



Centrum výzkumu a využití
obnovitelných zdrojů
energie



Prototyp hybridního energetického systému

TH02020435

*Bezuhlíkový hybridní energetický systém s akumulací pracující jako aktivní
prvek elektrizační soustavy*

Řešitelský kolektiv:

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.
Ing. Jan Morávek, Ph.D.
Ing. Michal Vrána
Ing. Filip Koval

Ing. Martin Vojtek, PhD.
Ing. Branislav Bátora, Ph.D.
Ing. Pavel Fišer
Ing. Miroslav Páleník

Verze: 27-01/2020

Brno

Obsah

1	Technické řešení	2
1.1	Popis a funkce systému	2
1.2	Prvky systému	6

1 Technické řešení

Hybridní energetický systém s akumulací, byl sestaven s využitím poznatků získaných při analýzách dosavadních řešení je sestaven na základě ověřeného korektního uspořádání systému a validované navržené logiky řídicího systému.

Základní koncept systému se oproti první verzi změnil v několika detailech. FV systém je stále připojen před DC-DC měniče přímo na akumulační systém prostřednictvím stejnosměrné vazby (DC coupling), systém disponuje možností připojení olovených akumulátorů, alternativně jsou podporovány i lithiové akumulátory s externí, BMS systémem. Experimentální hybridní energetický systém integruje jako doplňkový zdroj také rychloběžnou větrnou turbínu.

Prototyp systému vychází z optimalizovaného řešení systému a z implementovaných dosažených výsledků v průběhu řešení projektu. Především se jedná o topologii zajišťující zabránění zpětným tokům energie do distribuční soustavy. U prototypu vzorku HS je přetokům energie zamezeno provozem v ostrovním režimu a zapojení systému ve variantě DC coupling. Technické řešení je blíže popsáno ve výsledku projektu: „Typové postupy - metodika provozu HS“.

Prototyp byl doplněn o externí síťovou ochranu, která zajistí bezpečné odpojení systému od distribuční soustavy v případě výpadku napětí v DS a umožní opětovného připojení HS k soustavě až po splnění všech podmínek definovaných v příloze č. 4 PPDS (napěťové a frekvenční limity ve všech fázích v předepsaných tolerancích, uplynutí předepsaného časového limitu). Použití externí síťové ochrany není v tomto případě zcela nezbytné (stejně funkce lze zajistit s využitím řídicího systému), nicméně ověřitelnost správného nastavení je možné provést přímo pracovníkem DS na základě protokolu nastavení ochran.

1.1 Popis a funkce systému

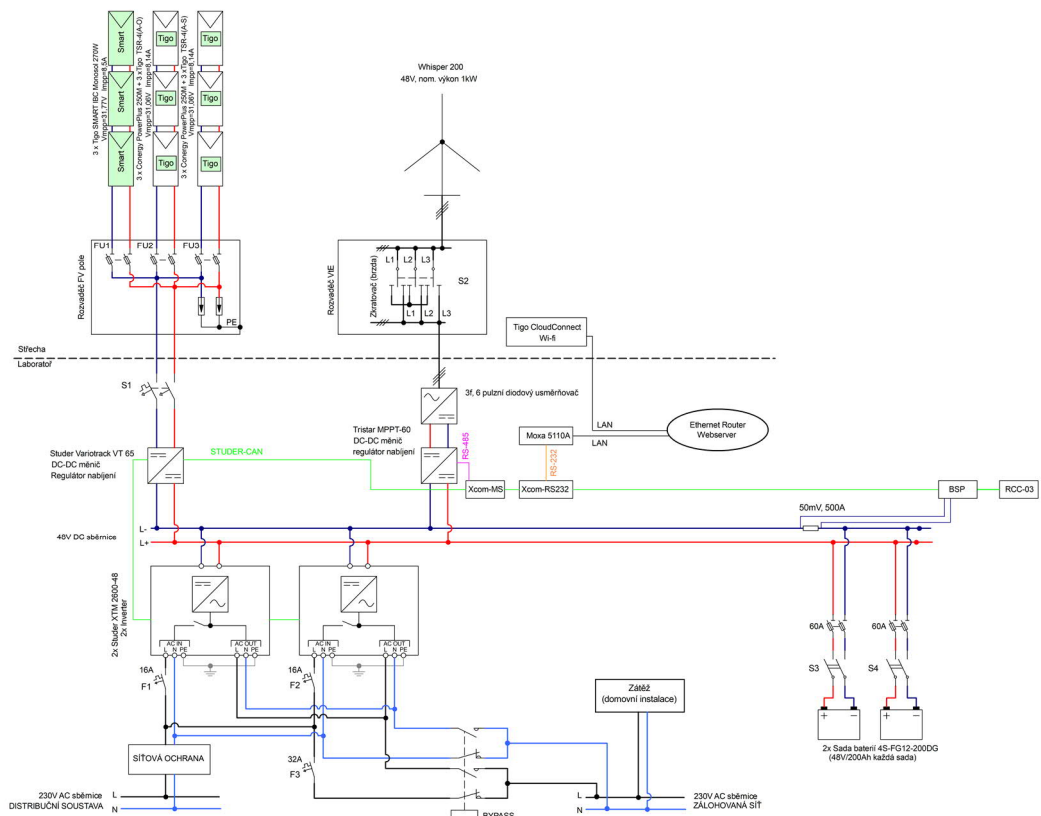
Jedná se o hybridní jednofázový systém s DC couplingem (přímým dobíjením baterií prostřednictvím DC-DC měničů). Řešení se skládá ze dvou jednofázových střídačů Studer XTM 2600 zapojených v režimu Master. Střídač Studer je vždy připojen na jednu fázi, stávající zátěž simulující „domácí síť“ je připojena na výstup střídačů

