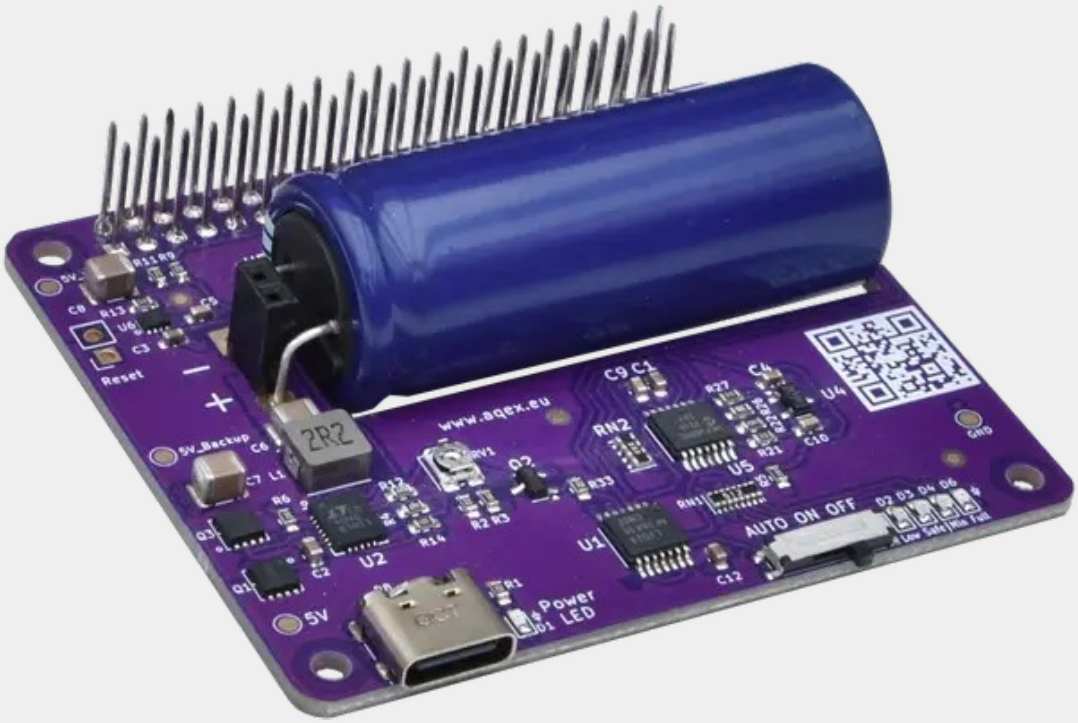
AQEX



Stubborn Balance v1.0

English

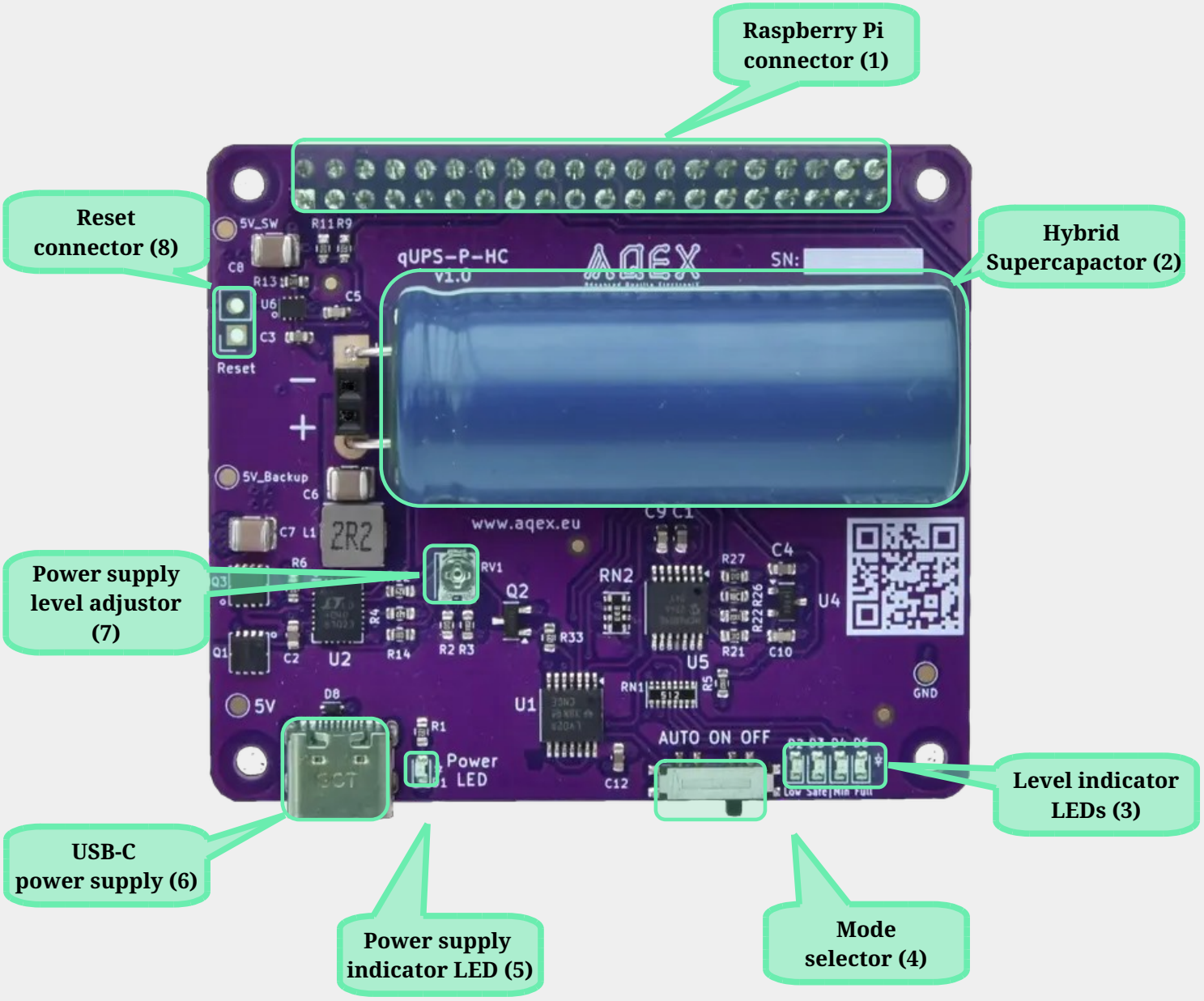
Magyar

User Manual v1.0

2026-July-15

Before configuring or powering your Stubborn Balance board, please review this manual to ensure a safe, optimized setup tailored to your specific application.

The **Stubborn Balance** features multiple hardware configuration nodes, connection interfaces, and diagnostic feedback points. Use the top-view diagram below to familiarize yourself with the physical layout of the board. Throughout this documentation, numbers enclosed in parentheses, such as **(X)**, directly correspond to the reference labels highlighted on this diagram.



1 Safety Guidelines

To prevent personal injury or permanent damage to the equipment, please read and strictly adhere to the following safety regulations before handling the device.

1.1 Personal safety

- **No User-Serviceable Components:** The **Stubborn Balance** contains no user-replaceable parts. Repairs, modifications, or maintenance tasks must only be performed by the manufacturer or an authorized service center.
- **Thermal Hazards:** Although the system operates at a maximum voltage of 5V DC —which is classified as safe low voltage regarding electric shock — high current loops are present. In the event of a short circuit caused by foreign objects, conductive debris, or incorrect wiring, contacts and traces can heat up rapidly, posing a severe risk of burns or fire.

1.2 Product & Environmental Safety

- **Environmental Limits:** Protect all **Stubborn** products from extreme temperatures, high humidity, and prolonged exposure to direct sunlight.
- **Acclimatization:** If the board has been exposed to temperature fluctuations or cold environments, keep it in a dry, room-temperature room for at least 24 hours before installation to prevent condensation damage.
- **Contamination Risk:** Conductive liquids, moisture, or airborne metallic particles can cause catastrophic short circuits and permanent hardware failure. Avoid operating or installing the board in environments exposed to these elements.

CRITICAL POWER WARNINGS – READ BEFORE USE

- **Exclusive Power Source:** The system must be powered **only and exclusively** through the designated power connector **(6)**.
- **No Dual Powering: Never** power the Raspberry Pi (the protected device) from any other external power source while connected. Doing so will cause permanent hardware damage.
- **No Daisy-Chaining or Parallel UPS:** Do not operate multiple Stubborn products together, or combine them with any other uninterruptible power supply (UPS) via the 40-pin terminal connector **(1)**.

2 Welcome & Overview

Thank you for choosing the **AQEX Stubborn Balance** to safeguard your hardware!

Engineered for uncompromising reliability, the **Stubborn** family ensures seamless, uninterrupted operation under diverse conditions to meet the demands of both professional and maker projects.

