

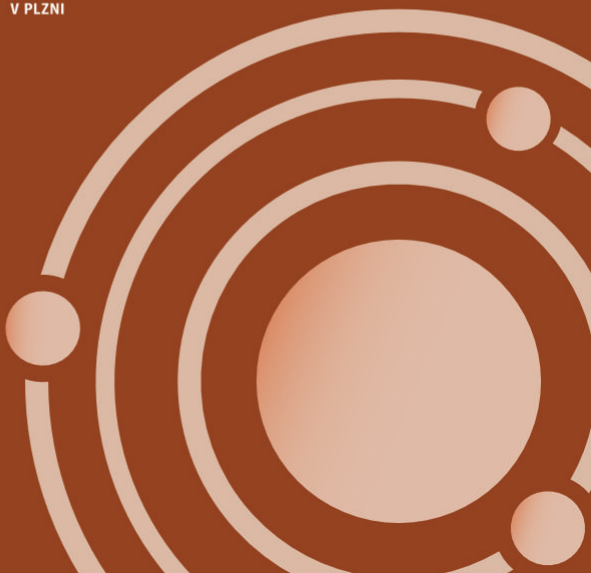
2025

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., MBA, 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



PŘEHLÍDKA STUDENTSKÝCH ODBORNÝCH PRACÍ

SVOČ 2025

konaná dne 25. 4. 2025

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 projektu 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.

Sasha Blank doc. Ing. Václav Kotlan, Ph.D.	Automatické polohování stolu pro dalekohled	Bc.	6
Jakub Vaník doc. Ing. Václav Kotlan, Ph.D.	Chytrá meteostanice	Bc.	7
Yana Yakuba Ing. Jaroslav Hornak Ph.D., MBA	Vliv mikročástic celulózy na základní vlastnosti transformátorových olejů	Bc.	8
Jan Jindáček Ing. Petr Kvasnička	Budoucnost zalévacích hmot v elektrotechnice	Bc.	9
Martin Kundrát Ing. Radek Klesa	Motion tracking zařízení a jeho aplikace pro ovládání PC hry	Bc.	10
Jan Matoušek Ing. Petr Kropík Ph.D.	MODular MANipulator - MODMAN	Bc.	11
Michal Prokeš Ing. Karel Slobodník Ph.D.	RC auto s bezdrátovou Bluetooth komunikací a robotickým manipulátorem	Bc.	12
Jan Šebele Ing. Jan Kaska, Ing. Martin Vitek	Hlasová jednotka analogově-digitálního syntezátoru	Bc.	13

Sekce II: Elektrotechnika a výkonová elektronika Bc.

Jakub Wagner, Filip Lukášek Ing. Milan Bělík Ph.D.	OBNOVA SOLÁRNÍHO TRACKERU	Bc.	15
Tomáš Knopf Ing. Bedřich Bednář, Ph.D.	Mobilní robotická platforma s nezávislým řízením kol	Bc.	16
Jiří Zlámal Ing. Bedřich Bednář, Ph.D.	PilsBuggy	Bc.	17
Tomáš Kasík Ing. Bedřich Bednář, Ph.D.	PilsBuggy – Osvětlení	Bc.	18
Michal Zdeněk Ing. Zdeněk Kehl	Robotické kreslení: uArm + OpenCV	Bc.	19
Michal Drahoukoupil Ing. Luboš Streit, Ph.D.	NÁVRH TRAKČNÍ BATERIE PRO ELEKTROFORMULI	Bc.	20
Miroslav Nodl, Milan Jarina Ing. Lukáš Sobotka	Tvorba demonstračních ústrojí pomocí 3D tisku – elektromotor	Bc.	21
Tomáš Topinka Ing. Zdeněk Frank	MĚŘENÍ PARAMETRŮ NÁHRADNÍHO SCHÉMATU VÍCEFÁZOVÝCH STROJŮ	Bc.	22
Lukáš Vojtek doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.	Transformátor s řízeným posuvem fáze	Bc.	23
Petr Adámek doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.	Dynamický model elektromagnetického děla	Bc.	24
Jan Heřman Ing. Jiří Závorka Ph.D.	Charakteristika aktivní zóny vybraného modulárního reaktoru	Bc.	25

Sekce: III Elektrotechnika, elektronika a elektrotechnologie NMgr. a Ph.D.

Bc. Pavel Michalecký Ing. Martin Vítek	Rozšíření platformy modulárního proudového zdroje MoSeZ	NMgr.	27
Bc. Ondřej Hoštička Ing. Milan Bělík, Ph.D., Ing. Ondřej Sodomka, Ing. Jiří Kuthan	MODEL TROMBEHO STĚNY	NMgr.	28
Bc. Marek Vácha Ing. Tomáš Řeřicha Ph.D., Bc. Martin Kraus	Využití softwaru FlexSim pro optimalizaci skladu	NMgr.	29
Bc. Ondřej Balvín doc. Ing. Josef Pihera, Ph. D., Ing. Petr Kadlec, Ph. D.	Tištěné polymery v energetice	NMgr.	30
Bc. Jakub Černohous Ing. Jaroslav Hornak, Ph.D., MBA	Charakterizace termoplastických izolačních materiálů s vyšší provozní odolností	NMgr.	31
Ing. Filip Zmeko Prof. Jean-Hugues Paillol	Eigenvalue study of the ignition of a self-sustaining discharge using COMSOL Multiphysics	Ph.D.	32
Ing. Ondřej Růžička Ing. Petr Burian, Ph.D.	Snižující měnič odolný magnetickému poli zkonstruovaný z komerčních součástek	Ph.D.	33
Ing. Martin Šorm Ing. Jiří Štulík, Ph.D., prof. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.	SENZOR VODÍKU NA BÁZI NANOČÁSTIC PALLADIA: STABILNÍ DETEKCE PŘI POKOJOVÉ TEPLOTĚ	Ph.D.	34
Ing. Zdislava Mokrý, Ing. Pavel Krýsl -	NanoS – Návrh zařízení pro měření sedimentace nanočástic v izolačních olejích	Ph.D.	35
Ing. Pavel Sláma Ing. Jan Leffler, Ing. Tetjana Tomášková, Ph.D.	Vliv nanočástic oxidu hlinitého na dielektrické vlastnosti epoxidové pryskyřice	Ph.D.	36

Odborné komise:

Sekce I - Elektrotechnika, elektronika a elektrotechnologie Bc.

doc. Ing. Václav Kotlan, Ph.D. – předseda

doc. Ing. František Mach, Ph.D.

Ing. Roman Hamar, Ph.D.

Sekce II - Elektrotechnika a výkonová elektronika Bc.

doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D. – předseda

Ing. Bedřich Bednář, Ph.D.

Ing. Jan Laksar, Ph.D.

Sekce: III Elektrotechnika, elektronika a elektrotechnologie NMgr. a Ph.D.

doc. Eva Müllerová, Ph.D. - předseda

Ing. Jaroslav Hornak, Ph.D., MBA

Ing. Tomáš Řeřicha, Ph.D.



Sekce I

**Elektrotechnika, elektronika
a elektrotechnologie Bc.**

doc. Ing. Václav Kotlan, Ph.D. – předseda
doc. Ing. František Mach, Ph.D.
Ing. Roman Hamar, Ph.D.

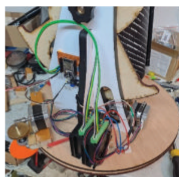
Automatické polohování stolu pro dalekohled

Sasha Blank

Václav Kotlan

Gymnázium Blovice, Družstevní 650, Blovice 336 13

Anotace: Tento příspěvek se zabývá domácí konstrukcí motorizovaného stojanu pro dalekohled Skywatcher P130. Obsahuje vytvoření a programování ovládacího schématu a návrh a sestavení stojanu. Je použit pohon krokovými motory s předem vypočítaným převodem, ovládanými individuálně prostřednictvím vývojové karty ESP32 a ovládacího panelu. Stojan byl navržen tak, aby byl přenosný a rozebratelný, byly navrženy a vyrobeny jeho statické a pohyblivé části.



Obr. 1: Záběr na stranu hotového dalekohledu s osazenou elektronikou, chybí napájecí baterie

1 Úvod

Při sledování oblasti noční oblohy po dobu minut manuálně ovládaným dalekohledem se sledovaná oblast přesouvá mimo záběr a je nutné dělat neustálé korekce pozice. Podnětem pro tento projekt tedy bylo vytvoření takového systému, který by nahradil manuální nastavování dalekohledu a byl by využitelný pro krátkodobé sledování objektů.

2 Mechanická konstrukce

Fyzická část zhotovení projektu zahrnovala upevnění krokových motorů NEMA23 ve vhodné pozici pro jejich spolehlivý provoz a výrobu dílů potřebných k těmto upevněním. Tyto díly byly vytvořené na 2D laserové řezačce a 3D tiskárně a převodové součástky byly zakoupené.

3 Ovládací kód a kontrolér

Jako základní ovládací prvek byla použita vývojová karta ESP32-WROOM-32. Kód byl vytvořen v prostředí VSCode s rozšířením PlatformIO, které bylo nutné pro použití knihovny FastAccelStepper. Byl vytvořen odpojitelý ovládací panel, a jeho výstupy byly po kódovém zpracování převedeny na příkazy pro drivery krokových motorů.

4 Závěr

Výsledná konstrukce má rozdělené, nastavitelné ovládání pohybu azimutální a vertikální osy, a je ji možno manuálně nastavit tak, aby krátkodobě měla stejný vektor a rychlost pohybu jako sledovaný objekt. Nemá ale schopnost vlastní orientace na noční obloze, tudíž dlouhodobější sledování bez pravidelných zásahů do nastavení není možné. Pokračování tohoto projektu by mohlo být zlepšení jeho bytelnosti, minimalizace třesotu obrazu a implementace autonomního orientačního systému. Práce na tomto projektu mi rozšířila přehled v oblasti programování, elektronice a amatérské astronomii. Hlavními zdroji při tomto projektu byly knihovna pro řízení krokových motorů [1] a kniha s všeobecným přehledem k mikrokontroleru ESP32 [2].

5 Zdroje

[1] FastAccelStepper. Online. Github. 2020.

Dostupné z:

<https://github.com/gin66/FastAccelStepper>. [cit. 2025-03-01].

[2] MALÝ, Martin. ESP32 prakticky. 2024.

CZ.NIC, 2024. ISBN 978-80-88168-79-9.

Chytrá meteostanice

Jakub Vaník

doc. Ing. Václav Kotlan, Ph.D.

Gymnázium Blovice, Družstevní 650, Blovice, 336 13

Anotace: Cílem práce bylo zkonstruovat a naprogramovat meteorologickou stanici. Bylo nutné vybrat vhodné součástky k měření veličin teploty, vlhkosti, atmosférického tlaku a rychlosti vzduchu pomocí anemometru. Data se ukládají na cloudové úložiště a na SD kartu. Konstrukce musela být navržena, aby vydržela různé venkovní podmínky.

1 Úvod

Vzhledem k menší znalosti programování mikrokontrolérů Arduino v jazyce Wiring (modifikace C++) jsem se rozhodl vytvořit meteostanici na tomto základu. Arduino Uno jsem musel kvůli absenci modulu WiFi nahradit deskou s čipem ESP32. Použití WiFi bylo opodstatněné komunikací mezi dvěma částmi a odesláním dat na cloudové úložiště.

2 Konstrukce

Konstrukce meteostanice se skládá z modulu, který měří a ukládá data. Součástí měřicí části je mikrokontrolér ESP32, battery box a čtečka SD karet. Vrchní díl s bočními průduchy ukrývá čidla htu21d a bmp280 na plošném spoji. Krabice se zavírá pomocí zásuvných dvířek. Druhou částí meteostanice je anemometr, který je upevněn do vytištěné součástky, ta slouží k případnému propojení částí skrz tyč. Celá konstrukce se skládá z dílů, které byly vytvořené v programu na počítačové modelování a následně zhotovené na 3D tiskárně.

3 Zobrazení a ukládání dat

Hodnoty je možné zobrazit na displeji přijímače, který se připojuje přes WiFi síť k hlavní části meteostanice. Data jsou ukládána do internetového úložiště tmeap.cz. Záložní způsob ukládání zajišťuje modul s SD kartou.

Pomocí tabulkového programu a automatické funkce vložení z textu lze otevřít a vytvořit spojnicový graf.



