

Posudek disertační práce

Název disertační práce:

Široce přeladitelná objemová cívka určená k zobrazování malých hlodavců pomocí magnetické rezonance

Autor práce:

Ing. Martin Vít

Posudek zpracoval:

Mgr. Jan Zeman, Ph.D.

Předložená disertační práce obsahuje celkem 97 stran, 39 odkazů na použitou literaturu a 26 obrázků. Práce je členěna do 7 kapitol, které jsou dále děleny do podkapitol. V práci je také uveden list publikací autora.

Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Práce je zaměřena na konstrukci přeladitelné objemové cívky, která je určena pro *in vivo* MRI a MRS experimenty prováděné na malých laboratorních zvířatech (*mus musculus*). Výhodou navržené RF birdcage cívky je možnost plynulého nastavení rezonanční frekvence v širokém rozsahu. Toho je dosaženo díky využití principu posuvného kondenzátoru. Jedná se o inovativní přístup, o čemž svědčí i udělený patent (číslo dokumentu: 307591). Touto cívkou je tak možné měřit, jak klasické ^1H zobrazení, tak i X-nuclei zobrazení, zde konkrétně ^{19}F jádra. Jedná se tak o důležitý přínos pro obor experimentální MRI a MRS na poli RF cívek.

Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění stanoveného cíle

Autor práce v prvních dvou kapitolách popsal teoretická východiska řešeného problému. V první kapitole poskytl obecný úvod do MR, nastínil současnou pozici MR a také zmínil legislativní omezení a SAR. V druhé kapitole se věnuje přehledu MRI radiofrekvenčních cívek, jejich rozdělení, konstrukci, kvalitě a také zde autor zmiňuje nástroje pro modelování RF cívek.

V prvních dvou kapitolách autor disertační práce prokázal teoretickou znalost problému, jež je tématem jeho práce. Dokáže srozumitelně vysvětlit principy jednotlivých druhů RF cívek a zároveň předkládá hodnocení vhodnosti těchto cívek pro různé aplikace.

Třetí kapitola obsahuje cíle práce. Cíle práce jsou tři a to:

1. Navrhnout široce přeladitelnou objemovou cívku určenou k zobrazování malých hlodavců pomocí magnetické rezonance
2. Realizovat široce přeladitelnou objemovou cívku určenou k zobrazování malých hlodavců pomocí magnetické rezonance
3. Stanovit vlastnosti široce přeladitelné objemové cívky určené k zobrazování malých hlodavců pomocí magnetické rezonance

Ve čtvrté kapitole autor nejprve popisuje motivaci k vývoji široce přeladitelné RF cívky a následně uvádí, jaké jsou předpoklady její konstrukce a parametry. Poté se věnuje návrhu řešení cívky, jejím výhodám technickému popisu její realizace.

Kladně hodnotím, že autor se při návrhu řešení nesoustředil jen na technické parametry, ale také na základě vlastních experimentálních zkušeností i experimentálních zkušeností svých spolupracovníků určil vlastnosti, které by měla cívka mít z pohledu praktické použitelnosti. Také bych zmínil, že představené řešení přesuvného kondenzátoru je originální a přináší několik technologických výhod oproti konvenčnímu řešení.

V páté kapitole autor uvádí parametry konstruované RF cívky, popisuje samotnou technickou realizaci a doplňuje také porovnání výsledků simulací s experimentálně získanými parametry. Při porovnání navržené cívky s komerčně dostupnou alternativou má navržená cívka pro testované sekvence vyšší senzitivitu.

Šestá kapitola obsahuje závěry. Autor zde shrnuje dosažení cílů práce a uvádí odkazy na impaktované publikace, které byly realizovány v souvislosti s navrženou RF cívkou. Jeden z publikovaných výstupů vznikl na základě experimentu, který je popsán v kapitole sedmé. Zde je uvedeno reálné experimentální využití cívky pro MRI malých hlodavců.

