



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Pedagogická fakulta

Katedra aplikované fyziky a techniky

Diplomová práce:

Vysokonapěťový voltmetr pro indikaci, případně měření potenciálů.

Vypracoval: Bc. Jan Váňa

Vedoucí práce: Ing. Michal Šerý, Ph.D.

České Budějovice 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této diplomové práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích 1.1.2022

.....

Jan Váňa

Anotace

Váňa, J. (2022): Vysokonapěťový voltmetr pro indikaci, případně měření potenciálů. Diplomová práce. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta.

Diplomová práce se zabývá experimentální konstrukcí bezkontaktního vysokonapěťového voltmetru pro měření potenciálů na základě obecně známých a dostupných podkladů. Cílem této práce je srozumitelný postup výroby, funkční měřicí přístroj, porovnání vlivu materiálu a tvaru elektrod na samotné měření. Dalším cílem práce je také obecné směřování k zužitkování nepotřebných nebo nefunkčních dílů a materiálů, běžně určených k likvidaci, využitelných v mnoha konstrukcích.

Klíčová slova:

Elektrostatický voltmetr, vysoké napětí, elektrický potenciál, experiment

Abstract

Váňa, J. (2022): High voltage voltmeter for indication or measurement of potentials. Diploma thesis. České Budějovice: University of South Bohemia in České Budějovice, Faculty of Education.

The diploma thesis deals with the experimental construction of a non-contact high-voltage voltmeter for measuring potentials on the basis of generally known and available data. The aim of this work is clear description of the production procedure, functional measuring device, comparison of the influence of material and shape of electrodes on the measurement itself. Another goal of the work is also a general direction to reusing unnecessary or non-functional parts and materials, usually intended for disposal, in various structures.

Keywords:

Electrostatic voltmeter, high voltage, electric potential, experiment

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval současnému vedoucímu práce Ing. Michalovi Šerému Ph.D. za poskytnuté technické zázemí, odborné vedení, podnětné návrhy, projevenou trpělivost a ochotu kdykoli pomoci po celou dobu tvoření této práce.

Také bych rád poděkoval původnímu vedoucímu práce doc. PaedDr. Petru Adámkovi, Ph.D. za téma této práce a trpělivou podporu na jejím začátku. Zároveň přeji do příštích let pevné zdraví.

Obsah

1	Úvod	6
2	Problematika měření napětí.....	6
3	Bezpečnost práce při měření VN.....	7
I.	TEORETICKÁ ČÁST.....	8
4	Rotační voltmetry.....	9
4.1	Rotační voltmetry s válcovou elektrodou	9
4.2	Rotační voltmetry s deskovou elektrodou	10
4.3	Výběr rotačního voltmetru.....	11
5	Princip Van de Graaffova generátoru.....	12
II.	PRAKTICKÁ ČÁST.....	13
6	Konstrukce rotačního voltmetru s deskovou elektrodou.....	14
6.1	Elektrody	14
6.1.1	Elektrody navržené výpočtem.....	14
6.1.2	Elektrody se zjednodušeným tvarem	21
6.2	Stíněná klec	27
6.2.1	Uzemnění stíněné elektrody	28
6.2.2	Uchycení pohonu stínící elektrody ke stíněné kleci	31
6.2.3	Stíněná klec pohonu stínící elektrody – motorku.....	32
6.2.4	Výroba a zkušenosti z výroby	33
6.3	Úprava stojánku	45
6.3.1	Výroba a zkušenosti z výroby	46
6.4	Kompletace.....	48
6.4.1	Úpravy a zkušenosti z kompletace	55
6.5	Elektrické zapojení napájení pohonu stínící elektrody.....	58
6.5.1	Možná řešení regulace otáček pohonu stínící elektrody	58
6.5.2	Zkušenosti se zapojením elektroinstalace a odstraněním vzniklé poruchy	61
6.6	Mechanické zprovoznění.....	65
6.6.1	Zkušenosti z mechanického zprovoznění	67
7	Měření výstupního signálu měřicí elektrody.....	69
7.1	Měření osciloskopem	69
7.2	Měřicí sestava se stejnosměrným zdrojem VN	70
7.2.1	Osmilistá elektroda.....	72
7.2.2	Dvoulistá elektroda	75
7.2.3	Třílistá elektroda.....	75

7.2.4	Čtyřlístá elektroda	76
7.2.5	Kombinace třílísté stínící elektrody a čtyřlísté měřící elektrody	77
7.3	Měřící sestava s náhodně vybraným materiálem	78
7.3.1	Osmilístá elektroda.....	79
8	Zpracování výstupního signálu měřící elektrody.....	82
	Závěr.....	83
	Zdroje	84
	Seznam obrázků	85
	Seznam grafů.....	86
	Seznam tabulek	86
	Seznam příloh.....	87
	Přílohy.....	87

1 Úvod

Tato práce popisuje konstrukci elektrostatického rotačního VN voltmetru z běžně dostupných materiálů v domácích podmínkách, určeného zejména pro měření napětí na Van De Graaffových generátorech, což byla prvotní myšlenka této práce. Stejně tak pro demonstraci principu bezdotykového měření VN a v neposlední řadě pro další experimentování v oblasti elektrostatiky.

