# Energy Harvesting

Energie voorziening is een onmisbaar deel bij een embedded system. Aangezien ons embedded system zich buiten bevindt kan een zonnepaneel gebruikt worden als energiebron. Het is belangrijk op voorhand een schatting te maken om de energy harvesting componenten te kunnen dimensioneren. Bovendien kunnen alle sensoren en actuatoren gevoed worden met 3,3 V wat het ontwerp eenvoudiger maakt.

## **Assumpties voor de berekeningen**

Dit embedded system heeft nogal een onvoorspelbaar karakter op vlak van energie noden. De nodige energie hangt af van heel enkele factoren die kunnen veranderen, zoals de speelduur, het aantal spelletjes per dag, de hoeveelheid zon per dag, het aantal highscores per dag, … .

Om hier toch een schatting te kunnen maken worden enkele assumpties opgesteld.

* Het spel moet 3 uur (na elkaar) speelbaar zijn per dag
* Er kunnen 30 spelletjes in 3 uur gespeeld worden (6 min per spel inclusief aanmelding)
* Per drie uur kan de score in de top drie 2x verbroken zijn
* Tijd nodig per dag om de highscore te zenden via LoRa: 1 s

(gemeten zendtijd 1 pakket : 63,6 ms)

* De 7 segment displays flikkeren gedurende ieder spelletje ongeveer 20 seconden
* Slechts één backlight kan tegelijk oplichten
* De RFID aanmelding kan 2 minuten duren (zo wordt tijd gegeven om de studentenkaart uit te halen)
* De accelerometer dient als interrupt om het systeem uit sleepmode te halen

## **Berekeningen**

Met behulp van de datasheet gegevens van de gekende componenten en bovenstaande assumpties wordt een berekening gemaakt waarbij het energieverbruik per dag bepaald wordt die nodig is om te opereren in actieve mode. Aangezien dit een schatting is worden nog extra verliezen bijgerekend die mogelijks afkomstig kunnen zijn van andere componenten die zich in het schema bevinden. Zo worden warmteverliezen, verliesstromen, sleepmodes van RFID en LoRa module, … ook in rekening gebracht. Deze berekening is terug te vinden in Tabel 1. In Tabel 2 kunnen de berekeningen voor de sleepmode voor die ene dag (21 uur) terug gevonden worden.

In actieve mode is het energieverbruik per dag gelijk aan 1839,9 J. Het maximaal te leveren vermogen (indien alles aan staat) bedraagt 880 mW. De maximaal te leveren stroom indien alles aan staat bedraagt 380,5 mA.

In sleep mode is het energieverbruik per dag gelijk aan 674 J. Het totale energieverbruik per dag bedraagt dus 2512,9 J.

Tabel : Berekeningen actieve mode (3 uur per dag)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | IMU | LDO (IMU) | RFID (zenden) | LoRa (zenden) | EFM32 | 2x 7-segment  displays | 4x Backlight  LED's | Verliezen bij  andere  componenten |
| Stroomverbruik (mA) | 3,11 | 0,001 | 20 | 38,9 | 3,5 | 2 x 7 x 20 mA = 280 mA | 4 x 20 mA | 15 |
| Werkspanning (V) | 1,8 | 1,5 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 2 | 3 | 3,3 |
| Vermogen verbruik (mW) | 5,598 | 0,0015 | 66 | 128,37 | 11,55 | 560 | 4 x 60 mW | 50 |
| Tijd actief per dag (uur) | 3 | 3 | 30x0,033 | 0,000277 | 3 | 0,17 | 2,5 | 3 |
| Tijd actief per dag (seconden) | 10800 | 10800 | 3600 | 1 | 10800 | 600 | 9000 | 10800 |
| Energie verbruik (J) | 60,458 | 0,016 | 237,600 | 0,128 | 124,740 | 336,000 | 540,000 | 540,000 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | IMU | LDO (IMU) | RFID (zenden) | LoRa (zenden) | EFM32 | 2x 7-segment  displays | 4x Backlight  LED's | Verliezen bij  andere  componenten |
| Stroomverbruik (µA) | 3100 | 1 | 0,04 | 1,6 | 2 | 0 | 0 | 10 |
| Werkspanning (V) | 1,8 | 1,5 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3300 |
| Vermogen verbruik (µW) | 5598 | 1,5 | 0,132 | 5,28 | 6,6 | 0 | 0 | 33 |
| Tijd actief per dag (uur) | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| Tijd actief per dag (seconden) | 75600 | 75600 | 75600 | 75600 | 75600 | 75600 | 75600 | 75600 |
| Energie verbruik (J) | 423,209 | 0,113 | 0,010 | 0,399 | 0,499 | 0,000 | 0,000 | 249,480 |

Tabel : Berekeningen sleep mode (21 uur per dag)

Indien een autonome werking (zonder opladen via het zonnepaneel) van 10 dagen gewenst is kan volgende berekening uitgevoerd worden:

De nodige capaciteit van de Lithium-ion batterij met een nominale spanning van 3,7 V is dan:

Er wordt gekozen voor een batterij (Panasonic NCR18650PF) met een capaciteit van 2900 mAh, enerzijds omdat deze in voorraad is bij één van de groepsleden, anderzijds omdat zo voldoende reserve genomen wordt indien de batterij in verloop van tijd afzwakt of wanneer deze gedurende lange tijd niet wordt opgeladen omdat het zonnepaneel bedekt is of dergelijke. Bovendien is de energie berekening een schatting en worden enkele onvoorspelbare assumpties vastgelegd die zeer sterk kunnen wijzigen in werkelijkheid.

