

EMBEDDED ŘEŠENÍ V ENERGETICE. PŘÍKLAD: INDIKÁTOR PORUCH

<i>Zpracoval:</i>	Ing. Jindřich Zoubek, MBA
<i>Pracoviště:</i>	TECHSYS - HW a SW, a.s., Březinova 640/3a, 186 00 Praha 8 - Karlín
<i>Tel.:</i>	+420 602 557 409
<i>E-mail:</i>	zoubek@techsys.cz

1 ANOTACE

Již první počítače z éry konce 2. sv. války (dekódování německých zpráv) je možno považovat za Embedded Systémy (dále jen ES). Následovala éra dobývání vesmíru, kdy v závodech mezi USA a SSSR hráli počítače ve formě ES nezastupitelnou roli. Dnes nacházíme ES téměř všude. Od sektoru automotive, přes domácí automatizaci až po obory energetiku nebo bankovníctví.

Přesná definice zcela neexistuje a je dosti obecná, což vede k problému s taxonomií ES. Autor textu se tedy pokusí o alespoň nejzaběhlejší rozdělení ES a to z různých úhlů pohledu, jako je velikost, výkon nebo architektura.

Energetika se svou provozovanou typicky distribuovanou architekturou je zcela jasný kandidát na využití ES a to v různých oblastech. Může jít, jak o měření něčeho tak základního jako jsou elektrické veličiny nebo sledování stavů, tak o řízení nebo detekci poruch a jejich odstraňování.

RTU, měřicí převodníky, konvertory protokolů nebo indikátory poruch „dílny“ firmy TECHSYS svým pojetím, zaměřením a užitím, již tradičně zapadají do konceptu ES a to nejen v oblasti energetiky.

V textu přednášky může čtenář očekávat následující chronologicky seřazená témata:

- Historie ES
- Taxonomie ES
- Struktura a charakteristika ES
- ES v Energetice obecně
- Měřicí převodník a indikátor poruch (Storm-03)
- Konvertoru protokolů (Twister)

2 ČLÁNEK PRO PODĚBRADY

2.1 Definice Embedded Systémů

Dle literatury a jiných zdrojů existuje celá řada definic, co to vlastně embedded systémy (dále jen ES), resp. „po našem“ vestavěné systémy, jsou. Uvedme si několik z nich a to i v originálním znění daného jazyka:

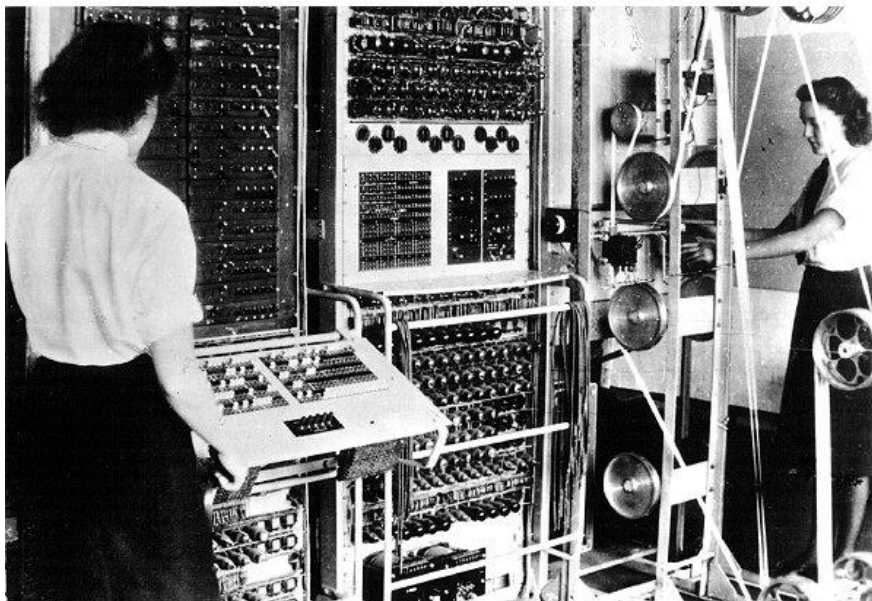
- Vestavěný systém (zabudovaný systém, embedded system) je jednoúčelový systém, ve kterém je řídicí počítač zcela zabudován do zařízení, které ovládá.
- Elektronický systém, který využívá nějaký počítačový čip, ale nejedná se o Workstation, desktop nebo laptop počítač. Takové systémy užívají mikrokontroléru (MCU) nebo mikroprocesory (MPU) nebo uživatelsky-upravené (designované) čipy.
- An embedded system is some combination of computer hardware and software, either fixed in capability or programmable, that is designed for a specific function or for specific functions within a larger systém.
- An electronic systems containing tightly coupled hardware and software components.