Obr. 1 Ukázka meteostanice

4 Závěr

Povedlo se vyrobit meteorologickou stanici, která splňuje zadané úkoly. Meteostanice má vlastní elektrický zdroj, a proto může být umístěna i do odlehlejšího terénu. Navrhnutý model lze využít ke každodennímu používání.

Konstrukce a řešení má samozřejmě i své nedostatky, některé moduly jsou navrhnuté s minimálními chybami, které způsobují horší stabilitu. Pokud bych se rozhodl vylepšit meteostanici, čtečka SD karet by byla přemístěna do krabičky přijímače a byl by nainstalován jednoduchý solární panel pro dobíjení baterií.

Vliv mikročastic celulózy na základní vlastnosti transformátorových olejů

Yana Yakuba

Ing. Jaroslav Hornak Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tento příspěvek popisuje vliv celulóзовých mikročastic na hlavní dielektrické vlastnosti transformátorových olejů, jako jsou relativní permitivita, vnitřní rezistivita, ztrátový činitel a elektrická pevnost. Pro experiment byly vybrány tři typy olejů: syntetický ester, přírodní ester a minerální olej.

1 Úvod

Elektrické transformátory a další vysokonapěťová zařízení jsou závislá na spolehlivosti a efektivitě izolačních systémů, jejichž základem jsou často transformátorové oleje. Jedním z perspektivních směrů zlepšení provozních parametrů a životnosti transformátorových olejů je využití vhodných aditiv a příměsí, např. mikro-, či nanočásteček. Zavedení těchto částic může zlepšit izolační vlastnosti, nebo stabilizovat chování oleje při různých provozních podmínkách.

2 Experiment

Testovány byly tři typy oleje: minerální (Nynas Lyra X), syntetický ester (Midel 7131) a přírodní ester (Midel eN), a dále kompozice těchto olejů s mikročasticemi celulózy (0.25 hm. %), značeno uC.

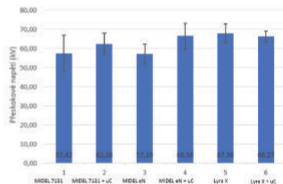
Pro měření permitivity a ztrátového činitele byly vzorky měřeny od 25 °C až do 90 °C v intervalech po 5 °C při 2000 V (50 Hz) pomocí vektorového můstku Tettex. Měření vnitřní rezistivity bylo realizováno při 90 °C a 500 V (DC). Pro elektrickou pevnost bylo provedeno 10 po sobě jdoucích průrazů s 5minutovými intervaly na elektrodovém systému s 2.5 mm mezerou, přičemž po každém testu byl vzorek důkladně promíchán.

3 Výsledky a diskuze

Z výsledků je patrné, že modifikace struktury transformátorových olejů pomocí celulóзовých

mikročastic může mít různý dopad v závislosti na typu oleje.

U minerálního oleje (Lyra X) došlo k mírnému poklesu elektrické pevnosti (Obr. 1), a ztrátový činitel výrazně vzrostl. Tato skutečnost se však předpokládala vzhledem k nepolárnímu charakteru kapaliny a silně polární celulóзовé příměši (bohaté na hydroxylové skupiny –OH).



Obr. 1 Elektrická pevnost transformátorových olejů

Naopak vodíkové vazby mezi esterem (karbonylové C=O skupiny) a –OH skupinami celulózy zvyšují stabilitu suspenze, což má za následek zlepšení elektrické pevnosti, a výrazně neovlivňují další klíčové parametry. Navíc se jedná o plně degradabilní kompozici.

4 Literatura

- [1] Mentlik, V.; Pihera, J.; Polanský, R.; Prosr, P.; Trnka, P.; Diagnostika elektrických zařízení, 1. vyd., BEN, Praha 2008, 439 stran, ISBN 978-80-7300-232-9.
- [2] Bajpai, P. (Ed.). Vegetable Oil-Based Polymers and Their Surface Applications. Elsevier, 2021. [online] Dostupné z:

Budoucnost zalévacích hmot v elektrotechnice

Jan Jindáček

Ing. Petr Kvasnička

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

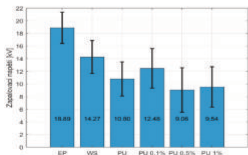
Anotace: Cílem této práce je diagnostika dielektrických vlastností zalévacích hmot využívaných v elektrotechnice a sledování změn těchto vlastností při použití plniv, která ovlivňují rozložení elektrického pole.

1 Úvod

Aktuálním trendem v běžné i výkonové elektrotechnice je miniaturizace systémů za účelem snížení jejich rozměrů a hmotnosti. Příkladem jsou moderní výkonové systémy využívající materiály se širokým zakázaným pásmem (WBG), jako je SiC nebo GaN. Tento trend však vede k vyšší intenzitě elektrického pole v izolačních systémech a zároveň ke zvýšeným nárokům na odvod tepla. Ideálním řešením těchto problémů jsou právě zalévací hmoty, ale i ty mají svou Achillovu patu – částečné výboje (ČV). Nejnehodnější místem na jejich výskyt je tzv. trojný bod – rozhraní substrátu, izolačního systému a vodiče. V tomto bodě dochází k největšímu nárůstu intenzity elektrického pole. Způsoby jejího omezení jsou například plniva s nelineární vodivostí (FDC) a plniva s nelineární permittivitou (FDP) [1], [2].

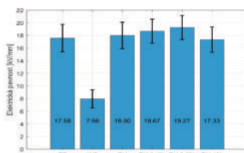
2 Experiment

Pro sledování ČV a vyhodnocení elektrické pevnosti byl použit substrát FR4 s měděným potiskem simulující trojný bod.



Obr. 1 Porovnání zapalovacích napětí

Analyzovány byly tři zalévací hmoty: silikon Wacker SilGel 612, polyuretan PU537MR/PH27 a epoxid EC570/W363. Polyuretan byl dále zkoumán po přidavku FDC plniva ZnO s částicemi <5 µm.



Obr. 2 Porovnání elektrické pevnosti

3 Závěr

Experiment ukázal rozdíly mezi jednotlivými zalévacími hmotami. Zapalovací napětí ČV je nejvyšší u epoxidu, nejnižší u polyuretanu. Přidáním plniva ZnO do polyuretanového systému v hmotnostním poměru 0,1 % bylo dosaženo vyššího zapalovacího napětí ČV a elektrické pevnosti. Dalším směrem projektu bude sledování změn v těchto systémech při využití FDP plniv.

4 Literatura

- [1] H. Hourdequin, L. Laudebat, M.-L. Locatelli, Z. Valdez-Nava, and P. Bidan, "Metallized ceramic substrate with mesa structure for voltage ramp-up of power modules," *The European Physical Journal Applied Physics*, vol. 87, no. 2, p. 20903, 2019, doi: 10.1051/epjap/2019180288
- [2] M. M. Tousi and M. Ghassemi, "Nonlinear Resistive Electric Field Grading in High-Voltage, High-Power Wide Bandgap Power Module Packaging," *2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Baltimore, MD, USA, 2019, pp. 7124-7129, doi: 10.1109/ECCE.2019.8913210

Motion tracking zařízení a jeho aplikace pro ovládání PC hry

Martin Kunderát

Ing. Radek Křesa

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

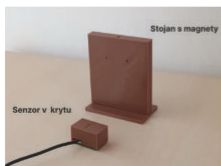
Anotace: Příspěvek pojednává o vytvořeném zařízení pro snímání gest ruky a jeho aplikaci pro ovládání letadla ve webové hře GeoFS v rámci závěrečného projektu na katedře KEP.

1 Úvod

Motion tracking neboli snímání pohybu je proces, kdy se pomocí různých metod převádí pohyb člověka do digitálního modelu. Praktickým cílem projektu bylo snímat pohyb ruky pomocí inerciální měřicí jednotky (IMU) a data z ní pak interpretovat a používat pro ovládání PC hry.

2 Senzor pohybu

Pro získání dat o pohybu byl použit devítiosý senzor MPU-9250. Díky jeho akcelerometru, gyroskopu a magnetometru snímající dané fyzikální veličiny ve všech 3 osách je možné tato data interpretovat do úhlů o natočení virtuálního objektu ve směru naklonění (pitch), naklápění (roll) a zatočení (yaw) v tzv. Tait-Bryanových úhlech, což jsou úhly rotace běžně používané v letectví [1], [2]. Pro větší přesnost jsou před senzorem umístěny permanentní magnety. Použitý hardware je uzavřen v 3D tištěných krytech vybavených referenčními šipkami pro určení orientace senzoru ve výchozím stavu. Senzor je propojen s mikrokontrolérem ESP32 přes I2C sběrnici. Mikrokontrolér pak posílá zpracovaná data o rotaci senzoru do připojeného PC přes sériovou komunikaci.



Obr. 1 Ukázka vytvořeného zařízení

3 Ovládání PC hry

Pro extrakci dat ze sériové linky a jejich import do PC hry GeoFS bylo použito řešení zahrnující program vJoy emulující virtuální joystick a dále Python skript s použitými knihovnami pyserial a pyvjoy. Díky tomu je možné přijmout data, rozřadit je a exportovat do rozhraní vJoy v reálném čase. Finální nastavení virtuálního joysticku lze realizovat v nastavení hry.



Obr. 2 Ukázka ovládání PC hry GeoFS

4 Závěr

Zrealizované zařízení může být zajímavou alternativou ke konvenčním způsobům ovládání PC her, které v případě ovládání letadla vyniká svojí intuitivností, avšak nedosahuje takové přesnosti jako např. dedikované joysticky. Zařízení je tak spíše produktem studentské vynalézavosti při zachování nízké ceny použitých komponentů než vhodným nástrojem pro řízení kritických systémů.

5 Literatura

- [1] Gibson C. M.: Tait-Bryan rotations, Wikidoc, [online], https://www.wikidoc.org/index.php/Tait-Bryan_rotations, přístup: [11. 4. 2025]
- [2] TDK InvenSense: MPU-9250 Datasheet, [online], <https://invensense.tdk.com/download-pdf/mpu-9250-datasheet/>

MODular MANipulator - MODMAN

Jan Matoušek

Ing. Petr Kropík PhD.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: MODMAN je robotické zařízení které je určeno k manipulaci a interakci s nejrůznějšími tělesy. A i jako běžní roboti je navržen tak aby uměl vykonávat nejrůznější aplikace, ale s tím rozdílem že je modulární což přináší všestrannost a univerzální použití bez přemýšlení kolik stupňů volnosti je třeba ke konkrétní aplikaci či jak dlouhé rameno je třeba.

1 Úvod

Cílem je vytvořit univerzální modulární manipulátor pro různé platformy, inspirovaný vesmírnými robotickými rameny, s nižšími náklady než specializované systémy. Zaměřujeme se na konstrukci, kinematiku a intuitivní ovládání, přičemž využíváme rozšířenou realitu pro vizualizaci, testování a integraci.

2 Kapitola

Celí modulární manipulátor je komplexní zařízení, které se skládá z mnoha částí a bylo se třeba zabývat problematikou matematiky, elektrotechniky, programování a i mechaniky. Pro tuto verzi, která je na obrázku níže jsme jako první začali vývojem konstrukce. Hlavním stavebním kamenem pro nás bylo vytvořit jeden modul robota který pak půjde replikovat a následně je modulovat na sebe. S tímto nás čekala výzva dosáhnout rozumné dynamiky a síly robota tak aby zvládl manipulovat sám se sebou, a i menšími předměty. Tak jak u prvních malých prototypů to bývá. Ovšem na toto jsme našli optimální řešení, které nám poskytli planetové převodovky, které jsou tištěné na FMD tiskárně jako zbylí skelet robota. Tyto převodovky s převodovým poměrem 4,2 a krokovými motory kterými je MODMAN osazen nám zaručují slušné parametry dynamiky a síly robota. Zajímavé také je zmínit proč jsme zvolili navazování článků právě takové jaké je. Jednak se jednalo o to, že na takto malé verzi by se špatně realizovalo automatické napojování vzhledem k velikosti automatického mechanismu a vzrůstající váze modulů a tím pádem klesající dynamice robota. Proto jsme navrhli řešení, že

tato verze se bude modulovat a fixovat ručně manuálně. Když jsme zvládli zkonstruovat modul tak se jednalo už z konstrukce navrhnout pouze základu což už bylo to jednodušší z konstrukce. Samozřejmě že na MODMANOVY je mnoho dalších modelovaných dílů, které slouží jako držáky a kryty ale nyní se již pojďme podívat na elektroniku. Na každém modulu se vyskytují 2 drivery pro krovové motory, které jsou napojeny na řídící jednotku ESP32 WROOM V1 která nám zajišťuje že do každého modulu můžeme posílat data s hodnotami o natočení jednotlivých kloubů abychom dosáhli požadované polohy v závislosti na výpočtu inverzní kinematiky kterou se také zabýváme.



