

# TriggerBox

## Souhrn hlavních funkcí

### *Synchronizace přes Ethernetový protokol IEEE 1588 v2 PTP*

Automatické určení možnosti, zda SyncCore zastává roli PTP master nebo PTP slave dle mechanismů standardu PTP (výběr nejpresnějších hodin). Tím pádem umožňuje synchronizaci jak s nadřazenou jednotkou (například zdrojem velice přesného času) nebo s jinou jednotkou SyncCore.

### *Udržování systémového času*

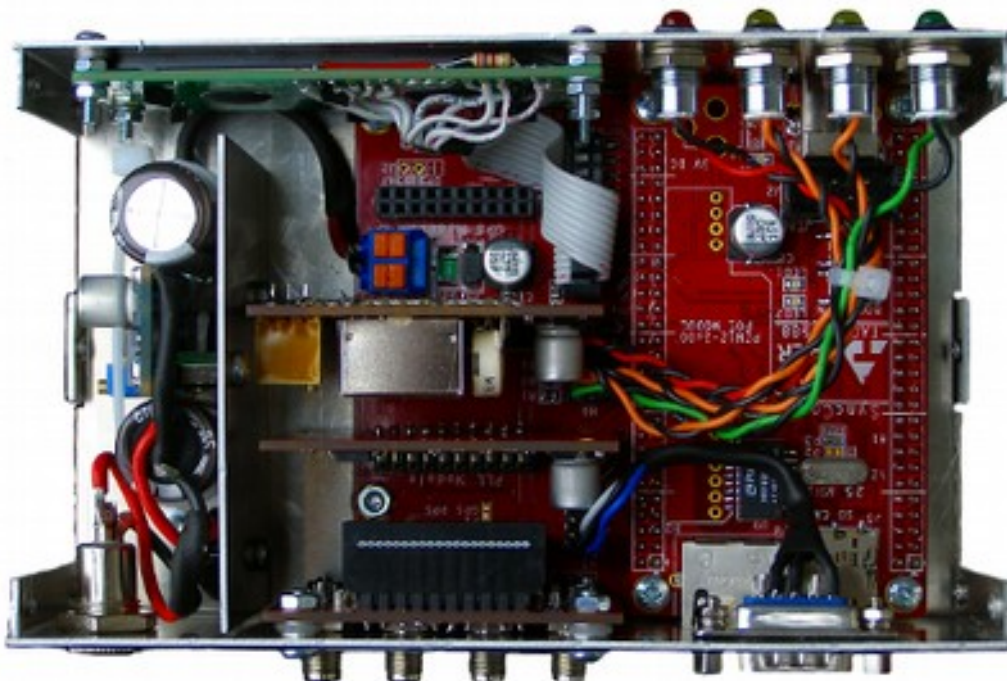
Jednotka si udržuje interní časovou stupnici, která může být synchronizována s jiným zařízením přes PTP, nebo držena jako nezávislá. Rozlišení systémového času je 8 ns.

### *Generování signálů na dvou výstupech*

Jednotka umožňuje generování PPS, IRIG-B a událostí. Událostmi se míní generování hran a pulsů s rozsáhlými možnostmi nastavení.

### *Záznam času událostí ze dvou vstupů*

Jednotka umožňuje zaznamenávání času příchozích událostí, kterými mohou být hrany signálu.



Obrázek 1. Trigger Box

### *Vlastnosti digitálních vstupů*

- Rozlišení: 8 ns.
- Zaznamatelné události: náběžná, sestupná či libovolná hrana.
- Možnosti opakovatelného zaznamenání: umí zaznamenat první událost, nebo zaznamenávat všechny příchozí události až do deaktivace.
- Velikost fronty držení informace o události: 10 záznamů.
- Maximální frekvence zaznamenaných událostí: 50Hz.
- Externí hodinový signál 1 - 25 MHz
- Externí synchronizační signál PPS

