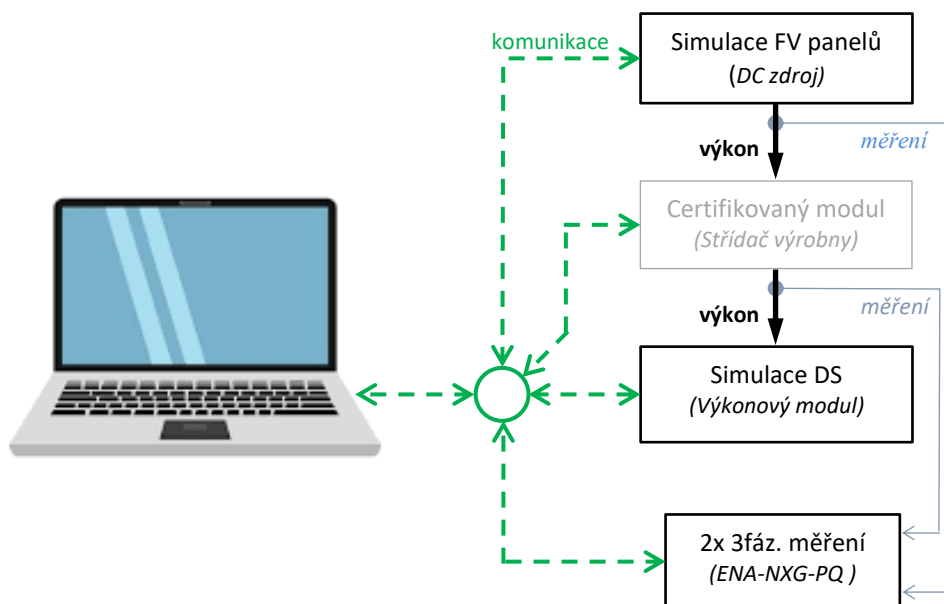


VÝSLEDEK PROJEKTU CERTIFIKAČNÍ ZDROJ S VÝKONOVÝM STUPNĚM PRO MALÉ ZDROJE PŘIPOJOVANÉ DO SÍTÍ NN - Č. TK01020196

Identifikační číslo:	TK01020196-V2
Název výstupu/výsledku:	System pro certifikaci zdrojů elektrické energie připojovaných do elektrických sítí nízkého napětí
Druh výsledku:	Gfunk – funkční vzorek
Vykazující subjekt:	Vysoké učení technické v Brně
Vlastnické podíly:	85 % EGC - EnerGoConsult ČB s.r.o. 15 % Vysoké učení technické v Brně
Interní registrační číslo výsledku organizace:	176064 (Apollo ID)

1. Popis

Technické řešení se týká systému sloužícímu k certifikaci zdrojů elektrické energie, tzv. výrobních modulů malého výkonu, a to zejména obnovitelných zdrojů elektrické energie, které jsou určeny k připojení do elektrických sítí nízkého napětí distribuční soustavy elektrické energie, blokové schéma je ilustrováno na Obr. 1.



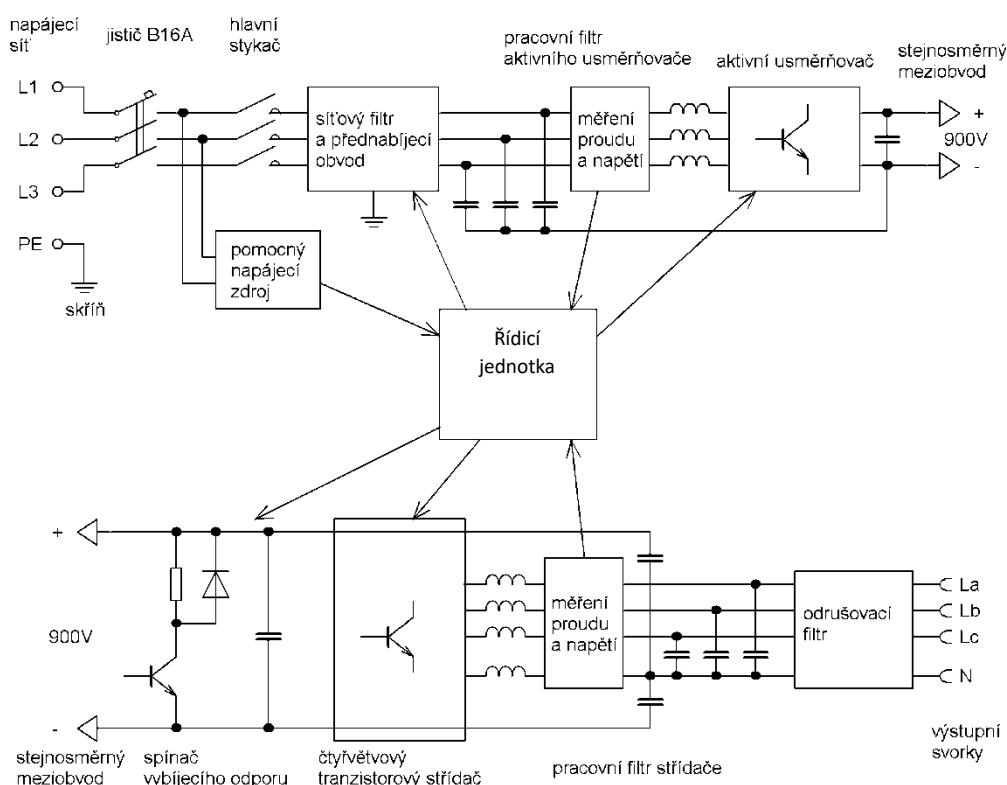
Obr.1: Blokové schéma certifikačního zdroje

Základním prvkem zařízení je výkonový modul (12 kW trvale, 75 kW špičkově), jehož funkcí je simulace chování distribuční sítě (také viz popisná fotodokumentace níže). Pro měření vstupních a výstupních parametrů výrobního modulu (střídače výroby) je zařízení vybaveno dvousystémovou trojfázovou měřicí jednotkou. DC zdroj slouží jako simulátor FVE panelů. Komunikaci mezi jednotlivými komponenty včetně sběru měřených dat a jejich vyhodnocení umožňuje řídicí SW instalovaný v PC. Řídicí SW zároveň umožňuje parametrizaci a řízení jednotlivých zkušebních procesů.

1.1. Výkonový modul

Výkonový modul certifikačního zdroje je koncipován jako kaskáda dvou střídačů. Z trojfázové sítě je napájen trojfázový střídač pracující jako aktivní usměrňovač, viz horní část Obr.2. Aktivní usměrňovač je dimenzován na trvalý výkon 12 kW. Usměrňovač ze své podstaty umožňuje tok energie z napájecí sítě do DC meziobvodu i zpětný tok energie z meziobvodu do napájecí sítě (rekuperace). Před usměrňovačem je zařazen jistič, hlavní stykač a síťový filtr. Součástí desky filtru jsou také nabíjecí rezistory (NTC) pro omezení nárazového proudu po připojení na síť. Po nabití kondenzátorů jsou tyto NTC přemostěny pomocným stykačem. Výstup aktivního usměrňovače představuje stejnosměrný meziobvod s napětím 900 V.