- **Broad Compatibility:** While optimized for Raspberry Pi and compatible single-board computers, the system can protect any 5V DC device with a maximum power consumption of 3.5 A (hereafter referred to as the **"Protected Device"**).
- **Next-Gen Energy Storage:** As the hybrid supercapacitor-powered member of the family, the **Stubborn Balance** offers a maintenance-free, ultra-long-life power backup solution. By utilizing specialized **Hybrid Supercapacitors (HSC)** instead of traditional batteries, it delivers vastly superior charge-cycle life and exceptional thermal stability, while providing significantly higher energy storage capacity than classic supercapacitors.
- **Scalable Backup:** Your exact backup runtime is determined by your chosen capacity **(850F or 1100F)** and the actual power draw of your Protected Device. **Please refer to the runtime estimation table below for detailed performance metrics.**

Raspberry model	850F [min]	1100F [min]
RPi4 idle	41	
RPi4 full load	14	
RPi5 idle	28	
RPi5 full load	13	

Table 1: Expected operating time [minutes]

2.1 Applications & Use Cases

2.1.1 Ideal Use Cases

Thanks to the high energy density of the **Hybrid Supercapacitors (HSC)**, the **Stubborn Balance** is the perfect safeguard for environments prone to power fluctuations, short-term outages, or voltage surges. It is designed to support microcomputers, single-board computers, microcontrollers, and any 5V DC devices by providing:

- **Power Outage Protection:** Keeps your system running seamlessly through short-term power drops.
- **Pre-Shutdown Task & Communication Management:** Ensures the system has enough time to complete ongoing processes and send out critical status alerts or data packages before power loss.
- **Safe Disconnection & Shutdown:** Enables the Protected Device to achieve a clean, controlled, and safe hardware disconnection without risk of data corruption.
- **Overvoltage & Surge Protection:** Shields sensitive electronics from damaging voltage spikes.
- **Automated Recovery:** Ensures a clean, safe system restart once main power is fully restored.

2.1.2 Operational Limitations (Not Suited For)

- **High-Power Devices:** This system is specifically engineered for low-power and single-board applications. With a maximum current draw of 3**.5 A (17.5W)**, it is not suitable for high-power computers or heavy industrial loads requiring higher amperage.
- **Extended Multi-Day Backup:** Unlike traditional high-capacity chemical batteries, supercapacitor technology is optimized for rapid charging, extreme cycle life, and short-to-medium-term backup. For multi-day off-grid operation, alternative battery-based solutions should be considered.

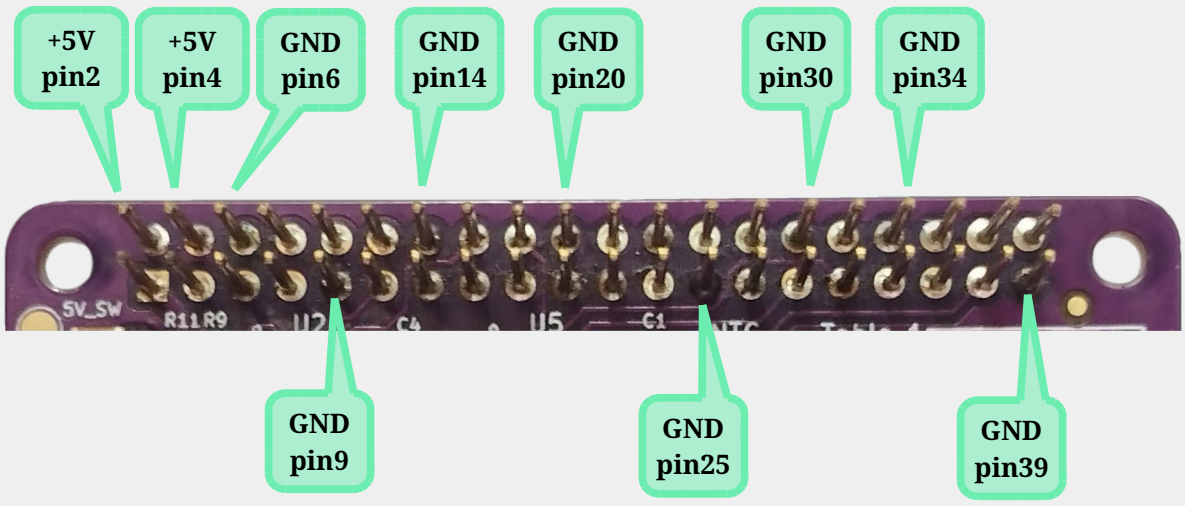
3 Installation & Setup

3.1 Initial Commissioning

The **Stubborn Balance** is ready for use immediately after unpacking. It offers universal compatibility with 5V DC devices through two primary connection methods:

- **Plug-and-Play (SBCs):** Optimized as a HAT for single-board computers equipped with a Raspberry Pi-compatible 40-pin header. Simply align and plug the product's socket **(1)** onto the computer's pin header.

- **Universal 2-Pin Connection:** For non-HAT or generic 5V DC devices, power can be drawn using the appropriate +/- contacts on the 40-pin header **(1)**.



3.2 Power Supply Requirements

To ensure stable operation and optimal charging, the input power supply must meet the following specifications:

- **Voltage:** Standard 5V – 5.2V DC
- **Current:** Minimum 2.0 A (**3.0 A recommended**)
- **Interface:** Connect via the USB-C port **(6)**.
- **Status Indicator:** The presence of input power is indicated by **LED (5)**.

⚠ **Power Supply Compatibility Note:** Smart power supplies that automatically disable their 5V output when no device is detected (such as the official Raspberry Pi 5 PSU) are fully supported and compatible with the **Stubborn Balance**.

⚠ **CRITICAL POWER DELIVERY NOTE**

- **Combined Load Handling (Smart DC-DC Charging):** The input power supply must simultaneously power the Protected Device and handle the load of charging the supercapacitors. The system utilizes highly efficient DC-DC charging; so while the internal charging current reaches up to **2.0 A**, the actual current drawn from your 5V power supply is significantly lower (depending on the real-time voltage of the supercapacitors) and decreases as they charge.
- **The "Passthrough" Trap:** Even with efficient DC-DC conversion, the power supply must still handle this combined demand. A lower-quality power supply might run a Raspberry Pi perfectly on its own, but fail when connected through the **Stubborn Balance** during the active charging phase.
- **Voltage Stability:** Avoid low-quality power supplies or high-resistance cables. If the power supply cannot maintain stable voltage under this combined load, the voltage may drop below the threshold tolerated by the Protected Device, leading to sudden brownouts, instability, or unexpected shutdowns. If you experience instability, replace the power supply with a high-quality, high-rated unit immediately.

For a list of verified power supplies and troubleshooting steps, please refer to the Appendix.

3.2.1 Reset Connector (8) Functions & Operation

The primary function of the Reset connector (8) is to provide a momentary power interruption to the Protected Device.

3.2.1.1 Installation Options

The connector features a standard 2.54 mm pitch layout, allowing you to easily solder or connect:

- A push button or toggle switch
- A standard 2.54 mm pin header
- External wiring/cables

3.2.1.2 How It Works

- **Power Interruption (Reset):** Closing the circuit (bridging the two contacts) immediately cuts power to the Protected Device, stopping its operation for the exact duration the contacts remain connected. Releasing the connection restores power (performing a hard reset).
- **Permanent Shutdown:** Keeping the contacts permanently closed allows you to switch off the power supply to the Protected Device indefinitely from an external control source.

CRITICAL ELECTRICAL RULES

- **Dry Contact Only:** The Reset connector is designed **exclusively for dry contacts** (open/closed circuit). **Applying external voltage to these pins is strictly prohibited** and will cause permanent damage.
- **Polarity Independent:** The two contacts are non-polarized; the connection is polarity-independent.

3.2.2 GPIO Pin Mapping & Communication Protocol

The **Stubborn Balance** features a passthrough design, ensuring that all GPIO pins of the Protected Device remain fully accessible on the top side of the board via the 40-pin header **(1)**.

To manage automated backups and smart power tracking, the system reserves **three specific GPIO pins** for data exchange. All remaining pins are completely free for your custom applications.

Signal	Physical Pin	GPIO	Function
pfo	Pin 16	GPIO 23	Power Good / Main Power Status
lim	Pin 18	GPIO 24	Low Energy Limit Alert
shd	Pin 22	GPIO 25	Protected Device Shutdown Control

3.2.2.1 Signal Logic & Operation

- **`pfo` (Power Fail / Power Good)**
    - **HIGH (Logic 1 / TRUE):** Main power is connected and stable. The Protected Device is running on external utility power.
    - **LOW (Logic 0 / FALSE):** Main power is lost. The **Stubborn Balance** has instantly switched to the energy stored in the supercapacitors to keep your system online.
- **`lim (Energy Storage Limit)`**
    - **HIGH (Logic 1 / TRUE):** The supercapacitor charge level is safe and above the critical threshold.
    - **LOW (Logic 0 / FALSE):** The stored energy has dropped to a critical level. A safe, automated system shutdown sequence should be initiated immediately.
- **`shd (Shutdown Status & Boot Control)`**
    - **HIGH (Logic 1 / TRUE)**: Indicates to the **Stubborn Balance** that the Protected Device is running and operational.
    - **LOW (Logic 0 / FALSE)**: Signals that the Protected Device has successfully completed software shutdown and is safe to power off.

3.2.2.2 Smart Boot & Protection Logic

The **Stubborn Balance** features an advanced interlock system to handle automatic recovery and prevent system freeze states:

- **Clean Hardware Power-Off:** When the energy storage drops below the critical limit (`lim` goes LOW), the Pi is expected to initiate a software shutdown. As soon as the Pi shuts down and the `shd` pin drops to **LOW**, the **Stubborn Balance** completely cuts the power to the Pi, ensuring a clean, total reset.
- **Freeze & Runaway Protection:** If the Pi fails to shut down properly (the `shd` pin stays HIGH) and external power suddenly returns, the system **intentionally disables input charging**. This prevents a crashed or hung Pi from indefinitely draining the system. The power will remain blocked until the supercapacitors fully deplete and the system naturally powers down.
- **Safe Recharge & Auto-Boot:** Once the system has fully powered down (either via a clean shutdown or complete depletion), and external input power is available, the **Stubborn Balance** will unblock and enable charging. It will first safely recharge the supercapacitors to a secure level before restoring power to the Protected Device, ensuring it boots up with a fully armed power shield.

3.2.3 Hybrid supercapacitor charging

If the power supply cannot handle the combined load of the 2A charging current and the current drawn by the protected device, replace the power supply.