Obrázek 1: MODMAN

3 Závěr

Inspiraci jsme čerpali v vesmírných ramenech a pokud se nám osvědčí tato konstrukce a implementace kinematiky na tento model máme v plánu vytvořit větší propracovanější verzi s automatickým náběrem modulů.

4 Literatura

Reconfigurable Modular Manipulator. Online. Traclabs. 2012. Dostupné z: <https://traclabs.com/projects/rmm/>. [cit. 2025-04-03].

RC auto s bezdrátovou Bluetooth komunikací a robotickým manipulátorem

Michal Prokeš

Ing. Karel Slobodník Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

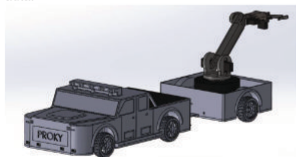
Anotace: Cílem projektu bylo vymodelovat, naprogramovat a sestavit vylepšené RC auto s bezdrátovou Bluetooth komunikací a přívěsem s manipulátorem. Řízení bylo realizováno pomocí mikrokontroléru ESP32 a PS5 ovladače.

1 Úvod

Projekt vznikl za účelem využít získané teoretické znalosti v praxi. Rozhodl jsem se sestavit své druhé, vylepšené RC auto, a to od základu. Bylo to pro mě velkou výzvou, avšak samotné sestavování a programování se stalo každodenní zábavou.

2 Design

RC auto je inspirováno modelem Ford Raptor, který je známý svým robustním vzhledem. V mém případě doplňuje vzhled solární panel a dynamické blinkry, které podtrhují moderní design auta.



Obr. 1 Hlavní sestava RC auta s přívěsem

3 Hardware

Hlavním řídicím prvkem systému je mikrokontrolér ESP32, který zajišťuje komunikaci a řízení jednotlivých komponentů. Ovládání je realizováno prostřednictvím PS5 ovladače, který poskytuje uživatelsky přívětivé rozhraní pro řízení funkcí vozidla a přívěsu. Pro celkový chod auta a řízení přívěsu je použita 12V Li-ION baterie, kterou jsem vytvořil spojením tří Li-ION článků s balancérem s ochranou. Pro napájení servo motorů v přívěsu je z důvodu velkého odběru proudu použita druhá 12V Li-ION baterie. Baterie v přívěsu je spínána

pomocí relé, které se aktivuje přivedením napájení do ESP32 v přívěsu.

4 Software

Řízení vozidla a přívěsu je realizováno prostřednictvím vlastního softwaru. Komunikace mezi ESP32 a PS5 ovladačem probíhá bezdrátově a umožňuje precizní ovládání všech funkcí. Přívěs je ovládán jednosměrnou sériovou linkou, která zajišťuje spolehlivý přenos dat.

5 Funkce

Umožňuje řízení rychlosti a ovládání dálkových, potkávacích, výstražných a brzdových světel. Má také dynamické blinkry. Sleduje stav baterie a při nízké kapacitě aktivuje výstražnou signalizaci. Díky solárnímu panelu umožňuje dobíjení baterie, které lze podle potřeby zapnout nebo vypnout. Na střeše se nachází OLED displej, který zobrazuje aktuální kapacitu, její spotřebu a stav dobíjení baterie. Auto je vybaveno senzory na detekci překážek, díky nimž dokáže automaticky zastavit. Přepínání mezi režimem řízení auta a ovládáním přívěsu se provádí pomocí kombinace a doby stisknutých tlačítek na ovladači. Přívěs kopíruje světla auta a zároveň je vybaven manipulátorem. Ten umožňuje řízení pohybu jednotlivých kloubů, otáčení základny a ovládání čelistí. Manipulátor má navíc funkci návratu do výchozí polohy.

6 Závěr

Tento RC model představuje jedinečné spojení mechaniky, elektroniky, programování, 3D modelování a tisku, čímž vytváří inovativní a plně funkční systém vhodný pro demonstraci technických dovedností a moderních technologií. Pro čtení analogových hodnot z PS5 ovladače je využita knihovna [1] a pro posílání dat přes sériovou linku je použit formát JSON [2].

7 Literatura

- [1] <https://github.com/rodneymbakiskan/ps5-esp32>
- [2] <https://arduinojson.org/>

Hlasová jednotka analogově-digitálního syntezátoru

Jan Šebele

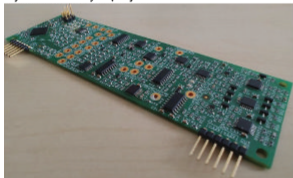
Ing. Jan Kaska, Ing. Martin Vítěk

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: *Práce se věnuje návrhu a realizaci hlasové jednotky hybridního syntezátoru. Součástí je návrh a zhotovení DPS a FW řídicího mikrokontroleru.*

1 Úvod

Syntezátor je elektronický hudební nástroj, který se začal vyvíjet především ve druhé polovině 20. století, zprvu čistě analogové, pak je z většiny nahradily digitální. I přes zjevné přínosy digitálních systémů si ty analogové zachovávají několik výhod (např. přirozenější zvuk). Mým cílem bylo skloubit tyto vlastnosti s jednoduchostí řízení digitálním systémem. Práce je zároveň mým závěrečným projektem.



Obr. 1 Fotografie hotové jednotky

2 Analogová část

Srdcem analogové části je napěťově řízený oscilátor (VCO). Ten má 2 výstupy, obdélníkový a trojúhelníkový. Řiditelná je jeho frekvence a střída (resp. sklon u trojúhelníkového průběhu). Paralelně k němu je generátor šumu, který je schopen generovat růžový, bílý nebo modrý šum. Amplitudu výstupů z VCO a šumu řídí napěťově řízené zesilovače (VCA). Jejich výstupy se sčítají, čímž VCA určují poměr signálů i celkovou amplitudu. Tento signál následně putuje skrz napěťově říditelný filtr typu dolní propust (LP VCF). Ten funguje na principu obvodů OTA a má říditelnou mezní frekvenci, rezonanci a bypass. Nakonec je signál veden přes napěťově

říditelnou horní propust (HP VCF). Ta funguje na principu změny odporu tranzistorů a má také říditelnou mezní frekvenci, rezonanci a bypass.

3 Digitální část

Mozkem digitální části je mikrokontroler MICROCHIP ATSAM51J19A (MCU). Na něj jsou napojeny konektory pro programování a UART komunikaci s PC. Pomocí ní může MCU dostávat příkazy, např. z MIDI souborů, co, jak a kdy má hlas hrát. Do MCU je také zaveden obdélníkový signál z VCO pro kalibraci jeho frekvence. Procesor řídí analogové obvody pomocí vyfiltrovaných PWM signálů s přesností odpovídající 12 resp. 16 bit. FW MCU zároveň umožňuje měnit v čase parametry hlasu jejich modulaci nízkofrekvenčními oscilátory (LFO) a ADSR obálkami (EG).



Obr. 2 Příklad vytvořené vlny

4 Závěr

Navržená jednotka je i přes několik menších chyb funkční. Je schopna vytvářet tóny v rozsahu 8 oktáv a měnit (i v čase) jejich amplitudu a tvar. Dalším krokem by bylo přidání dalších efektů a vytvoření celého nástroje.

5 Literatura

[1] Moritz Klein. Online. YOUTUBE. YouTube. 2025. Dostupné z: <https://www.youtube.com/@MoritzKlein0>. [cit. 2025-04-14].



Sekce II

Elektrotechnika a výkonová elektronika Bc.

doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D. – předseda
Ing. Bedřich Bednář, Ph.D.
Ing. Jan Laksar, Ph.D.

OBNOVA SOLÁRNÍHO TRACKERU

Jakub Wagner, Filip Lukášek

Ing. Milan Bělík Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tento závěrečný projekt se zaměřuje na praktickou obnovu solárního trackeru (fotovoltaické natáčeční soustavy) na střeše katedrální budovy ZČU FEL. Pojednává o způsobech měření veličin potřebných pro řízení náklonu fotovoltaických panelů a jejich vyhodnocení bez dalších zásahů do katedrální budovy. Úkolem bylo obnovit soustavu do funkčního stavu a připravit ji jako měřicí úlohu pro budoucí studenty v laboratoři EK705.

1 Úvod

Hlavním zaměřením tohoto projektu byla oprava a obnova chátrajícího solárního panelu s jednoosým natáčením. Práce na tomto projektu se dělila na dvě části: mechanické zprovoznění natáčení panelu a zpracování dat z čidel osvitů a náklonu panelu.

2 Popis systému

Samotný tracker se skládá z několika funkčních částí. Ze samotného otočného rámu, v němž jsou panely uloženy spolu s čidlem osvitů, elektrického motoru s převodovkou na jedné straně otočné osy a odečítacím potenciometrem na druhé straně. Dále je na podpůrné konstrukci připevněn rozvaděč s jističem a ovládáním motoru a svorkovnicí pro svod signálů do laboratoře EK703.



Obr. 1 Solární tracker na střeše fakulty

V samotné laboratoři se nacházelo pouze vyhodnocování naměřených hodnot pomocí měřicího přístroje od společnosti SOLARTEC.

Prvním krokem obnovy byla analýza stávajícího systému za účelem zjištění stavu jednotlivých zařízení. Například čidlo osvitů bylo korozí natolik zničeno, že muselo být odstraněno a posléze nahrazeno novým. Ostatní části měření osvitů již bylo možné znovu využít. V laboratoři je proudový signál převeden na napětí na měřicím odporu. Pozice stolu s FV panely je snímána pomocí potenciometru připevněného na hřídel stolu. Odpor z jezdce potenciometru je opět odečítán signálovým převodníkem a posléze zpracováván v laboratoři. Vlastní pohon je složen z 1f AS motoru a převodovky. Relátka jsou ovládána přes počítač v laboratoři a spínají jednotlivé fáze podle požadovaného směru otáčení. Nově jsou data zpracovávána pomocí mikrokontroleru a následně odesílána na počítač pro vyhodnocení. Z dat o osvitů a náklonu je poté celý stůl řízen pro udržení náklonu s největším osvitem.

3 Závěr

Systém byl mechanicky obnoven do funkčního stavu, navíc byl doplněn o automatické natáčení díky okamžitému vyhodnocování dat. Do budoucna by měl být systém doplněn o řádné uživatelské rozhraní a odečet elektrických hodnot z FVE panelů.

4 Literatura

[1] <https://katalog-treston.cz/prevedniky-prumyslovych-signalu-na-listu-din-ts-35-ip-20/>
[online]. 2025 [cit. 2025-04-01]

Mobilní robotická platforma s nezávislým řízením kol

Tomáš Knopf

Ing. Bedřich Bednář, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tento příspěvek se zabývá kompletním návrhem mobilní robotické platformy určené pro autonomní navigaci v silničních a zpevněných terénních podmínkách. Specifickou vlastností platformy je implementace systému nezávislého řízení všech čtyř kol.

1 Úvod

V posledních letech roste zájem o mobilní robotické platformy schopné samostatného pohybu v různých typech terénu. Tato práce se zaměřuje na vývoj mobilní platformy s důrazem na snadnou modifikovatelnost, přesné řízení pohybu a schopnost analyzovat okolí v reálném čase. Platforma je primárně určena k testovacím účelům, především pro integraci senzorických systémů a navigačních algoritmů.

2 Mechanická konstrukce

Specifickou vlastností platformy je implementace systému nezávislého řízení všech čtyř kol. To poskytuje možnost částečné nezávislosti směru jízdy a natočení platformy. Pro natáčení kol byly vyvinuty lineární pohony, které jsou poháněny stejnosměrnými motory o výkonu 100 W. Zásadní modifikací je použití 3D tištěných ozubených kol s dvojitým šípovým ozubením znázorněném na Obr. 1, což výrazně snižuje provozní hlučnost mechanismu. [1] Pohonný systém je založen na čtyřech BLDC motorech o výkonu 350 W integrovaných přímo v nábojích kol.



