

Oponentní posudek

disertační práce na téma vysokonapěťové zdroje pro střídavou elektroporaci buněk

autora Ing. Martina Folprechta, VUT Brno, 2022

Téma práce je zvoleno v oblasti výkonové elektroniky pro použití s souvislostí s medicínskými aplikacemi. O metodě elektroporace buněčných membrán se dozvídám v souvislosti s touto prací poprvé a vzhledem k tomu, že nejsem odborníkem na poli lékařské vědy, se budu vyjadřovat k technickému řešení prezentovaného vysokonapěťového zdroje.

V úvodu disertační práce je vhodným způsobem představena samotná metoda elektroporace, v dostatečném rozsahu potřebném pro základní pochopení i pro čtenáře, který se s touto metodou seznamuje poprvé. Z informací, uvedených v úvodu práce, vyplývá, že jev elektroporace je vyvolán působením elektrického pole na živou tkáň a její buňky. Z hlediska elektrického obvodu, resp. z pohledu zdrojové soustavy je tedy nutno přivést na povrch elektrod napětí požadovaného tvaru a amplitudy tak, aby bylo dosaženo požadovaných účinků a byly co nejvíce omezeny účinky nežádoucí. Pro vývoj elektrických zdrojů obecně je důležitá informace o charakteru zátěže, kterou mají tyto zdroje napájet. V této práci se sice nejedná přímo o nějaké, ale přesto se domnívám, že pro tento návrh zdroje budou elektrické parametry zátěže velice důležité. Ono pojednání o chování se živé tkáně v souvislosti s napěťovými pulzy na daných elektrodách a vyvození nějakého náhradního schématu bych očekával v této kapitole.

V úvodu práce, zejména v kapitole 1.3 Jsou uvedeny různé tvary výstupních pulzů vysokonapěťového zdroje, zhodnoceny jejich výhody a vybrána varianta, která se jeví jako nejslibnější a to varianta s nesymetrickými střídavými pulzy. V další práci popisovaný zdroj ovšem tento nejslibnější tvar pulzů generovat nedokáže, zde by bylo vhodné, kdyby autor uvedl při obhajobě, proč bylo z tohoto požadavku ustoupeno.

Celkově platí, že z popisu elektrických veličin není zřejmé, zda se jedná o požadované průběhy na elektrodách, tak jak mají působit na tkáň, či na výstupu vysokonapěťového zdroje.

Další část disertační práce pojednává o různých zdrojích, které se pro tyto účely používají v současné době, ať už o výrobcích komerčních, tak o experimentálních stavbách. Rozhodnutí, který typ zapojení bude použit pro zdroj v této práci vyplývá zřejmě z porovnání popsanych výhod a nevýhod stávajících zdrojů.

Byla zvolena koncepce s výstupním transformátorem, která vedle má zřejmé výhody z hlediska bezpečnosti a zřejmě i odlišnosti od patentovaného řešení podle referenční literatury č.4.

Jistý rozpor spatřuji mezi tvrzeními v kapitole 1, ve smyslu že hrany výstupního napětí generátoru má být co nejstrmější, aby bylo možno vysílat krátké impulzy o vysokém napětí a osazením navrženého zdroje tlumivkami na výstupu. Tyto výstupní tlumivky na výstupu jistě řeší mnoho problémů, ať už s proudovými špičkami zatěžujícími zdroj napětí a nebo s rušením ostatních přístrojů. Výstupní tlumivky v součinnosti s kapacitami kabelů nebo i zátěže ovšem strmost hran výstupního napětí přímo potlačují a s předpokládanou vyšší kapacitou zátěže možná i snižují napětí na zátěži, které způsobuje žádaný elektroporační efekt. Pro kvalitní posouzení tohoto vlivu by bylo nutné znát elektrický charakter tkáně, na níž jsou aplikovány napěťové impulsy.