Všem těmto definicím je společné to, že se jedná o poměrně obecné definice, které věc příliš nekonkretizují. Pouze říkají, že jakési zařízení a ES jsou si velmi blízké, dalo by se říci, že jsou v symbióze. Co z toho plyne? Snad asi to, že hranice mezi tím co ES je a není, je tak neostrá, že dané rozhodnutí je spíše v roli filosofické rozpravy.

Některé z definic odkazují na specifickou funkci ES, to je pravda. Ale i toto se již dnes velmi mění. Aktuální masivní rozvoj v oblasti ES totiž stírá rozdíly mezi ES a počítači. Je to dáno tím, jak roste hlad po širokém spektru funkcí i u těch nejjednodušších věcí, čímž bobtnají i dovednosti ES.

2.2 Historie ES

Počátky vzniku ES můžeme s klidným svědomím datovat do doby vzniku prvních počítačů. Ostatně samotné první „prehistorické“ počítače vypadaly z dnešního pohledu spíše jako ES než jako počítačové systémy. Motivací pro jejich vznik byla potřeba řešení specifického problému. Jak se dá asi odtušit, prvním zákazníkem pro ES nebo počítače byl válečný průmysl. Např. počítač Colossus Mark II pro dekodování zpráv za 2. sv. války přesně zapadá do definice ES. Pro zajímavost můžeme uvést, že byl sestaven 2500 elektronek, umožňoval částečné programování. První z devíti strojů tohoto typu byl poprvé uveden v činnost 1. června 1944 nicméně jejich existence byla až do roku 2000 pečlivě utajena. Winston Churchill osobně podepsal dekret o zničení strojů, nicméně některé počítače Colossus Mark II pracovaly jako stroje určené pro školení a pomocné úlohy do konce 50. let. V letech 1959–1960 byly zničeny zbývající kopie. Současně byly zničeny všechny výkresy a diagramy použité ke konstrukci. O vytvoření repliky tohoto stroje se pokusila v roce 1994 skupina nadšenců a to na základě dochovaných fotografií, záznamů a svědectví původních účastníků projektu. O hardwarové architektuře a způsobu obsluhy si čtenář může udělat představu dle obrázku 1.



Obrázek 1: Řídicí panel počítače Colossus Mark II (Veřejný zdroj British Public Record Office)

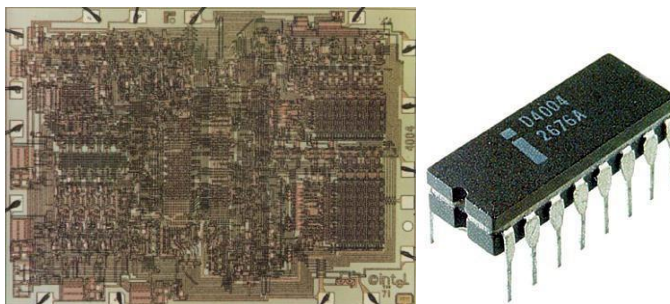
Za první novodobý ES lze považovat naváděcí počítač AGC (Apollo Guidance Computer) pro program Apollo vyvinutý Charlesem Stark Draperem v přístrojové laboratoři na MIT. Pro každý let na Měsíc byly použity dva, jeden byl umístěn ve velitelském a druhý v lunárním modulu. Při zahájení projektu byl naváděcí systém považovaný za potenciálně nejnebezpečnější část celého projektu. Použití nově vyvinutých integrovaných obvodů pro snížení velikosti a váhy snižovalo riziko selhání.



