



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
XXX Tanszék

Máté Zsófia

QI MIT TUD? VEZETÉK NÉLKÜL TÖLTŐK

Középiskolás TDK dolgozat

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	5
2	Elméleti háttér.....	6
2.1	Fizikai alapok, definíciók.....	6
2.2	Vezeték nélküli töltés.....	7
2.2.1	Története, Tesla szerepe.....	7
2.2.2	Vezeték nélküli töltés típusai.....	8
2.2.3	Qi szabvány.....	8
2.2.4	Jellemző töltőáramkör felépítése.....	9
3	Saját áramkör tervezése.....	11
3.1.1	Fontosabb Áramköri elemek kiválasztása.....	12
3.1.2	Áramköri rajz.....	12
4	Konklúzió, jövőbeli tervek.....	16

Összefoglaló

Napjainkban elképzelhetetlen az életünk okostelefonunk nélkül, amit az intenzív használat miatt naponta akár többször is tölteni szükséges. Ehhez egyre szélesebb körben alkalmazható vezeték nélküli töltő. Ráadásul a módszer nem csak okostelefonok, hanem akár már elektromos járművek, esetében is elérhető. Emiatt a technológia további látványos fejlődése és elterjedése várható a jövőben.

A TDK dolgozat bemutatja a vezeték nélküli töltők működésének alapelveit és a töltőkben található fontosabb alkatrészek szerepét. Továbbá ismertetésre kerül, az okos eszközökben széles körben alkalmazott, lítium alapú energiatárolás és akkumulátorok elméleti háttere. A TDK munka keretében a kereskedelemben is elérhető Qi („csi”) szabványnak megfelelő okos eszközökhöz töltésére alkalmas áramkör kerül megtervezésre és megvalósításra. A dolgozat bemutatja az áramköri elemek kiválasztásának és a nyomtatott áramköri terv elkészítésének lépéseit.

Abstract

Nowadays, our lives are unimaginable without our smartphones, which need to be charged several times a day due to intensive use. For this purpose, the use of wireless chargers is spreading more and more widely. Furthermore, the method is available not only for smartphones, but also for electric vehicles. For this reason, further spectacular development and spread of the technology can be expected in the near future.

The TDK paper introduces the basic operational principles of wireless charging, and the role of the devices can be found in the chargers. In addition, the concept of lithium-based energy storage is also presented. Within the framework of the TDK project a demonstration circuit suitable for charging smart devices conforming to the commercially available Qi standard is designed and implemented. The paper presents the main steps for selecting the circuit elements and designing a printed circuit board.

1 Bevezetés

Napjainkban a telefonok és más elektronikus eszközök egyre népszerűbbek, egyre több funkciót látnak el, ugyanakkor az energia igényük is egyre nő. A hatékony és gyors akkumulátor feltöltésre egyre nagyobb a társadalmi igény. Másfelől viszont, a vezeték nélküli, kényelmesebb mód is egyre elterjedtebbé válik, még akkor is, ha ezen technológia hatékonysága elmarad a vezetékes verzióétól.

Engem az áramköri megoldás érdekelt, a vezeték nélküli technológia eltérő áramköri felépítése adta a fő motivációt. Szerettem volna egy egyedi problémára áramköri megoldást találni, és a gyakorlati megvalósításban is tapasztalatot szerezni.

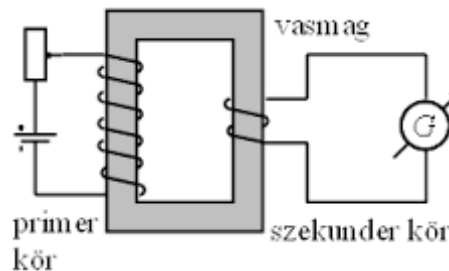
2 Elméleti háttér

2.1 Fizikai alapok, definíciók

Elektromágneses indukció

Az elektromágneses indukció egy olyan folyamat, amely során egy változó mágneses tér generál elektromos feszültséget egy vezetőben. A következőkben nézzük meg részletesebben, hogyan jön létre az elektromos áram az indukció hatására:

Egy tekercset rákapcsolunk valamilyen váltakozó feszültségre pl. rákapcsoljuk a hálózatra (1-es ábra). Mivel a tekercs induktív ellenállással rendelkezik, áram kezd el folyni rajta, ami mágneses mezőt hoz létre körülötte. A mágneses mező erővonalai a vasmagon keresztül fognak haladni és metszik a vasmag másik oldalán elhelyezett tekercs meneteit, ahol feszültség indukálódik. Hogyha zárjuk az áramkört - a második tekercs kapcsaira ellenállást, kondenzátort kapcsolunk, vagy egy vezető huzallal a két végét egymáshoz kötjük -, akkor áram kezd el folyni a tekercsben.



