

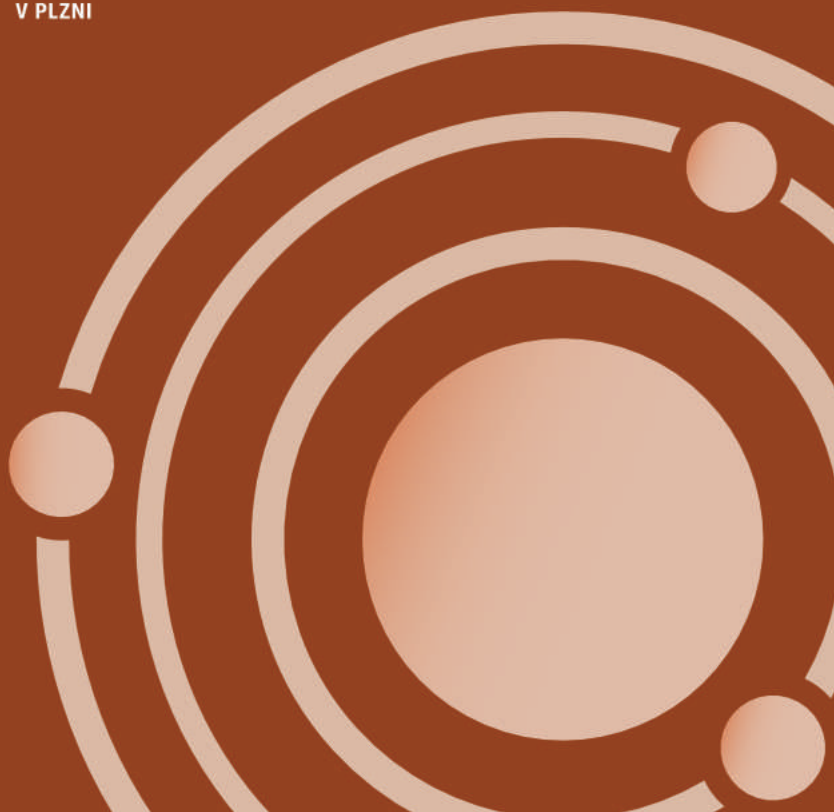
2024

SVOČ

Studentská vědecká odborná činnost



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI



Editor: Prof. Ing. Pavel Trnka, Ph.D., MBA

Organizační výbor: Prof. Ing. Pavel Trnka, Ph.D., MBA, Ing. Jaroslav Hornak, Ph.D., Ing. Ondřej Michal, Ph.D.

Obálka: Ing. Ondřej Michal, Ph.D.

Sborník: Prof. Ing. Pavel Trnka, Ph.D., MBA

Název: Studentská vědecká odborná činnost

Vydavatel: Západočeská univerzita v Plzni

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI**

PŘEHLÍDKA STUDENTSKÝCH ODBORNÝCH PRACÍ

SVOČ 2024

konaná dne 19. 4. 2024

pod záštitou

děkana FEL ZČU

prof. Ing. Zdeňka Peroutky, Ph.D.

Vážení účastníci soutěže, Vážení sponzoři

Jsem rád, že jste se připojili k tradici, kterou akademická obec FEL udržuje za každé situace. Uspořádání odborné soutěže studentům nabízí možnost prezentovat svou odbornou práci, která překračuje standardní rámec studia. Na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni se vždy najdou studenti, kteří kromě plnění běžných studentských povinností pracují na dalších tématech, jež stojí za to být zveřejněna a oceněna. I v letošním ročníku mohou účastníci soutěže díky sponzorům dosáhnout obojího, za což bych rád sponzorům touto formou poděkoval. Věřím, že práce, kterou jste vynaložili při přípravě projektů a následné prezentaci, vám přinese cenné zkušenosti pro váš budoucí kariérní rozvoj.

Přeji Vám mnoho úspěchů v soutěži.

prof. Ing. Pavel Trnka, Ph.D., MBA
Garant soutěže

OBSAH

Sekce I: Elektrotechnika, elektronika a elektrotechnologie Bc.

Filip Bláha Ing. Vojtěch Lapuník	Vývoj edukativní hry PYLAND	Bc.	6
Ilia Danylov Ing. Vojtěch Lapuník	Vývoj PC hry Tank 'N' Turrets v Python	Bc.	7
Tomáš Fikart, Pavel Franěk, Michal Lopata, Jan Šebele doc. Ing. David Pánek, Ph.D.	Vývoj počítačové hry Spaceshooter v jazyce Python	Bc.	8
Lukáš Kolářek Ing. Jiří Kuthan	Návrh vlastního optického senzoru pro elektrostatický tabletop separátor	Bc.	9
Michal Prokeš Ing. Karel Slobodník Ph.D.	RC auto s bezdrátovou Bluetooth komunikací a kamerou	Bc.	10
Josef Sýkora Ing. Petr Stašek	Lineární sonda stacionárního magnetického pole	Bc.	11
Vojtěch Tuček doc. Ing. Radek Soukup, Ph.D.	Textilní elektrody pro elektrickou stimulaci svalů a nervů	Bc.	12
Roman Vintr Ing. Ondřej Luřinka Ph.D.	OptoMos relé modul	Bc.	13

Sekce II: Elektrotechnika, elektronika a elektrotechnologie NMGr. a Ph.D.

Bc. Michal Krbec Ing. Bedřich Bednář, Ph.D.	Využití FlutterFlow pro tvorbu multiplatformních aplikací	NMGr.	15
Bc. Tomáš Kupilík doc. Ing. Josef Pihera Ph.D.	Izolační kabelové materiály pro náročné aplikace	NMGr.	16
Bc. Petr Kvasnička doc. Ing. Josef Pihera Ph.D.	Silikonové materiály s příměsí ZnO pro potlačení výbojové činnosti	NMGr.	17
Bc. Martin Maňas doc. Ing. Josef Pihera Ph.D.	Akustické metody detekce částečných výbojů	NMGr.	18
Ing. Zdeněk Frank Ing. Jan Laksar, Ph.D., doc. Ing. Karel Hruška, Ph.D.	Indukčnost a přetížitelnost vícefázových strojů	Ph.D.	19
Ing. Jiří Kopřiva Ing. Jaroslav Hornak, Ph.D.	Modifikace dielektrických vlastností tištěného materiálu pro použití ve stejnosměrných aplikacích	Ph.D.	20
Ing. Jan Leffler Prof. Ing. Pavel Trmka, Ph.D., MBA	Metodika pro určování zbytkové životnosti a provozní spolehlivosti elektrických strojů	Ph.D.	21
Ing. Zdislava Mokrá Prof. Ing. Pavel Trmka, Ph.D., MBA	Stanovení obsahu vody v izolačních kapalinách pomocí širokopásmové dielektrické spektroskopie	Ph.D.	22
Ing. Ondřej Růžička Ing. Petr Burian, Ph.D.	Napájecí zdroj se zvýšenou odolností pro měřicí systém s detektory Timepix3 pro instalaci v infrastruktuře CERN	Ph.D.	23
Ing. Pavel Sláma Prof. Ing. Pavel Trmka, Ph.D., MBA	Rozložení prostorového náboje v polymerních fóliích	Ph.D.	24
Ing. Filip Zmeko doc. Ing. Eva Müllerová, Ph.D.	Fyzikální model elektrického výboje	Ph.D.	25

Sekce III: Elektrotechnika a výkonová elektronika Bc. a NMgr.

Adam Kratochvíl Ing. Zdeněk Frank	Měření elektrických komponentů pro osobní elektromobilitu	Bc.	27
Matěj Martínek Ing. Zdeněk Frank	Návrh synchronního motoru pro demonstrační účely	Bc.	28
Jan Myšák doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.	Rozvaděč pro analyzátor sítě	Bc.	29
Jakub Pittř Ing. Zdeněk Frank	Elektromagnetický návrh a konstrukční řešení tištěného PMSM	Bc.	30
Dominik Trhlík Ing. Zdeněk Frank	Návrh a realizace synchronního vícefázového motoru	Bc.	31
Bc. Martin Bělík Ing. Jan Laksar, Ph. D.	Možnosti redukce ztrát vinutí elektrických strojů	NMgr.	32
Bc. Kamil Janoch Ing. Vojtěch Blahník, Ph.D.	Moderní TNS pro systém 25 kV / 50 Hz využívající topologii SFC	NMgr.	33
Bc. Tomáš Paveza Ing. Jiří Dražan	Stavba pětifázového BLDC stroje s dvojitým rotorem pomocí aditivních technologií a měření jeho charakteristických vlastností	NMgr.	34
Bc. Štěpán Sláma Ing. Zdeněk Frank	Návrh vícefázového PMSM a výukového měřicího stanoviště	NMgr.	35

Odborné komise:

Sekce I - Elektrotechnika, elektronika a elektrotechnologie Bc.

doc. Ing. František Mach, Ph.D. - předseda

Ing. Martin Juřík

Ing. Ondřej Urban

Sekce II - Elektrotechnika, elektronika a elektrotechnologie NMgr. a Ph.D.

doc. Ing. Eva Müllerová, Ph.D. - předseda

Ing. Bedřich Bednář, Ph.D.

Ing. Jaroslav Hornak, Ph.D.

Sekce III - Elektrotechnika a výkonová elektronika Bc. a NMgr.

Ing. Roman Hamar, Ph.D. - předseda

Ing. Jan Laksar, Ph.D.

Ing. Vojtěch Blahník, Ph.D.



Sekce I

**Elektrotechnika, elektronika
a elektrotechnologie Bc.**

doc. Ing. František Mach, Ph.D. - předseda
Ing. Martin Juřík
Ing. Ondřej Urban

Vývoj edukativní hry PYLAND

Filip Bláha

Ing. Vojtěch Lapuník

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tento článek pojednává o vývoji edukativní hry s názvem Pyland. Hra je projektem z předmětu VMZ. Je to naučná hra, která má za úkol naučit uživatele programovací logiku a syntax jazyku Python. Hra se skládá z kombinace RPG a PUZZLE prvků. Pyland má potenciál být novou učební metodou pro výuku programování začátečníků.



Obr. 1 Logo Pyland

1 Úvod

Hraní videoher je zábavnou a uklidňující aktivitou. Jak jsem ale prací na tomto projektu zjistil, vývoj her může být ještě zábavnější, a navíc efektivním způsobem, jak se učit programovat a rozvíjet své schopnosti v oblasti počítačových technologií. Jsem přesvědčen, že nejlepší forma učení je hraní. Žáka učení baví a má chuť objevovat sám danou látku.

2 Obsah videohry

Hra se skládá z RPG části, kde se hráč pohybuje a dostává zadání, které má za úkol splnit. Prostředí je tvořeno v programu Tiled, kde je design tvořen z jednotlivých dlaždic. Jednotlivé úkoly se splňují psaním kódu do integrovaného textového editoru. Ten je nadále parsován a přezkontrolován, zda souhlasí s požadovaným zadáním. Hra je napsána v jazyce Python, kde je využívána knihovna Pygame. Struktura kódu je založena na OOP principech a také striktně dodržuje principy odděleného logického a

grafického enginu. Grafické rozhraní využívá tilesetů vytvořených studenty z Fakulty designu Ladislava Sutnara.



Obr. 2 Záběr z průběhu hry

3 Závěr

Hra vyniká po technické stránce a grafické stránce. Další kroky vývoje povedou směrem k přidáním úrovní, kde se hráč nachází, rozvinutější storytelling a zlepšení učebních metod. V plánu je také přidání grafických objektů a průběžné vylepšování hry, doplnění a oživení hry tematickou hudbou a zvuky.

4 Literatura

[1] github.com/filipblaha/Pyland

Vývoj PC hry Tank 'N' Turrets v Python

Illia Danylov

Ing. Vojtěch Lapuník

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tento článek pojednává o vývoji počítačové hry Tank 'N' Turrets. Původní nápad byl inspirován starou arkádovou střílečkou Battle City, která vyšla na NES. Hlavní myšlenkou hry Tank 'N' Turrets je postupný průzkum a následně procházení úrovně, ničení nepřátel v podobě věží různých typů pomocí strategie a struktury úrovně. Příjemná, barevná grafika ve stylu Pixel Art, 8bitové zvukové a vizuální efekty, postupně procházení úrovně - to vše nabízí Tank 'N' Turrets.



Obr. 1 Logo Tank 'N' Turrets

1 Motivace

Vývoj her je jedním ze způsobů, jak se naučit programovat a zlepšit své dovednosti v oblasti počítačových technologií. Při práci na tomto projektu jsem objevil spoustu nových věcí o programování a uvědomil si, jak fungují herní mechaniky. Nejprve byl vyvinut editor úrovně, který sloužil k vytvoření kostry, a teprve poté byl vyvinut Tank 'N' Turrets.

