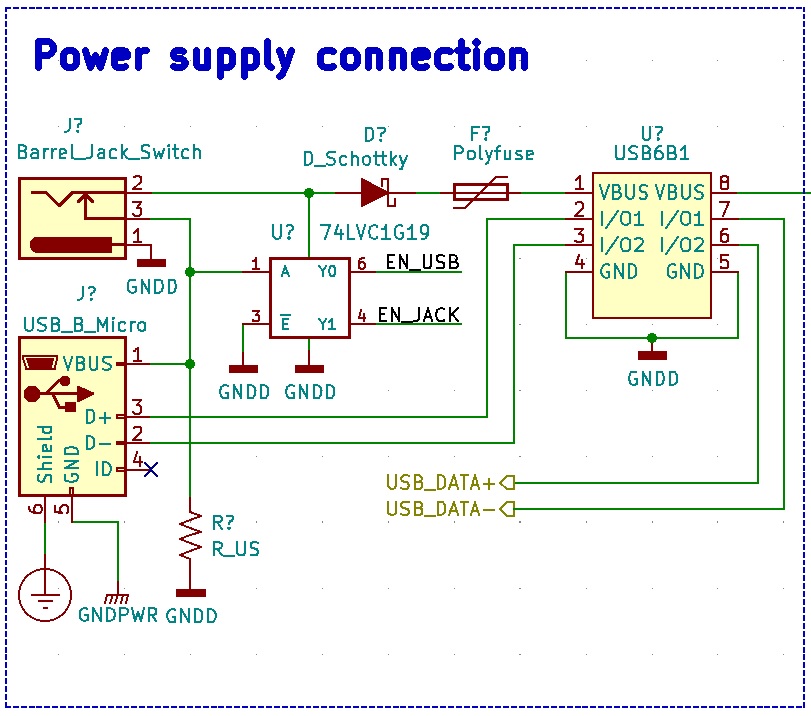
A felhasznált mikrokontroller maximális áramfelvétele (WiFi használata mellett) 500mA, névleges feszültsége 3.3V. A panel további áramkörei és a bővítőmodul számára további 500mA biztosítandó. A modul bemenő feszültsége az USB csatlakoztatása esetén 5V, akkumulátoros üzem esetén 3V és 4.2V között változik, ezért a rendszerfeszültség megfelelő szabályozásáról gondoskodni kell. A szabályozással szemben támasztott elvárás az alacsony veszteség akkumulátoros üzem során és az alacsony zajszint, mivel a panel mérőáramkörei érzékenyek lehetnek a tápfeszültség zajára. A rendszer indulásakor és üzem során biztosítani kell, hogy a mikrokontroller és az egyéb áramkörök alacsony rendszerfeszültség esetén RESET állapotba kerüljenek.

**<***Blokkvázlat a tápellátásról***>**

## A tápcsatlakozás

Az eszköz tápellátása, valamint az akkumulátor töltése két forrásból biztosítható. Az egyszerű használat miatt töltésre is használható a microUSB csatlakozó, ebben az esetben a maximálisan megengedett áramfelvétel (ezáltal a töltőáram is) 500mA, így biztosak lehetünk benne, hogy nem terheljük túl az USB buszt. Ennél magasabb töltőáram a DC Jack csatlakozón keresztül biztosítható, melynek segítségével akár 1.5A-es áramfelvétel is megvalósítható. A két üzemmód kölcsönösen kizárja egymást, közülük a DC Jack bemenet élvez prioritást. Amennyiben a Jack csatlakozó nincs bedugva, a csatlakozó középső lába, így az USB tápvonal hozzáér az eszköz tápvonalához és az áramellátás azon keresztül valósul meg (lásd a kapcsolási rajzot). A DC Jack csatlakozó behelyezésekor az USB tápvonal galvanikusan elválasztásra kerül az eszköz tápvonalától, és az áramellátás a DC Jack bemeneten biztosított. A DC Jack csatlakozó negatív polaritású, tehát az ér van földpotenciálon és a köpeny van 5V-on. A fordított polaritású bekötés ellen korlátozott a védelem (lásd később). Alapértelmezésben a DC Jackhez tartozó áramkorlát van érvényben, az USB csatlakoztatása esetén egy demultiplexer (Nexperia 74LVC1G19) végzi az üzemmódok engedélyező jeleinek megfordítását. A multiplexer kiválasztó bemenete az USB tápvonalhoz csatlakozik, annak galvanikus lecsatlakozása esetén egy lehúzó ellenállás biztosítja, hogy a kiválasztó jel ne kerüljön lebegő állapotba. Ezzel a megoldással egyben megvalósítjuk a tápforrások biztonsági okokból történő galvanikus elválasztását – amennyiben mindkettő egyszerre jelen van, valamint a tápforrások közötti automatikus átváltást. Az átváltás rövid ideje alatt a rendszerben lévő buffer-kondenzátorok garantálják a bemenő feszültség stabilitását.