Obr. 1 Ozubená kola s šípovým ozubením

Napájení platformy zajišťují dvě bateriové jednotky, každá s kapacitou 1,1 kWh [2], vybavené aktivním balancerem.

3 Senzorické vybavení

Pro vnímání okolního prostředí je platforma osazena dvěma stereo kamerami (přední a zadní) a dvěma lidary (pravý a levý), které poskytují data o okolí v reálném čase. Zpracování senzorických dat zajišťuje počítač Nvidia AGX Xavier, který umožňuje provádět analýzu získaných dat přímo na robotické platformě viditelné na Obr. 2.



Obr. 2 Mobilní robotická platforma

4 Závěr

Vyvinutá mobilní robotická platforma s nezávislým řízením čtyř kol umožňuje snadnou integraci dalších systémů a poskytuje tak robustní základ pro testování senzorických i pohonných systémů v oblasti mobilní robotiky.

5 Literatura

- [1] Noise Reduction Technology for Plastic Gears [online]. Polyplastics, 2025 [cit. 2025-04-11]. Dostupné z: <https://www.polyplastics.com>
- [2] Battery test-review 18650 summary [online]. Lygte-info.dk, 2025 [cit. 2025-04-11]. Dostupné z: <https://lygte-info.dk>

PilsBuggy

Jiří Zlámal

Bedřich Bednář

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: *PilsBuggy je chytré vozidlo s vlastním komunikačním systémem na platformě Raspberry Pi 4, MQTT a Home Assistantu. Přenáší data z mikrokontrolérů (např. ESP32) po Ethernetu a zobrazuje je v infotainment tabletu.*

1. Úvod

V této práci se zabýváme návrhem a realizací komunikačního systému, infotainmentu a osvětlení pro inteligentní vozidlo PilsBuggy. Cílem je vytvořit spolehlivou a rozšiřitelnou infrastrukturu, která umožní propojení jednotlivých částí vozidla prostřednictvím moderních technologií, jako jsou Raspberry Pi, MQTT a mikrokontroléry ESP32.

2. Obsah práce

Používáme protokol MQTT pro přenos dat po Ethernetu mezi zařízeními. Hlavní server tvoří Raspberry Pi 4 s MQTT brokerem a Home Assistantem, který komunikuje s mikrokontroléry (např. ESP32). Infotainment je zajištěn tabletem viz Obr. 1, kde se v reálném čase zobrazují data ze systému – stav světel, tlačítek i senzorů.

3. Závěr

Byl navržen a realizován komunikační systém vozidla PilsBuggy s MQTT, Raspberry Pi 4 a Home Assistantem. Data z ESP32 jsou přenášena po Ethernetu a zobrazována v infotainmentu. Systém je funkční, rozšiřitelný a připravený pro budoucí integraci senzorů a automatizací. Při realizaci byly použity klíčové zdroje [1] Home Assistant, zpracování světelných animací byla využito dokumentace od WLED [2] a poskytování komunikace bylo využito od Eclipse Mosquitto [3].



Obr. 1 PilsBuggy - infotainment

4. Literatura

- [1] Home Assistant: Oficiální dokumentace, Home Assistant Project, dostupné online na: <https://www.home-assistant.io/docs/>, [cit. 2025-04-01].
- [2] WLED: Oficiální dokumentace, Aircookie, dostupné online na: <https://kno.wled.dev/>, [cit. 2025-04-01].
- [3] Eclipse Mosquitto: MQTT Broker Documentation, Eclipse Foundation, dostupné online na: <https://mosquitto.org/documentation/>, [cit. 2025-04-01].

PilsBuggy – Osvětlení

Tomáš Kasík

Bedřich Bednář

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: *PilsBuggy je chytré vozidlo s vlastním komunikačním systémem na platformě Raspberry Pi 4, MQTT a Home Assistantu. Ve vozidle jsou zakomponována světla která jsou ovládána mikrokontrolerem na bázi ESP32*

1. Úvod

V této práci se zabýváme návrhem a realizací komunikačního systému, infotainmentu a osvětlení pro inteligentní vozidlo PilsBuggy. Cílem je vytvořit spolehlivou a rozšiřitelnou infrastrukturu, která umožní propojení jednotlivých částí vozidla prostřednictvím moderních technologií, jako jsou Raspberry Pi, MQTT a mikrokontrolery ESP32.

2. Obsah práce

Cílem této práce je návrh a realizace řešení pro osvětlení vozidla s využitím adresovatelných LED pásků. Tento projekt zahrnuje návrh hardware, software a systém pro ovládání LED pásků, přičemž je kladen důraz na to, aby řešení nezasahovalo do stávajícího designu vozidla. Světla jsou tvořena adresovatelnými LED pásky, které jsou ovládány pomocí sériové komunikace a mikrokontroleru ESP32. Práce se dále zabývá návrhem a realizací kabeláže pro elektroinstalaci ve vozidle.

3. Závěr

V rámci této práce byl navržen a realizován prototyp osvětlení s použitím RGBW LED pásků. Původně byl pásek ovládán vlastním kódem, avšak během návrhu a realizace projektu došlo k přechodu na integraci WLED [1]. V současné době probíhá realizace druhého prototypu osvětlení s použitím RGB LED pásků.

Při realizaci byly využity další klíčové zdroje: Home Assistant [2] a Eclipse Mosquitto broker [3].



Obz. 1 PilsBuggy – osvětlení vozu

4. Literatura

[1] WLED: Oficiální dokumentace, Aircookie, dostupné online na: <https://kno.wled.dev/>, [cit. 2025-04-01].

[2] Home Assistant: Oficiální dokumentace, Home Assistant Project, dostupné online na: <https://www.home-assistant.io/docs/>, [cit. 2025-04-01].

[3] Eclipse Mosquitto: MQTT Broker Documentation, Eclipse Foundation, dostupné online na: <https://mosquitto.org/documentation/>, [cit. 2025-04-01].

Robotické kreslení: uArm + OpenCV

Michal Zdeněk

Ing. Zdeněk Kehl

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Výstupem této práce je aplikace, která nakreslí obrázek zadaný uživatelem pomocí robota uArm Swift Pro. Pro zpracování obrazu je použito OpenCV, pro ovládání robota je využito API výrobce a GUI je vytvořeno za pomoci Qt 6. Program je napsán v jazyce Python.

1 Úvod

Motivací pro vytvoření softwaru, který je schopen pomocí robota nakreslit obrázek, byla existence omezené a neefektivní implementace v rámci aplikace uArm Studio. Program má být schopen pomocí robota uArm Swift Pro nakreslit obrysy a barevnou výplň zadaného obrazu a nabídnout uživateli vizualizaci výsledku před začátkem kreslení pro případnou úpravu parametrů.



Obr. 1 Příklad zadaného obrazu (vlevo), maska barevného klíčování pro modrou barvu (uprostřed) a maska hran z Cannyho hranového detektoru (vpravo).

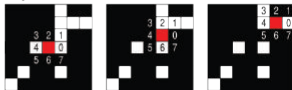
2 Generování výplně

Program nejprve obraz zmenší/zvětší na požadované rozlišení. Poté provede barevné klíčování dle režimu zvoleného uživatelem (černobíle, stínování, RGB+CMYK atp.). Z binárních masek (viz Obr. 1), které jsou výstupem barevného klíčování, následně vytvoří vodorovné trajektorie pro robota.

3 Generování obrysů

Výchozí barevný obraz je nejprve předzpracován. Poté je pomocí Cannyho hranového detektoru, implementovaného v OpenCV, získána binární maska hran (viz Obr. 1). Pomocí navrženého algoritmu jsou poté procházeny všechny (bílé) pixely hran v této masce. Algoritmus je navržen

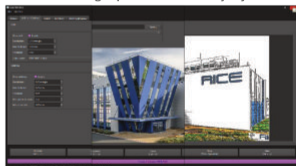
tak, aby tvořil souvislé a pokud možno přímé trajektorie (viz Obr. 2). Algoritmus na konci každé křivky napojí konec na začátek, pokud se jedná o smyčku.



Obr. 2 Ukázka hledání pixelů hrany pro počáteční index hledání 2

4 Kreslení robotem

Při samotném kreslení program sám požádá o výměnu barvy fixy v pasivním gripperu robota a nabídne dialog pro kalibraci výšky hrotu.



Obr. 3 Ukázka tří nejpodstatnějších záložek GUI

5 Závěr

Výstupem této práce je program, který funguje pro libovolný zadaný obraz díky OpenCV [1]. Uživatel má k dispozici věrnou vizualizaci a možnost snadné úpravy parametrů v GUI. Obsluha robota při kreslení je relativně nenáročná. Program s robotem komunikuje pomocí API [2].

6 Literatura

[1] OpenCV Documentation. Online. Dostupné z: <https://docs.opencv.org/4.x/index.html>. [cit. 2025-04-12].

[2] UArm Python SDK. Online. Dostupné z: <https://github.com/uArm-Developer/uArm-Python-SDK>. [cit. 2025-04-12].

NÁVRH TRAKČNÍ BATERIE PRO ELEKTROFORMULI

Michal Drahokoupil

Ing. Luboš Streit, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Práce se zabývá návrhem segmentu, doprovodné elektroniky a propojením článků a segmentů trakční baterie monopostu UWBE02.

1 Úvod

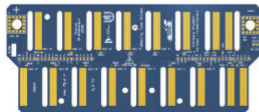
Trakční baterie pro elektroformuli musí být maximálně lehká a kompaktní. Zároveň musí splňovat přísná technická a bezpečnostní pravidla závodní série Formula Student. Návrh proto klade důraz na optimalizaci uspořádání článků, hmotnosti a údržby.

2 Návrh

Před samotným návrhem bylo nejprve nutné provést analýzu stávající baterie. Důraz byl kladen především na servisovatelnost, hmotnost, rozměry a jednoduchost výroby. Klíčovým požadavkem pak bylo zajištění souladu s pravidly soutěže Formula Student.

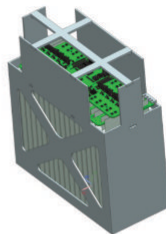
Návrh začal výběrem článků – původní konfigurace 144S2P byla nahrazena jednodušší variantou 144S1P, která usnadňuje konstrukci baterie.

Pro propojení tabů článků byla vyvinuta deska Power Board, na kterou se následně připojí Slave BMS.



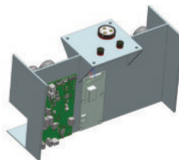
Obr. 1 Deska Power Board

Následoval návrh jednotlivého segmentu baterie. Segment musí splňovat rozsáhlé technické požadavky – především vysokou mechanickou pevnost a výrobu ze samozhášivého materiálu.



Obr. 2 Sestava jednoho z osmi segmentů baterie

Dále byl vyvinut držák doprovodné elektroniky. Zde byl kladen důraz zejména na dobrou přístupnost a servisovatelnost komponent.



Obr. 3 Sestava doprovodné elektroniky baterie

3 Závěr

Společně s kolegy z fakulty elektrotechnické a fakulty strojní byl proveden návrh trakční baterie pro monopost UWBE02. Návrh se podařilo udělat dle pravidel Formula Student Germany [1].

4 Literatura

[1] FS-Rules_2025_v1.1.pdf [online]. Bad Abbach: Formula Student Germany GmbH, 2014 [cit. 2025-04-08]. Dostupné z: <https://www.formulastudent.de/fsg/rules/>

Tvorba demonstračních ústrojí pomocí 3D tisku - elektromotor

Miroslav Nodl, Milan Jarina

Ing. Lukáš Sobotka

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Cílem naší práce je vytvořit realistické modely elektrických motorů, asynchronního a synchronního pomocí 3D tisku pro výukové účely. Hlavním motivem byla možnost modely snadno rozebrat, aby studenti lépe porozuměli konstrukci elektromotorů. Dále byl důraz kladen na provedení vinutí, včetně vizualizace jednotlivých fází.

1 Úvod

Pro pochopení konstrukčního provedení elektromotorů je vhodné mít k dispozici realistické modely, které jsou snadno rozebiratelné. Snažili jsme se proto vytvořit makety reálných strojů, aby studentům přiblížily konstrukci a fungování elektrických motorů.