2 Obsah videohry

Při spuštění hry vás přivítá hudbou a vyzve vás k výběru, na výběr je několik tlačítek: tlačítko Play, které vám umožní vybrat a spustit úroveň, tlačítko Settings, díky kterému můžeme zapnout/vypnout hudbu a zapnout fullscreen hry, k ukončení hry slouží tlačítko Leave. Po výběru první úrovně se spustí tutorial, který hráče seznámí se všemi herními mechanikami, tutorial je doplněn textem, který pomáhá k lepší orientaci v úrovni. Pro přechod do další úrovně je třeba dosáhnout konce předchozí úrovně, poté se

přesunete do další a automaticky se uloží aktuální postup. Obr. 2 je náhodný snímek obrazovky ze hry s popisem. Za povšimnutí stojí, že vlevo dole vidíme jeden ze tří boostů, nad ním vidíme hráče, vpravo od něj vidíme minu, těsně pod ní vidíme nepřátelskou věž, kterou musíme zničit, abychom se dostali na finiš. Úrovně jsou postaveny tak, aby hráč využíval své taktické schopnosti a herní mechaniky k průchodu. Hra má také vlastní editor úrovně, který umožňuje vytvořit si vlastní úroveň a hrát ji. Struktura kódu hry je založena na principech OOP a metodách knihovny Pygame, což umožňuje lepší výpočet kolizí mezi herními objekty a interakci mezi nimi.



Obr. 2 Náhodný snímek obrazovky

3 Závěr

Hra se vyznačuje jednoduchým vizuálním stylem a zvukovým doprovodem. Další vývoj bude zaměřen na přidání vizuálních efektů, vylepšení stávajících mechanik, výrazné zjednodušení úrovně, rozvoj příběhu a zdokonalení umělé inteligence pro nepřátelské věže, zavedení systému vylepšování tanku a výběru výzbroje.

4 Literatura

- [1] github.com/kaiewski/tank-n-turrets
- [2] kaiewski.itch.io/tank-n-turrets

Vývoj počítačové hry Spaceshooter v jazyce Python

Tomáš Fikart, Pavel Franěk, Michal Lopata, Jan Šebele

Doc. Ing. David Pánek, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tato práce pojednává o vývoji a tvorbě počítačové hry v programovacím jazyce Python s využitím knihovny pygame. Jedná se o 2D akční pixel-artovou střílečku inspirovanou starými arkádovými hrami, jejíž game play se odehrává ve vesmíru.

1 Úvod

Projekt byl semestrální prací v rámci předmětu KEP/VMZ. Při výběru témat jsme měli volnou ruku a poměrně brzy jsme se rozhodli, že budeme vyvíjet počítačovou hru, protože nás baví interaktivní využití programování, kdy program reaguje v reálném čase na vstupy od uživatele. Tematicky jsme hru zasadili do sci-fi prostředí, kde hráč pomocí myši a klávesnice ovládá vesmírnou loď a brání ji proti útokům nepřátelských lodí, které se jí snaží zničit. Cílem je nasbírat co nejvíce bodů ničením nepřátel.

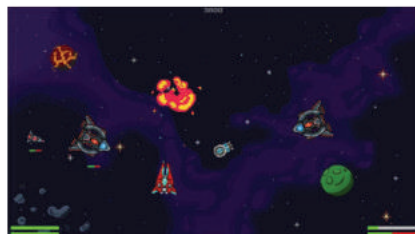
2 Průběh hry

Po spuštění hry se otevře hlavní menu. Uživatel zde má vedle možnosti hrát samotnou hru možnost podívat se na tabulku nejlepších uložených výsledků, zjištění dodatečných informací a vypnutí relace. Po kliknutí na tlačítko „Play game“ si může hráč vybrat ze 3 různých lodí, za kterou chce hrát. Pod obrázkem každé lodě jsou přítomny i krátké popisky s parametry. Pokud si hráč vybere svou loď, začne samotná herní smyčka a vybraná loď se objeví na pozadí. Pohyb lodí po obrazovce je ovládán klávesnicí. Stisknutím kláves se ovládá zrychlení lodí v daných směrech, ze kterého se až následně vypočítává rychlost a posun. Loď se otáčí za upraveným kurzorem myši. Po chvíli se na obrazovce začnou objevovat první nepřátelé, ti mají několik typů lodí. Jako první se hráči zjeví Žárovka a Sniper, dále se potká s Tankem a při delším hraní i se Stealerem. Ti se snaží hráči ubírat životy, které si je schopný za pomoci zřídka objevujících se Medkitů doplnit. Útokům nepřátel se může bránit laserovými děly, které má jeho loď

namontována, nebo speciálními schopnostmi, které se časem nabíjejí a jsou pro každou loď jiné. Pokud je hráč se životy na nule, hra pro něj končí a dostane možnost si své dosažené skóre uložit.

3 Grafika

Ve hře jsou implementovány animace, například výbuchu lodí, výstřelu, dopadu projektilu na loď, či pozadí. Pokud je nepřátelská loď zasažena, zobrazí se pod ní stav jejich životů pro lepší přehled o stavu hry. V dolních rozích obrazovky jsou zobrazeny ukazatele stavu hráčovy lodě. V tom pravém jsou nad sebou životy a zahřátí děla, v tom levém je ukázáno nabití speciálních schopností. Veškerá grafika použita ve hře je námi kreslená.



Obr 1: Snímek z průběhu hry – zničení nepřítel

4 Závěr

Výstupem naší společné práce byly vedle funkcí hry také pozitivní zkušenosti z práce v kolektivu a načerpání vědomostí o jazyce Python a verzovacím systému Git. Hru lze dále expandovat o další typy nepřátel, vytvořením několika úrovní s různou grafikou nebo podporou ovladačů herních konzolí.

5 Literatura

[1] Pygame documentation [online]. 2024 [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <https://www.pygame.org/docs/>

NÁVRH VLASTNÍHO OPTICKÉHO SENZORU PRO ELEKTROSTATICKÝ TABLETOP SEPARÁTOR

Lukáš Koláček

Ing. Jiří Kuthan

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

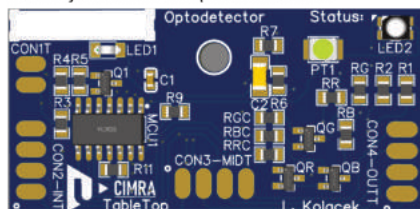
Anotace: Následující příspěvek se věnuje návrhu vlastního modulárního optického senzoru, který je vyvíjen pro specifické využití na elektrostatickém TableTop separátoru.

1 Úvod

V rámci projektu elektrostatického TableTop separátoru vznikl požadavek na možnost automatické detekce naplnění košů, do kterých je soustředěn třídný materiál. Po zvážení možných alternativ se jako ekonomicky nejvhodnější a technicky nejflexibilnější jeví navrhout vlastní optický senzor.

2 Modul optického senzoru

Z důvodu co největší univerzality byl senzor navržen v modulární podobě (viz Obr. 1), která umožňuje propojit libovolný počet modulů jak v lineárních, tak i rozvětvených řadách. Díky tomu je možné nejen detekovat hranici zaplnění košů, ale také průběžně monitorovat objem materiálu v koši. Každý modul je osazen jedním zdrojem optického záření (LED1), dále jedním detektorem (fototranzistor PT1) a rovněž jedním signalizujícím prvkem (RGB LED2), který vizuálně informuje o stavu modulu. Myšlenka detekce je založena na umístění modulů na jedné straně koše naproti modulům na straně opačné. Napříč prostorem koše tak vznikne odpovídající počet snímacích dvojic sestávajících ze zdroje a detektoru optického záření.



Obr. 1: Vizualizace modulu senzoru ve 3D.

3 Programování, komunikace

Činnost každého modulu řídí mikrokontrolér ATtiny1604^[1], který byl zvolen na základě výhodné ceny, přičemž nabízí pestrou a dostačující paletu funkcionalit. Zároveň umožňuje připojení každého modulu na jednu společnou sběrnici, v rámci které je zajištěno společné napájení, dále komunikace (vlastní vyvedené signály, I2C) a programování, pro které je využito rozhraní UPDI výhodně svým one-wire provedením. Aby však bylo naprogramování čipů na jednotlivých modulech co nejvíce nezávislé na dedikovaném programátoru, ukázalo se jako výhodné využít běžnou platformu Arduino realizující převod^[2] komunikačních protokolů.

4 Závěr

Během vývoje vlastního optického senzoru pro elektrostatický TableTop separátor bylo vytvořeno několik variant návrhů DPS pro sensorové moduly a nyní se připravuje výroba a osazení finálního provedení. Možnosti řídicího mikrokontroléru nicméně byly ověřeny a základní funkčnost optické detekce pro využití na vzdálenosti protějších stěn košů (max 20 cm) byla taktéž potvrzena. Použitý fototranzistor navíc vykazuje výhodující citlivost i za různých podmínek okolního osvětlení.

5 Literatura

- [1] Microchip: ATtiny1604 datasheet. [online] Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MCU08/ProductDocuments/DataSheets/ATtiny804-06-07-1604-06-07-DataSheet-DS40002312A.pdf>
- [2] Project jtag2updi. [online] Dostupné z: <https://github.com/EITangas/jtag2updi>

RC auto s bezdrátovou Bluetooth komunikací a kamerou

Michal Prokeš

Karel Slobodník

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

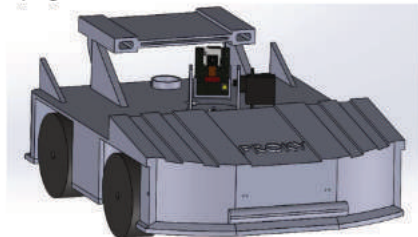
Anotace: Cílem projektu bylo vymodelovat, naprogramovat a sestavit RC auto s bezdrátovou Bluetooth komunikací pomocí mikrokontroleru ESP-WROOM-32 (dále jen „ESP32“) a PS5 ovladače.

1 Úvod

Projekt vznikl za účel propojit teoretické znalosti do praxe. Rozhodl jsem se sestavit vlastní RC auto od základu. Bylo to pro mě velkou výzvou, avšak samotné sestrojování bylo každodenní zábavou.

2 3D modelování

Model auta, který se skládá z hlavní sestavy a několika dílů jsem vymyslel dle vlastní představy v programu SOLIDWORKS.



Obr. 1 Hlavní sestava RC auta

3 Hardware

Hardware auta se skládá z ESP32, který řídí celé auto, H můstku L298N, dvou stejnosměrných 12V motorů, osmi LED diod, 5V stabilizátoru napětí, kterým napájím ESP32, tři servo motorů, jedné kamery ESP32-CAM, Buzzeru, 5V relé modulu, pomocí kterého je ovládán LED pásek pod autem a 12V Li-Ion baterie, kterou je napájený celý obvod.

4 Software

Software RC auta je naprogramován do mikrokontroleru ESP32 v jazyce C přes Arduino IDE. V programu je použita knihovna ps5Controller.h, přes kterou auto komunikuje s ovladačem pomocí Bluetooth a čte stisknutá

tlačítka a joysticky. Další knihovna je ESP32Servo.h, která ovládá tři servo motory na zatáčení auta a polohování kamery. Kamera, která komunikuje přes WiFi má samostatný program, který byl vytvořen editací příkladu v Arduino IDE.

5 Funkce

Toto RC auto je vybaveno schopnostmi jako klasické RC auto, nicméně má některé navíc, jako je například možnost měnit rychlost pomocí PWM a použití BOOSTu (100 % PWM) na 3 sekundy. Dále umí použít blinky a dálková, či výstražná světla. Program neustále hlídá kapacitu baterie a při poklesu pod 10 % zapne výstražná světla a vypne ostatní funkce. Polohovatelná kamera s nastavitelným LED světlem, ovládaná pomocí ovladače, spustí vlastní WiFi web server na kterém je možné po připojení přes IP adresu sledovat data ve formátu jednotlivých snímků. RC auto má i bezpečnostní prvek, který při odpojení ovladače nastaví auto do reset modu. Tím dojde k zastavení a vypnutí všech motorů a světel. Poté jakmile dojde k opětovnému připojení ovladače, je auto připraveno k provozu.

6 Závěr

I přes první komplikace způsobené nefunkčností stabilizátoru napětí v H můstku se po následné menší úpravě podařilo auto zprovoznit. Do budoucna má auto využití v projektu Augmented reality, kde se najdou uplatnění AR brýle propojené s kamerou na autě za účelem sledování okolí a řízení z „první osoby“. Velkým přínosem mi bylo hlavně zdokonalení v programování a v používání elektronických součástek a obvodů v praxi.

Na závěr bych chtěl zmínit, že hlavní pomocí při sestrojování jak kostry auta, tak programu mi byl článek z internetu [1] a knihovna z GitHubu [2].

7 Literatura

[1] <https://www.instructables.com/ESP-32-WITH-PS5-CONTROLLER-CAR/>

[2] <https://github.com/rodneybakiskan/ps5-esp32>

Lineární sonda stacionárního magnetického pole

Josef Sýkora

Ing. Petr Stašek

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tento příspěvek se zabývá popisem zařízení, které je určeno pro měření magnetického pole úzké cívky.

1. Úvod

Hlavní myšlenkou projektu je vytvořit ruční zařízení, které je schopno v reálném čase graficky zobrazit průběh magnetického pole uvnitř válcové cívky. Jednou z hlavních vlastností je možnost měřit pole úzké cívky s průřezem od 8 mm. Naměřená data jsou pomocí USB odesílána na připojené PC a pomocí aplikace dále zpracovávána a vizualizována.