Az eszköz esetleges meghibásodása, vagy hibás bekötés esetén a bemenetet védeni kell a nemkívánatos elektromos jelenségektől. Az eszközből a bemenet felé történő esetleges áram visszahajtást egy Schottky-dióda akadályozza meg, a dióda alacsony nyitófeszültsége garantálja, hogy normál üzemben nem veszítünk sokat a bemenő feszültségből. A túláram védelmet egy Polyfuse biztosítja, mely rendellenesen magas áramfelvétel esetén megszakítja az áramkört, majd a zavarállapot megszűnése után automatikusan visszaáll alapállapotba. Az USB adatvonalak zavarvédelmét és a tápvonal túlfeszültség-védelemét erre a célra dedikált IC látja el. Választásom az STMicroelectronics USB6B1-es chipjére esett, mivel az említett feladatokat egyetlen alkatrészben hely- és költségtakarékosan valósítja meg, valamint közvetlenül kompatibilis az USB port kialakításával.

**

*1.2 ábra – A tápcsatlakozás kapcsolása*

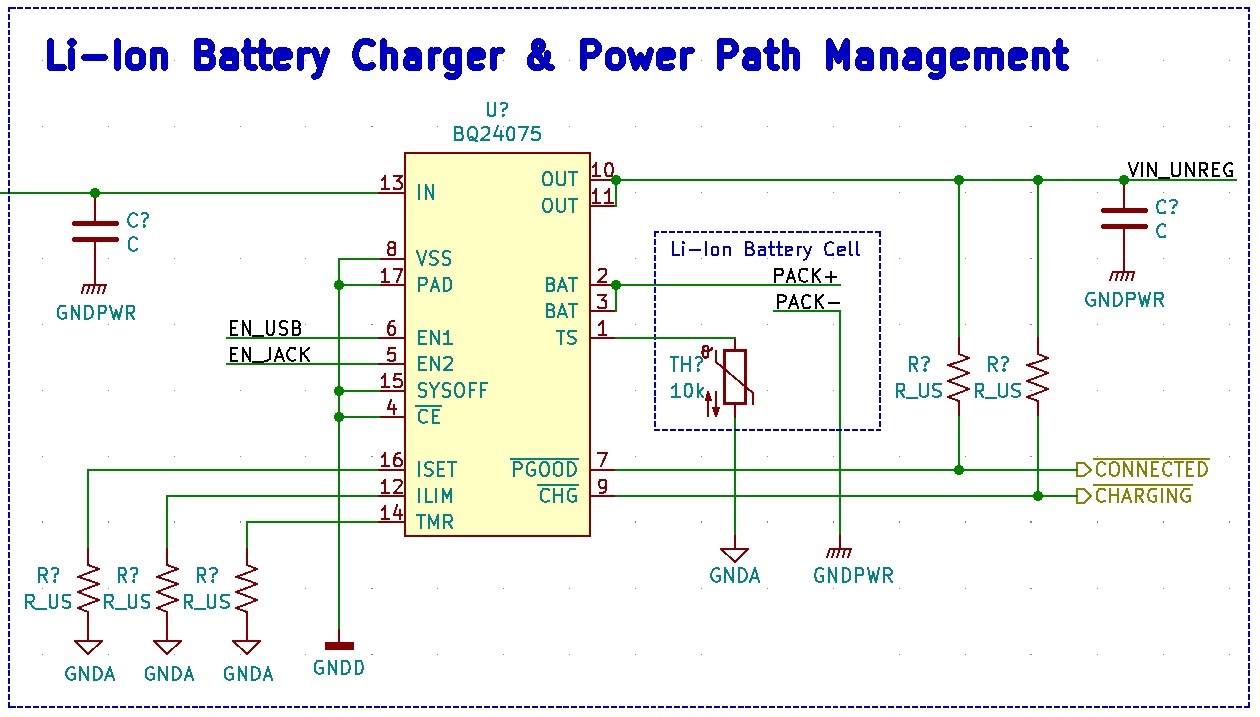
## Az akkumulátor

Az akkumulátor töltését is erre a célra dedikált IC látja el. A választás során fontos szempont volt az USB szabvánnyal való kompatibilitás, és az alkalmazásnak megfelelő státuszjelek megléte. Két chip között mérlegeltem, ezek a Microchip MCP73871 és a Texas Instruments BQ24075 modelljei. Választásom az utóbbira esett, ennek oka az egyszerűbb programozhatóság és az alkalmazás számára szükséges státuszjelek közvetlen előállítása. A választott IC rendelkezik dinamikus Power Path Management lehetőséggel, így csatlakoztatott állapotban egyszerre képes az akkumulátor töltésére és a rendszer meghajtására. A töltés paraméterei egyszerűen programozhatók, rendelkezik a töltést és az akkumulátort engedélyező bemenetekkel, időzítésvédelemmel. Open-drain kimenetein képes jelezni az akkumulátor töltési állapotát (töltődik/nem töltődik), valamint ha a bemenetén megfelelő tápforrást érzékel.