1. ábra: Elvi felépítés

Az indukált feszültség nagysága (U_i) egyenesen arányos a mágneses tér fluxusváltozásával ($\Delta\Phi$) és a tekercs menetszámával (N), valamint fordítottan arányos a változás időtartamával (Δt):

$$(1.1)$$

Az elektromágneses indukció lépései

1. Mágneses tér változása:

Az induktív eszköz (például egy tekercs) körül a mágneses tér változik. Ez a változás lehet egy mágnes közeledése vagy távolodása, vagy a mágneses tér erősségének változása.

2. Vezető áthaladása a mágneses térben:

Egy vezető vagy tekercs, amely az induktív eszköz része, a mágneses térben elhelyezkedik, áthalad a változó mágneses térben. Az induktív eszköz tekercsénél fontos a tekercsre irányuló mágneses tér változása.

3. Elektromos feszültség indukciója:

A mágneses tér változása miatt az eszköz vezetőiben elektromos feszültség jön létre. Az elektromágneses indukció során az indukált elektromos feszültség arányos a mágneses tér változási sebességével.

4. Lenz-törvény szerinti áramirány:

Az indukció során az indukált áram olyan irányú, amely mágneses hatásával akadályozza az ötlétrehozó változást, a mozgást. Tehát az indukált áram igyekszik fenntartani a mágneses egyensúlyt.

5. Elektromos áram kialakulása:

Az indukált elektromos feszültség hatására az elektronok az induktív eszköz vezetőiben elkezdenek mozogni, és ezáltal elektromos áram jön létre.

Ez a folyamat egyfajta energiaváltást jelent: a mágneses tér változása elektromos áramot hoz létre. Az induktív eszközök, például transzformátorok vagy induktív érzékelők vagy a dolgozatban is vizsgált vezeték nélküli töltők kihasználják az elektromágneses indukciót különböző elektromos eszközök működtetésére.

2.2 Vezeték nélküli töltés

2.2.1 Története, Tesla szerepe

1901-ben Nikola Tesla 150 ezer dollár támogatást szerzett a korszak dúsgazdag befektetési bankárától, J. P. Morgantól. A pénzből Tesla egy 56 méter magas, gomba alakú tornyot épített Long Island északi partjainál, amely a tervek szerint az Atlanti-óceán teljes egészére képes lett volna üzeneteket és képeket továbbítani, valamint telefonkapcsolatot létesíteni az éppen úton lévő hajókkal a Földet használva –mint vezetőt – a továbbítani kívánt jelek számára.

Az Wardenclyffe Torony építése közben Tesla fejében azonban egy még ambíciózusabb gondolat született meg. A feltaláló meg volt róla győződve, hogy lehetséges az elektromos áram és így az energia továbbítása a puszta levegőben, mindenféle vezeték nélkül. A tornyot ezért arra akarta használni, hogy azzal több millió volt elektromosságot továbbítson New York felé, biztosítva ezzel az egész város áramellátását.

A terv megvalósításához – és az azzal járó többletköltségekhez – azonban a projektet finanszírozó Morgan már nem járult hozzá. (Egyesek szerint azért vonta meg a támogatását, mert attól félt, hogy Tesla találmánya tönkretelheti a többi energiaipari vállalkozását.) A tudós így 1906-ban még a torony befejezése és működésbe hozatala előtt kénytelen volt felhagyni a projekttel. A Wardenclyffe Tornyot végül 1917-ben bontották le.

Szintén megemlítendő Marin Soljacic szerepe, akinek 2007-ben sikerült 60W-os teljesítmény sugárzását elérnie 2 méteres távolságban az MIT (Massachusetts Institute of Technology) kutatócsoportjának vezetőjeként. Később innen indult a WiTricity nevű cég, amely vezeték nélküli töltéstechnológiával foglalkozik.

2.2.2 Vezeték nélküli töltés típusai

Lézeres energiaátvitel: lézersugár segítségével megvalósított technológia, elsősorban pilóta nélküli légi járművek és műholdok táplálásához. Hátránya az alacsonyabb hatásfok.