Obr. 1 Měřicí deska s osmi senzory

2. Návrh desek plošných spojů

Pro měření magnetického pole byly zvoleny magnetometry TMAG5170A2, které umožňují měření magnetického pole ve třech nezávislých osách s využitím Hallova efektu s rozsahem 75,150 a 300mT. Senzory mají přímo integrovaný A/D převodník, takže ze senzoru lze vyčítat již digitální data s využitím SPI sběrnice.

Srdcem celého zařízení je mikrokontrolér STM32F103RET6, který řídí obsluhu jednotlivých senzorů a změřená data odesílá po UART sériové sběrnici do převodníku CY7C65213, který komunikuje s PC a aplikací MagnetoScope přes USB.

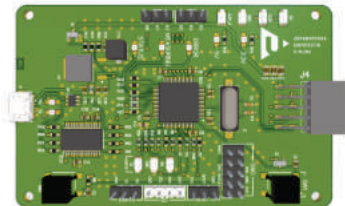
Pro dosažení možnosti výměny měřících hrotů je řídicí deska oddělena od sensorové desky pomocí konektoru. Snížení počtu výběrových signálů SPI sběrnice a počtu pinů na konekturu je dosaženo posuvným registrem M74HC595, nacházejícím se na sensorové desce. Díky

tomuto systému lze připojit i hroty s jiným množstvím senzorů.

3. Aplikace MagnetoScope

Aplikace MagnetoScope je naprogramována v jazyce Python a využívá knihoven PySide6 a PyQtGraph pro rychlé vykreslování měřených dat. Aplikace umožňuje výběr z několika způsobů vizualizace magnetického pole a to jak v čase, tak v prostoru.

Magnetické pole je snímáno s maximální vzorkovací periodou 10ms, tedy frekvencí 100Hz.



Obr. 2 Řídicí deska

4. Závěr

Navržené zařízení je schopno měřit magnetické pole úzké cívky a následně data vizualizovat pomocí aplikace. Rozměry měřicí desky splňují zadání pro měření pole v cívce průměru 8mm. Do budoucna je v plánu vytvořit více druhů měřících hrotů a dodělat software pro minimalizaci chyby měření.

5. Literatura

[1] VÍTEK, Martin. Zařízení pro mapování stacionárního magnetického pole v rovině [online]. Plzeň, 2019 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11025/37334>. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Jiřík Martin, Ing.

Textilní elektrody pro elektrickou stimulaci svalů a nervů

Vojtěch Tuček

doc. Ing. Radek Soukup, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: *Práce pojednává o návrhu a praktickém použití textilních elektrod v elektrostimulaci svalů a nervů.*

1 Úvod

Ve zdravotnictví se používají elektrody jak na měření biosignálů tak k elektrostimulaci, která může pomáhat s pohybem, zabraňovat svalové atrofii nebo třeba urychluje hojení zranění.

Současně používané elektrody jsou buď nepohodlné kovové nebo gelové, které se po pár použitích musí vyhazovat.

Realizace těchto elektrod pomocí vodivých nití může odstranit některé z těchto problémů a v určitých případech i snížit cenu neurostimulátorů používaných v praxi.

2 Aktuální použití v praxi

Byla provedena literární rešerše prakticky používaných elektrod, následně byla změřena jejich imedanční závislost na frekvenci a při jakých podmínkách jsou tyto elektrody již nepoužitelné. Prvním důležitým zjištěním, bylo praktické používání stejnosměrných pulzů při stimulaci a zároveň používání Ag/AgCl elektrod. Bylo také zjištěno, použití asymetrických dvoufázových stejnosměrných pulzů, které v druhé fázi způsobují opačnou chemickou reakci a tak nepoškozují elektrodu.

3 Měření elektrod

Před návrhem textilních elektrod, bylo potřeba zjistit základní parametry již existujících elektrod a navrhnout vhodné měřicí metody pro naměření impedance a stejnosměrného odporu [1]. Protože se nejvíce používají gelové elektrody, musela být navržena metoda na změření stejnosměrného odporu tak, aby při polarizaci stejnosměrným napětím nevznikal elektrochemický článek.

Dále byly zjištěny a zaznamenány velikosti a tvary jednotlivých elektrod a jejich způsob vodivého připojení ke zdroji.

4 Návrh textilních elektrod

Byly zvoleny dva způsoby realizace textilních elektrod. První bylo vyšití elektrod na látku. Pro tuto metodu byly navrženy menší zaoblené elektrody a zvoleny hybridní nitě Silver Tech Plus od firmy Amman a nit' s osmi neizolovanými mikrodrátky z postříbené mědi. Pro tuto metodu musely být zvoleny jemnější nitě a to z důvodu drsnosti vyšitého povrchu, který by mohl být nekomfortní pro uživatele. Druhou technikou pro tvorbu textilních elektrod bylo zvoleno pletení. Tato technika byla zvolena kvůli většímu komfortu pro uživatele a možnosti použití jiných vodivých materiálů nebo případně přidat vyplňující materiál kvůli kvalitnějšímu přitlaku ke kůži [2].

5 Závěr

Praktickým použitím textilních elektrod v praxi dojde ke zlepšení komfortu uživatele nebo pacienta a zároveň ke snížení ceny neurostimulátorů. Díky aktivní spolupráci a možnosti vyšití elektrod na oblek nebo upletení celého obleku i s elektrodami budeme moci pomáhat lidem s roztroušenou sklerózou, dětem postiženým Downovým syndromem případně pacientům s jinými svalovými nebo nervovými nemocemi.

6 Literatura

[1] Design and Analysis of Electrodes for Electrostimulation (TENS) Using the Technique of Film Printing and Embroidery in Textiles, MDPI publikováno 13. července 2021
<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/14/4789>

[2] Evaluation of dry textile electrodes for long-term electrocardiographic monitoring, Springer Link publikováno 12. července 2021
<https://link.springer.com/article/10.1186/s12938-021-00905-4>

OptoMos relé modul

Roman Vintř

Ing. Ondřej Lufinka Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

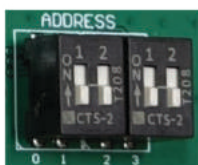
Anotace: Konvenční elektromagnetická relé, mají spoustu nevýhod ať už omezenou životnost přepínacích kontaktů, velikost nebo pomalejší sepnutí oproti svým polovodičovým konkurentům. V tomto příspěvku se zabývám návrhem modulu na bázi SSR (Solid state relay).

1 Úvod

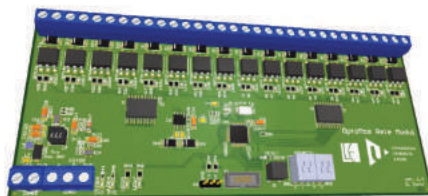
Při výběru nevhodnější varianty tohoto spínacího prvku jsou nejdůležitější parametry, jako je odpor v sepnutém stavu a dále maximální proudová zatížitelnost, samozřejmě vždy s ohledem na konkrétní aplikaci. V tomto případě byl klíčový zejména výše zmíněný odpor, který musel být co nejmenší, aby nedošlo k ovlivnění připojených zařízení.

2 Realizace

Na modulu je celkem 16 spínatelných výstupů Obr. 2 každý obsahuje indikační LED a příslušnou ESD ochranu. Z důvodu nedostatečného proudu výstupních pinů samotného procesoru je vstupní proud relé zesílen tranzistorem v darlingtonově zapojení. Obsluha probíhá po sběrnici RS485, která v kombinaci s použitím kroucené dvojlinky efektivně odolává EMC rušení. Pomocí DIP přepínačů viz Obr. 1 můžeme zvolit až $2^4 - 16$ unikátních adres, můžeme tedy řetězením dosáhnout maximálního počtu až 256 spínačů. Modul bude primárně napájen 12 V zdrojem, nejedná se však o maximální napětí. Vstupní napětí může být až trojnásobné, to díky navrženému spínanému zdroji s vysokou účinností.



Obr. 1 Spínače pro výběr adresy



Obr. 2 OptoMos relé modul

3 Závěr

Společně s programem tvoří OptoMos relé modul funkční celek. Data zadaná přes desktopovou aplikaci Obr. 3 se skutečně propisují na výstup. Tento režim je aktuálně hlavně kvůli testování. Umožněno je také zpětné vyčítání zapsaných stavů. Uživatel si může naprogramovat vlastní skript nejběžněji v jazyce Python, kde definuje sekvence spínání. Jednoduše může tak odhalit případné chyby kterými může být zkoušené zařízení postiženo a běžnými postupy by se na ně při testování nemuselo přijít.

?	R	OUT_STATE	240	0x000
?	R	OUT_DEFAULT_STATE	0	0x0
?	R	OUT_SET	43690	0xaaaa
?	R	OUT_CLEAR	65534	0xffff

Obr. 3 Aplikace pro správu dat (Modbus)

4 Literatura

- [1] A. Barkana, G. Cook and E. S. McVey, "A Solid-State Relay," in IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, vol. IECI-20, no. 2, pp. 97-99, May 1973. doi: 10.1109/TIECI.1973.5408894.
- [2] THOMAS, George. Introduction to the modbus protocol. *The Extension*, 2008, 9.4: 1-4.



Sekce II

**Elektrotechnika, elektronika
a elektrotechnologie NMgr. a Ph.D.**

doc. Eva Müllerová, Ph.D. - předseda
Ing. Bedřich Bednář, Ph.D.
Ing. Jaroslav Hornák, Ph.D.

Využití FlutterFlow pro tvorbu multiplatformních aplikací

Bc. Michal Krbec

Ing. Bedřich Bednář, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tato práce se zabývá vývojem webových a mobilních aplikací pomocí prostředí FlutterFlow. Nástroj umožňuje tvorbu aplikací bez nutnosti psaní celého programu. Tím se urychluje vývoj a snižují náklady při tvorbě softwaru.

1 Úvod

V současné době narůstá poptávka po rychlém vývoji aplikací, která je způsobena neustálým rozvojem digitálního prostředí. S tím souvisí také potřeba efektivních nástrojů, které umožní vytváření aplikací bez složitého programování. Jedním z takových nástrojů je FlutterFlow [1], který poskytuje prostředí pro vývoj multiplatformních aplikací s možností integrace databází.

2 Aplikace

Prostředí FlutterFlow otevírá brány do světa vývoje aplikací i pro méně zkušené vývojáře softwaru. Mezi hlavní výhody prostředí patří možnost z jednoho kódu vygenerovat následně několik aplikací pro různé platformy. Vzhledem k možnosti spojení aplikace s databází se nabízí příležitost tvořit prostředí pro sledování a ovládání chytrých zařízení. S využitím propojení s databází byly vytvořeny hned dvě aplikace. První z nich se zabývá sledováním řídicích jednotek čerpadel tlakové kanalizace firmy AQ SPOL, s.r.o., kterých je momentálně po republice nainstalováno přes 300 a jejich počet neustále narůstá.



Obr. 1 Aplikace pro sledování čerpadel TK

Další aplikací pro chytrá zařízení je monitorovací systém pro bateriové úložiště firmy T-Power s.r.o..

FlutterFlow je také možné využít pro tvorbu jiných typů aplikací. Na základě tohoto nástroje byla vyvinuta aplikace pro doporučení vhodného typu čerpadla, dle zadaných parametrů zákazníka. S využitím multiplatformního prostředí byl další projekt zaměřen na vývoj informačního systému FEL, který je určen pro studenty. Informační panel je primárně zobrazován na velkém LED displeji ve vestibulu, který informuje o předpovědi počasí, odjezdech MHD, využití přednáškových místností a také o aktuálním dění na fakultě, či ve světě.



Obr. 2 Informační systém pro FEL ZČU

3 Závěr

Nástroj FlutterFlow umožňuje tvorbu od základních aplikací, až po komplexní složité systémy. Na základě mnoha integrací a velké komunity, je možné tvořit webové stránky, e-shopy nebo sociální sítě. Při tvorbě komplexních projektů je nezbytné mít základní znalosti databází, programování, algoritmizace a využití API. FlutterFlow posouvá možnost exportovat jediný návrh aplikace hned na několik platform – web, Android, iOS, Windows a další, čímž se stává perfektním nástrojem pro rychlou a ekonomicky efektivní tvorbu softwaru.

4 Literatura

[1] Online. 2024. Dostupné z: <https://medium.com/@fbrkovic/how-flutterflow-is-changing-the-game-for-app-development-357508f54c87>. [cit. 2024-04-08].

Izolační kabelové materiály pro náročné aplikace

Bc. Tomáš Kupílik

Doc. Ing. Josef Píhara Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Studie se zaměřuje na porovnání izolačních materiálů pro kabely v jaderných elektrárnách s ohledem na prodloužení provozní životnosti na 60 let. Cílem práce je porovnat klasicky používaný kabelový izolační materiál XLPE s vysokoteplotním materiálem PEEK a zhodnotit, zda tyto materiály splňují požadovanou dobu životnosti.

