

# Kullfallet Power Station

*Björn Morén 2026-04-25*

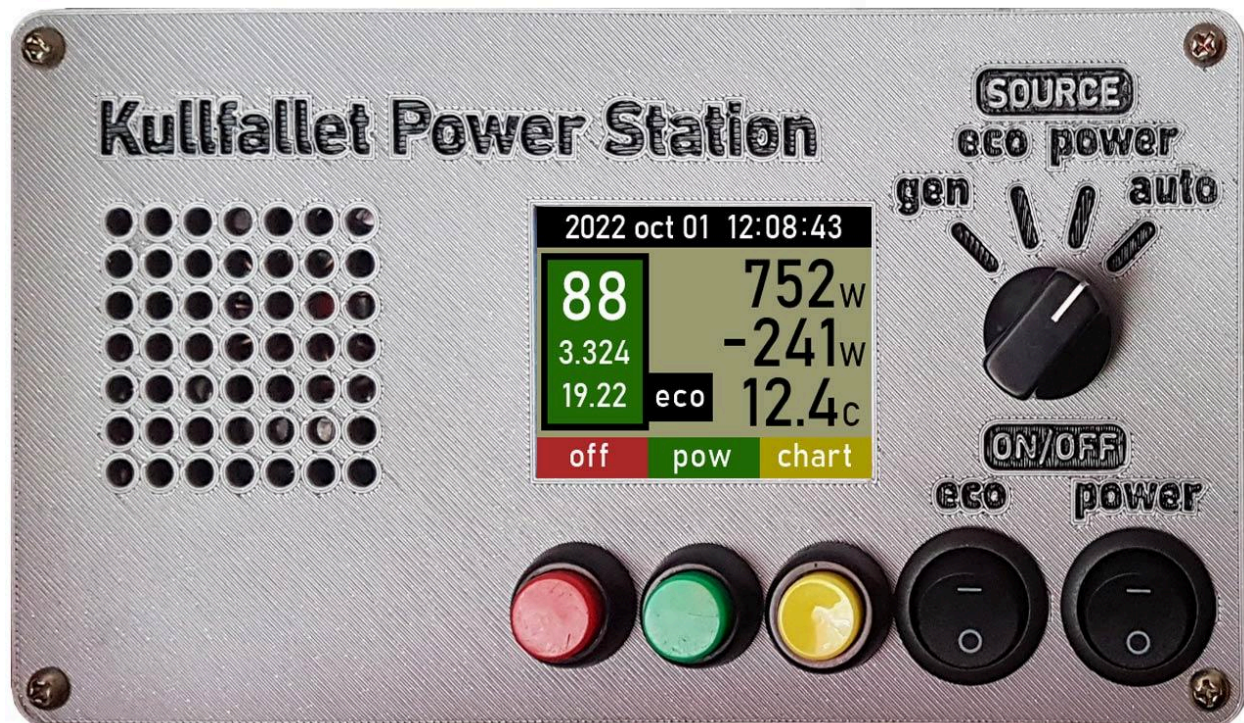
## Sammanfattning

En övervaknings- och styrenhet för det soldrivna energisystemet vid Kullfallet.

- Övervakar solladdningseffekt och växelriktarnas effektförbrukning
- Övervakar batterispänning, batteriladdningsström och batteritemperatur
- Övervakar utomhustemperatur
- Väljer strömkälla för huset (ekonomisk liten växelriktare, stor effektväxelriktare eller bensindriven generator)
- Slår på/av kylskåpet beroende på batterinivå
- Övervakar kylskåpets temperatur och slår på kylskåpsfläktar under vintern
- Känner av vattentryck och slår på/av brunnspumpen
- Visar realtidsdata på en liten LCD-skärm och låter användaren ändra viktiga styrparametrar
- Sparar realtidsdata på ett SD-kort för senare analys på en dator
- Har ett manuellt läge och ett automatiskt läge

Baserad på en Arduino Uno-mikrokontroller med en 2,4" färgskärm, två I2C-strömshuntar, två I2C-temperatursensorer och fyra fjärrstyrda reläer.

## Styrbox



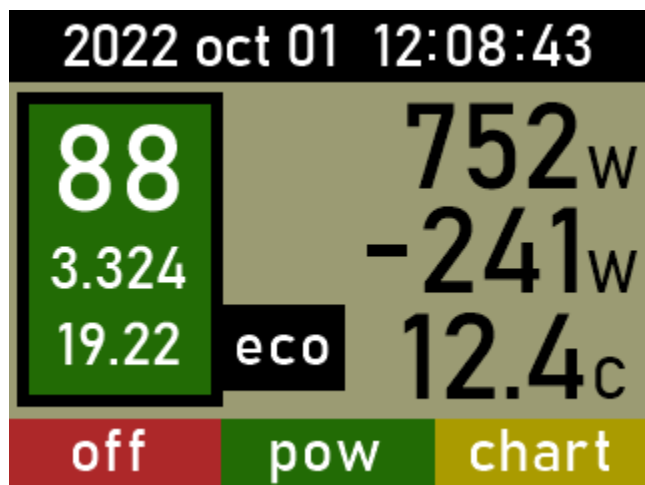
Styrboxen låter dig slå på/av de två växelriktarna med knapparna nere till höger och välja vilken strömkälla som ska användas för huset med vredet uppe till höger. **Gen** = bensingenerator, **eco** = lilla växelriktaren, **power** = stora växelriktaren, **auto** = automatiskt val. Den har också en display och tre färgade knappar för att ändra styrparametrar.