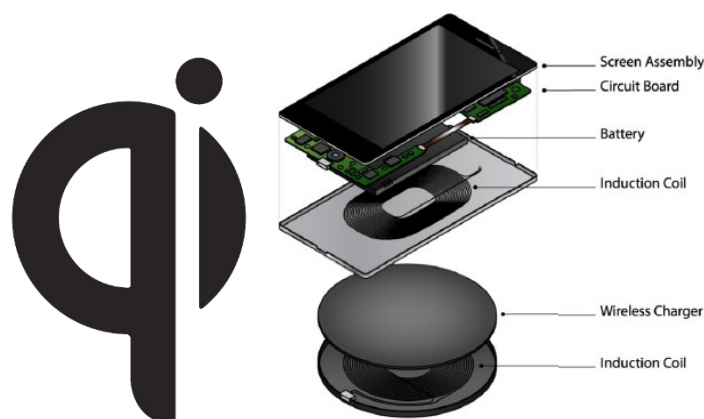
Mikrohullámú energiaátvitel: Egy antenna elektromágneses hullámokat bocsát ki a egy vevő antenna számára, amit egyenirányítanak, majd szűrnék.

Induktív csatolás: a korábban ismertetett módon egy adó tekercsben folyó váltakozó áram mágneses mezőt hoz létre és ez a mágneses mező feszültséget indukál egy vevő oldali tekercsben. Az indukált feszültség egyenirányítás után használható egy akkumulátor töltésére vagy egy mobil eszköz tápellátására. Fontos, hogy a két tekercs közel helyezkedjen el egymáshoz a megfelelő energiaátvitelhez.

Rezonáns induktív csatolás: az előzőekben bemutatott induktív csatoláshoz hasonlóan működik, de itt két azonos frekvenciára hangolt rezonáns, kapacitást is tartalmazó rezgőkör kerül alkalmazásra.

2.2.3 Qi szabvány

A Qi („csi”) szabványt egy 2008-ban alapított közhasznú szervezet a Wireless Power Consortium (WPC) dolgozta ki induktív töltés számára, amelynek teljesítménye legfeljebb 15 W. A Qi szó kínaiul életerőt vagy életenergiát jelent. Széles körben használják telefonok vezeték nélküli töltésére. Ebben az esetben a telefonban lévő vevő tekercsek a telefon hátlapjába, oldalaiban, kijelző alatt, vagy különböző helyekre szétosztva vannak beépítve. Az indukciós vezeték nélküli töltés során az energiát érzékelik és továbbítják a telefonban található töltőáramköröknek, amelyek az energiát az akkumulátorokban tárolják (2. ábra).



2. ábra: Qi szimbólum és vezeték nélküli töltő felépítése

Néhány mobiltelefon típus, ami a szabványt használja:

Apple: iPhone 8, iPhone 8+, iPhone X, iPhone XR, iPhone XS, iPhone XS Max, iPhone 11, iPhone 11 Pro, iPhone 11 Pro Max

Samsung: Galaxy S7 Edge, Galaxy S7, Galaxy S8, Galaxy S8+, Galaxy Note 8, Galaxy S9, Galaxy S9+, Galaxy Note 9, Galaxy S10, Galaxy S10 Plus, Galaxy S10E, Galaxy Note 10, Galaxy Note 10 Plus