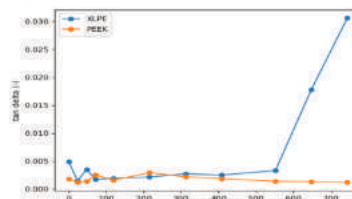
1 Úvod

Životnost izolačních materiálů je klíčovým faktorem při návrhu komplexních systémů, jako jsou například jaderné elektrárny. S prodlužující se dobou životnosti jaderných elektráren na 60 let [1], [2] se objevuje potřeba nových izolačních materiálů, neboť tradiční materiály, jako je zesíťovaný polyetylen (XLPE), již nemusí být dostačující. Vzhledem k této potřebě je nutné zkoumat alternativní materiály, jako je například polyetheretherketon (PEEK), který by mohl lépe vyhovovat novým požadavkům na dlouhodobou spolehlivost v jaderných elektrárnách. Kabely totiž představují nezbytnou součást jaderných elektráren (JE), jelikož se podílí na přenosu informací a energie, dokonce i v případě havárie / poruchy.

2 Experiment

Pro experiment byly zvoleny dva izolační termoplastické polymery – PEEK a XLPE. XLPE je dnes jeden z nejpoužívanějších izolačních materiálů v kabelovém průmyslu. Je významný zejména kvůli jeho provozní teplotě až 105 °C a dobrým elektrickým a mechanickým vlastnostem a nízké ceně. PEEK spadá do skupiny vysokoteplotních polymerů. Jeho povolená dlouhodobá provozní teplota je stanovena na 190 °C a krátkodobá až 260 °C. PEEK představuje vhodný izolační materiál pro kabely používané v jaderných elektrárnách vzhledem k jeho dobrým elektrickým a mechanickým vlastnostem, výbornou chemickou odolností, odolností vůči γ záření a výbornými teplotními vlastnostmi. Pro

ověření, zda materiály splňují plánovou 60letou životnost JE byla použita metoda zrychleného tepelného stárnutí. Materiály byly tepelně zestárnutý při teplotě 130 °C po dobu 744 h (31 dní), což odpovídá 60letému provozu kabelu v prostoru mimo kontejnment, kde je provozní teplota až 65 °C [1]. Během zrychleného stárnutí byly vzorky průběžně odebrány a analyzovány měřením ztrátového činitele. Z Obr. 1 je patrné, že u XLPE došlo k významné degradaci materiálu, čemuž naznačuje zvyšující se hodnota ztrátového činitele. V případě materiálu PEEK nedošlo k významné změně ztrátového činitele.



Obr. 1: Ztrátový činitel v závislosti na době stárnutí

3 Závěr

V této práci byly analyzovány dva izolační termoplastické materiály – PEEK a XLPE. Izolační materiály byly podrobeny tepelnému zrychlenému stárnutí při teplotě 130 °C, která odpovídá 60letému provozu jaderné elektrárny při provozní teplotě 60 °C. Z výše uvedených výsledků je patrné, že klasicky používané XLPE by požadované životnosti JE nevyhověl. Vysokoteplotní PEEK by v tomto případě vyhověl, za cenu vyšších pořizovacích nákladů.

4 Literatura

- [1] International Atomic Energy Agency, "Assessing and Managing Cable Ageing in Nuclear Power Plants," Radiat. Damage to Org. Mater. Nucl. React. Radiat.
- [2] M. Voříšek, "Jaderná energetika jinak: Životnost reaktorů 80 let a rozvoj malých modulárních reaktorů," OEnergetice.cz

Silikonové materiály s příměsí ZnO pro potlačení výbojové činnosti

Bc. Petr Kvasnička

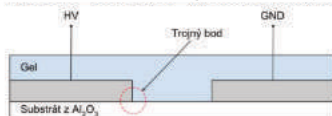
doc. Ing. Josef Pihera, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: *S ohledem na dynamický vývoj výkonové elektroniky a používaných polovodičů, je zásadní inovovat materiály, schopné odolávat vysokým intenzitám elektrického pole a částečným výbojům. Článek se věnuje studiu vlivu modifikací izolačních systémů pro výkonové aplikace tak, aby došlo k významnému omezení výbojové činnosti. Hlavní diagnostickou veličinou bylo zvoleno zapalovací napětí částečných výbojů.*

1 Úvod

Silikonové gely jsou součástí skupiny zalévacích hmot, využívaných jako hlavní izolační systém pro výkonové a VN aplikace. Vzhledem k neustálému vývoji výkonových zařízení a zvyšování hladin provozních napětí dochází k problematice částečných výbojů na rozhraní: substrát – gel – vodič. Toto rozhraní je označováno jako **trojný bod** (Obr. 1), kde dochází k vysokému nárůstu intenzity elektrického pole [1].



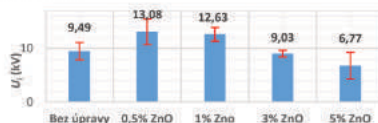
Obr. 1: Rozhraní trojného bodu.

Lokální nárůst intenzity pak způsobuje povrchové částečné výboje, které degradují izolační systém. Existují dva typy plniv, která omezují strmý nárůst intenzity – plniva měnící a) vodivost nebo b) permitivitu v závislosti na intenzitě elektrického pole [2].

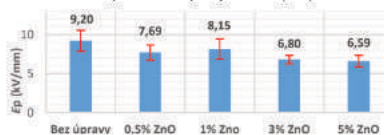
2 Experiment

Bylo navrženo experimentální uspořádání elektrod simulující trojný bod. Šablonovým tiskem byl vytvořen elektroodový systém ve tvaru $\rightarrow \perp$, s přesně definovanými rozměry. Byly tak definované stejné podmínky přeskoku a zapálení částečných výbojů pro všechny měřené vzorky. Jako zalévací hmota byl zvolen komerčně dostupný dielektrický gel Wacker SilGel 612. Pro omezení výbojové činnosti byla zvolena plniva ZnO o velikosti $<5 \mu\text{m}$, které mění svou vodivost vlivem změny intenzity elektrického pole a mají

charakter varistoru [3]. Polovodivé vlastnosti plniv ovlivňují elektrickou pevnost E_p (kV/mm), proto byl tento parametr souběžně sledován se zapalovacím napětím U_i (kV). Pro nalezení optimálního plnění byly zvoleny 4 poměry a následně porovnávány s vzorky bez plniv viz Obr. 2 a Obr. 3.



Obr. 2: Zapalovací napětí jednotlivých poměrů



Obr. 3: Elektrická pevnost jednotlivých poměrů

3 Závěr

Experiment potvrdil teoretické předpoklady, že pomocí polovodivých plniv je možné ovlivnit zapalovací napětí částečných výbojů. Se zvětšujícím se podílem plniv výrazně klesá elektrická pevnost. Tato skutečnost způsobuje, že téměř okamžitě při zapálení částečných výbojů dochází k elektrickému průrazu. Bylo zjištěno optimální hmotnostní plnění 0,5 až 1 % ZnO. Pokračováním této studie bude zkoumání jiných druhů plniv, založených na změně permitivity a porovnání finálních vlastností také z hlediska strukturálních analýz.

4 Literatura

- [1] C. Li *et al.*, "Surface discharge characteristics of silicone gel and DBC under positive repetitive square voltage, 2022. doi: 10.1016/j.pedc.2022.100021
- [2] O. Faruq *et al.*, "Development of Nonlinear Resistive Field Grading Materials for Electric Field Mitigation in Power Electronic Modules," 2022. doi: 10.1109/ECCE50734.2022.9947481.
- [3] Z. Yuan *et al.*, "Study on ZnO-based electric field adaptively controlled structure in power electronic module," 2022. doi: 10.1049/icp.2022.1345

Akustické metody detekce částečných výbojů

Bc. Martin Mañas

Doc. Ing. Josef Pihera, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

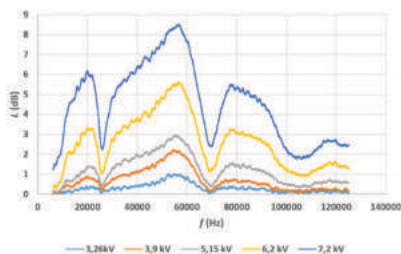
Anotace: Předložený experiment se zaměřuje na popis metody detekce částečných výbojů pomocí akustické metody. Cílem práce bylo detekovat a analyzovat veličiny akustických projevů částečných výbojů modelových uspořádání korony a povrchových výbojů. Součástí práce bylo navrzení měřicí metody, výběru vhodného vybavení, nalezení korelace mezi elektrickými a akustickými daty.

1 Úvod

Měření částečných výbojů je klíčové pro udržení elektrických zařízení v bezpečném a funkčním stavu, jelikož negativně ovlivňují izolaci a zkracují jejich životnost. Pro jejich detekci se běžně využívá přímá globální metoda, která je náchylná vůči okolnímu elektrickému rušení. Akustická metoda představuje alternativu, nabízející odolnost vůči okolním elektrickým rušením.

2 Experiment

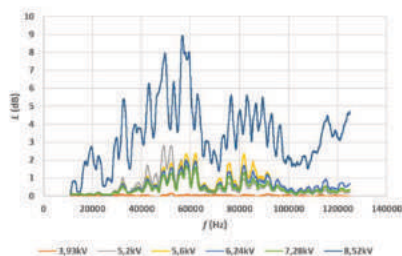
V Experimentu bylo provedeno měření pomocí globální [1] a akustické metody. Akustická metoda využívala ultrazvukový mikrofon s frekvenčním pásmem od 1 kHz do 125 kHz



Obr. 1. Akustické spektrum Povrchového výboje

Na Obr. 1 je zobrazené měření povrchových výbojů, které mají dominantní projevy na frekvencích 20 kHz, 57 kHz a 78 kHz. Měření bylo provedeno na třech různých materiálech, přičemž

jejich charakteristické frekvence byly totožné. Díky tomu je možné předpokládat, že akustické projevy náleží pouze elektrodovému uspořádání a nejsou ovlivněny druhem izolačního materiálu.



Obr. 2. Akustické spektrum Korónového výboje

Z měření korony na Obr. 2 lze pozorovat větší množství klíčových frekvencí, které se mění s charakterem výboje. Ten prochází, nesamostatným, koronovým a anomálním výbojem, viz [2].

3 Závěr

Experiment identifikoval tři klíčové frekvence pro povrchové výboje a mnoho významných frekvencí pro koronové výboje, rozdělených podle fyzikálních projevů při změně napětí. Tento experiment poukazuje na možné použití akustické metody pro lokalizaci i identifikaci typu výboje činnosti.

4 Literatura

- [1] T. P. Mentlík Václav, Pihera Josef, Polanský Radek, Prosr Pavel, "Diagnostika elektrických zařízení", 2008.
- [2]. V. Y. Kozhevnikov, A. V. Kozyrev, V. F. Tarasenko, A. O. Kokovin, E. K. Bakshat, N. P. Vinogradov, "Key Modes of Ignition and Maintenance of Corona Discharge in Air", Energies, svazek 16, číslo 13, 2023.

Indukčnost a přetížitelnost vícefázových strojů

Zdeněk Frank

Ing. Jan Laksar, Ph.D., doc. Ing. Karel Hruška, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Práce se zabývá přetížitelností vícefázových synchronních strojů oproti standardním třífázovým a ověřením teoretických předpokladů. V práci jsou navrženy řady vícefázových strojů se stejnými zástavbovým rozměrem a odlišným počtem fází. Dále se zabývá měřením parametrů náhradního schématu PMSM.

1 Úvod

Základní vlastnosti PMSM vyjadřují parametry náhradního schématu. Lze z nich vypočítat průběh momentu a výkonu (1)

$$P = m \cdot U_f \frac{U_i}{X_d} \sin(-\beta) \quad (1)$$

Za předpokladu stejného fázového i indukovaného napětí a stejné rychlosti stroje je maximální výkon limitován poměrem mezi počtem fází a reaktancí (a tedy i indukčností) stroje. Pokud u pětifázové varianty má být větší výkonové přetížení, tak musí mít nižší indukčnost přepočtenou na stejný počet fází (2).

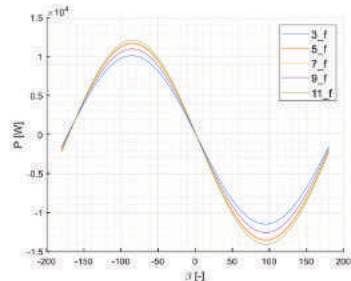
$$L_{d_{5f}} < \frac{5}{3} L_{d_{3f}} \quad (2)$$

Pro ověření přetížitelnosti vlastností vícefázových strojů byla provedena analýza vlivu počtu fází na vlastnosti vinutí a výpočtu indukčnosti.

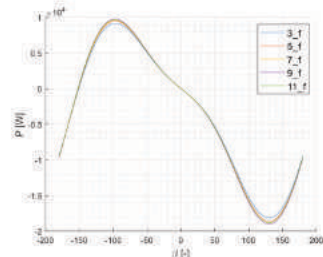
2 Řady vícefázových PMSM

Byly navrženy dvě řady PMSM motorů, jedna řada je určena pro nízké napětí a lehkou elektromobilitu, druhá je určena pro síťové napětí a průmyslové použití. Výkonové charakteristiky obou řad jsou na Obr. 1, Obr. 2.