Obrázek 2: AGC modul uživatelského rozhraní (Veřejné foto EC96-43408-1, NASA)

Stejně tak jako u počítačů, tak i u ES, lze za počátek moderních ES považovat zrození integrovaných obvodů a mikroprocesorů. Miniaturizace umožnila obrovským způsobem stlačit velikost a cenu, a tím pádem značně posílila dostupnost. Za první komerčně úspěšný mikroprocesor můžeme považovat Intel 4004, 4-bitový mikroprocesor, který byl uveden na trh 15. listopadu 1971 firmou Intel. Jen pro zajímavost byl taktován 750kHz, napájen 15V, obsahoval 2300 tranzistorů a jeho oddělení pamětí pro data (640 B) a programy (4 KiB) bylo

znakem Harvardské architektury. Pro zajímavost, 95% dnešní produkce elektronických čipů je určeno pro ES.



Obrázek 3: Mikrofotografie (vlevo) a pouzdro obvodu Intel 4004 (Zdroj: Intel)

Ale vraťme se od rozpravy o vzniku integrovaných obvodů k ES. Jaké jsou a jaké byly vlastně důvody ke vzniku ES? Jednoznačně jsou to klasické motivy dnešní doby: cena, jednoduchost a možnost sériovosti výroby. ES patří v současnosti k nejrychleji se rozvíjející oblasti v oborech automatizace a řízení. Pojďme se tedy podívat, kde všude můžeme dnes ES hledat a najít. Dalo by se říci, že všude a nebyli bychom daleko od pravdy. Pojďme klidně po oborech a oblastech blízkých běžnému životu. Můžeme začít u osobních věcí jako: SMARTPHONE, PDA, kalkulačka; přes věci v domácnosti: TV, DVD, herní konzole, EZS; dále např. klasické bankomaty, to vše jsou vlastně ES. ES jsou dnes i součástí moderních měřících přístrojů. ES je možno nalézt i v automotive, kde řídicí jednotka je typickým zástupcem ES v tomto oboru.

Ještě je důležité zmínit dva fenomény dnešní doby, které hýbou světem ES. Za prvé jsou to hesla: IoT (tedy internet věcí), Industry 4.0 a obecně Smart technologie. Především IoT je téma, jež umožňuje stále více věcí pospojovat do jednoho elektronického informačního systému. Za druhý fenomén se dají považovat pojmy Linux, Android a Arduino, propojení těchto pojmů zpřístupnilo ES a IoT i pro domácí kutily. Každý trochu zručný kutil je díky nim schopen si dnes postavit např. chytrou domácnost celou sám.

ES lze z pohledu zabudovanosti vidět i rekurzivně. Příkladem mohou být GSM moduly. GSM modul je dnes sám o sobě ES, jenž může být zabudován do jiného ES. Firma TECHSYS již řadu let využívá GSM moduly od firmy GEMALTO ve svých RTU.

Neposledním oborem, kde se lze s ES setkat je samozřejmě Energetika. Za ES lze považovat RTU, měřící převodníky, indikátory poruch, ..., ale např. i ŘS elektrárny.

Domnívám se, že si můžeme do kapitoly historie dovolit dát rovněž téma budoucnosti ES. Asi nikoho nepřekvapí, že budoucnost ES je právě v konceptu Smart věcí a internetu věcí. Chytrá města, chytré distribuční sítě, chytrá auta to je přesně pole působnosti pro veškeré možné současné i budoucí formy ES. Cílem by měly tedy být autonomní sítě ES.