Sony: Xperia XZ3, Xperia XZ2 Premium, Xperia XZ2

LG: G7 ThinQ, V30, G6 (Csak az USA verzió), G4 (opcionális), G3 (opcionális), G8

Nokia: 8 Sirocco

Huawei: Mate 20 pro, P30, P30 Pro, Mate 30, Mate 30 Pro

Microsoft Lumia: 1520, 1020, 930, 929, 928, 920

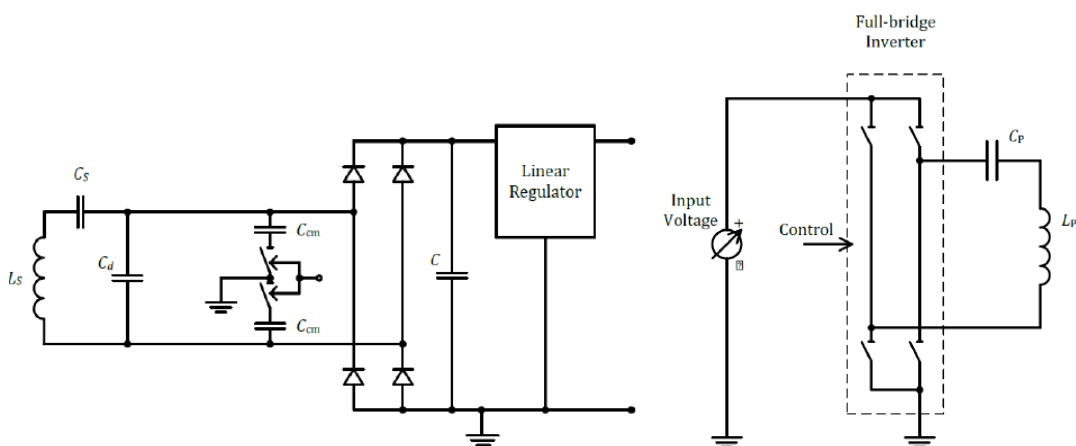
Google Nexus: 4, 5, 6, 7 (2013), Pixel series

BlackBerry: Priv

Ulefone: Armor 6, Armor 5, Armor 6E, Armor X.

2.2.4 Jellemző töltőáramkör felépítése

A töltőáramkör két részből áll egy adóból és egy vevőből (3-as ábra). A vevőáramkör egy rezonáns áramkör, amely egy tekercsből, valamint a párhuzamos és soros kondenzátorokból áll. Továbbá van egy egyenirányító egy egyenfeszültséget állít elő és egy kimeneti kapcsoló, ami megakadályozza, hogy a vevő kimenete felé áram folyjon, ha nem aktív a töltés.



3. ábra: Vevő- (balra) és adóáramkör (jobbra) elvi felépítése

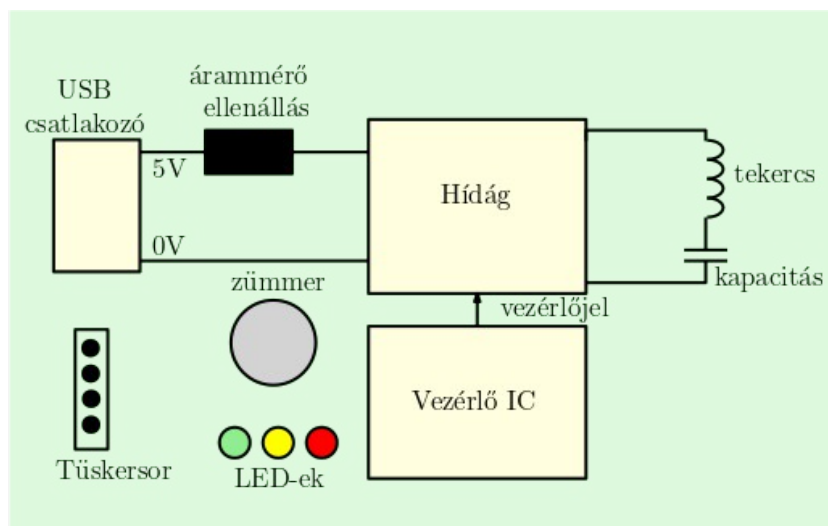
Az adóáramkör tartalmaz egy soros induktív-kapacitív rezonáns áramkört és egy úgynevezett hídágot, aminek a segítségével váltakozó feszültség állítható elő. Az adóáramkörök lehet A vagy B típusú annak függvényében, hogy egy vagy több tekercsel is kapcsolódik.

A vevő egység a töltés során folyamatosan kommunikál az adóval. Az információ átadása ugyanazon a jelen keresztül történik, mint az energiaátvitel, amplitúdómoduláció segítségével. A vevő modulálja a teljesítményt, amelyet felvesz, úgy, hogy az áram vagy a feszültség jel amplitúdójának két állapota lehet, egy magas és egy alacsony. Ezzel a módszerrel az adó olyan információkat kap meg a vevőeszköztől, mint a felvett teljesítmény, a töltés állapota és az esetleges hibaüzenetek.

Ha egy idegen test (pl. fém) kerül a töltő berendezésre, az problémákat okozhat, mint például túlmelegedés. Az adóáramkör képes ezt detektálni.

3 Saját áramkör tervezése

A TDK munka során egy adóáramkör tervezését és megépítését tűztem ki célul, ami képes lehet egy telefon feltöltésére. Az áramkör elvi felépítése a 4. ábrán látható.