De batterij kan gebruikt worden bij buitentemperaturen en wordt als veilig beschreven aangezien deze ook gebruikt kan worden voor medische toestellen. Ook de zelfontlading is voldoende klein.

## **Zonnepaneel**

Bij het maken van een keuze van het zonnepaneel zijn vooral factoren zoals kras- en waterbestendigheid belangrijke factoren aangezien dit paneel op een tafel ligt waar studenten eten. Het is belangrijk dat een plateau waar eten op staat geen schade toebrengt aan het zonnepaneel wanneer een student deze verschuift over het zonnepaneel.

Het gekozen zonnepaneel bezit een IP67 waarde waardoor deze ideaal is voor deze toepassing. De piekspanning bedraagt 6,5 V, de open klem spanning bedraagt 7,7 V en het rendement is gelijk aan 19 % waardoor met behulp van een oppervlak van 0,0143 m² een maximaal vermogen van 2 W geleverd kan worden.

Bij bewolkt weer in de winter kan de ingestraalde zonne energie 0,5 kWh/m² zijn (Zonne-energie gids, n.d.). Voor deze situatie wordt bekeken of dit paneel voldoet aan de gewenste voorwaarden.

Deze bepaalde energiewaarde is ruim voldoende aangezien 25129 J nodig is om het gehele systeem gedurende 10 dagen autonoom te laten werken. Er kan dus snel genoeg opgeladen worden. Bovendien ligt het zonnepaneel plat en kan het bedekt zijn met bladen, sneeuw, … waardoor deze overschot gewenst is aangezien de opbrengst een stuk lager zal liggen.

## **Supercap**

Om zoveel mogelijk energie afkomstig van het zonlicht op te vangen wordt tussen de batterij en het zonnepaneel een supercap voorzien met een capaciteit van 3,3 F en een maximale spanning van 2,7 V. Een supercap kan namelijk veel sneller opladen dan een batterij. Deze energie wordt dan overgebracht naar de batterij. De mogelijke hoeveelheid opgeslagen energie in deze supercap is gelijk aan:

## **Hardware**

Het energy harvesting schema bestaat uit twee delen. Enerzijds is er het deel die ervoor zorgt dat de supercap opgeladen wordt en deze beveiligd tegen een eventuele te grote spanning. Anderzijds volgt hierna een tweede circuit die de batterij oplaadt.

### **Opladen van de supercap**

In Figuur 1 wordt het schema weergegeven die gebruikt wordt om de supercap op te laden. Met behulp van de SPV1050 wordt de energie afkomstig van het zonnepaneel opgeslagen in de supercap. Er was weinig keuze op vlak van toepasbare IC’s aangezien het zonnepaneel een ‘grote’ spanning van 6,5 V kan genereren. Na de berekening met behulp van formules uit de datasheet van de SPV1050 worden gepaste component waarden gekozen. Zo wordt overvoltage en undervoltage protection voorzien en wordt de spanning afkomstig van het zonnepaneel zodanig afgesteld zodat de gewenste input waarden verkregen worden aan de ingang van de SPV1050. De uitgang bedraagt een 3,3 V spanning die als ingang van het volgende circuit gebruikt wordt. Deze IC wordt gevoed met de energie afkomstig van het zonnepaneel.

Afbeelding met tekst, kaart

Beschrijving is gegenereerd met zeer hoge betrouwbaarheid

Figuur : Schema voor het opladen van de supercap

### **Opladen van de supercap**

In Figuur 2 wordt het schema weergegeven die instaat voor het opladen van de batterij. De kern van dit circuit bestaat uit de BQ25505RGRR. Opnieuw worden parameters ingesteld zoals de over- en undervoltage protection zodat de batterij niet stuk gaat. De AP7365-WG-7 spanningsregelaar kan voldoende stroom leveren en zorgt voor een constante 3,3 V spanning.

Afbeelding met kaart, tekst

Beschrijving is gegenereerd met zeer hoge betrouwbaarheid

Figuur :Schema voor het opladen van de batterij

### **PCB ontwerp**

Zoals weergegeven in Figuur 3 worden heel wat uitgangen voorzien zodat alle sensoren en actuatoren gevoed kunnen worden. Er wordt bewust gekozen om geen pinheaders te voorzien zodat de verbindingen gesoldeerd kunnen worden. Hierdoor is de hardware robuuster, wat gewenst is in een bewegende schijf. Verder worden meetpinnen en verbindingspinnen voorzien om het zonnepaneel en da batterij te verbinden. De supercap wordt plat op de PCB geplaatst zodat deze minder ruimte in beslag neemt waardoor deze PCB in de schijf verwerkt kan worden. De PCB heeft een lengte van 5,7 cm op 3,5 cm.

Afbeelding met circuit, scherm, groen, computer

Beschrijving is gegenereerd met zeer hoge betrouwbaarheidAfbeelding met groen, tafel, straat

Beschrijving is gegenereerd met zeer hoge betrouwbaarheid

Figuur : Voorkant (links) en achterkant (rechts) van de Energy Harvesting PCB

### **Evaluatie**

Wegens de corona maatregelen is het niet mogelijk deze PCB te testen aangezien deze nog niet geleverd is. Bovendien bezit ik geen oscilloscoop ter controle. Ook bij het ontwerpen waren heel wat uitdagingen aangezien de footprints van de aanwezige componenten op school niet altijd gekend zijn vanop afstand. Gelukkig had ik foto’s van de aanwezige componenten (die toen nog aanwezig waren).

# Bibliografie

Zonne-energie gids. (n.d.). *Aantal zonuren in Vlaanderen*. Opgehaald van www.zonne-energiegids.be: https://www.zonne-energiegids.be/aantal-zonuren-in-vlaanderen/