V ideálním případě by měla být dostatečně návodná a srozumitelná jak pro zájmové kroužky druhého stupně základních škol, tak pro případné zájemce o stavbu tohoto VN voltmetru. V žádném případě se nejedná o VN voltmetr určený pro rutinní nebo profesionální měření např. v provozech nebo podmínkách jiných než zde uvedených. Pro taková měření je na trhu dostatek dostupných přesných profesionálních měřicích přístrojů renomovaných výrobců.

Téma a následně tato práce byly pod původním vedením doc. PaedDr. Petra Adámka, Ph.D. Vážné zdravotní komplikace bohužel neumožňovaly dále pokračovat ve vedení této práce. Shodou šťastných náhod je současným vedením této práce pověřen opět vynikající odborník na elektrotechniku. Snahou bude dále zachovat přínosný obsah pod neméně kvalitním vedením.

2 Problematika měření napětí

Měření hodnoty napětí za běžných podmínek probíhá paralelním připojením voltmetru k měřenému obvodu. Cca do 1000 V jsou konstrukčně uzpůsobeny běžně dostupné voltmetry, případně multimetry. Napětí do této hodnoty je tzv. nízké napětí, obecně značeno NN. Napětí vyšší než NN, je tzv. vysoké napětí obecně značeno VN v rozsahu 1000 – 52 000V; 52 000V – 300 000V tzv. VVN, velmi vysoké napětí; 300 000V – 800 000V tzv. ZVN, zvlášť vysoké napětí a nad 800 000V tzv. UVN, ultra vysoké napětí [1].

Při měření VN a vyšších vstupuje zásadně do hry tzv. izolační odpor. Se zvyšujícím se napětím je důležité úměrně zvyšovat hodnotu izolačního odporu izolace elektrického zařízení. To lze provést rozměrem izolace v závislosti na použitém materiálu. Obecně platí tyto podmínky i pro měřicí přístroje VN. V první řadě je toto vždy spojeno se zvyšujícími se nároky kladenými na izolační materiál současně se zvyšováním hodnoty měřeného napětí z pohledu bezpečnosti práce před úrazem el. proudem. Od určitých hodnot napětí jsou používány speciální tvary izolací, svou roli

začíná hrát také bezpečná vzdálenost od živé části tj. čím vyšší napětí, tím je potřeba větší vzdálenost, jejíž velikost je ovlivněna také povětrnostními vlivy. Za těchto okolností může být měření napětí voltmetrem galvanicky uzavřeným obvodem přinejmenším velmi problematické s ohledem na bezpečnost, tj. ochranu zdraví před úrazem el. proudem.

Nabízí se otázka, zda lze měřit napětí bezdotykovým způsobem, tj. galvanicky neuzavírat el. obvod s měřeným zdrojem napětí. Takové metody využívají k měření VN např. tzv. elektrostatické rotační voltmetry (v zahraničí označovány jako generátorové voltmetry, nebo konkrétněji jako snímače „field mill“ [2], existující v mnoha různých provedeních). Na konstrukci jednoho z těchto elektrostatických rotačních voltmetrů je tato práce zaměřena.

3 Bezpečnost práce při měření VN

Zásady a předpisy pro ochranu před úrazem elektrickým proudem popisuje norma ČSN 33 2000-1 ED.2 (332000). Všeobecné předpisy pro obsluhu elektrických zařízení a pro práci na elektrických zařízeních popisuje norma ČSN EN 50110-1 (343100). Pozor, nedodržení bezpečnosti práce při činnostech s elektrickým proudem nebo VN je životu nebezpečné!

I přes použití v této práci měkkého VN zdroje tzv. Van de Graffova generátoru, je potřeba zachovávat základní bezpečnostní pravidla. Nedotýkat se živých částí zdroje a zachovávat bezpečnou vzdálenost od živých částí zdroje pokud je zdroj v činnosti. V rámci této práce důrazně nedoporučuji používat jiný typ VN zdroje. Jako ochranné pomůcky při práci v blízkosti vysokého napětí lze doporučit gumové rukavice, obuv s gumovou podrážkou, gumové koberce.

