

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

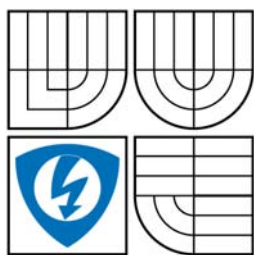
TESTOVÁNÍ ZDRAVOTNICKÝCH PŘÍSTROJŮ Z HLEDISKA
ELEKTRICKÉ BEZPEČNOSTI.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ ŠUBARDA

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Jiří Šubarda

ID: 78375

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Testování zdravotnických přístrojů z hlediska elektrické bezpečnosti.

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Zpracujte přehled požadavků na testování přístrojů pro zdravotnictví z hlediska elektrické bezpečnosti z hlediska stávajících norem. Navrhněte generátor vysokého napětí pro testování elektrické bezpečnosti zdravotnických přístrojů.

Cílem projektu je vypracovat přehled požadavků na testování přístrojů, navrhnout obvody generátoru a elektrické schéma, uvést rozpiskou součástek.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] VEJROSTA, V. Konstrukce zdravotnických elektrických přístrojů (aplikace požadavků mezinárodních norem). K dispozici u vedoucího práce.

[2] CMELAŘ, M. Lékařská přístrojová technika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Testování zdravotnických přístrojů z hlediska elektrické bezpečnosti jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Milanu Chmelařovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

Abstrakt

Zdravotnický přístroj musí být vhodný pro použití při poskytování zdravotní péče; vhodnost zdravotnického přístroje pro určený účel použití musí být ověřena zkouškami z hlediska elektrické bezpečnosti. Odborné hodnocení tohoto přístroje je zkoušeno podle dostupné odborné literatury, technické dokumentace a dalších písemností pro ověření jeho bezpečnosti pro používání při poskytování zdravotní péče a dodržení určeného účelu použití daného výrobcem. Toto testování zdravotnických přístrojů je důležité pro použití při poskytování zdravotní péče při dodržení určeného účelu použití, zejména z hlediska bezpečnosti a účinnosti. Testováním zjišťujeme vliv na subjekt, specifikujeme jejich nežádoucí vedlejší účinky a hodnotíme, zda představují přijatelná rizika pro subjekt. S ohledem na testování zdravotnických přístrojů, je rámci této práce navržen generátor elektrické pevnosti, který je určený k testování zdravotnických přístrojů napájených sítovým napětím. U navrženého generátoru je uveden popis funkce, postup návrhu a uvedeno celkové schéma včetně rozpisky součástek.

Abstract

Medicine device must be acceptable for using at granted a medical care; acceptable of a medical device for define purpose of using must be verify by tests in light of electrical safety. Special valuation appreciate that device is testing by accessible special literature, technical documentation and next papers for verify its safety for using by service a medical care and observance define purposes of using to given by producer. This testing of medical device is interesting for using at granted a medical care by observance of define purpose using, especially in light of safety and force. By testing find a influence on subject, specifivating their undesirable adjacent effects and valuating, if shaping acceptable hazards for a subject. With regard on testing of medical devices, is in terms of this projekt was devised generator of electric stronghold, which is determinated for testing a medicine devices supplying with line voltage. At devised generator is presented description of function, progress of proposal and devised final chart inclusive specification of components.

Klíčová slova

zdravotnický přístroj
elektrická bezpečnost
testování zdravotnických přístrojů
zdravotní péče

Key words

medicine device
electrical safety
testing of medical devices
medical care

Bibliografická citace

- ŠUBARDA, J. Testování zdravotnických přístrojů z hlediska elektrické bezpečnosti: *bakalářská práce*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009. 44 s., 7 příl.

Obsah:

Abstrakt	4
Bibliografická citace	4
Úvod:	6
1. Určující parametry pro posuzování kvality zdravotnických přístrojů:	7
1.1 Elektrická pevnost.....	7
1.2 Impedance smyčky.....	8
1.3 Unikající proudy	9
2. Všeobecné zkušební požadavky	10
2.1 Zkoušky	10
2.2 Opakování zkoušek	10
2.3 Počet vzorků	10
2.4 Součástky	10
2.5 Teplota, vlhkost, atmosférický tlak	10
2.6 Další podmínky	11
2.7 Napájecí a zkušební napětí, druh proudu, druh napájení a kmitočety	11
2.8 Opravy a úpravy.....	12
2.9 Vlhkostní příprava přístroje	12
2.10 Pořadí zkoušek	13
3. Provádění zkoušek z hlediska elektrické bezpečnosti dle současných norem:	14
3.1 Zkouška označení.....	14
3.2 Příkon.....	14
3.3 Klasifikace	14
3.4 Omezení napětí a / nebo energie.....	15
3.5 Kryty a ochranná víka	15
3.6 Oddělení.....	16
3.7 Ochranné uzemnění, funkční uzemnění a vyrovnání potenciálů	17
3.8 Trvalé unikající proudy a pomocné proudy pacientem.....	17
3.9 Elektrická pevnost.....	18
4. Návrh generátoru pro testování elektrické pevnosti	20
4.1 Popis funkce přístroje:	20
4.2 Popis jednotlivých bloků zapojení:	21
4.2.1 Vstupní odrušovací filtr	21
4.2.2 Transformátor	22
4.2.3 Transformátor a usměrňovač pro napájení panelového měřidla	24
4.2.4 Stabilizátor napětí, přepínač napájení, baterie	25
4.2.5 Panelové měřidlo:	26
4.2.6 Nabíječka olovených akumulátorů.....	26
4.2.7 Akumulátor	26
4.2.8 Usměrňovač pro napájení vlastního spínaného zdroje.....	27
4.2.9 Volba napájení a indikace stavu napájení	27
4.2.10 Obvod proudové ochrany.....	28
4.2.11 Řídící obvod.....	29
4.2.12 Impulsní transformátor:.....	30
4.2.13 Zdvojovač napětí.....	31
4.2.14 Odporové děliče	32
Závěr:	34
Seznam symbolů :	35
Seznam použitých zkratk a užitých pojmů:	36
Seznam použité literatury:	37
Seznam příloh:	38

Úvod:

V současné době, kdy dochází ke stále většímu rozvoji zdravotnických přístrojů a zdravotnické techniky a tím také k riziku ohrožení osob vzniklou poruchou tohoto zařízení. Snažíme se o snižování rizika úrazu elektrickým proudem ať už při konstrukci nebo provozu zdravotnických zařízení. Protože působením elektrického proudu může u člověka, podle okolností, dojít od sotva znatelných pocitů přes nepříjemné stavy, křečovitě stahy svalů s nemožností uvolnění sevření vlastní silou až k těžkým popáleninám, výpadku dýchání a zejména ke vzniku komorové fibrilace s následkem smrti.

U zdravotnických zařízení mohou vzniknout nebezpečí ohrožující veškeré osoby, které by mohly s přístrojem přijít do styku, jejichž příčinami mohou být:

- nesprávná funkce zařízení nebo jeho porucha
- energie, dodávané při normální funkci (např. unikající proudy nebo funkční proudy tekoucí z defibrilátoru nebo vysokofrekvenčního chirurgického přístroje nežádoucími cestami pacientem nebo obsluhou).
- poruchové stavy
- nesprávná instalace zdravotnického elektrického přístroje (např. nevhodné uzemnění)
- nesprávné použití zdravotnického elektrického přístroje (např. volba nesprávné stupnice energie při použití defibrilátoru)
- elektromagnetické rušení (např. rušení vysokofrekvenčními chirurgickými přístroji na displeji EKG monitoru)

Některými nebezpečími je z různých důvodů ohrožen zejména pacient:

- absence ochrany před úrazem elektrickým proudem, normálně poskytované odporem pacientovy pokožky
- použití elektrických obvodů, připojených přes nízkou impedanci k pacientovi. Toto nebezpečí existuje při zcela nízkých proudových úrovních, je-li přístroj připojen přímo k pacientovu srdci.
- zanesení iontů kovů do pacientovy pokožky průchodem stejnosměrného proudu
- nespolehlivost nebo závada přístroje použitého k podpoře nebo náhradě životních tělesných funkcí
- současné připojení více než jednoho zdravotnického elektrického přístroje k pacientovi

Těmto rizikům je vystavena i obsluha zdravotnických elektrických přístrojů mohou být usmrceni nebo popáleni např. vysokonapětovým výstupem defibrilátorů nebo vysokofrekvenčních chirurgických přístrojů. Cílem je, aby tyto rizika byly sníženy na hodnoty ještě nižší než jsou přípustné pro pacienta.

Zásada elektrické bezpečnosti přístrojů i systémů je důsledně vyžadována za řady okolností. Při instalaci, provozu za normálního použití ani při provádění údržby podle návodu výrobce nesmí dojít k ohrožení bezpečnosti, které lze rozumně předvídat a které není spojeno se zamýšlenou aplikací. Tento požadavek platí za normálních podmínek a rovněž při stavu jedné závady. I v případě, že u daného přístroje či systému nastane více poruch najednou, jsou tyto závady dle normy ČSN EN 60601-1 posuzovány jako stav jedné závady.

Proto jsou veškerá rizika spojená s poruchou zdravotnických el. přístrojů středem zájmů výrobců, zkušeben, uživatelů i obsluhy zdravotnických elektrických přístrojů. Z tohoto důvodu jsou zavedeny stávající normy, aby nemohlo dojít ohrožení osob či jejich majetku.

U zdravotnických elektrických přístrojů dochází ke zvyšování nároků na testování daných současnými normami, zaměříme se hlavně na požadavky na zdravotnické přístroje z hlediska elektrické bezpečnosti a na testování těchto přístrojů dle stávajících norem, hlavně dle požadované normy ČSN EN 60601-1. Předmětem této normy je stanovení všeobecných požadavků na bezpečnost

zdravotnických elektrických přístrojů. I když se tato norma přednostně zabývá bezpečností, obsahuje některé požadavky týkající se spolehlivosti, pokud přímo souvisí s bezpečností. Ohrožení bezpečnosti, vyplývající z fyziologické funkce přístroje pro který platí tato norma se nebere v úvahu.

Je nemožné identifikovat v základní normě každé možné ohrožení pro každý typ zdravotnického elektrického přístroje. Z toho vyplývá potřeba zvláštních norem, ale je stejně nemožné vypracovat tolik zvláštních norem, aby podchytily každý nový typ přístroje, jakmile se stane dostupným.

Postihuje-li zvláštní norma všechna možná ohrožení u konkrétního přístroje, lze přístroj přímo hodnotit. Při absenci příslušných norem však "neuzavřená" kritéria typu ". . . kde může dojít k ohrožení . . ." podle stávajícího vydání IEC 601-1 vybízejí k vyšetření všech možných ohrožení. Toto poskytuje dostatečně zkušeným příležitost vyšetření všech možných ohrožení a použití všeobecných požadavků normy, podle okolností, k zabývání se těmito ohroženími. Přitom ovšem tato situace vede k různým výkladům konstruktéry přístrojů a zkušebními. Je zřejmé, že přístroj pro provádění testování zdravotnických přístrojů musí splňovat podmínky příslušných ČSN, a to jednak obecných norem, podle kterých musí být konstruován a jednak musí umožnit měření parametrů revidovaného el. zařízení takovým způsobem a v takové kvalitě, jak to požadují příslušné normy pro revizi měřeného zařízení.

Vzhledem k požadavkům na testování zdravotnických přístrojů, které jsou testovány za nejméně příznivých podmínek a vysokých hodnot napětí, aniž by došlo k poruše zařízení či ohrožení osob. Jsou přístroje, které v tomto testování obstojí dostatečně bezpečné a vyhovující pro užití ve zdravotnických zařízeních. Přístroje vzhledem k postupům pro jejich testování jsou odolné veškerým přechodovým jevům vzniklých např. při výpadcích napájení (vzniklé napěťové špičky by se neměly nijak projevit). Určujícím parametrem je zde kvalita vnitřního zdroje použitého přístroje, který je testován mnohem vyšším napětím, než jaké by mohlo v elektrické síti vzniknout. Parametry síťového napětí jsou totiž přesně dané normou o kvalitě elektřiny v distribuční soustavě, kde je přesně stanoveno jaké parametry by mělo splňovat dodávané síťové napětí i vzhledem k možným nepříznivým podmínkám.

1. Určující parametry pro posuzování kvality zdravotnických přístrojů:

Jako jedny z nejdůležitějších parametrů z hlediska elektrické bezpečnosti zdravotnických přístrojů jsou považovány elektrická pevnost přístroje, měření impedance smyčky a unikající proudy, jež by mohly ohrozit zdraví obsluhy či pacienta. V rámci této kapitoly jsou vysvětleny pojmy elektrická pevnost přístroje, měření impedance smyčky a unikající proudy, budou zmíněny vhodné přístroje pro jejich měření.

1.1 Elektrická pevnost

Elektrická pevnost zařízení je posuzována podle nejmenšího napětí, které způsobí za určitých okolností (tlak, teplota, vlhkost a jiné) na zařízení průraz a nebo přeskok. Toto napětí (U_p) záleží hlavně na rozměrech, izolačním materiálu přístroje a jeho tloušťce (průrazné napětí každého materiálu izolantu je jiné, např. teflon snese více než 10kV/mm). Dále závisí na tvaru elektrického pole, na všeobecném časovém průběhu elektrického namáhání. Izolant je elektricky namáhán, je-li vystaven účinku elektrického pole, tedy u rázového pole na tvaru napěťového rázu a na tom, v kterém místě rázové vlny průraz vznikne. U střídavého namáhání na kmitočtu a na době, po kterou je izolant elektricky namáhán (udává se efektivní, nebo vrcholová hodnota).

Největší vliv na elektrickou pevnost izolantů má doba namáhání, překročí-li napětí mezi elektrodami, které se nacházejí v izolačním prostředí, určitou velikost, vznikají podle úvahy a

napájecího obvodu více nebo méně náhlé jevy, které vedou k průrazu nebo k přeskoku. V izolantu vzniká výboj, kterým se vytvoří vodivé spojení mezi elektrodami. Přitom hovoříme o průrazu, probíje-li pevný či kapalný izolant. O přeskoku mluvíme, jestliže se výboj po povrchu pevného izolantu, který se nachází ve vzduchu nebo tekutém izolačním prostředí; dále hovoříme o přeskoku, když probíje vzduch.

Průraz je charakterizován náhlým velkým proudem (pokud má zdroj dostatečný výkon), jasně svítící ohnivou stopou mezi elektrodami, vysokou teplotou, která zuhelnatuje, taví nebo zplyňuje izolant, a mechanickými účinky, jako tlakovou vlnou u kapalných izolantů a roztržení materiálu a izolantů pevných. Pevné izolanty ztrácejí průrazem svoji izolační schopnost. Pevné i kapalné izolanty se průrazem rozkládají, zejména izolanty organické. Mnohé izolanty se před průrazem začnou v určité své části značně zahřívat a chemicky se měnit, až příslušným místem začne procházet výboj doprovázený zmíněnými vedlejšími účinky. Průraz se jeví v pevných izolantech otvorem, vypáleným kanálem, rozbitím resp. roztavením izolantu, tedy poškozením materiálu. Rozsah poškození je dán množstvím energie, kterou je schopen zdroj při průrazu dodat.

Požadované parametry měřicího zařízení:

Jedním z požadavků normy je, že generátor určený pro zjišťování elektrické pevnosti musí být dostatečně „tvrdý“ zdroj. Dalším požadavkem na měřicí zařízení pro testování el. pevnosti, je že parametry měřicích obvodů musí splňovat příslušnou normu ČSN EN 61010-1.

Testery slouží ke kontrole izolační pevnosti různých druhů materiálů - testování se provádí vysokým napětím řádů kilovoltů. U některých testerů je možno zvolit mezi užitím střídavého výstupního napětí, či napětí stejnosměrného. Testery mohou být buď jednoduché (umožňující pouze kontrolu elektrické pevnosti dielektrik) nebo kombinované (umožňující provést například zkoušku vodivosti, izolačního odporu či unikajícího proudu). Testery se konstruují ve stolním provedení, u testerů vyšších napětí řádově desítek kV se vlivem jejich objemnosti užívá provedení pojízdné. Pro testery užívané pro testování přístrojů napájených síťovým napětím je typické výstupní napětí od 4,5kV do 6kV při uvažovaném výstupním proudu od 10mA do 40mA, ve vyjimečných případech až 100mA. Příkladem mohou být přístroje firmy Tectra např. typ 2705A, RXS50(56) a PC7P.

1.2 Impedance smyčky

Jedná se o měření impedance přívodních kabelů. Impedance smyčky Z_s (odpor smyčky svodového proudu) musí tak malá, že při svodu na kostru proteče proud schopný odpojit předřazený nadproudový jistič. Protože vypínací proud (zkratový proud) nelze přímo změřit, je zjištěn odpor (impedance zkratové smyčky) mezi fázovým a ochranným vodičem. Měření impedance smyčky se provádí na přívodním kabelu k přístroji, pomocí přepínatelného měřicího přístroje. Napětí se změří při nezátíženém a zatíženém obvodu mezi fází a ochranným PE vodičem. Z rozdílu napětí se určí impedance svodové smyčky.

Požadované parametry měřicího zařízení:

Jedním z požadavků normy je, že přístroj určený pro zjišťování impedance smyčky musí být dostatečně přesný a schopný změřit malé hodnoty impedance. Dalším požadavkem na měřicí zařízení pro měření impedance smyčky, je že parametry měřicích obvodů musí splňovat příslušnou normu ČSN EN 61010-1.

Přístrojem pro provádění měření může být například přístroj MEDITEST 50, který je určen přímo pro kontroly zdravotnických přístrojů. Přístroj měří v rozsahu 0 – 19,99W s rozlišením 0,01W a chybou měření $\pm 2\%$ z měřené hodnoty +3 digit. Měřicí napětí přístroje naprázdno je 4 - 10V při měřicím proudu 1200mA (pro odpor menší než 2Ω).