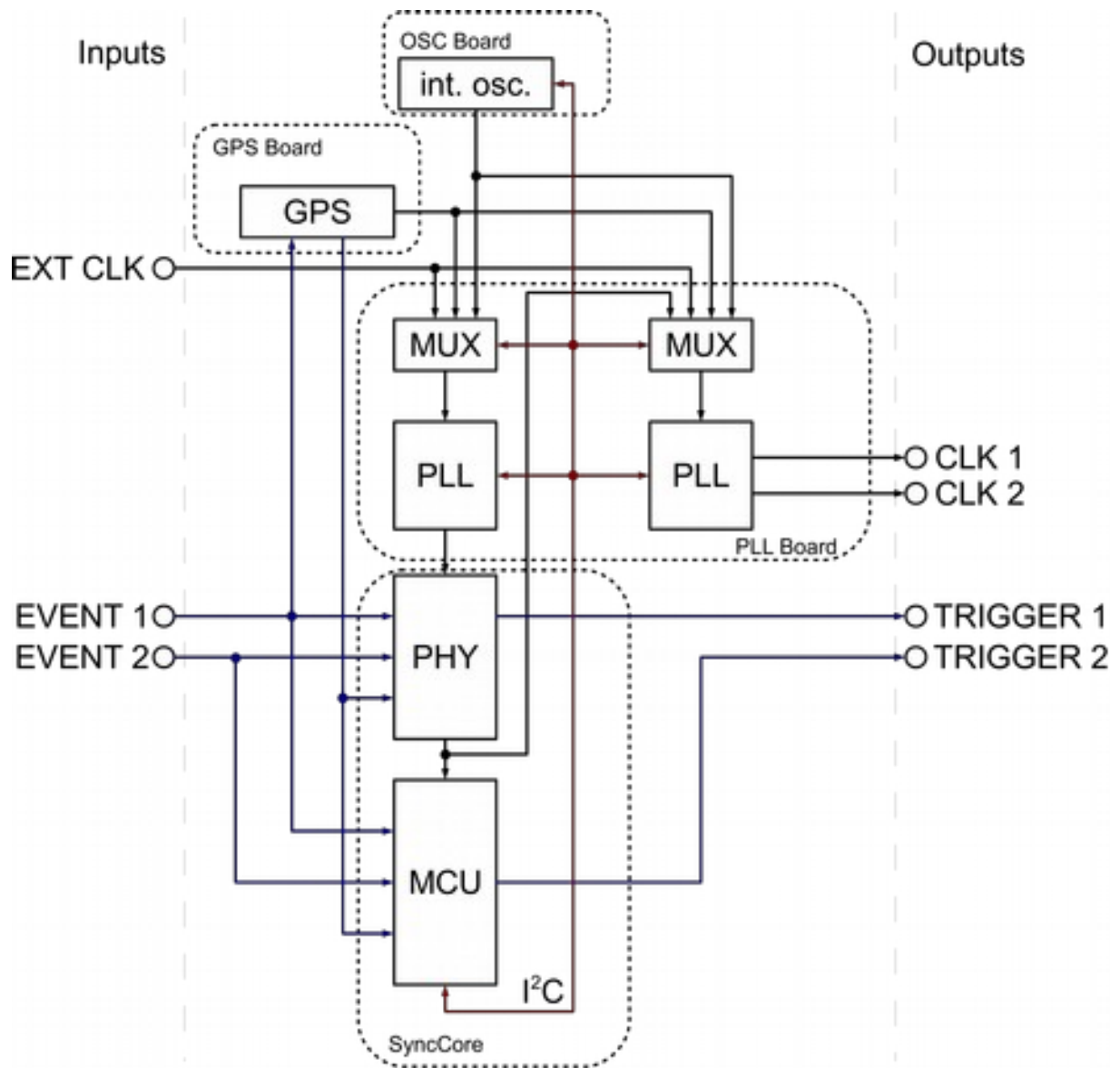
### *Vlastnosti digitálních výstupů*

- Rozlišení: 8 ns.
- Generování signálů:
  - PPS: ¼ - 1M PPS (např. 1 PPS, 100 PPS)
  - Frekvence 1 MHz – 25 MHz (např. 2,048 MHz)
  - IRIG-B006 time-code
  - Puls v konkrétní čas (trigger)

Jednotka si udržuje vnitřní časovou stupnici za použití čítačů mikrokontroléru STM32F407. S použitím čítačů jednotka obsahuje implementaci generování všech zadaných signálů. Generuje IRIG-B signál, jehož správnost byla otestována na profesionálním zařízení. Dále generuje PPS signál a puls v zadaném čase (přesněji umí generovat hranu nebo celý puls). Všechny tyto signály jsou generovány s přesností až na 8 ns.