2 Kapitola

Nejprve bylo nutné vytvořit digitální modely, které necháme vytisknout na 3D tiskárně. Modely jsme vytvářeli v programu SolidWorks (Student edition). Předlohou pro nás byly běžné používané stroje. Modely vznikaly od vnějších komponentů po vnitřní části stroje. Nejprve jsme namodelovali vnější kryt. Dále jsme vytvořili dva druhy statoru s různým počtem drážek, aby studenti viděli, jak vypadají různá provedení vinutí. Model vinutí byl také vytvořen pomocí 3D tisku a pro výukové účely byly barevně odlišeny jednotlivé fáze stroje. Rozebratelnost vinutí jsme vyřešili pomocí magnetů, které jsme vlepili vteřinovým lepidlem do modelů. Při tvorbě modelu rotorů jsme vytvořili různé varianty pro synchronní i pro asynchronní motor. Dále bylo nutné vymodelovat tyto části elektromotoru: ložiska s důrazem na funkčnost, klínky do drážek, hřídele, svorkovnice a větrák. Mysleli jsme přitom i na detaily, pomocí 3D tisku jsme vytvořili i vlastní šrouby a matice pro uchycení komponentů.

Toleranci jednotlivých komponentů bylo potřeba adaptovat pro potřeby 3D tisku, kvůli přesnému zasazení. 3D tisk digitálních modelů proběhl

pomocí tiskárny Prusa. Používali jsme materiál PLA v různých barvách od společnosti Aurapol. Největší část, tedy kryt motoru byl tisknut na verzi tiskárny Prusa XL, aby byl komponent celistvý (nelepený). Neméně důležité bylo také správné nastavení jednotlivých parametrů pro 3D tisk.



Obr. 1 Rozebraný model

3 Závěr

Výsledkem naší práce jsou propracované modely elektromotorů, které budou sloužit pro výuku studentů při předmětech zabývajících se elektrickými stroji. Díky projektu jsme sami prohloubili znalosti v oblasti konstrukce a provedení elektrických strojů včetně provedení vinutí. Zároveň jsme se zdokonalili v modelování strojů v programu SolidWorks a 3D tisku.

4 Literatura

[1] Elektro - motory Seifert s.r.o. "Třífázové Asynchronní Motory." *Elektro-Motory*, 2020, www.elektro-motory.cz/tрифазове-асинхронни-моторы-c2561/. Accessed 12 Apr. 2025.

[2] Kučera, Jaroslav, and Josef Hapl. *Vinutí Elektrických Strojů Točivých*. Nakl. Československé Akademie Věd, 1959.

MĚŘENÍ PARAMETRŮ NÁHRADNÍHO SCHÉMATU VÍCEFÁZOVÝCH STROJŮ

Tomáš Topinka

Ing. Zdeněk Frank

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tato práce se zabývá měřením vícefázových (3f, 5f, 9f) synchronních strojů s permanentními magnety, analýzou naměřených dat a zpracováním parametrů náhradního schématu.

1 Úvod

Stěžejním strojem práce je 9f PMSM 3kW s tangenciálně uloženými magnety, kde bylo nutné validovat parametry získané analytickým výpočtem a metodou konečných prvků (MKP). Dále byla provedena měření na 3f PMSM s jmenovitým výkonem 20 kW a na 5f PMSM o stejném výkonu. Na základě měření byly dopočteny parametry náhradního schématu.

2 Měření parametrů

Byly měřeny odpory vinutí R a indukčnosti vinutí L několika způsoby. U třífázových motorů parametry náhradního schématu určeny pomocí 3f měniče Silixcon 20 kW. Ten disponuje vlastními interními algoritmy pro identifikaci parametrů.

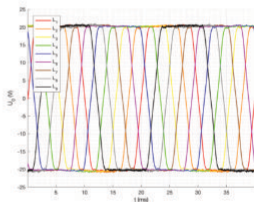
U vícefázových variant bylo nutné parametry určit pomocí dvou samostatných měření. Pro realizaci měření bylo postaveno měřicí pracoviště, kde byl 9f PMSM mechanicky spojen s asynchronním motorem Siemens napájeným z měniče ABB. Ten sloužil jako pohon.

První způsobem bylo přímé měření odporu vinutím přesným ohmmetrem Cropico DO5000. Dalším způsobem bylo měření naprázdno a nakrátko v generátorickém režimu.

Na základě těchto měření byly provedeny výpočty parametrů náhradního schématu. Výpočet probíhal iterativně. V první fázi byla při hodnotách proudu nakrátko změřených při nízkých otáčkách motoru zanedbána indukčnost vinutí, ve druhé fázi pak při vysokých otáčkách odpor vinutí. Získané hodnoty byly následně dosazeny zpět do výpočtu a celý proces byl opakován, dokud

parametry nekonvergovaly k výsledným hodnotám.

Měření 5f a 9f PMSM bylo prováděno s využitím osmi-kanálového osciloskopu Tektronix. U 9f varianty musely být prováděny dvě iterace jednotlivých měření. Při měření naprázdno byly nejprve naměřeny fáze L1 až L8 a v druhém kroku naměřeny fáze L1 a L9. Fáze L1 byla využita jako referenční pro následné spojení průběhů. U 5f varianty mohly být naměřeny fáze L1 až L5 najednou.



Obr. 1 Indukované napětí naprázdno 9f PMSM

3 Závěr

Byly určeny parametry několika vícefázových synchronních motorů pomocí různých metod, které byly následně ověřeny a validovány. Jako spolehlivý a plně validní se osvědčil postup měření odporu vinutí pomocí měření naprázdno a nakrátko v generátorickém režimu, následovaný iterativním výpočtem parametrů náhradního schématu. V případě, že bude motor měřen v chodu není tedy nutné využívat přímého měření odporu Ohmovou metodou.

Transformátor s řízeným posuvem fáze

Lukáš Vojtek

Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tento příspěvek se zabývá návrhem a konstrukcí laboratorního PST transformátoru. Je složen celkem z dvanácti transformátorů 500VA s parametry 230/2x11,7 V a 20 A, které tím umožňují volbu +/-3 napětových odboček. Cílem práce je návrh, konstrukce, optimalizace zapojení a ověření funkčnosti navrženého řešení.

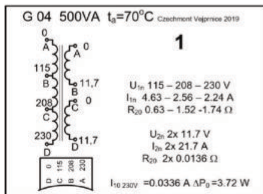
1 Úvod

Transformátor s řízeným posuvem fáze (PST) umožňuje řízení toku výkonu v elektrizační soustavě. Jedná se o elektrický netočivý stroj, který pomocí změny úhlu mezi fázory napětí na jeho vstupu a výstupu umožňuje aktivní řízení procházejícího činného výkonu. Jeho hlavní rolí v elektrizační soustavě je udržení stability sítě.

2 Vlastní provedení

Cílem je realizace laboratorního PST transformátoru. Práce využívá konstrukční (nezapojené) řešení nedokončeného projektu p. Filipa Bajcára.

Transformátor PST je složen z celkem dvanácti transformátorů, jejichž parametry můžete vidět na Obr. 1.



Obr. 1 Štítek parametrů jednoho z použitých transformátorů.

Vlastní PST aktuálně disponuje základními ochrannými prvky, tedy jedním proudovým chráničem a dále jističi typu C20A a B6A. Navíc

byl na transformátor přidělán i RGB LED pásek pro jednoznačnou signalizaci aktuálního stavu transformátoru.

Z finančních důvodů ovšem PST nemůže být osazeno automatickým přepínačem odboček, a tak je přepínání řešeno manuálním přepojením vodičů.

Na Obr. 2 níže je fotografie sestaveného PST v rámci projektu.



Obr. 2 Sestavený transformátor.

3 Závěr

V současné době je transformátor sestaven a kompletně zapojen. Ovládací obvody byly již úspěšně odzkoušeny. Dále transformátor čeká kontrola zapojení a oživení silové části. Následovat budou zkoušky funkčnosti a provozuschopnosti. V budoucnu bych rád osadil PST analyzátor sítě DMG 800. Po kompletním dokončení projektu bude transformátor sloužit jako pomůcka pro výuku v laboratorii.

4 Literatura

- [1] BAJCÁR, Filip. *Transformátory s regulací fáze*. Bakalářská práce. Plzeň: ZČU, 2020.
- [2] NOVÁK, Stanislav. *Využití phase-shift transformátorů v přenosových soustavách*. Bakalářská práce. Praha: ČVUT, 2017.

Dynamický model elektromagnetického děla

Petr Adámek

Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: *Tento příspěvek pojednává o realizaci a praktickém využití multifyzikálního dynamického modelu elektromagnetického děla a obecně kterékoliv standardní solenoidální cívky.*

1 Úvod

Při snaze o optimalizaci výkonu elektromagnetického děla vyvstalo ve výpočtech mnoho proměnných, jako je nerovnoměrné zrychlení projektilu, změna indukčnosti cívky vlivem pohybu projektilu, či dynamicky proměnný proud odebraný cívkou. Dynamický model je zahrnuje a umožňuje tak detailní náhled do celého systému.

2 Skladba modelu

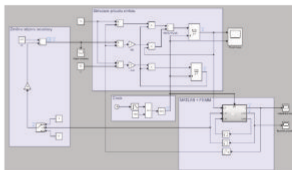
Cívka bude napájena z kondenzátorové baterie, pro dosažení dostatečně velkého proudového pulzu. Vznikne přechodový děj 2. řádu. Model na základě vstupních údajů (rozměry cívky, hmotnost projektilu, RLC parametry obvodu) analyzuje průběh rychlosti projektilu, proud cívky a změnu její indukčnosti.

3 Realizace

Celý model kombinuje výhody tří simulačních programů, a sice MATLAB, FEMM a Simulink. Využito bylo především knihovny OctaveFEMM, která umožňuje modelovat magnetostatické problémy v prostředí MATLAB, jedná se tedy o implementaci metody konečných prvků do MATLAB skriptu. Celý skript lze chápat jako funkci geometrie modelu, použitých materiálů a vstupního proudu. Jelikož FEMM je určen pro řešení statických problémů, bylo zapotřebí celý model zdriskretizovat a rozčlenit do časových kroků, ve kterých bude řešit magnetické pole solenoidu na základě hodnot z předchozího kroku. Tato diskretizace a zároveň simulace přechodového děje mezi kondenzátorem a řešeným solenoidem byla provedena za pomoci Simulinku. V této fázi bylo již možné skládat do sebe jednotlivé části modelu – Simulink simuluje celý přechodový děj v diskrétních krocích, MATLAB v každém kroku namodeluje problém do FEMMu a vrátí nové hodnoty indukčnosti cívky,

zrychlení projektilu a jeho pozici zpět do Simulinku.

Obr. 1 Náhled na vnější strukturu modelu v programu Simulink



4 Závěr

Model počítá reálný multifyzikální problém v souladu s analytickými odhady a poukazuje na mnoho zajímavých vlastností tohoto systému. Výstupní data jsou klíčová pro dimenzování, optimalizaci a konstrukci ovládací elektroniky jakékoliv solenoidální cívky ve funkci elektromagnetu. Nutno však dodat, že model je neoptimalizovaný a velmi výpočetně náročný, což je úskalím při kombinaci několika výpočetních programů, místo jednoho, jako je například ANSYS. Pro pochopení fundamentální problematiky byly využity práce [1] a [2].

5 Literatura

- [1] LIU, Connie, POLZIN, Kurt a MARTIN, Adam. *Coilgun acceleration model containing interactions between multiple coils* [online]. Washington, D.C.: NASA, 2017 [cit. 2025-04-05]. Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170012316>
- [2] SVOBODA, Pavel. *Návrh dvoustupňového magnetického děla* [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2025-04-05]. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Vladimír Kindl, Ph.D.

Charakteristika aktivní zóny vybraného modulárního reaktoru

Jan Heřman

Ing. Jiří Závorka Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

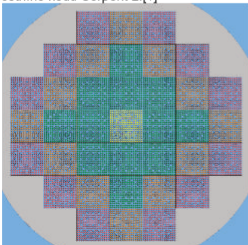
Anotace: Cílem práce bylo vytvořit 2D model aktivní zóny finského modulárního reaktoru LDR-50 určeného pro vytápění. Z modelu byly následně určeny základní fyzikální parametry jako je multiplikační koeficient či rozložení výkonu v aktivní zóně. Výsledky 2D modelu jsou následně porovnány s výsledky referenčního 3D modelu.