Ze stejnosměrného meziobvodu je napájen trojfázový střídač, který je ovšem zapojen jako čtyřvětvový. Jedna větev slouží k vytváření středu napětí meziobvodu, což představuje výstupní střední vodič umělé sítě (N), viz dolní část obr.2. Dále střídač vytváří tři nezávislá fázová napětí vůči zmíněnému střednímu vodiči. Koncepce umožňuje nezávislé nastavení velikosti napětí, kmitočtu, popř. vzájemné fáze jednotlivých fázových napětí, což je vstupním požadavkem na celé zařízení. Špičkový výkon střídače je 75 kW. Střídač může samozřejmě pracovat v režimu dodávky energie do umělé sítě i v režimu spotřeby energie z umělé sítě.



Obr.2: Blokové schéma výkonového modulu

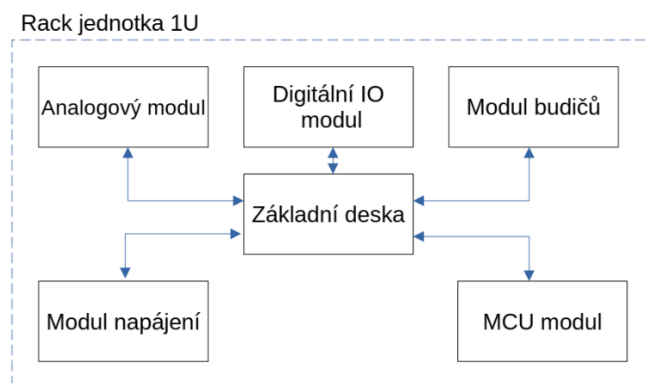
Ve stejnosměrném meziobvodu je zařazen spínač vybíjecího rezistoru. Součástí přístroje je také nízkovýkonový vybíjecí rezistor o výkonu ca. 80 W, výkonnější rezistor je nutné v případě potřeby připojit externě.

Součástí zařízení je samozřejmě celá řada snímačů napětí a proudů a také pomocný napájecí zdroj. Veškeré silové obvody jsou řízeny centrálním řídicím modulem.

1.2. Řídicí jednotka

Řídicí jednotka měniče je realizována jako nezávislá jednotka umístěná mimo výkonové obvody v horní části skříně. Řídicí a diagnostické signály jsou pro minimalizaci rušení galvanicky oddělené pomocí optických vláken. To zajistí vyšší spolehlivost a bezpečnost chodu celého zařízení.

Řídicí jednotka je koncipována jako modulární. Jednotlivé DPS (karty) a jejich rozměry jsou realizovány dle formátu evropského standardu „Eurocard“. Řídicí jednotka pak je uložena ve standardním „1U rack“ boxu. Základní koncepce modulární platformy je zobrazena na obr. 3.



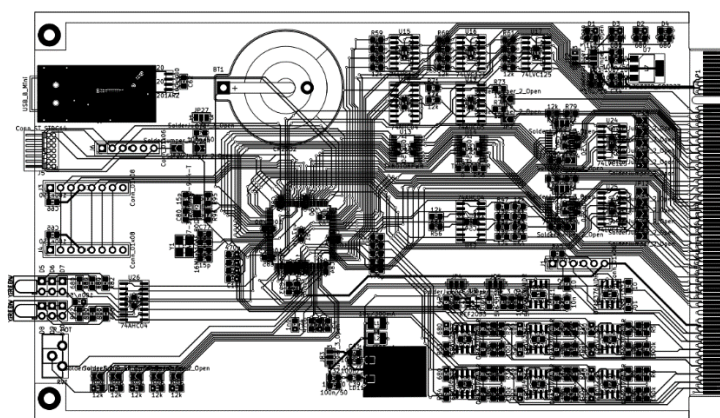
Obr. 3 Řídicí jednotka víceúrovňového DC/AC měniče

Každý modul je realizován na samostatné PCB desce dle formátu „Eurocard“.

Základní deska umožňuje vzájemné propojení všech modulů. Všechny signály a napájecí hladiny jsou sdílené pro všechny moduly.

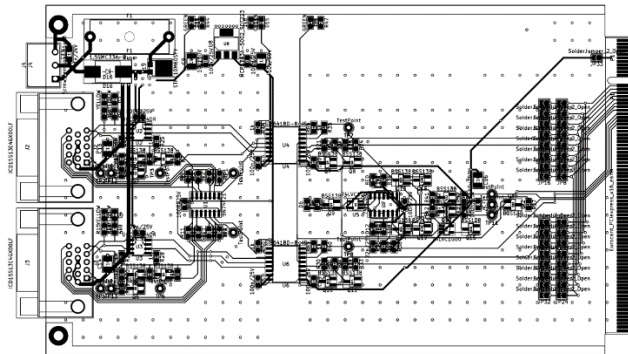
Napájecí modul vytváří všechny nutné hladiny napájení pro digitální a analogové obvody (+- 15VA, 15V, 5V)

MCU modul je osazen výkonným procesorem nejnovější série STMG4. Tento procesor je vhodný pro řízení v reálném čase. Modul je vybaven napěťovými zdroji pro digitální a analogové obvody (3.3VA, 3.3V). Modul umožňuje připojit řadu komunikačních rozhraní (SPI, I2C, UART, USB, RS232, RS485), která jsou současně vyvedena na základní desku. Procesor disponuje dvanácti PWM kanály s vysokým rozlišením a deseti ADC kanály pro snímání veličin v reálném čase.



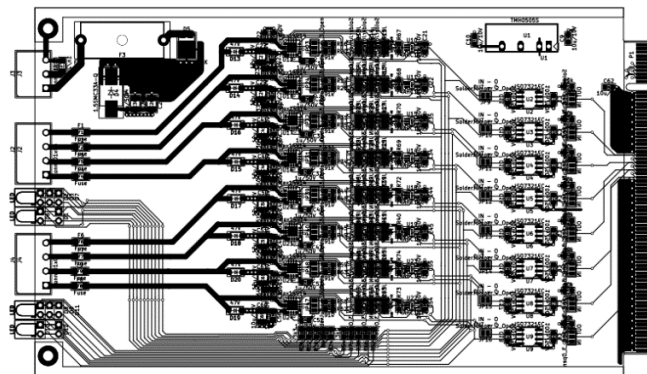
Obr. 4 Realizace řídicí karty s procesorem STM32G

Modul budičů generuje vhodné řídicí signály pro výkonovou část s galvanickým oddělením založeném na obvodech Si86x. V rámci tohoto modulu jsou také detekovány chybové signály z výkonové části.



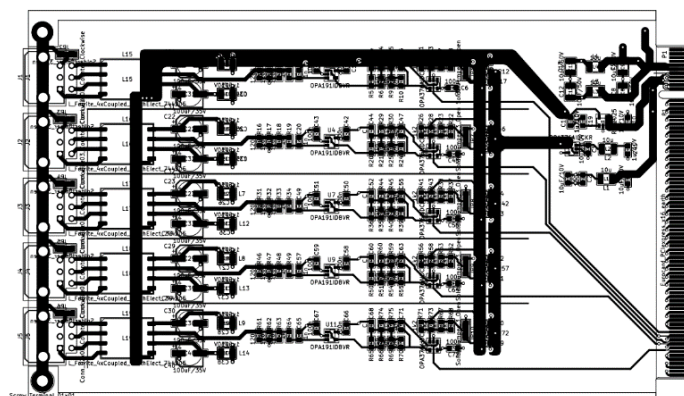
Obr. 5 Karta pro ovládání výkonové části

Modul digitálních IO umožňuje konfiguraci osmi digitálních vstupů a výstupů (0 - 24V, 0 - 60V maximum). Každý kanál může být nastaven jako digitální vstup nebo výstup. Modul je založen na integrovaném obvodu Maxim integrated MAX14900E, který umožňuje realizovat vstupy a výstupy dle standardu IEC 61131.