Celé řešení je primárně doplněno o akumulační systém tvořený gelovými akumulátory fgFORTE o celkové kapacitě 400 Ah/48 V (Obr. 1). Bateriovou sadu monitoruje BSP (Battery Signal Processor), který předává řídicímu systému o aktuálním stavu nabití systému. Alternativní možností je připojení lithiových akumulátorových boxů s odpovídajícím napětím a kapacitou (Obr. 2). Připojení BMS (Battery Management System) akumulačního systému do řídicího rozhraní je možné prostřednictvím rozhraní Xcom-CAN, který je u lithiových akumulátorů variantním prvkem namísto BSP.

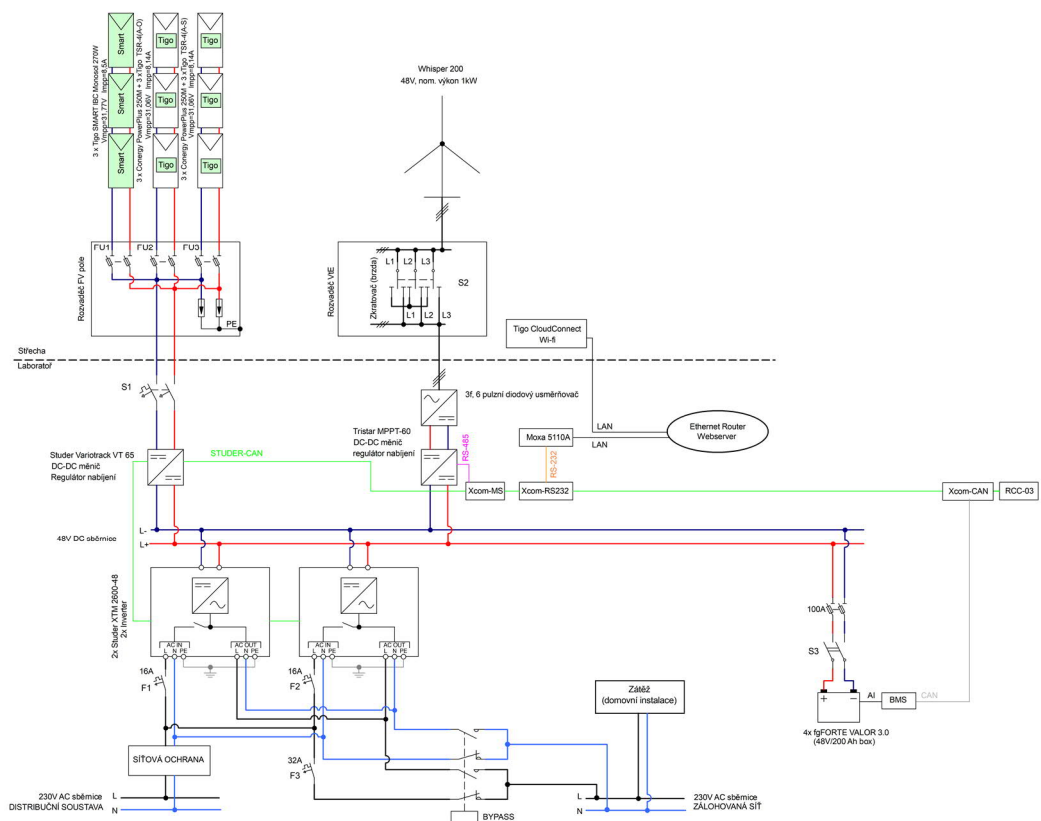
Mezi další vlastnosti prototypu dále patří automatický bypass hybridního systému s volitelnou prioritou. Uživateli je umožněno zvolit, zda zátěž připojená na výstupní sběrnici bude prioritně napájena prostřednictvím hybridního systému (tedy se zálohováním při výpadku distribuční sítě) nebo bude připojena přímo na distribuční soustavu. Způsob přepínání je automatický dle zvolené priority a nevyžaduje fyzické přepojování vodičů v rozváděči. V případě, že je zvolena prioritní hybridního systému pro napájení připojené zátěže nastane přepnutí na distribuční síť v případě, že je hybridní systém odstaven (např. z důvodu servisu, případně poruchy).