Celkově hodnotím postup řešení problému jako adekvátní kladeným cílům. Dosažené výsledky splňují všechny stanovené cíle. Autor tyto cíle řeší uceleně a metodicky správně. Postupuje od teoretického hodnocení současného stavu techniky, přes návrh RF cívky k její realizaci a následnému funkčně technickému hodnocení. Nakonec předkládá i reálné využití jím navržené cívky v experimentálním MRI zobrazení.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a významu původního konkrétního přínosu autora

Za hlavní výsledek disertační práce považuji, že se podařilo navrhnout a zkonstruovat široce přeladitelnou objemovou RF cívku. Podle mého názoru měl autor na její konstrukci hlavní podíl a jím navržené konstrukční řešení je originální. Musím také ocenit, že se podařilo přejít od návrhu k realizaci a následně i k patentové ochraně.

Vyjádření k systematickosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni

K formální úpravě nemám připomínky. Práce je členěná systematicky a přehledně. Autor před každou kapitolou uvádí její krátký popis, což hodnotím kladně, napomohlo to k lepší orientaci v textu. V práci se vyskytuje několik překlepů, chybí mi zde seznam tabulek a obrázek 15 a, 15 b jsou neúplně označeny. Jedná se však o drobné chyby, které se mohou v podobných textech vyskytnout, ale nijak nekazí celkový kladný dojem.

Vyjádření k publikacím studenta

V listu publikací uvádí autor celkem 10 publikací a jeden patent. Jedná se o publikace v impaktovaných časopisech. U jedné z uvedených publikací je prvním autorem, v ostatních případech je spoluautorem. Jak autor uvádí v kapitole 6.4 souhrnný impakt faktor publikací souvisejících s navrženou RF cívkou je současnosti 17,9. Publikační činnost autora hodnotím jako nadprůměrnou.

Dotazy k práci

1. Mohl by autor blíže vysvětlit, proč nelze s přeladitelnou cívkou provádět NOE a spinový decoupling?
2. Na obrázku 26 na straně 89 je viditelný signál ^{19}F i mimo ledvinu. Jaké je vysvětlení?
3. Je možné pomocí navrženého řešení posuvných kondenzátorů zkonstruovat i jiné, například větší, RF cívky?
4. Plánuje se komercializace tohoto patentovaného řešení?

Závěr

Disertační práce Ing. Martina Víta splňuje podmínky stanovené v § 47 odst (4) zákona 111/98 Sb. o vysokých školách, obsahuje původní a uveřejněné výsledky. Odpovídá tedy obecně uznávaným požadavkům k udělení akademického titulu Ph.D. Autor prokázal schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu nebo vývoje. Proto bez výhrad **doporučuji**, aby byla disertační práce přijata k obhajobě.

V Praze 21.11. 2022

Mgr. Jan Zeman, Ph.D.
Ústav biofyziky a informatiky
1. LF UK

Oponentní posudek disertační práce

Autor práce: Ing. Martin Vít

Název práce: Široce přeladitelná objemová cívka určená k zobrazování malých hlodavců pomocí magnetické rezonance

Téma a cíl práce:

Návrh a realizace široce přeladitelné cívky pro zobrazování malých hlodavců pomocí magnetické rezonance. Stanovení vlastností této cívky a definování experimentů, pro které je použitelná.

a) Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Vlastní práce a její výsledky zasahují do dvou poněkud odlišných vědních oborů. Podstatná část souvisí s vlastním elektromagnetickým návrhem a konstrukcí dané RF cívky, což je současně problematika související s oblastí mého profesního zaměření.

Druhá část je věnována aplikacím, pro které je RF cívka určena. Pojednává tedy o stávajících a zamýšlených biologických experimentech pomocí magnetické rezonance, které by měla tato cívka vylepšit nebo umožnit. Je to popsáno zejména v úvodu a závěru práce. Pokud by se hovořilo o významu předložené práce pro určitý obor, tak předpokládám, že by to měl být právě tento obor. S ohledem na mé elektrotechnické zaměření se k těmto otázkám nedokážu kvalifikovaně vyjadřovat. Po prostudování předložené práce ale nepochybuji o tom, že bude navržená a zkonstruovaná radiofrekvenční cívka k zamýšlenému účelu dobře použitelná.

b) Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění stanoveného cíle

V úvodní kapitole na stranách 16–21 je stručný výčet aplikací a prováděných experimentů, které využívají magnetickou rezonanci. Závěrečná kapitola 7 na stranách 85-90 ilustruje na vybraných biologických experimentech funkčnost navržené RF cívky. Jak bylo řečeno, jsou to části, ke kterým se nemohu přesně vyjadřovat. První uvedená část na mne ale působila dojmem, že nepřinese pro odborníky, kteří se aplikacemi MR detailně zabývají, nové informace. Pro případné čtenáře, kteří by se zajímali o vlastní elektromagnetický návrh RF cívky, což je můj případ, takové informace, které by s hlavním cílem práce, návrhem cívky, přímo souvisely.

V úvodní části na stranách 22-28 jsou také základní encyklopedické informace o používaném zařízení pro magnetickou rezonanci. Princip magnetické rezonance je relativně známý. S ohledem na další obsah práce by ale bylo velice užitečné vysvětlit poněkud podrobněji, jak je to se sekvencemi vysílaných signálů a jejich vyhodnocením pro sestavení výsledného obrazu v MR. Právě na to se totiž práce na několika místech odvolává. Zejména se to týká části 5.5 - Experimentálně získané parametry, kde byly stručně popsány výsledky měření, která měla vlastnosti navržené cívky zhodnotit.

Podle cílů vytyčených v práci předpokládám, že stěžejní částí měl být elektromagnetický návrh RF cívky. Na začátku tedy stanovení parametrů, které má tato RF cívka co možná nejlépe splňovat, potom návrh zahrnující určité obvody výpočty a simulace elektromagnetických polí. Následně potom popis konstrukce navržené cívky a experimentální ověření parametrů.

Podobné cívky se pro jiné aplikace běžně nepoužívají, proto je pro mne popis chování takové struktury velice zajímavý. Po prostudování práce mne napadá mnoho otázek, o kterých by bylo možné diskutovat a které by stály za upřesnění. O některých bych se chtěl v následujícím textu zmínit.

Modelování tvaru a velikosti elektromagnetického pole

Z tvaru zkoumané rezonanční RF struktury „klecové cívky“ je zřejmé, že podrobná analýza jejího elektromagnetického chování může být relativně komplikovaná. Nedá se hovořit o standardní cívce se závitami protékajícími elektrickým proudem. Jakékoliv jednoduché analytické výpočty mohou být pouze orientační. Podrobná analýza se neobejde bez modelování elektromagnetického pole pomocí vhodných softwarových prostředků.

Předložená práce se odvolává na použití programové sady CST Studio, se kterou jsem měl možnost se při své práci rovněž seznámit. V této souvislosti se mi na mnoha místech v textu jeví, že nebyly využity všechny možnosti, jak výsledky simulací vhodně prezentovat, aby to potenciálnímu čtenáři poskytlo podrobnou informaci o chování zkoumaných RF cívek. Myslím, že program CST Studio, ve spojení s následnou úpravou dat například v často používaném programu „Matlab“, poskytuje lepší možnosti pro prezentaci elektromagnetických polí.

Domnívám se, že při modelování elektromagnetických polí a prezentaci výsledků, pokud to má mít hlubší smysl, je nutné dodržet některé zásady. Na začátku je nutné detailně popsat vlastní modelovanou strukturu a potom podrobně komentovat, co a jak je výstupem z dané simulace. Zejména tedy, co uvedené obrázky popisují a znázorňují. Ne všechno se mi v této souvislosti v prezentované práci líbilo.

U modelovaných struktur jsem velice postrádal přehledné vysvětlující obrázky, ze kterých by bylo jednoznačně patrné, jaké jsou rozměry modelovaných struktur a zejména, jak jsou tyto struktury při modelování orientovány v prostoru. Případně tedy, jaká soustava souřadnic je pro popis použita. To je velice důležité, protože se jedná o prostorový problém, ve kterém se případný čtenář potřebuje orientovat. Jedná se tedy potenciálně o tři směry a s ohledem na ně orientované řezy a roviny. Elektromagnetické pole je navíc vektorové a je nutné uvažovat tři ortogonální složky vektorových veličin, které toto pole popisují.