2.3 Taxonomie ES

Čtenáře může samozřejmě zajímat i to jak se vlastně ES dělí. Bohužel, jelikož neexistuje přesná definice ES, tak neexistuje ani přesná taxonomie – není konsenzus.

Vyberme tedy čtyři příklady možného dělení:

1. Dle výkonu CPU:
 - a) Malé – 8, 16 bitové, microcontroller, baterie, assembler
 - b) Střední – 16, 32 bit, RISC, C, C++, JAVA, Visual C++, RTOS
 - c) Sofistikované – komplexní HW i SW
2. Dle funkce:
 - a) Stand alone – mp3 přehrávače, kamery, herní konzole, ...
 - b) Real time – dále se dělí na soft, hard a hybrid RTS
 - c) Networked – jsou součástí větší sítě (EVS, senzory, IoT, ...)
 - d) Mobile – mobil, PDA, kamera, ...
3. Dle programovací techniky, resp. OS:
 - a) Konečný automat (bez OS) – jednoduchost (PLC)
 - b) Technika hlavní smyčka (foreground task) a ISR (background task) (bez OS)
 - c) OS reálného času – typicky nějaký RTOS (tasky, paměť tasků viditelná navzájem)
 - d) klasický OS – Linux, Win (procesy + vlákna, paměť procesů oddělena)
4. Jiná klasifikace
 - a) Small
 - MCU-based, low component count
 - Large volume
 - Single tasked
 - Low-cost, maintenance free
 - b) High-performance
 - Dedicated board-level hardware
 - Task intensive, RTOS-based
 - Low-volume, high cost
 - High maintenance
 - c) Distributed
 - Multi-chip, board-level
 - Multi-tasked
 - Medium volume & cost
 - Maintainable, upgradeable

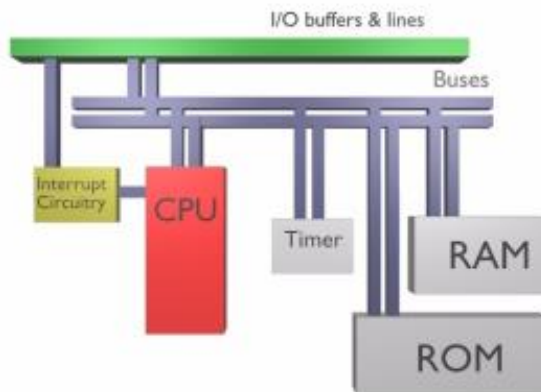
2.4 Charakteristika ES

Jak jsme již naznačili v úvodu. Na rozdíl od všeobecně použitelných počítačů (například osobních) jsou ES navrženy pro konkrétní činnosti. Pojdme si uvést ještě řadu dalších charakteristik:

- Často práce v reálném čase.
- SW a HW mají k sobě velmi blízko.

- Programovací jazyky: C, C++, ASM, ale i JAVA (J2ME, ...).
- SW je označován jako firmware.
- Autorem firmware není typický SW inženýr nebo programátor, ale člověk znalý jak vývoje SW, tak elektroniky.
- Omezené možnosti ladění (DEBUG) – speciální emulátor nebo speciální HW.
- Omezené zdroje: RAM, ROM, výkon, napájení.
- Uživatelské rozhraní – často žádné z důvodu jednoduchosti – pouze po síti...
- Často řada I/O a komunikačních rozhraní: UART, ADC, PWM, I2C, SPI, USB, 1-Wire
- CPU typu: ARM, MIPS, Coldfire/68k, Power PC, X86, PIC, 8051, Atmel AVR, H8, SH, V850, FRV, M32R oproti CPU u klasických PC: Intel/AMD x86, a Apple/Motorola/IBM PowerPC.
- Dnes populární rodina ARM čipů STM32F4xx.