Fotovoltaické (FV) pole je vybaveno funkcí rychlého vypnutí (prostřednictvím Tigo PV Safe – Obr. 19), která při stisknutí tlačítka odpojí jednotlivé panely a tím zajistí beznapěťový stav celého FV pole. Tato funkce významně přispívá k elektrické i požární bezpečnosti instalace, protože u standardních instalací je FV pole při odpojení pod napětím (způsobeno vlastností běžných FV panelů). Další přínos jednotek Tigo je v možnosti monitoringu výkonosti (Obr. 3) na úrovni jednotlivých panelů a u jednotek s optimalizací také zvýšení energetických výnosů při částečném zastínění panelů (Obr. 4). Jak je z obrázku patrné, panely A3, B3 a C3 jsou zastíněny a pracují s nižším výkonem. Panel C3 není vybaven optimalizací a jeho výkon je téměř nulový. Vzdálený monitoring je dostupný online po přihlášení na uživatelský účet instalace.

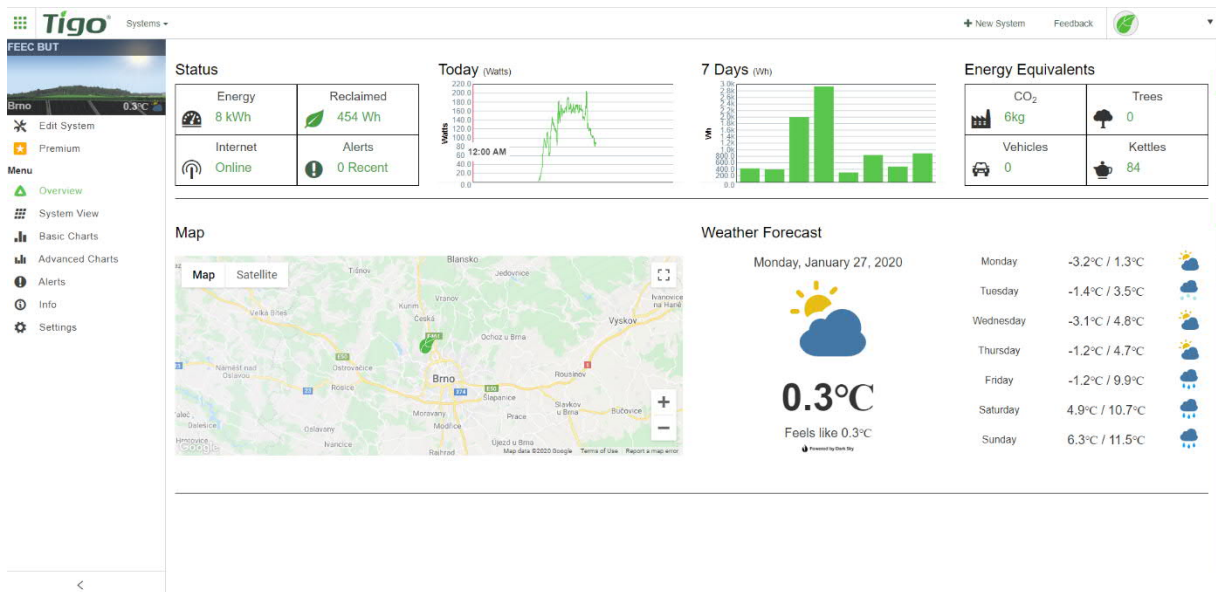
Vzdálené ovládání a monitoring systému je zajištěno prostřednictvím portálu výrobce měničů Studer Innotec. Po přihlášení do uživatelského rozhraní je možné po zadání verifikačního kódu přistupovat k jednotlivým parametrům nastavení. Pro koncového uživatele je k dispozici pouze základní informační přehled s výkonovými a energetickými bilancemi (Obr. 5 – Obr. 7).