Z každé řady byl vytvářen a postaven jeden vícefázový PMSM. Následně byly osazeny do samostatných měřicích stanišť a byly změněny parametry náhradních schémat.



Obr. 1 Výkonová charakteristika teoretických 16-pólových PMSM pro elektromobilitu.



Obr. 2 Výkonová charakteristika navržených 4-pólových PMSM pro průmyslové použití.

3 Závěr

Rostoucí počet fází umožňuje volit vhodnější topologii vinutí a tím může klesat rozptylová indukčnost vinutí. Díky této vlastnosti roste přetížení stroje s rostoucím počtem fází viz Obr. 1. Delším benefitem může být zvýšení indukovaného napětí a tím i účinnosti el. stroje.

Pro ověření vlastností vícefázových strojů vznikl návrh dvou řad vícefázových strojů s odlišnou topologií vinutí a finální aplikací. Dále byla postavena dvě měřicí stanoviště, ve kterých jsou vybrané stroje zasazeny a lze je porovnat se standardními třífázovými stroji.

Modifikace dielektrických vlastností tištěného materiálu pro použití ve stejnosměrných aplikacích

Ing. Jiří Kopřiva

Ing. Jaroslav Hornak, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

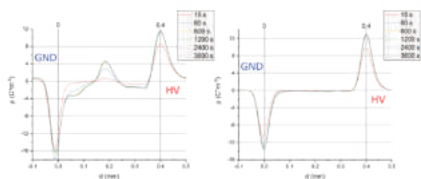
Anotace: Článek se zabývá možností modifikace elektroizolačního materiálu vyrobeného metodou 3D tisku. Vzorky z materiálu PET-G byly vystaveny krátké tepelné expozici pod mechanickým tlakem za účelem redukce prostorového náboje vznikajícího uvnitř materiálu.

1 Úvod

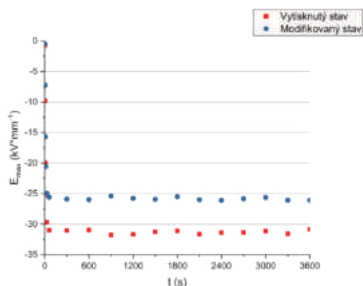
Technologie 3D tisku představuje perspektivní způsob výroby elektroizolačních komponent [1]. Bohužel, z důvodu vrstvené struktury jsou takto vyrobená dielektrika velmi náchylná na akumulaci prostorového náboje. Tento jev může značně snížit životnost izolačního materiálu a tím ohrozit funkčnost celého systému [2]. V tomto experimentu je zkoumána možnost snadné modifikace tištěného dielektrika prostřednictvím tlaku a krátké tepelné expozice za účelem redukce tvorby prostorového náboje.

2 Popis experimentu

Vzorky pro tento experiment byly vyrobeny na tiskárně Bambu Lab P1S a materiál pro experiment byl zvolen PET-G. Tisk materiálu probíhal při 250 °C. Z tohoto materiálu byly vyhotoveny vzorky o průměru 90 mm a tloušťce 0,4 mm, skládající se ze dvou vrstev po 0,2 mm. Vzorky byly vystaveny krátké tepelné expozici 120 °C pod tlakem 6 N·cm⁻². Při měření byly vzorky vystaveny intenzitě elektrického pole 25 kV·mm⁻¹ po dobu jedné hodiny.



Obr. 1 Akumulovaný náboj při původním stavu (vlevo) a po modifikaci (vpravo)



Obr. 2 Hodnoty maxima el. pole v průběhu měření

3 Závěr

Z výsledků experimentu je jasně patrný pozitivní vliv modifikace na velikost akumulovaného prostorového náboje. Daná modifikace téměř eliminovala akumulaci prostorového náboje na rozhraní vrstev a tím snížila lokální maximum elektrického pole z hodnoty 30 kV·mm⁻¹ na hodnotu, jež konverguje k hodnotě přiloženého elektrického pole, a to 25 kV·mm⁻¹. Tato metoda modifikace nabízí zlepšení dielektrických vlastností tištěných izolantů určených pro stejnosměrné aplikace na kriticky namáhaných místech.

4 Literatura

- [1] X. -R. Li *et al.*, "Analysis of Morphology and Electrical Insulation of 3D Printing Parts," 2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), Athens, Greece, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICHVE.2018.8642096.
- [2] L. Miao, J. Wu, Y. Yin and J. Cao, "Study on the Difference of Space Charge Distribution in EPDM under DC and AC Electric Fields," 2020 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM), Tokyo, Japan, 2020, pp. 321-324.

Metodika pro určování zbytkové životnosti a provozní spolehlivosti elektrických strojů

Jan Leffler

Pavel Trnka

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tento příspěvek popisuje metodiku pro vyhodnocování zbytkové životnosti (RUL) dle zvoleného modelu tepelného stárnutí elektroizolačního systému (EIS) ve spojení s provozní spolehlivostí $R(t)=1-F(t)$, která je určována pomocí exponenciálního nebo Weibullova rozdělení pravděpodobnosti. Metodika je popsána v souvislosti se správou aktiv elektrických strojů, ale koncept je přenositelný i do jiných oblastí.

1 Úvod

V současnosti je kladen značný důraz na efektivní vyhodnocování provozních dat a využívání hodnotných a klíčových zařízení v provezech výroby a přenosu elektrické energie. Tuto činnost lze souhrnně nazvat správou aktiv. Zde mají nezastupitelnou úlohu metody monitoringu, diagnostiky a prognostiky. Tyto postupy umožňují nastavit servisní intervaly a odstávky tak, aby byla aktiva využívána co nejdéle bez nadměrných servisních zásahů, ale aby zároveň byla zachována požadovaná provozní spolehlivost. V důsledku tak dochází k provozním úsporám, ale například i ke snížení vynaložených prostředků na související skladování náhradních dílů a logistiku.

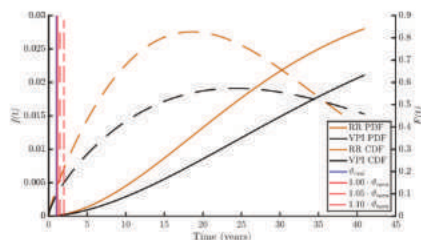
2 Data a analýza

Posuzovaná data pocházela z tuzemské vodní elektrárny. Hodnoty teplot ϑ byly měřeny zhruba po dobu jednoho roku distribuovaným optickým senzorem teploty založeným v drážkách hydroalternátoru, přičemž každá drážka byla dále rozdělena do více sekcí. Analýza skutečných naměřených dat byla doplněna i modelováním stárnutí pro průměrnou hodnotu teploty rovné nominální teplotě pro EIS a dalších dvou scénářů s navýšením o 5 a 10 %. Vyhodnocení proběhlo na základě mocninného modelu tepelného stárnutí s empirickými konstantami (A , B) pro danou teplotní třídu EIS (1) se zavedením akceleračního faktoru AF (2), který zohledňuje nominální a aktuální životnost τ dle aktuální maximální monitorované teploty. Dále byla určena pravděpodobnost poruchy v čase $F(t)$ dle (3).

$$\tau = A \cdot \vartheta^{-B} \quad (1)$$

$$AF = \tau_{\text{nom}} / \tau_{\text{act}} \quad (2)$$

$$F(t) = \int_0^t f(\xi) d\xi \quad (3)$$



Obr. 1 Hustota pravděpodobnosti a distribuční funkce pro EIS dle technologického postupu RR a VPI

3 Závěr

Na základě analýzy dat a použitých modelů bylo zjištěno, že daný EIS generátoru vlivem pozorovaného tepelného namáhání nadměrně nedegraduje. V modelových příkladech se zvýšenou teplotou bylo poté demonstrováno, jak by se měnilo RUL a $F(t)$. Z použitých Weibullova rozdělení je evidentní, že technologický proces RR má obecně vyšší poruchovost než VPI.

Tab. 1 RUL a $F(t)$ zhruba po roce provozu pro různé scénáře tepelného zatížení EIS

Teplota (°C)	RUL (roky)	$F(t)$ exp	$F(t)$ W-RR	$F(t)$ W-VPI
ϑ_{real}	28,9236	0,0392	0,0023	0,0018
$1,00 \cdot \vartheta_{\text{nom}}$	28,7954	0,0441	0,0029	0,0023
$1,05 \cdot \vartheta_{\text{nom}}$	28,4789	0,0562	0,0045	0,0034
$1,10 \cdot \vartheta_{\text{nom}}$	27,9528	0,0758	0,0078	0,0058

4 Literatura

[1] LEFFLER, Jan; TRNKA, Pavel. Estimation of Remaining Useful Life and Failure Probability of an Electrical Machine-Case Study. In: 2023 IEEE 17th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG). IEEE, 2023.

Stanovení obsahu vody v izolačních kapalinách pomocí širokopásmové dielektrické spektroskopie

Ing. Zdislava Mokrá

prof. Ing. Pavel Trnka, Ph.D., MBA

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

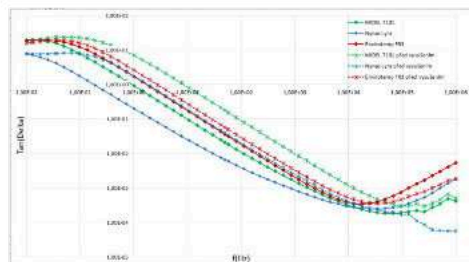
Anotace: Příspěvek se zabývá měřením vlhkosti pomocí širokopásmové dielektrické spektroskopie. V rámci měření byly mezi sebou porovnávány tři typy olejů, syntetický a přírodní ester a minerální olej. Z výsledků měření ztrátového činitele, kapacity a impedance je patrné, že vlhkost je nejvíce prominentní na nízkých frekvencích. Tuto znalost lze využít pro konstrukci matematického vztahu mezi vlhkostí a kapacitou.

1 Úvod

Obsah vlhkosti v izolačních kapalinách je důležitý parametr ovlivňujících dielektrické vlastnosti a spolehlivost celého transformátoru [1]. Voda se do izolačního oleje může dostat v důsledku tepelného oxidačního stárnutí celulózy nebo esterů, ale také z okolní atmosféry. Jednou z perspektivních metod kvantifikace obsahu vody v izolačních kapalinách je měření frekvenční závislosti dielektrických vlastností oleje pomocí širokopásmové dielektrické spektroskopie [2]. Tato znalost se dá dále aplikovat pro volbu senzoru pro online měření obsahu vody během regenerace izolačních kapalin.

2 Představení experimentu

Při měření byly porovnávány tři různé typy izolačních olejů. Jednalo se o minerální izolační olej Nynas Lyra, syntetický esterový olej Midel 7131 a přírodní izolační olej Envirotemp FR3. Vzorky byly porovnávány před a po procesu sušení. Sušení probíhalo 46 hodin při 60 °C. Následně byl stanoven obsah vody pomocí coulometrické titrace Karla Fishera. Vzorky byly měřeny od -60 °C do 60 °C v intervalech po 10 °C při frekvenčním rozsahu od 0,01 Hz do 1 MHz. K měření kapalných vzorků byl použit dvouelektrodový systém BDS 1308. Výsledky ukazují vliv obsahu vody na výsledné dielektrické vlastnosti v závislosti na frekvenci.



Obr. 1 Ztrátový číselník v závislosti na frekvenci při 40 °C pro jednotlivé typy olejů

Tab. 1 Obsah vody izolačních kapalin (ppm)

	Před vysušením	Po vysušení
Envirotemp FR3	477	207
MIDEL 7131	70	111
Nynas Lyra X T 451	21	6

3 Závěr

Vliv vlhkosti na dielektrické parametry lze u izolačních kapalin vidět na nízkých frekvencích. Tento vliv by šel kvantifikovat pomocí vzorce a tuto znalost využít na vývoj online měřícího systému, využitelného například při regeneraci izolačních kapalin. Je nutno udělat více měření při různém obsahu vlhkosti pro jednotlivé typy izolačních kapalin pro spolehlivější určení vlivu vlhkosti.

4 Literatura

- [1] V. Mentlik, "Dielektrické prvky a systémy,." 2006.
- [2] W. H. H. Woodward, "Broadband Dielectric Spectroscopy - A Practical Guide," in *ACS Symposium Series*, vol. 1375, American Chemical Society, 2021, pp. 3–59. doi: 10.1021/bk-2021-1375.ch001.

Napájecí zdroj se zvýšenou odolností pro měřicí systém s detektory Timepix3 pro instalaci v infrastruktuře CERN

Ing. Ondřej Růžička

Ing. Petr Burian, PhD.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

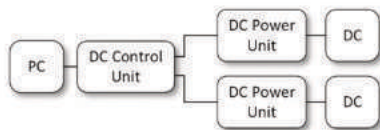
Anotace: Tento článek popisuje architekturu a realizované řešení magneticky a radiačně odolných napájecích zdrojů detektorové sítě Timepix3, instalované v experimentu ATLAS v CERN (Ženeva, Švýcarsko).