Ještě je dobré upozornit na jednu věc, která souvisí s právě uvedeným seznamem charakteristik. Pro ES jsou typičtější MCU (microcontroller) než MPU (mikroprocessor). Pozor, MCU není to samé co MPU. MPU je jednočipový CPU použitý v jiných počítačových systémech, sám o sobě tedy potřebuje ještě řadu dalších komponent (sběrnice, paměti, I/O rozhraní) k tomu, aby mohl tvořit základní fungující systém, kdežto MCU je sám o sobě jednočipový počítačový systém (obvykle integruje MPU, paměti, sběrnice a I/O na jednom čipu). Z jiného úhlu pohledu se dá říci, že MPU je optimalizován pro rychlost a práci s pamětí, kdežto MCU je optimalizován na velikost a spotřebu energie. Následující obrázek tedy stručně vyjadřuje strukturu MCU.



Obrázek 4: Mikrokontroler (Zdroj: kniha First Steps with Embedded Systems)

2.5 Vývoj a výroba ES

Na co se klade při vývoji a výrobě ES největší důraz? Jelikož se ve většině případů jedná o jednoúčelové systémy se specifickou funkcí, které by měly být bezúdržbové a spolehlivé, jedná se o následující sadu vlastností:

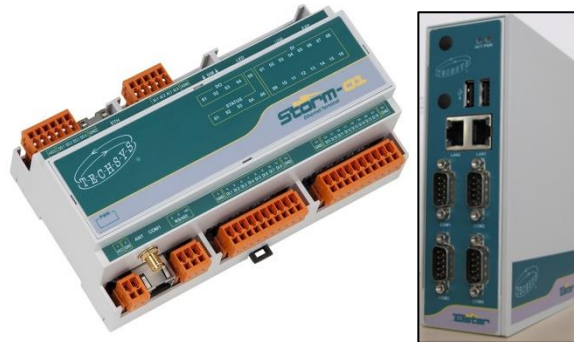
- Spolehlivost a robustnost (pečlivý vývoj SW, jištění pomocí Watchdog).
- Velká životnost – především HW.
- Nasazení v extrémních podmínkách (teplota, vlhkost, rušení).

- Bezpečnost – často ale omezené možnosti (výpočetní výkon, atd.) – dnes problém IoT zařízení

2.6 ES v energetice – obecně

Určitě by se dalo velmi dobře pokračovat v rozboru dalších detailních souvisejících s ES jako je organizace paměti, dělení na Von Neumannovskou a Harwardskou, popis rozdílů mezi RISC a CISC architekturou či struktura CPU jeho registry a ALU, ale na to zde není prostor. Přejdeme tedy od věcí obecných k věcem konkrétním a to z oblasti energetiky.

Stejně jako řada výše zmíněných oborů, je i energetika oblast s poptávkou po jednoduchém, spolehlivém a typovém řešení řízení a sběru telemetrických dat. Do této oblasti zapadají zařízení jako RTU pro řízení a sběr dat, konvertory protokolů, měřicí převodníky elektrických veličin nebo indikátory poruch. Tato zařízení jsou buď postavena na bázi speciálního HW, nebo obecnějšího HW, ale určeného pro provoz v průmyslovém prostředí.



Obrázek 5: RTU Storm-01 (vlevo) a jedna z HW platform SW Twister (Zdroj: TECHSYS)

Pokud bychom měli sáhnout do oblasti komplexnějšího ES, můžeme jako příklad uvést Monitorovací systém transformátorů (MST). Jedná se o HW a SW s jednoznačnou funkcí (monitoring transformátu), který je těsně svázán se zařízením, do kterého je vestavěn (na transformátor – čidla, měřicí převodníky, RTU, atd.).



Obrázek 6: Monitorovací systém transformátorů TECHSYS (Zdroj: TECHSYS)

2.7 ES v energetice konkrétně

Nyní se pojd'me podívat na několik ES poněkud konkrétněji.