1.3 Unikající proudy

Jedná se o proudy protékající ochranným vodičem. Není-li izolace spotřebiče dostatečně kvalitní, tzn. nemá dostatečně veliký izolační odpor, může přes ni na jeho povrch proniknout ze sít'ové části napětí vůči zemi, které při propojení takovéto dotyku přístupné části spotřebiče se zemí způsobí tok proudu. Je-li tato část krytu spotřebiče spojena s PE vodičem, proud unikající přes izolaci jím odtéká přes obvod PE vodiče elektrické instalace do uzemnění. Pokud je spotřebič spojen se zemí ještě jiným způsobem, než přes ochranný vodič, tedy je tzv. „náhodně uzemněn“. Potom část unikajícího proudu odtéká do země přes náhodné uzemnění. Ovšem i tuto část unikajícího proudu je třeba měřením zjistit, neboť je nutno počítat s možností přerušení náhodného uzemnění a celý unikající proud pak bude odtékat PE vodičem.

Měřením se ověřuje schopnost izolací spotřebiče zabránit úniku nežádoucího proudu ze sít'ové části na dotyku přístupné části spotřebiče. Pokud by jejich vodivé spojení s uzemněním nebylo dostatečně kvalitní, potom na odporu tohoto vodivého spojení vznikne dotykové napětí, které může způsobit úraz el. proudem. Unikající proud totiž v tomto případě teče částečně nebo úplně přes osobu dotýkající se přístupné části spotřebiče.

Požadované parametry měřícího zařízení:

Jedním z požadavků normy je, že pokud uživatel měří proud ochranným vodičem tzv. přímou metodou, musí jej přístroj prokazatelně upozornit na nutnost izolovaného uložení spotřebiče, např. napsáním na displeji, na štítku přístroje apod. Další požadavky na měřící zařízení pro měření proudu protékajícího PE vodičem jsou uvedeny v příloze E normy ČSN 33 1610 a týkají se především parametrů měřících obvodů. Je tedy na výrobci, aby přístroj tyto požadavky splňoval. Pro praktické provádění měření je důležité, aby přístroj umožňoval měření se změnou polaritativy napájení pracovních vodičů. Pozn.: Pod pojmem změna polaritativy pracovních vodičů je v textu myšlena změna jejich připojení k napájení z elektrické instalace (záměna L-N).

Pro měření unikajících proudů je možné opět použít již zmíněný přístroj MEDITEST 50, který umožňuje použít pro měření unikajících proudů tři metod. Metodu přímou, nepřímou a metodu rozdílovou. U těchto metod se používá měřící napětí $230\text{ V} \pm 10\%$ / 50 Hz s omezením měřeného unikajícího proudu na hodnotu $12\text{ mA} \pm 2\text{ mA}$. Rozdíl těchto metod při měření unikajícího proudu je v rozsahu měření a chybě měření, jinak jsou tyto metody adekvátní.

Aby mohly být měřící přístroje uvedeny do zkušeben určených pro testování zdravotnických přístrojů, nesmí především jeho provoz ohrozit bezpečnost obsluhy nebo jiných osob. Toto by měla zajistit jeho shoda s bezpečnostními normami, především s ČSN EN 61010-1 (bezpečnostní požadavky na elektrická měřící, řídicí a laboratorní zařízení) nebo s jejími evropskými ekvivalenty. Dále by měl přístroj splňovat požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC), tzn. odolnost přístroje vůči vnějším elektromagnetickým rušivým vlivům a naopak rušení, které přístroj sám produkuje musí být v tolerancích daných příslušnými normami. Soulad parametrů přístroje s obecnými normami by měl zajistit výrobce nebo u dovážených výrobků posoudit dovozce a tuto shodu deklarovat vydáním prohlášení o shodě.

Pokud výrobce či dovozce neuvede seznam příslušných norem v průvodní dokumentaci k přístroji, například v návodu k použití, není na škodu vyžadovat při nákupu přístroje od prodejce prohlášení o shodě se seznamem norem, podle kterých byla shoda posuzována. Jinak postačí mít od prodejce potvrzené ujištění (např. na faktuře), že prohlášení o shodě bylo vydáno.

Všeobecně je od měřících přístrojů určených pro testování zdravotnických zařízení požadována vysoká citlivost, přesnost a celková kvalita těchto přístrojů.

2. Všeobecné zkušební požadavky

2.1 Zkoušky

Zkoušky popsané v normě 60601-1 jsou zkoušky typové. U zdravotnických elektrických přístrojů se zkouší pouze izolace, součástky a konstrukční vlastnosti, při jejichž závadě může dojít k ohrožení bezpečnosti za normálních podmínek nebo při stavu jedné závady.

2.2 Opakování zkoušek

Pokud není uvedeno jinak, nesmí se zkoušky opakovat. Platí to zvláště pro elektrické pevnosti, které se provádějí pouze u výrobce nebo v autorizovaných zkušebnách.

2.3 Počet vzorků

Příslušné zkoušky se provádějí vždy na jednom reprezentativním vzorku příslušné zkoušené položky. Výjimečně lze vyžadovat další vzorek

2.4 Součástky

Všechny součástky, jejichž závada by mohla způsobit ohrožení bezpečnosti, musí být v přístroji schopny odolávat namáhání při normálním použití a musí vyhovovat požadavkům v odpovídajícím oddílu této normy. Splnění použití součástek se kontroluje prohlídkou. Součástka nebo část přístroje, jejíž uvedené jmenovité hodnoty přesahují hodnoty příslušného použití v přístroji, se pro uvedený širší rozsah hodnot nezkouší.

2.5 Teplota, vlhkost, atmosférický tlak

a) Po nastavení přístroje pro normální použití, po počáteční aklimatizaci ve vlhku. Kdy se přístroj před zahájením zkoušek ponechá v klidu a na místě kde se bude zkoušet, nejméně po dobu 24 hodin. Před konkrétní sérií zkoušek se nechá přístroj v provozu dle potřeby při stanoveném napětí v souladu s návodem k obsluze.

Následně se provedou zkoušky dle následujících podmínek:

- teplota okolí v rozsahu 15° C až 35° C
- relativní vlhkost v rozsahu 45% až 75%
- atmosférický tlak v rozsahu 860 hPa až 1060 hPa (645 Torr až 795 Torr)

V případě referenčních zkoušek (pokud výsledky závisí na podmínkách okolí) se rozeznávají tři soubory stanovených atmosférických podmínek a doporučuje se, aby se při libovolné konkrétní aplikaci použil jen jeden z nich (tabulka 1).

Tabulka 1 - Stanovené atmosférické tlaky

	a	b	c
Teplota °C	20±2	23±2	27±2
Relativní vlhkost %	65±5	50±5	65±5
Atmosférický tlak, hPa	860 až 1060 (645 Torr až 795 Torr)		

b) Přístroj musí být chráněn před jinými vlivy (např. před průvanem), které by mohly ovlivnit platnost zkoušek.

c) V případě, kdy nelze udržet teplotu okolí, mají se zkušební podmínky odpovídajícím způsobem změnit a výsledky opravit.

2.6 Další podmínky

- a) Pokud není stanoveno jinak, má se přístroj zkoušet při nejméně příznivých stanovených provozních podmínkách v souladu s návodem k obsluze.
- b) Přístroj, jehož provozní hodnoty může nastavit nebo ovládat obsluha, musí být nastaven během zkoušek na nejméně příznivé hodnoty pro příslušnou zkoušku v souladu s návodem k obsluze.
- c) Pokud jsou výsledky zkoušek ovlivněny vstupním tlakem a průtokem chladicí kapaliny nebo jejím chemickým složením, provádí se zkouška v rozsahu mezních hodnot podle podmínek, uvedených v technickém popisu.
- d) Při kterékoliv zkoušce se nesmí za stavu jedné závady simulovat více než jedna závada.
Za stav jedné závady se považuje:
 - přerušení ochranného uzemňovacího vodiče
 - přerušení jednoho napájecího vodiče
 - objevení vnějšího napětí na příložené části typu F
 - objevení se vnějšího napětí na vstupu signálu nebo části výstupu signálu
 - závada elektrického prvku (součástky), která může způsobit ohrožení bezpečnosti
 - závada zařízení, omezujícího teplotu
- e) Kde je požadována chladicí kapalina, použije se pitná voda

2.7 Napájecí a zkušební napětí, druh proudu, druh napájení a kmitočet

Podle dané normy může síťové napětí kolísat. Toto kolísání se pro termín „stanovená“ (hodnota) neuvažuje.

a) Jsou-li výsledky zkoušky ovlivněny odchylkami napájecího napětí od stanovené hodnoty, bere se účinek těchto odchylek v úvahu. Průběh napájecího napětí musí odpovídat tak, aby přístroj vhodný pro napájení mající:

- stanovené napětí, nepřesahující:
 - 250V pro ruční přístroj
 - 250V stejnosměrného nebo jednofázového střídavého případně 500V vícefázového střídavého pro přístroj se stanoveným zdánlivým příkonem do 4 kVA
 - 500V pro všechny ostatní přístroje
- dostatečně nízkou vnitřní impedanci (může být požadována zvláštní normou)
- kolísání napětí nepřesahující $\pm 10\%$ jmenovitého napětí, s výjimkou okamžitých kolísání přesahujících -10% a netrvajících déle než 1s, ke kterým například dochází v nepravidelných intervalech v důsledku provozu rentgenových generátorů nebo podobných přístrojů.
- napětí nepřesahující hodnotu $+10\%$ mezi veškerými vodiči systému nebo mezi libovolným z uvedených vodičů a zemí
- napětí prakticky sinusového průběhu a tvořící symetrickou napájecí soustavu v případě vícefázového napájení.

Střídavé napětí se považuje za prakticky sinusové, pokud se jeho okamžitá hodnota neliší od okamžité hodnoty ideálního průběhu ve stejném okamžiku o více než $\pm 5\%$ špičkové hodnoty ideálního průběhu není-li. uvedeno jinak.

Vícefázová napěťová soustava se považuje za souměrnou, pokud velikost jejich protiběžných složek ani velikost jejich nulových složek nepřesahuje 2% velikosti jejich sousledných složek. Vícefázová napájecí soustava se považuje za souměrnou, pokud je při napájení ze souměrné napájecí

soustavy výsledná proudová soustava souměrná. Znamená to, že ani velikost zpětných proudových složek, ani velikost nulových proudových složek nepřesáhne 5 % velikostí sousledných proudových složek.

- kmitočet nepřesahující 1 kHz
- kmitočet nelišící se o více než 1 Hz od jmenovité hodnoty do 100 Hz a o více než 1 % od jmenovité hodnoty v rozsahu od 100 Hz do 1 kHz
- ochranná opatření jež jsou uvedena v IEC 364

Střídavé zkušební napětí nižší než 1000V nebo stejnosměrné napětí, případně špičková hodnota nižší než 1500V, se nesmí lišit od stanovené hodnoty o více než 2%. Střídavé zkušební napětí, které se rovná nebo je vyšší než 1000V nebo stejnosměrné napětí případně špičková hodnota vyšší než 1500V, se nesmí lišit od stanovené hodnoty o více než 3%.

b) Přístroj určený pouze pro střídavý proud se zkouší střídavým proudem o stanoveném kmitočtu (pokud je uveden) ± 1 Hz v rozsahu 0 až 100 Hz a ± 1 Hz nad 100 Hz. Přístroj s označeným stanoveným rozsahem kmitočtu se zkouší při nejméně příznivém kmitočtu z tohoto rozsahu.

c) Přístroj, určený pro více než jedno stanovené napětí, nebo pro střídavý a stejnosměrný proud, se zkouší za podmínek (popsaných v 2.6), odpovídajících nejméně příznivému napětí a druhu napájení, například počtem fází (s výjimkou jednotlivého napájení) a druhem proudu.

d) Přístroj, určený pouze pro stejnosměrný proud, se zkouší stejnosměrným proudem. Možný vliv polarity na provoz přístroje se bere v úvahu podle návodu k obsluze.

e) Pokud není v této nebo ve zvláštní normě uvedeno jinak, zkouší se přístroj při nejméně příznivém stanoveném napětí příslušného rozsahu. K nastavení tohoto nejméně příznivého napětí bude někdy nutné provést některé zkoušky více než jednou.

f) Přístroj, pro který jsou k dispozici různá příslušenství nebo součástky stanovené výrobcem, se zkouší s těmi, se kterými se dosáhne nejméně příznivých podmínek.

g) Přístroj, který je určen k použití se stanoveným napájením, například s ohledem na napětí, kapacitu, izolační odpor vůči zemi a podobně, se zkouší s tímto stanoveným napájením.

h) Napětí a proudy se měří přístroji, které podstatně neovlivní velikost měřených hodnot.

2.8 Opravy a úpravy

V případě, že je nutno provést opravy nebo úpravy přístroje po vzniku závady nebo při pravděpodobnosti budoucí závady během zkoušek, mohou se autorizovaná zkušebna a výrobce dohodnout buď na předložení nového vzorku na kterém se všechny zkoušky provedou znovu. Nebo přednostně na provedení všech nezbytných oprav nebo úprav, po jejichž zakončení se opakují pouze související zkoušky.

2.9 Vlhkostní příprava přístroje

Před zahájením zkoušek se musí přístroj bez zvláštní ochrany (obyčejný přístroj), přístroj chráněný proti kapající vodě a přístroj chráněný proti stříkající vodě, předběžně připravit ve vlhkostní komoře. Přístroj nebo části přístroje se připraví jako celek (v případě nutnosti po částech). Víka používaná během dopravy a skladování se odejmou. Tato zkouška se provádí pouze u těch částí přístrojů, u kterých je pravděpodobné ovlivnění klimatickými podmínkami, které jsou zkouškami simulovány. Části, které lze oddělit bez použití nástroje musí být odejmuty, ale zkouší se zároveň s hlavní částí. Dveře, zásuvky a přístupová víka, která lze otevřít nebo oddělit bez použití nástroje, se otevrou a oddělí.

Vlhkostní příprava přístroje se provádí ve vlhkostní komoře se vzduchem o relativní vlhkosti od 91% do 95%. Teplota vzduchu v komoře na všech místech, kde může být přístroj umístěn, se udržuje na jakékoliv vhodné hodnotě t z rozsahu teplot od $+20^{\circ}\text{C}$ do $+32^{\circ}\text{C}$ s tolerancí $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Před umístěním do vlhkostní komory se musí přístroj uvést na teplotu mezi t a $t + 4^{\circ}\text{C}$ a při této teplotě udržovat nejméně 4 hodiny před provedením vlhkostní přípravy.

Přístroj a části přístroje se musí ponechat ve vlhkostní komoře:

- 2 dny (48 hodin) obyčejný přístroj nebo jeho části
- 7 dní (168 hodin) přístroj chráněný proti kapající vodě a přístroj chráněný proti stříkající vodě nebo jejich částí.

Po ukončení vlhkostní přípravy se přístroj sestaví pokud je to nutné.

2.10 Pořadí zkoušek

Pokud lze, měly by se zkoušky provádět ve stanovené pořadí, není-li ve zvláštních normách uvedeno jinak. To nevylučuje provedení zkoušky, zjistí-li se při předběžné prohlídce, že by mohlo dojít k závadě.

Zkoušky se provádí v následujícím pořadí:

- 1) Označení
- 2) Příkon
- 3) Klasifikace
- 4) Omezení napětí a/ nebo energie
- 5) Kryty a ochranná víka
- 6) Oddělení
- 7) Ochranné uzemnění, funkční uzemnění a vyrovnání potenciálu
- 8) Mechanická pevnost
- 9) Pohyblivé části
- 10) Povrchy, rohy a hrany
- 11) Stabilita a transportovatelnost
- 12) Uvolněné části
- 13) Zavěšené hmoty
- 14) Nebezpečí ze záření
- 15) Elektromagnetická kompatibilita
- 16) Tlakové nádoby a části vystavené tlaku
- 17) Chyba lidského činitele
- 18) Teploty – Ochrana před požárem
- 19) Přerušování napájení
- 20) Přesnost provozních údajů a ochrana před nebezpečným výstupem
- 21) Abnormální provoz, poruchové stavy a zkoušky vlivu okolí
- 22) Trvalé unikající proudy a pomocné proudy pacientem při provozních teplotách
- 23) Elektrická pevnost a provozní teplota
- 24) Vlhkostní příprava přístroje
- 25) Zkouška elektrické pevnosti
- 26) Unikající proud po vlhkostní přípravě
- 27) Přetečení, rozlítí, únik, vlhkost a vniknutí kapalin. Čištění sterilizace a dezinfekce
- 28) Kryty a víka
- 29) Součástky a celkové sestavení
- 30) Síťové části, součásti a uspořádání
- 31) Konstrukce a uspořádání
- 32) Přístroje kategorie AP a kategorie APG
- 33) Ověření označení

Všeobecné požadavky

Přístroj nesmí při dopravě, skladování, instalaci, provozu za normálního použití a při údržbě podle návodu výrobce způsobovat ohrožení bezpečnosti, které lze rozumně předvídat a které není spojeno s jeho zamýšlenou aplikací za normálních podmínek i při stavu jedné závady. Pro zajištění správnosti zkoušení přístrojů postupujeme dle všeobecných zkušebních požadavků. (viz kapitola 2).

3. Provádění zkoušek z hlediska elektrické bezpečnosti dle současných norem:

3.1 Zkouška označení

Tato zkouška se kontroluje prohlídkou a zahrnuje kontrolu označení na vnějším povrchu přístroje nebo částí přístroje, označení uvnitř přístroje, označení ovládacích prvků a přístrojů, označení lékařských tlakových nádob a připojení, světelných návěstí a tlačítek a barev izolace vodičů.