TS bemenetén képes egy az akkumulátor mellé telepített 10 kOhm-os NTC termisztor mérésére, amellyel az akkumulátor túlmelegedés elleni védelme megvalósítható.

A BQ24075 háromféle üzemmóddal rendelkezik: *Normal-mode, DPPM, Battery-supplement*

Normal mode-ban akkor van a chip, ha a bemenete kb. 5V feszültséggel táplált és az akkumulátor teljesen fel van töltve, ekkor a kimeneti feszültsége megközelítőleg 5V. Ha az akkumulátor éppen töltődik, a DPPM üzemmód automatikusan csökkenti a töltőáramot, ha azt a terhelés megkívánja. Ebben az állapotban a kimeneti feszültség a terhelés függvényében 3.8V és 4.3V között változik. Ha a terhelő áram meghaladja a maximális bementi áramot, a chip Battery-supplement módba vált és az akkumulátor megtámogatja a kimenetet (a bemeneti áram maximális). Ha csak az akkumulátor van jelen, a kimeneti feszültség körülbelül az akkumulátor feszültsége, annál minimálisan alacsonyabb.



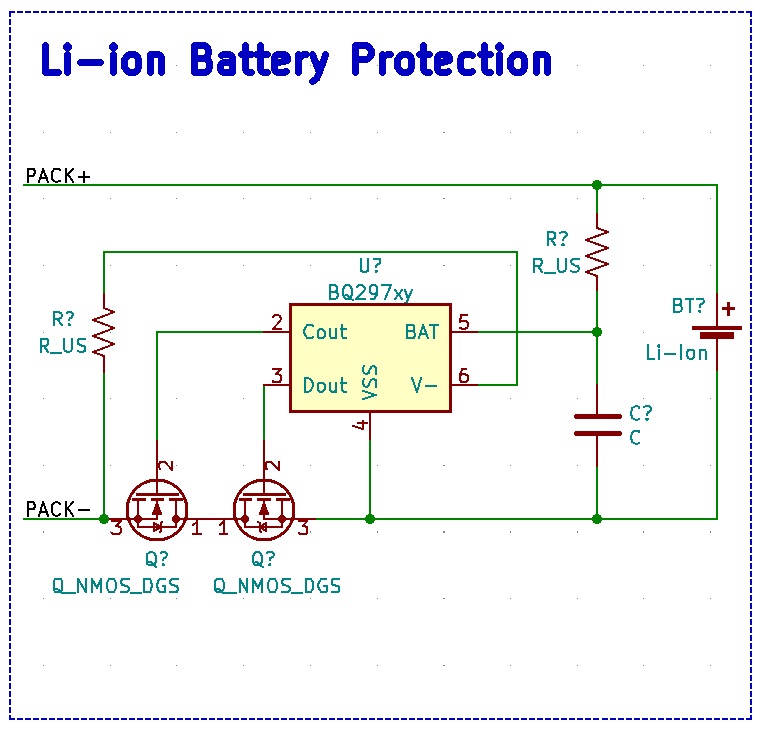
*1.3.1 ábra – Az akkumulátortöltő kapcsolás*

A BQ24075 a kimeneti feszültség szabályozására egy belső LDO-t használ, az egyes állapotokban a következő veszteségteljesítményekkel kell számolni (USB 5V, max. 1A kimeneti terhelés):

* Teljesen feltöltött akkumulátor és csatlakoztatott USB esetén: **zérus**, mivel a bemeneti és kimeneti feszültség közel azonos.
* Töltődő akkumulátor és csatlakoztatott USB esetén: maximum **1W**, a megadott terhelés és az adatlapon megadott minimális akkumulátor-feszültség mellett, a töltési folyamat (5 – 3.8) [V] \* 500 [mA] = 0.6W, a meghajtó FET (3.8 – 3.4) [V] \* 1 [A] = 0.4W.
* Csak akkumulátoros üzem esetén: **zérus**, mivel a bemeneti oldal leválasztásra kerül a kimeneti oldaltól és a kimeneti feszültség közel azonos az akkumulátor-feszültséggel.