2.7.1 Storm-03 – Měřicí převodník / Indikátor poruch

Indikátor poruch je z pohledu budoucnosti energetiky věc naprosto nezbytná. Chytré zařízení, jež je schopno detekovat poruchy, informovat o nich nadřazený systém nebo dokonce samostatně intervenovat, je naprosto jasná budoucnost chytrých sítí.

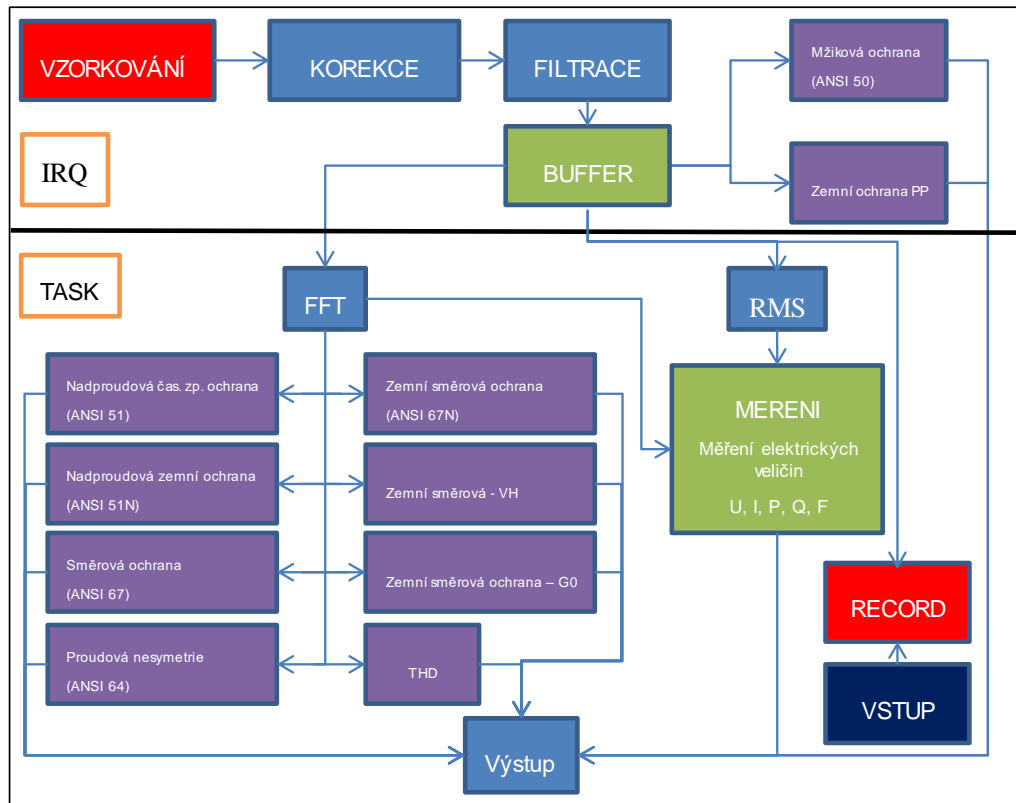
Firma TECHSYS před několika lety vyvinula měřicí převodník Storm-03 pro měření klasických elektrických veličin jako je PQUIf a další, které našly řadu aplikací, jak v energetice a průmyslu, tak dnes např. i v telekomunikacích. Všude to byla vždy potřeba měření jisté podmnožiny veličin nebo potřeba regulace.



Obrázek 7: Storm-03 (Zdroj TECHSYS)

Měřicí převodník Storm-03 je dnes poměrně pokročilé zařízení, jež disponuje celou řadou komunikačních protokolů. Pro představu, jak ty nejjednodušší jako Modbus RTU a Modbus TCP, tak složitější a v energetice běžné jako IEC60870-5-101, IEC60870-5-104 nebo DNP3.0. Při diverzifikaci portfolia zákazníků se nám podařilo získat strategického partnera z jiného oboru, což nám dovolilo dokončit „sourozence“ převodníku Storm-03, kterým je převodník Storm-06. Tento převodník je určen především k měření tzv. svodových proudů, jedná se o paralelní měření stejnosměrných i střídaných proudů pomocí Hallových sond.