3.2 Příkon

Kontrola je provedena prohlídkou a těmito zkouškami:

- a) Přístroj se obsluhuje podle pokynů, uvedených v návodu k obsluze, dokud příkon nedosáhne ustálené hodnoty. Proud nebo příkon se změří a srovná s hodnotami označenými na přístroji nebo v průvodní dokumentaci.
- b) Pokud je přístroj označen jedním nebo několika rozsahy stanoveného napětí, provádí se zkouška jak pro horní, tak pro dolní mezní hodnotu rozsahů, pokud se označení stanoveného příkonu nevztahuje na střední hodnotu příslušného rozsahu napětí. V tomto případě se zkouška provádí při napětí rovnajícím se střední hodnotě rozsahu.
- c) Ustálený proud se měří přístrojem pro efektivní hodnotu, například tepelným přístrojem. Pokud je příkon vyjádřen ve voltampérech, měří se buď voltampérmetrem, nebo se stanoví jako součin ustáleného proudu (měřeného podle uvedeného popisu) a napájecího napětí.

3.3 Klasifikace

Kontroluje se prohlídkou, přístroj je klasifikován označením případně identifikací.

Klasifikace je dělena:

- dle typu ochrany před úrazem elektrickým proudem (přístroje napájené z vnějšího zdroje elektrické energie – třída I a II, nebo přístroje s vnitřním zdrojem energie).
- dle stupně ochrany před úrazem elektrickým proudem (přístroj typu B, BF nebo CF)
- dle stupně ochrany před škodlivým vniknutím vody
- dle metod sterilizace a dezinfekce
- dle stupně bezpečnosti použití za přítomnosti hořlavých látek (přístroj nevhodný, přístroj kategorie AP nebo kategorie APG)
- dle režimu provozu: (trvalý, krátkodobý, přerušovaný, trvalý provoz s krátkodobým zatížením nebo přerušovaným zatížením).

3.4 Omezení napětí a / nebo energie

– kontroluje se dle této zkoušky:

Přístroj pracuje při stanoveném napětí nebo při horní mezní hodnotě stanoveného rozsahu napětí. Přístroj se odpojí od síťového rozvodu vidlicí, síťový vypínač je v poloze Zapnuto nebo Vypnuto, podle toho, která z poloh je méně příznivá. Napětí mezi kolíky vidlice a mezi kterýmkoliv kolíkem a krytem se změří 1 sekundu po odpojení přístrojem, jehož vnitřní impedance neovlivní výsledek zkoušky. Naměřená napětí nesmí být vyšší než 60V. Zkouška se provede desetkrát.

Zkouška napětí mezi vodiči se neprovádí, pokud jsou mezi vodiči připojeny odrušovací kondenzátory o kapacitě mezi každým vodičem a zemí menší než 3000 pF pro stanovená napětí nepřesahující 250 V, nebo 5000 pF pro stanovená napětí nepřesahující 125V. Zkouška napětí mezi vodiči se neprovádí, pokud jsou mezi vodiči připojeny odrušovací kondenzátory s hodnotou nepřesahující 0,1 μ F.

Pokud není možné automatické vybití a přístupová víka lze odstranit pouze nástrojem, přípouští se zařízení, které je součástí přístroje a které umožňuje ruční vybití. V tom případě musí být kondenzátory a/ nebo připojené obvody označeny. V tomto případě se neprovádí předešlá zkouška, ale zkouška, při níž se přístroj v provozu při stanoveném napětí vypne.

Všechna přístupová víka která jsou na přístroji za normálního použití se odstraní tak rychle, jak je možné. Ihned potom se změří zbytkové napětí na všech přístupových kondenzátorech nebo místech obvodů a vypočte se zbytková energie. Pokud výrobce užil neautomatické vybíjecí zařízení, zjistí se, zda je instalováno a zkontroluje se jeho označení.

3.5 Kryty a ochranná víka

Kontroluje se prohlídkou a zkouškou normalizovaným zkušebním prstem, použitým v ohnuté nebo přímé poloze. Kromě toho se zkušebním trnem zkoušejí otvory v přístroji kromě těch, které umožňují přístup k živým částem v zástrčkách, konektorech a zásuvkách.

Normalizovaný zkušební prst a zkušební trn se přikládají bez vynaložení zvláštní síly v každé možné poloze přístroje s výjimkou, že je-li určen k použití na podlaze a jeho hmotnost přesahuje ve všech provozních podmínkách 40 kg, se nenaklání. Přístroj, který je podle příslušného technického popisu určen k vestavění do skříně, se zkouší v poloze, ve které je užíván.

Otvory zabraňující vniknutí normalizovaného zkušebního prstu se zkouší mechanicky příslušným bezkloubovým zkušebním prstem o stejných rozměrech, jenže se aplikuje silou 30N. Pokud tento prst projde, opakuje se zkouška normalizovaným prstem, přičemž se prst podle potřeby otvorem protlačí.

Normalizovaný zkušební prst nebo zkušební trn se nesmí dotknout základní izolace, holých živých částí nebo živých částí, které jsou chráněny pouze lakem, emailem, obyčejným papírem, bavlnou, oxidovou vrstvou, těsníci tmely nebo částí bez ochranných uzemnění, oddělených od síťové části pouze základní izolací. K signalizaci, v případě, že došlo k dotyku s živými částmi se doporučuje používat žárovku a zkušební napětí nejméně 40 V.

Otvory přístroje se mechanicky zkouší zkušebním háčkem, pokud leze háček do otvorů zasunout. Zkušební háček se zasouvá do všech otvorů a následně vytahuje silou 20 N po dobu 10 s ve směru kolmém na povrch, ve kterém se otvor nachází. Žádná živá část se nesmí stát přístupnou a nesmí dojít ke snížení hodnot povrchových cest a vzdušných vzdáleností živých částí.

3.6 Oddělení

Kontroluje se měřením a příslušnou prohlídkou. Pokud je povrchová cesta a/ nebo mezi příložnou částí a živými částmi nesplňuje požadavky, musí se taková povrchová cesta a/ nebo vzdušná vzdálenost zkratovat. Unikající proud pacientem se následně změří. Přitom nesmí být mezní hodnoty pro normální podmínky podle tabulky 2 překročeny.

Pokud při prohlídce příložné části, při prohlídce ochranné uzemněné kovové části a při prohlídce vloženého obvodu vzniknou pochybnosti o účinnosti oddělení při stavu jedné závady. Změří se unikající proud pacientem a pomocný proud pacientem při zkratování izolace mezi živými částmi a příložnou částí, nebo mezi živými částmi a vloženým obvodem.

Přechodové proudy vznikající během prvních 50ms po zkratování obvodu se neberou v úvahu. Po uplynutí 50ms nesmí unikající proud pacientem a pomocný proud pacientem přesáhnout přípustnou hodnotu pro stav jedné závady. Kromě toho se zkouškou přístroje a/ nebo jeho obvodů zjišťuje, zda jsou omezení unikajících proudů a/ nebo pomocného proudu pacientem závislá na izolačních vlastnostech přechodů polovodičových prvků, zařazených mezi příložnou část a síťovou část, nebo příložnou část a jiné živé části, případně u příložných částí typu F mezi příložnou část a uzemněné části.

V případě zařazení takových polovodičových prvků se postupně jeden po druhém zkratují, aby se simulovalo poškození příslušného polovodičového přechodu. Zjistí se, zda nejsou překročeny přípustné hodnoty unikajících proudů a pomocných proudů pacientem za stavu jedné závady.

Tabulka 2 - Přípustné hodnoty trvale unikajících a pomocných proudů pacientem

Proud, mA		Typ B		Typ BF		Typ CF	
		NP	JZ	NP	JZ	NP	JZ
Unikající proud do země		0,50	1,00 ¹⁾	0,50	1,00 ¹⁾	0,50	1,00 ¹⁾
Unikající proud do země přístroje podle pozn. 2) a 4)		2,50	5,00 ¹⁾	2,50	5,00 ¹⁾	2,50	5,00 ¹⁾
Unikající proud do země přístroje podle pozn. 3)		5,00	10,00 ¹⁾	5,00	10,00 ¹⁾	5,00	10,00 ¹⁾
Unikající proud krytem		0,10	0,50	0,10	0,50	0,10	0,50
Unikající proud pacientem		0,10	0,50	0,10	0,50	0,01	0,05
Unikající proud pacientem při síťovém napětí na části vstupu signálu nebo části výstupu signálu		-	5,00	-	-	-	-
Unikající proud pacientem při síťovém napětí na příložné části		-	-	-	5,00	-	0,05
Pomocný proud pacientem	stejnoseměrný	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05
	střídavý	0,10	0,50	0,10	0,50	0,01	0,05

NP - normální podmínky

JZ - stav jedné závady

Poznámky k tabulce 2:

- 1) Jedním stavem jedné závady pro unikající proud do země je přerušení jednoho napájecího vodiče v daný okamžik.
- 2) Přístroj, který nemá ochranně uzemněné přístupné části a prostředky pro ochranné uzemnění jiného přístroje a který splňuje požadavky na unikající proud krytem a unikající proud pacientem (pokud to připadá v úvahu) například některé počítače se stíněnou síťovou částí
- 3) Pevně připojený přístroj s ochranným uzemňovacím vodičem, který je elektricky připojen tak, že se spojení může uvolnit pouze nástrojem a který je upevněn nebo mechanicky zabezpečen na určeném místě tak, že jej lze přemístit pouze po použití nástroje

- hlavní části rentgenových pracovišť, například rentgenový generátor, vyšetřovací nebo ošetřovací stůl
 - přístroj s topnými prvky a anorganickou izolací
 - přístroj s unikajícím proudem do země vyšším než hodnota prvního řádku tabulky 2 v důsledku splnění požadavků na potlačení vysokofrekvenčního rušení
- 4) Mobilní rentgenový přístroj a přístroj s anorganickou izolací

3.7 Ochranné uzemnění, funkční uzemnění a vyrovnání potenciálů

Kontroluje se prohlídkou a zkouškami. Proud o nejmenší hodnotě 10A a nepřesahující 25A ze zdroje proudu o kmitočtu 50Hz nebo 60Hz s napětím naprázdno nepřesahujícím 6V prochází alespoň po dobu 5s přes ochrannou uzemňovací svorku, ochranný uzemňovací kontakt v přívodce nebo ochranný uzemňovací kolík v síťové vidlici a každou přístupnou kovovou část, která se může stát živou v případě porušení základní izolace. Změří se pokles napětí mezi popsány částmi. Impedance se určí z hodnot proudu a úbytku napětí. Nesmí však dojít k překročení uvedených hodnot.

Dále kontrolujeme měřením unikajících proudů krytem za stavu jedné závady. Izolace se musí podrobit zkouškám elektrické pevnosti.

3.8 Trvalé unikající proudy a pomocné proudy pacientem

– kontrola se provádí měřením uvedených proudů.

Unikající proudy, jsou proudy, které tečou ze síťové části přes izolaci přímo do uzemňovacího vodiče, do země nebo jiné části krytu. Velikost unikajícího proudu ovlivňuje především stav izolace mezi vzájemně izolovanými částmi spotřebiče, ale také kapacitní a indukční vazby mezi těmito částmi. Měřením unikajícího (dotykového) proudu se zjišťuje, jaký proud by protékal tělem člověka dotýkajícího se přístupných (neživých) částí spotřebiče třídy II. U spotřebičů třídy I by změřený unikající proud protékal lidským tělem po přerušení ochranného vodiče.

Měření unikajícího proudu do země

- a) Přístroj třídy I s příložnou částí nebo bez ní se zkouší s použitím vhodného napájecího obvodu.
- b) Přístroj určený pro použití se stanoveným napájecím zdrojem třídy I se zkouší s použitím daného napájecího obvodu.

Je-li přístroj ochranně uzemněn provede se rovněž měření s MD2 (měřicí přípravek 2)

Měření unikajícího proudu krytem

- a) Přístroj třídy I s příložnou částí nebo bez ní se zkouší s použitím vhodného měřicího napájecího obvodu.

Měří se s MD1, připojeným mezi zem a každou část krytu která není ochranně uzemněna

Měří se s MD2, připojeným mezi částí krytu, které nejsou ochranně izolovány

- b) Přístroj třídy II s příložnou částí nebo bez ní s použitím vhodného měřicího napájecího obvodu bez ochranného uzemňovacího spojení.

Měří se s MD1 připojeným mezi kryt nebo každou část krytu (pokud je použita více než jedna) a zem. Měří se s MD2 připojenými mezi částí krytu nebo vždy mezi dva libovolné kryty, pokud je použit více než jeden.

- c) Přístroj určený pro připojení ke zdroji SELV a přístroj s vnitřním zdrojem energie se zkoušejí na unikající proud krytem, který teče mezi různými částmi krytu.

- d) Přístroj s příložnou částí nebo bez ní, určený pro použití se stanoveným jednofázovým zdrojem třídy I se zkouší s daným měřicím obvodem
- e) Pokud má přístroj kryt nebo část krytu z izolačního materiálu, použije se kovová fólie o minimálních rozměrech 20x10 cm v těsném styku s krytem nebo příslušnou částí krytu.

K tomu lze kovovou fólii přitisknout na izolační materiál tlakem přibližně 5 kPa. Kovová fólie se podle možností posouvá, aby bylo možné stanovit nejvyšší hodnotu proudu krytem. Dbá se, aby se kovová fólie nedotýkala žádných kovových částí krytu, které mohou být ochranně uzemněny. Kovové části krytu, které nejsou ochranně uzemněny, mohou být částečně nebo úplně kovovou fólií pokryty. Měří-li se unikající proud krytem za stavu jedné závady, může být kovová fólie umístěna tak, aby se dotýkala kovové části krytu. Pokud může být povrch krytu kterého se dotýká pacient nebo obsluha větší než plocha běžné ruky, zvětší se rozměr fólie podle skutečné plochy styku.

Měření proudu pacientem

- a) Přístroj třídy I s příložnou částí se zkouší s použitím vhodného napájecího měřicího obvodu. Pokud by se jednalo o přístroj třídy I s příložnou částí typu F, musely by být části vstupu a části výstupu signálu připojeny k zemi, pokud již nejsou trvale uzemněny v přístroji
- b) Přístroj třídy II se zkouší jako přístroj třídy I, ale bez použití ochranného uzemňovacího spojení. Unikající proud pacientem přístroje třídy II s příložnou částí typu F a vnějším napětím na příložné části se měří při spojení kovového krytu (pokud je na přístroji) se zemí. V případě přístroje třídy II s krytem z izolačního materiálu se přístroj umístí do všech poloh, které může zaujímat za normálního použití, na plochý kovový povrch, spojený se zemí, jehož rozměry jsou alespoň stejné jako půdorys krytu.

Pomocný proud pacientem je proud mezi částmi příložné části, tekoucí do pacienta za normálního použití, neurčený k vyvolání fyziologického účinku, například proud používaný v impedanční pletysmografii (vyšetřovací metoda, která slouží k hodnocení kvality prokrvení tkání).

Měření pomocného proudu pacientem

- a) Přístroj třídy I s příložnou částí se zkouší s použitím vhodného měřicího napájecího obvodu.
- b) Přístroj třídy II s příložnou částí se zkouší jako přístroj třídy I, ale bez ochranného uzemňovacího vodiče.
- c) Přístroj s příložnou částí, který je určen pro použití se stanoveným jednofázovým zdrojem se zkouší s použitím měřicího napájecího zdroje, ale bez ochranného uzemňovacího spojení, pokud je stanovený jednofázový zdroj třídy II.

3.9 Elektrická pevnost

Postupy při zkoušení elektrické pevnosti:

a) Zkušební napětí se přivádí pro jednofázový přístroj a pro třífázový přístroj (zkoušený jako jednofázový přístroj) se přivádí na části izolace po dobu 1 min a podle tabulky 3.

- okamžitě po zahřátí na provozní teplotu a po vypnutí přístroje, přičemž vestavěný síťový vypínač je vypnut

- nebo v případě topných prvků po zahřátí přístroje na provozní teplotu, přičemž se udržuje v provozu

- okamžitě po počáteční aklimatizaci přístroje ve vlhku, kdy se přístroj vypne během zkoušky a je ponechán ve vlhkostní komoře

- a po libovolné požadované sterilizaci, kdy je přístroj vypnut

Tabulka 3 - Zkušební napětí

Zkoušená izolace	Zkušební napětí pro provozní napětí U, V					
	$U \leq 50$	$50 < U \leq 150$	$150 < U \leq 250$	$250 < U \leq 1000$	$1000 < U \leq 10000$	$10000 < U$
Základní izolace	500	1000	1500	$2U + 1000$	$U + 2000$	¹⁾
Přídavná izolace	500	2000	2500	$2U + 2000$	$U + 3000$	¹⁾
Zesílená a dvojitá izolace	500	3000	4000	$2(2U + 1500)$	$2(U + 2500)$	¹⁾

¹⁾ v případě potřeby se stanoví ve zvláštní normě

- b) Průběh a kmitočet zkušebního napětí musí být takové, aby elektrické namáhání izolace nebylo menší, než k jakému by došlo v případě, kdy průběh a kmitočet zkušebního napětí se rovná hodnotám, které působí na různé části za normálního použití.
- c) Během zkoušky nesmí dojít k přeskoku nebo k průrazu. Lehké koronové výboje se neberou v úvahu za předpokladu, že ustanou, když se zkušební napětí dočasně sníží na zkušební hodnotu. Která však musí být vyšší než je provozní napětí U za předpokladu, že výboje nevyvolávají pokles zkušebního napětí.
- d) Dbá se, aby napětí přikládané nezesílenou izolaci nepřetížilo základní izolaci nebo přídavnou izolaci přístroje
- e) Pokud se používá přídavná fólie, postupuje se tak, že přístroj s přílohnou částí, určený k použití se stanoveným jednofázovým zdrojem, se zkouší s měřícím napájecím obvodem, ale bez ochranných uzemňovacích spojení, pokud je stanovený jednofázový zdroj třídy II. Dbá se, aby kovová fólie byla umístěna tak, aby nemohlo dojít k přeskoku na okrajích izolačního povlaku. Pokud lze, pohybuje se kovovou fólií tak, aby se vyzkoušely všechny části povrchu.
- f) Zařízení pro omezování napětí odvedením statického náboje, zapojené paralelně se zkoušenou izolací, se odpojí na straně, kde je přístroj uzemněn. Žárovky, elektronky, polovodičové nebo jiné automatické regulační prvky se mohou vyjmout nebo vyřadit z provozu, pokud je to k provedení zkoušky nezbytné. Ochranná zařízení připojená mezi přílohnou částí typu F a kryt se odpojí, pokud by se mohla uvést při zkušebním napětí nebo nižší hodnotě napětí do provozu.
- g) S výjimkou zkoušek izolace se svorky síťové části, části vstupu signálu, části výstupu signálu a přílohné části (pokud přichází v úvahu) během zkoušky zkratují.
- h) U motorů s kondenzátory, kde se může objevit rezonanční napětí U_c mezi bodem, kde jsou vinutí a kondenzátory spojeny a libovolnou svorkou pro vnější vodiče se přivede napětí o hodnotě $2U_c + 1000V$ mezi bod, kde jsou spojena vinutí s kondenzátorem a kryt nebo vodivé části, oddělené od živých částí pouze základní izolací. Během zkoušky se zde uvedené části rozpojí a kondenzátor zkratuje.