Synchronizační jednotka obsahuje implementaci komunikačních mostů Ethernet-UART a Ethernet-SPI. Oba komunikační mosty byly implementovány za pomoci DMA, což umožňuje tuto funkci za minimálního zatěžování procesoru.

## Blokové schéma jednotky



Obrázek 2. Blokové schéma TriggerBoxu

## Složení jednotky

Jednotka triggerboxu se skládá z několika funkčních částí, jak popisuje obr 2. Tyto funkční části byli navrženy jako samostatné desky plošných spojů zasazené do hlavní rozvodné desky jak je patrné z obr 1.

Procesorový modul je umístěn na desce dvouvrstvého plošného spoje. Jako řídicí jednotka je použit 32-bitový mikrořadič STM32F407 s jádrem ARM Cortex - M4 s taktovací frekvencí až 168 MHz, paměti programu FLASH 512 kByte (příp. 1 MByte), datovou paměť SRAM 128 kByte.

Dalším blokem je precizní fyzická vrstva (PHY) firmy Texas Instruments typu DP83630, která slouží pro připojení mikrořadiče k rozhraní Ethernet. Tato fyzická vrstva mimo základní funkci navíc umožňuje využít vnitřní generátor hodinových impulsů o frekvenci 50 MHz, který je v systému synchronizován s referenčním hodinovým generátorem v synchronním systému s využitím protokolu PTP IEEE-1588. Mimo to umožňuje generovat impulsní signály s hranami v naprogramovaných a přesně definovaných okamžicích nezávisle na činnosti mikrořadiče.

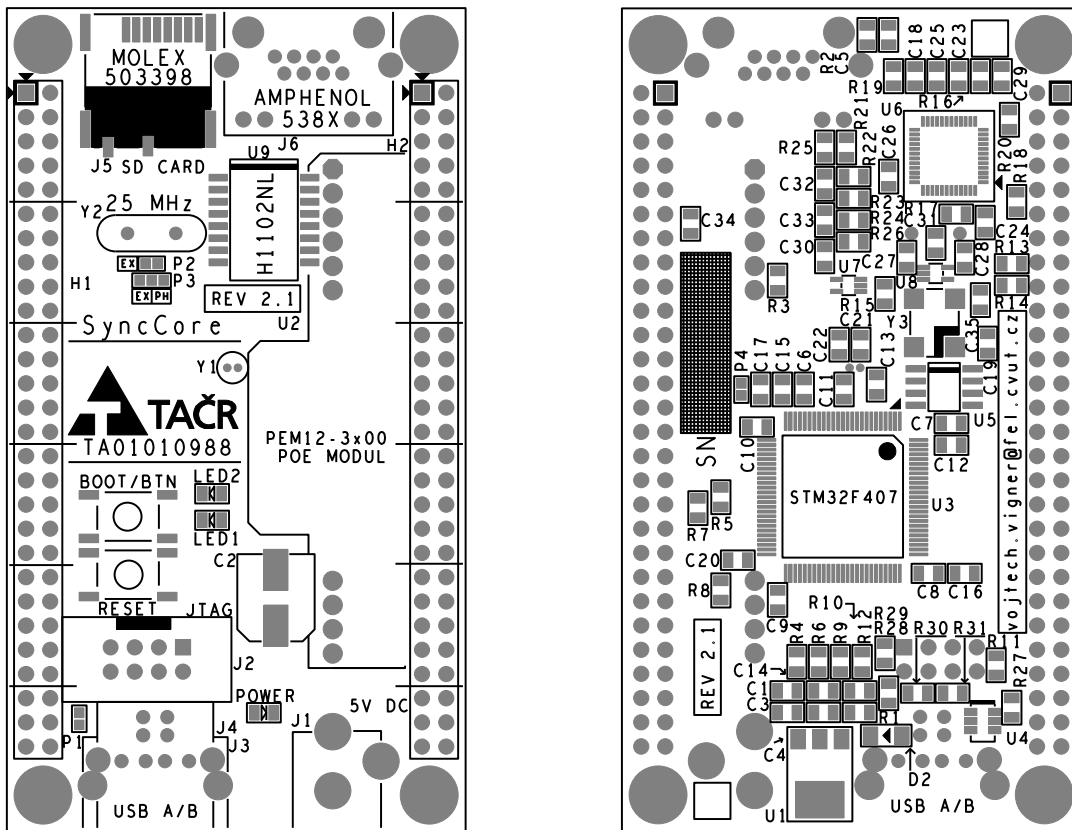
HW modul může být osazen blokem pro POE („Power over Ethernet“), který ve spolupráci se specializovaným přepínačem Ethernet podporujícím režim *POE* umožní napájet HW modul přímo z přepínače Ethernet s využitím datového komunikačního kabelu. V případě, že bude k dispozici lokální napájení, je možno vypustit osazení modulu POE. V tom případě bude modul osazen napájecím konektorem a lineárním regulátorem napětí, který vytvoří ze vstupního napětí + 5 V potřebné napájecí napětí + 3,3 V.