4. ábra: Áramkör elvi felépítése

A fontosabb áramköri elemek:

tekercs: a tekercs építi fel a szükséges mágneses mezőt és adja át az energiát a vevőáramkörben található tekercsnek

kapacitás: a tekercssel együtt rezgőkört alkot

USB csatlakozó: az 5V-os bemenő feszültség csatlakoztatásához

árammérő ellenállás: az áramkörben folyó áram meghatározásához és korlátozásához, az ellenálláson eső feszültség arányos az árammal

hídág: a váltakozó feszültség előállításához szükséges áramkör

vezérlő IC: a hídág és a töltési folyamat vezérléséhez szükséges áramkör

LED-ek: három különböző színű visszajelző LED a töltési folyamat jelzéséhez és az idegen test érzékeléséhez

zümmer: hangjelzés jelez a töltés kezdetekor

tüskesor: külső mikrovezérlő (pl. Arduino) csatlakoztatását teszi lehetővé

3.1.1 Fontosabb Áramköri elemek kiválasztása

Az egyik legfontosabb áramköri elem az adóáramkörön található tekercs. Egy hasonló eszközökben gyakran használt tekercset választottam, amit az 5. ábra mutat. A tekercs induktivitásának értéke $6,3 \mu\text{H}$.



5. ábra: Töltőtekercs

A vele sorba kötött kapacitás egy rezonáns áramkört képez. A Qi szabvány alapján a rezonancia frekvencia 100 kHz értékű. A rezonancia frekvencia számítható az alábbi képlettel

A szükséges kapacitás számítható az alábbi módon

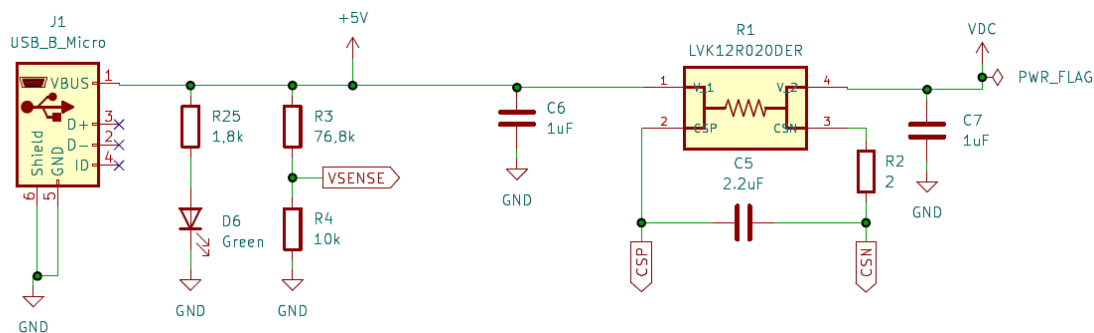
Ehhez 4 darab $0,1 \mu\text{F}$ nagysága kondenzátort fogok alkalmazni az áramkörön.

A töltéshez szükség van egy hídágra és az őt vezérlő IC-re. Ehhez a bq50002A és bq500511A áramköri elemek kerültek kiválasztásra.