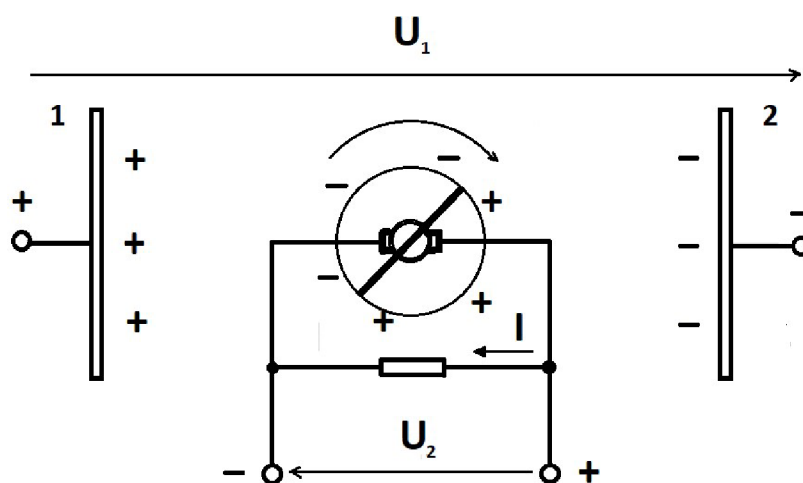
I. TEORETICKÁ ČÁST

4 Rotační voltmetry

Rotační voltmetry jsou specifickou skupinou elektrostatických voltmetrů. Elektrostatické voltmetry mají obecně velmi nízkou spotřebu energie a vysoký vstupní odpor, což umožňuje měřit hodnoty v laboratorních podmínkách např. na VN zdrojích s nízkými výkony. Rotační voltmetry [3] využívají k měření elektrostatickou indukci, na rozdíl od jiných elektrostatických voltmetrů využívajících k měření silové účinky elektrického pole. Rotační voltmetry se používají k měření nejvyšších hodnot stejnosměrného a střídavého napětí v řádu MV, ale také v meteorologii [4] k měření intenzity elektrického pole země. Rotační voltmetry používají válcové nebo deskové elektrody a existuje mnoho různých provedení. Princip činnosti u těchto voltmetrů je stejný.

4.1 Rotační voltmetry s válcovou elektrodou

Uspořádání tohoto voltmetru je znázorněno na obr. č. 1.

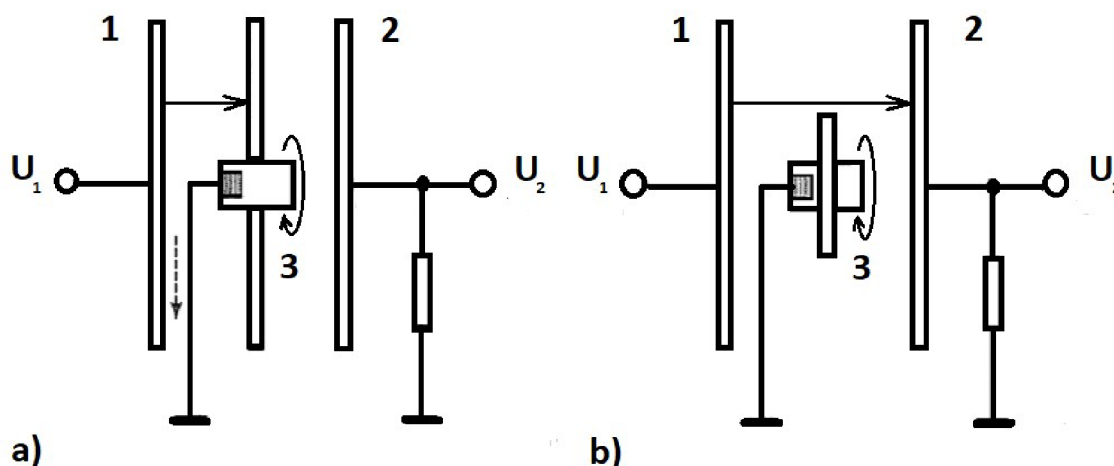


obr. č. 1 Uspořádání rotačního voltmetru s válcovou elektrodou. Na elektrodu č. 1 a č. 2 je přivedeno měřené napětí. Mezi elektrodami se otáčí válec vodivě rozdělen na dvě poloviny - elektrody. Na elektrodách válce se indukuje elektrický náboj. Převzato a upraveno [5].