Pro účely zavedení programu (*firmware*) do STM32F407, případně i jeho ladění, je modul vybaven konektorem pro rozhraní JTAG/ SWD. Pokud by nebyl k dispozici příslušný ladicí nástroj s rozhraním JTAG/SWD, je možno program do vnitřní paměti zavést i pomocí rozhraní USB, pro nějž je modul také vybaven příslušným konektorem.

Díky tomu, že použitý STM32F407 má rozhraní USB typu OTG, může toto být využito i pro spolupráci s přístroji s rozhraním USB. Takové přístroje, i když samy nemají rozhraní Ethernet, by pak mohly být také zařazeny do synchronního systému s rozhraním Ethernet. Jejich synchronizace by se pak děla pomocí impulsních výstupů modulu a přenos dat prostřednictvím rozhraní USB a následně přes modul a Ethernet do řídicí jednotky.

Modul je též vybaven konektorem pro připojení paměťové karty FLASH dle standardu micro SD. Mikrořadič může z karty data nejen číst, ale může též do karty i zapisovat. To může být řešením v situacích, kdy je v sestavě systému s velkým počtem měřicích modulů potřeba měřit s vysokou vzorkovací frekvencí, která by neumožnila kontinuální přenos dat ze všech modulů prostřednictvím rozhraní Ethernet vzhledem k omezené rychlosti přenos dat z STM32F407 (ta je řádově 1 až 2 Mbyte/sec.). V takovém případě by se naměřená data mohla v exponované době ukládat do paměťové karty a až následně po ukončení rychlého jednorázového měření postupně prostřednictvím rozhraní Ethernet z paměťových karet jednotlivých modulů přenášet do řídicí jednotky.