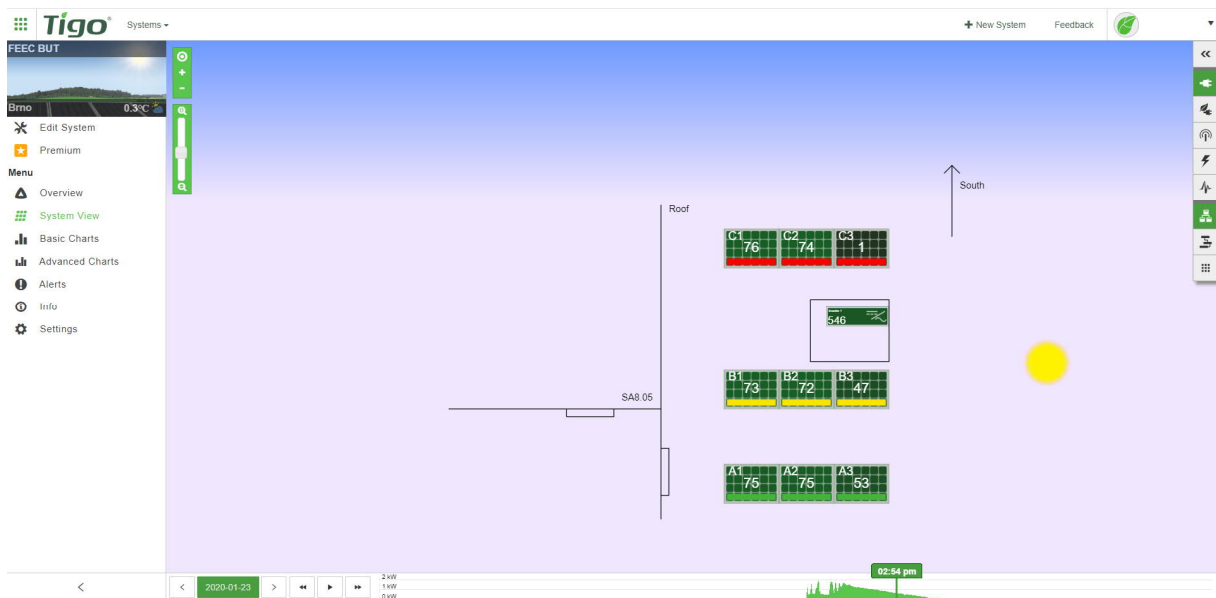
Obr. 1 Schéma prototypu s olověnými akumulátory