1 Úvod

Malé modulární reaktory (SMR) jsou reaktory s výkonem do 300 MWe, které se vyrábějí sériově ve výrobních závodech a jsou dodávány místo stavby elektrárny ve formě modulů. LDR-50 je jeden z mála reaktorů určený pouze pro centralizované zásobování teplem.

2 Aktivní zóna LDR-50

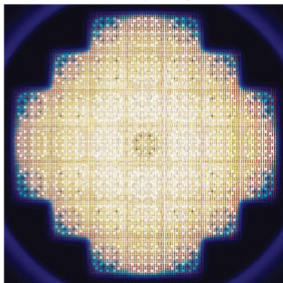
Aktivní zóna je tvořena 37 palivovými soubory, z nichž každý má uspořádání 17×17 palivových proutků. Celá zóna je obklopena reflektorem z nerezové oceli. Moderátor a chladivo je lehká voda s nízkými parametry. Palivový prutek je tvořený slitinou zirkonu a obsahuje jako palivo různě obohacený oxid uraničitý UO_2 , kdy některé proutky obsahují také oxid gadolinia fungující jako vyhořívající absorbátor. Modelování a výpočty byly provedeny s použitím moderního výpočetního kódu Serpent 2.[1]



Obr. 1 Radiální řez 2D modelu reaktoru LDR-50

3 Výsledky výpočtů

Multiplikační koeficient 2D modelu vyšel vyšší o 1,8% než referenční 3D model a absolutní hodnota relativní odchylky u rozložení výkonu palivových souborů se pohybovala do 2,5 %. 2D model je totiž tvořený pouze radiálním profilem, tak vykazuje vyšší reaktivitu, protože na ní nemá vliv například konstrukce palivových souborů.



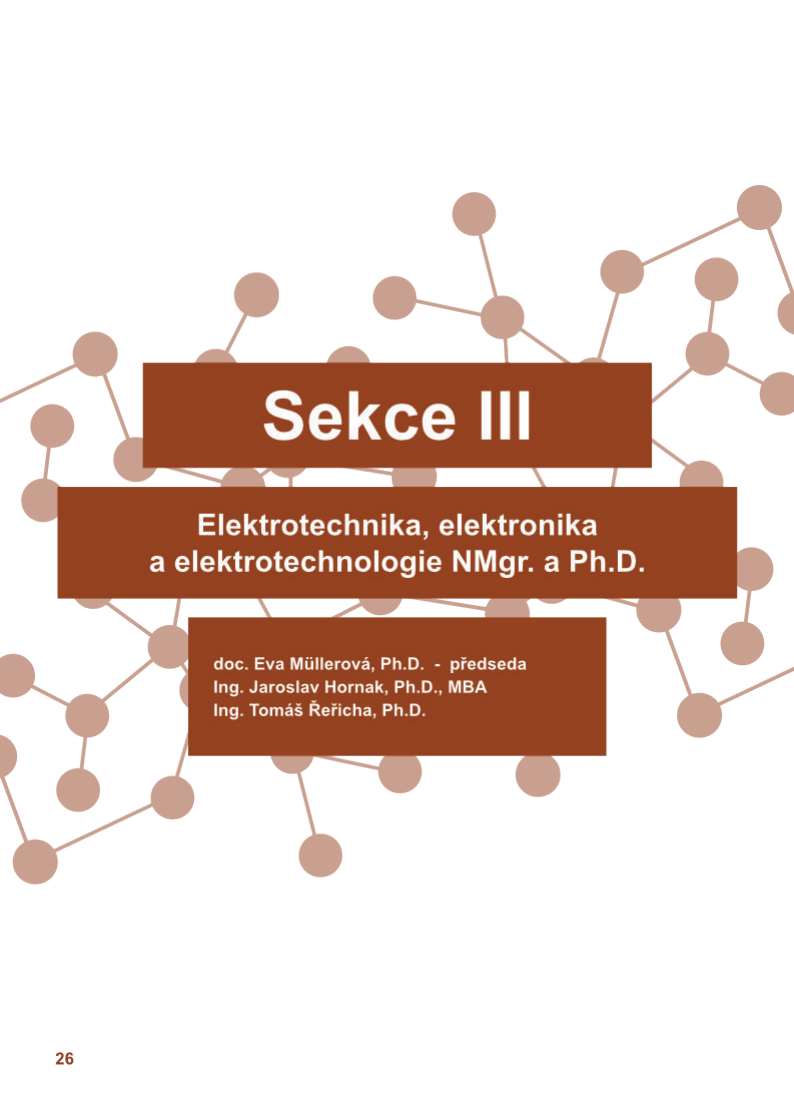
Obr. 2 Zobrazení neutronového toku reaktoru LDR-50

4 Závěr

Centralizované zásobování teplem (CZT) je pro Českou republiku důležité. Zajišťuje teplo nejen pro domácnosti, ale i pro veřejné budovy či průmyslové objekty. Reaktory pro výrobu tepla tak mají nejen ekologický, ale i sociální dopad. Tento model tvoří základy pro další rozšíření, např. o axiální profil na 3D model nebo o studii palivových nákladů pomocí simulace vyhořívání paliva.

5 Literatura

[1] R. Komu, R. Tuominen. "LDR lite benchmark specifications." LDR design document, LDR-PUB-VTT 10002-R2, VTT Technical Research Centre of Finland, 2023.



Sekce III

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

doc. Eva Müllerová, Ph.D. - předseda
Ing. Jaroslav Hornak, Ph.D., MBA
Ing. Tomáš Řeřicha, Ph.D.

Rozšíření platformy modulárního proudového zdroje MoSeZ

Bc. Pavel Michalecký

Ing. Martin Vítek

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Příspěvek představuje rozšíření modulárního spínaného zdroje MoSeZ z rev. A na rev. B. Přepracována byla DPS, zvýšena robustnost napájení a doplněny ochrany. Zdroj nyní umožňuje stejnosměrný i střídavý výstup (sinus, trojúhelník, obdélník), regulaci voicecoilů DESSEQ a komunikaci přes CAN. Propojením více jednotek lze vytvořit vícekanálový systém.

1 Úvod

Cílem bylo rozšířit a optimalizovat platformu MoSeZ pro řízení elektromagnetických aktuátorů. Původní verze podporovala pouze stejnosměrný výstup. Nová DPS (rev. B) využívá H-místek, pracuje s napájením 12–48 V a poskytuje proud ± 8 A. Výstup může být stejnosměrný nebo střídavý (sinus, trojúhelník, obdélník s nastavitelnou strmostí a střídou). Zátěž musí být induktivní. Regulace polohy voicecoilů probíhá pomocí zpětné vazby z Hallovy sondy. Zdroje lze konfigurovat hromadně všechny připojené na CAN nebo jednotlivě přes UART.

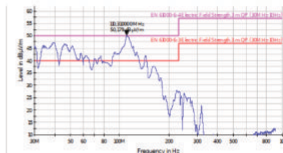


Obr. 1 Přední strana DPS MoSeZ rev. B

2 Popis funkcí

V nové revizi MoSeZ (rev. B) byla plocha desky plošného spoje zmenšena o 21 %. Přibýly ochrany proti přepólování, ESD, nadproudu a přehřátí. Komunikační protokol nyní podporuje nové příkazy a umožňuje jejich ukládání a následné sekvenci spouštění po zvolený časový úsek nebo počet period. Každý zdroj má nastavitelné ID s kontrolou unikátnosti na sběrnici. Pro regulaci proudu a

polohy voicecoilů DESSEQ byly nasazeny softwarově implementované PID regulátory. Střídavé průběhy proudu i polohy jsou generovány metodou přímé digitální syntézy (DDS).



Obr. 2 Vyzařování desky MoSeZ ve vertikální ose

Poloha voicecoilu je měřena kombinací permanentního magnetu a Hallovy sondy – magnet je uchycen v magnetickém obvodu, sonda je umístěna na pohyblivém jádře. Řídicí systém zdroje snímá napětí z Hallovy sondy a pomocí předpočítané vyhledávací LUT tabulky určuje aktuální polohu jádra.

3 Závěr

Měřením byla ověřena funkčnost regulací proudu i polohy, stabilita stejnosměrného i střídavého výstupu a odezva na skokovou změnu zátěže. Práce má potenciál pro další zlepšování, například zařazení snubberů a filtrů souhlasného rušení pro vstup i výstup, což platformu připraví na certifikaci podle EMC norem pro domácnost a lehký průmysl.

4 Literatura

- [1] D'ALLO, Mamadou. *Bootstrap Circuitry Selection for Half-Bridge Configurations: Application Note*. Online. In: TI. 2023. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/an/slva887a/slva887a.pdf>. [cit. 2025-04-11].
- [2] GOPALAN, Anand. *Calculating Power Dissipation for a H-Bridge or Half Bridge Driver*. Online. In: TI. 2023. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/an/slva504a/slva504a.pdf>. [cit. 2025-04-11].

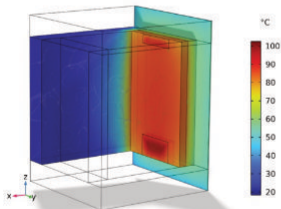
MODEL TROMBEHO STĚNY

Bc. Ondřej Hoštička

Ing. Milan Bělík, Ph.D., Ing. Ondřej Sodomka, Ing. Jiří Kuthan

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Projekt představuje funkční model Trombeho stěny – pasivního solárního systému navrženého s důrazem na jednoduchost, nízké náklady a praktické využití v současných trendech alternativního bydlení. V době rostoucích nákladů na energie a nedostupnosti vlastního bydlení se zvyšuje zájem o soběstačné, mobilní a ekologicky šetrné formy obydlí – jako jsou tzv. tiny houses či modulární jednotky. Ty však často narážejí na problémy s efektivním vytápěním v zimě a přehříváním v létě. Trombeho stěna v moderním pojetí nabízí pasivní řešení těchto výzev – bez potřeby složitých technologií, s minimálními náklady a dlouhou životností. V rámci projektu byl navržen a testován reálný model, který se nyní dále rozvíjí prostřednictvím simulačního modelu v prostředí Comsol Multiphysics. Výsledkem je systém, který je snadno opravitelný, téměř bezúdržbový a ideálně vhodný do prostředí, kde se počítá s každým wattem i centimetrem.



Obr. 1 Simulace prostupu tepla Trombeho stěnou

1 Úvod

V současnosti nabývají na důležitosti systémy, které využívají obnovitelné zdroje energie a zároveň umožňují nízkonákladové a soběstačné řešení pro vytápění či chlazení objektů. Trombeho stěna, jakožto pasivní solární zařízení, představuje jeden z těchto principů, který je v této práci ověřován a dále zkoumán.

2 Simulace a využití

Z celkem 10 teplotních senzorů jsme získali cenná data o reálném chování systému. Na základě těchto dat probíhá tvorba přesného numerického modelu, který bude schopen zohlednit konkrétní zeměpisnou polohu, orientaci stěny a meteorologické podmínky. To přinese možnost navrhovat konstrukčně a energeticky efektivní varianty solárního zařízení. Současně je projekt koncipován jako výuková pomůcka pro studenty, kteří si budou moci na reálném modelu osvojit práci s multifyzikálním simulačním prostředím v oblasti přenosu tepla a porovnat výsledky simulací s praktickým měřením.

3 Závěr

Výsledkem projektu je model Trombeho stěny, jehož funkce byla ověřena praktickým měřením. Naměřená data tvoří základ pro tvorbu pokročilého simulačního nástroje, který umožní další optimalizaci návrhu a rozšíření využití systému v praxi. Cílem je doplnění modelu o dynamické řízení klapek a začlenění modelu do výuky. Projekt vychází z poznatků prací [1] a [2].

4 Literatura

- [1] Dong, X., Xiao, H. & Ma, M. Thermal performance of a novel Trombe wall enhanced by a solar energy focusing approach. *Low-carbon Mater. Green Constr.* **2**, 8 (2024).
- [2] ZHOU, Shiqiang, et al. Effect of key parameters on the transient thermal performance of a building envelope with Trombe wall containing phase change material. *Energy and Buildings*, 2023, 284: 112879.