4. Návrh generátoru pro testování elektrické pevnosti

V návrhu jsem vycházel z požadavků na testování zdravotnických přístrojů uvedených v předešlých kapitolách, proto jsem navrhl generátor elektrické pevnosti o výstupním napětí 4500V a výstupním proudu do 30mA. Vzhledem k těmto parametrům a požadavku dosažení dostatečně „tvrdého“ zdroje, připadá v úvahu použití spínaného zdroje. Lineární zdroj by byl velice objemný vzhledem k nutnosti použití značně velkého transformátoru, nehledě na jeho složitější realizaci při nižší dosažené účinnosti. Proto jsem použil spínaný zdroj s PWM modulací.

Spínané zdroje jsou postaveny na principu předávání energie do zátěže po částech, které jsou omezovány, regulovány pomocí času, doby sepnutí nebo vypnutí.. Jedná se tedy o nespojitou regulaci. Ve většině případů je požadováno na výstupu těchto zdrojů vyhlazené stejnosměrné napětí nebo proud, proto jejich hlavní součástí jsou prvky, indukčnosti a kapacity, které akumulují energii v době vypnutí spínacích prvků a spojitě ji předávají do zátěže. Tyto akumulací prvky jsou hlavní částí spínaných zdrojů a určují jeho vlastnosti - přenášený výkon, kmitočet spínání a zvlnění výstupního napětí. Regulace výstupního napětí je možná změnou kmitočtu řídicího generátoru, jímž jsou ovládány spínače.

Pro realizaci tohoto zdroje jsem nejdříve navrhl blokové schéma viz. příloha 1 a z něj se dále odvíjelo použití jednotlivých prvků a součástek v daných blocích.

4. 1 Popis funkce přístroje:

Síťové napětí je nejdříve přivedeno na vstupní odrušovací filtr, následovaného síťovým vypínačem (je použito síťového vypínače s doutnavkou, pro indikaci připojení přístroje k síťovému napětí) a z tohoto vypínače je napětí přiváděno na síťový transformátor. Napětí je transformováno na nižší hodnotu. Pro realizaci jsem použil dvě sekundární vinutí o napětích 10 a 18V. Z transformátoru je sekundární napětí 18V přivedeno na nabíječku akumulátoru a sekundární napětí 10V na usměrňovač samotného zdroje. Vzhledem k použití panelového měřidla, které potřebuje ke svému napájení zdroj s plovoucí zemí, to znamená, že nesmí dojít ke spojení s kostrou přístroje jinde než na svorkách určených k měření. V opačném případě by to znamenalo, že měřidlo bude měřit chybné hodnoty. Proto je v zapojení použito dalšího síťového transformátoru se sekundárním napětím 9V.

Napětí určené k napájení panelového měřidla přivedené z transformátoru je usměrněno pomocí Graetzova můstku s filtračním kondenzátorem a následně připojeno na stabilizátor napětí. Stabilizátor napětí je použit z důvodu rozsahu napájení panelového měřidla od 6 do 9V. V tomto konkrétním případě je použito třibodového stabilizátoru 7809 s kodenzátorem 0,1 μ F, z nějž je napětí přiváděno na kontakt relé označené ve schématu REL 3. Relé přepne v okamžiku přepnutí spínače S2 do polohy, kdy je obvod napájen akumulátorem. Jakmile relé přepne bude napájení připojeno na baterii o jmenovitém napětí 9V, při přepnutí přepínače S2 do polohy napájení pomocí síťového napětí dojde k návratu relé do původní polohy a panelové měřidlo bude napájeno napětím získaným na výstupu stabilizátoru 7809.

Jako nabíječka akumulátoru je použita stavebnice vyráběná firmou EZK. Tato stavebnice má výhodu v možné volbě nabíjecích proudů, umožňuje šetrné nabíjení akumulátoru s cílem jeho dlouhé životnosti. Nabíječka vyhodnocuje stav akumulátoru, podle úrovně napětí na akumulátoru a podle toho určí, který z pěti režimů nabíjení použít. Jednotlivé režimy jsou signalizovány pomocí LED diod. Další výhodou této nabíječky je, že umožňuje nabíjení akumulátorů až do kapacity 50Ah.

K napájení samotného zdroje je použito Graetzovo zapojení s filtračním kondenzátorem na jehož výstupu obdržíme 12,9V efektivního napětí. Kromě možnosti napájet zdroj síťovým napětím je možné k napájení použít akumulátor, který je ve zdroji zapojen pouze z důvodu možného provedení

testování i bez závislosti na síťovém napětí. Tím nutnost použití síťového napětí odpadá, a je pouze třeba určit jaký druh napájení používáme, což je indikováno pomocí LED diod. Dle polohy přepínače S2 se tedy rozsvítí buď zelená LED dioda indikující napájení síťovým napětím nebo v případě napájení z akumulátoru se rozsvítí LED dioda žlutá.

Napětí přivedené z usměrňovače nebo akumulátoru je dále přiváděno přes obvod proudové ochrany na zvolený měnič. Za akumulátorem či použitým usměrňovačem není třeba používat stabilizátor napětí na předem nastavenou hodnotu, vzhledem k tomu, že výstupní napětí je regulováno pomocí PWM modulace. Která je vyhodnocována řídicím obvodem, pomocí přivedené zpětné vazby z výstupu zdroje. Obvod proudové ochrany je složen ze dvou relé a řídicího obvodu LM 2904, v případě zkratu či nadproudu dojde k odpojení přívodu napětí, odpojení je indikováno červenou LED diodou. Obvod tedy zabrání zničení zdroje v případě zkratu na výstupu či jiné poruchy, která může nastat v případě, že testovaný přístroj neobstojí ve zkoušce, nebo i při náhodném zkratování výstupních svorek. Vyhodnocování odpojení výstupu zdroje pomocí proudové ochrany je zajištěno přivedením komparačního napětí pomocí zpětné vazby z napěťového děliče připojeného na výstupu zdroje a jeho porovnáním s nastavenou komparační hodnotou napětí. V případě, že se napětí neshodují, dojde k odpojení relé a tím odpojení napětí přiváděného na použitý měnič, čímž na výstupu zdroje obdržíme nulové napětí. Opětovné obnovení funkce zdroje je možné po odstranění zkratu na výstupu a stisknutím resetovacího tlačítka TL.

Ze zdroje proudové ochrany je napětí přiváděno na měnič ve dvojčinném zapojení. Podstatnou výhodou dvojčinných zapojení je odstranění stejnosměrné magnetizace jádra transformátoru, čímž je možno použít transformátor bez vzduchové mezery. Jako spínací prvky jsou v tomto měniči zapojeny tranzistory MOSFET s indukovaným N – kanálem, konkrétně typ BUZ21, spínání tranzistorů je řízeno obvodem, který je řídicím obvodem celého zapojení, je použit obvod od firmy Texas instruments typ TL 494. Tranzistory řízené tímto obvodem plní funkci střídače – přeměňují napětí stejnosměrné na napětí střídavé, ale o vyšší frekvenci (konkrétně 40 kHz). Toto napětí je navýšeno v impulsním transformátoru a napětí z výstupu transformátoru je usměrněno sekundárním usměrňovačem. Jako sekundární usměrňovač jsem použil zdvojovač napětí, díky čemuž je zmenšen počet sekundárních vinutí impulsního transformátoru na polovinu.

Za zdvojovačem napětí jsou zapojeny dva vysokonapěťové děliče napětí. První dělič sníží výstupní napětí na hodnotu komparačního napětí tedy 5V, jež je následně přiváděna do řídicího obvodu TL 494 a řídicí obvod proudové ochrany LM 2904. Druhý napěťový dělič snižuje napětí na hodnotu 45mV, které je přivedeno na panelové měřidlo vzhledem k jeho omezené citlivosti (do 199,9mV). Za tímto měničem je již samotný výstup zapojeného zdroje s výstupním napětím 4500V.

4.2 Popis jednotlivých bloků zapojení:

4.2.1 Vstupní odrušovací filtr

Odrušovací filtr jsem na vstupu zdroje použil z proto, aby byl zdroj odolný vůči rušení přicházejícího z elektrické sítě. Pokud chceme, aby nedocházelo k rušení okolních přístrojů vyzařováním elektromagnetického pole, které je generováno spínacími prvky. Rušení okolních přístrojů zamezíme tím, že navrhovaný zdroj bude umístěn do uzemněné plechové přístrojové skříňky. Při použití odrušovacího filtru je třeba uvažovat takzvaný unikající proud, jedná se o proud, který teče do kostry PE. Způsobuje ho kapacita filtru C_y (kapacita proti kostře). Při velké kapacitě tohoto kondenzátoru může docházet k odepnutí proudového chrániče, proto je třeba použít odpovídající odrušovací filtr. Jako odrušovací filtr je použit typ DL-6DZ2R2 dle katalogu GM electronics FEH 51105, vzhledem k vyhovujícím elektrickým parametrům. Další výhodou tohoto filtru spočívá v tom, že jeho součástí je přístrojová vidlice obsahující i pojistkové pouzdro. Vzhledem k proudu primárním vinutím transformátoru jsem pro tento zdroj použil tavnou pojistku T - 1A, hodnotu jsem stanovil od vypočtené hodnoty primárního proudu uvedené v návrhu transformátoru (kap. 4.2.2).

Parametry filtru:

Jmenovité napětí: 250 VAC

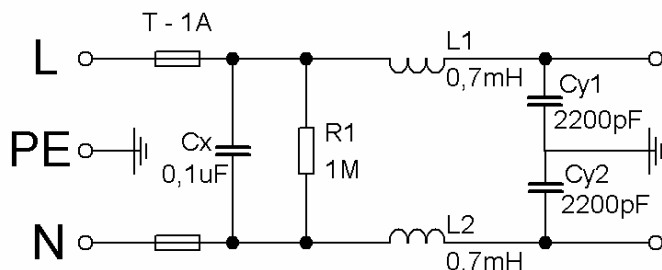
Izolační odpor: fáze ku zemi: $\geq 3000\text{M}\Omega$

Unikající proud: (250V/50Hz): $\leq 0.42\text{mA}$

Klimatická třída: HPF (25/085/21)

Jmenovitý proud: 6 A

Obvodové zapojení filtru:



Hodnoty jednotlivých prvků jsou:

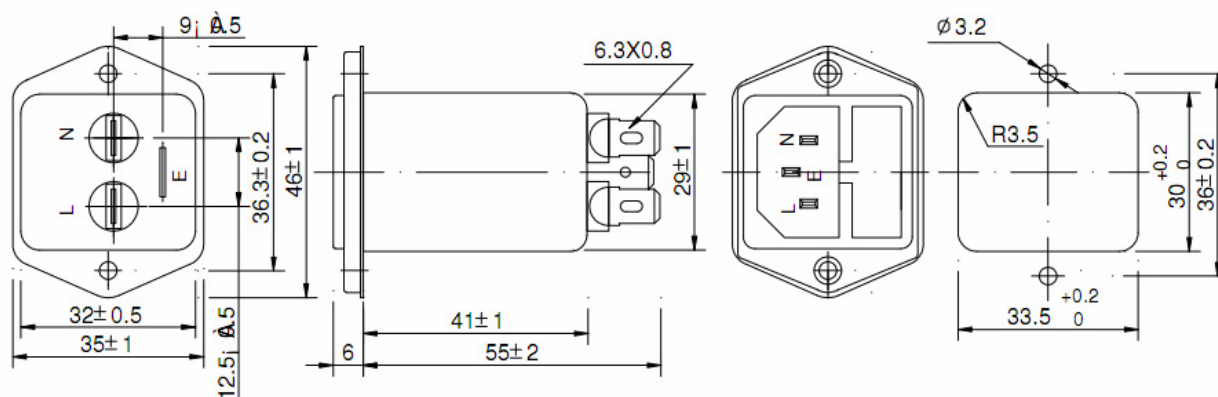
L - $2 \times 0.7\text{mH}$

Cx - $0.1\mu\text{F}$

Cy(1,2) - 2200pF

R - $1\text{M}\Omega$

Rozměry:



4.2.2 Transformátor

Vzhledem k nutnosti napájet nejen vlastní zdroj, ale i nabíječku akumulátoru jsem použil transformátoru se dvěma vinutími. Nabíječka akumulátoru má totiž požadavek napájecího napětí 18V ac, proto byly voleny hodnoty sekundárních napětí 10V a 18V. Vinutí s výstupním napětím 18V slouží k napájení nabíječky akumulátoru. Z druhého vinutí o výstupním napětí 10V je napájen navrhovaný spínací zdroj.

Návrh transformátoru: - přežato z literatury [9] včetně uvedených tabulek

$U_{\text{prim}} = 220\text{V}$; $U_{\text{sek1}} = 10\text{V}$, $I_{\text{sek1}} = 3\text{A}$; $U_{\text{sek2}} = 18\text{V}$, $I_{\text{sek2}} = 6\text{A}$

Určení výstupního výkonu: $P_2 = U_{\text{sek1}} * I_{\text{sek1}} + U_{\text{sek2}} * I_{\text{sek2}} = 10 * 3 + 18 * 6 = 138\text{VA}$ (1)

Výpočet příkonu při zvolené účinnosti 80%:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{138}{0.8} = 173\text{VA} \quad (2)$$

Výpočet proudu primárním vinutím:

$$I_{prim} = \frac{P_1}{U_{prim}} = \frac{173}{220} = 0,79 \text{ A} \quad (3)$$

$$\text{Výpočet pro určení plechů a cívký: } S_{FE} = 1,2 * \sqrt{P_1} = 1,2 * \sqrt{173} = 13,2 \text{ cm}^2 \quad (4)$$

– je třeba zaokrouhlit na vyšší celé číslo pro volbu plechů, raději voleny plechy EI 40, viz. tabulka 4

Tabulka 4 - Typy transformátorových EI plechů:

typ EI plechu	velikost 2a [mm]	průřez jádra $S_{FE}=4a^2$ [cm ²]	přenášený výkon $P(S_{FE}=4a^2)$ [W]	plocha okénka $S_O=3a^2$ [mm ²]	plocha vinutí S_v [mm ²]
EI16	16	2,56	6,55	192	152
EI20	20	4,00	16,0	300	250
EI25	25	6,25	39,1	469	407
EI32	32	10,24	105	768	688
EI40	40	16,00	360	1200	1100
EI50	50	25,00	625	1875	1750

Výpočet počtu závitů na volt pro jednotlivá vinutí:

$$N_J = \frac{45}{S_{FE}} = \frac{45}{13,2} = 3,4 \text{ z/V} \quad (5)$$

Výpočet primárního vinutí: - je třeba snížit počet závitů o 3% vzhledem ke krytí ztrát

$$N_{prim} = N_J * 220 * 0,97 = 3,4 * 220 * 0,97 = 726 \text{ z} \quad (6.1)$$

Výpočet sekundárních vinutí transformátoru: - je třeba přidat 3% pro krytí ztrát

$$N_{sek1} = N_J * U_{sek1} * 1,03 = 3,4 * 9 * 1,03 = 35 \text{ z} \quad (6.2)$$

$$N_{sek2} = N_J * U_{sek2} * 1,03 = 3,4 * 18 * 1,03 = 63 \text{ z} \quad (6.3)$$

Výpočty průměru drátů pro jednotlivá vinutí při proudové hustotě $j=2,5\text{A/mm}^2$:

$$d_{prim} = \sqrt{\frac{4 * I_1}{j * \pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,79}{2,5 * \pi}} = 0,634 \text{ mm} \rightarrow \text{zvolen průměr vodiče } 0,71 \text{ mm} \quad (7.1)$$

$$d_{sek1} = \sqrt{\frac{4 * I_{21}}{j * \pi}} = \sqrt{\frac{4 * 4}{2,5 * \pi}} = 1,43 \text{ mm} \rightarrow \text{zvolen průměr vodiče } 1,6 \text{ mm} \quad (7.2)$$

$$d_{sek2} = \sqrt{\frac{4 * I_{22}}{j * \pi}} = \sqrt{\frac{4 * 6}{2,5 * \pi}} = 1,75 \text{ mm} \rightarrow \text{zvolen průměr vodiče 1,8 mm} \quad (7.3)$$

- průměry drátů voleny viz. tabulka 5

Pro kontrolu návrhu je třeba určit průměry vinutí a porovnat je s plochou okénka transformátoru určenou pro vinutí:

$$S_{Cul} = D_{prim} * N_{prim} + D_{sek1} * N_{sek1} + D_{sek2} * N_{sek2} \quad (8)$$

$$S_{Cul} = 0,775 * 726 + 1,695 * 35 + 1,86 * 63 = 739 \text{ mm}^2$$

Tabulka 5 – Vodiče fy PRAKAB (Pražská kabelovna)

průměr Cu vodiče d [mm]	průměr CuL vodiče D[mm]	průřez S_{Cu} [mm ²]	maximální proud I_M [A] vodičem při $j = 2,55$ [A/mm ²]	odpor vodiče na jeden metr délky R_1 [Ω/m]	ztrátový výkon $P_z = R_1 * I_{N2}^2$ [W/m]
0,1	0,121	0,008	0,02	2,225	0,001
0,2	0,23	0,031	0,079	0,574	0,004
0,3	0,338	0,071	0,181	0,251	0,008
0,4	0,445	0,126	0,321	0,141	0,015
0,5	0,552	0,196	0,5	0,091	0,023
0,56	0,62	0,246	0,627	0,072	0,028
0,63	0,69	0,312	0,796	0,057	0,036
0,71	0,775	0,396	1,01	0,045	0,046
0,8	0,875	0,502	1,28	0,036	0,059
0,9	0,975	0,636	1,622	0,028	0,074
1	1,075	0,785	2,002	0,023	0,092
1,25	1,345	1,227	3,129	0,015	0,147
1,4	1,495	1,539	3,925	0,012	0,185
1,6	1,695	2,01	5,126	0,009	0,236
1,8	1,86	2,543	6,485	0,007	0,294

Při porovnání s plochou vinutí S_V navrhovaného jádra EI 40, které má plochu 1100 mm² je patrné, že je transformátor navržen správně a s patřičnou rezervou určenou pro proklady mezi vinutími. Jako prokladový materiál mezi jednotlivými vrstvami závitů bude použit kondenzátorový papír. Kostra transformátoru bude řešena jako dvoukomorová a jako materiál na předělení bude použit materiál ze sklolaminátu. Celý transformátor bude zalitý do pryskyřice z důvodu větší odolnosti proti vlhku a klimatickým podmínkám.