Mezi dvěma deskovými elektrodami č. 1 a č. 2 se otáčí válec s vlastním pohonem. Na elektrody je přivedeno měřené napětí. Tím vzniká mezi elektrodami elektrické pole. Válec je vodivě rozdělen na dvě poloviny s dělicí rovinou rovnoběžnou s osou válce. Pro představu lze porovnat s dvoupólovým komutátorem elektromotoru. Otáčením válce v elektrickém poli mezi dvěma deskovými elektrodami se na elektrodách válce indukuje elektrický náboj s výsledným střídavým průběhem. Pokud otáčky synchronizujeme s průběhem měřeného napětí, můžeme takto měřit okamžité hodnoty také střídavého napětí. [5]

4.2 Rotační voltmetry s deskovou elektrodou

Tyto voltmetry jsou konstrukčně jednodušší než rotační voltmetry s válcovou elektrodou a existují v několika specifických provedeních dle konkrétních požadavků na měření napětí. Uspořádání tohoto voltmetru je znázorněno na obr. č. 2.



obr. č. 2 Uspořádání rotačního voltmetru s deskovou elektrodou. a) Na elektrodu č. 1 je přivedeno napětí U_1 , stínící elektroda č. 3 v poloze kdy stíní elektrodu č. 2, tedy kapacita $C = C_{\min}$. b) Na elektrodu č. 1 je přivedeno napětí U_1 , stínící elektroda č. 3 v poloze kdy nestíní elektrodu č. 2, tedy kapacita $C = C_{\max}$. Převzato a upraveno [5].

Obecně a zjednodušeně lze funkci voltmetru s deskovou elektrodou popsat následovně: mezi dvěma elektrodami č. 1 a č. 2 rotuje clonka č. 3 a tím způsobuje časovou změnu kapacity mezi elektrodami. Pro správnou funkci musí být rotující clonka uzemněna. Na elektrodu č. 1 je přivedeno měřené napětí, na druhé elektrodě č. 2 vzniká střídavý proud, tekoucí zátěží [5, 6].

Pro tekoucí proud zátěží platí vztah (1) dle [5]:

$$I = n \cdot (C_{\max} - C_{\min}) \cdot U_1 \quad (1)$$

Kde I je proud tekoucí zátěží, n je časová změna mezi kapacitou C_{\max} a C_{\min} , U_1 je napětí přivedené na elektrodu č. 1. Pokud otáčky synchronizujeme s průběhem měřeného napětí, můžeme takto měřit i okamžité hodnoty střídavého napětí.

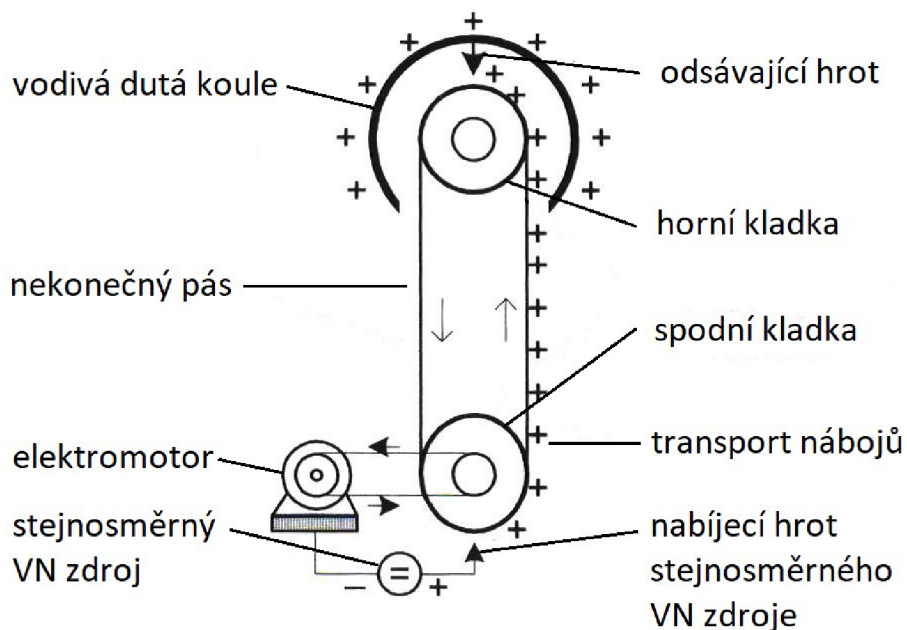
Elektroda, na kterou je přivedeno měřené napětí, vždy nemusí být součástí měřicího přístroje. Také nemusí být ve stejné nebo podobné vzdálenosti, která je mezi rotující clonkou a elektrodou na které vzniká el. proud. V určitých případech může být nahrazena zdrojem napětí, např. Van de Graffovým generátorem, atmosférickým výbojem (blesk), obecně lze říci elektrickým polem.

4.3 Výběr rotačního voltmetru

Pro účel změření hodnoty napětí na generátoru typu Van de Graaff bezkontaktním způsobem tj. bez potřeby uzavření galvanického obvodu mezi zdrojem měřeného napětí a voltmetrem byl zvolen rotační voltmetr s deskovou elektrodou a to pro svoji vhodnost k tomuto účelu dle dostupné literatury [3, 4, 5, 6] a pro svoji konstrukční jednoduchost.