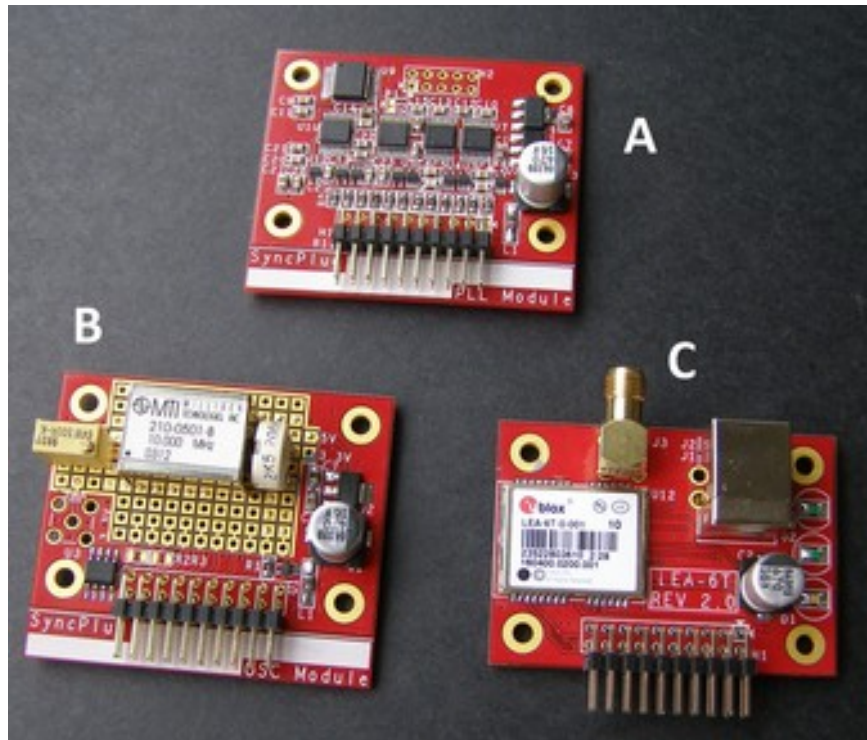
Na modulu může být osazena také paměť EEPROM typu 24C64 s relativně pomalým sériovým rozhraním IIC bus, která může být použita uložení konfiguračních dat bez potřeb zápisu do vnitřní paměti FLASH vlastního mikrořadiče STM32F407.



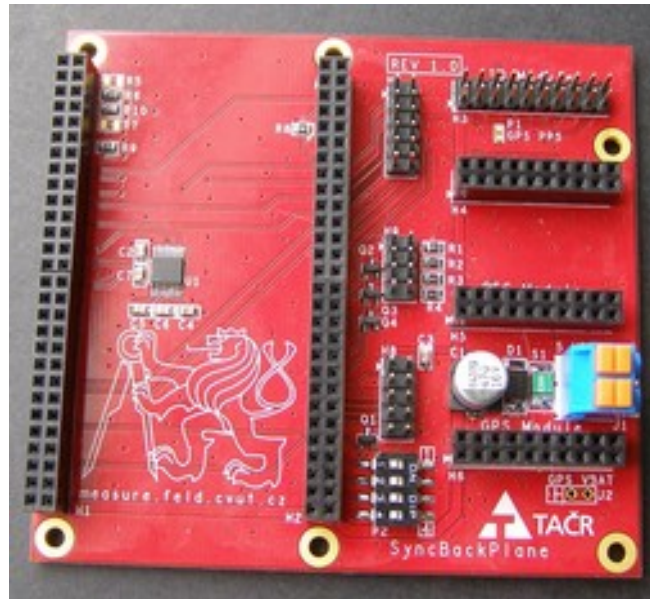
Obrázek 3. Procesorový modul

## Ostatní moduly

Mezi další použité moduly jsou zobrazeny na obrázku 4. Patří modul řízení hodin (A), který obsahuje říditelné fázové závěsy a přepínače hodinového kmitočtu. Dále modul s přesným termostatovaným oscilátorem a tvarovačem (B). Plošný spoj tohoto modulu je navržen univerzálně a může být osazen většinou běžně dostupných oscilátorů od 1 MHz až do 25 MHz. Další modul (C) je volitelný GPS modul umožňující synchronizaci pomocí GPS satelitů. Zapojení modulů do systému je patrné v obrázku 2. Tyto moduly jsou zasazeny do hlavní rozvodné desky zobrazené na obrázku 5.