The external power supply may be able to operate the Raspberry Pi without the **Stubborn Balance,** but not through it. The reason can be that the power supply does not have enough power to meet the increased current demand caused by the battery charging.

It is recommended to avoid a lower quality power supply. When used, current consumption below the indicated maximum load may cause voltage stability problems. If the voltage drops below the level tolerated by the protected device, shutdown or unstable operation will occur.

3.3 Setup

3.3.1 Hardware Configuration & Setup

3.3.1.1 Input Voltage Threshold Adjustment (Potentiometer 7)

The **potentiometer (7)** allows you to fine-tune the input voltage threshold. This adjustability ensures optimal compatibility and seamless switching across various power supply units and connected device configurations.

- **How It Works:** The potentiometer sets the specific voltage boundary. If the external power supply drops below this threshold, the **Stubborn Balance** instantly switches to backup power mode. Once external power rises back above this limit, the system returns to utility power.
- **If set too HIGH:** The system becomes overly sensitive. It may trigger unnecessary switching between modes or, in extreme cases, remain permanently locked in backup mode.
- **If set too LOW:** The system will respond too slowly to a voltage drop. It may fail to switch to backup mode in time, leading to an unexpected shutdown of the Raspberry Pi.

3.3.1.2 Mode Selection Switch (4)

The onboard **mode switch (4)** features three distinct positions to control the operational logic of the system:

- **OFF Mode:** The system completely isolates and cuts power to the Protected Device, regardless of whether external utility power is available or how much energy is stored in the supercapacitors.
- **ON Mode (Manual Overrule):** The system provides continuous power to the Protected Device as long as external power is available or there is energy remaining in the supercapacitors.
    - *Note:* In this mode, if external power is lost while the supercapacitor charge is already low, the system cannot guarantee enough runtime for a clean, regulated software shutdown cycle.
- **AUTO (Automatic) Mode:** The recommended smart mode. The system actively monitors power and completely guarantees the execution of a clean boot and automated safe shutdown cycle, fully protecting your data regardless of when or how unexpectedly external power is lost.

3.3.2 Software Configuration & Integration

The **Stubborn** family actively shares real-time power and status telemetry with the Protected Device. This enables your system to detect power anomalies instantly and execute a safe, automated data-saving and shutdown sequence before the supercapacitors are depleted.

To give you complete control and flexibility, **the control software is fully open-source**. You can easily review, modify, or integrate the code directly into your custom OS images or enterprise deployments.

3.3.2.1 Installing the Control Daemon

The official open-source control software can be downloaded and inspected directly from the AQEX GitHub repository:
👉 https://github.com/aqexhu/qups-guard

3.3.2.2 Basic Configuration

To configure the software for the **Stubborn Balance**, you must specify the correct GPIO communication profile. Run the daemon with the following mandatory parameter:

```
qups-guard --dip 01
```

3.3.2.3 Advanced Tuning: Voltage Drop & Shutdown Delayptional

Under heavy system load, internal resistance and voltage losses can cause the system to read a lower supercapacitor voltage than the actual baseline. If an immediate software shutdown were triggered, the sudden drop in power consumption would cause the measured voltage to jump back up, potentially reaching the threshold where the hardware tries to turn the device back on (causing an unstable power loop).

To eliminate this phenomenon, you can use the optional tuning parameters to safely lower the cut-off voltage threshold or introduce a delay:

```
qups-guard --dip 01 --shutdown-delay 20
```

(This parameter filters out temporary voltage dips and ensures the Protected Device only initiates a shutdown when the power loss is permanent and stable, preventing accidental power-cycling.)

4 System Operation & Behavior

If properly installed, the **Stubborn Balance** operates fully automatically under normal conditions using its default settings. The device instantly initiates charging as soon as an external power supply is connected.

4.1 Operating Modes & Safety Characteristics

4.1.1 AUTO Mode: Intelligent Startup Protection

In **AUTO** mode, the primary objective of the **Stubborn Balance** is to maintain absolute system integrity. Power is delivered to the Raspberry Pi only after the supercapacitors have reached a verified safe charge level. This ensures there is always enough stored energy to execute a guaranteed software shutdown if external power fails immediately after boot.

- **Startup Delay (What to Expect):** After connecting the power supply, the system will not boot the Pi instantly. Depending on how deeply discharged the supercapacitors are and the capability of your power supply, this pre-charging phase can take up to several minutes.
- **The Process:** The controller isolates the Pi, focuses all available power on charging the supercapacitors past the critical threshold, and only then releases power to boot the Raspberry Pi.
- **The Advantage:** This strict gating completely prevents **boot loops** (where the Pi's heavy startup current drops an uncharged power source below the critical threshold, causing the system to repeatedly crash and reboot).

4.1.2 ON Mode: Manual Override & Risks

In **ON** mode, the **Stubborn Balance** bypasses safety checks, instantly powering up the connected Raspberry Pi regardless of the supercapacitor charge level or external power stability.

- ⚠️ **SAFETY WARNING:** Software-driven power protection is severely limited in this mode. If external power fails while the supercapacitor charge is insufficient, the Raspberry Pi will suffer an immediate, ungraceful hardware power-off.
- **Consequences:** Sudden power loss can corrupt the operating system, damage the SD card file system, or cause critical data loss.
- **Recommendation:** Use **ON** mode exclusively for bench testing or when operating from an absolutely stable, uninterruptible upstream power source. **AUTO** mode is highly recommended for all production environments.

4.1.3 Advanced Hardware & Voltage Dynamics

4.1.3.1 Voltage Rebound & The Shutdown Loop

Due to internal resistance (ESR) and minor losses across traces and connectors, the voltage measured at the supercapacitor terminals drops slightly below the actual cell voltage under heavy load.

This physics-based delta is critical during the shutdown sequence:

1. **Low Voltage Trigger:** When the energy storage drops, the software detects the low-voltage threshold and initiates a safe Pi shutdown.
2. **Voltage Rebound:** At the very end of the shutdown process, the Pi's current consumption drops dramatically to near-zero. This sudden removal of the load causes the measured supercapacitor voltage to rebound (jump upward).
3. **The Lockup Phenomenon:** If this rebounded voltage rises back above the hardware's cut-off threshold, the controller assumes the storage has not actually been depleted. Consequently, it keeps the power rail active. The Raspberry Pi then remains stuck in a permanent "halted/shutdown" state (powered, but not running) and cannot auto-reboot when power returns.
4. **The Solution:** The qups-guard software allows you to configure a **shutdown delay**. This keeps a controlled load on the system for a calculated duration after the shutdown command, ensuring the voltage remains safely below the critical hardware threshold until the power is fully cut.

4.1.3.2 Trickle Charging (Deep Discharge Recovery)

When the supercapacitor voltage drops below **2.8 V – 2.9 V**, the charging circuit automatically enters **Trickle Charging mode** to safely condition the cells.

- **Operational Impact:** In this state, the charging current is strictly limited to a fraction of the standard 2.0 A current. If the system has been deeply discharged, it will take significantly longer to pass the initial startup threshold since the charging process begins at a much slower pace

4.1.3.3 Startup Inrush Instability

When attempting to recharge a completely depleted system, the red **"Low" LED** may occasionally flash, indicating temporary startup instability.

- **The Cause:** This occurs if the input power supply struggles to handle the sudden, massive inrush current demanded by the empty supercapacitors. The heavy initial load causes the supply voltage to sag, prompting the input sensor to temporarily disable charging for safety. Once disabled, the supply voltage recovers, the system attempts to charge again, and the cycle repeats.
- **Behavior:** This cycling typically stabilizes itself automatically within **5–10 seconds** as the internal buffering components and supercapacitors reach their base operational levels.

4.1.4 Storage & Power Supply Switching

4.1.4.1 Long-Term Storage Considerations

Even when the mode switch is set to **OFF**, the internal control logic and indicator LEDs of the **Stubborn Balance** draw a microscopic quiescent current. Over several days without an external power source, this continuous load will fully deplete the supercapacitors.

- **Deep Discharge Resiliency:** For safety, the onboard charging IC completely disconnects the load at a **2.5 V threshold**. It is important to note that **Hybrid Supercapacitor (HSC) technology is immune to deep discharge degradation**. Unlike traditional lithium batteries, HSC cells can safely sit at a 0V state for extended periods without sustaining physical damage, allowing for immediate recommissioning even after months of storage.

4.1.4.2 Power Supply Switchover Dynamics

The **Stubborn Balance** continuously monitors the external input. If the main power fails or drops below the limit configured by the **potentiometer (7)**, the system instantly engages backup power.

- **Switchover Speed:** The transition from external utility power to supercapacitor backup is extremely fast, taking a mere **100–300 µs**.
- **Raspberry Pi Warning:** Due to this microsecond transition, the Raspberry Pi may occasionally log a brief `Under-voltage detected!` system warning. This is a normal cosmetic artifact of the Pi's hyper-sensitive power monitoring and does **not** cause hardware instability, software malfunctions, or unexpected reboots.
- **Mains Restoration:** When external power returns, the system seamlessly switches back to utility power and automatically tops off the supercapacitors. No alerts or warnings are triggered during the return to mains power.

Figure 1: Raspberry Pi at 50% load

4.2 Intelligent Functions & Event Handling

The **Stubborn Balance** provides real-time power telemetry and status updates to the Protected Device. This ensures that during extended outages, your system receives a timely warning to initiate a safe, graceful shutdown before the supercapacitors are fully depleted.

Once the **Stubborn Balance** detects that the Protected Device has completed its shutdown sequence, it cuts the main power rail. This completely prevents the system from getting stuck in a halted, unresponsive state, guaranteeing a clean and successful hardware reboot as soon as external power returns.