Obr. 6 Karta digitálních vstupu a výstupů

Analogový modul umožňuje připojit až pět vstupních analogových signálů s 16-bitovým rozlišením. Analogový modul umožňuje upravit vstupní signály, tak aby splňovaly požadavky dané MCU modulem a současně umožňuje základní filtraci signálů („multiple-feedback“ topologie pro filtr druhého řádu).



Obr. 7 Analogová karta pro snímání veličin

1.3. Řídicí SW

Řídicí systém certifikačního zdroje je realizován pomocí software fungujícím pod operačním systémem Windows 10. Měřená data jsou přenášena ze standardního síťového analyzátoru typu ENA-NXG, který umožňuje dvousystémové trojfázové měření a ukládání okamžitých hodnot napětí a proudů v požadovaném rozsahu.

SW dále umožňuje komunikaci s DC zdrojem jako simulátorem fotovoltaických panelů a výkonovým dílem pro simulaci chování distribuční sítě.



Obr.8: Dva systémy trojfázového měření v provedení ENA-NXG-PQ

Možnosti měřených parametrů:

- Simulátor FV panelů: Výstupní DC parametry U, I
- Simulátor sítě: Výstupní 3f parametry 3xU, 3xI

2. Technické funkcionality a novost

Základní funkční požadavky na SW certifikačního zdroje vycházejí z Nařízení komise EU 2016/631 ze dne 14. dubna 2016 [1], kterým se stanoví kodex sítě pro požadavky na připojení výroben k elektrizační soustavě. Dále jsou tyto požadavky vyspecifikovány a upřesněny v souvisejících normách viz příloha [2] až [6]. Tím jsou také definovány požadavky na základní funkce řídicího SW certifikačního zdroje, který tak bude sloužit k ověření souladu s požadavky - Requirements for Generators (RfG) dle výše uvedeného nařízení.

Ověření souladu funkcí výroby s výše uvedenými požadavky znamená v podstatě ověření funkcí výkonového výstupního prvku výrobního modulu (střídače výroby) připojením na simulátor distribuční sítě (výkonový modul certifikačního zdroje), který umí také díky řídicímu SW zastoupit chování reálné distribuční sítě (DS) v jejím běžném provozu včetně zajištění takových podmínek, které ve střídači výroby vyvolají požadované reakce (vypnutí, resp. zapnutí výroby, snížení výkonu, udržení výkonu atd.).

Aby bylo možné tyto reakce vyhodnotit, je nutné nejen definovaným způsobem (viz přílohy [1] až [6]) nastavovat potřebné výstupní parametry simulátoru distribuční sítě (výkonového modulu) včetně jejich časových průběhů, ale také tyto výstupní parametry spolehlivě měřit a zároveň sledovat chování posuzované výroby. Všechny uvedené funkce jsou zajištěny řídicím SW, který navíc umožňuje řadu dalších souvisejících funkcí. Jsou to zejména řízení DC zdroje jako simulátorů fotovoltaických panelů včetně měření jejich výstupních parametrů, odpojení prověřovaného zdroje od DS a diagnostika simulátoru DS.

2.1. Popis funkcí SW a výsledky testování

Software byl vyvinut pro řízení, měření a parametrizaci certifikačního zdroje pro výrobní moduly obnovitelných zdrojů elektrické energie. Základní obrazovka SW, která se objeví po jeho aktivaci, nabízí možnosti aktivace komunikace s jednotlivými moduly. V oknu měření jsou k dispozici karty jednotlivých funkcí pro prověřování příslušných požadavků RfG. Parametrizace pro prověřování každého požadavku je dostupná na každé samostatné kartě. Test každé funkce začíná zadáním požadovaných parametrů zkoušky, jejím spuštěním, automatickým ukončením a vyhodnocením. Příklady zadávání parametrů jsou uvedeny v další části tohoto textu. V oknu tisku je možné volit rozsah tiskové sestavy podle potřeby buď volbou jednotlivých testů nebo vytvořením tiskového souboru pro tisk kompletního certifikačního protokolu pro doložení shody s požadavky RfG. Vybrané funkce pro prověřování jednotlivých požadavků dostupné na odpovídajících kartách jsou popsány v následujících odstavcích:

2.1.1. Funkce ověření provozního rozsahu frekvence

Vstupní parametry:

- Počáteční hodnota frekvence z uvedeného rozsahu;
- Frekvenční krok simulace;
- Časový rozsah;

Měřené veličiny:

- Pskut [kW] – činný výkon;
- f [Hz] - simulovaná frekvence na vstupu do regulátoru;
- t [min] - čas.

SW sleduje nepřerušenosť dodávky (hodnotu činného výkonu) pro zadanou frekvenci po zadanou dobu bez odpojení podle následujících hodnot:

- 47,0 ÷ 47,5 Hz provoz alespoň 20 vteřin;
- 47,5 ÷ 48,5 Hz provoz alespoň 30 minut;
- 48,5 ÷ 49,0 Hz provoz alespoň 90 minut;
- 49,0 ÷ 51,0 Hz provoz trvalý;
- 51,0 ÷ 51,5 Hz provoz alespoň 30minut.

Přechod mezi jednotlivými frekvencemi je prováděn na základě povelu postupně od nejnižších po nejvyšší hodnoty. Každá následující skoková změna je prováděna až po ověření doby připojení k DS (simulátoru DS).

2.1.2. Funkce ověření odolnosti proti rychlým změnám frekvence RoCoF

Vstupní parametry:

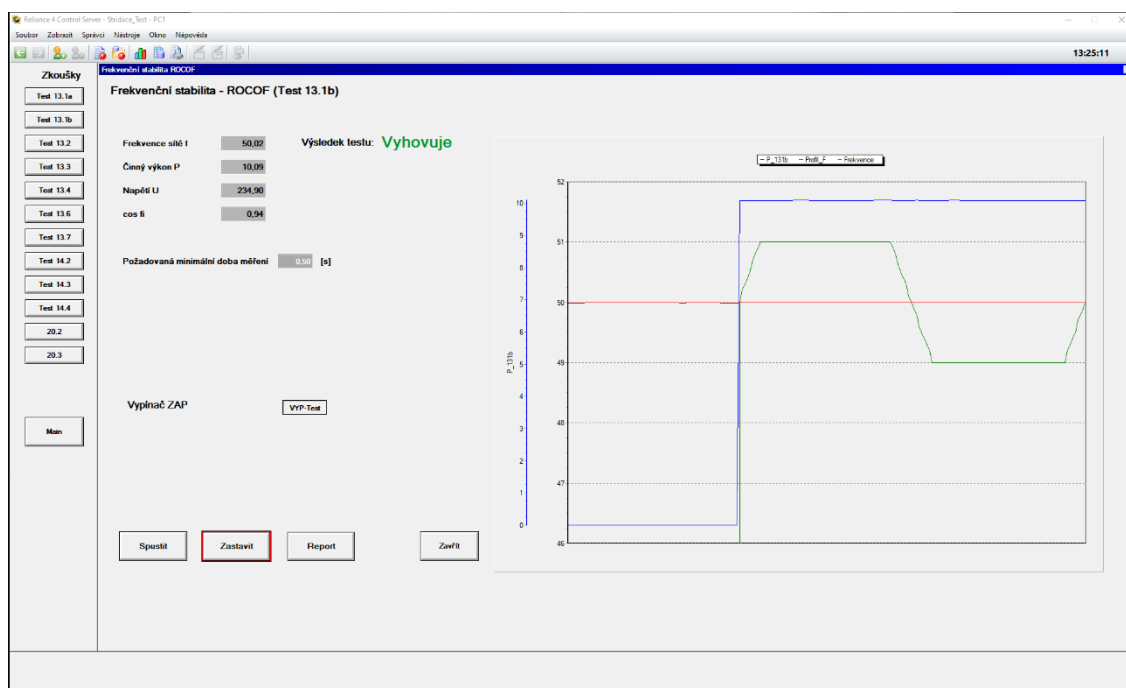
- zadaná sekvence frekvenčních hodnot se změnou frekvence menší než ± 2 Hz/s (defaultní nastavení)

Měřené veličiny:

- Pskut [kW] – činný výkon;
- f [Hz] - simulovaná frekvence na vstupu do regulátoru.

SW zaznamenává časový průběh měřených veličin jako odezvu na skokové změny simulované frekvence Δf na vstupu regulátoru výrobního modulu. Testovací signál je tvořen různě velkými skoky se změnou pod 2Hz/s oběma směry. SW sleduje nepřerušovanost dodávky (výrobna se nesmí odpojit). Změna frekvence je měřena jako střední hodnota derivace frekvence v časovém intervalu 500 ms.

Příklad záznamu z měření pro výrobní modul vyhovující požadavkům je uveden na obr.9. Po spuštění zkušebního cyklu a najetí výkonu (modrá křivka) byla podle výše uvedeného postupu měněna frekvence (zelená křivka), po dobu prováděných změn ke změně výkonu nedošlo – zařízení v tomto testu vyhovělo.



Obr.9: Záznam zkoušky RoCoF

2.1.3. Funkce prověření odezvy činného výkonu

Odezva výkonu v omezeném frekvenčně závislém režimu při nadfrekvenci tzv. Limited frequency sensitive mode – overfrequency (LFSM-O).

Vstupní parametry:

- dolní mez frekvence (47,5Hz);
- 1. horní mez frekvence (50,2Hz);
- 2. horní mez frekvence (51,5Hz);

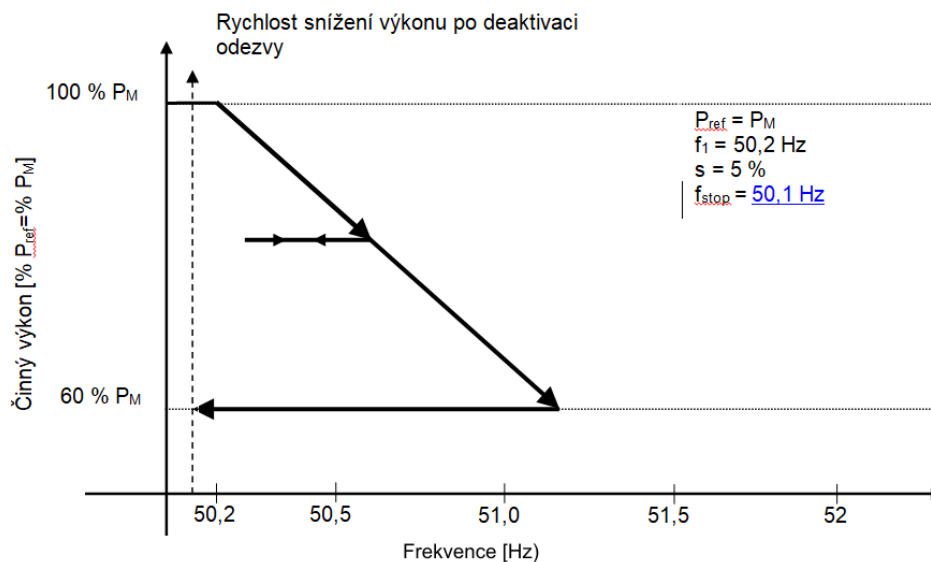
- hodnota gradientu poklesu (5%);
- počáteční hodnota frekvence;
- krok simulace frekvence.

Měřené veličiny:

- Pskut [kW] – činný výkon;
- f [Hz] - simulovaná frekvence na vstupu do regulátoru.

Po zadání vstupních parametrů a spuštění simulace sleduje SW velikost činného výkonu na výstupu střídače a zaznamenává jeho průběh.

V rozsahu 47,5 Hz – 50,2 Hz nesmí výrobní modul vykazovat žádná omezení výkonu. Po překročení frekvence 50,2 Hz musí výrobní modul být schopen snižovat okamžitý činný výkon nastaveným gradientem. V hodnotách frekvence $\leq 47,5$ Hz a $\geq 51,5$ dochází k odpojení od sítě. Tato SW funkce je popsána níže uvedenou charakteristikou.



Obr.10: Závislost činného výkonu P a gradient jeho snižování při překročení frekvence 50,2 Hz

2.1.4. Funkce prověření konstantního průběhu výkonu

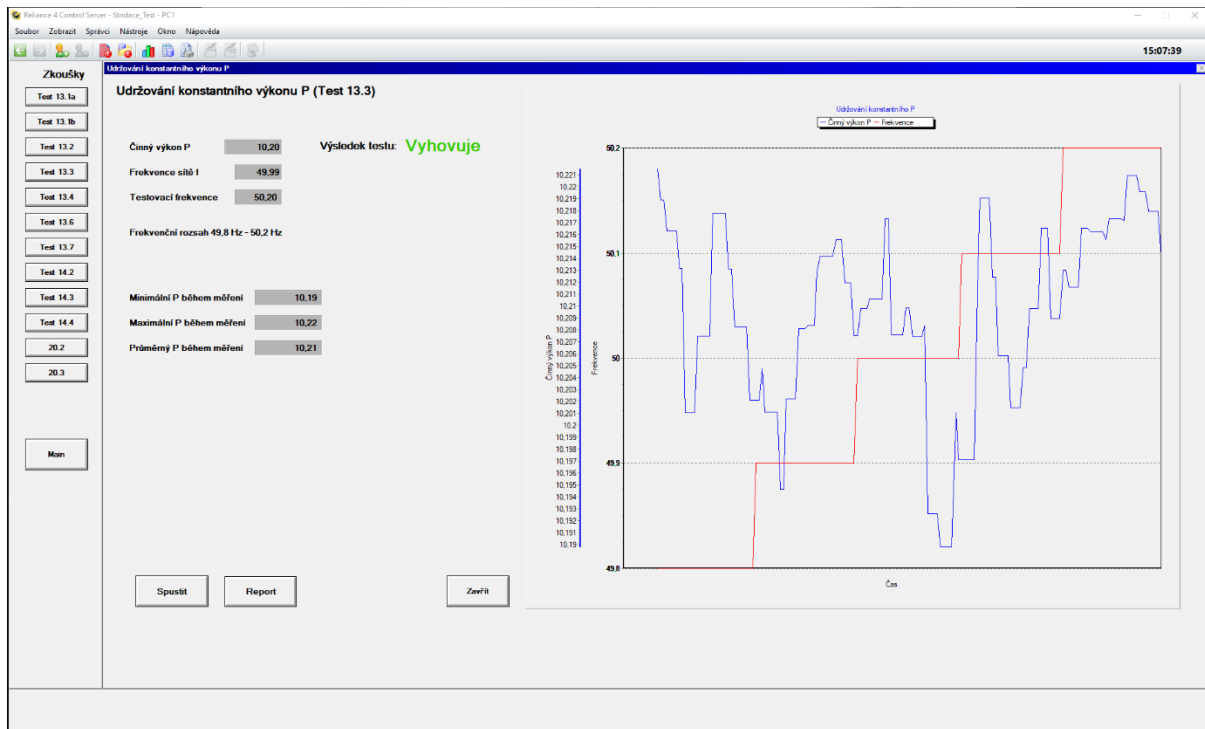
Vstupní parametry:

- dolní mez frekvence (49,8Hz);
- horní mez frekvence (50,2Hz);
- krok simulace frekvence (0,1Hz).

Měřené veličiny:

- Pskut [kW] – činný výkon;
- f [Hz] - simulovaná frekvence na vstupu do regulátoru.

Po zadání vstupních parametrů a spuštění simulace sleduje SW velikost činného výkonu na výstupu střídače a zaznamenává jeho průběh. Frekvence se mění postupně po zadaném kroku od dolní po horní zadanou mez.



Obr.11: Záznam zkoušky prověření konstantního průběhu výkonu

2.1.5. Funkce ověření snižování P při klesající frekvenci soustavy

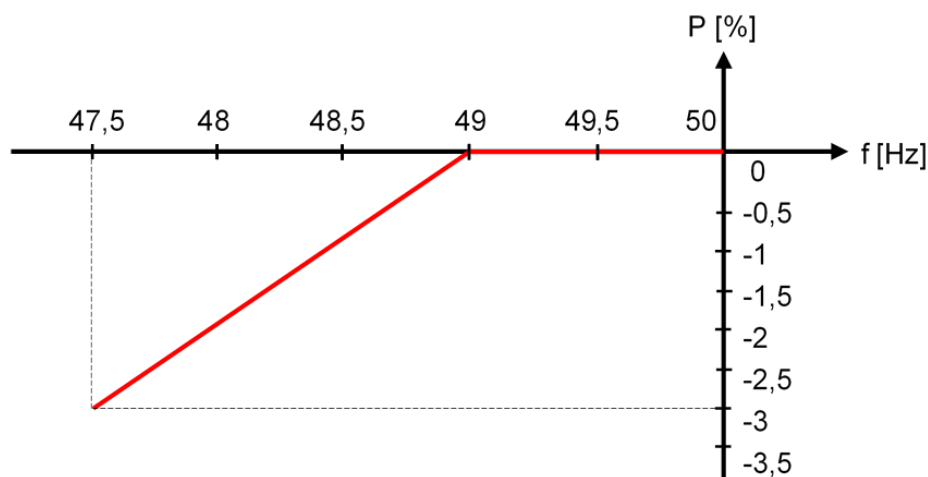
Vstupní parametry:

- Počáteční zkušební hodnota frekvence (50,0Hz);
- Koncová zkušební hodnota frekvence (47,5Hz);
- požadovaná frekvenční mez (49,0Hz);
- Krok simulace frekvence (0,2Hz).

Měřené veličiny:

- Pskut [kW] – činný výkon;
- f [Hz] - simulovaná frekvence na vstupu do regulátoru.

Po zadání vstupních parametrů a spuštění simulace sleduje SW velikost činného výkonu na výstupu střídače a zaznamenává jeho průběh. Frekvence se mění postupně po zadaném kroku od počáteční po koncovou zkušební hodnotu. Test je vyhodnocen jako úspěšný, pokud snížení maximálního výkonu při poklesu frekvence sítě pod hodnotu 49 Hz nepřesáhne míru snížení 2% Pmax/Hz – viz níže uvedený graf.



Obr.12: Závislost činného výkonu P a gradient jeho snižování při poklesu frekvence pod 49 Hz

2.1.6. Ověření funkce logického rozhraní pro přerušení dodávky P

Znamená ověření automatické odpínání výrobní od distribuční sítě v případě ztráty napájení nebo při odchylkách napětí nebo kmitočtu od hodnot stanovených pro normální dodávku.

Vstupní parametry:

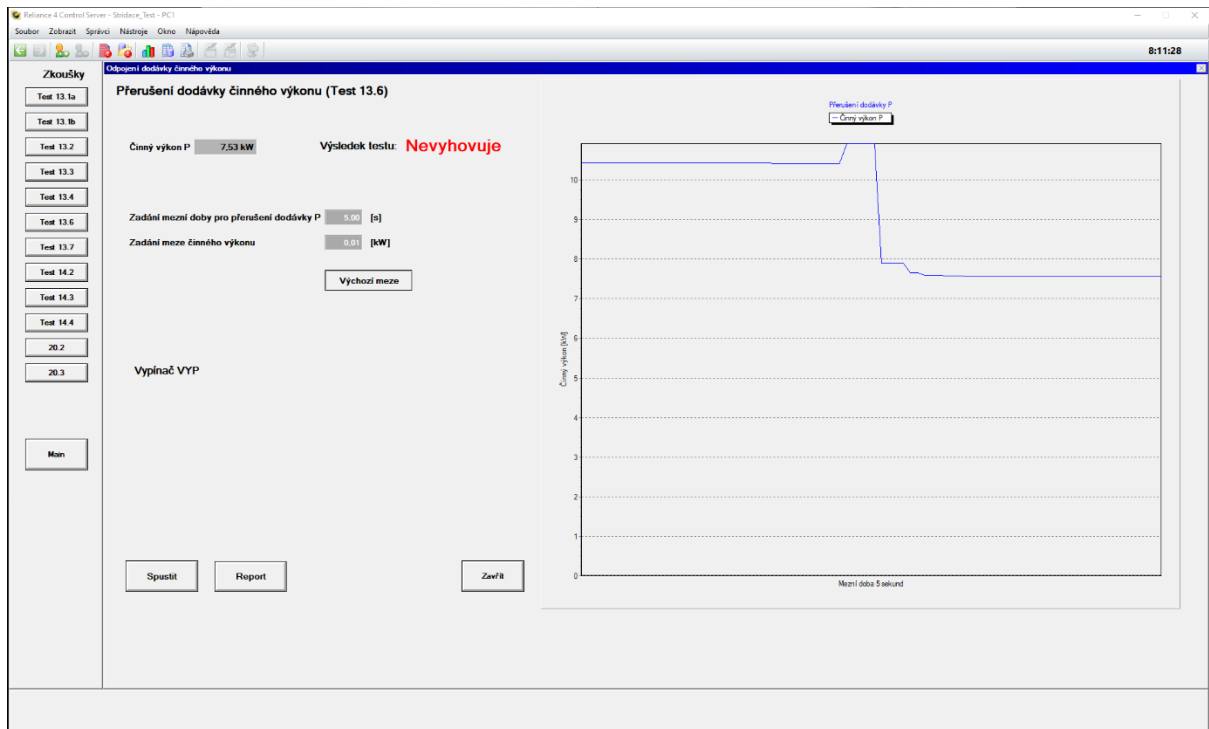
- Jmenovitý činný výkon P_n [kW];
- Časová prodleva vypnutí t [min:sec].