Využití softwaru FlexSim pro optimalizaci skladu

Bc. Marek Vácha

Ing. Tomáš Řeřicha Ph.D., Bc. Martin Kraus

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

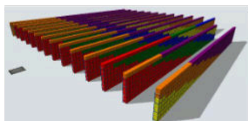
Anotace: Předkládaná práce se zabývá optimalizací rozložení skladových zásob. Cílem práce je vizualizace skladu v programu FlexSim, vytvoření grafického uživatelského rozhraní a zefektivnění zaskladňování položek do regálů na základě měření času zaskladňování a ujeté vzdálenosti vysokozdvizného vozíku.

1 Úvod

Simulace výrobních a skladových operací je důležitým nástrojem moderní logistiky a řízení dodavatelských řetězců. Umožňuje identifikovat úzká místa, modelovat chování systémů a činit rozhodnutí na základě dat, což vede ke snížení nákladů a zvýšení efektivity provozu.

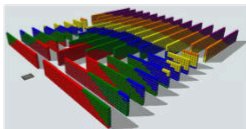
2 Popis modelu

Úkolem této simulace byla optimalizace rozložení pozic ve skladu. Model byl vytvořen na základě reálných dat. Nejprve byl vytvořen 3D model skladu obsahující 7924 boxů a 14 regálů, přičemž dva regály měly 62 sloupců a zbývajících 12 regálů mělo 84 sloupců. Všechny regály měly jednotně 7 pater. Každá pozice obsahovala několik atributů, které popisovaly, zda byl box správně zaskladněn, váhu boxu a zařazení do ABC kategorie. Posledně zmíněný atribut rozdělil pozice skladu podle dostupnosti od nejdostupnější (A) až po nejhůře dostupné (F). Na Obr. 1 je možné vidět zobrazení takto vygenerovaných dat, kde červeně jsou zvýrazněny pozice typu A a fialově pozice typu F.



Obr. 1 3D model s barevným označením pozic.

Následně byly zaznamenány časy a ujeté vzdálenosti potřebné k uskladnění boxů pomocí vysokozdvizného vozíku. Na základě těchto dat a s využitím poznatků z článku [1] bylo upraveno rozložení skladu s cílem zkrátit celkový čas potřebný k uskladnění. Úprava spočívala ve změně uspořádání regálů do tvaru tzv. rybí kosti (fishbone layout), která je znázorněna na Obr. 2.



Obr. 2 3D model s novým rozložením skladu.

Další simulací bylo ověřeno, že změna rozložení skladu zrychlí uskladnění všech boxů o 3,53 % a zkrátí ujeté vzdálenosti vysokozdvizného vozíku o 3,43 %. Zaměříme-li se pouze na nejdostupnější pozice typu A, došlo ke zrychlení uskladnění o 7,49 % a zkrácení ujeté vzdálenosti o 5,96 %.

3 Závěr

Práce se zabývá analýzou rozmístění boxů ve skladu s důrazem na jejich třídění podle úrovně dostupnosti. Výsledkem optimalizace rozložení skladu je zefektivnění celého procesu uskladňování. Tato práce je příkladem využití simulačního softwaru jako klíčového nástroje v moderní logistice.

4 Literatura

[1] ZHOU, Li; LIU, Jing; FAN, Xiani; ZHU, Dongjie; WU, Pingyu et al. Design of V-Type Warehouse Layout and Picking Path Model Based on Internet of Things. Online. IEEE Access. 2019, roč. 7, s. 58419-58428. ISSN 2169-3536. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2913144>. [cit. 2025-04-01].

Tištěné polymery v energetice

Bc. Ondřej Balvín

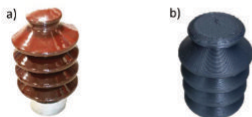
Doc. Ing. Josef Pihera, Ph. D., Ing. Petr Kadlec, Ph. D.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Příspěvek představuje možnost využití konvenčního 3D tisku z polymerního filamentu pro realizaci elektroizolačních komponentů využitelných i ve vysokonapětových aplikacích. Konkrétně je zpracován prvotní návrh podpěrného izolátoru vyrobeného z polylaktidu (PLA) jako běžného materiálu pro 3D tisk. V rámci prezentovaného vývoje je provedena analýza možné vnitřní struktury izolátoru a na základě několika dielektrických měření.

1 Úvod

U vysokonapětových aplikací se práce primárně zaměřuje na aplikaci v energetice, a to na izolátory. Momentálně je řešeno nahrazení standardních keramických vysokonapětových (VN) izolátorů (viz obr. 1a), za alternativní řešení v podobě tištěných polymerních izolátorů pomocí 3D tiskárny (viz obr. 1b). Náhrada izolátoru na bázi polymerů byla navržena z důvodů: lepší recyklovatelnosti, nižší hmotnost, integrace senzorické struktury a rychlejší výroby než u klasických keramických izolátorů.



Obr. 1 a) Keramický izolátor [1], b) Prototyp PLA.

2 Vývoj

Na počátku bylo nutné vytvořit vhodný model z již existujícího keramického VN izolátoru od firmy Elektroporcelány Louny [1]. Prototyp izolátoru byl vyroben z materiálu PLA [2]. Pro dosažení optimální konstrukce polymerního izolátoru bylo potřeba připravit sérii vzorků z PLA na základní dielektrické analýzy. Zároveň bylo důležité zvážit různé typy výplně (viz obr. 2) u základních vzorků. Vývoj byl realizován na tiskárně Průša MK4.

3 Provádění zkoušky

V rámci testování vyrobených vzorků bylo zatím realizováno měření vnitřní a povrchové rezistivity (viz Tab. 1) při 500 V, měření frekvenčních a napětových závislostí kapacity (viz Tab. 1) při 1 V a ztrátového činitele do 3 kV.



Obr. 2 Rozdílné vnitřní struktury (1 – přímočaré, 2 – plástev a 3 – plná).

Tab. 1 Vybrané dielektrické parametry

Druh výplně	p_v (Q^*cm)	p (Ω)	C_p (F)
15% Přímocharé	$3,89E+18$	$1,49E-11$	$7,68E-12$
15% Plástev (7 plných)			$6,38E-12$
1mm Plná	$\pm$	$\pm$	$1,72E-11$
2mm Plná			$9,08E-12$
3mm Plná	$4,63E+18$	$3,27E-11$	$6,08E-12$

4 Závěr

Na základě dosud realizovaného výzkumu bylo zjištěno, že i běžný materiál PLA má velice dobré dosud testované dielektrické vlastnosti. Ale má různá omezení.

Další výzkum bude zaměřen na hodnocení mechanických a tepelných vlastností výchozího materiálu PLA a kompletní metodika hodnocení vlastností bude poté použita pro testování dalších ještě vhodnějších polymerních materiálů.

Pro dosažení optimálních vlastností izolátoru se počítá i s povrchovou úpravou tištěného materiálu a případně s opatřením izolátoru povlakem z jiného materiálu.

5 Literatura

[1] STEINBERGER, Jiří. Rozložení napětí na řetězci izolátorů. *Bakalářská práce. Plzeň: ZČU – FEL, 2011.*

[2] Průša3D. Online. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/pla_2062. [cit. 2025-04-11].

Charakterizace termoplastických izolačních materiálů s vyšší provozní odolností

Bc. Jakub Černohous

Ing. Jaroslav Hornák, Ph.D., MBA

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

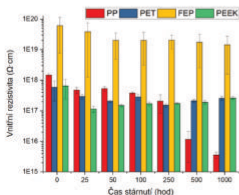
Anotace: Hlavním cílem této práce byla analýza změn vlastností materiálů polypropylen (PP), polyethylenetereftalát (PET), fluorovaný ethylenpropylen (FEP) a polyetheretherketon (PEEK) po jejich vystavení tepelnému stárnutí a stárnutí vlivem UV záření.

1 Úvod

Tato práce se zaměřuje na charakterizaci vybraných termoplastických izolačních materiálů s důrazem na jejich dielektrické a mechanické vlastnosti. Cílem bylo porovnat vlastnosti jednotlivých materiálů a charakterizovat materiály s vyšší provozní odolností (FEP, PEEK), které zatím nejsou v elektrotechnice natolik využívány. Tyto výsledky by poté mohly přispět k rozvoji efektivnějších a udržitelnějších izolačních systémů [1].

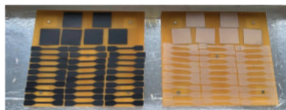
2 Představení experimentu

Ke kompletní charakterizaci vybraných materiálů bylo zapotřebí použít co nejvíce relevantních měřicích metod a z jejich výsledků pak identifikovat takový parametr, který nejlépe koreluje s dobou stárnutí materiálu a může tak sloužit jako spolehlivý ukazatel degračního stavu.



Obr. 1 Změna vnitřní rezistivity vlivem stárnutí UV zářením.

Pro účely hodnocení uvedených parametrů bylo nezbytné připravit několik typů vzorků, které se lišily rozměry, způsobem využití a dobou stárnutí. Nejprve byly připraveny vzorky o rozměrech 9 × 9 cm pro měření vnitřní rezistivity dle normy IEC 62631-3-1. Na těchto vzorcích byla dále měřena permitivita a ztrátový čísel podle normy IEC 62631-2-1. Dalšími typy vzorků byly tzv. „dog bone“ lapátčky určené pro mechanické zkoušky a vzorky o rozměrech 4 × 4 cm pro měření infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací.



Obr. 2 Vzorky 4 × 4 cm a „dog bone“ lapátčky umístěné v boxu pro UV stárnutí.

3 Závěr

Z výsledků provedených měření bylo možné vyhodnotit, že pro tepelné stárnutí nejsou výsledky tak jednoznačné a není tedy možné s jistotou říci, který parametr dokáže nejlépe charakterizovat stárnutí vybraných materiálů. Naopak pro stárnutí vlivem UV záření došlo u všech materiálů se snížením rezistivity a též k změně mechanických vlastností. Nejvíce se tato změna vnitřní rezistivity projevila u materiálu PP, kde klesla o dva řády (Obr. 1).

4 Literatura

[1] ANGALANE, Sendil Kumar a KASINATHAN, Elanseralathan. A review on polymeric insulation for high-voltage application under various stress conditions. Online. Polymer Composites. 2022, roč. 43, č. 8, s. 4803-4834. ISSN 0272-8397. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/pc.26793>.

Eigenvalue study of the ignition of a self-sustaining discharge using COMSOL Multiphysics

Ing. Filip Zmeko

Prof. Jean-Hugues Paillol

University of West Bohemia in Pilsen, Faculty of Electrical Engineering

Abstract: The classic Townsend condition ($\int \alpha dx$) for the initiation of a self-sustaining gas discharge, where the discharge voltage U_c is just sufficient for electron impact ionization to compensate for charged particle losses, was compared to 2D axisymmetric eigenvalue (λ) study with respect to $\partial/\partial t$ term ($\partial/\partial t \rightarrow \lambda$) in drift-diffusion-reaction equations (1) for electrons (n_e) and positive ions (n_p) for three electrode configurations ($d = 1$ mm plane-plane and two plane-protrusion setups) using COMSOL Multiphysics.

1 Introduction

The derivation of the Townsend criterion follows from the divergent condition of the geometric series of electron avalanches and, in case of multidimensional variation of Townsend condition, from classical form of (1) with $\partial/\partial t$ term. However, this approach is theoretically incomplete and cannot be generalized, without invoking arbitrary assumptions, to account for important effects such as photoionization S_{ph} or particle diffusions $D_{e,p}$. Nevertheless, the problem of self-sustaining discharge ignition can be addressed using rigorous mathematical methods. At ignition, the charged particle densities (n_e and n_p), governed by (1), are very low, and the applied electric field is not perturbed by plasma space charge. Consequently, Poisson's equation for el. potential ϕ can be replaced by Laplace's equation – the electric field E is linear with respect to voltage U .

2 Eigenvalue study

Described mathematical model, analyzed via an eigenvalue study with respect to $\partial/\partial t$ term in (1) (Investigation of stability of no-discharge solution in [1]), predicts the initiation of a self-sustaining gas discharge when $\lambda = 0$, see Fig. 1 and Tab. 1, while accounting for previously neglected phenomena, such as photoionization (S_{ph} term in (1)) based on [2] and particle diffusions $D_{e,p}$.

$$\lambda n_{e,p} - \vec{\nabla} \cdot [D_{e,p} \vec{\nabla} n_{e,p} \pm \mu_{e,p} \vec{E} n_{e,p}] - \alpha_{ef} \mu_e |E| n_e = S_{ph} \quad (1)$$

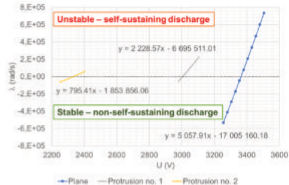


Fig. 1 Eigenvalue λ dependence on voltage U for three different electrode configurations – $U=U_c$ at $\lambda=0$.