4.2.1 Hardware Telemetry Signals

The operating system or background daemon on the Protected Device can monitor the hardware status of the **Stubborn Balance** in real time. The board continuously outputs two hardware signals via the designated GPIO pins:

- **`PFO` (Power Fail Output):** Indicates the presence or loss of the external power supply.
- **`LIM` (Limit / Low Energy):** Indicates when the supercapacitor charge level has dropped below the safe operational threshold.

By monitoring state changes on these GPIO pins, your system service can instantly trigger custom scripts or safety mechanisms (such as flushing database caches or unmounting drives).

🛠️ **Developer Resources:** To make integration as seamless as possible, we provide open-source helper utilities and libraries written in both **C** and **Python**.

Find full code examples, active monitoring scripts, and setup guides on our official repository:
👉 https://github.com/aqexhu/qups-guard

4.3 LED Charge Level Indicators

The real-time energy level of the supercapacitors is displayed via the onboard LED group **(3)**.

Rather than showing raw percentages, these LEDs serve as **functional status indicators**. Because supercapacitor discharge curves and system power demands vary, these levels do not reflect charge linearly. Instead, they represent specific operational capabilities:

LED	Color	Level Name	Operational Meaning & System Behavior
1	🔴 Red	**Low**	Critical low level. The system can lose power at any moment. In **AUTO** mode (with the corresponding SHD pin low), reaching this level triggers an immediate physical power cut to the Protected Device.
2	🟡 Yellow	**Safe**	Sufficient energy is stored to guarantee a safe, graceful software shutdown sequence.
3	🟢 Green	**Min**	Sufficient energy for exactly one clean boot and one full shutdown cycle. In **AUTO** mode, the Protected Device is released to start up once this level is reached.
4	🟢 Green	**Full**	Fully charged. Maximum energy reserve achieved.

5 Appendix

5.1 Technical data

The following table summarizes the electrical, mechanical, and operational specifications of the **Stubborn Balance** board.

Category	Parameter	Specification / Value
Energy storage Device	Energy storage	Hybrid Supercapacitor (HSC)
	Charge cycle	50.000
	Operation temperature	-20 .. +65˚C
	RPi4 idle backup time - 850F	41 minutes
	RPi4 full load backup time - 850F	14 minutes
	RPi5 idle backup time - 850F	28 minutes
	RPi5 full load backup time - 850F	13 minutes
Physical parameters	Form factor	Raspberry Pi HAT
	Dimensions	65x56x15mm + 11 mm (connector **(1)**)
	Stackable	✓
	Replaceable battery	✗

Category	Parameter	Specification / Value
Electric parameters	Charging current	2A
	Maximum discharge current	7.5A
	Maximum load current	3.5A
	Output voltage	5V
Connectors	Main power input	USB-C
	Auxillary power input	✗
	Reset	✓
Power Supply	Main Input (USB-C)	5V
	Auxiliary Input	✗
	USB PD (RPi5) compatibility	✓
Communication	Method	3 GPIO port
	GPIO port allocation	1 option
	Disabling option	✗
Setup	Mode options	AUTO-ON-OFF
	Adjustable level threshold	✗
	Adjustable input voltage threshold	✓
Control	External control of the power of Raspberry Pi	✓
Indication	Input Power	✓
	Battery voltage level	4 LED
Software	Control software	C++ és Python
	Open source	✓

5.2 List of supported power adapters

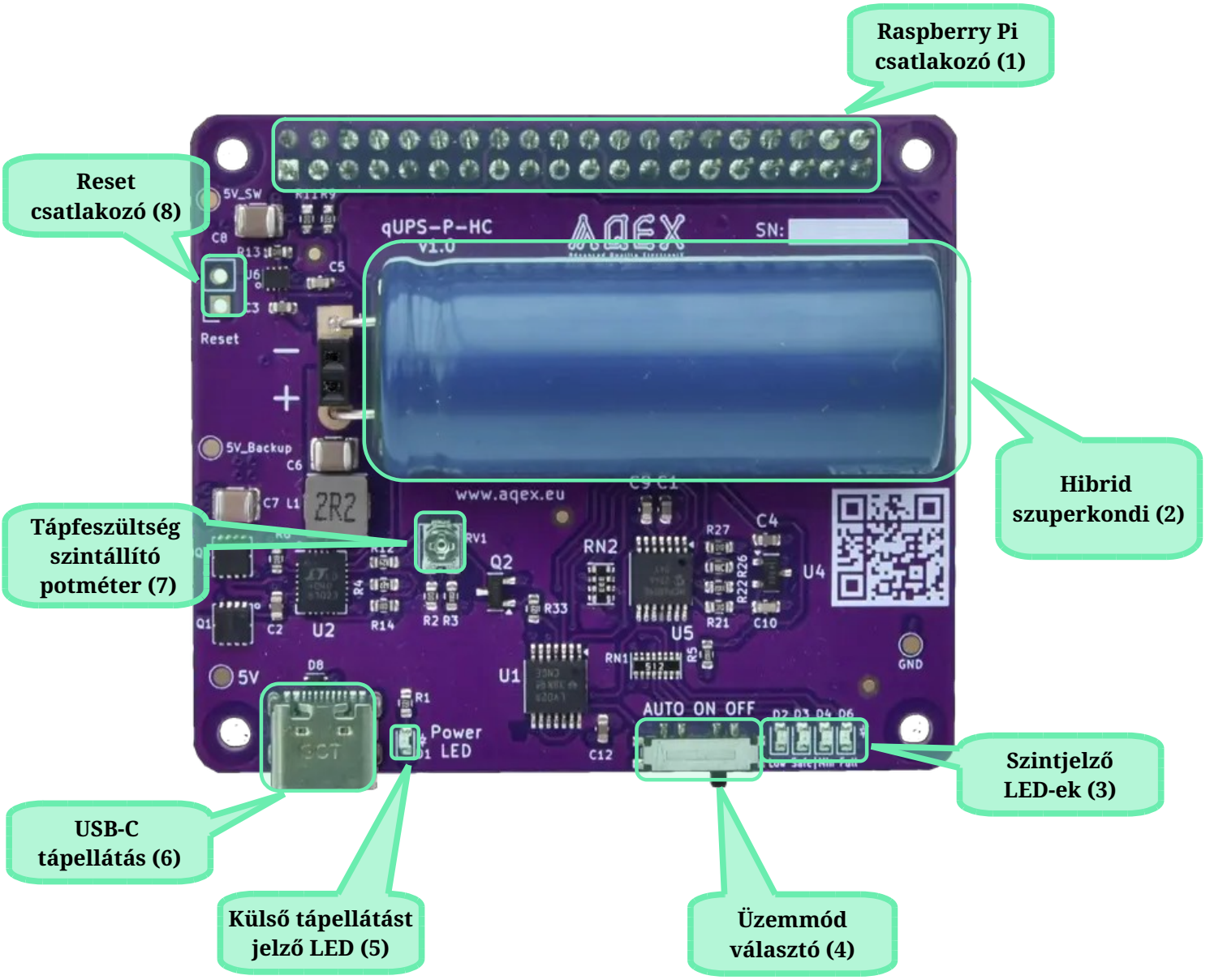
- RaspberryPi official power adapter 5V@2.4A
- RaspberryPi 5 official power adapter 5V@5A
- Goobay 43651 5V@2.1A

5.3 Troubleshooting

Symptom	Cause of error	Solution
If an external power supply is present, the "External power LED" (6) is not lit	External power supply problem	Replace the power supply
Raspberry Pi will not start if the "Min" LED is on	Mode switch (4) is on **OFF** state	Mode switch (4) must be set to **ON** or **AUTO**
The circuit does not charge the battery below 2.9V.	The circuit charges only with trickle charging.	See section 4.3.

A Stubborn Balance konfigurálása és tápellátásának csatlakoztatása előtt kérjük, figyelmesen olvassa el ezt a kézikönyvet. Ezzel biztosíthatja a biztonságos, optimalizált és az Ön egyedi alkalmazási igényeire szabott beüzemelést.

A **Stubborn Balance** számos hardveres konfigurációs ponttal, csatlakozási felülettel és diagnosztikai visszajelzővel rendelkezik. Az alábbi felülnézeti ábra segítségével könnyen megismerkedhet a kártya fizikai elrendezésével. Ebben a dokumentációban a zárójelben szereplő számok – mint például az **(X)** – közvetlenül az ezen az ábrán kiemelt hivatkozási pontokra és jelölésekre utalnak.



1 Biztonsági előírások

A személyi sérülések és a berendezés maradandó károsodásának elkerülése érdekében kérjük, hogy a készülék használata előtt figyelmesen olvassa el és szigorúan tartsa be az alábbi biztonsági szabályokat.

1.1 Személyi biztonság

- **Nincsenek felhasználó által javítható alkatrészek:** A **Stubborn Balance** nem tartalmaz házilag cserélhető elemeket. Bármilyen javítást, módosítást vagy karbantartást kizárólag a gyártó vagy az arra feljogosított szakszerviz végezhet.
- **Égési és tűzveszély:** Bár a rendszer maximum 5V DC feszültséggel működik – ami érintésvédelmi szempontból biztonságos törpefeszültségnek minősül –, a kártyán nagy áramerősségű körök találhatók. Idegen tárgyak, vezetőképes szennyeződések vagy hibás kábelezés okozta rövidzárlat esetén az érintkezők és a nyomtatott áramköri vezetékek rendkívül gyorsan felforrósodhatnak, ami súlyos égési sérülést vagy tüzet okozhat.