A számított termikus veszteség nem igényli hűtőborda alkalmazását, mivel a legmagasabb értéke is 53.6 °C/W, ami jóval alacsonyabb a termikus védelem 125°C-os alsó határánál.

Az akkumulátor védelmét a Texas Instruments BQ29700-as IC-je biztosítja. Azért ezt a chip-et választottam, mert a megfelelő árkategóriában ez rendelkezik a legtöbb védelmi funkcióval, valamint jól illeszkedik az akkumulátortöltő IC-hez, ami szintén a Texas Instruments gyártmánya. Védi az akkumulátort a túltöltés (4.275V), a túlzott kimerítés (2.8V) és terhelési rövidzár esetén. Töltés és normál használat alatt megakadályozza a túlzott áramerősségek fellépését is, valamint nyugalmi állapotban szivárgó árama mindössze 4uA. Az IC működése során a külső MOSFET tranzisztorok vezérlésével biztosítja az akkumulátor védelmét.

**

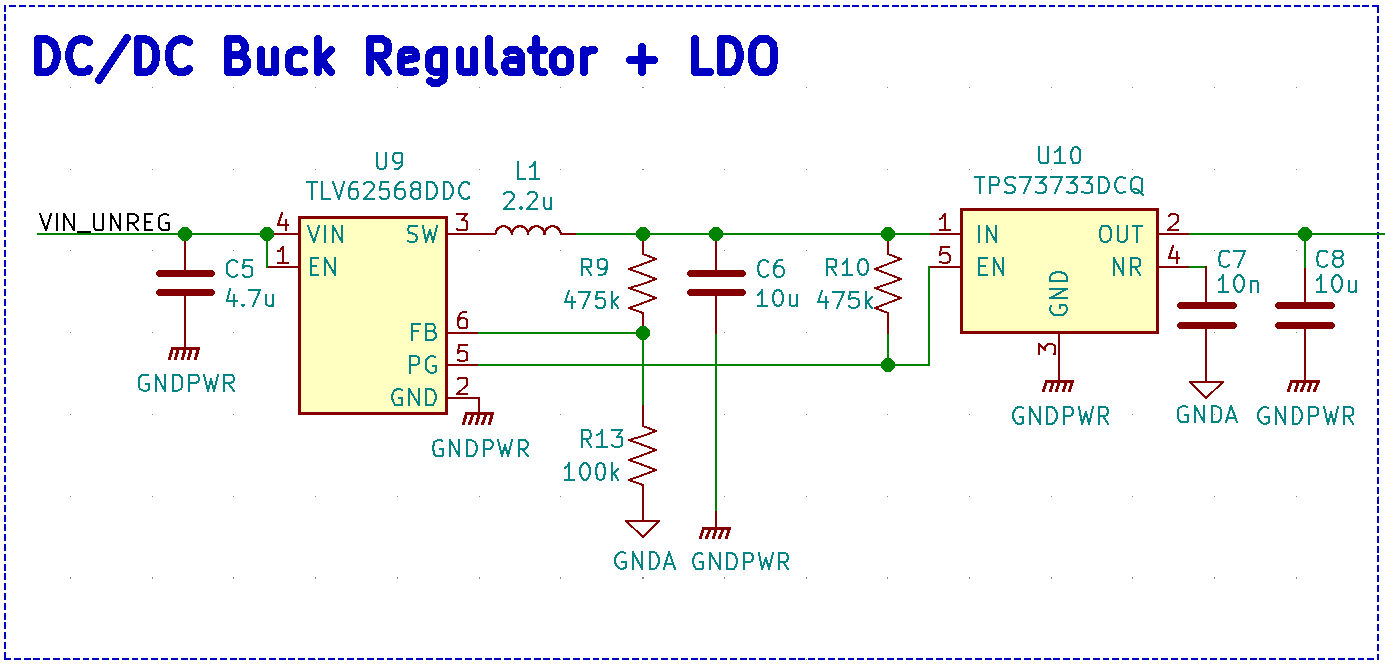
*1.3.2 ábra – Az akkumulátorvédő kapcsolás*

## Az feszültség szabályozása

A külső tápcsatlakozás (5V) és az akkumulátor (4.2 – 3V) feszültsége nem kapcsolhatók közvetlenül a rendszerbuszra, ezeket szabályozni kell. A követelmények szerint a rendszerfeszültséggel kapcsolatos elvárások a magas hatékonyság és az alacsony zajszint. Ahhoz, hogy mindkét követelményt teljesíteni tudjuk, a bemenő feszültség szabályozása két lépcsőben történik. Először a bemenő feszültséget egy kapcsolóüzemű DC/DC Buck átalakítóval az elvárt 3.3V közelébe transzformáljuk. A felhasznált átalakító a Texas Instruments TLV62568P IC-je, melynek legfőbb tulajdonsága a különösen magas hatékonyság, amely az adatlapja alapján az elvárt terhelési tartományban végig 90-95%. A DC/DC átalakító kimeneti feszültsége 3.45V-ra kalibrált, hogy megfelelő bemenetként szolgálhasson a következő fázisnak.