3.1.2 Áramköri rajz

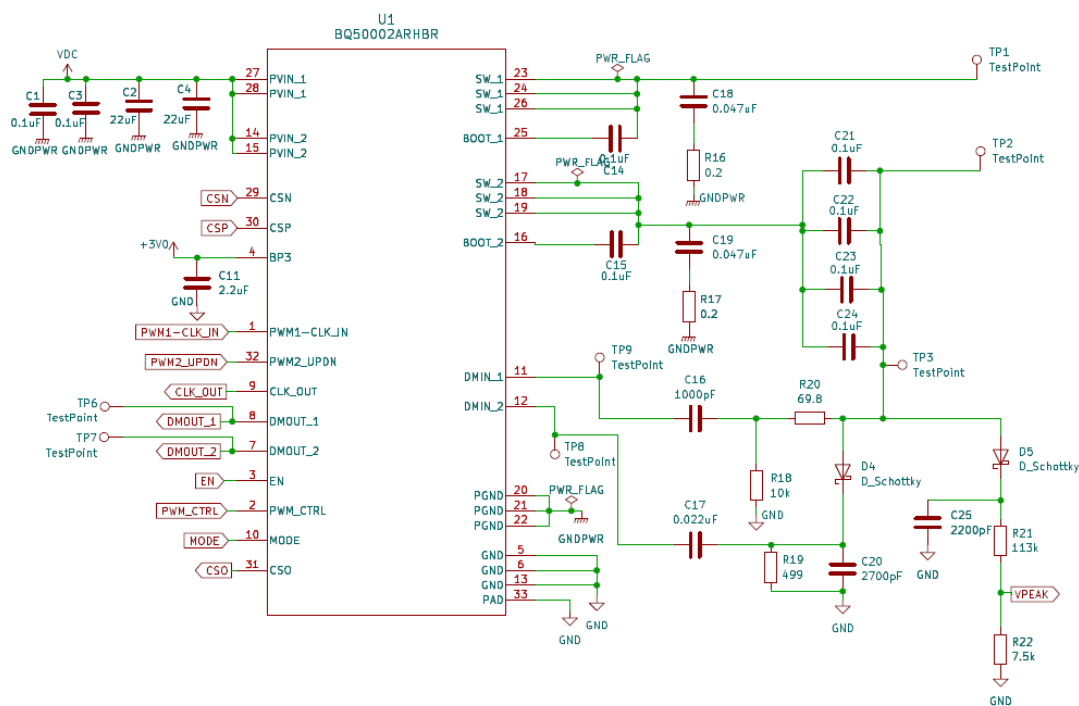
Az áramköri rajzot KiCAD 7.0 szoftverben készítettem el. Az áramkör fontosabb részeit az alábbiakban mutatom be. Az áramköri terv elkészítése során az IC-k adatlapjait és az [1]-es irodalmat használtam fel.

A tervezett töltőáramkör egy USB csatlakozón keresztül kapja meg az 5V -os tápfeszültséget. Egy zöld LED világít, amennyiben az USB csatlakozón keresztül megtápláljuk az áramkört. A bemenő feszültség aktuális értékére szüksége van a vezérlő IC-nek. Egy úgynevezett ellenállásosztóval állítom elő a mérendő feszültséget. A teljes bemeneti áramot egy ellenállás segítségével mérem. Ohm törvénye alapján az ellenálláson eső feszültséget mérve az áramerősség meghatározható. Az ellenállás két végét a hídágot tartalmazó IC-re kötöttem. Az áramkör ezen részét a 6. ábra mutatja.