Från mars till november ställ vredet för strömkälla i läget "power" och slå på strömbrytaren "power". Inget mer behövs och du kan bortse från resten av detta dokument.

Från december till februari behöver du vara sparsam med strömförbrukningen. Styrboxen har stöd för detta genom "auto"-läget. Vrid styrvredet till "auto" och slå av strömbrytarna för "eco" och "power". Nu väljer styrboxen strömkälla automatiskt och slår även på pumpen och kylskåpet automatiskt.

## Displayvyer

Displayen växlar mellan tre vyer: **Huvudvy** (visar realtidsdata, se nedan), **Diagramvy** (visar loggad data i ett tidsdiagram) och **Inställningsvy** (ändringsbara inställningar). Observera att texterna är på engelska.



De röda, gröna och gula knapparna ger kommandon till styrboxen. Vilken åtgärd varje knapp utför visas av motsvarande etikett längst ner på displayen.

Tryck kort för att använda en knapp en gång, håll inne för att använda en knapp flera gånger, till exempel för en stor ändring av en inställning.

Styrboxen är konstruerad för att vara igång konstant. För att stänga av den, till exempel när du stänger huset inför vintern, dra ut strömkontakten i botten.

Vid uppstart visar displayen inställningen för tid och datum. Det är viktigt att du ställer in rätt datum och tid, eftersom det används när styrboxen loggar data till SD-kortet.

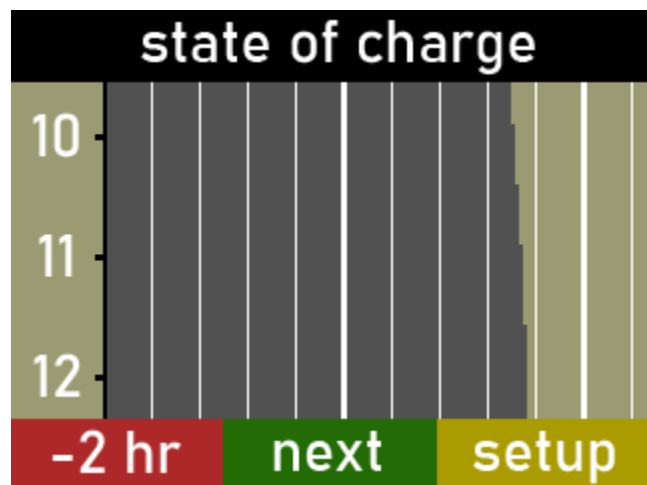
## Huvudvy

Huvudvyn (se exempel ovan) visar:

- **Datum och tid** längst upp.
- **Laddningsnivå.** (88 %). Rektangelns bakgrunden är färgkodad efter laddningsnivå så att 50 % eller mer är grön, 49–25 % är gul och 0–24 % är röd.
- **Genomsnittlig spänning per cell** (3,324 V)
- **Laddningsström** (19,22 A).
- **Aktuellt läge.** Visas som en symbol med tre bokstäver: **eco** (lilla växelriktaren), **pow** (stora växelriktaren), **gen** (generatoren), **pmp** (kör för närvarande en pumpcykel) och **off** (avstängd).
- **Soleffekt.** (752 W) Detta är mängden som laddas in i batteriet. Det inkluderar även laddningsregulatorns och styrboxens förbrukning. På natten visar det ett negativt tal.
- **Växelriktarens förbrukning.** (241 W). Detta inkluderar även sådant som drivs direkt på batterikraft, till exempel nödbelysningen. Detta är normalt ett negativt tal. När generatoren laddar batterierna blir det ett positivt tal.
- **Utomhustemperatur.** (12,4 °C).
- **Stäng av.** Tryck på den röda knappen för att stänga av alla växelriktare efter en paus på 5 sekunder (fungerar endast i auto-läge).
- **Växla växelriktare.** Tryck på den gröna knappen för att växla mellan POW- och ECO-växelriktarna (fungerar endast i auto-läge).
- **Visa diagram.** Tryck på den gula knappen för att växla till diagramvyn.

## Diagramvy

Använd den gröna knappen för att växla mellan diagrammen. Varje diagram visar de senaste tre timmarna. Använd den röda knappen för att gå längre bakåt i tiden. Värdena kommer från SD-kortet.



**State of charge.** Visar batteriets laddningsnivå. Första huvudlinjen är vid 50 %, andra huvudlinjen är vid 100 %.

**Sun power.** Visar solcellernas laddningseffekt med huvudlinjer vid 500, 1000 och 1500 W. Positiva värden (laddar in i batteriet) med svart, negativa (urladdning från batteriet) med vitt.

**Inverter.** Visar växelriktareffekten med huvudlinjer vid 500, 1000 och 1500 W. Negativa värden (urladdning från batteriet) med svart, positiva värden (använder generatoren för att ladda in i batteriet) med vitt.