1 Úvod

Elektronické systémy v rozsáhlých experimentech částicové fyziky mohou vyžadovat aplikace radiačně a magneticky odolných napájecích zdrojů. Je vhodná možnost vzdáleného řízení a diagnostiky napájecího systému. Pro zvýšení spolehlivosti napájecího systému pracujícího v takto náročném prostředí mohou být využity redundantní zapojení klíčových částí.

2 Architektura systému

Napájecí zdroj se skládá z výkonového modulu a ovládacího modulu. Výkonový modul je umístěn v podmínkách experimentu a je fyzicky připojen na měřicí elektroniku, v tomto případě datový koncentrátor (DC). Řídicí modul je umístěn ve stíněné místnosti, kde jsou již běžné podmínky.

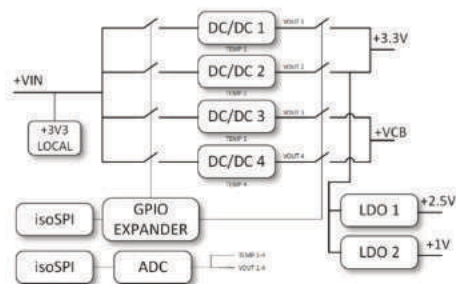


Obr. 1 Architektura navrženého systému

3 Výkonový modul

Výkonový modul poskytuje dvě napájecí větve. Každou z těchto větví obsluhují dva nezávislé magneticky odolné moduly spínaných zdrojů [1]. Tyto moduly je možné vzdáleně přepínat v případě poruchy, nebo mohou pracovat současně. Výstupní napětí a teploty modulů jsou monitorovány a naměřená data odesílána do řídicího modulu. Pro komunikaci s řídicím modulem je použita izolovaná sběrnice isoSPI, jež

je schopna pracovat i na vzdálenosti 100 metrů. Uspořádání výkonového modulu je ukázáno na Obr. 2.



Obr. 2 Výkonový modul

4 Řídicí modul

Řídicí modul je navržen pro ovládání dvou nezávislých výkonových modulů. Jeho srdcem je mikrokontrolér STM32, který zajišťuje konektivitu s nadřazenou aplikací v počítači a nezbytné real-time ochrany, pro případ poruchy na některé napájecí větvi.

5 Závěr

Systém byl počátkem roku 2024 nainstalován v detektorové síti Timepix3 v experimentu ATLAS v CERN. Byla potvrzena jeho funkčnost a odolnost proti magnetickému poli. Bude následovat dlouhodobé testování odolnosti a spolehlivosti při běhu experimentu.

6 Literatura

[1] S. Michelis, N. H. Van Der Blij, G. Ripamonti and P. D. Antoszczuk, "bPOL48V, a rad-hard 48V DC/DC Converter for Space and HEP Applications," 2023 13th European Space Power Conference (ESPC), Elche, Spain, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/ESPC59009.2023.10298148.

Rozložení prostorového náboje v polymerních fóliích

Ing. Pavel Sláma

prof. Ing. Pavel Trnka Ph.D., MBA

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tento příspěvek se bude věnovat vlivu přiloženého stejnosměrného napětí na akumulovaný prostorový náboj pro dva polymerní vzorky, konkrétně Polypropylen (PP) a Polyetheretherketon (PEEK).

1 Úvod

Akumulace prostorového náboje ovlivňuje elektrické pole uvnitř izolací. Některé samozřejmě více než jiné. Způsobené změny vnitřního elektrického pole mají vliv na izolační vlastnosti materiálů a dále také podporuje procesy stárnutí [1]. Existuje několik způsobů měření prostorového náboje. K těmto metodám patří i metoda pulzně elektroakustická (PEA), která byla použita k měření dodaných vzorků. PEA využívá akustických pulsů, generovaných krátkými pulsy elektrického napětí [2]. Generované akustické pulsy odpovídají akumulovanému prostorovému náboji [2] a jsou detekované pomocí piezoelektrického měniče, zesíleny a poté zpracovávány.

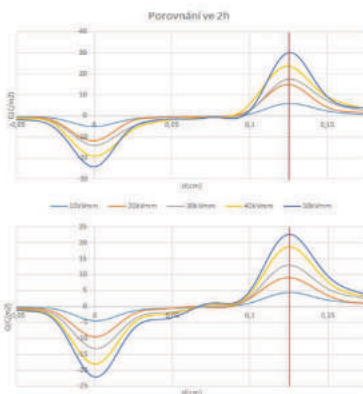
2 Experiment a vzorky

Měřené vzorky byly tenké polymerní fólie Polypropylenu (PP) a Polyetheretherketon (PEEK). Měření závisí na několika parametrech, které jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Tabulka základních hodnot pro vzorky

Vzorek	PP	PEEK
Rychlost šíření zvuku v (m/s)	~2600	~2420
Permitivita ϵ (-)	2,3	2,5
Tloušťka d (mm)	0,125	0,125
E_p (kV/mm)	~200	~190

Po zpracování naměřených dat je získán graf rozložení prostorového náboje v průřezu vzorků. Tyto grafy jsou pro vzorky fólií PP a PEEK k vidění na Obr. 1.



Obr. 1 Graf rozložení prostorového náboje po dvou hodinách nabíjení pro PEEK (horní) a PP (dolní)

3 Závěr

Z křivek vynesných v Obr. 1 lze vidět, že pro PEEK je změna prostorového náboje uvnitř vzorku v závislosti na přiloženém napětí pouze minimální. Pro PP je naopak vidět značný vliv přiloženého napětí na akumulovaný prostorový náboj. Další předpokládaný postup je další zvyšování přiloženého napětí pro PEEK, a opakovat měření pro opačnou polaritu elektrického pole.

4 Literatura

- [1] G. C. Montanari, "Bringing an insulation to failure: The role of space charge," 2010 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, West Lafayette, IN, USA, 2010, doi: 10.1109/CEIDP.2010.5724101.
- [2] Ahmed, N. U., & Srinivas, N. (1997). Review of space charge measurements in dielectrics. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 4(5), 644–656. <https://doi.org/10.1109/94.625650>

Fyzikální model elektrického výboje

Ing. Filip Zmeko

doc. Ing. Eva Müllerová, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Experimentální přístup evaluace dielektrické pevnosti vysokonapěťového (vn) zařízení je obvykle nákladnou procedurou, jejíž výstup nelze aplikovat na jiná vn zařízení. Výpočetní přístup využívající nástrojů fyzikálních zákonů, které zaručují zachovávání jevů, a numerické matematiky, která tyto fyzikální jevy interpretuje v čitelné podobě, nabízí rychlou a nenákladnou alternativu za časově i finančně nákladné experimenty.

1 Úvod do problematiky

Elektrické výboje v oblasti vn mají v určitém pásmu napětí a vzdáleností podobu vláken složených z částečně ionizovaného plynu (plasmatu), který nedosahuje termodynamické rovnováhy (elektrony mají vyšší teplotu než těžší částice), tzv. streamerový výboj (SV). SV se šíří vysokou rychlostí mechanismem kladně/záporně ionizované vlny (podobně jako horské lavinové vlny). Fyzikální ekvivalent je obsažen v

$$\frac{df_{\alpha}(t, \vec{x}, \vec{v}_{\alpha})}{dt} = \sum_{\beta} S_{\alpha\beta}, \quad (1)$$

kde f_{α} nese informaci o částicích typu α a $S_{\alpha\beta}$ reprezentuje srážkový integrál částic α a β . Jelikož f_{α} je funkcí 7 proměnných, je matematická interpretace (1) velice komplikovaná [1]. Pro rychlou evaluaci šíření SV je více vhodné tzv. makroskopické přiblížení (MP) [2 a 3].

2 Makroskopické přiblížení

MP provazuje Laplaceovu rovnici pro elektrický potenciál

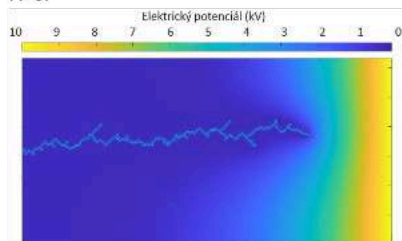
$$\Delta\phi = 0 \quad (2)$$

a vztah pro pravděpodobnostní rozložení šíření vodivého kanálu

$$p_i = \frac{\phi_i^{\eta}}{\sum_{j=1}^n \phi_j^{\eta}} \quad (3)$$

iterativním řešením (2) a (3) a zahrnutím dalších fyzikálních (zachovávajících se) parametrů, které byly získány pomocí (1) a experimentů, lze efektivně simulovat šíření SV v libovolném vn elektrodořím uspořádání.

Na Obr. 1 je výstup z iterativního algoritmu, který v 1. kroku počítá (2) metodou konečných prvků se strukturovanou sítí a ve 2. kroku volí na základě (3) cestu šíření vodivého kanálu, jehož potenciál postupně narůstá z hodnoty potenciálu na katodě (vlevo) o hodnotu ΔU směrem k anodě (vpravo), tzn. záporný SV s $R > 0$.



Obr. 1 Simulace výbojového kanálu s nenulovým odporem a příslušného elektrického potenciálu podle (2)

3 Závěr

Hledáním adekvátní kombinace vstupních parametrů MP je možné replikovat chování SV v libovolném vn elektrodořím uspořádání, a ušetřit tak čas a náklady plynoucí z experimentálních přístupů.

4 Literatura

- [1] Channon O and Neubert T 2008 J. Comput. Phys. 227 7222–7245.
- [2] Alejandro Luque and Ute Ebert 2014 New J. Phys. 16 013039.
- [3] Bernd Bickel, Martin Wicke, Markus Gross. Adaptive Simulation of Electrical Discharges. Computer Graphics Laboratory, ETH Zurich.



Sekce III

**Elektrotechnika a výkonová
elektronika Bc. a NMgr.**

Ing. Roman Hamar, Ph.D. - předseda
Ing. Jan Laksar, Ph.D.
Ing. Vojtěch Blahník, Ph.D.

Měření elektrických komponentů pro osobní elektromobilitu

Adam Kratochvíl

Ing. Zdeněk Frank

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tato práce se zabývá měřením komponentů pohonu elektrické motorky. Dále se věnuje uspořádání měřícího stanoviště, které je určeno pro měření malých pohonů. Práce se primárně věnuje oživení, porovnání dvou různých kontrolérů a jejich vlivu na ostatní komponenty elektrického pohonu. Dále jsou popsány a provedeny oteplovací zkoušky v laboratoři a v reálném provozu.

1 Úvod

Pro sériovou výrobu pohonu elektrické motorky byla možnost volby mezi dvěma kontroléry s obdobnými parametry, ASI-BAC8000 (na Obr. 1 vpravo) a SILIXCON z řady SL (na Obr. 1 vlevo).



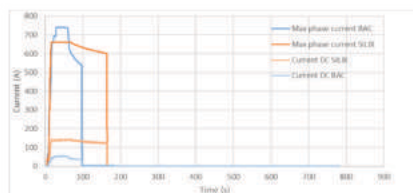
Obr. 1 Porovnávané kontroléry (SL, BAC8000)

Pro vhodný výběr kontroléru bylo zapotřebí nejprve oživení celého pohonu a stanoviště s jednotlivými testovanými komponenty. Následně bylo zapotřebí otestovat ochrany jednotlivých komponent. Po ověření ochrany byli provedeny oteplovací zkoušky při maximálních hodnotách (viz. Kapitola 2). Poté budou provedeny testy v reálných podmínkách, kde budou optimalizovány dynamické parametry kontrolérů (viz. Kapitola 3).

2 Laboratorní testy

Na Obr. 2 jsou zobrazeny průběhy fázových (amplituda) a stejnosměrných proudů při oteplovací zkoušce. Oba kontroléry byly provozovány při stejném maximálním momentu, který bylo možné dosáhnout s měničem BAC. Při ožívování a provádění těchto oteplovacích

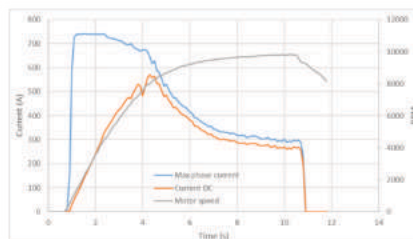
zkoušek byla zjištěna chyba v záznamu hodnot měniče BAC, kdy nesedí hodnoty zaznamenané měničem s hodnotami z osciloskopu. Dále je možné s kontrolérem SILIXCON dosáhnout většího maximálního momentu.



Obr. 2 Průběhy proudů při oteplovací zkoušce

3 Měření v provozu

V této části jsou prezentovány výsledky měření provedené na uzavřeném letišti s dvěma identickými motorkami. Jedna byla vybavena měničem SILIXCON (viz Obr. 3) a druhá měničem BAC. Oba pohony vykazovali podobné vlastnosti.



Obr. 3 Průběhy proudů a rychlosti motoru měniče SILIXCON

4 Závěr

Práce prezentuje výsledky měření dvou měničů, kde v laboratorních podmínkách měnič SILIXCON vykazuje lepší vlastnosti. Na letištní ploše bylo dosaženo stejného zrychlení u obou pohonů. Na základě provedených testů, byl výrobci doporučen kontrolér SILIXCON-SL.