1.2 Termék- és környezetbiztonság

- **Környezeti határértékek:** Óvja az összes Stubborn terméket a szélsőséges hőmérséklettől, a magas páratartalomtól és a tartós, közvetlen napsugárzástól.
- **Akklimatizáció:** Ha a kártyát jelentős hőmérséklet-ingadozás érte vagy hideg környezetben tárolták, a páralecsapódás okozta károk elkerülése érdekében a beépítés előtt legalább 24 órán át tartsa száraz, szobahőmérsékletű helyiségben.
- **Szennyeződések veszélye:** A vezetőképes folyadékok, a nedvesség vagy a levegőben szálló fémrészecskék végzetes rövidzárlatot és a hardver helyrehozhatatlan meghibásodását okozhatják. Kerülje a kártya használatát és telepítését ilyen hatásoknak kitett környezetben.

KRITIKUS TÁPELLÁTÁSI FIGYELMEZTETÉSEK – HASZNÁLAT ELŐTT OLVASSA EL!

- **Kizárólagos tápforrás:** A rendszert kizárólag és kötelezően a kijelölt tápcsatlakozón (6) keresztül szabad megtáplálni.
- **Tilos a kettős táplálás:** Soha ne táplálja a Raspberry Pi-t (a védett eszközt) semmilyen más külső áramforrásról, miközben az a kártyához van csatlakoztatva. Ennek figyelmen kívül hagyása azonnali és maradandó hardverkárosodást okoz.
- **Tilos a sorbakötés és a párhuzamos UPS használata:** Ne üzemeltessen több Stubborn terméket összekapcsolva, és ne kombinálja őket semmilyen más szünetmentes tápegységgel (UPS) a 40-pólusú csatlakozón (1) keresztül.

2 Bevezető

Köszönjük, hogy az AQEX **Stubborn Balance**-ot választotta hardvere védelmére! A kompromisszummentes megbízhatóságra tervezett **Stubborn** család zökkenőmentes, megszakítás nélküli működést biztosít változatos körülmények között is, hogy tökéletesen megfeleljen mind az ipari/professzionális, mind a „maker” (hobbifejlesztői) projektek elvárásainak.

- **Széles körű kompatibilitás:** Bár a rendszert elsősorban Raspberry Pi-re és azzal kompatibilis egylapos számítógépekre optimalizáltuk, bármilyen egyéb, legfeljebb 3,5 A áramfelvételű, 5V DC feszültséggel működő eszközt képes megvédeni (a továbbiakban: „**védett eszköz”**).
- **Újgenerációs energiatárolás:** A termékcsalád hibrid szuperkondenzátoros tagjaként a **Stubborn Balance** karbantartásmentes, rendkívül hosszú élettartamú tartalék tápellátást biztosít. A hagyományos akkumulátorok helyett alkalmazott speciális **hibrid szuperkondenzátorok (HSC)** nagyságrendekkel több töltési-kisütési ciklust viselnek el, és kiemelkedő hőmérsékleti stabilitással rendelkeznek, miközben a klasszikus szuperkondenzátorokhoz képest lényegesen nagyobb energiatároló képességet biztosítanak.
- **Skálázható áthidalási idő:** A pontos áthidalási időt a választott kapacitás (850F vagy 1100F) és a védett eszköz tényleges áramfelvétele határozza meg. A részletes teljesítményadatokat a dokumentumban található áthidalásiidő-becslési táblázat tartalmazza.

Raspberry modell	850F [perc]	1100F [perc]
RPi4 üresjárat	41	
RPi4 max. terhelés	14	
RPi5 üresjárat	28	
RPi5 max. terhelés	13	

1. tábblázat: Várható üzemidő [perc]

2.1 Alkalmazási területek és használati esetek

2.1.1 Ideális alkalmazási területek

A hibrid szuperkondenzátorok (HSC) nagy energiasűrűségének köszönhetően a **Stubborn Balance** tökéletes védelmet nyújt az áramingadozásoknak, rövid távú kimaradásoknak vagy feszültséglökéseknek kitett környezetben. Úgy terveztük, hogy mikroszámítógépek, egylapos számítógépek, mikrokontrollerek és bármilyen 5V DC feszültségű eszköz működését támogassa az alábbiak biztosításával:

- **Áramkimaradás elleni védelem:** Zökkenőmentesen tartja üzemben a rendszert a rövid távú feszültségesések és kimaradások alatt.
- **Leállás előtti folyamatok és kommunikáció kezelése:** Biztosítja, hogy a rendszernek elegendő ideje legyen a futó folyamatok befejezésére, valamint a kritikus állapotjelzések vagy adatcsomagok elküldésére a leállás előtt.
- **Biztonságos leállítás és leválasztás:** Lehetővé teszi, hogy a védett eszköz tiszta, ellenőrzött és biztonságos hardveres leállást hajtson végre, kiküszöbölve az adatvesztés vagy a fájlrendszer sérülésének kockázatát.
- **Túlfeszültség és feszültségtüskék elleni védelem:** Megvédi az érzékeny elektronikát a káros feszültségtüskéktől.
- **Automatikus helyreállítás:** Biztosítja a rendszer tiszta és biztonságos újraindulását, amint a hálózati tápellátás teljesen helyreállt.

2.1.2 Működési korlátok (Amire nem alkalmas)

- **Nagy teljesítményű eszközök:** Ezt a rendszert kifejezetten kis teljesítményű és egykártyás számítógépes alkalmazásokhoz tervezték. A maximális 3,5 A (17,5 W) áramfelvételi korlát miatt nem alkalmas nagy teljesítményű számítógépek vagy nagyobb áramerősséget igénylő, nehéz ipari berendezések táplálására.
- **Többnapos áthidalási idő:** A hagyományos, nagy kapacitású kémiai akkumulátorokkal ellentétben a szuperkondenzátoros technológiát a gyors tölthetőségre, a rendkívül magas ciklusélettartamra, valamint a rövid és közepes távú áthidalásra optimalizálták. Ha több napos, hálózaton kívüli (off-grid) működésre van szükség, arra a hagyományos, akkumulátor-alapú megoldások alkalmasabbak.

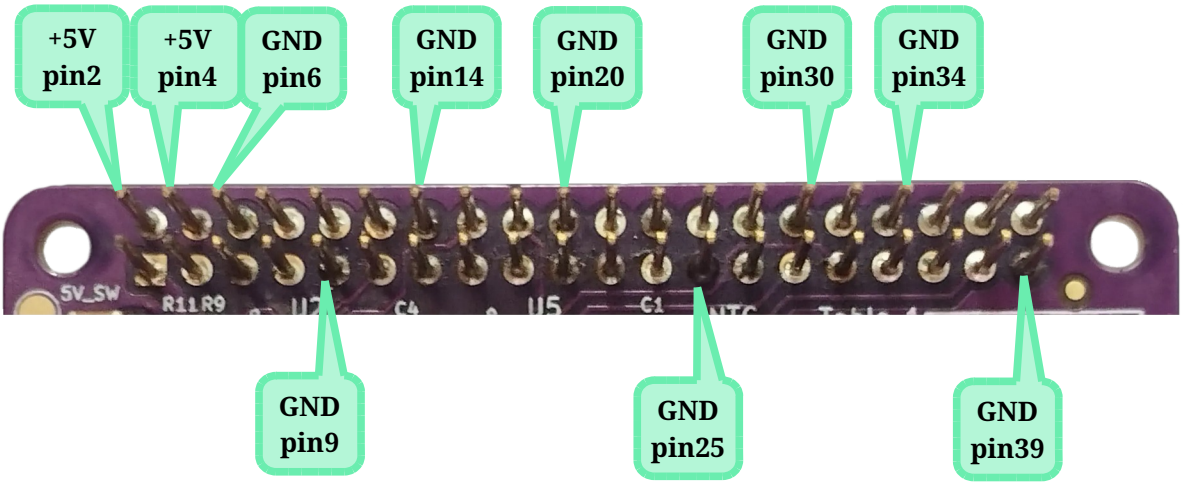
3 Telepítés és beállítás

3.1 Első üzembe helyezés

A **Stubborn Balance** a kicsomagolást követően azonnal használatra kész. Két elsődleges csatlakozási módot kínál az 5V DC feszültségű eszközökkel való univerzális kompatibilitás érdekében:

- **Plug-and-Play (egykártyás számítógépekhez):** A kártyát kifejezetten a Raspberry Pi-kompatibilis, 40-pólusú tüskesorral felszerelt egykártyás számítógépekhez (SBC-khez) terveztük (HAT kiegészítő kártyaként). Egyszerűen illessze a termék csatlakozóhüvelyét **(1)** a számítógép tüskesorára, és nyomja a helyére.

- **Univerzális 2-pólusú csatlakozás:** A nem HAT-kompatibilis vagy általános 5V DC feszültségű eszközök tápellátása a 40-pólusú csatlakozó (1) megfelelő +/- érintkezőiről biztosítható.



3.2 Tápellátási követelmények

A stabil működés és az optimális töltés érdekében a bemeneti tápegységnek meg kell felelnie az alábbi specifikációknak:

- **Feszültség:** Standard 5V – 5,2V DC
- **Áramerősség:** Minimum 2,0 A (3,0 A ajánlott)
- **Csatlakozófelület:** Csatlakoztatás az USB-C porton (6) keresztül.
- **Állapotjelzés:** A bemeneti tápfeszültség jelenlétét az LED (5) jelzi.

Tápegység-kompatibilitási megjegyzés: Az olyan intelligens tápegységek, amelyek automatikusan lekapcsolják az 5 V-os kimenetüket, ha nem érzékelnek eszközt (például a hivatalos Raspberry Pi 5 tápegység), teljes mértékben támogatottak és kompatibilisek a **Stubborn Balance** kártyával.