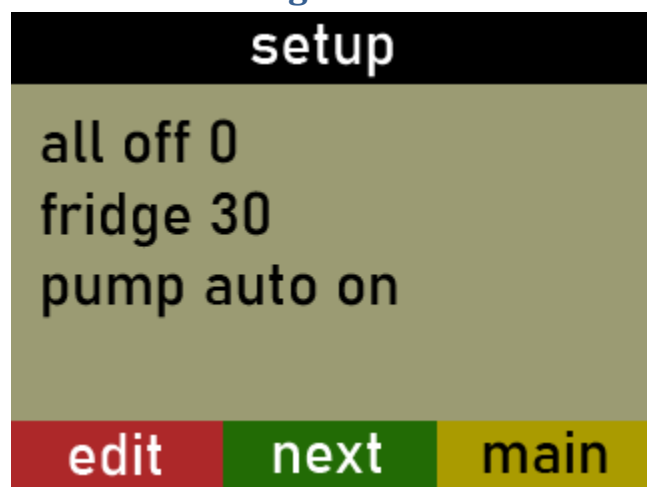
**Cell.** Genomsnittlig cellspänning med huvudlinjer vid 3,0 V och 3,5 V.

**Outdoor temp.** Visar utomhustemperaturen med huvudlinjer var 5:e °C. Positiva temperaturer visas med svart, negativa med vitt.

**Fridge temp.** Visar kylskåpets temperatur med huvudlinjer var 5:e °C. Positiva temperaturer visas med svart, negativa med vitt.

**Battery temp.** Visar batteriets celltemperatur med huvudlinjer var 5:e °C. Positiva temperaturer visas med svart, negativa med vitt.

## Huvudinställningar



Tryck på den röda knappen för att redigera värdena på denna sida. Använd sedan den gula knappen för att växla mellan fält, och de röda och gröna knapparna för att ändra värden.

**All off: 0** – Stäng av båda växelriktarna när laddningsnivån blir lägre än ett visst värde. Använd denna inställning om du vill spara lite laddning i händelse av en nödsituation.

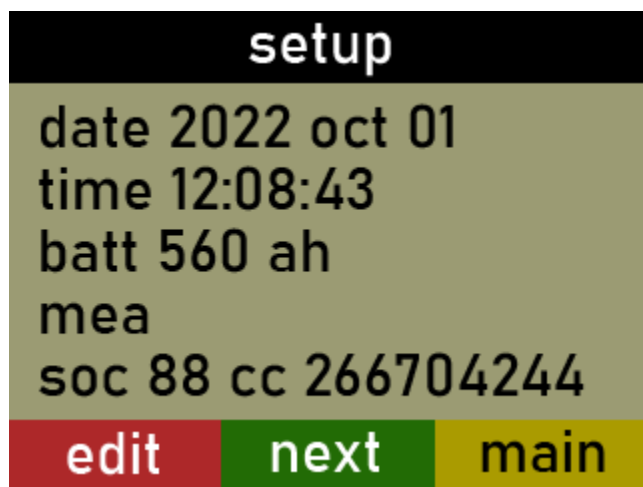
**Fridge: 30** – Om detta värde är 10 eller högre anger det vid vilken laddningsnivå kylskåpet ska stängas av. Detta är för att kylskåpets strömförbrukning inte helt ska tömma batteriet.

Om inställningen är under 10 sätts kylskåpet i lågeffektläge. Det innebär att det kopplas ur vägguttaget och i stället kyls av fläktar som cirkulerar kall luft utifrån. Talet är den temperatur (Celsius) som ska

uppnås inuti kylskåpet. Du behöver ansluta luftkanalerna för att använda detta läge, och det måste vara minusgrader ute.

**Pump auto: on** – Kör pumpen automatiskt när vattentrycket blir lågt och den aktuella strömförbrukningen är mindre än 1000 W. Denna inställning är av som standard, så att pumpen inte oavsiktligt startar när du startar systemet första gången. När du har kontrollerat att inget är fel med brunnvattensystemet, ändra inställningen till "on".

## Datum- och batteriinställningar



Tryck på den röda knappen för att redigera värdena på denna sida. Använd sedan den gula knappen för att växla mellan fält, och de röda och gröna knapparna för att ändra värden.

**Date.** Aktuellt datum.

**Time.** Aktuell tid.

**Batt.** Batterikapaciteten i Ah. Värdet används för att beräkna laddningsnivån.

**Mea.** Visar uppmätt batterikapacitet (Ah), och hur många dagar sedan mätningen gjordes. Om batteriet genomgår en full laddcykel (från 95 %

SOC eller högre ner till 10 % SOC eller lägre) inom 10 dagar mäts den faktiska batterikapaciteten och visas här bredvid mea-etiketten. Om du justerar värdet för batterikapacitet så att det matchar det uppmätta värdet blir laddningsnivåberäkningarna mer exakta.

**SOC.** (State of charge) Den aktuella laddningsnivån 0–100 %. SOC återställs till 50 när du stänger av styrboxen, så du behöver komma ihåg det aktuella SOC-värdet och mata in det igen. Eller så kan du helt enkelt vänta tills batteriet blir fulladdat så får det automatiskt ett korrekt SOC-värde.

**CC.** Värdet för Coulombräknaren, vilket är det värde som används för att beräkna SOC. Detta värde kan inte ändras. Det finns där så att du kan verifiera att styrboxen fungerar som avsett.