Návrh synchronního motoru pro demonstrační účely

Matěj Martinek

Ing. Zdeněk Frank

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tato práce se zabývá vývojem synchronního stroje buzeného permanentními magnety, postaveného za účelem demonstrování základních vlastností a fyzikálních principů elektrických točivých strojů.

1 Úvod

Při výuce je pro studenty často obtížné dostatečně pochopit danou problematiku. Proto vzniká tento projekt, který si klade za úkol názorně ukázat nejdůležitější principy a konstrukční řešení nutné pro fungování synchronního stroje.

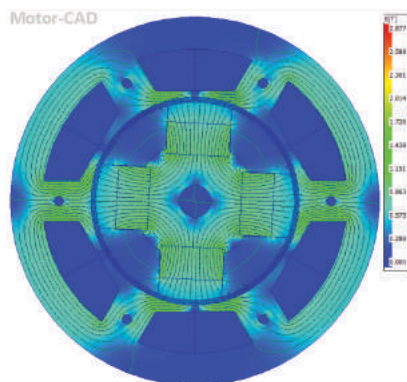
2 Návrh motoru

Tento demonstrační přípravek byl vyvinut s ohledem na technickou proveditelnost, proto byla zvolena co nejjednodušší konstrukce. Snažíme se tím o dosažení co nejlepšího pochopení procesů probíhajících uvnitř stroje. Z technických důvodů byly pro návrh magnetického obvodu využity výpalky z konstrukční oceli, což implikuje, že návrh ze své podstaty nemůže mířit na maximální účinnost.



Obr. 1 mechanické uspořádání stator - rotor

Pro magnetický návrh byly použity simulace pomocí programu ANSYS Motor-CAD, které umožnily optimalizovat geometrii. Pro nejjednodušší montáž bylo zvoleno zubové vinutí s nosnou kostrou vytvořenou pomocí 3D tisku.



Obr. 2 simulace magnetického obvodu

3 Závěr

Hlavní cíl této práce spočívá ve výrobě kompletního motoru, schopného díky své konstrukci seznámit laickou veřejnost s fyzikálními zákonitostmi, které jsou obvykle lidskému oku skryty. V současné době je zařízení ve fázi finálního návrhu, z něhož vznikne první prototyp.

4 Literatura

[1] PYRHONEN, J., JOKINEN, T., HRABOVCOVA, V.: Design of Rotating Electrical Machines, 2nd Edition. Wiley, 2013. ISBN: 978-1-118-58157-5

ROZVADĚČ PRO ANALYZÁTOR SÍTĚ

Jan Myšák

doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tato práce se zabývá návrhem, dimenzováním a realizací rozvaděče pro laboratorní analyzátor sítě Lovato DMG 800.

1 Úvod

Cílem je použít standartní průmyslový analyzátor sítě pro laboratorní účely. Panelové provedení předurčuje jednoúčelovou montáž síťového analyzátoru do panelu rozvaděče. Naopak pro laboratorní účely je potřeba mít zapojení variabilní, s různými rozsahy a s možností připojení nejrůznějších spotřebičů, ale i zdrojů. Proto je potřeba vytvořit rozvaděč, který bude na jedné straně využívat jednoúčelový analyzátor, avšak na straně druhé umožní požadovanou laboratorní variabilitu. Samozřejmostí je dnes i komunikace s počítačem, která výrazně zvyšuje jejich funkčnost a efektivitu práce.

2 Použité komponenty

Srdcem rozvaděče je analyzátor sítě Lovato DMG 800. Je vybaven grafickým LCD displejem a čtyřmi klávesami. Díky rozšiřovacím modulům EXM je zajištěna komunikace po RS485 s nadřazeným počítačem a dva reléové programovatelné výstupy. Komunikační modul má vyvedený port USB-A na přední panel. [1]

Další důležitou součástí rozvaděče jsou tři přístrojové transformátory proudu v průvlečkovém provedení. Díky speciálně provedenému vinutí umožňují měření proudu v pěti rozsazích. Pro rozsah 60 A je proveden jeden závit, pro rozsah 30 A dva, pro rozsah 10 A šest a pro rozsah 2 A třicet závitů. Tento rozsah je na rozdíl od ostatních navíc jistěn trubičkovou pojistkou.

Přepínání rozsahů umožňují dva vačkové spínače. Je použit typ VSN 63 od firmy *Obzor* na proud 63 A. Jeden přepínač zajišťuje vlastní volbu rozsahu. Druhý, by-pass přepínač umožňuje překlenují z jednoho kontaktu ve vačkovém

spínači na druhý kontakt, aniž by došlo k obloukovému přeskoku mezi nimi.

Skříň byla použita standartní, průmyslová, v oceloplechovém provedení. Vytvořen byl pertinaxový čelní panel, kde byly vodním paprskem provedeny potřebné otvory.



Obr. 1 Ovládací panel rozvaděče

3 Závěr

Tento projekt vznikl v rámci závěrečného projektu. Zpracování návrhové části projektu byla věnována velká pozornost. Šlo zejména o dimenzování svorek, vinutí transformátorů a vnitřní kabeláže. V praktické části bylo nejnáročnější ruční provedení vinutí všech tří proudových transformátorů. Zapojení svorkovnice a vačkových spínačů bylo značně komplikované pro stísněnou montáž a vyžadovalo nejprve montáž vodičů na samotný přepínač a pak až jeho montáž do panelu. Přínos projektu spočívá ve využití relativně levného analyzátoru pro výuku v laboratořích. Bez tohoto postupu by bylo nutné zakoupit podstatně finančně nákladnější přístroj.

4 Literatura

[1] Nové DMG analyzátor sítě © Copyright 2022
Dostupné: https://www.lovatoelectric.com/cz_cs/nove-dmg-analyzatory-site/

Elektromagnetický návrh a konstrukční řešení tištěného PMSM

Jakub Pittř

Ing. Zdeněk Frank

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tato práce se zabývá návrhem synchronního motoru s permanentními magnety, který je chlazen pomocí vodních kanálů ve statoru. Motor je navrhován pro výrobu s využitím aditivní technologie.

1 Úvod

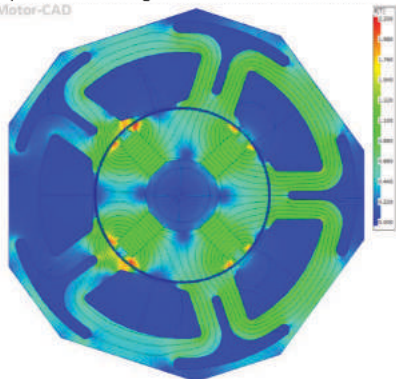
V dnešní době je trendem ve vývoji elektrických strojů zvyšování výkonové hustoty. Jedním ze způsobů, jak toho dosáhnout je přímé kapalinového chlazení, které odvádí teplo vznikající ve statorovém vinutí mnohem efektivněji než konvenčně používané způsoby chlazení.

2 Elektromagnetický návrh

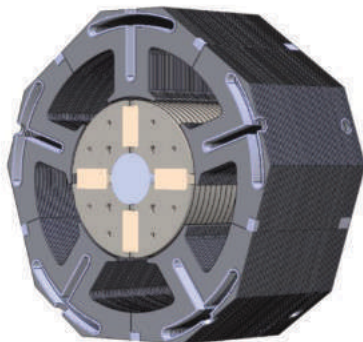
Elektromagnetický návrh motoru byl realizován v softwaru MotorCAD, který díky vestavěným šablonám umožňuje snadnou práci s geometrií stroje a provádění simulací elektromagnetického pole. Motor je navržen se zubovým vinutím, pro jeho jednoduchost a snadnou výrobu. Po analýze činitelů vinutí pro různá uspořádání stroje, jako je počet pólů, zubů a fází, jsem zvolil uspořádání 5 zubů a 5 fází.

Nejprve jsem pomocí simulací v MotorCADu optimalizoval základní geometrii stroje, a poté jsem do simulace elektromagnetického pole importoval vlastní geometrii chladicího kanálu.

MotorCAD



Obr. 1 Simulace elektromagnetického pole motoru v softwaru MotorCAD



Obr. 2 Řez vizualizací statoru a rotoru

3 Konstrukční řešení

Stator motoru je složen z pěti segmentů, které jsou vyrobeny aditivní technologií z kovového prášku. Díky této technologii je možné jednoduše vytvořit chladicí kanál přímo ve statoru, což by u klasické konstrukce z plechů nebylo možné. Dále je potřeba omezit ztráty vířivými proudy. To je konstrukčně řešeno rozdělením statoru na „plechy“, oddělené vzduchovou mezerou, které jsou spojeny pouze stěnami chladicího kanálu. Rotor je masivní, tvořen ze segmentů, které jsou vypáleny laserem z ocelového plechu. Do těchto segmentů jsou zasazeny permanentní magnety.

4 Závěr

Výsledkem této práce je návrh PMSM s chladicími kanály, který je optimalizován z hlediska elektromagnetismu a konstrukční proveditelnosti. Návrh je připraven pro optimalizaci chladicího kanálu s ohledem na proudění kapaliny a následnou realizaci prototypu.

5 Literatura

- [1] KOPYLOV, I. P. a kol.: Stavba elektrických strojů. SNTL, Praha, 1988. ISBN 04-532-88
- [2] PYRHONEN, J., JOKINEN, T., HRABOVCOVA, V.: Design of Rotating Electrical Machines, 2nd Edition. Wiley, 2013. ISBN: 978-1-118-58157-5

Návrh a realizace synchronního vícefázového motoru

Dominik Trhák

Ing. Zdeněk Frank

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

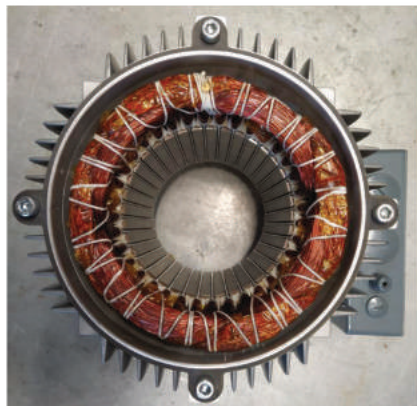
Anotace: Práce se zabývá návrhem synchronního, vícefázového, elektricky buzeného motoru.

1 Úvod

Účelem práce je návrh přestavby konkrétního asynchronního motoru na motor synchronní s elektricky buzeným rotorem pro výzkumné účely.

2 Návrh

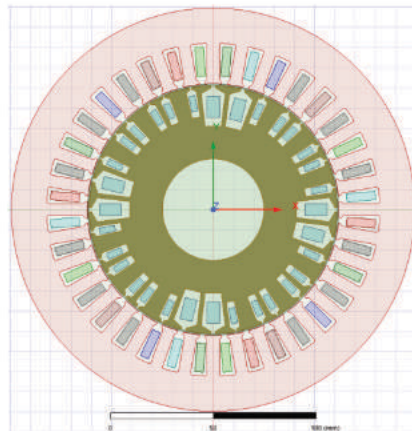
Nejprve bylo nutné se dostatečně seznámit se zvoleným asynchronním motorem značky NORD. Proto byl vytvořen model vycházející ze známých parametrů a štítkových hodnot pomocí matematického aparátu dle literatury [1]. Jedná se o čtyřpólový asynchronní motor 5,5 kW s kotvou nakrátko a osovou výškou 132 mm, což poskytuje dostatek prostoru pro realizaci experimentálního rotoru.



Obr. 1 Pohled do asynchronního originálu

Po úspěšné simulaci pomocí MKP v programu Ansys Motor-CAD byl vývoj zaměřen na volbu správné topologie elektricky buzeného rotoru,

kde hlavními měřítky byla velikost a rozložení magnetické indukce jak ve vzduchové mezeře, tak v celém magnetickém obvodu. Výsledný experimentální rotor je navíc obohacen o tzv. pomocné póly, kterými je možné dodatečně ovlivňovat rozložení magnetické indukce v jednotlivých pólech rotoru. Nezávisle na vývoji rotoru byl ještě proveden návrh 9f statorového vinutí, jako odpověď na moderní trend ve vývoji točivých strojů.



Obr. 2 Řez geometrií s výsledným rotorem

3 Závěr

Byl proveden kompletní návrh a simulace rotoru odpovídající požadavkům zadání a konstrukčním možnostem motoru prostřednictvím programu Ansys Maxwell.

4 Literatura

[1] KOPYLOV, I. P. a kol.: Stavba elektrických strojů. SNTL, Praha, 1988. ISBN 04-532-88

Možnosti redukce ztrát vinutí elektrických strojů

Bc. Martin Bělík

Ing. Jan Laksar, Ph. D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Příspěvek se zabývá modelováním a konstrukčními úpravami vinutí el. strojů s cílem zvýšení výkonové hustoty.

1 Úvod

Ztráty ve vinutí zahrnují Jouleovy ztráty a ztráty generované vířivými proudy. Ztráty od vířivých proudů jsou důsledkem působení skin efektu, proximity efektu, vířivých proudů indukovaných vnějším polem a cirkulačních proudů. Tyto jevy způsobují nerovnoměrné rozložení proudu uvnitř vodičů. Velikost ztrát závisí na pozici vodiče v drážce, tvaru závitů, tvaru otevření drážky atd. Nejvyšší ztráty se vyskytují ve vodičích v blízkosti otevření drážky, kde magnetický rozptylový tok nabývá nejvyšších hodnot.