Výše uvedená poznámka platí pro výstupy simulací téměř v celém textu práce, ve výčtu jednotlivých typů cívek i popisu struktury finálně navržené cívky. Bez takových obrázků je potom jen možné se dohadovat, jakou přesnou orientaci mají sagitální, koronální či axiální roviny, když na jiném místě bylo použito například označení transversální a jinde potom třeba roviny popsané symboly x - z , x - y které by připomínaly kartézskou soustavu souřadnic.

Označení používané v anatomii a biologii (sagitální, koronální, axiální) není při popisu elektromagnetického pole obvyklé. V tom bych neviděl problém, lze samozřejmě použít libovolné označení. Domnívám se ale, že by to mělo být pomocí obrázku pro každou modelovanou strukturu na začátku definované. Potom při popisu všech veličin důsledně dodržené.

Kdyby byla například analýza cívky z textu popsána ve válcové soustavě souřadnic, která je speciálně pro takto vyhlížející struktury vhodná, bylo by možné jednoznačně definovat složky vektorových veličin (radiální, axiální, tangenciální), roviny řezů – například radiální rovina (r, ϕ) v místě $z = \text{konstantní}$, nebo axiální rovina r, z v místě $\phi = \text{konstantní}$.

Mnoho obrázků, které mají jako výsledky simulací v prezentované práci sloužit, má velmi špatné rozlišení, texty na osách a v legendách jsou mnohdy prakticky nečitelné. Mnohdy není ani důsledně popsáno, jaké veličiny a v jakých rovinách jsou na obrázcích znázorněny. Obrázky simulací by potom někdy mohly působit dojmem, že tam jsou jen

proto, aby demonstrovaly, že byly jakési simulace provedeny a ne proto, aby poskytly pro čtenáře svým obsahem užitečnou informaci.

Homogenita generovaného pole

V předložené práci mne poněkud překvapilo, že zde byla pouze strohá zmínka o směru generovaného magnetického pole. Bylo to navíc při popisu jednoduché proudové smyčky v části, která encyklopedicky popisuje jednotlivé druhy používaných cívek.

Cituji:

„ pole nad a pod závitem RF cívky není dokonale kruhové, ale mírně oválné, neboť siločáry kolem vodiče cívky ve směru osy z vykazují rovnoběžnou složku s polem B_0 “

V obrázku Obr.6 je to označené jako, cituji: *„Princip vzniku oválnosti“*.

Podle mého názoru bude něco podobného platit u každé z modelovaných struktur, do určité míry i u navržené „klecové“ cívky. Platí to například i pro soustavu dvou Helmholtzových cívek, i pro podobnou soustavu tzv. Maxwellových cívek, které byly právě pro generování homogenního magnetického pole navrženy. Magnetické pole je homogenní pouze v určité části prostoru mezi cívkami, v jiných místech může být směr zcela jiný. Pod pojmem homogenita se tedy uvažuje, že budou mít veličiny magnetického pole nejen stejnou velikost ale i směr.

Obecně platná vlastnost magnetického pole je, že siločáry magnetického pole tvoří uzavřené linie kolem vodičů protékaných elektrickým proudem. V některých místech se tedy siločáry magnetického pole budou nutně stáčet a uzavírat.

Elektromagnetické pole je vektorové, v nestacionárním případě má vždy elektrickou a magnetickou složku. Tyto složky jsou reprezentované příslušnými vektorovými veličinami. Domnívám se, že při popisu magnetického pole musíme vždy hovořit nejen o velikost, ale i o směr veličin.

Jevilo se mi, že se v předložené práci u obrázků, které měly mapovat magnetické pole, kalkulovalo pouze s absolutní hodnotou určitých složek a podle toho se posuzovala i homogenita generovaného magnetického pole. Nikde jsem neobjevil obrázek vyplývající ze simulace, ani relevantní úvahu, ze které by vyplynulo, jaký tvar, tedy směr vektorových veličin, generované magnetické pole má.

Nepochybuji o tom, že je i v klecové cívce v určité části objemu magnetické pole homogenní, bylo by ale dobré to při prezentování vlastností takové cívky ukázat a dokázat, že to tak skutečně je.