## Automatiskt läge

Styrboxen kan vara i manuellt läge eller automatiskt läge. Detta styrs genom att vrida huvudvredet på boxen. I manuellt läge måste du slå på/av växelriktarna manuellt och välja en av dem som strömkälla för huset. Du måste också slå på/av kylskåp och pump med deras respektive strömbrytare på väggen i närheten. I automatiskt läge hanterar styrboxen allt detta.

När du startar styrboxen och den är i automatiskt läge så är alla växelriktare avstängda. Tryck på gröna knappen för att starta ECO-växelriktaren. Den använder nu följande regler:

- Om laddningsnivån sjunker till 0 % stängs alla växelriktare av. Du kan ändra detta värde i inställningarna.

- När laddningsnivån sjunker under 30 % stängs kylskåpet av. Du kan ändra detta värde i inställningarna.
- Om vattentrycket är lågt och den aktuella strömförbrukningen är mindre än 1000 W går styrboxen in i en pumpcykel: POW-växelriktaren slås tillfälligt på, brunnpumpen körs för att fylla hydropressen och sedan slås ECO-växelriktaren på igen.

Du kan också manuellt växla till POW-växelriktaren genom att trycka på gröna knappen. Du behöver göra detta när du förbrukar mer än 375 W effekt (max för ECO-växelriktaren), till exempel när du kör mikrovågsugnen, tvättmaskinen eller använder elverktyg. Anledningen till att ha två växelriktare är att ECO-växelriktaren förbrukar betydligt mindre effekt (sparar batteriladdning) och POW-växelriktaren behövs för att tillfälligt driva högeffektsapparater.

Normalt är all växling mellan strömkällor sömlös och påverkar inte apparaterna.

## Generator

Starta generatormen när laddningsnivån blir låg.

- Välj POW-växelriktaren som har en inbyggd batteriladdare (tryck på den gröna knappen om ECO är valt).
- Gå till generatormen. Se till att laddkabeln är ansluten till den. Starta generatormen. Den har en jordfels sensor som ibland löser ut, och detta visas som ett blinkande rött ljus nära eluttaget. Stäng i så fall av generatormen och starta den igen.
- Styrboxen ska nu visa cirka 1100 W laddningseffekt på displayen.
- En full bensintank ger generatormen cirka två timmars drifttid.

## Kylskåp

På grund av sin höga energiförbrukning kan kylskåpet konfigureras i lågeffekt läge under vintern. Då stängs dess ström av och två luftkanaler monteras för att leda kall luft utifrån in i kylskåpet, med två fläktar som blåser denna luft. Inställningen Fridge styr detta (beskrivs ovan).

I normalläge slås kylskåpet endast på om laddningsnivån är över 30 %. Detta gör att systemet kan vara igång dygnet runt utan att man behöver oroa sig för att kylskåpet helt ska tömma batteriet.

I lågeffekt läge slås fläktarna på om alla följande villkor är uppfylla: A) Laddningsnivån är 10 % eller högre, B) utomhustemperaturen är lägre än kylskåpstemperaturen, och C) kylskåpstemperaturen är högre än måltemperaturen i inställningen. Fläktarna drivs på batteriström så de är även aktiva när växelriktarna är avstängda. De förbrukar cirka 1 W.

## Pumpstyrning

Styrboxen håller reda på den totala drifttiden för pumpen och kontrollerar om den är högre än 45 sekunder för att se om det finns ett problem i systemet, till exempel ett läckage eller en frusen rörledning. Då går den in i felläge och stänger av pumpen helt.

Styrboxen förhindrar också en pumpcykel om växelriktaren använder mer än 1000 W effekt. Detta är för att inte överbelasta växelriktaren.

## **Loggad data**

Historisk data loggas på ett SD-kort inuti styrboxen. För att komma åt det, ta bort de fyra skruvarna i hörnen på enheten, dra försiktigt av fronten så ser du kortet på högra kanten av displayen. Tryck in det och det studsar ut.

Överför filerna på SD-kortet till din dator och kör programmet ChargeMonitorDiagram.exe för att visa datan.

## Electronics design

An DC-DC converter takes input from the 24V battery bank (22-31 V), and steps it down to 5V to power the Arduino. The screen is mounted directly to the Arduino.

The Arduino interfaces via I2C to peripheral devices: two digital I/O chips (PCF8574), two temp sensors (MCP9808) and two current/voltage sensors (INA226). The current/voltage sensors are mounted to shunts to measure current to the inverter and from the solar panels.

The Arduino is mounted in a 3D-printed box with switches to control the system, and a PCB with components.

### *Arduino Uno*

Atmel Atmega328 microprocessor: 8-bit RISC, 32kB flash, 1kB EEPROM, 2 KB SRAM, 23 GPIO, 32 registers, USART/SPI, 6 x 10-bit A/D, 1.8-5.5 V. 16 MHz. Little Endian (least significant byte stored first in memory).

### *LCD screen*

2.4" diagonal LCD TFT display (60.96 mm diagonal, 48.8 x 36.6 mm). 240x320 resolution, 18-bit (262,000) color. SPFD5408 controller with built in video RAM buffer. 8 bit digital interface, plus 4 control lines. MicroSD card reader. Piggy-backs on the Arduino and uses up all available pins, except for the I2C interface.