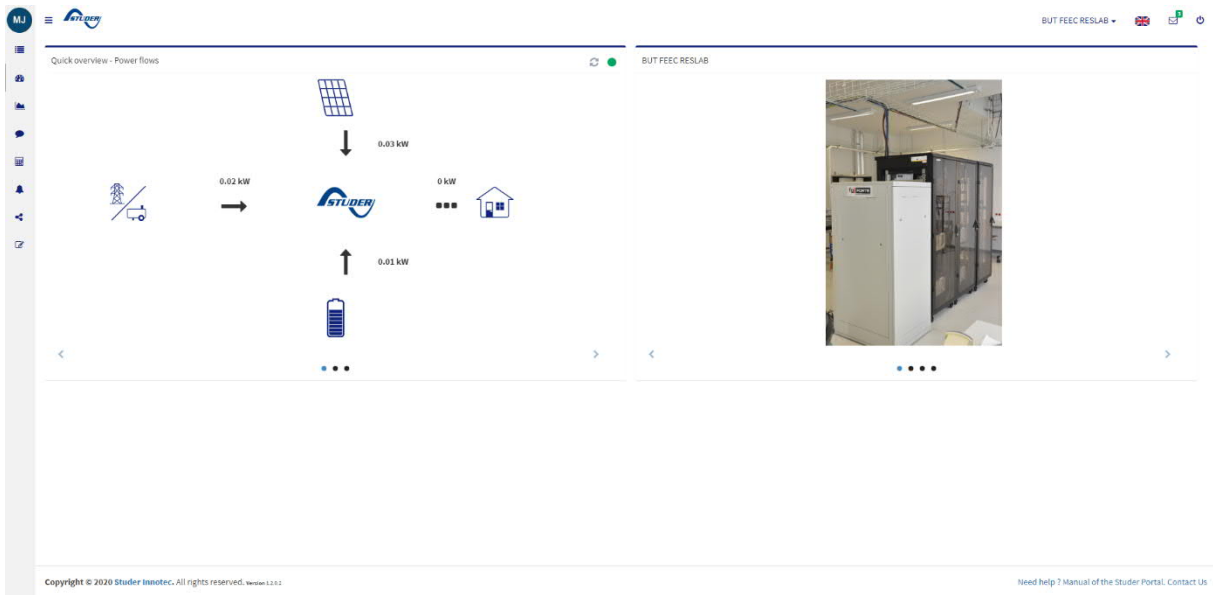
Obr. 2 Schéma prototypu s lithiovými akumulátory



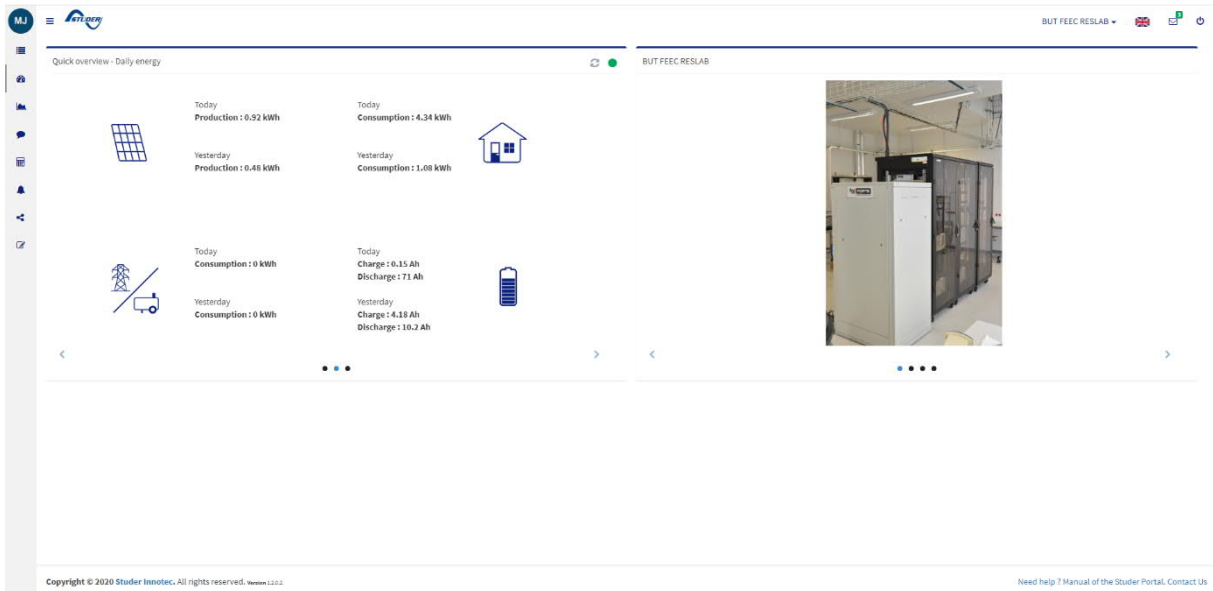
Obr. 3 Základní monitoring FV pole prostřednictvím portálu Tigo