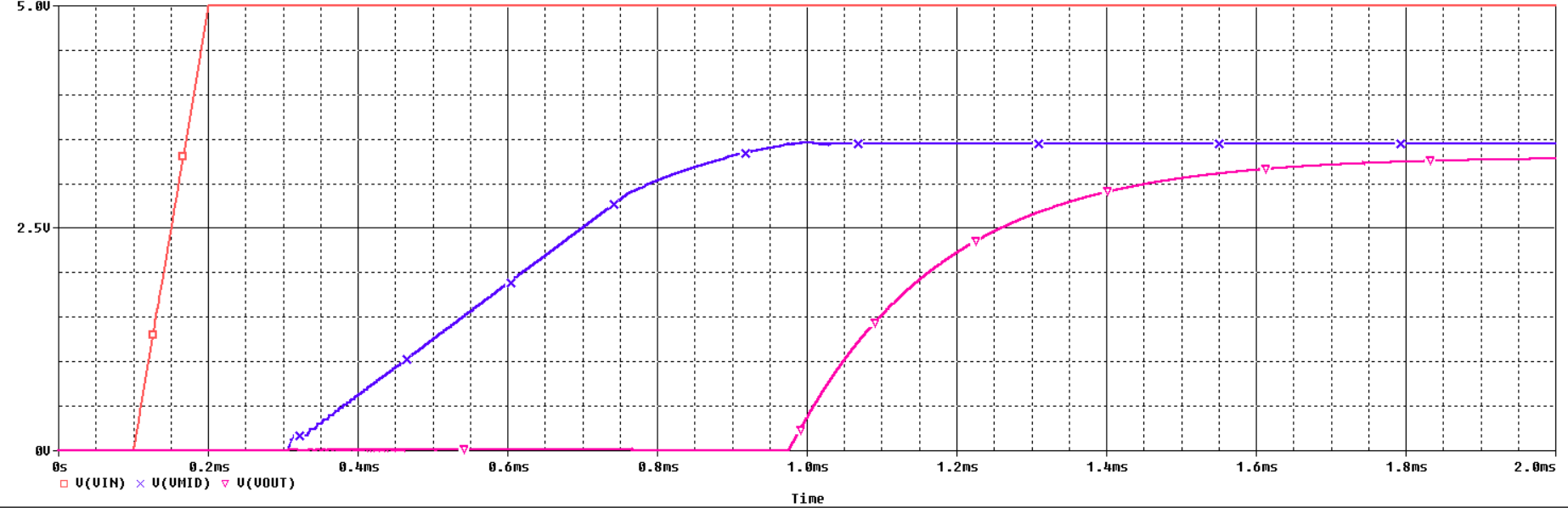
A leszabályozott feszültséget ezután további zajcsökkentés céljából egy LDO regulátorra kapcsoljuk. Az LDO kiválasztása során fontos szempont volt a veszteség minimalizálása, ezért azt a dropout feszültségének közelében működtetjük, így lehetőleg minél alacsonyabb dropout feszültségű átalakítót kell alkalmazni. Választásom a Texas Instruments TPS73733-as chipjére esett, melynek legfőbb előnye a maximális terhelés mellett is biztosított 130mV-os dropout feszültség. Az LDO-n így minimális veszteségteljesítmény disszipálódik, melynek értéke maximális terhelőáram esetén is mindössze (3.45 – 3.3) [V] \* 1 [A] = **0.15W**, a szivárgó áram elhanyagolása mellett. Az alacsony disszipációnak köszönhetően tehát hűtőborda alkalmazására sincs szükség, valamint az LDO hatékonysága maximális terhelés mellett is:

.