Daná struktura RF cívky není navíc symetrická, elektromagnetické pole je buzené „budičem“ umístěným po jedné straně. V předložené práci jsem nikde nenašel popis a vysvětlení, jak se to projeví například v rozdělení proudu v jednotlivých větvích klecové struktury, jestli budou proudy v jednotlivých větvích ve fázi či fázově posunuté a jaký to všechno bude mít vliv nejen na velikost, ale i na směr generovaného magnetického pole v jednotlivých místech uvnitř cívky. To jsou podle mne důležité otázky, pokud bychom chtěli chování takové struktury podrobně popsat a vysvětlit. V práci jsem k tomuto problému našel jen stručné zmínky typu, cituji:

„Získané snímky nejsou zcela symetrické, neboť v pravé části (pro axiální) a v horní části (pro koronální) snímky je umístěn RF budící závit, který může homogenitu vytvořeného pole ovlivňovat.“

Citlivost cívek

Prakticky v celé práci se velice často operuje s pojmem „citlivost cívky“. Z textu je možné se intuitivně domnívat, o jaký parametr se bude jednat a že je to parametr pro správnou činnost zařízení důležitý. Nikde v předložené práci jsem však nenašel podrobný popis, jak danou veličinu exaktně definovat a jak ji následně, například pro srovnání jednotlivých struktur, objektivně měřit.

V textu práce se tedy často objevují věty typu, cituji:

„Optimální radiofrekvenční cívka by měla splňovat tyto požadavky: Vysoká citlivost a co největší homogenní objem.“

Je zde také zmínka o tom, že by bylo možné citlivost takové cívky simulovat, cituji:

„Dále je možné simulovat také citlivost cívky na MR signál“

Pokus o takovou simulaci, ani bližší vysvětlení, jsem však nikde v práci nenašel.

Modelování elektrických parametrů, náhradní elektrický obvod a jeho parametry

Pro odhad obvodového chování navrhované cívky bych si dokázal představit sestavený náhradní elektrický obvod se soustředěnými parametry, ve kterém by se vyskytovaly nejen vložené kapacity do jednotlivých větví, ale i vlastní a vzájemné indukčnosti jednotlivých větví. Jeví se mi, že by to bylo s ohledem na dané pracovní kmitočty a rozměry zkoumané struktury stále ještě možné. Že tedy není nutné respektovat vlnový charakter elektromagnetického pole, jak by to bylo například v kruhovém kovovém rezonátoru, ale při podstatně větších kmitočtech.

V práci jsem našel pouze situační blokový obrázek (Obr.18), ve kterém jsou naznačeny vložené kapacity, „ladící transformátory“ po čelních stranách struktury a budící člen pro nepřímé napájení dané struktury. Místo pokusu o výpočet prvků náhradního obvodu potom jen vzorec pro výpočet kapacity deskového kondenzátoru a vzorec pro indukčnost dvou vodičového vedení, u kterého si navíc nejsem tak jist, že by v uvedené podobě platil. Potom také konstatování, že lze tyto dva parametry použít pro orientační výpočet rezonančního kmitočtu, a to aplikací zcela základního vzorce pro paralelní rezonanční obvod. Nikde jsem však v práci nenašel, jak tento výpočet konkrétně realizovat.

V práci jsem například nenalezl ani podrobnější vysvětlení funkce ladících transformátorů. Jestli jsem to správně pochopil, tak zde tvoří jakési závity nakrátko, které jsou k dané cívce na jednom místě připojeny galvanicky a na druhém místě jsou propojeny pomocí doladovacích kondenzátorů. V práci je stručná zmínka o tom, že tyto prvky mají vliv nejen na rezonanční frekvenci, ale i na homogenitu pole RF cívky. Bylo by velice zajímavé, například pomocí obrázků modelovaného magnetického pole, stanovit, jak se tento vliv konkrétně projevuje a proč.