### *INA226*

Uses a 16-bit ADC. Designed to measure two voltages very accurately: the battery voltage and the small voltage over a shunt resistor (200 A/75 mV shunt). Also calculates the resulting power. 6 mA shunt resolution @200A shunt. 1.25 mV voltage resolution @ max 36 V input. I2C addresses: 0x40 (solar charge), 0x41 (inverter). **NOTE: the PCBs have switched the DTA and CLK pins.**

### *MCP9808*

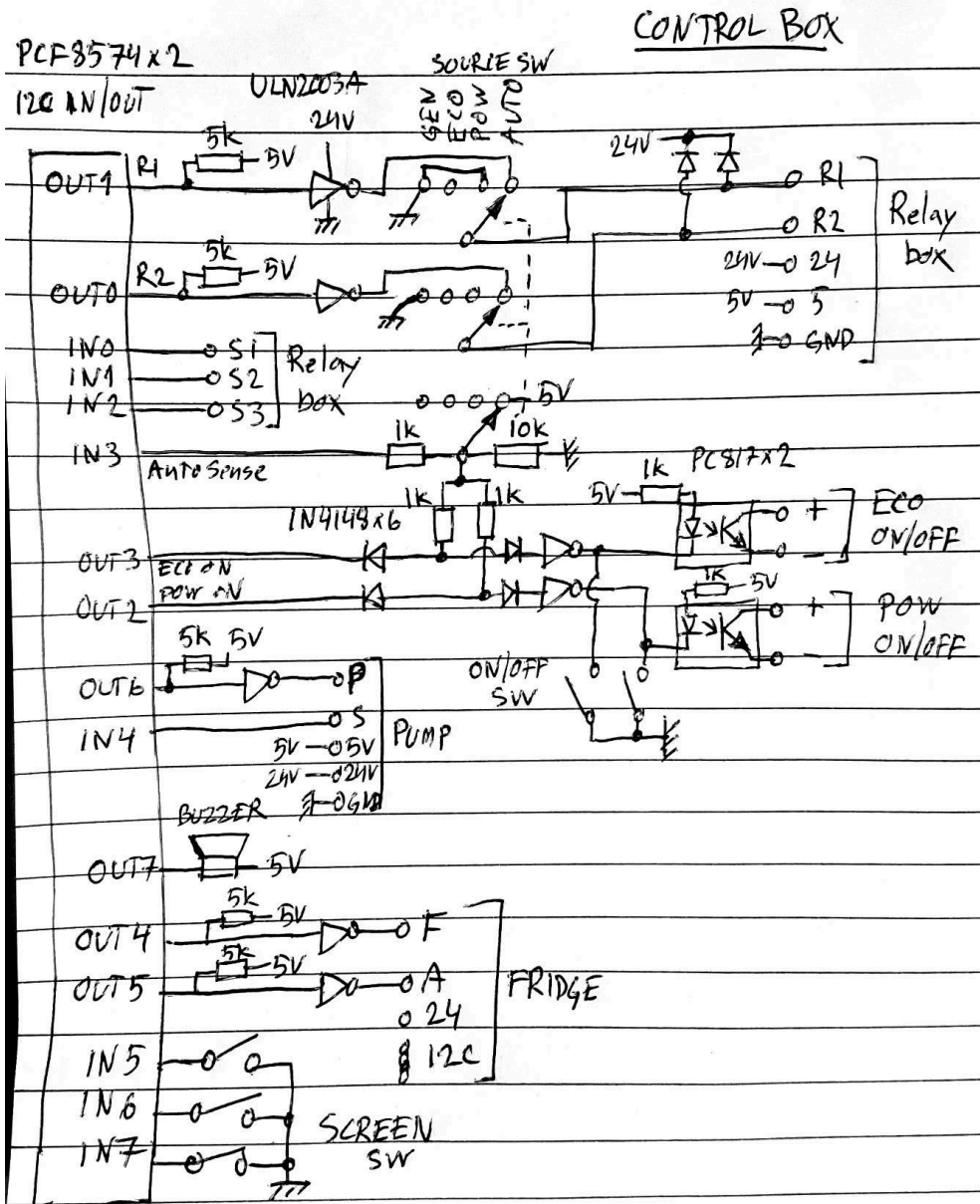
A 0.25 C accuracy temperature sensor, for the -40 C to +125 C range. I2C addresses: 0x18 (battery), 0x19 (outdoor), 0x1A (fridge).

### *PCF8574*

An 8-bit digital I/O device, where each input can be either input or open collector output, with 10 mA sink capability. I2C addresses: 0x20 (8 outputs), 0x21 (8 inputs).