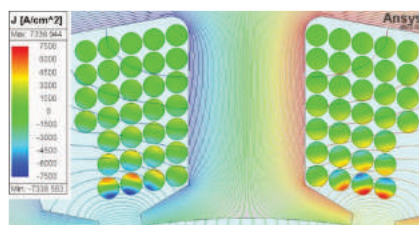
2 Realizace

Pro účely práce bylo navrženo výchozí vinutí, které je následně modifikováno s cílem omezit výše uvedené jevy. Zkoumané modifikace mají malý vliv na výstupní výkon stroje a zvlnění momentu. Všechny uvažované úpravy je možné zhotovit v domácích podmínkách.

Problematika je zkoumána na jednovrstvém zubovém vinutí. Výchozí konfigurace představuje cívkou tvořenou 32 závitů vodiče válcového průřezu. Průměr vodiče je 1,25 mm a výsledná cívka dosahuje 36% plnění drážky. Vinutí je navinuto okolo jednoho z 18 statorových zubů.

Konfigurace jsou modelovány pomocí metody konečných prvků (MKP). Model je napájen sinusovým proudem o velikosti 3,8 A v rozsahu frekvencí od 10 Hz do 20 kHz. Problematika vyžaduje detailní modelování jednotlivých závitů uvnitř drážky, což značně navyšuje hardwarové nároky na výpočetní zařízení. Omezení HW nároků a doby výpočtu simulace je zajištěno modelováním pouze jedné cívky a 1/6 magnetického obvodu statoru, přičemž rotor není součástí simulací.

Testované modifikace zkoumají vliv počtu paralelních větví, tvaru závitů, aplikaci Litz Wire, vliv odsunutí vinutí od otevření drážky a změnu materiálu vinutí. Některé konfigurace jsou navinuty pro účely měření.



Obr. 1 Rozložení proudové hustoty se zakreslenými čarami magnetického toku

3 Závěr

Testované úpravy vedou k redukcí ztrát ve vinutí elektrických strojů. Změnou počtu paralelních větví lze docílit omezení ztrát v celém rozsahu zkoumaných frekvencí. Omezení ztrát odsunutím vinutí od otevření drážky je možné, ale zároveň nepředvídatelné. Přístup může vést i k navýšení ztrát. Změna materiálu vinutí představuje spolehlivý přístup, který není účinný v celém rozsahu zkoumaných frekvencí.

4 Literatura

- [1] A. Selema, M. Gulec, M. N. Ibrahim, R. Sprangers and P. Sergeant, "Selection of Magnet Wire Topologies With Reduced AC Losses for the Windings of Electric Drivetrains," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 121531-121546, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3222773.
- [2] A. Hebala, S. Nuzzo, P.H. Connor, G. Volpe, C. Gerada, M. Galea, "Analysis and Mitigation of AC Losses in High Performance Propulsion Motors" *Machines* 2022, 10, 780. <https://doi.org/10.3390/machines10090780>

Moderní TNS pro systém 25 kV / 50 Hz využívající topologii SFC

Bc. Kamil Janoch

Ing. Vojtěch Blahník, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

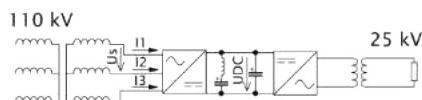
Anotace: Předkládaná práce se zabývá simulací trakční napájecí stanice využívající topologii 3L-NPC v rámci SFC k napájení jednofázové drážní sítě 25 kV / 50 Hz. Model slouží k ověření vlivu topologie na napájecí síť a k popisu řídicích algoritmů.

1 Úvod

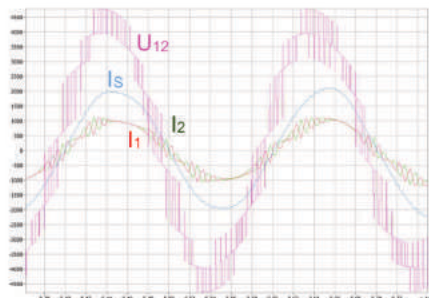
Cílem práce bylo vytvoření modelu moderní TNS (trakční napájecí stanice) využívající topologii SFC (static frequency converter, nepřímý frekvenční měnič). Model využívá SW SIMULINK k modelování části řízení TNS (transformace, PI regulátory, zpětné transformace a normování) a k části hardwarového řízení, tedy řízení spínání jednotlivých tranzistorů v rámci měničů. V SW PLECS je pak vymodelována výkonová část samotné TNS.

2 Topologie SFC

SFC použitý v TNS (Obr. 1) je zařízením, které se skládá ze vstupního pulzního usměrňovače, který je složen ze dvou modulů s topologií 3L-NPC zapojených paralelně. Toto zapojení umožňuje vyšší proudové zatížení, neboť se vstupní proud rozdělí mezi dva moduly (viz Obr. 2). V rámci modelu jsou tyto moduly řízeny jako přesazené. Výsledkem je pak menší zvlnění vstupního proudu ze sítě. Na usměrňovač navazuje stejnosměrný meziobvod, ve kterém se nachází kondenzátor a filtr druhé harmonické [1]. Na druhém konci je jednofázový střídač, který pracuje jako řízený zdroj napětí [2]. Pro úpravu hodnoty napětí se na vstup a výstup umísťují transformátory [2].



Obr. 1 Schéma zapojení SFC s vyznačenými měřeními veličinami (průběhy v Obr. 2)



Obr. 2 Průběhy sruzeného napětí na vstupu jednoho 3L-NPC modulu (U_{12}), proudů do jednotlivých modulů (I_1 , I_2) a celkového proudu odebraného ze sítě (I_s)

3 Závěr

Model trakční napájecí stanice s topologií SFC byl využit k ověření vlivu této topologie na napájecí síť a pro ověření správnosti algoritmů řízení v rámci TNS, zejména pak vstupního napětového pulzního usměrňovače.

4 Literatura

- [1] DRABEK, Pavel; POLJAK, Ladislav. Methods for Voltage Ripple Mitigation on DC Side of Single-Phase AC/DC Converters. *IEEE Xplore*. [Online]. 26. říjen 2015. [Citace: 6. 4. 2024]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7301088>
- [2] JANOCH, Kamil. 2022. *Problematika spolupráce trakčních napájecích stanic 25 kV / 50 Hz a třífázové elektrizační soustavy*. Plzeň. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.

Stavba pětifázového BLDC stroje s dvojitým rotorem pomocí aditivních technologií a měření jeho charakteristických vlastností

Bc. Tomáš Paveza

Ing. Jiří Dražan

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

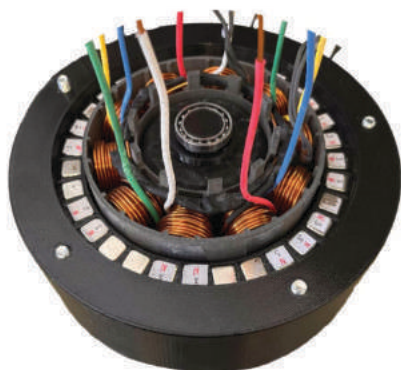
Anotace: Příspěvek se věnuje stavbě experimentálního BLDC stroje pomocí aditivních technologií a následného měření jeho charakteristických parametrů a vlastností.

1 Úvod

Konstrukce navrženého stroje vychází z 2D elektromagnetického návrhu. Jedná se o stroj vyrobený aditivními technologiemi, s dvěma rotory spojenými pevně k sobě, kdy vnější rotor má permanentní magnety v Halbachově uspořádání [1].

2 Stavba

Při stavbě navrženého stroje byly použity dvě metody 3D tisku a to FDM pro rotor a pro stator SLS, z důvodu vyšší teplotní odolnosti a lepším mechanickým vlastnostem. Cívky pětifázového vinutí byly navinuty ručně, vodičem o průřezu 1,76 mm² a s 30 závitů na cívku. Pomocí teslametru byla ověřena správná orientace permanentních magnetů osazených v rotoru v Halbachově uspořádání.



Obr. 1 Sestavený pětifázový BLDC stroj s odhaleným vinutím a permanentními magnety na vnějším rotoru

3 Měření

Měřením stroje v chodu nakrátko byly získané hodnoty indukčnosti vinutí, respektive jeho reaktance. Při chodu naprázdno v generátorickém režimu byla ověřena velikost indukovaného napětí v závislosti na otáčkách stroje. Stroj byl za snížených otáček poháněn ASM přes řemenovou převodovku a zatížen DC zátěží. Tím bylo možné měřit elektrický výkon a určit hodnotu účinnosti, která je přibližně 60% při otáčkách 830 ot/min. Byla provedena oteplovací zkouška, pomocí PT100 článků umístěných ve vinutí statoru, pro ověření funkčnosti ventilátoru rotoru.

Tab. 1 Vybrané naměřené hodnoty z měření stroje

f_{BLDC} (Hz)	33,34	40,21	46,70	55,11
n (ot/min)	500,10	603,15	700,50	826,65
U_{IRMS} (V)	2,38	3,01	3,50	4,25
I_{IRMS} (A)	5,28	5,32	5,30	5,33
P_{BLDC} (W)	62,95	80,01	92,75	113,12
M (Nm)	1,20	1,27	1,26	1,31

4 Závěr

Byl vyroben prototyp BLDC stroje na základě elektromagnetického návrhu, pomocí aditivních technologií. Měřením byla ověřena topologie a možnosti aditivních technologií a dále ověřeny parametry a ty byly porovnány s výsledky simulací MKP.

5 Literatura

[1] T. Paveza, J. Dražan and R. Cermak, "Design of a Double Rotor BLDC Motor with Halbach Array Magnets," 2022 20th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME), Plisen, Czech Republic, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ME54704.2022.9983331.

Návrh vícefázového PMSM a výukového měřicího stanoviště

Štěpán Sláma

Ing. Zdeněk Frank

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tato práce se zabývá návrhem a stavbou vícefázového PMSM stroje a zasazení do soustrojí vhodného pro výukové účely. Dále se práce zabývá optimalizací parametrů navržených PMSM.

1 Úvod

Cílem této práce je navrhnout a realizovat vícefázové měřicí stanoviště vhodné pro výukové účely. Na Obr. 1. je zobrazen koncept měřicího stanoviště, které se skládá z 3f. PMSM, 3f. ASM a 9f PMSM.



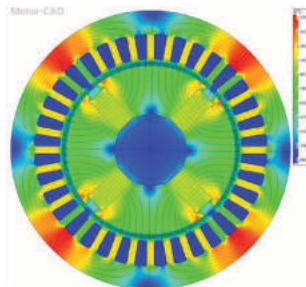
Obr.1 koncept měřicího stanoviště

Při návrhu konceptu stanoviště je brán ohled na mobilitu stanoviště a finanční dostupnost jednotlivých komponent. Z těchto důvodů bylo přikročeno ke stavbě vlastních PMSM motorů ze standardních asynchronních motorů.

2 Návrh a simulace PMSM

Pro přesný návrh PMSM rotoru bylo zapotřebí analyzovat stávající asynchronní motor, a to jak konstrukční rozměry, tak i elektromagnetické vlastnosti. Dále byl sestaven návrh a model ASM. a ověřen s měřením naprázdno a nakrátko.

Na základě několika návrhů topologie rotoru a cenové dostupnosti permanentních magnetů, byla vybrána varianta s tangenciálním uložením permanentních magnetů viz. Obr.2.



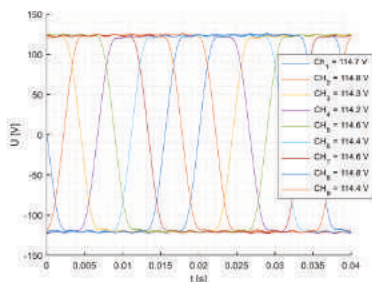
Obr.2 rozložení magnetického pole, topologie rotoru

Dále byla provedena optimalizace natočení rotoru za pomoci jednotlivých segmentů rotoru. Optimální úhel mezi segmenty vyšel $1,21^\circ$.

Na základě parametrů 3f. PMSM byla analogicky navržena 9f. varianta. Následně obě varianty byly zhotoveny.

3 Závěr

Bylo navrženo a zrealizováno měřicí stanoviště s vlastním designem vícefázového PMSM motoru. Parametry navržených motorů byly ověřeny následným měřením. Na Obr.3. je zobrazen průběh naměřeného 9f. indukovaného napětí.



Obr. 3 Naměřené průběhy indukovaného napětí

Vydala FEL ZČU v Plzni 2024

SVOČ 2024

Studentská vědecká odborná činnost

SPONZOŘI TOHOTO ROČNÍKU

ETD

ETD TRANSFORMÁTORY a.s.

ABB

 **ŠKODA**

Leuze

B&R A member of
the ABB Group

 **DAIKIN**

 **IEEE**
youngprofessionals

A-Z ELEKTRO
specializovaný odborný časopis



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI



svoc.fel.zcu.cz