4.2.3 Transformátor a usměrňovač pro napájení panelového měřidla

Pro napájení panelového měřidla jsem použil transformátor 0,35VA o sekundárním napětí 9V. Vzhledem k proudu odebíranému panelovým měřidlem o hodnotě 1 mA považuji užití tohoto transformátoru za dostačující. Panelové měřidlo je napájeno z tohoto transformátoru z proto, že je potřeba použití zdroje s plovoucí zemí. Pokud by bylo panelové měřidlo přiváděno napětí, z něž je napájen celý navržený zdroj, mělo by panelové měřidlo společnou zem s tímto zdrojem, což by způsobovalo chybu měření. K usměrnění napětí transformátoru je dále použit usměrňovač napětí v Graetzově zapojení s filtračním kondenzátorem, použitým k odstranění zvlnění výstupního napětí na výstupu tohoto usměrňovače.

Návrh usměrňovače, převzato viz. literatura [9]:

Pokud je uvažováno výstupní napětí sekundárního vinutí transformátoru $u_{\text{sek}} = 9\text{V}$, které je vstupním napětím usměrňovače ($u_{\text{sek}} = u_{\text{vst}}$), bude na výstupu usměrňovače:

$$U_{\text{výst}} = \sqrt{2} * u_{\text{vst}} = \sqrt{2} * 9 = 12,73\text{V} \quad (9)$$

Diody použité v usměrňovači je třeba patřičně napěťově dimenzovat nejlépe s rezervou 20 - 100%, při použité vstupní hodnotě napětí 9V pak je třeba diody dimenzovat na napětí:

$$U_R \geq 2U_{\text{výst}} \Rightarrow U \geq 26\text{V}$$

Než abych sestavoval Graetzův můstek z jednotlivých usměrňovacích diod, použil jsem již hotový můstek B560C1000, který má napětí v závěrném směru $U_R = 500\text{V}$ a lze z něj odebírat proud o hodnotě až 1A. Vzhledem k odběru panelového měřidla 100mA je zde více než dostatečná rezerva.

Kapacita na výstupu usměrňovače je volena dle velikosti výstupního zvlnění $p[\%]$, které je definováno dle vztahu: $p = \frac{U_{\text{š-š}}}{U_{\text{výst}}} * 100$; pokud tedy uvažujeme, že napětí $U_{\text{výst}}$ klesá exponenciálně

se zvyšující se hodnotou vlnění $U_{\text{š-š}}$ (napětí špička – špička). Stanovíme, že hodnota výstupního zvlnění p je rovna 10% a určíme hodnotu kapacity kondenzátoru dle vztahu:

$$C_N = \frac{300 * I}{p * U_{\text{výst}}} = \frac{300 * 100}{10 * 12,7} = 236\mu\text{F} \quad (10)$$

Jako filtrační kondenzátor (ve schématu označen jako C2) jsem tedy použil, kondenzátor o jmenovité hodnotě 220 μF /35V, menší hodnotu kondenzátoru je možné použít, avšak dojde k lehkému navýšení výstupního vlnění.

4.2.4. Stabilizátor napětí, přepínač napájení, baterie

Stabilizátor jsem použil, protože na výstupu z usměrňovače získáváme napětí okolo 12,7V a vlastní napájení displeje je pouze od 6 do 9V. Na výstupu stabilizátoru bude napětí dáno napětím získaným pomocí tříbodového stabilizátoru 7809 s nárazovým kondenzátorem 0,1 μF připojeným na výstupu. Použitý stabilizátor dosahuje výstupního proudu 1A, vzhledem k odběru panelového měřidla 100mA, by stačil i stabilizátor do 100mA. Ten se bohužel nenacházel v nabídce firem GES elektronik a ani firmy GM elektronik od nichž jsou čerpány použité součástky.

Jelikož se u použitého typu displeje při poklesu napětí stává, že mylně indikuje stav napájení, je hlavně z tohoto důvodu požito horní napájecí napětí 9V. V případě, že nebude možné napájet panelové měřidlo ze sítě, je k napájení určena baterie se jmenovitým napětím 9V. Volba použitého napětí je umožněna přepínačem S2, který slouží k volbě, zda bude navržený zdroj napájen usměrněným napětím získaným ze sítě nebo napětím akumulátoru. V případě, že bude obvod napájen ze sítě zůstane relé v klidové poloze a na displej bude přiváděno napětí z výstupu stabilizátoru. Ale jakmile dojde k přepnutí na napájení z akumulátoru, dojde k připojení ovládací cívky relé (REL 3), relé přepne a tím připojí napájení panelového měřidla na baterii. Jakmile je tedy přepnuto na napájení z akumulátoru, je možné zdroj využívat bez nutnosti napájení síťovým napětím. Napájení panelového měřidla by bylo možné vzhledem k nízkému odebíranému proudu řešit pouze napájením z devítivoltové baterie. Baterie by opět musela být s každým vypnutím přístroje odpojena, aby nedocházelo k jejímu neustálému vybíjení panelovým měřidlem. U tohoto konkrétního řešení napájení panelového měřidla je tedy výhoda napájení zdroje pouze síťovým napětím, nebo napětím akumulátoru. Pokud dojde k vybití baterie určené k napájení panelového měřidla, stačí pouze přitroj připojit k síťovému napětí bez omezení jeho funkce.

4.2.5 Panelové měřidlo:

Indikuje napětí na výstupu navrženého generátoru, měřené napětí je přiváděno přímo na použité 3 a 1/2 místné LCD panelové měřidlo. V zapojení je konkrétně použit typ PM128/PM188 dle katalogu GM HD 3128. Maximální vstupní napětí je 199,9 mVdc, měřidlo indikuje stav přetížení – na displeji se zobrazí "1" . Dále indikuje stav napájení, v případě nedostatečného napájení indikuje symbolem baterie v levém rohu, umožňuje indikovat i polaritu napětí znaménko „mínus“ před zobrazovaným údajem a umožňuje posuv desetinné tečky (nastavením propojky). Napájecí napětí je od 6 – 9V a napájecí proud 100mA a rozměry 68 mm x 44 mm. Jedinou nevýhodou tohoto měřidla je potřeba vlastního plovoucího zdroje.

4.2.6 Nabíječka olověných akumulátorů

Nabíječka akumulátorů je zapojena na sekundární vinutí transformátoru o napětí 18V. V zapojení je jako vhodný typ nabíječky použita stavebnice firmy EZK typ. NBX3906 SX. Při výběru nabíječky byl brán zřetel zejména na nabíjecí proudy s ohledem na maximální péči o akumulátor. A možnost použití i při náhradě za akumulátor o jiné kapacitě. Tato nabíječka zaručuje dostatečnou péči o akumulátor a zajišťuje tak dlouhou životnost akumulátoru.

Nabíječka pracuje v pěti režimech nabíjení, jež jsou přepínány dle napětí akumulátoru. Pro zvolený akumulátor o kapacitě 1,2 Ah je předvolený nabíjecí proud 120mA, přepínač v poloze P1. V případě nahrazení tohoto akumulátoru akumulátorem o vyšší kapacitě je třeba přepnout přepínač do polohy P2, která je určena pro akumulátory do 9Ah a je v tomto režimu nastavena hodnota nabíjecího proudu na 750mA. Pokud by bylo třeba užít akumulátor o hodnotě vyšší než 9 Ah, je třeba přepnout přepínač do polohy P3 a akumulátory budou nabíjeny proudem do cca 4,5 A. Tento režim je určen pro akumulátory do 50 Ah.

Po připojení akumulátoru a zapnutí nabíječky se rozsvítí LED dioda označená jako „power“ a řídicí obvod vyhodnotí režim nabíjení. V případě napětí nižšího než 11,6V je akumulátor dobíjen „startovacím“ proudem o hodnotě 30mA pro oživení akumulátoru. Pokud je napětí vyšší než 11,6V, nabíječka nabíjí konstantním proudem 120mA až do okamžiku dosažení napětí na akumulátoru 14,1V. Stav dobíjení konstantním proudem je indikován červenou LED diodou označenou jako „current“. Jakmile přesáhne napětí akumulátoru 14,1V, rozsvítí se žlutá LED dioda označená jako „over“ a akumulátor je dále dobíjen proudem 120mA při konstantním napětí. Jakmile je dosaženo napětí 14,9V, je nabíječka přepnuta do režimu konstantního napětí a hodnota dobíjecího proudu postupně klesá až ke 100mA. Pohnasne červená i žlutá LED dioda a rozsvítí se druhá zelená LED dioda označená „float“ a akumulátor je udržován konstantním proudem kolem 12mA. Při poklesu napětí pod hodnotu 14,1V je akumulátor opět nabíjen. Protože bude použita jen jedna hodnota akumulátoru, je lepší nežli přepínače použít drátovou propojku a vhodně propojit dané kontakty pro zvolenou hodnotu nabíjecího proudu.

4.2.7 Akumulátor

Pro toto zapojení je zvoleno použití akumulátoru Long typ. WP - 1.3 -12, jedná se tedy o akumulátor jehož kapacita je 1,3 (1,2) Ah a napětí je 12V. Hodnota tohoto akumulátoru je volena jako dostačující, vzhledem ke své kapacitě a rozměrům 97x43x53mm. Akumulátor by měl bez problémů vydržet celodenní testování, v případě, že by byl shledán jako nedostatečný, je možné jej nahradit akumulátorem např. 7Ah, při lehké úpravě již zmiňované nabíječky. Volba akumulátoru záleží pouze na požadavku, jaké bude použito napájecí napětí zdroje. V případě potřeby napájení výhradně z akumulátoru je tedy možné použít akumulátor do 50Ah s tím, že celková velikost přístroje se bude odvíjet od použitého akumulátoru.

4.2.8 Usměrňovač pro napájení vlastního spínaného zdroje

Jako usměrňovače je použito Graetzovo zapojení s filtračním kondenzátorem. Kondenzátor slouží k filtraci zvlněného napětí na výstupu usměrňovače, čím bude kapacita větší tím bude zvlnění ss napětí menší. Výhodou Graetzova zapojení je možnost použití pouze jednoho sekundárního vinutí transformátoru s vyloučením stejnosměrné magnetizace jeho jádra a podstatně nižší hodnota výstupního zvlnění, avšak o dvojnásobné frekvenci. Další podstatnou výhodou je, že v každé periodě teče poloviční proud diodou. Důležitá je střední hodnota proudu tekoucího diodou za jednu periodu, jež způsobuje výkonové namáhání diody. Proudově lze diody mnohonásobně přetěžovat, ale napětově je dimenzujeme se značnou rezervou. Závěrné napětí diody by mělo s jistotou rezervou odpovídat více než dvojnásobku napětí výstupního. Pokud tedy na Graetzův můstek přivádíme střídavé vstupní napětí o hodnotě 10V, na výstupu pak získáme napětí:

$$U_{\text{výst}} = \sqrt{2} * u_{\text{vst}} = \sqrt{2} * 9 = 14,1\text{V} \quad (9)$$

- po odečtení úbytku napětí na diodách (1,2V) je tedy na výstupu usměrňovače 12,9V

Diody použité v usměrňovači je opět třeba patřičně napětově dimenzovat nejlépe s rezervou 20 - 100%, při použití vstupní hodnotě napětí 10V, pak je třeba diody dimenzovat na napětí:

$$U_R \geq 2U_{\text{výst}} \Rightarrow U \geq 28\text{V}$$

Pokud bude uvažován odebíraný proud 2A při patřičném dimenzování diody, může být užita dioda 1N5060, jejíž napětí v závěrném směru $U_R = 400\text{V}$ a proud v propustném směru $I_F = 2\text{A}$. Pokud ovšem přihlídneme k ceně takto vzniklého usměrňovače, bude cenově i konstrukčně výhodnější použití diodového můstku B250C1500F, který má napětí v závěrném směru $U_R = 250\text{V}$ a proud v propustném směru $I_F = 2\text{A}$.

Kapacita na výstupu je opět volena dle velikosti výstupního zvlnění $p[\%]$, pokud tedy uvažujeme, že napětí $U_{\text{výst}}$ klesá exponenciálně se zvyšující se hodnotou vlnění $U_{\text{š-š}}$. Stanovil, že hodnota výstupního zvlnění p je rovna 10% je možno určit hodnotu kapacity kondenzátoru:

$$C_N = \frac{300 * I}{p * U_{\text{výst}}} = \frac{300 * 2000}{10 * 12,9} = 4651 \mu\text{F} = 4,651 \text{mF} \quad (10)$$

Nejbližší jmenovitá hodnota kondenzátoru odpovídá hodnotě 4,7mF, pokud zvolíme tento elektrolytický kondenzátor. Bude hodnota výstupního napětí dosahovat nepatrně nižšího zvlnění výstupního napětí, než je zvolených 10%, použil jsem tedy kondenzátor 4,7mF/63V.

4.2.9 Volba napájení a indikace stavu napájení

Pro napájení zdroje je možné použít jak síťové napájení, tak i napájení z akumulátoru. Volba napájení je umožněna přepnutím přepínače a indikována příslušnou LED diodou. Indikace napájení z akumulátoru je řešena jednoduše za vypínačem, kterým připojujeme akumulátor nebo usměrňovač, je do obvodu zapojena LED dioda s předřadným rezistorem. Jako indikace napájení z akumulátoru je použita žlutá LED dioda s napájecím napětím 2,1V a odebíraným proudem 20mA. K indikaci napájení ze sítě je použita zelená LED dioda, jejíž napájecí napětí je 2,2V a odebíraný proud 20mA.

Návrh předřadného rezistoru převzato viz. literatura [15]:

Při uvažovaném napětí na $U_Z = 12,9\text{V}$ a uvedených parametrech žluté LED diody jsem určil nejdříve napětí na předřadném rezistoru R_{RP} :

$$U_{RP} = U_Z - U_D = 12,9 - 2,1 = 10,8\text{V} \quad (11)$$

- následně pomocí ohmova zákona určena hodnota předřadného rezistoru:

$$R_{RP} = \frac{U_{RP}}{I_D} = \frac{10,8}{0,02} = 540 \Omega \quad (12)$$

Zvolil jsem rezistor z řady E24 o jmenovité hodnotě 560Ω, a dále je třeba určit hodnotu jmenovitého výkonu tohoto rezistoru:

$$P = \frac{U_Z^2}{R_{RP}} = \frac{12,9^2}{536} = 0,310 \text{ W} \quad (13)$$

Hodnotu předřadného rezistoru jsem vypočítal 540 Ω, tato hodnota bohužel neodpovídá hodnotám nabízených rezistorů. Proto jsem použil předřadného rezistoru z řady E48 o jmenovité hodnotě 536Ω a jmenovitým výkonu 0,6W. Použití vyšší hodnoty rezistoru je možné, ale použitá dioda by mohla svítit mírně tlumeně. Avšak bez negativního vlivu na použitou diodu nebo její funkce jako indikátoru. Použitá hodnota rezistoru nijak neovlivní funkci diody jako indikátoru, vzhledem k rozsahu napájecího napětí do hodnoty 2,5V při jmenovitém proudu do 30mA. Až v případě překročení těchto hodnot, by došlo k jejímu poškození. Avšak v případě, že bych zvolil hodnotu rezistoru nižší či příliš nízkou, dioda by svítila více a mohlo by dojít ke zničení použité LED diody

Tentýž postup jsem zopakoval pro zelenou LED diodu:

$$U_{RP} = U_Z - U_D = 12,9 - 2,2 = 10,7 \text{ V} \quad (11)$$

$$R_{RP} = \frac{U_{RP}}{I_D} = \frac{10,7}{0,02} = 535 \Omega \quad (12)$$

$$P = \frac{U_Z^2}{R_{RP}} = \frac{12,9^2}{536} = 0,310 \text{ W} \quad (13)$$

Pro tuto diodu jsem vypočítal hodnotu předřadného rezistoru 535Ω, tato hodnota bohužel opět neodpovídá hodnotám nabízených rezistorů. Proto jsem použil předřadného rezistor o hodnotě 536Ω a jmenovitým výkonu 0,6W.