## Control box

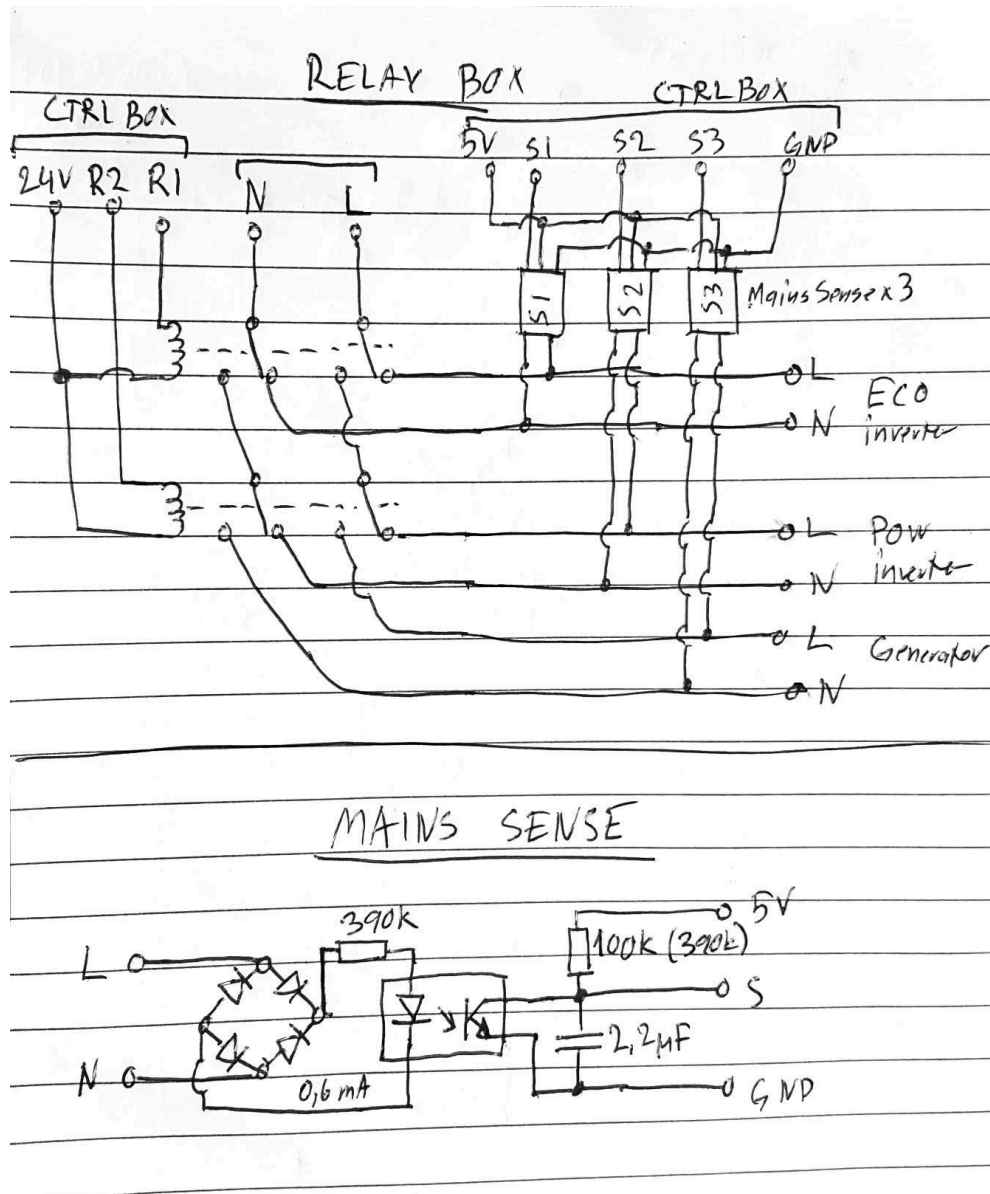
To enable control box functionality the Arduino interfaces to the devices using two PCF8574 I/O devices, connected to electronic components, as shown in the diagram below:



Things to note about the schematic:

- The PCF8574 can't drive relays directly, so a ULN2003 Darlington driver is used.
- The PCF8574 is open collector, so a pull-up resistor is required to drive the ULN2003 inputs.
- The relays require freewheeling diodes (1N4148) to protect the circuit from voltage spikes.
- The on/off for the inverters are done with opto-couplers to isolate the circuits. Only in the auto position will the PCF8574 influence their state.
- The fridge control cable also includes the I2C bus, so it can measure the fridge temperature. The same cable branches off to the outdoor temp sensor.
- This box connects to the power source relay box and the pump relay box, shown below.