1 Conclusions

From Fig. 1 can be seen that $\lambda = f(U)$ is linear. Therefore, it is possible to calculate U_c from only two arbitrary values of λ . In Tab. 1 there are negligible deviations from Townsend condition for plane-plane and plane-p1. The deviation in Tab. 1 for plane-p2 was caused by exceeding available date of transport ($D_{e,p}$ and $\mu_{e,p}$) and source (α_{ef}) coefficients introduced in (1) and calculated via BOLSIG+ software for 1 to 1000 Td.

Tab. 1 Results of U_c (V) for plane-plane setup and two plane-protrusion configurations (p1 and p2)

$d = 1$ mm	$\partial/\partial t \rightarrow \lambda$	$\int \alpha dx$
plane-plane	3362.0	3368.0
plane-p1	3004.4	2958.8
plane-p2	2330.6	1950.0

2 References

- [1] BENILOV, M. S., et al. A practical guide to modeling low-current quasi-stationary gas discharges: Eigenvalue, stationary, and time-dependent solvers. *Journal of Applied Physics*, 2021, 130.12.
- [2] BOURDON, Anne, et al. Efficient models for photoionization produced by non-thermal gas discharges in air based on radiative transfer and the Helmholtz equations. *Plasma Sources Science and Technology*, 2007, 16.3: 656.

Snižující měnič odolný magnetickému poli zkonstruovaný z komerčních součástek

Ing. Ondřej Růžička

Ing. Petr Burian, PhD.

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

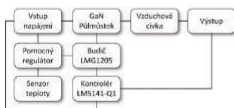
Anotace: Článek popisuje návrh snižujícího DC/DC měniče bez feromagnetických prvků pro provoz ve statickém magnetickém poli. Měnič využívá planární vzduchovou cívku a GaN tranzistory. Bylo provedeno úspěšné testování z hlediska radiální odolnosti proti SEE.

1 Úvod

V aplikacích jako jsou fyzikální experimenty či lékařské přístroje, může být přítomno silné statické magnetické pole. Pro správnou funkci nízkonapěťových snižujících měničů je třeba přizpůsobit jejich návrh podmínkám.

2 Zapojení měniče

V měničích nesmí být použita indukčnost s feromagnetickým jádrem. Tato je nahrazena vzduchovou cívkou, která má však podstatně nižší indukčnost. Pro správnou funkci měniče je tak třeba mnohem vyšší spínací frekvence, z důvodu omezení ztrát. Zapojení se skládá z komerčního PWM řídicího obvodu LM5141, diskrétního pálmůstku GaN tranzistorů a příslušného hradlového budiče. Pro pomocné napájení je použit lineární regulátor. Obvod je navržen pro vstupní napájecí napětí v rozsahu 10–48 V a maximální výstupní proud 7,2 A.



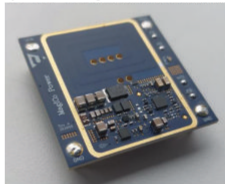
Obr. 1 Blokové schéma zapojení

3 Vzduchová cívka

Hlavní indukčnost snižujícího měniče je vzduchová, a je zkonstruována jako planární přímo na desce plošného spoje. Optimalizaci této indukčnosti byla věnována zvláštní pozornost, jelikož ovlivňuje parametry měniče, z pohledu účinnosti a elektromagnetické kompatibility.

4 Měření a validace

Účinnost měniče dosahovala při vstupním napětí 12 V a výstupním napětí 3,3 V maximálně 85,2 %, průměrně 80,3 % pro celý rozsah výstupních proudů. V dané konfiguraci je měnič schopen trvale pracovat s proudem 5 A, aniž by došlo k přehřátí. Radiální odolnost, především proti SEE byla otestována na částicovém svazku olovených iontů a fragmentů v SPS CERN.



Obr. 2 Modul měniče

5 Závěr

Navržený měnič je schopen pracovat ve statickém magnetickém poli, nyní je plně funkční a je možno ho nasadit v aplikaci. Vzhledem k jeho modulární konstrukci je jeho implementace do systému jednoduchá. Byla potvrzena radiální odolnost, bylo by vhodné měnič charakterizovat z pohledu EMI. Dále je možno pracovat na zvýšení maximálního výstupního proudu a účinnosti, například s použitím integrovaného GaN pálmůstku.

6 Literatura

- [1] Michelis, Stefano, et al. "bPOL48V, a rad-hard 48V DC/DC Converter for Space and HEP Applications." 2023 13th European Space Power Conference (ESPC). IEEE, 2023.
- [2] Orlandi, Stefano, et al. "Optimization of shielded PCB air-core toroids for high-efficiency DC–DC converters." IEEE Transactions on Power Electronics 26.7 (2010): 1837-1846.

SENZOR VODÍKU NA BÁZI NANOČÁSTIC PALLADIA: STABILNÍ DETEKCE PŘI POKOJOVÉ TEPLOTĚ

Martin Šorm

Jiří Štulík, Aleš Hamáček

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

SKRYTO V ONLINE SBORNÍKU NA ŽÁDOST AUTORA.

NanoS – Návrh zařízení pro měření sedimentace nanočástic v izolačních olejích

Zdislava Mokrá, Pavel Krýsl

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Tento příspěvek popisuje návrh experimentálního měřicího přípravku určeného pro lepší charakterizaci sedimentací a aglomerací izolačních nanokapalin. Přípravek měří sedimentaci a aglomeraci nanokapalin v závislosti na čase pomocí změny intenzity procházejícího paprsku laseru, která projeví změnou napětí na fotocitlivém snímači.

Úvod

Jednou z největších současných problémů izolačních nanokapalin (izolační olej + částice menší než 100 nm) je jejich stabilita. Tyto částice po rozptýlení v roztoku mají tendenci sedimentovat a aglomerovat. V případě izolačních nanokapalin, neexistuje vhodný způsob diagnostiky tohoto jevu, neboť obvyklá metoda měření pomocí *zeta potenciálu* je vhodná jen pro vodné roztoky [1]. Proto bylo vytvořeno experimentální zařízení **NanoS**, které měří sedimentaci v závislosti na čase pomocí změny intenzity světla z laseru. Tato diference se dále projeví jako změna napětí na fotocitlivém čidlu. Zařízení je inspirováno systémem DLS (Dynamic Light Scattering) [2].

Návrh zařízení

Pro ověření principu měření bylo navrženo a zkonstruováno zařízení, které vyhodnocuje změnu průsvitnosti nanokapalin. Zařízení je zkonstruováno ze dvou částí: laserovou a detekční.

Laserová DPS obsahuje laser s integrovanou fotodiódou a řídícími obvody, které umožňuje plynulé regulování světelného výkonu laseru dle potřeby uživatele. Navíc jsou zde regulátory pro kompenzaci teplotních závislostí laseru. Detekční DPS pracuje na principu změny napětí na fototranzistoru v závislosti na intenzitě světla. Tato změna napětí je dále zesílena a posílána na výstup pro voltmetr.



Obrázek1: Nanos při ověřovacím měření

Zařízení funguje na principu vyhodnocení světelného záření, a proto jsou vzorky při měření umístěny do tmavého boxu s otvory pro senzor pro vyhodnocení změny v jedné výšce hladiny.

Závěr

Pro ověření funkčnosti a samotného principu bylo provedeno několik testů, které pomohli stanovit vlastnosti zařízení a poskytnout zpětné informace o kritických částech návrhu.

Prvním testem bylo ověření dlouhodobého chodu zařízení a stanovení jeho teplotních závislostí. Dalším měření bylo provedeno na vodě a jejím následném zabarvení, kde se zjišťovala citlivost zařízení.

Posledním testem je dlouhodobé měření izolačního oleje s nanočásticemi.

Literatura

- [1] F. Rubbi, L. Das, K. Habib, N. Aslfattahi, R. Saidur, and S. U. Alam, "A comprehensive review on advances of oil-based nanofluids for concentrating solar thermal collector application," Sep. 15, 2021, Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.molliq.2021.116771.
- [2] "Dynamic Light Scattering | DLS Analysis | Measurlabs." Available: <https://measurlabs.com/methods/dynamic-light-scattering-dls/no.3>, May/June 2005, pp. 291-295, Piracicaba, Brazil.

Vliv nanočástic oxidu hlinitého na dielektrické vlastnosti epoxidové pryskyřice

Pavel Sláma

Jan Leffler, Tetjana Tomášková

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Anotace: Elektrické izolační systémy elektrických točivých strojů se obecně skládají ze slíd, epoxidové pryskyřice (případně polyesterové nebo silikonové pryskyřice), skleněné tkaniny nebo jiných materiálů (např. polyesterové fólie). Modifikace epoxidové pryskyřice přidáním mikročástic oxidu hlinitého (Al_2O_3) byla již popsána v různých studiích. Tato studie se zabývala přidáním nanočástic (<100 nm) do epoxidové pryskyřice a následným sledováním změn v dielektrických vlastnostech.

1 Úvod

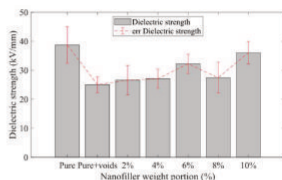
Modifikace epoxidové pryskyřice přidáním nanočástic (Al_2O_3). Tyto nanokompozity mohou mít určité vlastnosti, které se liší od mikrokompozitních materiálů. Prvním cílem tohoto výzkumu mělo být prokázat existenci optimálního hmotnostního podílu nanočástic Al_2O_3 ve zkoumaných vzorcích s popisem jejich vlivu na dielektrické vlastnosti a porovnání s podobně zaměřenými studiemi. Druhým cílem výzkumu je potvrdit nebo vyvrátit tepelnou nebo frekvenční závislost ztrátového činitele při použití různých hmotnostních podílů nanočástic Al_2O_3 .

2 Vzorky a měření

Pro výrobu vzorků byl použit nízkoviskózní epoxid vytvrzující se za studena a aminové tvrdidlo s ochrannou značkou EC141 – W241. Jako plnivo pro výrobu vzorků byly použity nanočástice alfa-fáze oxidu hlinitého (Al_2O_3) s velikostí částic definovanou jako 80 nm.

Během procesu výroby vzorků byla použita forma se skládala z teflonových dílů oddělených tenkými těsněními ze silikonové pryže. Forma naplněná modifikovaným epoxidem byla vložena na 24 hodin do vakuové komory. Těsnění této formy pak byla zdrojem vzduchových dutin, které vznikají při dlouhém vakuu ve výrobním procesu, což byl

nežádoucí jev, který ale vedl k neočekávaným zjištěním.



Obr. 1 Elektrické pevnosti jednotlivých šarží vzorků

3 Závěr

Bylo provedeno několik měření dielektrických vlastností vyrobených vzorků. Kromě měření elektrické pevnosti, které je znázorněno v grafu na Obr. 1, bylo provedeno měření ztrátového činitele v závislosti na teplotě, dále měření ztrátového činitele v závislosti na frekvenci a poté také měření absorpční a resorpčních proudů. Výsledky měření elektrické pevnosti ukazují, že nejlepší dielektrické pevnosti je dosaženo při použití čistého epoxidu s optimálním výrobním procesem. Z měření tedy vyšla skutečnost, že vzorky s dutinami mají horší dielektrické vlastnosti. Ovšem tato zhoršení lze do značné míry zmírnit právě použitím nanočástic.

4 Literatura

- [1] J. Hornak, T. Kubes and P. Trnka, "Effect of Nanometric Oxides on Dielectric and Mechanical Properties of Epoxy Resin," 2020 International Conference on Diagnostics in Electrical Engineering (Diagnostika), Pilsen, Czech Republic, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/Diagnostika49114.2020.9214716.

SVOČ 2025

Studentská vědecká odborná činnost

SPONZOŘI TOHOTO ROČNÍKU

AKKODIS

pinflow
energy storage

 **ŠKODA**

Leuze

ABB

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