Časem nám v TECHSYS došlo, že na základě přesného měření a dostatečného vzorkování můžeme získávat i data pro jiné, zajímavější funkce a těmi byly indikace poruch. Základem je mít spočítáno dostatečné množství harmonických složek, jejich fázorů a znát správné algoritmy. Jak vypadá část blokového schématu firmware ve Storm-03 určeného pro měření elektrických veličin a výpočet indikačních funkcí je vidět z obrázku 8.



Obrázek 8: Zdroj TECHSYS

Nebudeme odkrývat nic detailního z firemního know-how ohledně použitých algoritmů ale můžeme si dovolit říci následující. Základem všeho je správné vzorkování a rychlý přísun dat do bloků pro výpočet RMS a FFT. U FFT jen poznamenejme, že se jedná o blok pro výpočet tzv. rychlé Fourierovy transformace. Rychlá Fourierova transformace je způsob výpočtu diskrétní Fourierovy transformace, kterým získáme stejné výsledky, ale mnohem rychleji. Klasická metoda DFT potřebuje $O(N^2)$ operací, zatímco FFT pouze $O(N \log N)$ operací. Jen pro zajímavost uvedme, že FFT je možno v klasické podobě provádět pro signály, u nichž bylo sejmuto 2^p vzorků. Nicméně v současné době existují i sofistikovanější algoritmy, jež umožňují provádět FFT pro libovolný počet vzorků.

Výše uvedené schéma nám tedy umožňuje implementovat např. následující asi nejzajímavější podmnožinu indikačních funkcí (ukažme, jak značení ANSI, tak značení IEC):

- Mřížová nadproudová ochrana ANSI 50 
- Nadproudová ochrana ANSI 51 
- Nadproudová směrová ochrana ANSI 67 
- Zemní směrová ochrana ANSI 67N 

Abychom zde ale pouze nebásnili o indikačních funkcích a výpočtech FFT, zmiňme i další věci, jež dělají ze Storm-03 přitažlivé zařízení (resp. ES):

- Bohaté portfolio standardních komunikačních protokolů.

- Modulární firmware – velmi zjednodušuje návrh a rozšiřování firmware.
- Modulární firmware, jenž dodržuje strukturu i dalších SW TECHSYS, nám dále umožňuje sjednotit přístup k těmto produktům pod jeden dohledový SW.
- Uživatelsky přívětivý dohledový SW umožňuje se Storm-03 provádět: dohled, diagnostiku, konfiguraci, analýzu dat, a to vše online za běhu.

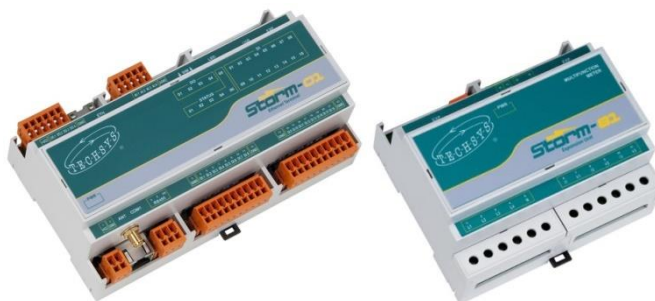
Abychom také trochu nahlédli „pod kapotu“ tohoto zařízení zmiňme, že srdcem je výkonný procesor ARM ze série STM32F4 (ARM Cortex-M4 – 32 bit, RISC architektura, FPU, PLL), k výkonu mu napomáhá vhodná kombinace pamětí RAM, FRAM a FLASH, pro přístup k měřeným hodnotám je zde několik A/D převodníků a digitálních I/O a v neposlední řadě bylo využito jednoho z realtime operačních systémů, což v kombinaci s využitím přerušovacích rutin umožňuje vyvíjet efektivní firmware v C++ navržený téměř jako SW pro „dospělý“ operační systém.