5 Princip Van de Graaffova generátoru

První prototyp tohoto elektrostatického generátoru zkonstruoval v roce 1929 americký fyzik nizozemského původu Robert Jemison Van de Graaff. Maximální hodnoty generovaného napětí mohou dosahovat hodnoty zhruba 10 MV. Generátor obsahuje nekonečný pás z izolačního materiálu napnutý mezi dvěma kladkami. Horní kladka je umístěna ve vodivé duté kouli. Pod horní kladkou je vně duté koule umístěna spodní kladka poháněna elektromotorem. Pás obíhá po kladkách rychlostí až 40 m/s. Pás se nabíjí sršením z hrotu umístěného pod spodní kladkou a napájeného ze stejnosměrného VN zdroje. Takto předaný elektrostatický náboj transportuje pás do duté koule, kde je umístěn nad horní kladkou druhý hrot odsávající náboj z pohybujícího se pásu a předávající náboj duté kouli. Náboj v dutině nevyvolává elektrické pole a má tendenci se přemísťovat na vnější povrch koule. Na vnějším povrchu koule se náboj trvale zvyšuje, až nastane vyrovnání potenciálů přeskokem nebo sršivým výbojem. U generátorů nejnižších výkonů není potřeba nabíjet pás zdrojem napětí, tuto funkci dostatečně nahrazuje tření mezi pásem a kladkou, čímž se vytvoří dostatek elektrostatického náboje [7, 8, 9]. Hlavní části Van de Graaffova generátoru jsou popsány na obr. č. 3.



obr. č. 3 Schematické znázornění Van de Graaffova generátoru. Převzato a upraveno [10].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 Konstrukce rotačního voltmetru s deskovou elektrodou

Jako vodítka pro stavbu voltmetru byl použit návod [11, 12], uvádějící mimo jiné konstrukci plošných elektrod. Parametry elektrod jsou uvedeny také v těchto publikacích. Záměrně jsou zvoleny běžně dostupné konstrukční prvky a materiály. Tyto nejsou v literatuře konkrétně specifikovány a dle dostupnosti lze volit i jinak. Z tohoto důvodu také nejsou součástí této práce výkresy jednotlivých mechanických dílů voltmetru. Rozměry jednotlivých dílů byly dány dostupností jednotlivých materiálů a použitých konstrukčních prvků. Pro pohon rotující elektrody je zvolen indukční motorek dvourychlostního stolního ventilátoru o příkonu 35 W. Lze tedy ověřit vlastnosti voltmetru při dvou hodnotách otáček, bez nutnosti řešení obvodu pro regulaci otáček. Hřídel tohoto motoru je z výroby opatřena levotočivým závitem, což značně usnadňuje uchycení rotující stínící elektrody. Voltmetr je konstrukčně navržen pro snadnou záměnu elektrod s různými parametry. Samotné elektrody jsou ploché a nepotřebují ke svému uchycení žádnou speciální pevně spojenou součást nebo např. speciální příruby. Elektrické připojení elektrod je rovněž řešeno rozebíratelně. Počet listů měřicí a stínící elektrody se pro zachování správné funkce voltmetru obecně zvyšuje s klesajícími otáčkami pohonu rotační stínící elektrody. To umožňuje získávat vhodnou frekvenci výstupní měřené veličiny pro další zpracování. Takto získaný signál lze měřit osciloskopem nebo zesílit pro další zpracování, např. měření multimetrem.

6.1 Elektrody

Byly navrženy čtyři typy elektrod rozdílných tvarů a materiálů. To umožňuje porovnání závislosti tvaru výstupní křivky, ideálně sinusoidy generovaného proudu na tvaru a materiálu elektrod. Strojně jsou vyrobeny elektrody navržené výpočtem a ručně jsou vyrobeny elektrody se zjednodušeným tvarem. Volba materiálu také určuje náročnost následné výroby elektrod.