KRITIKUS TÁPELLÁTÁSI TUDNIVALÓK

- **Kombinált terheléskezelés (intelligens DC-DC töltés):** A bemeneti tápegységnek egyidejűleg kell kiszolgálnia a védett eszközt és biztosítania a szuperkondenzátorok töltéséhez szükséges teljesítményt. A rendszer rendkívül hatékony DC-DC töltési technológiát használ: bár a belső töltőáram elérheti a 2,0 A-t, a tápegységből ténylegesen felvett áram ennél lényegesen alacsonyabb (a szuperkondenzátorok pillanatnyi feszültségétől függően), és a töltési folyamat előrehaladtával folyamatosan csökken.
- **Az „áteresztő táplálás” csapdája:** A hatékony DC-DC átalakítás ellenére a tápegységnek bírnia kell ezt a kombinált terhelést. Előfordulhat, hogy egy gyengébb minőségű tápegység önmagában tökéletesen meghajt egy Raspberry Pi-t, de a **Stubborn Balance** kártyán keresztül csatlakoztatva az aktív töltési fázisban már kudarcot vall.
- **Feszültségstabilitás:** Kerülje a rossz minőségű tápegységek és a nagy ellenállású (vékony) kábelek használatát. Ha a tápegység nem képes stabilan tartani a feszültséget a kombinált terhelés alatt, a feszültség a védett eszköz által tolerált szint alá eshet. Ez hirtelen feszültségesést (brownout), instabilitást vagy váratlan leállást okozhat. Ha instabilitást tapasztal, azonnal cserélje ki a tápegységet egy kiváló minőségű, nagyobb teljesítményű típusra.

A tesztelt tápegységek listáját és a hibaelhárítási lépéseket a Függelékben találja

3.3 A Reset csatlakozó (8) funkciói és működése

A Reset csatlakozó **(8)** elsődleges feladata, hogy egy pillanatnyi tápmegszakítást biztosítson a védett eszköz számára.

3.3.1 Beépítési opciók

A csatlakozó szabványos, 2,54 mm-es lábosztású (pitch) kialakítással rendelkezik, így egyszerűen beforraszthető vagy csatlakoztatható hozzá:

- Egy nyomógomb vagy billenőkapcsoló
- Egy szabványos, 2,54 mm-es tüskesor
- Külső kábelezés/vezeték

3.3.2 Működési elv

- **Tápmegszakítás (Reset):** Az áramkör zárásakor (a két érintkező összekötésekor/rövidre zárásakor) a rendszer azonnal lekapcsolja a védett eszköz tápellátását. A tápellátás mindaddig szünetel, amíg az érintkezők zárva maradnak. Az összeköttetés bontásakor a tápellátás helyreáll (ezzel végrehajtva egy hardveres újraindítást).
- **Tartós leállítás:** Ha az érintkezőket folyamatosan zárva tartja, a védett eszköz tápellátása egy külső vezérlőforrás segítségével tetszőleges ideig tartósan kikapcsolható.

KRITIKUS ELEKTROMOS SZABÁLYOK

- **Kizárólag feszültségmentes (száraz) kontaktus:** A Reset csatlakozó kizárólag száraz kontaktusok (nyitott/zárt áramkör) fogadására alkalmas. **Szigorúan tilos külső feszültséget kapcsolni ezekre a lábakra**, mert az azonnali és maradandó károsodást okoz!
- **Polaritásfüggetlenség:** A két érintkező nem polarizált; a csatlakoztatás irányfüggetlen.

3.3.3 GPIO lábkiosztás és kommunikációs protokoll

A **Stubborn Balance** átmenő (passthrough) kialakítású, így biztosítja, hogy a védett eszköz összes GPIO tüskéje teljes mértékben hozzáférhető maradjon a kártya tetején található 40-pólusú csatlakozón **(1)** keresztül.

Az automatikus tartalék tápellátás és az intelligens feszültségkövetés kezeléséhez a rendszer három meghatározott GPIO lábat tart fenn az adatcserére. Az összes többi tüske teljesen szabadon használható az Ön egyedi alkalmazásaihoz.

Jel	Fizikai láb (Pin)	GPIO csatorna	Funkció
pfo	Pin 16	GPIO 23	Hálózati tápellátás állapota (Power Good / Main Power Status)
lim	Pin 18	GPIO 24	Alacsony energiaszint riasztás (Low Energy Limit Alert)
shd	Pin 22	GPIO 25	Védett eszköz leállítás-vezérlése (Protected Device Shutdown Control)

3.3.3.1 Jellogika és működés

- `pfo` (Power Fail / Power Good)
  - **MAGAS (Logic 1 / TRUE):** A fő tápellátás csatlakoztatva van és stabil. A védett eszköz a külső hálózatról működik.
  - **ALACSONY (Logic 0 / FALSE):** A hálózati tápellátás megszűnt. A **Stubborn Balance** azonnal átváltott a szuperkondenzátorokban tárolt energiára, hogy a rendszert online tartsa.
- `lim` (Energiahordozó korlát)
  - **MAGAS (Logic 1 / TRUE):** A szuperkondenzátorok töltöttségi szintje biztonságos, a kritikus küszöbérték felett van.
  - **ALACSONY (Logic 0 / FALSE):** A tárolt energia kritikus szintre csökkent. Ekkor haladéktalanul el kell indítani a biztonságos, automatikus rendszerleállítási folyamatot.
- `shd` **(Leállítási állapot és rendszerindítás-vezérlés)**
  - **MAGAS (Logic 1 / TRUE):** Azt jelzi a **Stubborn Balance** felé, hogy a védett eszköz fut és működőképes.
  - **ALACSONY (Logic 0 / FALSE):** Azt jelzi, hogy a védett eszköz sikeresen befejezte a szoftveres leállást, és biztonságosan feszültségmentesíthető.

3.3.3.2 Intelligens rendszerindítási és védelmi logika

A **Stubborn Balance** egy fejlett reteszelő (interlock) rendszerrel rendelkezik az automatikus helyreállítás kezelésére és a rendszer lefagyásának megelőzésére:

- **Tiszta hardveres kikapcsolás:** Amikor a tárolt energia a kritikus határérték alá süllyed (a `lim` ALACSONY szintre vált), a Pi szoftveres leállást kezdeményez. Amint a Pi leállt, és az `shd` tüske ALACSONY szintre esik, a **Stubborn Balance** teljesen lekapcsolja a tápfeszültséget a Pi-ről, biztosítva a tiszta, teljes hardveres resetet.
- **Fagyás és megszaladás elleni védelem:** Ha a Pi nem áll le megfelelően (az `shd` tüske MAGAS szinten marad), miközben a külső tápellátás hirtelen visszatér, a rendszer szándékosan letiltja a bemeneti töltést. Ez megakadályozza, hogy egy összeomlott vagy lefagyott Pi a végtelenségig merítse a rendszert. A tápellátás mindaddig blokkolva marad, amíg a szuperkondenzátorok teljesen le nem merülnek, és a rendszer természetes módon ki nem kapcsol.
- **Biztonságos újratöltés és Auto-Boot:** Miután a rendszer teljesen leállt (akár tiszta leállással, akár teljes lemerüléssel), és a külső tápellátás újra elérhetővé válik, a **Stubborn Balance** feloldja a blokkolást és engedélyezi a töltést. Először biztonságosan feltölti a szuperkondenzátorokat egy garantáltan stabil szintre, és csak ezután adja rá a tápfeszültséget a védett eszközre. Ez biztosítja, hogy az eszköz már egy teljesen élesített, működőképes védőpajzzsal induljon el.

3.3.4 A hibrid szuperkondenzátorok töltése

Ha a hálózati tápegység nem képes egyidejűleg kiszolgálni a védett eszköz áramfelvételét és a szuperkondenzátorok 2 A-es belső töltőáramát, cserélje ki a tápegységet egy nagyobb teljesítményű típusra.

⚠ Előfordulhat, hogy a külső tápegység önmagában még képes stabilan működtetni a Raspberry Pi-t, de a **Stubborn Balance** kártyán keresztül már nem. Ennek az az oka, hogy a tápegység nem rendelkezik elegendő tartalékkal a szuperkondenzátorok töltése miatt megnövekedett áramigény kiszolgálására.

⚠ Határozottan javasoljuk a gyengébb minőségű tápegységek elkerülését. Ilyen tápegységek használatakor még a jelzett maximális terhelés alatti áramfelvétel is komoly feszültségstabilitási problémákat okozhat. Ha a feszültség a védett eszköz által tolerált szint alá esik, az bizonytalan működéshez, fagyáshoz vagy váratlan leálláshoz vezet.

3.4 Hardveres konfiguráció és beállítások

3.4.1 Bemeneti feszültségküszöb beállítása (Potenciométer 7)

A potenciométer **(7)** lehetővé teszi a bemeneti feszültségküszöb finomhangolását. Ez a szabályozhatóság biztosítja az optimális kompatibilitást és a zökkenőmentes átkapcsolást a különböző tápegységek és a csatlakoztatott eszközkonfigurációk között.

- **Működési elv:** A potenciométer határozza meg azt a konkrét feszültséghatárt, amely alatt a **Stubborn Balance** azonnal átvált tartalék tápellátásra (szuperkondenzátorra). Amint a külső tápfeszültség ezen határérték fölé emelkedik, a rendszer visszavált a hálózati táplálásra.
- **Ha túl MAGASRA van állítva:** A rendszer túlérzékennyé válik. Ez felesleges üzemmód-váltásokat idézhet elő, vagy szélsőséges esetben a kártya folyamatosan tartalék (backup) üzemmódban ragadhat.
- **Ha túl ALACSONYRA van állítva:** A rendszer túl lassan reagál a feszültségesésre. Előfordulhat, hogy nem vált át időben tartalék üzemmódba, ami a Raspberry Pi váratlan leállásához (fagyásához) vezet.