4.2.10 Obvod proudové ochrany

Slouží k ochraně proti poškození v případě nadproudu či zkratu na výstupu přístroje. Skládá se z komparačního obvodu LM 2904, dvou přepínacích relé, indikační LED diody a tlačítka pro opětovné sepnutí relé. Toto zapojení bylo použito zejména pro svou jednoduchost a snadnou realizaci, řídicí obvod LM 2904 byl použit pro svou dobrou cenovou dostupnost a poměrně dobré elektrické parametry. Obvod porovnává napětí přiváděné z děliče tvořeného rezistory R7 a R8, s hodnotou napětí referenčního. Jako zdroj referenčního napětí slouží třibodový stabilizátor 7805, hodnoty kondenzátorů C3 a C4 jsou voleny dle literatury [12]. V případě, že se napětí na výstupu sníží vlivem vyšších protékajících proudů, na výstupu komparátoru nebude napětí ovládající relé 2. Jakmile toto relé odpojí napětí, na cívce relé 1 není žádné řídicí napětí a relé 1 přepne. Přepnutím je zapojen obvod indikace proudové ochrany – dojde k rozsvícení červené LED diody. Jakmile je zkrat, či zařízení z výstupu obvodu odpojeno, je třeba relé 1 přepnout stisknutím resetovacího tlačítka a tím dojde k obnově funkce zdroje.

Pro indikační diodu jsem vypočítal hodnotu předřadného rezistoru, k jeho výpočtu jsem opět použil postup uvedený v předcházející části s pomocí následujících vztahů :

- jako indikace použita červená LED, $U_D = 1,85V$, $U_Z = 12,9V$

$$U_{RP} = U_Z - U_D = 12,9 - 1,85 = 11,05 \text{ V} \quad (11)$$

$$R_{RP} = \frac{U_{RP}}{I_D} = \frac{11,05}{0,02} = 552,5 \Omega \quad (12)$$

$$P = \frac{U_Z^2}{R_{RP}} = \frac{12,9^2}{560} = 0,297 \text{ W} \quad (13)$$

I v tomto případě neodpovídá vypočítaný rezistor žádné z nabízených hodnot, proto jsem použil rezistor o jmenovité hodnotě 560Ω a jmenovitém výkonu $0,4W$. Použitá dioda bude svítit mírně tlumeně, avšak na její funkci jako indikátoru to nebude mít žádný vliv, rozdíl v jasu diody by neměl být nijak markantní.

4.2.11 Řídící obvod

Jako řídicí obvod jsem použil integrovaný obvod TL 494, který je schopen pracovat v rozmezí napětí od 7 do $40V$, jeho výstupní proud se pohybuje kolem $200mA$. Je schopen řídit spínané zdroje jak v jednočinném, tak i dvojitinném zapojení, nepatrnou změnou zapojení. Součástí obvodu je vlastní zdroj referenčního napětí o hodnotě $5V$ a dva vstupní komparátory. Obvod umožňuje nastavení frekvence PWM a to rezistorem R_t a kondenzátorem C_t a hlídá i doby mezi jednotlivými sepnutími spínacích tranzistorů.

V navrženém zapojení je řízení zdroje řešeno tak, že z výstupu je na vstup komparátoru (pin 1) přiváděno napětí pomocí zpětné vazby, které je zmenšeno na děliči napětí tvořeného rezistory R_7 a R_8 . Postup návrhu tohoto děliče je uveden dále v textu. Na druhý vstup (pin 2) komparátoru je přiváděno již zmiňované referenční napětí z pinu číslo 14. Pin 13 je připojen proto, aby bylo možné obvod použít ve dvojitinném zapojení, v případě nepřipojení by fungoval výstup obvodu pouze pro jednočinné zapojení.

Frekvence obvodu je v tomto konkrétním případě nastavena na hodnotu $40kHz$, čemuž odpovídá hodnota $R_t = 30k\Omega$ a $C_t = 1nF$. Piny 7 a 12 jsou určeny k napájení, dle doporučeného zapojení udaného výrobcem, jsou piny 8 a 11 propojeny s pinem 12 a připojeny ke kladnému napětí. Tím je na kolektory tranzistorů, které jsou součástí vnitřního zapojení řídicího obvodu, přiváděno napájecí napětí. Z pinů 9 a 10, které tvoří emitory již zmiňovaných tranzistorů je přiváděno řídicí napětí na spínací tranzistory označené ve schématu jako T_1 a T_2 . Jelikož tyto tranzistory vykazují jistou vstupní kapacitu, která je pro tyto tranzistory typicky $1500pF$. Jsou k nim paralelně zapojeny vybíjecí rezistory, které tyto kapacity rychle vybíjejí vzhledem k rychlosti spínání. Pokud by tyto kapacity nebyly vybíjeny, mohlo by dojít ke zničení zdroje, protože by vlivem kapacit nebyla ošetřena doba mezi sepnutím jednotlivých tranzistorů.

Výpočet vybíjecích rezistorů (R_5 a R_6):

- vyjdeme ze vztahu:

$$U_C = U * e^{-\frac{t}{RC}} \quad (14)$$

- vztah jsem upravil na potřebný tvar:

$$R = \frac{t}{C * \ln \frac{U}{U_c}} \quad (15)$$

Při použité frekvenci $f = 40\text{kHz}$, je hodnota periody $T = 25\mu\text{s}$ a tedy $\frac{T}{2} = 12,5\mu\text{s}$, uvažována tedy doba vybití kondenzátoru v čase $t = 1\mu\text{s}$ při dosažení $U_c = 0,1 * U$, pak vyjde:

$$R = \frac{t}{C * \ln \frac{U}{0,1 * U}} = \frac{t}{C * \ln 10} = \frac{10^{-6}}{1500 \cdot 10^{-12} * \ln 10} = 289,855 \Omega$$

Jako vybíjecí rezistory jsem zvolil rezistory z řady E12 o jmenovité hodnotě 270Ω , je volil jsem hodnoty rezistorů menší, nežli je vypočtená hodnota. Pokud by byla použita hodnota rezistoru vyšší, došlo by ke zvýšení času vybíjení vstupních kapacit obou tranzistorů.

4.2.12 Impulsní transformátor:

Spínané napětí vniklé na dvojici tranzistorů T1 a T2 je přiváděno na transformátor, sekundární vinutí transformátoru, je připojen na zdvojovač napětí. Použitím zdvojovače napětí nemusí být transformátor konstruován se zbytečně vysokým počtem závitů sekundárního vinutí. Navíc použitím zdvojovače napětí je splněna podmínka, že sekundárním vinutím poteče proud oběma směry a jádro nebude stejnosměrně syceno. Při stejnosměrném sycení by se výpočet průřezu jádra změnil.

Návrh transformátoru - čerpáno viz literatura [22]:

- pro výpočet impulsního transformátoru jsem vycházel z parametrů:
 $U_{\text{sek}} = 1091\text{V}$, $I_{\text{sek}} = 30\text{mA}$, při uvažovaném $U_{\text{prim}} = 12,9\text{V}$, $I_{\text{prim}} = 1\text{A}$, $P_T = 15\text{W}$, a doporučených parametrů pro návrh včetně parametrů udaných EE jader firmy Fonox $\sigma = 2,5 \text{ A/mm}^2$, $\eta_T = 0,8$, $k_z = 0,8$, $k_m = 0,3$, $U_{\text{cr}} = 3\text{V}$, $B_m = 0,2\text{T}$, $S_z = 5,48 \text{ cm}^2$,

- k určení rozměrů magnetického obvodu použít vztah:

$$S_j * S_o = \frac{P_T * 10^2}{2 * f * B_m * \sigma * \eta_T * k_z * k_m} \quad (16)$$

$$S_j * S_o = \frac{15 * 10^2}{2 * 40000 * 0,2 * 0,0000025 * 0,8 * 0,8 * 0,3} = 19,53 \text{ cm}^4$$

Jako vhodné jádro jsem zvolil feritové EE jádro firmy Fonox typ 930 – 021.

- výpočet počtu závitů primárního a sekundárního vinutí:

$$N_{\text{prim}} = \frac{U_{\text{prim}} - U_{\text{cr}} - I_{\text{prim}} * R_l}{4 * f * B_m * S_z} * 10^4 = \frac{12,9 - 3 - 1 * 0}{4 * 40000 * 0,2 * 5,48} * 10^4 = 6 \text{ z} \quad (17)$$

$$N_{\text{sek}} = 1,05 * \frac{U_{\text{sek}}}{U_{\text{prim}} - U_{\text{cr}}} * N_{\text{prim}} = 1,05 * \frac{1091}{12,9 - 3} * 6 = 694 \text{ z} \quad (18)$$

Závity vinutí je třeba zaokrouhlovat na vyšší celé číslo, primární vinutí bude tedy mít 6 závitů a vinutí sekundární 694 závitů.

- určení průřezu vodičů pro primární a sekundární vinutí:

$$S_{m_prim} = \frac{I_{prim}}{\sqrt{2\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{2 * 2,5}} = 0,443 \text{ mm}^2 \quad (19.1)$$

$$S_{m_sek} = \frac{I_{sek}}{\sqrt{2\sigma}} = \frac{0,03}{\sqrt{2 * 2,5}} = 1,328 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2 \quad (19.2)$$

- určení průměru vodičů primárního a sekundárního vinutí:

$$d_{prim} = \sqrt{\frac{4}{\pi} S_{m_prim}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} 0,443} = 0,752 \text{ mm} \quad (20.1)$$

$$d_{sek} = \sqrt{\frac{4}{\pi} S_{m_sek}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} 0,01328} = 0,130 \text{ mm} \quad (20.2)$$

Pomocí vypočítaných průměrů vodičů primárního a sekundárního vinutí jsou určeny průměry vodičů, drát primárního vinutí $d = 0,8 \text{ mm}$ a sekundárního vinutí $d = 0,2 \text{ mm}$. Uvedené průměry jsou stanoveny viz. tabulka 5 – Vodiče fy PRAKAB (Pražská kabelovna).

Jelikož je jádro voleno s patřičnou rezervou, je zajištěno, že se při stanovených počtech závitů a zvolených tloušťkách drátů, určená vinutí do daného jádra vejdou i patřičnými proklady. Proklady jsou tvořeny opět kondenzátorovým papírem.

4.2.13 Zdvojovač napětí

Zdvojovač napětí je zapojený bezprostředně za impulsní transformátor pro dosažení požadovaného napětí na výstupu. Jeho použitím je docíleno polovičního počtu závitů na sekundárním vinutí impulsního transformátoru. Zapojení se skládá ze dvou jednocestných usměrňovačů, jejichž vstupy jsou zapojeny paralelně a výstupy do série. Obě poloviny zapojení se volí vždy shodně a platí pro ně stejná návrhová pravidla jako pro jednocestné usměrňovače. Výhodou tohoto zapojení je, že odstraňuje stejnosměrné sycení jádra transformátoru, jelikož zatěžuje transformátor symetricky. Výstupní napětí je dáno součtem napětí na nabíjecích kondenzátorech, mezi něž je vložen tzv. dávkovací kondenzátor. Tento kondenzátor je zde vložen z důvodu zpožděného připojení obvodu zpětné vazby při zapnutí generátoru. Kde doba připojení řídicího obvodu závisí na době nabití kondenzátorů, jejichž nabíjení je pomalejší právě vlivem kondenzátoru dávkovacího. V případě, že by dávkovací kondenzátor nebyl použit, mohla by napěťová špička vzniklá při spuštění přístroje, zničit řídicí obvod.

Návrh zdvojovače převzat viz. literatura [9]

- hodnota výstupního napětí: $U_{výst} = 2 * \sqrt{2} * u_{vst} = 2 * \sqrt{2} * 1091 = 4500 \text{ V}$ (21)

- pro napěťové namáhání diod platí: $U_R = u_{vst} * \sqrt{2} + \frac{U_{výst}}{2} = U_{výst}$ (22)

Při výstupním napětí 4500V je vhodné volit vn diody pro toto a vyšší napětí v závěrném směru, zvoleny diody BY6 od firmy Semic Trade s.r.o., jejichž závěrné napětí je 6000V a proud v propustném směru 1A.

Výpočet nabíjecích kondenzátorů při uvažovaném výstupním proudu max. 30mA a napětí 4500V a zvlnění výstupního napětí $p = 10\%$:

$$C_N = \frac{1200 * I}{p * U_{výst}} = \frac{1200 * 30}{10 * 4500} = 0,8 \mu\text{F} \quad (23)$$

Při použití dávkovacího kondenzátoru je třeba uvažované kapacity přepočítat, uvažujeme-li, že dané kapacity C_N a C_D jsou řazeny sériově a celková kapacita C , musí odpovídat hodnotě 0,8 μF , pak platí:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_N} + \frac{1}{C_D} \quad (24)$$

$$\text{- rovnici jsem upravil na požadovaný vztah: } C_D = \frac{C_N * C}{C_N - C} \quad (25)$$

Pro výpočet jsem zvolil hodnota kondenzátoru $C_N = 4,7 \mu\text{F}$ a vypočtena hodnota kondenzátoru dávkovacího:

$$C_D = \frac{C_N * C}{C_N - C} = \frac{4,7 \cdot 10^{-6} * 0,8 \cdot 10^{-6}}{4,7 \cdot 10^{-6} - 0,8 \cdot 10^{-6}} = 0,96 \mu\text{F} \rightarrow \text{použiji tedy hodnotu } 1 \mu\text{F} \quad (26)$$

Oba kondenzátory jsou dodávány firmou Elektronické součástky CZ, a.s.. Užitý kondenzátor o kapacitě $C_N = 4,7 \mu\text{F}$ (v zapojení použito označení C5 a C7 místo C_N) jejichž typ je KPI 500 – 077 a je určený na jmenovité napětí 30 000Vdc, kondenzátor $C_D = 1 \mu\text{F}$ má typové označení KPI 500 – 098 jehož jmenovité napětí je 6300Vdc.

4.2.14 Odporové děliče

Jsou zapojeny za zdvojovačem napětí, první odporový dělič slouží ke snížení napětí, přiváděného zpětnou vazbou do řídicího obvodu a na obvod proudové ochrany. Druhý odporový dělič snižuje napětí na hodnotu, kterou je panelové měřidlo schopno indikovat vzhledem k malé citlivosti. Dva odporové děliče jsou použity z důvodu, že je potřeba na výstupu každého z nich jiné napětí.

První odporový dělič je uvažován jako nezatížený a na jeho výstupu je požadováno výstupní napětí 5V. Dělič se skládá ze dvou vysokonapěťových rezistorů ve schématu označených jako R7, R8 vyráběných firmou Tesla Blatná a.s.

Postup návrhu je převzat viz. literatura [17]:

$$U_1 = 4500\text{V}, U_2 = 5\text{V}$$

$$\text{- vycházel jsem tedy ze vztahu: } U_2 = U_1 * \frac{R_7}{R_7 + R_8} \quad (27)$$

$$\text{- z rovnice jsem vyjádřil } R_8 = \frac{U_2 * R_7}{U_1 - U_2} \quad (28)$$

Jako hodnotu rezistoru R_7 jsem zvolil $4,7\text{G}\Omega$ z řady E12 a určil hodnotu rezistoru R_8 :

$$R_8 = \frac{U_2 * R_7}{U_1 - U_2} = \frac{5 * 4,7 \cdot 10^9}{4500 - 5} = 5,437 \text{ M}\Omega$$

Jako vhodný rezistor jsem zvolil $5,36 \text{ M}\Omega$ z řady E48, menší jmenovitá hodnota je zvolena z důvodu, že na komparátorech obvodů TL 494 a LM 2904 je třeba docílit mírně vyšší komparační napětí, pokud by bylo přiváděno napětí nižší nežli komparační mohlo by docházet k mylnému odpojování obvodu proudové ochrany.

$$I = \frac{U_1}{R_7 + R_8} = \frac{4500}{4,7 \cdot 10^9 + 5,36 \cdot 10^6} = 0,956 \mu\text{A} \quad (29)$$

Rezistory jsou voleny pro jmenovitý výkon 3W a maximální napětí 20kV . Vzhledem k navrženému děliči je třeba si uvědomit, že hodnota rezistoru R_8 by měla být alespoň o řád menší nežli vstupní impedance obvodů, které k němu připojíme, jinak by došlo ke změně dělicího poměru. Pokud tedy uvažujeme, vstupní napětí obvodu TL 494, které je 5V při vstupním proudu $0,2\mu\text{A}$, vyjde hodnota vstupního odporu $25\text{M}\Omega$. Tato podmínka je tedy splněna už připojením obvodu TL 494. Dále je k tomuto děliči připojen obvod LM 2904, který má vstupní proud 20nA a je na něj přiváděno vstupní napětí 5V . Dělič je tedy navržen správně.

Druhý odporový dělič je uvažován jako zatížený, jelikož vstupní impedance panelového měřidla je $100\text{M}\Omega$, skládá se ze dvou rezistorů na schématu označených jako R_9 a R_{10} . Jelikož je vstupní citlivost použitého měřidla pouhých $199,9 \text{ mV}$, je třeba přivádět 45mV . Chybu v řádu je možné upravit posuvem desetinné čárky na panelovém měřidle.