Měřené veličiny:

- P_{skut} [kW] – činný výkon;
- Čas vypnutí t [min:sec].

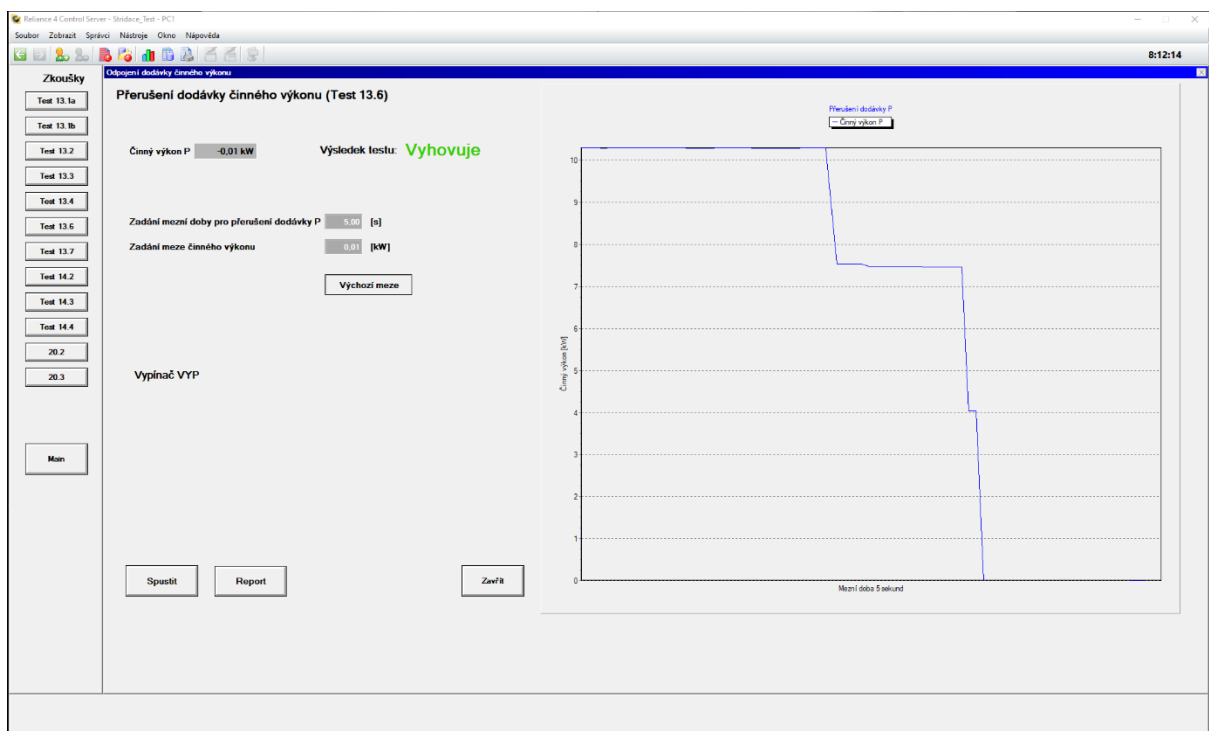
Na základě SW zadání pracuje výrobní modul na zadané hladině činného výkonu. Po manuálním spuštění testu ze SW se předá signál na příslušný vstup výrobní a současně se spustí časový odpočet a sleduje se velikost výstupního výkonu. po uplynutí nastavené časové prodlevy se test ukončí a porovná se výsledek s požadavkem.

Příklad provedení zkoušky je uveden na obr.13 a obr.14. Po nastavení časové prodlevy na hodnotu 5sec. a spuštění zkušebního cyklu během dodávky elektrické energie došlo po uplynutí uvedeného časového intervalu k vyhodnocení. Pokud byla prověřovaná funkce z jakéhokoli důvodu nedostupná, byl výsledkem záznam na obr.18 vyhodnocený jako nevyhovující, protože k odpojení zdroje na vnější požadavek nedošlo.



Obr.13: Záznam zkoušky logického rozhraní pro přerušení dodávky - neúspěšná

Pokud byla prověřovaná funkce aktivní, byl výsledkem záznam na obr.14 vyhodnocený jako vyhovující, protože k odpojení zdroje na vnější požadavek došlo.



Obr.14: Záznam zkoušky logického rozhraní pro přerušení dodávky – úspěšná

2.1.7. Ověření funkce automatického opětovného připojení výroby

Vstupní parametry:

- Jmenovité napětí soustavy U_n [kV];
- Jmenovitý činný výkon výroby P_n [kW];
- dolní zkušební mez napětí U_{min} [%];
- horní zkušební mez napětí U_{max} [%];
- krok změny napětí dU [V];
- délka časového intervalu pro udržení napětí t_U [min:sec];
- dolní zkušební mez frekvence f_{min} [Hz];
- horní zkušební mez frekvence f_{max} [Hz];
- krok změny frekvence df [Hz];
- délka časového intervalu pro udržení frekvence f_U [min:sec];
- hodnota gradientu pro najetí výkonu výrobního modulu dP [%/min.].

Měřené veličiny:

- P_{skut} [kW] – činný výkon;
- U_n [kV] – jmenovité napětí;
- f [Hz] - frekvence systému;
- Čas t [min:sec].

1.Krok:

Z ustáleného stavu se simulovaným snížením napětí pod minimální mez splní podmínka pro odpojení výrobního modulu a tato úroveň se drží po dobu minimálně 60 sekund, poté SW napětí zvýší pro splnění napěťové podmínky opětovného připojení.