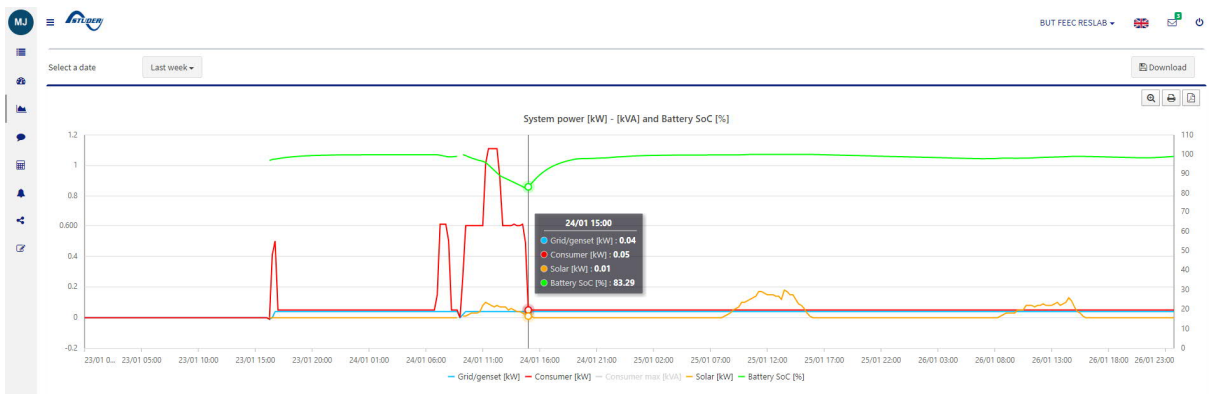
Obr. 4 Detailní monitoring FV pole prostřednictvím portálu Tigo



Obr. 5 Základní informace o tocích výkonu prostřednictvím portálu Studer



Obr. 6 Základní přehled o systému v portálu Studer



Obr. 7 Detailní přehled a historie jednotlivých prvků systému

1.2 Prvky systému

Hybridní měniče Studer Innotec XTM 2600-48 - Obr. 14

V systému jsou zapojeny celkem 2 měniče – 1. měnič XTH 2600-48 pracuje jako řídicí (Master) a 2. měnič XTM 2600-48 jako řízený (Slave). Oba měniče jsou zapojeny na stejné fázi a jsou prostřednictvím komunikační sběrnice Studer-CAN připojeny k řídicímu systému.

Hybridní měniče umožňují připojení na síť pro zajištění nabíjení akumulace ze sítě (svorky AC-IN). Výstupní svorky (AC-OUT) představují zálohovanou ostrovní síť (Grid-OFF), jejíž frekvence je řízena střídačem na 50 Hz.

Na výstupu střídačů je možno zapojit jednofázový spotřebič s trvalým příkonem 4 kVA na fázi. Po dobu 30-ti minut lze provozovat zátěž s příkonem 5,2 kVA.

Akumulátory fgFORTE FG12-200DG - Obr. 16

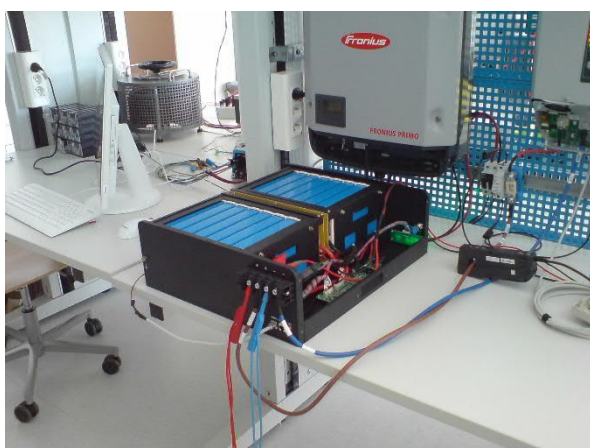
Současný HS je stále postaven na původně uvažované platformě, tedy elektrická energie se ukládá do gelových olovených akumulátorů umístěných v bateriových skříních. V každé skříně jsou sériově zapojeny čtyři akumulátory. Každý akumulátor má kapacitu 200 Ah a napětí 12V. Skříně jsou zapojeny paralelně a tvoří systém o nominálním napětí 48V DC a celkové kapacitě 400 Ah, což představuje energetickou kapacitu 19,2 kWh. V souvislosti s optimalizací systému byly v průběhu roku 2018 testovány možnosti využití nové platformy pro akumulaci - přechod na lithiové baterie, což se ukázalo jako vhodné řešení s ohledem na definici a testování komunikačních protokolů u BMS a možnosti využití nových bateriových celků na bázi lithia ze strany hlavního řešitele projektu.