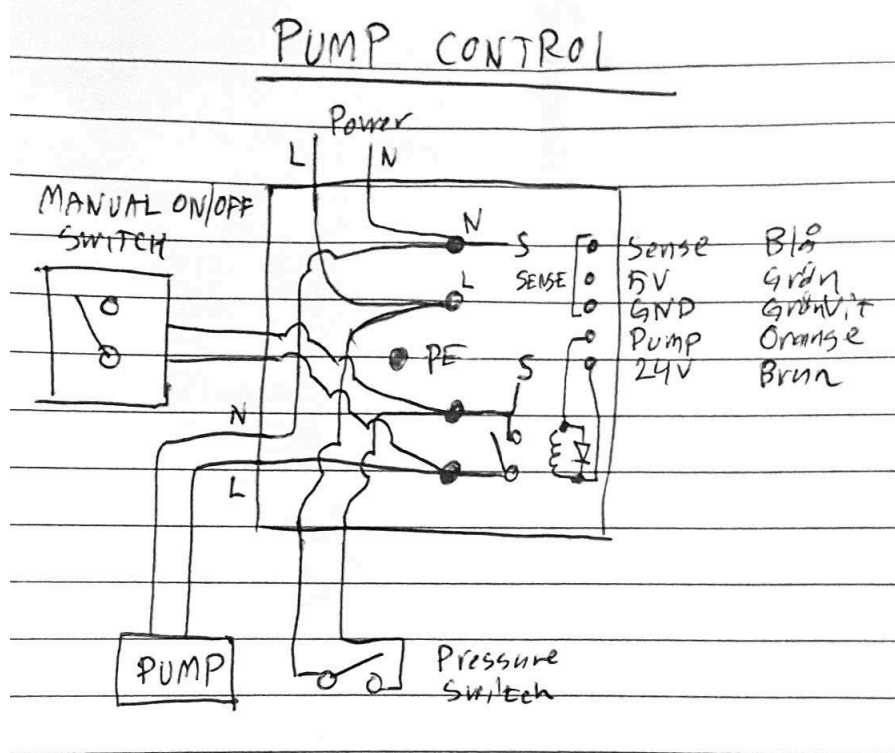
## Power source relay box



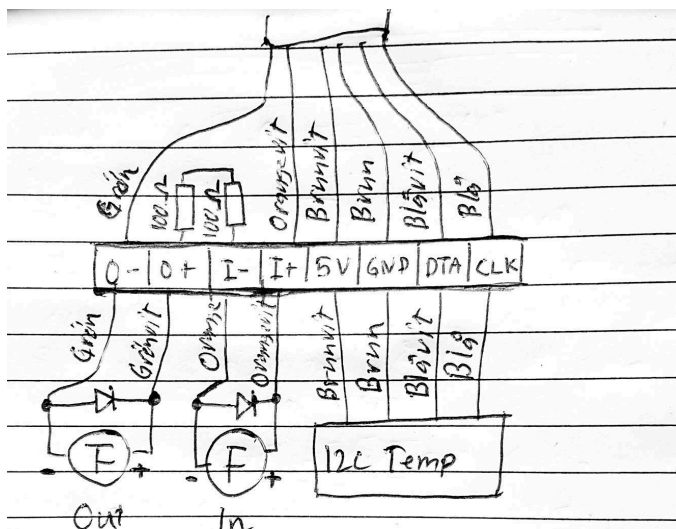
This box has two power relays that select what device will power the house; eco inverter, power inverter or the generator in the garage. The relays are Schrack RM222024, 240 VAC 16 A, 472 ohm/1.2W, 22-34 VDC.

It also has one mains 230 VAC voltage sense circuit per power source, so the control box can sense when a device delivers power, and switch accordingly. The circuits were tested with a 10k ohm resistor from the 5 V supply, but this turned out to be too low. Right now they are using 390 k resistors, but 100 k would have also been fine.  $390\text{ k}/2.2\text{ }\mu\text{F}$  gives a time constant of 0.9 seconds, which is good enough for this circuit. It is active low (logical 0 when it senses a voltage, otherwise logical 1). **NOTE: Power sense is currently only used for the pressure switch on the hydrofor.**

## Pump relay box



This box senses the state of the hydrofor pressure switch; if it delivers 230VAC then it means it is empty and the pump should run. It uses the same sense circuit as the Power source relay box. It also has a relay that can turn on the pump, and a manual switch to override the relay, in case the control box is in



Simon fan: 4,5-13,8 VDC, 0,34W, 400  $\Omega$

## FRIDGE FAN

manual mode. The power comes in from the top, then through the pressure switch, then through the relay/manual switch, and finally to the pump. The relay is Shrack RZ03-1A3-D024, 250VAC 12A, 1440 ohm/0.4 W, 22-34 VDC.

## Fridge fan

One fan at the bottom of the fridge sucks air from the outside into the fridge, and one fan at the top pushes air from the fridge to the outside.

*NOTE: this is an old schematic. The fans are currently connected in parallel with a DC-DC converter taking down the 24 V to 12 V to drive them (small box mounted on the wall).*

An I2C temperature sensor is also inside the fridge to monitor it. The temp is logged on the SD-card.

## INA226 programming

Shunt data: 200 A/75 mV/0.000375 ohm. 200 A @ 24 V = 4800 W max.

The **CONFIG register (0x00)** controls capture timing: 1.1 ms capture time x 256 averages x 2 values = 563 ms. Continuous mode. Resulting value: 0x4B27. The register is read every 250 ms, so no samples will be missed.

The **CALIB register (0x05)** scales the measured value over the shunt, so it gets the best range for either precision or that the calculated power doesn't overflow. This register is not used, because the power is calculated from the measured voltage and current.

INA226 registers to read (all are based on averages, as specified in the config reg):

- **0x01 - SHUNT\_REG** - the voltage of the shunt, LSB = 2.5 uV = 6.66 mA, this means 0.075 V = 30000, -0.075 = -30000
- **0x02 - BUS\_REG** - the voltage of the bus (max 36 V), LSB = 1.25 mV, this means 36 V = 28800.
- **0x04 - CURRENT\_REG** - Not used.
- **0x03 - POWER\_REG** – Not used.