2.Krok:

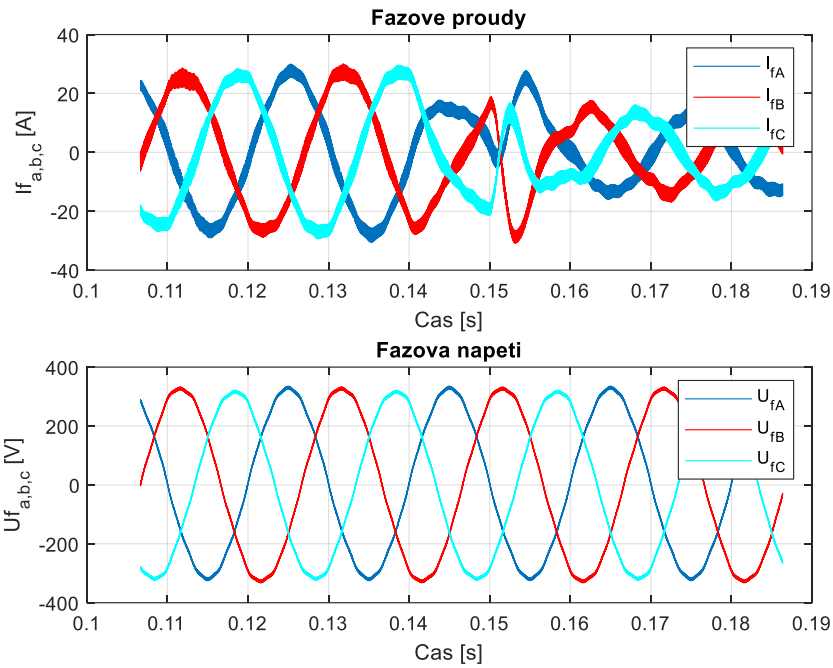
Z ustáleného stavu se simulovaným snížením frekvence pod minimální mez splní podmínka pro odpojení výrobního modulu a tato úroveň se drží po dobu minimálně 60 sekund, poté SW frekvence postupně zvýší pro splnění frekvenční podmínky opětovného připojení.

V každém kroku SW sleduje a zaznamenává postupné najetí na výkon od nuly a porovnává s požadovaným gradientem s gradientem maximálně 10% P_n za minutu.

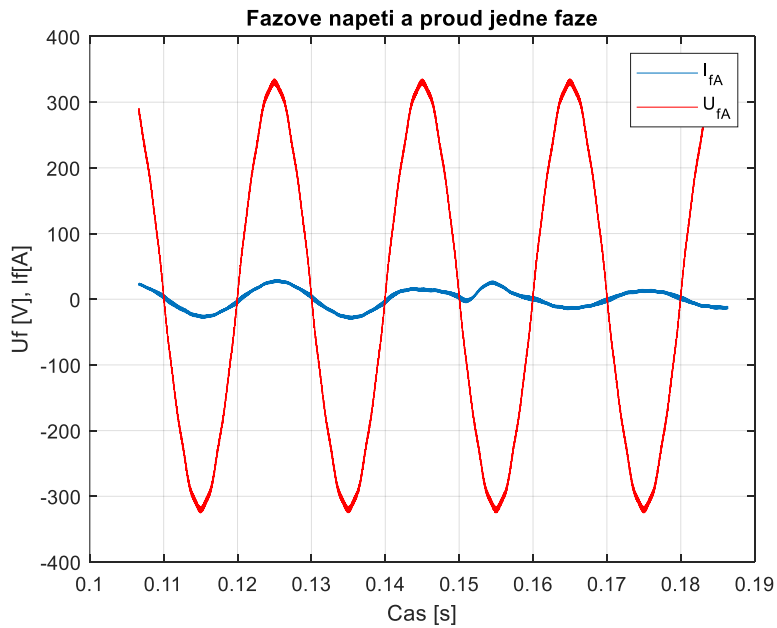
Detailní popis dalších funkcí sw je nad rámec tohoto popisného dokumentu.

1.1.1. Testování zařízení

Na obr. 15 jsou zobrazeny průběhy fázového proudu a napětí na vstupu aktivního usměrňovače. Aktivní usměrňovač pracuje s účínkem $\cos\varphi = 1$. Při testu byla ověřena synchronizace napájecí sítě s aktivním usměrňovačem. Současně byla ověřena schopnost plynulého přechodu mezi režimy odběru elektrické energie ze sítě a rekuperace. Přechod mezi těmito dvěma režimy je zobrazen na obr. 16, kde je fázový proud nejprve ve fázi s napětím ($\cos\varphi = 1$) a následně při rekuperaci je $\cos\varphi = -1$.

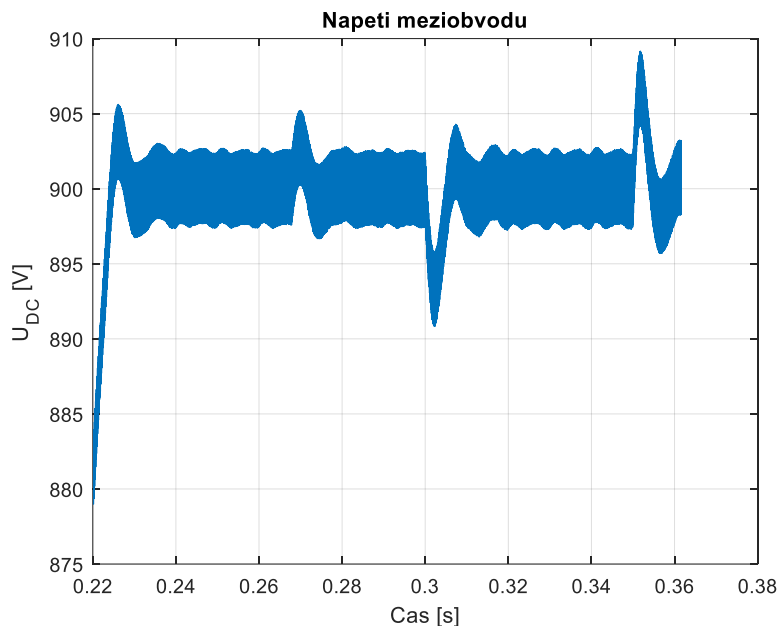


Obr. 15 Průběh fázových proudů a napětí na vstupu aktivního usměrňovače při $\cos\varphi = \pm 1$.



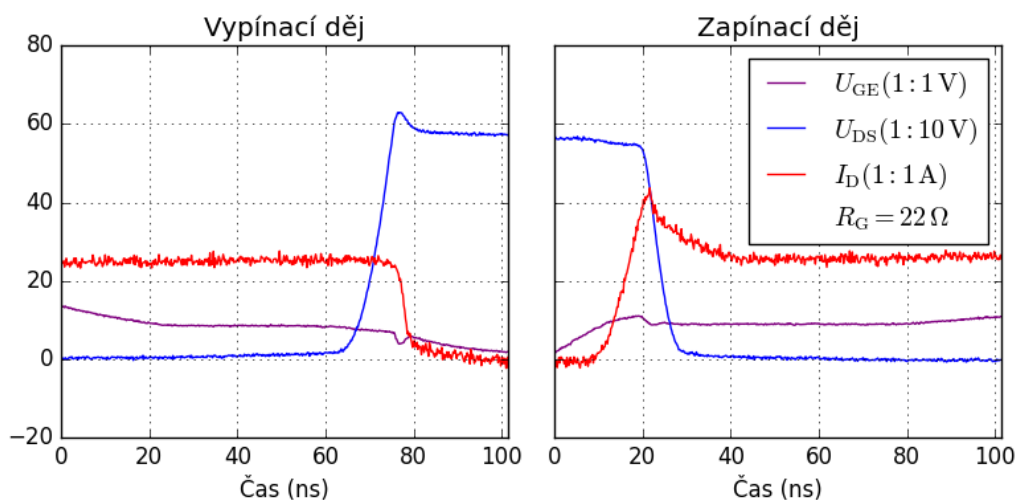
Obr. 16 Průběh fázového napětí a proudu aktivního usměrňovače při přechodu z režimu odběru elektrické energie z napájecí sítě do rekuperace.