Akumulátory fgFORTE Valor 3.0 - Obr. 10

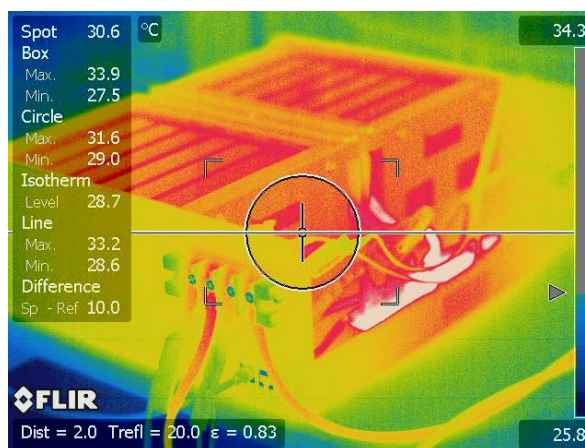
V rámci optimalizace systému byla testována odlišná technologie akumulátorů využívající li-ion články. Akumulátorová sada je složená ze čtyř modulů fgFORTE Valor (každý s kapacitou 3 kWh) řazených paralelně na 48 V sběrnici. Každý modul je vybaven BMS systémem zajišťující nepřetržitý monitoring jednotlivých článků i celého modulu.

Nový typ akumulátoru by podroben sérii zátěžových testů, při kterých byly ověřeny mezní stavy modulu a bezpečnostní funkce BMS.

Další fáze testování se zaměřila na paralelní řazení jednotlivých modulů a vzájemnou synchronizaci komunikačního protokolu. Testování kompatibility akumulátorů bylo ověřeno se střídači Studer Innotec a dále také vybrané typy modelů výrobců GoodWE. Na základě dostupné dokumentace je připravena konfigurace pro inventory výrobců Fronius, SMA a Victron. Finální testování nebylo odzkoušeno z důvodu nedostupnosti těchto inverterů pro účely testování.



Obr. 8 Zátěžový test akumulátorového modulu



Obr. 9 Teplotní rozložení v průběhu zátěžového testu



Obr. 10 Rozvaděč s lithiovými akumulátory

Battery Signal Processor (BSP).

Battery Signal Processor zajišťuje měření skutečného napětí na svorkách akumulátorů a teploty akumulátorů. Dále měří proud na rozhraní akumulčního systému a následně provádí výpočet aktuálního stavu nabití. Zároveň předává informace o stavu akumulátoru řídicímu systému a zajišťuje záznam jednotlivých zaznamenaných hodnot

Řídící jednotka hybridního systému (RCC) - Obr. 12

Jednotka je umístěna na čelní stěně skříně s hybridními střídači a zajišťuje monitoring a nastavování funkcí celého hybridního systému. Na LCD displeji se zobrazují aktuální systémové informace (proudy, napětí, výkony, aj.) z výstupní strany střídačů, z baterií a vstupní strany (AC in) a také případná poruchová a oznamovací hlášení. Jednotka je propojena s dalšími prvky systému prostřednictvím komunikačního rozhraní Studer-CAN.

Komunikační rozhraní Xcom-MS

Komunikační převodník mezi systémovým komunikačním rozhraní Studer-CAN a rozhraním RS485, které využívá měnič Morningstar TS MPPT-60.

Komunikační rozhraní Xcom-RS232i a MOXA5110A

Sestava komunikačních převodníků mezi systémovým komunikačním rozhraní Studer-CAN a rozhraním RS232, případně LAN, které umožňuje připojení řídicího systému do sítě ethernet.