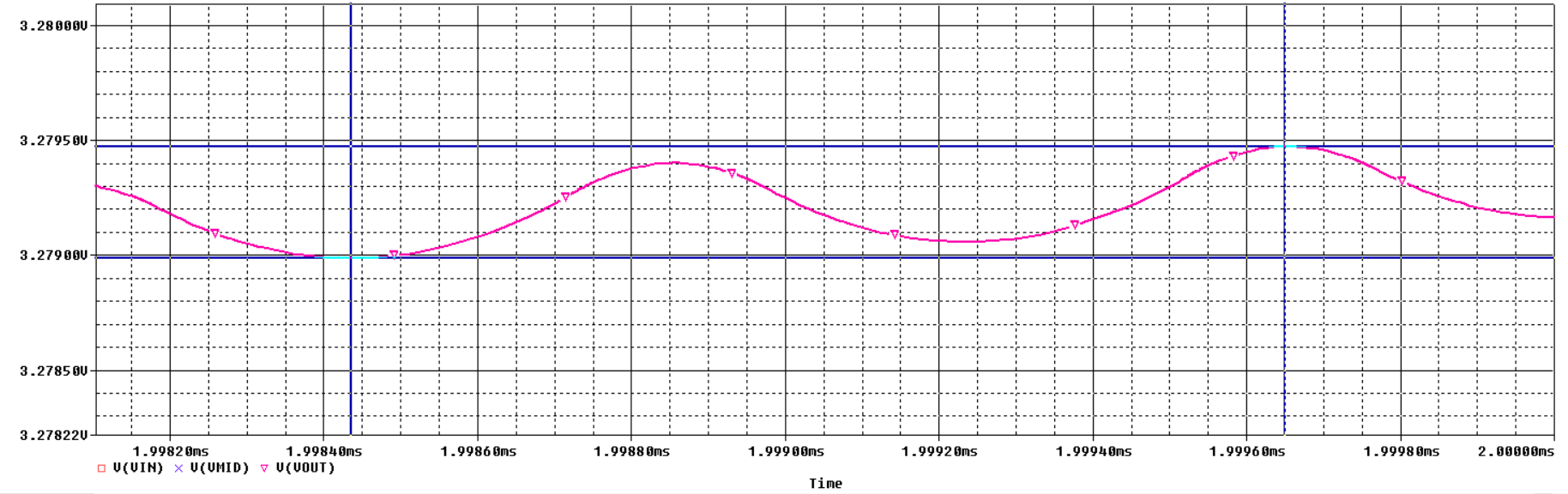
*1.4.1 ábra – A feszültség szabályozása*

A megtervezett tápfeszültség-szabályozás verifikációjára első lépésben számítógépes szimulációt használtam. Sajnos az eredetileg kiválasztott alkatrészekhez nem volt elérhető szimulációs modell, ezért új eszközöket kerestem, amelyek szimulációja könnyen megvalósítható volt. Azonban ezekhez sem találtam olyan modelleket, amiket ingyenes és nyílt forráskódú SPICE szimulátorokban használhattam volna, így az eredeti elképzeléseimmel szemben kénytelen voltam zárt forráskódú szimulátort alkalmazni (OrCad – Pspice). A megtervezett áramkör bekapcsolási hullámformáját és kimeneti zaját vizsgáltam. A szimulációt csak időtartományban végeztem el, bár próbálkoztam a bemeneti feszültség alapján DC-sweep szimulációval is, az nem volt jól alkalmazható a felhasznált áramkörök soft-start késleltetése miatt.

**

*1.4.2 ábra – A bekapcsolási hullámforma*

A bekapcsolási hullámformán jól megfigyelhető az egyes fokozatok viselkedése. A piros színű vonal a kapcsolóüzemű szabályzó bemeneti feszültségét mutatja, ebben az esetben akkumulátor használata nélkül, közvetlenül az USB-re csatlakoztatva. A valós körülmények szimulációja nehézkes lenne, mivel az akkumulátortöltő IC extra komplexitást jelent, valamint nem áll rendelkezésre hozzá szimulációs modell. Jól megfigyelhető, ahogy a Buck regulátor (kék vonal) soft-start funkciója kb. 100-150 us késleltetéssel 700 us alatt eléri a megfelelő 3.45V-os feszültségszintet. Ezután az LDO engedélyező jele aktív állapotba vált, és a kimeneti feszültség kb. 2ms alatt eléri a névleges 3.3V-ot. A fokozatok szekvenciálisan történő bekapcsolása biztosítja, hogy a tápfeszültség megjelenése a rendszerben biztonságosan történjen. A bekapcsolási időn a kimeneti és köztes kondenzátorok értékének csökkentésével lehetne javítani, de ez a kimeneti zaj növekedésével járna, ami nem elfogadható, valamint esetünkben a bekapcsolási idő nem kritikus paraméter.