3.4.1.1 Üzemmódválasztó kapcsoló (4)

Az alaplapi üzemmódválasztó kapcsoló (4) három különböző állással rendelkezik a rendszer működési logikájának vezérlésére:

- **OFF (Kikapcsolt) mód:** A rendszer teljesen leválasztja és lekapcsolja a védett eszköz tápellátását, függetlenül attól, hogy van-e külső hálózati tápellátás, vagy mennyi energia van tárolva a szuperkondenzátorokban.
- **ON (Kézi felülbírálás) mód:** A rendszer folyamatos tápellátást biztosít a védett eszköznek mindaddig, amíg külső tápfeszültség áll rendelkezésre, vagy amíg van tárolt energia a szuperkondenzátorokban.
    - *Megjegyzés:* Ebben az üzemmódban, ha a külső tápellátás úgy szűnik meg, hogy a szuperkondenzátorok töltöttsége már alacsony, a rendszer nem tudja garantálni a tiszta, szabályozott szoftveres leálláshoz szükséges áthidalási időt.
- **AUTO (Automatikus) mód:** Az ajánlott intelligens üzemmód. A rendszer aktívan felügyeli a tápellátást, és teljes mértékben garantálja a tiszta rendszerindítást, valamint az automatikus, biztonságos leállítási ciklus végrehajtását. Így teljesen megvédi az adatait, függetlenül attól, hogy a hálózati feszültség mikor és milyen váratlanul szűnik meg.

3.4.2 Szoftveres konfiguráció és integráció

A **Stubborn** termékcsalád aktívan megosztja a valós idejű tápellátási és állapot-telemetriai adatokat a védett eszközzel. Ez lehetővé teszi a rendszer számára, hogy azonnal észlelje a tápellátási anomáliákat, és még a szuperkondenzátorok lemerülése előtt végrehajtson egy biztonságos, automatikus adatmentési és leállítási folyamatot.

Annak érdekében, hogy teljes ellenőrzést és rugalmasságot biztosítsunk, a vezérlőszoftver teljesen **nyílt forráskódú (open-source)**. Könnyedén átnézheti, módosíthatja vagy integrálhatja a kódot közvetlenül a saját egyedi operációsrendszer-lemezképeibe (OS images) vagy vállalati rendszereibe.

3.4.2.1 A vezérlő háttérfolyamat (Control Daemon) telepítése

A hivatalos, nyílt forráskódú vezérlőszoftver közvetlenül letölthető és ellenőrizhető az AQEX GitHub repozitóriumából:
👉 https://github.com/aqexhu/qups-guard

3.4.2.2 Alapkonfiguráció

A szoftver **Stubborn Balance**-hoz való konfigurálásához meg kell adnia a megfelelő GPIO kommunikációs profilt. Indítsa el a háttérfolyamatot a következő kötelező paraméterrel:

```
qups-guard --dip 01
```

3.4.2.3 Finomhangolás: Feszültségesés és késleltetett leállítás (Opcionális)

Nagy rendszerterhelés mellett a belső ellenállás és a feszültségveszteség miatt a rendszer a szuperkondenzátorok tényleges alapfeszültségénél alacsonyabb értéket mérhet. Ha ekkor azonnali szoftveres leállítás indulna el, az áramfelvétel hirtelen visszaesése miatt a mért feszültség azonnal visszaugrana. Ez akár el is érheti azt a küszöbértéket is, ahol a hardver újra megpróbálja bekapcsolni az eszközt (ami egy instabil tápellátási hurokhoz vezetne).

Ezen jelenség kiküszöbölésére az opcionális finomhangoló paraméterek segítségével biztonságosan csökkentheti a lekapcsolási feszültségküszöböt, vagy késleltetést vezethet be:

```
qups-guard --dip 01 --shutdown-delay 20
```

(Ez a paraméter kiszűri az átmeneti feszültségeséseket, és biztosítja, hogy a védett eszköz csak akkor indítsa el a leállítást, ha a tápvesztés tartós és stabil, megakadályozva ezzel a véletlenszerű ki-be kapcsolási ciklusokat.)

4 Rendszerműködés és viselkedés

Megfelelő telepítés esetén a **Stubborn Balance** normál körülmények között teljesen automatikusan működik az alapértelmezett beállításaival. A készülék azonnal elindítja a töltést, amint külső tápegységet csatlakoztat hozzá.

4.1 Üzemmódok és biztonsági jellemzők

4.1.1 AUTO mód: Intelligens indítási védelem

AUTO üzemmódban a **Stubborn Balance** elsődleges feladata a rendszer stabilitásának megőrzése. A kártya csak azután ad tápfeszültséget a Raspberry Pi-nek, miután a szuperkondenzátorok elérték a biztonságos töltöttségi szintet. Ez biztosítja, hogy egy közvetlenül az indítás utáni áramkimaradás esetén is mindig rendelkezésre álljon a biztonságos szoftveres leálláshoz szükséges tárolt energia.

- **Indítási késleltetés (Mire számítson?):** A tápegység csatlakoztatása után a rendszer nem indítja el azonnal a Pi-t. A szuperkondenzátorok lemerültségétől és a tápegység teljesítményétől függően ez az előtöltési fázis akár néhány percet is igénybe vehet.
- **A folyamat:** A vezérlő leválasztja a Pi-t, az összes rendelkezésre álló energiát a szuperkondenzátorok kritikus küszöbérték fölé történő töltésére fordítja, és csak ezután engedélyezi a Raspberry Pi bekapcsolását.
- **Az előny:** Ez a szigorú kapuőr-logika teljesen megakadályozza az indítási hurkokat (boot loop) – azt a jelenséget, amikor a Pi hirtelen fellépő, nagy indítóárama a töltetlen tápforrás feszültségét a kritikus szint alá rántja, amitől a rendszer folyamatosan összeomlik és újraindul.

4.1.2 ON mód: Kézi felülbírálás és kockázatok

ON üzemmódban a **Stubborn Balance** megkerüli a biztonsági ellenőrzéseket, és azonnal feszültség alá helyezi a csatlakoztatott Raspberry Pi-t, függetlenül a szuperkondenzátorok töltöttségi szintjétől vagy a külső tápellátás stabilitásától.

⚠️ **BIZTONSÁGI FIGYELMEZTETÉS:** Ebben az üzemmódban a szoftveres tápvisszaesés-védelem rendkívül korlátozott. Ha a külső tápellátás úgy szűnik meg, hogy a szuperkondenzátorok töltöttsége nem elegendő, a Raspberry Pi azonnal, szabályozatlanul (hardveresen) fog lekapcsolni.

- **Következmények:** A hirtelen tápvesztés az operációs rendszer sérüléséhez, az SD-kártya fájlrendszerének tönkremeneteléhez vagy kritikus adatvesztéshez vezethet.
- **Ajánlás:** Az **ON** módot kizárólag tesztpadi mérésekhez használja, vagy ha teljesen stabil, megszakításmentes elsődleges tápforrásról üzemelteti a rendszert. Minden éles (production) környezetben az **AUTO** mód használata kifejezetten ajánlott.

4.1.3 Speciális hardveres és feszültség-dinamikai jellemzők

4.1.3.1 Feszültség-visszaugrás és a leállási hurok (Voltage Rebound)

A belső ellenállás (ESR), valamint a vezetősávokon és csatlakozókon fellépő minimális veszteségek miatt a szuperkondenzátorok kivezetésein mért feszültség nagy terhelés alatt kissé a tényleges cellafeszültség alá esik.

Ez a fizikai törvényszerűségekből adódó eltérés kritikus szerepet játszik a leállítási folyamat során:

1. **Alacsony feszültség érzékelése:** Ahogy a tárolt energia csökken, a szoftver észleli az alacsony feszültségküszöböt, és elindítja a Pi biztonságos leállítását.
2. **Feszültség-visszaugrás:** A leállítási folyamat legvégén a Pi áramfelvétele drasztikusan, szinte nullára csökken. A terhelés hirtelen megszűnése miatt a szuperkondenzátorokon mért feszültség visszaugrik (megemelkedik).
3. **A lefagyási jelenség:** Ha ez a visszaugrott feszültség a hardveres lekapcsolási küszöb fölé emelkedik, a vezérlő azt feltételezi, hogy az energiatároló mégsem merült le. Emiatt a tápsínt aktívan tartja. A Raspberry Pi ekkor egy állandó „leállított” (halted) állapotban ragad (feszültséget kap, de nem fut), és a táp visszatérésekor nem fog tudni automatikusan újraindulni.
4. **A megoldás:** A `qups-guard` szoftver lehetővé teszi egy leállítási késleltetés (shutdown delay) beállítását. Ez a leállítási parancs kiadása után egy tervezett ideig ellenőrzött terhelés alatt tartja a rendszert, biztosítva, hogy a feszültség stabilan a kritikus hardveres küszöbérték alatt maradjon a tápellátás teljes lekapcsolásáig.

4.1.1.1 Csepptöltés (Mélykisülés utáni helyreállítás)

Ha a szuperkondenzátorok feszültsége 2,8 V – 2,9 V alá süllyed, a töltőáramkör automatikusan csepptöltés (Trickle Charging) üzemmódba lép a cellák biztonságos regenerálása érdekében.

- **Működési hatás:** Ebben az állapotban a töltőáram a normál 2,0 A-es érték töredékére korlátozódik. Ha a rendszer mélyen lemerült, a kezdeti lassúbb töltési ütem miatt lényegesen hosszabb ideig tart az első indítási küszöb átlépése.

4.1.1.2 Indítási áramlökés okozta instabilitás (Inrush Instability)

Egy teljesen lemerült rendszer újratöltésének megkísérlésekor a piros „Low” LED időnként felvillanhat, ami átmeneti indítási instabilitást jelez.