## Coulomb counter

A LiFePO4 battery has extremely low losses during charge and discharge, and very low self discharge. For example a LF280K cell charged and discharged with 0.14C current has a round trip efficiency of 99.84%. This makes it possible to accurately predict SOC using a coulomb counter. This is actually the only way to keep track of SOC, because the voltage over a LiFePO4 cell is so flat in the middle part of the charge curve that cell voltage can't be used to estimate SOC.

The charge calculation is done once every minute, as part of the SD card logging, since there are already accumulated values for the currents over the shunts. To get the charge in Coulombs, the sum of the currents over the two shunts is multiplied by the time (60 seconds). This is added to the coulomb counter. The coulomb counter has a resolution of 0.00667 As, which is equivalent to 0.17 Ws/0.17 J.

The coulomb counter value is then divided by the overall charge capacity (Ah) entered in the settings to get the SOC value (1-100%).

Small measurement errors will over time make the coulomb counter lose precision. It needs a way to reset to a known value, and this is done at very high and very low voltages, where the voltage curve is steep. When the cell voltage reaches 3.43 V the coulomb counter is set to a fixed value that depends on the charge current. This fixed value corresponds to a SOC between 85% (0.5C) and 100% (0.033C). In other words, it is assumed that a LiFePO4 cell reaches 100% SOC at 3.43 V if the charge rate is 0.033C.

Very low charge rates can result in a full cell at a lower voltage. When the charge rate is 0.025C or lower and 3.40 V is reached, it triggers a resets of the coulomb counter to 100%.

The same happens when the cell voltage drops to 3.05 V: The coulomb counter is set to between 1.7% SOC (0.1C) and 4.5% SOC (0.5C). At a cell voltage of 2.80 V the coulomb counter has a hard lower limit of 0. There is also a forced lower adjustment so that if the cell voltage is higher than 3.05V, the SOC value can never get below 1%. This adjustment exists to prevent faulty low values when the rated capacity (Ah) is wrong.

The above three voltage threshold resets happen only once per charge cycle. Immediately after each reset regular coulomb counting is resumed.

The coulomb counter is allowed to get above the rated battery capacity, and this will show as a SOC higher than 100%. This way you can detect if the battery is getting overcharged. Values over 100% will immediately be lowered to 100% as soon as cell voltage drops to 3.37 V, which is the resting voltage of a fully charged cell.

If the manually entered battery capacity (Ah) does not match actual capacity, the SOC value will be off. This will be evident when the voltage thresholds are passed. If all thresholds have a smooth SOC value transition, the entered capacity is correct. To measure actual capacity, let the battery pass the upper threshold (fully charged) and then within 10 days pass the lower threshold (fully discharged). The measured capacity is shown at the settings page. Optionally adjust the rated capacity to match the measured capacity.

## Log file format

The CPU stores real time values to the SD card. Each year has its own file, for example SAMP2022.bin.

Each entry is a struct of the raw 16-bit values read from the sensors, but averaged over a period of one minute (4 Hz read speed, means 240 values per minute to create the average from). Eight values make each struct in total 16 bytes. The year-files must be created ahead of time and filled with null data. There is a routine for this in the Arduino. When logging, the CPU does a simple file seek operation to find the correct position and overwrites the data there. The files are 842640 bytes to have enough space to handle leap years (366 days).

Each entry is as follows:

- Dummy – Not used, because a bug in the file system driver corrupts this value
- Unused – Currently unused.
- Inverter current – The raw value of the shunt register (0x01) of the INA226 inverter shunt
- Solar current – The raw value of the shunt register (0x01) of the INA226 solar shunt
- Outdoor temp – The raw value of the MCP9808 temperature register
- Fridge temp – The raw value of the MCP9808 temperature register
- Battery voltage – The raw value of the bus register (0x02) of the INA226 solar shunt
- Battery temp - The raw value of the MCP9808 temperature register

## **Links**

<https://www.instructables.com/id/How-to-use-24-inch-TFT-LCD-SPFD5408-with-Arduino-U/>

<https://www.instructables.com/id/ARDUINO-SPFD5408-TFT-LCD-2-4-TEMP-and-HUMIDITY-Mon/>

<https://www.youtube.com/watch?v=yKUVNqLjtj-Q>

<https://www.arduinelibraries.info/libraries/spfd5408-tft-library>

<https://forum.arduino.cc/index.php?topic=215334.15>

## ***Arduino programming and libraries***

<https://www.arduino.cc/en/Reference/Libraries>

<http://www.nongnu.org/avr-libc/user-manual/modules.html>

## ***SD card***

<https://arduino.stackexchange.com/questions/28540/how-to-increase-sd-card-write-speed-in-arduino>

<https://hackingmajenkoblog.wordpress.com/2016/03/25/fast-efficient-data-storage-on-an-arduino/>

## ***Arduino development***

<https://www.visualmicro.com/>

<https://devblogs.microsoft.com/iotdev/debug-your-arduino-code-with-visual-studio-code/>

<https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=vsciot-vscode.vscode-arduino>

## ***Battery charging***

[https://batteryuniversity.com/learn/article/how\\_to\\_measure\\_state\\_of\\_charge](https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_measure_state_of_charge)

<https://www.mpoweruk.com/soc.htm>

## ***Battery State of Charge***

<https://footprinthero.com/lead-acid-battery-voltage-charts>