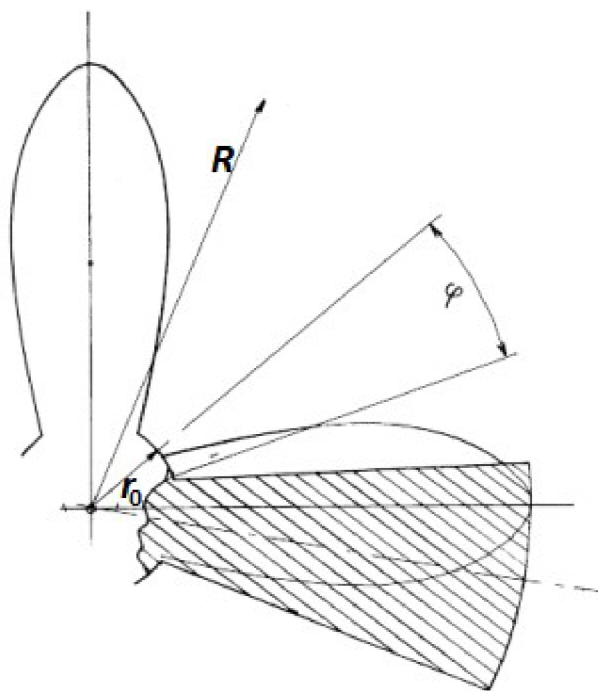
6.1.1 Elektrody navržené výpočtem

Elektrody jsou vyrobeny z jednostranného cuprexitu (sklolaminátová deska jednostranně potažená mědí) [13]. V ideálním případě by byl vhodný materiál měděný plech. Materiál cuprexit byl zvolen pro své vlastnosti, kterými jsou mechanická pevnost a pružnost. Protože jedna z elektrod je rotační, při svém celkovém průměru a rozměru v místě kde se list napojuje na kruhovou základnu, může docházet se zvyšujícími se otáčkami k působení značných setrvačných sil. Pokud se vezme v úvahu také jistá výrobní nepřesnost, může docházet při rotaci elektrody k vibracím, byť nepatrným. Souhra faktorů např. setrvačná síla, vibrace, dlouhodobý provoz a případný kaz materiálu mohou mít v krajním případě destruktivní účinky na pevnost rotující

elektrody. Z praxe mohu potvrdit několik případů, kdy vibrace rotujícího dílu způsobené jeho nevyvážením dokázaly poškodit železný svařenec v místě svaru oddělením přivařené části. Z tohoto pohledu se další materiály používané pro výrobu plošných spojů jeví jako méně výhodné. Je to např. v ČR vyráběný cuprextart [13] což je papír vytvrzený fenolformaldehydovou pryskyřicí potažený vrstvou mědi. Obě elektrody mají tvar osmilisté vrtule a vzájemně se liší tvarem listů. Stacionární měřící elektroda má tvar listů, pro něž platí vztah (2) dle [4]

$$r = \sqrt{r_0^2 + (R^2 - r_0^2)\cos(N\varphi)} \quad (2)$$

kde r je délka polární souřadnice, r_0 je poloměr středové kružnice, R je vnější poloměr, N je počet listů a φ úhel polární souřadnice viz. Obr. č. 4.



obr. č. 4 Znárodnění konstrukce tvaru listu stacionární měřící elektrody. Šrafovaná část zobrazuje tvar listu stínící elektrody. Převzato a upraveno [14].

Počet listů N pro požadovanou frekvenci f při otáčkách motoru n je možné určit následujícím vztahem (3) dle [4]