Návrh výkonové části měniče je proveden pečlivě a se zřejmou inspirací v oblasti spínaných napájecích zdrojů. Návrh se od většiny spínaných zdrojů liší v tom, že není kladen důraz na účinnost, ani na optimální využití komponentů. Namátkou lze zmínit lineární regulátor napětí v meziobvodu a silně předimenzované výstupní tranzistory, které dokonce nevyžadují chlazení pomocí chladičů. Obvodová řešení vycházejí z osvědčených a známých struktur a nepřinášejí z

pohledu výkonové elektroniky žádné nové poznatky. Výpočet požadovaných parametrů součástek a jejich výběr je proveden kvalitně a je dobře dokumentován, včetně vinutých součástí. Výstupní tranzistory střídačového můstku, který napájí hlavní transformátor, jsou buzeny zřejmě prostřednictvím jednoho budícího transformátoru. Čtyři výstupní tohoto transformátoru vinutí jsou přiřazena jednotlivým tranzistorům. Tato část je popsána příliš krátce a dokumentace je tak stručná, že si tuto funkci čtenář musí domýšlet. Není například zřejmé, jakým způsobem jsou polarizována jednotlivá vinutí, jakým způsobem je řešena problematika příčných proudů a podobně.

Řídicí obvody jsou provedeny s použitím součástek s nižším stupněm integrace, což je v dnešní době neobvyklé. Z textu práce není zřejmé, proč autor nezvolil dnes obvyklé použití kombinace mikrokontrolérů pro pomalejší úlohy a hradlových polí pro úlohy časově kritické, jak je dnes obvyklé. Zde by bylo zajímavé vědět, co autora vedlo k volbě tohoto konceptu, který je z hlediska pozdějších úprav mnohem komplikovanější.

Sestavený generátor byl experimentálně ověřen jak v laboratoři z pohledu funkčnosti elektrického zdroje, tak i v praxi při elektroporaci živých tkání. Pozastavím se nad záznamy funkce střídače a průběhy napětí na výkonových tranzistorech. Napětí u_{GS} na obrázku 5.8 nemůže mít průběh takový, jak je na obrázku naznačeno. Buďto se jedná o zarušení měřicí aparatury a nebo hradla tranzistorů trpí přepětím a toto přepětí by se nepříjemně projevilo na životnosti těchto tranzistorů. Navíc tyto zátky v průběhu spínacího děje nepříjemně zvyšují spínací ztráty a u měničů, které jsou navrženy s optimálním využitím součástek, vedou k poměrně rychlé destrukci. Vzhledem k průběhům na obrázku 5.9 bych se přikláněl spíše k zarušení měření u_{GS} , nicméně by bylo vhodné, kdyby se autor v průběhu obhajoby ke kvalitě spínání výkonových tranzistorů vyjádřil a případně doložil nějaké detailnější záznamy.

Disertační práce ve smyslu návrhu zdroje nepřináší z pohledu elektroniky žádné nové vědecké poznatky, jedná se spíše o aplikaci známých řešení pro ne úplně běžné použití. Vědecké poznatky mohou být získávány spíše v souvislosti s používáním tohoto zdroje při experimentech.

Cíle disertační práce, tak jak jsou stanoveny v kapitole 2 jsou splněny. Tady bych se ještě rád pozastavil nad tématem bezpečnosti, které jde nad rámec stanovených cílů, neboť předkládaná práce se klade za cíl postavit zdroj použitelný pro animální experimenty. Elektroporační zdroj pracuje s energií, která je při chybné funkci schopna napáchat nevratné škody na objektu, který je zátěží tohoto zdroje. Pro další rozvoj tohoto tématu by bylo vhodné věnovat tématu bezpečnosti větší pozornost a zaměřit se i na bezpečnost funkční a případně se inspirovat standardem IEC 61508 a jeho SIL úrovněmi, nebo jiným relevantním pro lékařské aplikace.

Ze seznamu publikací autora je zřejmé, že práce byla průběžně publikována jednak na konferencích, tak i ve vědeckých časopisech, jak je dnes vyžadováno. Publikoňní činnosti autora nelze tedy nic vytknout.

Tuto práci doporučuji k obhajobě s výhradami uvedenými v tomto posudku a žádám o stanovisko k nim v průběhu obhajoby.

V Ostravě dne 09.05.2022
Ing. Vladislav Damec, Ph.D.

VŠB-TU Ostrava
FEI, Katedra elektroniky
17. listopadu 15
CZ-70800 Ostrava