V práci jsem nenalezl ani podrobnější informace, jak je to s „budičem“, proč je umístěn na daném místě a ne jiném, jaký to má vliv na tvar a homogenitu magnetického pole v cívce, rozdělení proudu v jednotlivých větvích. Úloha budiče je zhodnocena textem, cituji:

„Využití budiče je výhodné zejména kvůli lepší homogenizaci pole a oslabení vířivých proudů (eddy currents, foucaultovy proudy), které snižují kvalitu vyšetření a při velkých výkonech mohou být potenciálně nebezpečné. Existují i objemové cívky bez budičů, dosahují však horších výsledků, zejména homogenity.“

Zde se okamžitě vynoří otázky, o jaké vířivé proudy se to konkrétně jedná a kde se uzavírají? Jak by mohla být buzena tato cívka, kdyby to bylo přímo a bez budiče?

Další zajímavou část představuje stínění kolem celé cívky. I zde by to vyžadovalo přesnější vysvětlení fyzikálního principu funkce. Domnívám se, že je to jistá forma elektrického stínění, které pracuje na principu, že indukované proudy ve vodivém materiálu stínění odklánějí magnetické pole do jiného směru. V práci je funkce takové stínění popisována takto, cituji:

„Je vytvořeno jako pásková struktura, kdy na jedné straně DPS jsou vytvořeny vodiče o šířce 8 mm, které jsou na druhé straně DPS posunuty v plošném směru o půlku šířky pásku. Mezi vodiči na opačných stranách DPS tak vzniká kapacita, která je vodivá pro RF proud (200 MHz), pro střídavá pole gradientních cívek indukující proud nízkých frekvencí (1 KHz) je však téměř nevodivá“.

Obvodové vysvětlení funkce stínění založené na kapacitě, kterou prochází vysokofrekvenční elektrický proud, mi připadá moc zajímavé. Vyžadovalo by si ale upřesnění a případně opět nějaké modelované výsledky, které by toto tvrzení doložily.

Popis elektromagnetických experimentů sloužících k ověření vlastností a funkčnosti sestavené cívky

Toto by měla být po návrhu a konstrukci cívky jedna z klíčových a nejpodstatnějších částí celé práce, kde by bylo prezentováno, jak se návrh vydařil a jaké „elektrické“ vlastnosti po všech stránkách navržená cívka má. Tato část na mne opět působí dojmem, že by bylo možné ji zpracovat poněkud podrobněji.

Představoval bych si detailní popis toho, jaké veličiny byly měřeny, jakým způsobem byly měřeny a jaké přístroje k tomu byly použity. Následně potom, co z měření vyplynulo. Dokázal bych si tedy představit měření obvodových parametrů s pomocí nějakého obvodového analyzátoru. Stanovení například frekvenčních charakteristik pro různé polohy přeladění, měření činitelů jakosti a podobně. Dále například měření, jak je navržená soustava přizpůsobena z hlediska vstupu do budiče a jak se situace mění při přeladování cívky.

Pro ověření homogenity generovaného pole a citlivosti cívky potom detailní popis, jak byly tyto parametry měřeny a posuzovány u navržené cívky i u komerční referenční cívky, se kterou byla nově navržená cívka porovnávána a vyčísleny procentní hodnoty, o kolik se nově navržená cívka chová lépe.

Odstavec, uvedený na daném místě prezentované práce, cituji:

„V rámci experimentálního ověření byly naměřeny snímky porovnávající SNR shodného vodního fantomu měřeného komerční cívkou Bruker BIOPRK (Obr. 23) a široce přeladitelnou 1H/19F cívkou popsanou v této práci. Měření bylo provedeno dvěma standardními MR sekvencemi FLASH a RARE. Měření (Tab.5) prokázalo vyšší senzitivitu ve prospěch široce přeladitelné 1H/19F cívky pro obě měřené sekvence. Je možno prohlásit, že realizovaná cívka je senzitivnější, než komerčně dodávaný výrobek a to o 11,4 % v případě RARE a o 26,9 % v případě FLASH experimentu. Homogenita V rámci experimentálního ověření byly naměřeny snímky mapující SNR vodního fantomu široce přeladitelnou 1H/19F cívkou popsanou v této práci. Měření bylo provedeno nestandardní MR sekvencí FLASH tak, aby byly zvýrazněny nedostatky homogenity produkovaného pole B1. „

ve mně vyvolává řadu otázek, jak je to se „standardními“ a „nestandardními“ sekvencemi, pro které bylo měření provedeno, jak byla senzitivita vyčíslena a vypočteny procentní hodnoty při porovnávání.