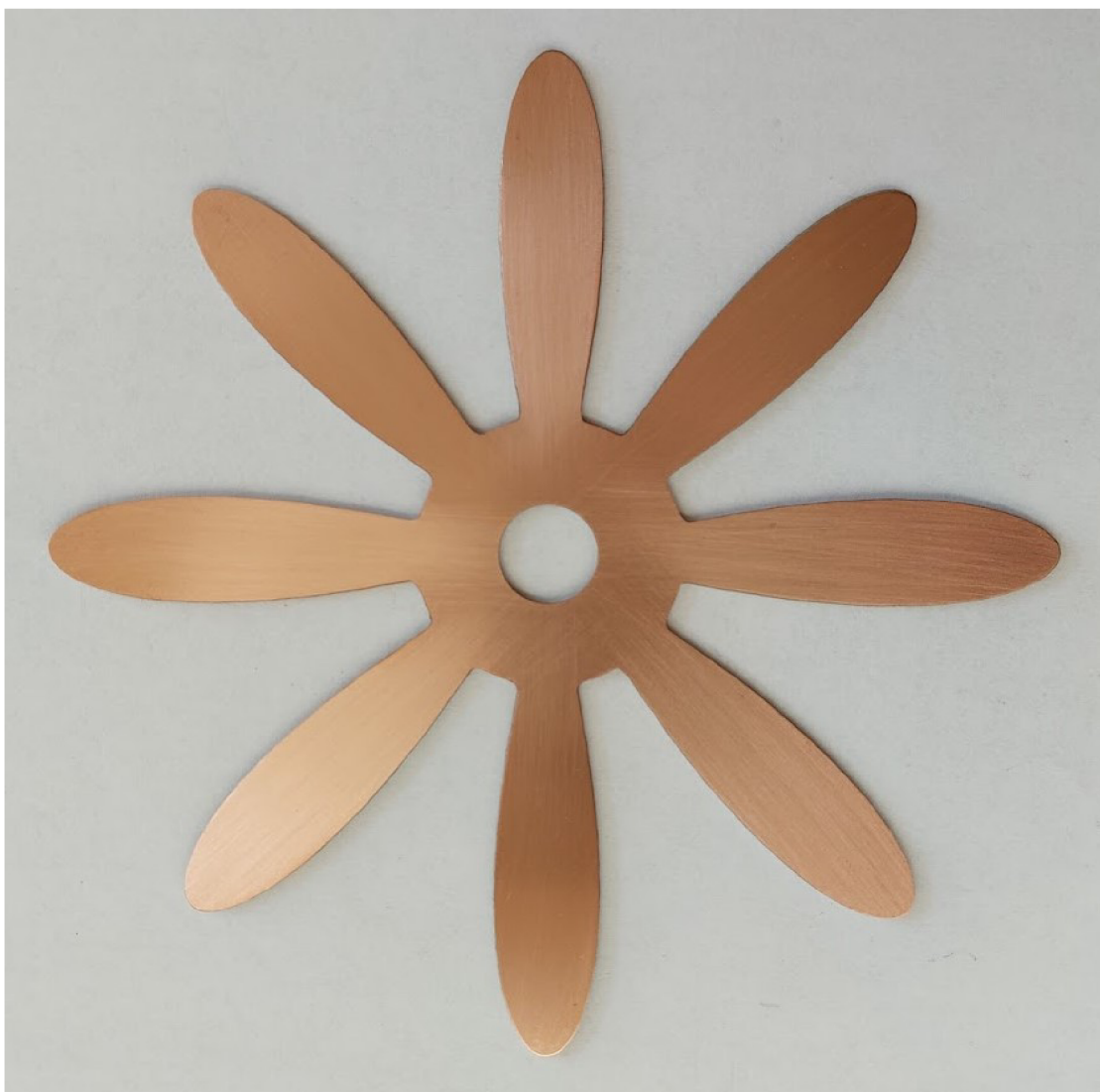
$$N = f \cdot \frac{60}{n} \quad (3)$$

Ze vztahu (3) lze odvodit vztah (4)

$$f = N \cdot \frac{60}{n} \quad (4)$$

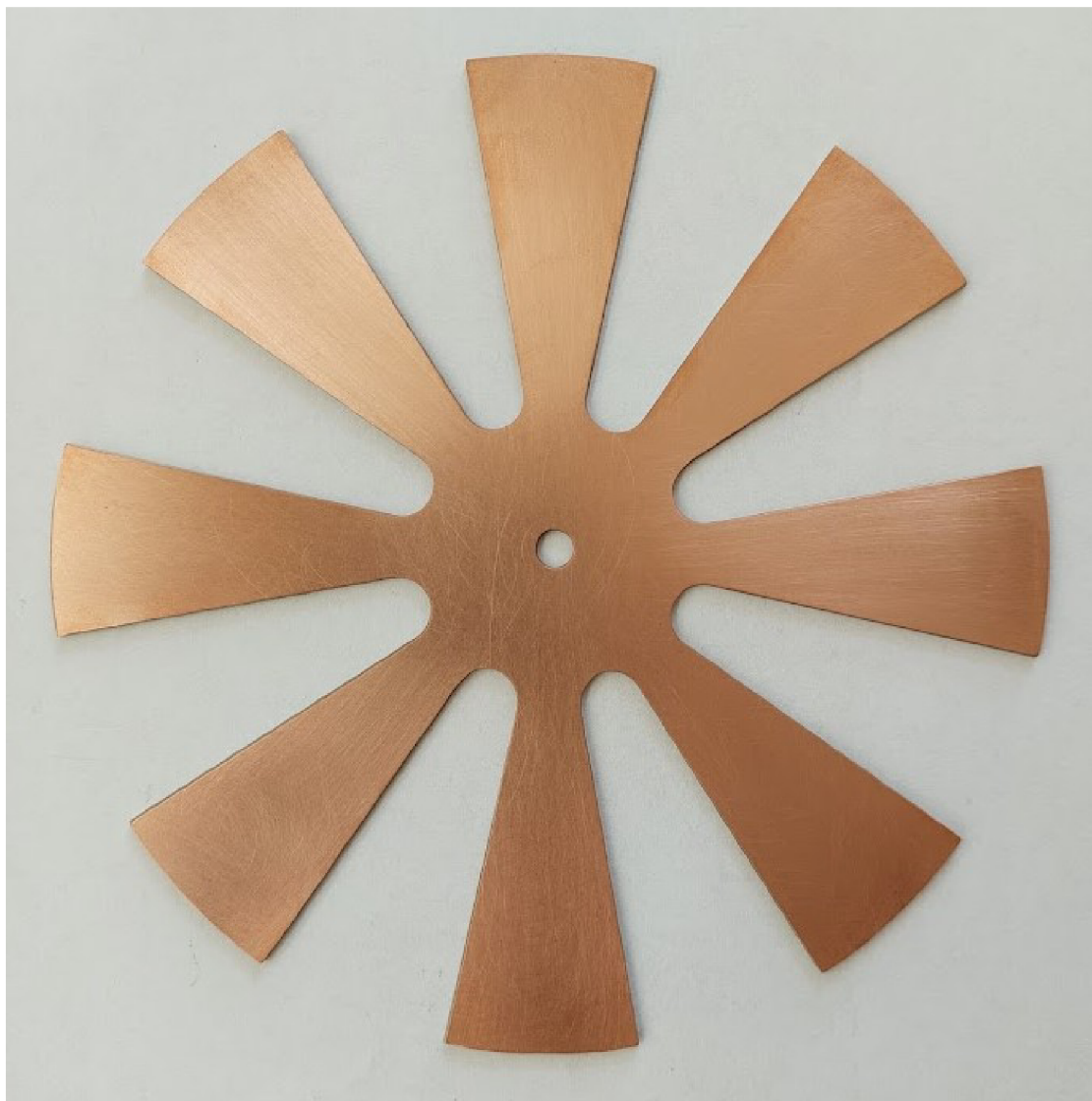
pro frekvenci f při daných otáčkách motoru n a daném počtu listů N .