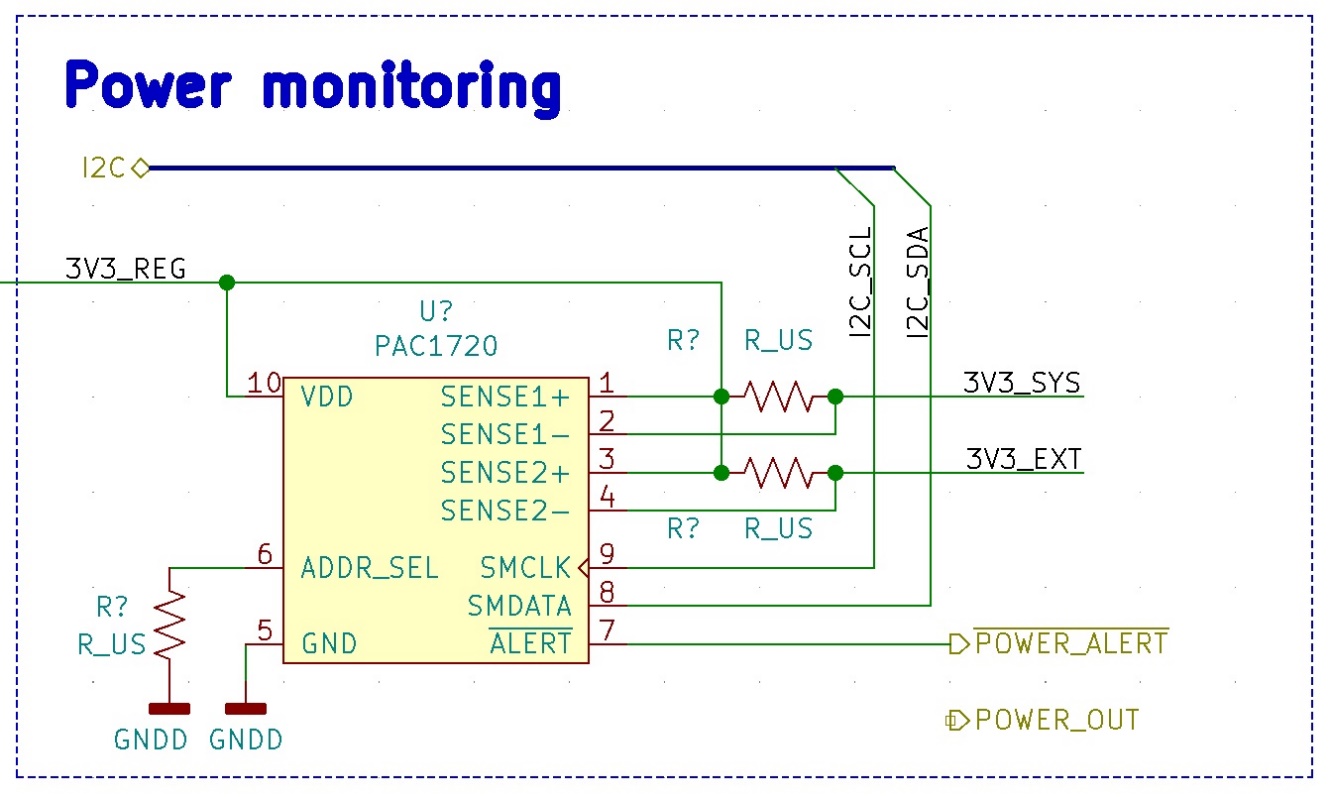
**

*1.4.3 ábra – A kimeneti zajszint*

A kimeneti feszültség hullámossága leginkább a Buck regulátor kapcsolóüzemű működéséből adódik. Az LDO csillapítása mintegy 60dB, így az ábráról is leolvasható módon a kimenet hullámossága mindösszesen 0.5mV és csökkenő tendenciát mutat. Az ábrán még nem látható, de a kimeneti feszültség sokkal pontosabban megközelíti a 3.3V-ot és a hullámossága is csökken.