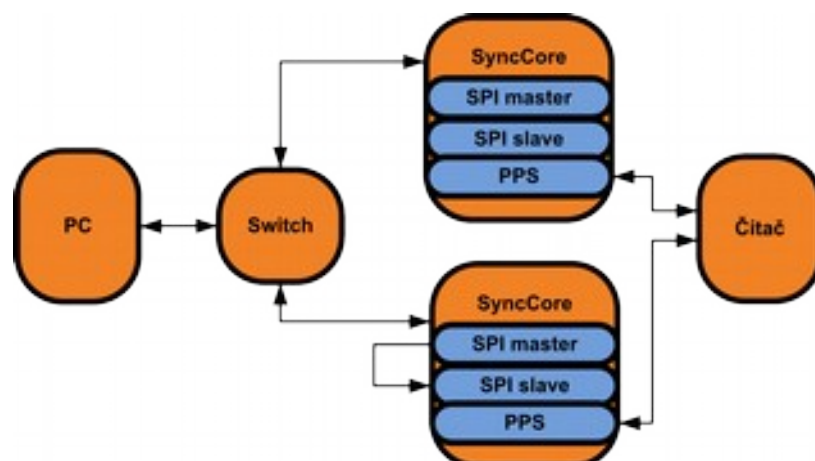
Obrázek 4. Moduly triggerboxu



Obrázek 5. Hlavní rozvodná deska

## Test jednotky

Testem jednotky byla úroveň synchronizace přes PTP při bezpečném datovém toku přes komunikační most. Konkrétně se měřil posun PPS signálů, generovaných mikrokontrolérem dvou TriggerBox zařízení. Celý test byl proveden tak, že byla dvě zařízení TriggerBox zapojena do switche Hirschmann MS20 (s podporou PTP) a vzájemně se vůči sobě synchronizovala. Jedna jednotka se automaticky nastaví jako PTP master a druhá jako PTP slave. Do switche je také připojen počítač, který konfiguruje jednotky pomocí SCPI příkazů (spustí na obou PPS) a jednu jednotku vytěžuje datovým tokem přes komunikační most. Odchylky PPS měřil čítač, který zaznamenával data do PC.

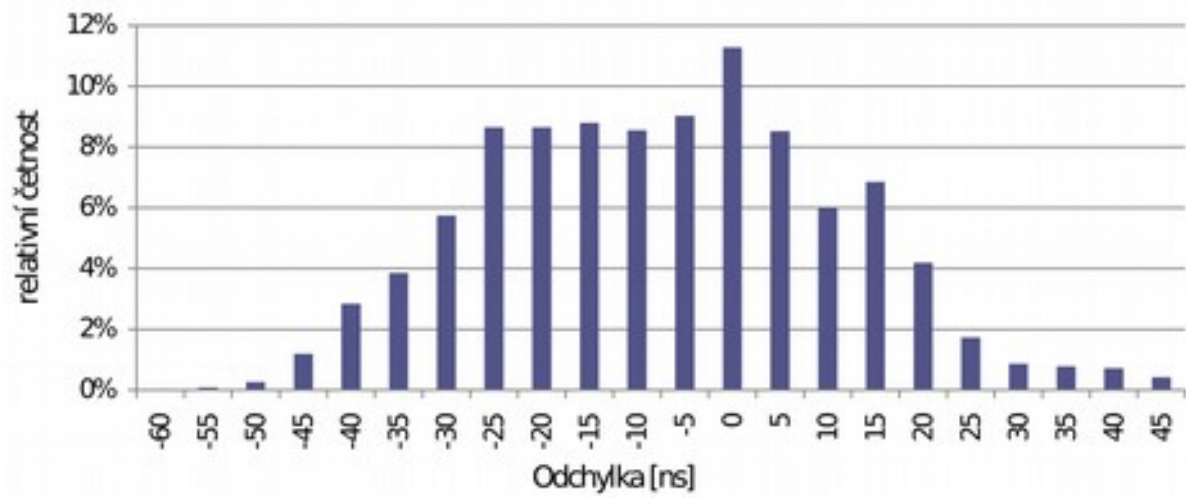


Obrázek 6. Schéma testovacího systému

Z naměřených hodnot (3342 hodnot) byly vypočteny následující hodnoty:

- Směrodatná odchylka: 19,3 ns

- Střední hodnota odchyly: 6,1 ns



Obrázek 7. Histogram odchyly