Stejně tak například text a zejména obrázky v tabulce 5, které na první pohled vypadají pouze jenom jako světlejší či tmavší kruhové objekty. Něco jako měsíc v úplňku, fotografovaný za jasné oblohy a podruhé pod mrakem.

Nepochybuji o tom, že pro odborníka, který pracuje s magnetickou rezonancí, jsou uvedené pojmy známé a zcela jasné. Pokud se ale bude předpokládat, že bude práci, která je s elektrotechnickou tematikou, posuzovat někdo z obecného elektrotechnického pohledu, tak to zcela jasné být nemusí.

c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a významu původního konkrétního přínosu studenta

Při zběžném nahlédnutí do několika odborných článků, které se mi podařilo vyhledat v pro mne dostupné databázi IEEE, jsem usoudil, že je analýza a návrh RF „klecových“ cívek pro aplikace v magnetické rezonanci poměrně často se vyskytující téma.

V práci je ale popsána konstrukce RF cívky s originálním způsobem přeladění, který je založen na vzájemném posouvání dvou mechanických částí. V tom by bylo možné hledat originální řešení a konkrétní původní přínos studenta.

d) Systematičnost, přehlednost, formální úprava, jazyková úroveň

Po jazykové stránce jsem v práci neshledal žádné zásadní nedostatky. Formální úprava je pravděpodobně stanovena konkrétními zvyklostmi, které mohou být na každé vysoké škole odlišné.

Text předložené práce je z mého pohledu napsaný písmem s nezvykle velikým fontem, pravděpodobně „Times New Roman 14“, nebo podobným. Potom práce, která čítá celkem 97 číslovaných stran, začíná po povinných částech (rozsáhlém obsahu, seznamu obrázků, seznamu zkratk) prakticky až na 17 stránce. Končí závěrem na stránce 90, protože zbývající část od strany 90 do strany 97 je opět vyplněna velice rozsáhlým seznamem literatury a publikací, což je další povinná část. Každá kapitola je navíc na začátku doplněna o další výčet, co je možné v jednotlivých odstavcích nalézt. Je to tedy jakýsi další doplňující obsah k již existujícímu obsahu. To se mi nejeví pro orientaci v textu s tímto rozsahem nezbytné. Font písma samozřejmě není nijak podstatný, připadá mi ale, že text napsaný s běžně používaným fontem 11 či 12 by byl stejně dobře čitelný jak v tištěné, tak i v digitální formě. Potom by, při stejném rozsahu počtu stran celé práce, který je možná limitován, zbylo více místa na větší, výstižnější a přehlednější obrázky a na mnoha místech i podrobnější text, vysvětlující danou problematiku. Zejména se to týká popisů v obrázcích výsledných simulací, jak jsem se o tom již zmiňoval. Ty mi mnohdy, ve srovnání s velkými písmeny v textu, naopak připadají téměř miniaturní a nečitelné, protože jsou při dané velikosti zobrazeny s velice malým rozlišením.

e) Vyjádření k publikacím

Výsledky práce byly publikovány v odborném zahraničním časopise s odpovídající úrovní „Journal of Magnetic Resonance“, který se uvedenou problematikou zabývá. Zcela jistě tak byly splněny požadavky, které se váží k dané formě doktorandského studia a jeho úspěšnému zakončení.

f) Jednoznačné vyjádření oponenta, zda doporučuje práci k obhajobě.

Předloženou práci doporučuji k obhajobě. Jako důležité kritérium úspěšného řešení považuji zejména to, že byla finálně zkonstruována RF cívka, o které předpokládám, že bude dobře využitelná pro řadu stávajících i nových biologických experimentů pomocí magnetické rezonance. Určité výhrady, které jsem k práci pro jejího prostudování měl a které jsem shrnul v tomto posudku, je možné chápat jako moje náměty pro diskusi při obhajobě práce.

V Praze 24. listopadu 2022

doc. Ing. Vítězslav Pankrác, CSc.

Fakulta elektrotechnická ČVUT,
katedra elektromagnetického pole