- **Az ok:** Ez akkor fordul elő, ha a bemeneti tápegység nehezen kezeli az üres szuperkondenzátorok által igényelt hirtelen, hatalmas indítási áramlökést (inrush current). A nagy kezdeti terhelés miatt a tápegység feszültsége leesik, ami arra készteti a bemeneti érzékelőt, hogy biztonsági okokból átmenetileg leállítsa a töltést. A leállítás után a tápfeszültség helyreáll, a rendszer újra megpróbál tölteni, és a ciklus megismétlődik.
- **Viselkedés:** Ez az ingadozás általában 5–10 másodpercen belül automatikusan stabilizálódik, amint a belső pufferalkatrészek és a szuperkondenzátorok elérik az alapvető működési szintjüket.

4.1.2 Tárolás és tápforrás-váltás

4.1.2.1 Hosszú távú tárolási szempontok

Még akkor is, ha az üzemmódválasztó kapcsoló OFF állásban van, a **Stubborn Balance** belső vezérlőlogikája és az állapotjelző LED-ek minimális nyugalmi áramot vesznek fel. Külső áramforrás nélkül ez a folyamatos terhelés néhány nap alatt teljesen lemeríti a szuperkondenzátorokat.

- **Mélykisüléssel szembeni ellenállás:** A biztonság érdekében a kártyán lévő töltő IC 2,5 V-os feszültségnél teljesen lekapcsolja a terhelést. Fontos kiemelni, hogy a hibrid szuperkondenzátoros (HSC) technológia teljesen immunis a mélykisülés okozta degradációra. A hagyományos lítium akkumulátorokkal ellentétben a HSC cellák hosszú ideig is biztonságosan tárolhatók 0 V-os állapotban anélkül, hogy fizikai károsodást szenvednének, így akár hónapokig tartó tárolás után is azonnal újra üzembe helyezhetők.

4.1.2.2 Tápforrás-váltási dinamika

A **Stubborn Balance** folyamatosan felügyeli a külső bemenetet. Ha a fő tápellátás megszűnik, vagy a potenciométerrel **(7)** beállított határérték alá esik, a rendszer azonnal aktiválja a tartalék tápellátást.

- **Átkapcsolási sebesség:** A külső hálózati tápellátásról a szuperkondenzátoros tartalékra való átmenet rendkívül gyors, mindössze 100–300 µs-ot vesz igénybe.
- **Raspberry Pi figyelmeztetés:** Emiatt a mikroszekundumos átmenet miatt a Raspberry Pi operációs rendszere esetenként egy rövid *„Under-voltage detected!”* (Alacsony feszültség észlelhető) rendszerfigyelmeztetést naplózhat. Ez csupán a Pi rendkívül érzékeny feszültségfigyelésének ártalmatlan, kozmetikai jellegű mellékhatása; nem okoz hardveres instabilitást, szoftveres hibát vagy váratlan újraindulást.
- **Hálózati táp visszatérése:** Amikor a külső tápellátás helyreáll, a rendszer zökkenőmentesen visszaváltja a hálózati tápra, és automatikusan utántölti a szuperkondenzátorokat. A hálózatra való visszatérés során semmilyen riasztás vagy figyelmeztetés nem jelentkezik.

Ábra 1: Raspberry Pi 50% terhelés esetén

4.2 Intelligens funkciók és eseménykezelés

A **Stubborn Balance** valós idejű tápellátási telemetriát és állapotfrissítéseket küld a védett eszköznek. Ez biztosítja, hogy a hosszabb kimaradások során a rendszer időben figyelmeztetést kapjon a biztonságos, szabályozott leállítás elindítására, még a szuperkondenzátorok teljes lemerülése előtt.

Amint a **Stubborn Balance** észleli, hogy a védett eszköz befejezte a leállítási folyamatot, lekapcsolja a fő tápsínt. Ez teljesen megakadályozza, hogy a rendszer egy lefagyott, nem reagáló állapotban ragadjon, és garantálja a tiszta, sikeres hardveres újraindulást, amint a külső tápellátás helyreáll.

4.2.1 Hardveres telemetriai jelek

A védett eszközön futó operációs rendszer vagy háttérfolyamat valós időben képes felügyelni a **Stubborn Balance** hardveres állapotát. A kártya folyamatosan két hardveres jelet továbbít a kijelölt GPIO lábakon keresztül:

- **`PFO` (Power Fail Output):** Jelzi a külső tápellátás meglétét vagy megszűnését.
- **`LIM` (Limit / Low Energy):** Jelzi, ha a szuperkondenzátorok töltöttségi szintje a biztonságos működési küszöbérték alá esett.

Ezen GPIO lábak állapotváltozásainak figyelésével a rendszerszolgáltatások azonnal egyedi szkripteket vagy biztonsági mechanizmusokat indíthatnak el (például az adatbázis-gyorsítótárak kiürítését vagy a meghajtók leválasztását).

🛠️ **Fejlesztői erőforrások:** A lehető leggördülékenyebb integráció érdekében nyílt forráskódú segédprogramokat és könyvtárakat biztosítunk mind **C**, mind **Python** nyelven.

A teljes kódpéldákat, az aktív felügyeleti szkripteket és a beállítási útmutatókat megtalálja a hivatalos repozitóriumunkban:
👉 https://github.com/aqexhu/qups-guard

4.3 LED-es töltöttségjelzők

A szuperkondenzátorok valós idejű energiaszintjét az alaplapi LED-csoport **(3)** mutatja.

A LED-ek nem nyers százalékos értékeket jeleznek, hanem **funkcionális állapotjelzőként** szolgálnak. Mivel a szuperkondenzátorok kisütési görbéje és a rendszerek áramigénye eltérő, ezek a szintek nem lineárisan mutatják a töltöttséget, hanem konkrét működési képességeket és állapotokat jelölnek:

LED	Szín	Szint megnevezése	Működési jelentés és a rendszer viselkedése
1	🔴 Piros	**Low (Alacsony)**	Kritikusan alacsony szint. A rendszer tápellátása bármelyik pillanatban megszűnhet. **AUTO** üzemmódban (alacsony szintű SHD tüske mellett) ennek a szintnek az elérése azonnali hardveres táplekapcsolást vált ki a védett eszközön.
2	🟡 Sárga	**Safe (Biztonságos)**	Elegendő energia áll rendelkezésre egy biztonságos, szabályozott szoftveres leállítási folyamat garantált végrehajtásához.
3	🟢 Zöld	**Min (Minimum)**	Elegendő energia pontosan egy tiszta rendszerindításhoz és egy teljes leállítási ciklushoz. **AUTO** üzemmódban a védett eszköz indítása (feszültség alá helyezése) akkor engedélyezett, ha a töltöttség eléri ezt a szintet.
4	🟢 Zöld	**Full (Teli)**	Teljesen feltöltött állapot. Maximális tartalék energiaforrás elérve.

5 Függelék

5.1 Technikai adatok

The following table summarizes the electrical, mechanical, and operational specifications of the **Stubborn Balance** board.

Kategória	Paraméter	Specifikáció / Érték
Energiatároló	Energiatároló típusa	Hibrid szuperkondenzátor (HSC)
	Élettartam (töltési ciklusok száma)	50.000
	Működési hőmérséklet-tartomány	-20 .. +65˚C
	RPi4 áthidalási idő üresjáratban (850F)	41 perc
	RPi4 áthidalási idő teljes terhelésen (850F)	14 perc
	RPi5 áthidalási idő üresjáratban (850F)	28 perc
	RPi5 áthidalási idő teljes terhelésen (850F)	13 perc
Fizikai paraméterek	Kialakítás (Form factor)	Raspberry Pi HAT
	Méretek	65x56x15mm + 11 mm (csatlakozó **(1)**)
	Egymásba fűzhető (Stackable)	
	Cserélhető akkumulátor/cella	

Category	Parameter	Specification / Value
Elektromos paraméterek	Töltőáram	2A
	Maximális kisütési áram	7.5A
	Maximális terhelőáram	3.5A
	Kimeneti feszültség	5V
Csatlakozók	Fő tápvezeték bemenet	USB-C
	Kiegészítő tápbemenet	✗
	Reset	✓
Tápegység	Fő bemenet (USB-C)	5V
	Kiegészítő bemenet	✗
	USB PD (RPi5) kompatibilitás	✓
Kommunikáció	Mód	3 GPIO port
	GPIO port kiosztás	1 konfiguráció (fixen dedikált)
	Kikapcsolható (GPIO tiltás)	✗
Beállítások	Üzemmód opciók	AUTO-BE-KI (AUTO-ON-OFF)
Vezérlés	Állítható kapacitásküszöb	✗
	Állítható bemeneti küszöb	✓
	Raspberry Pi tápellátásának külső vezérlése	✓
Kijelzés	Bemeneti tápfeszültség	✓
	Kondenzátor feszültségszint	4 LED
Szoftver	Vezérlőszoftver	C++ és Python
	Open source	✓

5.2 Támogatott adapterek listája

- RaspberryPi official power adapter 5V@2.4A
- RaspberryPi 5 official power adapter 5V@5A
- Goobay 43651 5V@2.1A

5.3 Hibakeresés

Tünet	Hiba oka	Megoldás
Külső tápegység megléte esetén nem világít a „Külső tápellátást jelző LED” (6)	Külső tápegység probléma	Cseréljük ki a tápegységet
Nem indul el a Raspberry Pi a „Min” LED bekapcsolt állapota esetén	(4)-os Üzemmód választó OFF állapotban van	Üzemmód választót **ON** vagy **AUTO** állásba kell kapcsolni
Az áramkör nem tölti az HSC-t 2.9V alatt	Az áramkör tölt, csak csepptöltéssel	Lásd 4.3 pont