Návrh děliče převzat viz. literatura [17]:

$$U_1 = 4500\text{V}, U_2 = 45\text{mV}, R_Z = 100\text{M}\Omega$$

$$\text{- použil jsem vztah pro zatížený dělič: } U_2 = \frac{U_1 * R_{10} * R_Z}{R_9 * R_{10} + R_Z * R_{10} + R_9 * R_Z} \quad (30)$$

$$\text{z této rovnice jsem vyjádřil } R_9: R_9 = \frac{R_{10} * R_Z * (U_1 - U_2)}{U_2 * (R_{10} + R_Z)} \quad (31)$$

Hodnotu rezistoru R_{10} jsem zvolil $1,21\text{M}\Omega$ z řady E48 a určil hodnotu rezistoru R_9 :

$$R_9 = \frac{R_{10} * R_Z * (U_1 - U_2)}{U_2 * (R_{10} + R_Z)} = \frac{1,21 \cdot 10^6 * 100 \cdot 10^6 * (4500 - 0,045)}{0,045 * (1,21 \cdot 10^6 + 100 \cdot 10^6)} = 120 \text{ G}\Omega$$

Použil jsem hodnotu rezistoru $120 \text{ G}\Omega$ z řady E12, určenou na jmenovité napětí 6000V o jmenovitém výkonu 3W . Výrobce tohoto rezistoru avšak není firma Tesla blatná, ale firma SRT Resistor Technology. Správnost návrhu je možné zkontrolovat tak, že hodnota R_{10} by měla být alespoň o řád menší nežli vstupní impedance panelového měřidla, jinak by v případě připojení panelového měřidla došlo ke změně dělicího poměru děliče.

Za odporovými děliči následují výstupní svorky generátoru s napětím 4500V a výstupním proudem 30mA .

Závěr:

V rámci této práce jsem se soustředil na testování zdravotnických přístrojů a zmínil všeobecné požadavky potřebné pro toto testování. Upozornil jsem na možná ohrožení, které hrozí ať už obsluze nebo pacientovi při nesprávné funkci zdravotnického přístroje. Popsal jsem veličiny jako je elektrická pevnost a unikající proudy a uvedl jak dochází k porušení elektrické pevnosti a vzniku unikajících proudů. Dále jsem uvedl postupy používané pro testování těchto přístrojů a pořadí těchto zkoušek.

Při dodržení požadavků uvedených v postupech pro testování zdravotnických přístrojů, jsem navrhl blokové schéma pro generátor pro testování elektrické pevnosti. Od blokového schématu se odvíjel další postup pro volbu prvků jednotlivých bloků, stanovení jejich parametrů a jejich případný výpočet. Veškeré použité prvky jsou voleny s patřičnou rezervou, aby nedošlo k poruše z důvodu nedostatečného dimenzování součástek. Po propojení jednotlivých bloků jsem získal celkové schéma zařízení pro testování elektrické pevnosti zdravotních přístrojů. Generátor pro testování elektrické pevnosti je ve své podstatě koncipován jako spínaný zdroj s PWM modulací. Spínaný zdroj jsem použil zejména z důvodu dosažení výstupního napětí 4500V při relativně malém objemu a rozumné dosažené účinnosti. U lineárního zdroje by jeho objem byl zejména dán požadavkem užití velkého transformátoru. Velikost navrženého zdroje se bude odvíjet od velikosti tištěného spoje a také od velikosti použitého akumulátoru (velikost kapacity akumulátoru se odvíjí od doby jeho použití). V návrhu jsem použil akumulátor 1,2Ah, což je z hlediska dlouhodobého napájení nevhodné. V tomto případě je možné použít akumulátor s mnohem větší kapacitou. Vzhledem k použité nabíječce akumulátorů je možné užít akumulátory od kapacity 1,2Ah až do hodnoty 50Ah. K napájení jsem však hlavně uvažoval použití síťového napětí, které je přiváděno na vstupní transformátor a následně usměrněno. K volbě napájení je zde použit jednoduchý přepínač, kterým pouze přepneme a tím připojíme napájení k akumulátoru nebo k napětí na výstupu usměrňovače.

K řízení zdroje jsem použil integrovaný obvod TL 494 od firmy Texas Instruments, který má vlastní zdroj referenčního napětí 5V a dva komparátory vstupního napětí. V tomto konkrétním zapojení je užít pouze jeden vstupní komparátor, na jehož vstup je přiváděno referenční napětí vytvářené samotným obvodem a na druhý vstup napětí z výstupu zdroje zmenšené na děliči napětí tvořeného rezistory R7 a R8. Jako měniče jsem použil dvojčinného zapojení, u nějž je na výstupu za impulsním transformátorem zapojen zdvojovač napětí. Jako spínací prvky jsou v tomto měniči použity tranzistory BUZ21, které plní funkci střídačů – spínají střídavě v rytmu nastavené frekvence a upravují přiváděné stejnosměrné napětí na střídavé, které je transformováno impulsním transformátorem na vyšší napětí. To je následně usměrněno s využitím zdvojovače napětí, jeho použitím je docíleno požadované napětí na výstupu při polovičním počtu závitů na sekundárním vinutí impulsního transformátoru.

Vzhledem k tomu, že na výstup bude připojován přístroj, který bude testován výstupním napětím, je možné, že přístroj ve zkoušce neobstojí, proto je tento případ ošetřen pomocí obvodu proudové ochrany. V případě zkratu na výstupu obvod LM 2904 odpojí přívod napětí do relé, v okamžiku, kdy dojde k přepnutí relé, nebude na vstupu měniče žádné napětí. Na výstupu bude nulové napětí a nedojde tedy ke zničení navrženého zdroje. Opětovné zapnutí zdroje jsem ošetřil použitím resetovacího tlačítka. Jakmile je tlačítko stisknuto bude obnovena normální funkce zdroje.

Na výstupu zdroje jsem zapojil panelové měřidlo přes napěťový dělič, aby bylo možné kontrolovat hodnotu výstupního napětí, bez použití přídavného měřidla.

V příloze jsem uvedl blokové schéma, celkové schéma zařízení včetně rozpisky součástek a schéma nabíječky akumulátoru včetně rozpisky součástek, která byla zakoupena u firmy EZK. Do přílohy jsem také uvedl naskenovaný tištěný spoj zmiňované nabíječky.

V bakalářské práci jsem jednotlivé prvky volil, s pokud možno co největším ohledem na dosažení požadované funkce spínaného zdroje, za použití uvedené literatury.

Seznam symbolů :

U_1 – vstupní napětí děliče
 U_2 – výstupní napětí děliče
 u_{vst} – vstupní napětí usměrňovače (zdvojovače)
 $U_{výst}$ – výstupní napětí z usměrňovače (zdvojovače)
 U_R – závěrné napětí diody
 I_F, I_D – proud diodou
 U_{CN} – napětí na kondenzátoru
 R_z – impedance zátěže
 U_D – napětí diody
 R_{PR} – předřadný rezistor
 C_D – dávkovací kondenzátor
 C_N – filtrační kondenzátor
 $P_{ZD\ max}$ – maximální výkon zenerovy diody
 U_Z – napětí zdroje
 U_{PR} – napětí na předřadném rezistoru
 p – zvlnění na výstupu usměrňovače (zdvojovače)
 U_P – průrazné napětí
 Z_S – impedance smyčky
 C_y – kapacita proti kostře (svodová kapacita)
 P_1 – příkon zařízení (transformátoru)
 P_2 – výkon (transformátoru)
 U_{prim} – primární napětí transformátoru
 U_{sek} – sekundární napětí transformátoru
 I_{prim} – primární proud transformátoru
 I_{sek} – sekundární proud transformátoru
 S_{m_prim} – průřez vodičů primárního vinutí
 S_{m_sek} – průřez vodičů sekundárního vinutí
 d_{prim} – průměr vodičů primárního vinutí
 d_{sek} – průměr vodičů sekundárního vinutí
 t – doba nabíjení kondenzátoru
 U – napájecí napětí
 U_c – napětí kondenzátoru
 C_t – kondenzátor k nastavení frekvence PWM
 R_t – rezistor k nastavení frekvence PWM
 P – výkon (rezistoru)
 $U_{I\ max}$ – maximální napájecí napětí
 $I_{ZD\ max}$ – maximální proud zenerovou diodou
 U_{ZD} – napětí zenerovy diody
 R_L – impedance zátěže
 S_{cul} – celková plocha vinutí
 U_{CR} – saturační napětí tranzistoru
 S_{FE} – průřez magnetického obvodu
 S_o – průřez okénka
 S_j – průřez jádra
 η, η_T – účinnost transformátoru
 P_T – výkon transformátoru
 f – kmitočet
 B_m – maximální indukce
 σ – hustota proudu ve vinutí
 k_z – činitel plnění jádra transformátoru železem
 k_m – činitel plnění jádra transformátoru mědí
 U_Z – napájecí napětí zdroje určené k výpočtu předřadného rezistoru (akumulátor, baterie, napětí získané z usměrňovače)

Seznam použitých zkratek a užitých pojmů:

EMC – elektromagnetická kompatibilita

PWM – pulzně-široková modulace

MD1, MD2 – měřicí přípravek 1, 2

vn – vysoké napětí

AP - jedná se o kategorii přístroje, vylučující zdroje vzplanutí ve směsi hořlavého anestetika a vzduchu

APG – jedná se o kategorii přístroje, vylučující zdroje vzplanutí ve směsi hořlavého anestetika a kyslíku nebo oxidu dusného.

přístroj třídy I – jedná se o přístroj, kde ochrana před úrazem elektrickým proudem není založena jen na izolaci základní, ale zahrnuje doplňující bezpečnostní opatření zajištěné připojením k ochrannému vodiči PE tak, že v případě poruchy základní izolace se nemohou přístupné kovové části stát živými.

přístroj třídy II – jedná se o přístroj, kde ochrana před úrazem elektrickým proudem není zajištěna pouze izolací základní, je použito dalšího bezpečnostního opatření, kterým je použití izolace dvojité či izolace zesílené, přístroj nemá svorku pro připojení k ochrannému vodiči.

JZ – stav jedné závady

NP – normální podmínky

příložná část typu B – není vhodná k přímému použití na srdci, poskytuje nejnižší stupeň ochrany pacienta

příložná část typu BF – není vhodná k přímému použití na srdci, poskytuje vyšší stupeň ochrany pacienta, který je docílen oddělením od uzemněných částí a ostatních přístupných částí přístroje.

příložná část typu CF – je vhodná pro přímé použití na srdci, poskytuje nejvyšší stupeň ochrany pacienta, docíleného zvýšeným oddělením od uzemněných částí a ostatních přístupných částí přístroje.

Seznam použité literatury:

- [1] VEJROSTA, V.; *Konstrukce zdravotnických elektrických přístrojů*, Praha:Česká společnost pro zdravotnickou techniku, 1995
- [2] VEJROSTA, V.; HÁLA, P.; TICHÝ P. *Bezpečnost provozu zdravotnických elektrických přístrojů*, Brno:Elektromanagement, 1996
- [3] *Česká norma ČSN EN 60601-1*, Český normalizační institut, 1993
- [4] CHMELARĚ, M.; ROZMAN, J.; *Lékařská přístrojová technika*, Brno: SNTL, 1996
- [5] TKOTZ, K. a kol.; *Průručka pro elektrotechnika*, Brno: Europa Sobotáles, 2004
- [6] TUČEK, M.; CIKRT, M.; PELCLOVÁ, D.; *Pracovní lékařství pro praxi*, Praha: Grada publishing, 2005
- [7] KREJČÍŘÍK, A.; *Spínané napájecí zdroje s obvody TOPSwitch*, Praha: BEN - technická literatura, 2002
- [8] BABAČÍK, Jan; *Spínané zdroje*, 2007, dostupný na WWW:
<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/ART1876-Spinane-zdroje.html>
- [9] KREJČÍŘÍK, A.; *Napájecí zdroje I*, Praha: BEN - technická literatura , 2002
- [10] KREJČÍŘÍK, A.; *Napájecí zdroje II*, Praha: BEN - technická literatura, 2002
- [11] KREJČÍŘÍK, A.; *Napájecí zdroje III*, Praha: BEN – technická literatura, 2002
- [12]] KREJČÍŘÍK, A.; *Lineární napájecí zdroje*, Praha: BEN – technická literatura, 2001
- [13] Katalogový list firmy SGS Thomson, dostupný na WWW:
http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/2/9/LM2904.shtml
- [14] Katalogový list vn rezistorů od výrobce SRT Rezistor Technology, dostupný na WWW:
http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/2/9/LM2904.shtml
- [15] Výpočet předřadného rezistoru k LED diodě, dostupný na WWW:
<http://elektrolab.wz.cz/?nizkenapeti=25#vypocet>
- [16] Katalogový list vn vysokoohmových rezistorů Tesla Blatná, dostupný na WWW:
<http://www.tesla-blatna.cz/cs/vyrobky-rezistory.php>
- [17] Postupy pro výpočet odporových děličů, dostupné na WWW:
<http://elektronika.ezin.cz/view.php?cislocianku=2007030007>
- [18] Stránka výrobce testerů elektrické pevnosti, dostupná na WWW:
<http://www.tectra.cz/go.php?p=20704&clanek=82&PHPSESSID=6f201502aa985d85209b999aa5fcc2e7>
- [19] Údaje přístroje MEDITEST 50, dostupné na WWW: <http://www.illko.cz/M50.htm>
- [20] Katalogový list obvodu TL494 firmy TEXAS INSTRUMENTS, dostupný na WWW:
http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/T/L/4/9/TL494

[21] Stavebnicový modul nabíječky olověných akumulátorů dodávaný firmou EZK, dostupný na WWW: <http://www.ezk.cz/e-shop/select.php?skupina=14&rozsah=1>

[22] KUZMĚNKO, M. I.; SIVAKOV A. R.; *Tranzistorové měniče*, Praha, SNTL, 1965

[23] Nabídka vn diod od firmy Semic Trade, s r.o., dostupná na WWW: www.semic.cz/aktiva/A02_36.pdf

[24] Katalogové listy použitých vn kondenzátorů vyráběných firmou Elektronické součástky CZ, a.s. dostupné na WWW: <http://www.es-ostrava.cz/index.php?page=produkty&lang=cz>

[25] Norma týkající se kvality elektřiny v distribuční soustavě, dostupná na WWW: www.eon.cz/file/cs/distribution/regulations/PPDS_2008_3.pdf

[26] Katalogový list červené LED diody typ L-7113SRC-DU od firmy Kingbright, dostupný na WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/511/511-981/dsh.511-981.1.pdf

[27] Katalogový list žluté LED diody typ. L-53YD od firmy Kingbright, dostupný na WWW: <http://www.ges.cz/sheets//l53ed.pdf>

[28] Katalogový list zelené LED diody typ. L-53GD od firmy Kingbright, dostupný na WWW: <http://www.ges.cz/sheets//l53ed.pdf>

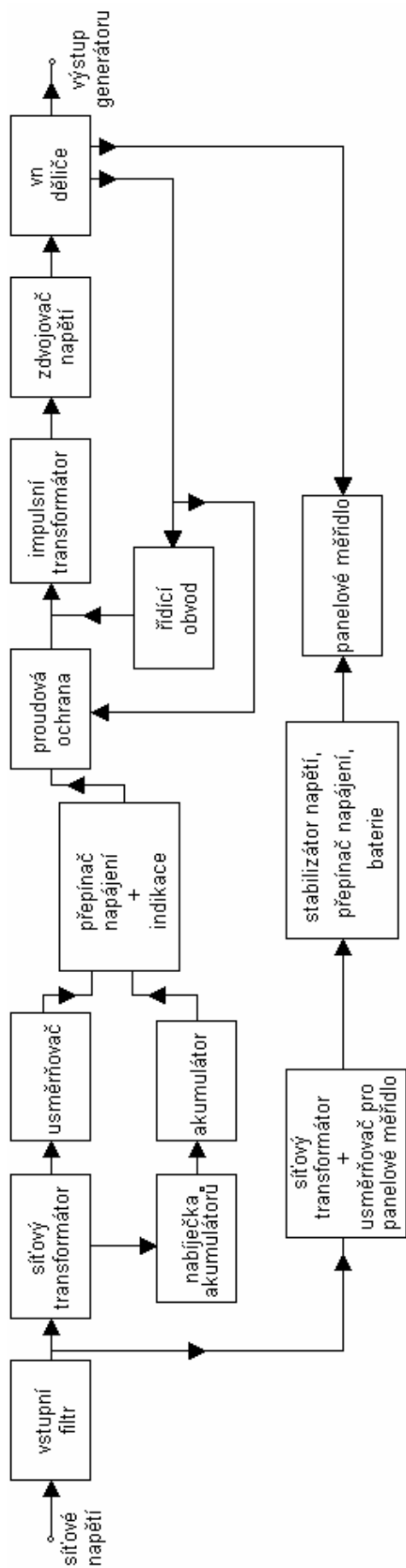
[29] HAMMERBAUER, J.; *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*, Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity, 1998

Seznam příloh:

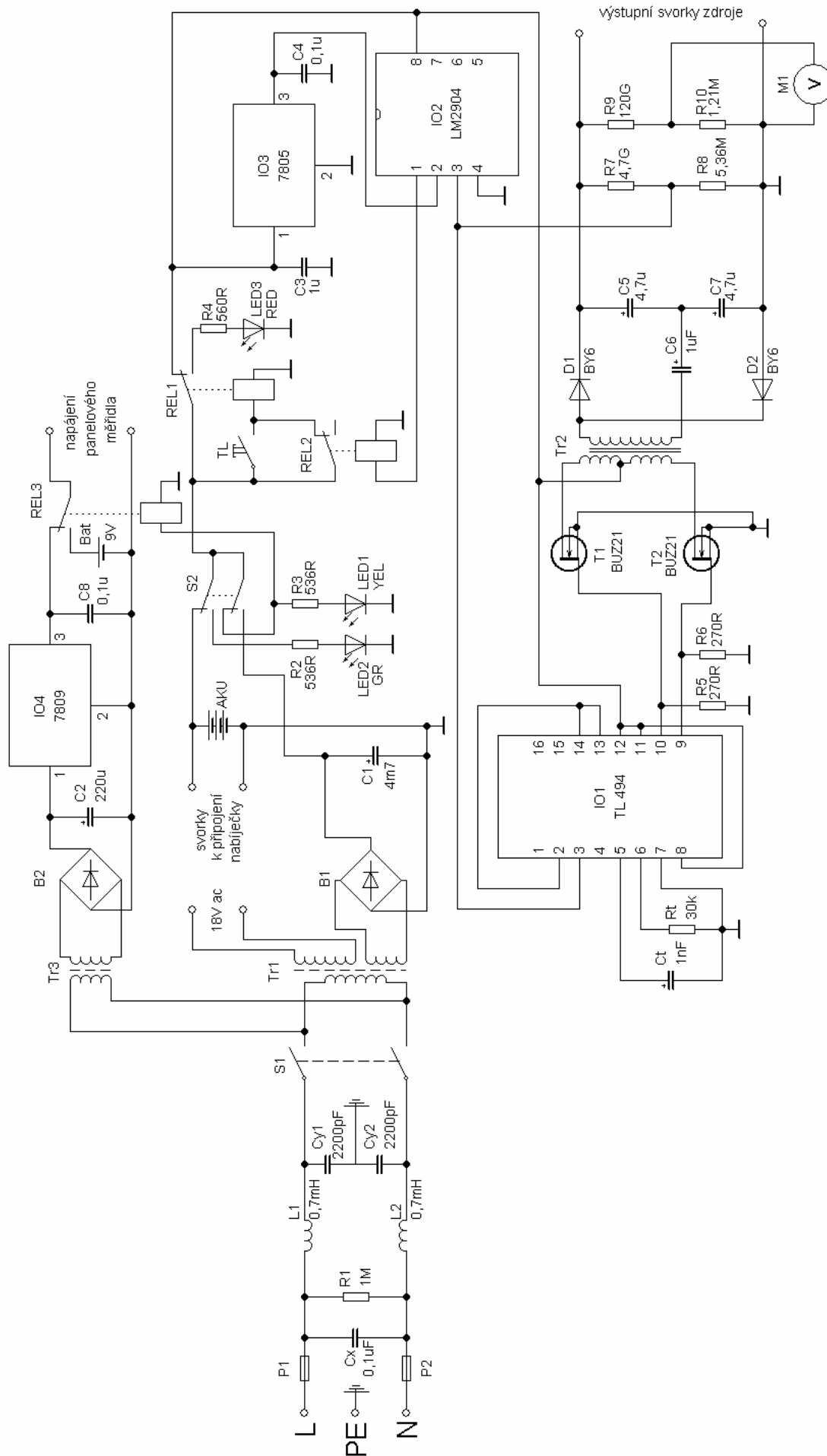
Příloha číslo 1: Blokové schéma generátoru pro testování elektrické pevnosti	40
Příloha číslo 2: Schéma zapojení generátoru pro testování elektrické pevnosti	41
Příloha číslo 3: Rozpiska součástek generátoru pro testování el. pevnosti.....	42
Příloha číslo 4: Schéma nabíječky olověných akumulátorů	43
Příloha číslo 5: Rozpiska součástek nabíječky akumulátorů	44
Příloha číslo 6: Vrchní strana tištěného spoje nabíječky akumulátorů.....	45
Příloha číslo 7: Spodní strana tištěného spoje nabíječky akumulátorů.....	45

Příloha číslo 1:

Blokové schéma generátoru pro testování elektrické pevnosti:



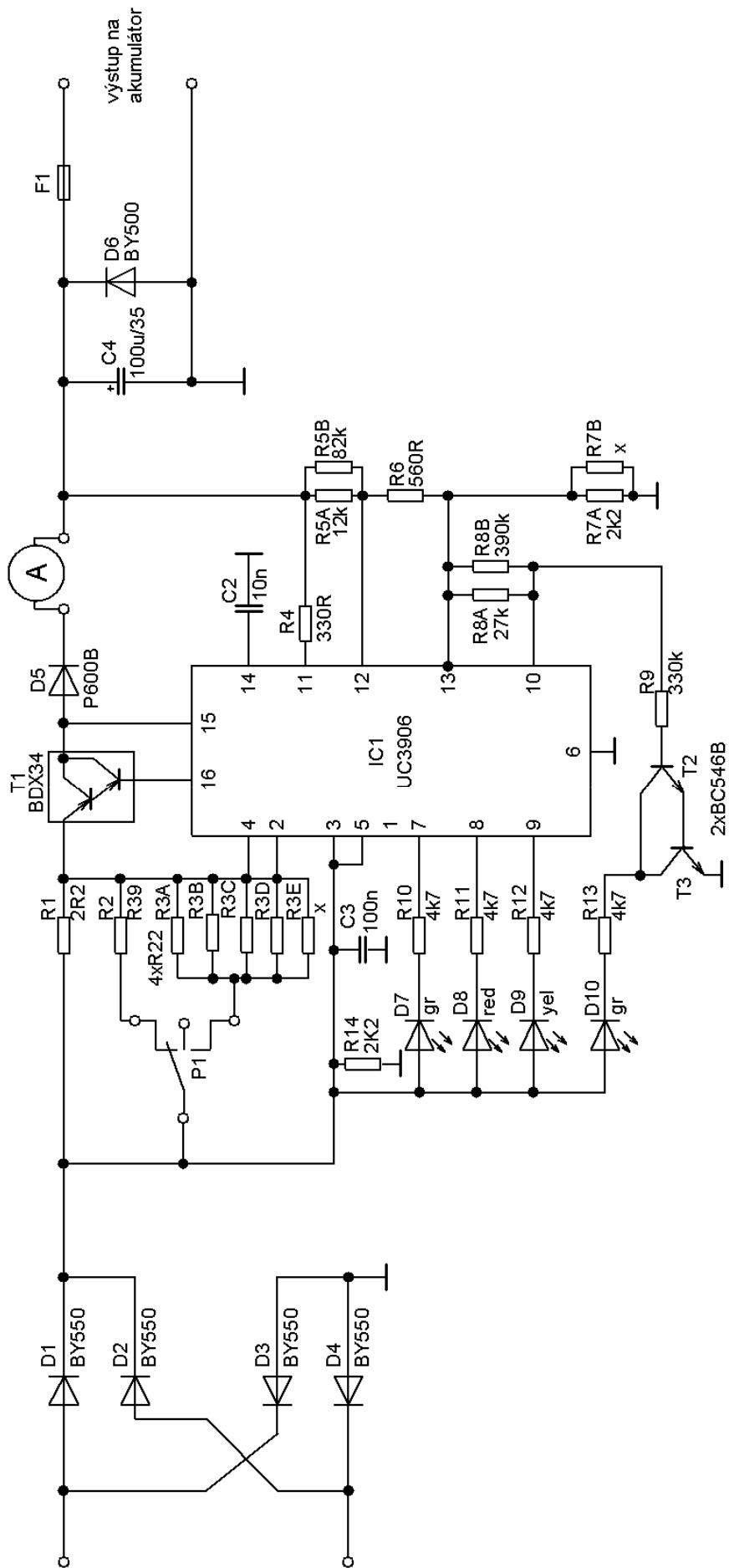
Příloha číslo 2: Schéma zapojení generátoru pro testování elektrické pevnosti:



Příloha číslo 3: Rozpiska součástek generátoru pro testování el. pevnosti:

Označení součástky	Typ součástky:	Katalogové označení:	Poznámka:	Katalog:
B1	B250C1500F	B250C1500F	usměrňovací můstek 250V 2A	GM elektronik
B2	B560C1000	B560C1000	zenerova dioda 8,2V	GM elektronik
D1, D2	BY6	BY6	usměrňovací dioda 6000V 1A	Semic Trade
LED 1	LED žlutá	L-53YD	LED prům.5mm, žlutá	GES electronics
LED 2	LED zelená	L-53GD	LED prům.5mm, zelená	GES electronics
LED 3	LED červená	L-7113SRC-DU	LED prům.5mm, červená	GM elektronik
R2,R3	536R	SMA0207 50 536R	odpor metal.0,6W	GES electronics
R4	560R	MRR 560R	odpor metal.0,4W	GM elektronik
R5,R6	270R	MRR 270R	odpor metal.0,4W	GM elektronik
R7	4G7	3WK 680 08	vn rezistor 20kV, 3W	Tesla Blatná
R8	5M36	3WK 680 08	vn rezistor 20kV, 3W	Tesla Blatná
R9	120G	HVT 50	vn rezistor 25kV, 3W	SRT Resistor Technology
R10	1M21	3WK 680 08	vn rezistor 20kV, 3W	Tesla Blatná
Rt	30k	MRR 30K	odpor metal.0,4W	GM elektronik
C1	4m7	E4700M/63VM	elyt. radiální 4700uF/63V	GM elektronik
C2	220u	E220M/35VT	elyt. radiální 220uF/35V	GM elektronik
C6	1u	KPI 500 - 098	vn kondenzátor 1uF/6300V	Elektronické součástky CZ
Ct	1n	CK 1N0 NPO	keramický kondenzátor 1nF/50V	GM elektronik
C3	1u	CK 1M/50V X7R	keramický kondenzátor 1uF/50V	GM elektronik
C4, C8	0,1u	CK 100N/50 X7R	keram. kondenzátor 100nF/50V	GM elektronik
C5, C7	4u7	KPI 500 – 077	vn kondenzátor 4,7uF/30000V	Elektronické součástky CZ
T1,T2	BUZ21	BUZ21	tranzistor MOSFET s indukovaným N kanálem	GM elektronik
IO1	TL494	TL494	obvod pro spínaný zdroj	GM elektronik
IO2	LM2904	LM2904	dvojitý operační zesilovač	GM elektronik
IO3	7805	78L05	napěťový stabilizátor 5V, 0,1A	GM elektronik
IO4	7809	7809	napěťový stabilizátor 9V, 1A	GM elektronik
REL1		RELEEMB001-12	relé 12V 3A 1xprepinací	GM elektronik
REL2		RELEEMB001-12	relé 12V 3A 1xprepinací	GM elektronik
REL3		RR1U12-500	relé 12V 1A 1xprepinací	GM elektronik
TL		P-PB303B BLACK	tlačítko černé 3A 125VAC	GM elektronik
S1		P-B068J	páčkový přepínač 3x250V/2A ON-OFF-ON	GM elektronik
S2		P-SW201A GREEN	kolébkový on-of 2x15A 250VAC s doutnavkou	GM elektronik
Síťový napájecí konektor		FEH51105	EURO + FILTR 250V/6A + pojistka	GM elektronik
P1, P2	T-1A	T/ 1,0 A 5x20	trubičková pojistka 1A	GES electronics
TR 2		EE20/6,1 109	transformátor 0,35VA, 230V/9V	GES electronics
Bat		B-GP 9V A	alkalická baterie GP 9V	GM elektronik
M1		HD-3128	LCD měřidlo - panelové	GM elektronik

Příloha číslo 4: Schéma nabíječky olověných akumulátorů:

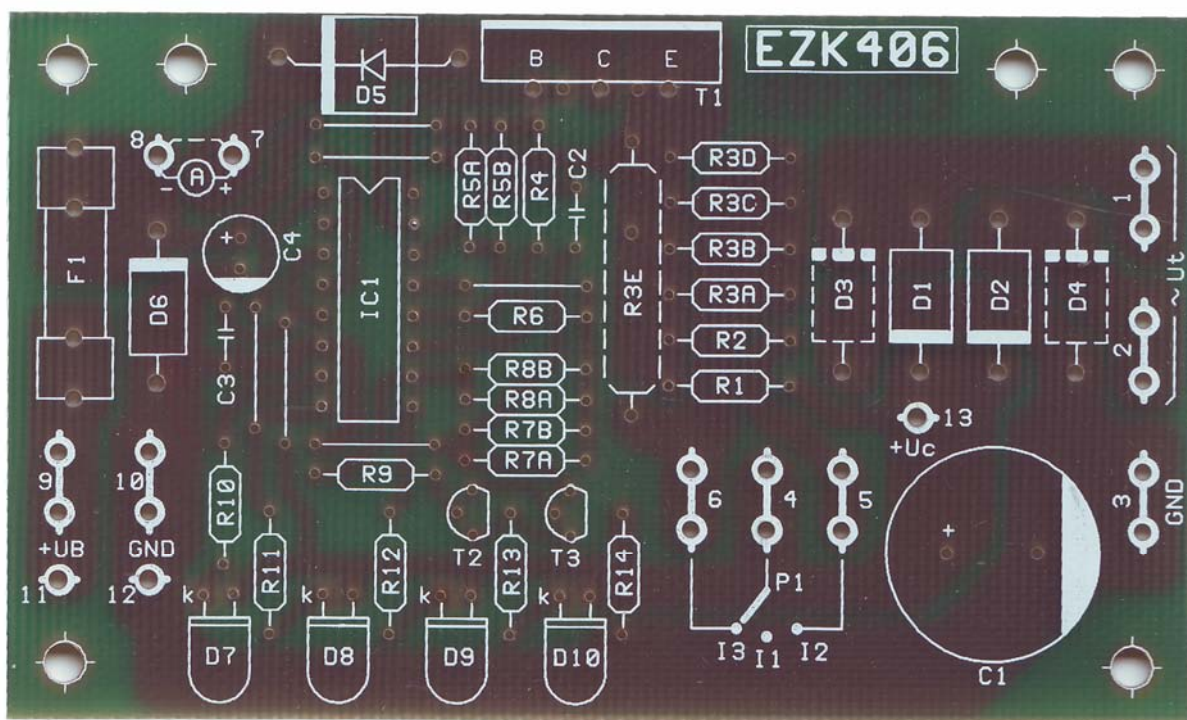


Příloha číslo 5: Rozpiska součástek nabíječky akumulátorů:

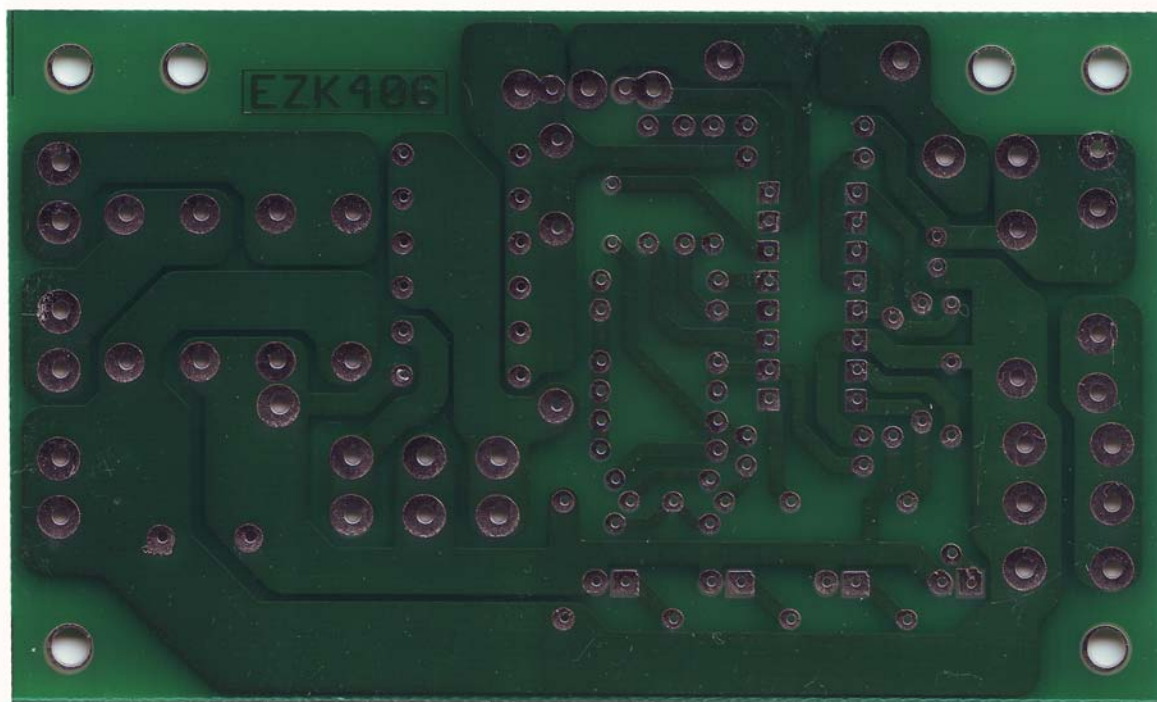
R1	2R2
R2	R39
R3A, R3B,R3C, R3D	R22
R3E	neosazen
R4	330R
R5A	12k
R5B	82k
R6	560R
R7A, R14	2k2
R7B	neosazen
R8A	27k
R8B	390k
R9	330k
R10, R11, R12,R13	4k7
drátová propojka 0,6mm	6ks
C1	ELRA 3m3/35
C2	TK 10n
C3	TK 100n
C4	ELRA 100M/35
T1	BDX34
T2, T3	BC546B
IC1	UC3906
D1, D2, D3, D4	BY550
D5	P600B
D6	BY501
D7, D10	LED5G
D8	LED5R
D9	LED5Y
F1	F5A

Poznámka: tato rozpiska je pouze přepsána z údajů přiložených k této stavebnici. Veškeré rezistory jsou typu R0207 (1%, 0.6W, 50 ppm), TK jsou keramické kondenzátory, ELRA radiální elektrolytické a TC jsou svitkové kondenzátory.

Příloha číslo 6: Vrchní strana tištěného spoje nabíječky akumulátorů:



Příloha číslo 7: Spodní strana tištěného spoje nabíječky akumulátorů:



Poznámka – v případě, že nebude použit ampérmetr, bude na tištěném spoji použita propojka