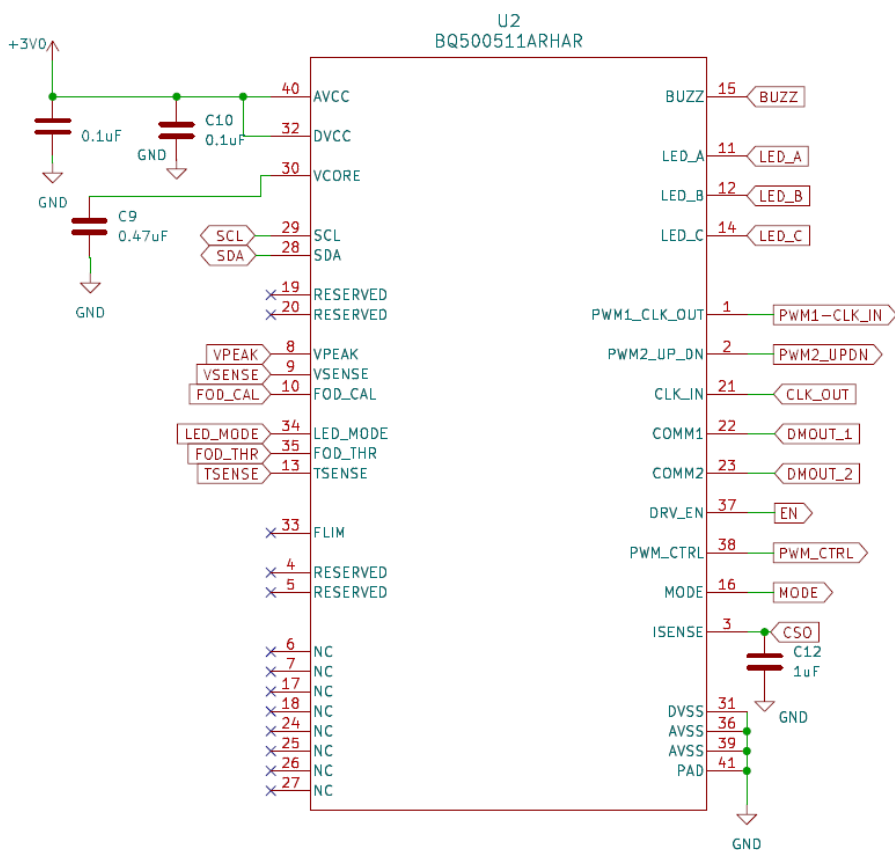
6. ábra: Tápfeszültség, árammérés

Az áramkör egyik legfontosabb eleme a töltőtekerics, a vele sorba kapcsolt kondenzátorok és az őket meghajtó hídág. Hídnak a bq500511A IC-t alkalmaztam. A bekötési rajz a 7. ábrán látható. Az IC bekötése a katalógusban megadott módon történt. A töltőtekericset majd a TP1 és TP2 csatlakozókon keresztül lehet majd az áramkörhöz forrasztani. A töltőtekerccsel sorba kötöttem 4 párhuzamosan kötött kondenzátort, ahogy ezt korábban említettem. Az IC-t 5V-os feszültségről táplálom meg. Az IC-ben van egy átalakító, ami 3V-os feszültséget generál. Az áramkör többi részén ezt a 3V-os feszültséget felhasználom.



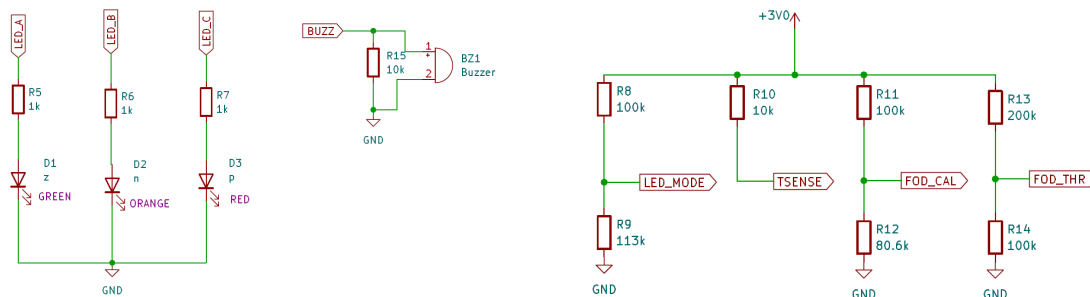
7. ábra: Hídág, a töltőtekerics csatlakozója és a soros kondenzátorok

A hídág egy vezérlő IC-vel kommunikál különböző bemeneti és kimeneti jeleken keresztül. A 7. ábrán látható U1-es IC bal alsó sarkában található jeleket a bq50002A típusú vezérlő IC-vel kötöttem össze. A vezérlő IC bekötési rajza a 8. ábrán látható.



8. ábra: Vezérlőáramkör bekötése

A vezérlő IC képes meghajtani LED-eket és egy zümmert. Ezeknek a bekötését mutatja a 9. ábra bal oldala. Ellenállások segítségével állítottam be, hogy mikor melyik LED villogjon (LED_MODE jel a 9. ábra jobb oldalán). Szintén ellenállással állítható be az idegen tárgy detektálásához a küszöb érték (FOD_CAL és FOD_THR jelek a 9. ábra jobb oldalán). Van lehetőség a magas működési hőmérséklet esetén leállítani a töltést. Én ezt a funkciót nem használom, ezért az ehhez kapcsolódó bemenetet 3V-ra kötöttem egy ellenálláson keresztül (TSENSE jel a 9. ábra jobb oldalán). Az ellenállásokkal megvalósított beállítást a 9. ábra jobb oldala mutatja.



9. ábra: LED-ek, zümmer bekötése, illetve az üzemmódot beállító ellenállások

Van lehetőség egy külső mikrovezérlővel, például Arduinoval kommunikálni a vezérlő IC-vel és adatokat kigyűjteni. A vezérlő IC SDA és SCL jeleit (8. ábra) egy tűskesorra vezettem ki. A jeleket egy ellenállás segítségével 3V-ra kötöttem.

A tesztelés megkönnyítése miatt tesztpontokat is elhelyeztem az áramkörön.

Irodalomjegyzék

Mészáros Sándor Máté: Vezeték nélküli töltő tervezési Lipo akkumulátorhoz, BSc szakdolgozat, 2020, BME AUT

<https://engineering.electrical-equipment.org/electrical-distribution/wireless-power-transfer-wpt.html>, utoljára elérve: 2023.október 26.

..

..