Tigo Cloudconnect - Obr. 19

Bezdrátový komunikační modul zajišťuje připojení jednotlivých smart panelů/retrofitových jednotek do sítě ethernet. Zajišťuje funkci PVsafe, která umožňuje jedním stiskem tlačítka vypnout říditelné fotovoltaické panely (tedy zajistí na jejich výstupu nulové napětí).

DC-DC měnič Studer Variotrack - Obr. 20

DC-DC měnič slouží jako regulátor nabíjení akumulčního systému dostupným výkonem z připojeného FV systému. Měnič disponuje funkcí MPPT, tedy zatěžuje FV pole tak, aby z něj odebíral maximální možný výkon. V případě dosažení maximální úrovně nabití akumulčního systému (bez připojené zátěže) je postupně snížen odebíraný výkon z FV pole, což zajišťuje bezpečný provoz systému a nedochází k přebíjení akumulčního systému. V tomto případě se tak děje automaticky, bez potřeby komunikačního pokynu nebo rozepnutí akčního prvku.

DC-DC měnič Morninstar TS MPPT-60 - Obr. 20

DC-DC měnič slouží jako regulátor nabíjení pro připojenou větrnou turbínu. Umožňuje naprogramovat zatěžovací charakteristiku generátoru poháněného větrnou turbínou pro zajištění optimálního a bezpečného provozu.

Fotovoltaické pole - Obr. 17

Fotovoltaické pole je tvořeno paralelním spojením tří stringů, přičemž dva stringy jsou tvořeny fotovoltaickými panely CONERGY PowerPlus 250M (tři sériově řazené panely ve stringu) a jeden string tvoří smart panely IBC Monosol 270W. Pro účely analýzy je jeden string tvořen smart panely, jeden string obsahuje retrofitové optimizéry (Obr. 18) TIGO TSR-4(A-O) a jeden string je tvořen klasickými monokrystalickými fotovoltaickými panely bez možnosti optimalizace, disponující pouze základním monitoringem a možností rychlého odepnutí systému TIGO TSR-4(A-S).

Větrná turbína - Obr. 13

Rychloběžná větrná turbína se synchronním generátorem s permanentními magnety o jmenovitém výkonu 1000 W při rychlosti větru $11,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Střídavý výstup z generátoru je usměrněn šestipulzním diodovým usměrňovačem a připojen na vstup DC-DC měniče Morningstar TS-MPPT-60.

Síťová ochrana

Síťová ochrana pro zajištění požadavků přílohy č. 4 PPDS. Zařízení slouží k samočinnému odpojení fotovoltaické nebo jiné elektrárny od rozvodné sítě, v případě její poruchy. Měří frekvenci a napětí ve všech fázích a při odchylce mimo povolené meze po nastaveném čase odpíná. K opětovnému připojení dojde po nastavené době po odeznění poruchy. Pro účely optimalizace funkčního vzorku byla zvolena ochrana UF300 – Dvoustupňová napěťová a frekvenční ochrana.



Obr. 11 Skříň s akumulátory a měniči



Obr. 12 Rozhraní řídicího systému



Obr. 13 Větrná turbína



Obr. 14 Hybridní měnič Studer Innotec



Obr. 15 Pohled na hybridní systém



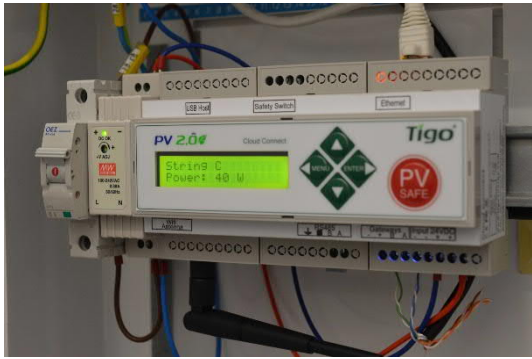
Obr. 16 Olověné akumulátory



Obr. 17 Střešní část instalace



Obr. 18 Retrofit Tigo TSR-4(A-O)



Obr. 19 Jednotka Tigo Cloud Connect



Obr. 20 Regulař nabíjení Variotrack a Mornistar (vpravo)