2.7.2 Jiné příklady ES

Uveďme ještě velmi stručně několik dalších ES používaných v energetice.

2.7.2.1 Jiné řešení indikátoru poruch (Storm-01 + Storm-81)

Záměrně byla vybrána kombinace RTU Storm-01 a rozšiřujícího modulu Storm-81. Tato kombinace totiž rozšiřuje funkce RTU o měření a indikační funkce. Jedná se o ekonomičtější verzi než při kombinaci Storm-01 a Storm-03, modul Storm-81 je totiž bez jakékoliv logiky, jedná se pouze o rozšíření Storm-01 o měřicí část.



Obrázek 9: RTU Storm-01 a expanzní modul Storm-81 (Zdroj TECHSYS)

2.7.2.2 Jednotky pro dálkové ovládání úsekových odpínačů.

RTU Storm-01 má celou řadu možných aplikací, jednou z nich je jednotka pro řízení úsekového odpínače.



Obrázek 10: Dálkově ovládaný úsekový odpínač (Zdroj: IVEP)

2.7.2.3 Konvertor protokolů

Poměrně častým jevem při modernizaci ŘS je potřeba najít vhodné zařízení buď pro napojení starého ŘS na novou technologii, jejíž komunikační protokoly daný ŘS nepodporuje, nebo v gardu opačném, tedy nový ŘS nepodporuje nějaký „archaičtější“ komunikační protokol z původní technologie, kterou je ale potřeba zachovat a napojit. V tu chvíli přichází vhodný moment pro tzv. konvertory protokolů, nebo-li komunikační převodníky, resp. gatewaye.

Poměrně často se setkáváme s následujícími potřebami převodu protokolů:

- Převod IEC60870-5-101 na IEC60870-5-104.
- Převod Modbus RTU na IEC60870-5-104.
- Převod Modbus TCP na IEC60870-6 TASE2.
- Převod IEC61850 na IEC60870-5-104.
- Převod IEC62065 DLMS/COSEM na IEC60870-5-104.
- Převod starších protokolů typu TG809, RP570 nebo COMLI na IEC60870-5-104.

U nás v TECHSYS máme několik možností jak daný převodník řešit:

- Pomocí malého kompaktního RTU – typicky převodník jednotek komunikací.
- Pomocí průmyslového PC se SW Twister – převodník desítek komunikací.
- Pomocí serverového HW se SW Twister – převodník stovek a tisíců komunikací.



Obrázek 11: Jedna z HW platformem SW Twister (Zdroj: TECHSYS)

2.8 Závěr

Co říci závěrem? Vypůjčme si závěr z analýzy renomované společnosti Gartner. Podle ní patří mezi 10 strategických technologických trendů pro rok 2017 následující:

1. Umělá inteligence a pokročilé strojové učení.
2. Inteligentní aplikace.
3. Inteligentní věci.
4. Virtuální a rozšířená (upravená) realita.
5. Digitální dvojče.
6. Blockchain a distribuované záznamy.
7. Konverzační systémy.
8. Síť aplikací a architektury služeb.
9. Platformy digitálních technologií.
10. Adaptivní bezpečnostní architektura.

Je zcela evidentní, že jde o témata, kde jde o „pochytrání“ věcí, strojů a systémů, tudíž je zcela jasné, že jde o živnou půdu pro embedded systémy, jejichž vývoj a dodávky budou akcelarovat. Jak si s tím už poradí jednotlivý výrobci v dnešním hyper-konkurenčním prostředí je jinou otázkou. Její zodpovězení přenechme někomu jinému.