## A fogyasztás felügyelete

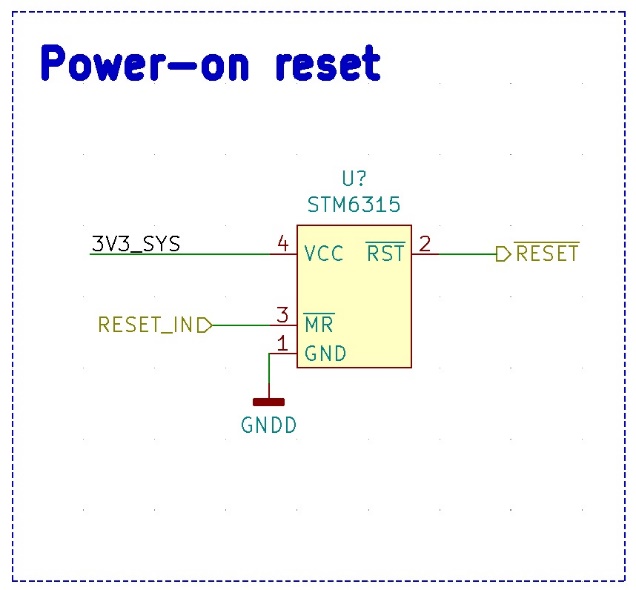
Az eszköz diagnosztikai célból folyamatosan megfigyeli a pillanatnyi fogyasztását. A bővítőmodulokra való tekintettel két csatornára van szükség, hogy az alapmodul és a bővítőmodul fogyasztása külön-külön is felügyelhető legyen. A feladatot a Microchip PAC1720 IC-je látja el, amely alkalmas két külső precíziós mérőellenálláson átfolyó áram, valamint a buszfeszültség mérésére, illetve ezekből az energiafelvétel meghatározására. Az áramkör SMBus kommunikációval van ellátva, így illeszthető a meglévő I2C buszra. Rendelkezik egy open-drain ALERT/ kimenettel is, amelyen keresztül a mikrokontrollertől megszakítást kérhet, ha a mért paraméterek egy programozható kritikus tartományba kerülnek. Hasonló kialakítással rendelkezik a PAC1932 is, így alternatívájaként szolgálhat a jelenlegi megoldásnak.



*1.5 ábra – A fogyasztás felügyelete*

## Power-on reset

Annak érdekében, hogy a rendszerfeszültség a minimálisnál alacsonyabb szintre zuhanása (brownout) a mikrokontroller megfelelő RESET állapotát eredményezze, egy feszültségfigyelő áramkör (STM6315) került illesztésre. Az áramkör 2.93V-os rendszerfeszültségnél alacsonyra húzza a mikrokontroller engedélyező bemenetét. A feszültség megfigyelése mellett az áramkör rendelkezik egy alacsony-aktív MR/ bemenettel, melynek segítségével külső forrásból (nyomógomb) is kiváltható a RESET. A nyomógomb pergésmentesítését az IC magától elvégzi, majd a mikrokontroller által elvártnál (50us) lényegesen hosszabb ideig (210ms) RESET állapotot biztosít. Az IC kimenete alacsony-aktív és open-drain, ezzel biztosítható, hogy esetleges további források (pl. bővítőmodul) is kezdeményezhessenek RESET-et.

**

*1.6 ábra – Power-on reset áramkör*

## Források

A tervezés során segítségemre voltak felhasznált integrált áramkörök adatlapjai, valamint néhány internetes és egyetemi forrás:

* 74LVC1G19 -   
  [*https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74LVC1G19\_Q100.pdf*](https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74LVC1G19_Q100.pdf)
* USB6B1 - [*https://www.st.com/resource/en/datasheet/usb6b1.pdf*](https://www.st.com/resource/en/datasheet/usb6b1.pdf)
* BQ24075 - [*http://www.ti.com/lit/ds/slusau3b/slusau3b.pdf*](http://www.ti.com/lit/ds/slusau3b/slusau3b.pdf)
* BQ2970 -[*http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq2970.pdf*](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq2970.pdf)
* TLV62568P -[*http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv62568.pdf*](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv62568.pdf)
* TPS73733 - [*http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps737.pdf*](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps737.pdf)
* PAC1720 - [*http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005386B.pdf*](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005386B.pdf)
* STM6315 - [*https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm6315.pdf*](https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm6315.pdf)
* Li-Ion akkumulátorok előnyei és hátrányai - [*https://batteryuniversity.com/learn/archive/is\_lithium\_ion\_the\_ideal\_battery*](https://batteryuniversity.com/learn/archive/is_lithium_ion_the_ideal_battery)
* Li-Ion akkumulátorok töltési módszerei - [*https://batteryuniversity.com/learn/article/charging\_lithium\_ion\_batteries*](https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries)
* Li-Ion akkumulátorok élettartamának növelése - [*https://batteryuniversity.com/learn/article/how\_to\_prolong\_lithium\_based\_batteries*](https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries)
* A BQ24075 illesztése a kapcsolásba -   
  [*https://learn.sparkfun.com/tutorials/battery-babysitter-hookup-guide/all*](https://learn.sparkfun.com/tutorials/battery-babysitter-hookup-guide/all)
* Tevesz Gábor, Szabó Zoltán - *Mikrokontroller alapú rendszerek elektronikus jegyzet*