Na obr. 17 je zobrazen průběh napětí v meziobvodu měniče při skokové změně zátěže. Průběh napětí ukazuje dostatečnou stabilitu napětí meziobvodu při skokových změnách zatížení a změny směru toku energie ze zdroje do zátěže.



Obr. 17 Průběh napětí meziobvodu měniče.

Na obr. 18 jsou zobrazeny průběhy proudu a napětí na výkonových tranzistorech při plném výkonu měniče. Měřením byla ověřena stabilita spínání výkonových prvků měniče z hlediska dovoleného maximálního překmitu kolektorového napětí při vypínání a dostatečná odolnost řídicích obvodů tranzistorů na okolní elektromagnetické rušení.



Obr. 18 Průběh napětí a proudu při vypínacím a zapínacím ději výkonového tranzistoru měniče.

1.2. Novost

Novost zařízení spočívá řešení v komplexním řešení „umělé sítě“ umožňující primární zkoušky, tzn. možnosti ověřit funkci výkonového výstupního prvku výrobního modulu (střídače výroby) připojením na simulátor distribuční sítě (výkonový modul certifikačního zdroje), který umí také díky řídicímu SW zastoupit chování reálné distribuční sítě (DS) v jejím běžném provozu včetně zajištění takových podmínek. Současně se také jedná o mobilní technologii, tudíž neexistují omezení plynoucí z konceptu, který by byl stacionární.

2. Popisná fotodokumentace

Celý výkonový modul je vestavěn do typizované rackové skříně o vnějších rozměrech 60 x 90 x 120 cm, viz Obr. 19. Ve spodní části je v popředí trojfázová tlumivka vstupního filtru, za ní je deska samotného filtru a vedle se nachází jističe a stykače. Svislý blok v pravé části představuje chladič s polovodiči aktivního usměrňovače a výstupního střídače. V levé svislé části jsou pak pasivní komponenty pracovních filtrů obou měničů a také prvky výstupního odrušovacího filtru.

V horní části skříně vpravo jsou ve standardizovaném 19" hliníkovém pouzdru výšky 1U umístěny karty řídicí jednotky výkonového modulu.



Obr. 19 Boční pohled na výkonový modul

Na Obr. 20 je detail bloku polovodičů aktivního usměrňovače a výstupního střídače na chladiči. Žebrovaný chladič je připevněn k plechové stěně s výztuhami. Vzniká tak chladicí kanál, do nějž je vhnán vzduch dole umístěnými dvěma axiálními ventilátory.

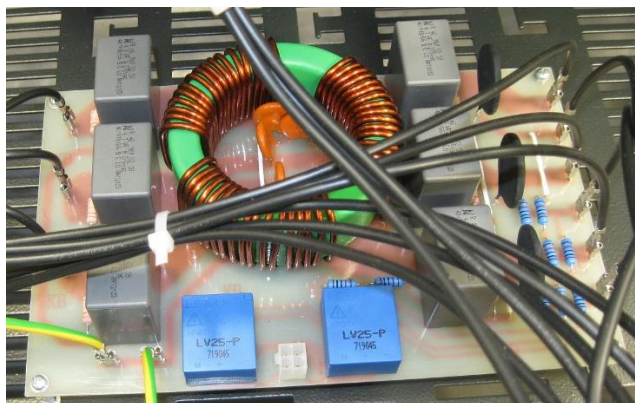


Obr. 20 Měnič aktivního usměrňovače (dole) a výstupního střídače (nahore)

Chlazení obou měničů je dimenzováno na trvalý výkon 12 kW. Elektricky však musí být polovodiče výstupního střídače dimenzovány na výkon 75 kW. Totéž platí pro elektromagnetický návrh tlumivek pracovního filtru výstupního střídače a výstupního odrušovacího filtru.

V aktivním usměrňovači jsou použity křemíkové tranzistory IGBT (DPS uprostřed dole), zatímco ve výstupním střídači jsou použity tranzistory MOSFET z karbidu křemíku (SiC).

Na Obr. 21 je detail desky vstupního síťového filtru. Vidíme zde toroidní soufázovou trojfázovou tlumivku a svitkové kondenzátory. Přítomny jsou i přednabíjecí rezistory (NTC), vybíjecí ochranné rezistory a také čidla napětí LEM pro měření napětí dvou fází.



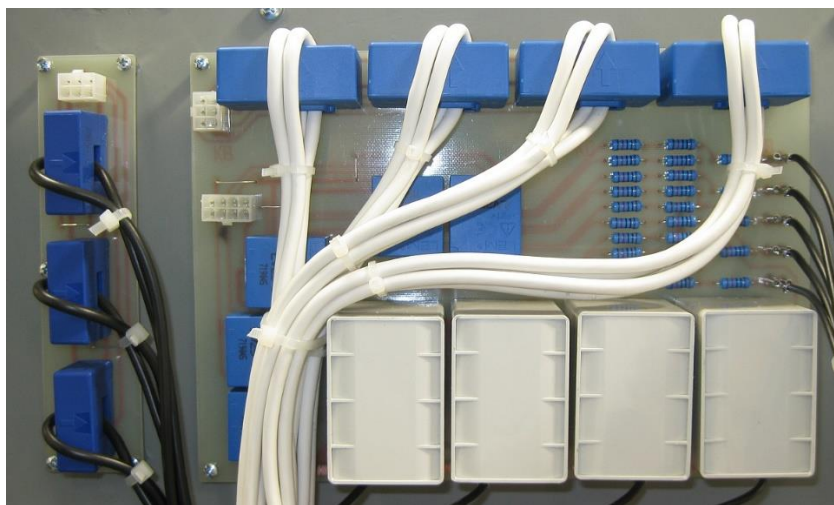
Obr. 21 Síťový filtr a přednabíjecí obvod

Na Obr. 22 je ilustrativní pohled na prvky pracovních filtrů měničů. Na boční základnu jsou namontovány filtrační tlumivky s feritovými jádry a nad nimi jsou svitkové kondenzátory filtrů. Na snímku je patrná také jedna z tlumivek výstupního odrušovacího filtru s železným jádrem (vlevo).



Obr. 22 Část pracovních filtrů měničů (tlumivky a kondenzátory)

Na Obr. 23 je pohled na desky snímačů výstupních napětí a proudů. Použita jsou čidla od firmy LEM. Na desce jsou rovněž umístěny svitkové kondenzátory výstupního odrušovacího filtru.



Obr. 23 Deska měření výstupních veličin a kondenzátory výstupního odrušovacího filtru

3. Reference

- [1] Nařízení Komise (EU) 2016/631 ze dne 14. dubna 2016, kterým se stanoví kodex sítě pro požadavky na připojení výroben k elektrizační soustavě
- [2] ČSN EN 50160 ed. 3:2011. Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí
- [3] ČSN EN 50438 ed.2:2014. Požadavky na paralelní připojení mikrogenerátorů s veřejnými distribučními sítěmi nízkého napětí
- [4] PPDS Příloha 4:2017. Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy
- [5] PNE 33 3430-8-1:2015. Požadavky pro připojení generátorů nad 16 A na fázi do distribučních sítí - Část 8-1: Sítě nn
- [6] EN 50549-1: 2017. Requirements for generating plants to be connected in parallel with distribution networks - Part 1: Connection to a LV distribution network - Generating plants up to and including Type A (english version)