Vyrobená stacionární měřicí elektroda navržená dle vztahu (2) s osmi listy je na obr. č. 5.



obr. č. 5 Osmilistá stacionární měřicí elektroda navržená a vyrobená v rámci této práce. Archív autora.

Rotační stínící elektroda je kruh rozdělený na šestnáct rozměrově stejných výsečí tj. po $22,5^\circ$, kde list tvoří každá druhá výseč viz obr. č. 6.



obr. č. 6 Osmilistá rotační stínící elektroda navržena a vyrobena v rámci této práce. Archív autora.

Tvary obou elektrod při vzájemném pohybu, tj. měřící elektroda je v klidu a stínící elektroda rotuje, zajišťují v ideálním případě sinusový průběh generovaného proudu. To umožňuje v případě potřeby získaný signál libovolně zesilovat, na rozdíl od stejnosměrného proudu.

6.1.1.1 Výroba a zkušenosti z výroby

Obě elektrody byly vytvořeny na stolní souřadnicové hobby frézce. Výroba je značně časově náročná. Elektrody se nepovedlo vyrobit hned na poprvé. Během výroby elektrody docházelo k povolování šroubků hlavy frézky. To následně způsobilo vyjetí frézovacího nástroje mimo

určenou dráhu, což poškodilo výrobek. Po následném utažení šroubků se stejná závada opakovala. Teprve po dalším utažení a zajištění závitovým lepidlem se závada již neopakovala. Elektrody se po této opravě podařilo vyfrézovat bez dalších komplikací. Důvodů vzniku této závady může být několik. Nedostatečně utažené šroubky frézovací hlavy, příliš rychlý posuv frézovací hlavy, příliš velký úběr materiálu frézovacím nástrojem. Tento druh výrobku byl na souřadnicové frézce tvořen poprvé. Primárně je konkrétní frézka určena pro operace přiměřené své robustnosti konstrukce a to pro výrobu plošných spojů frézováním měděné vrstvy. Při výrobě elektrod lze konstatovat využití frézky na horní hranici její dostatečné mechanické tuhosti. Z tohoto pohledu nelze konkrétní realizované výrobní kroky považovat za nevhodné. Vzniklé závady nebylo možné předvídat bez realizace jednotlivých kroků.

Tato závada si také vyžádala další materiál pro výrobu. Obě elektrody se vzhledem ke svému tvaru dají vzájemně proložit částí svých listů do mezer mezi listy elektrody druhé. To je výhodné vzhledem k rozměrům dostupných cuprexitových desek a úspoře použitého materiálu. Přes vzniklé komplikace při výrobě elektrod je tento způsob výroby výhodný. Ruční výroba osmilitých elektrod z cuprexitu by si vyžádala podstatně delší čas, značnou trpělivost a zkušenosti. Pokud by byl použit materiál měděný plech, na stolní souřadnicové hobby frézce by rozhodně byl problém vyrábět tvar elektrod a v úvahu by pak padala ruční výroba.

Při výrobě obou elektrod frézku byly také naznačeny středové otvory, ale nebyly vyvrtány. Otvory se měly následně tvořit podle zatím neznámého průměru hřídele. Dodatečné dodělání otvorů ve stojanové vrtačce se ukázalo jako nevhodný postup. Otvory se nepovedlo přesně vystředit při následném vrtání. To může u rotující stínící elektrody způsobit problém. Jako výhodné se jeví použít ve vrtačce běžný vrták se speciálním výbrusem špičky pro použití do dřeva. Tyto vrtáky jsou tvarem šroubovice stejné jako vrtáky do železa, ale nemusí být v provedení HSS. Pozor, nezaměňovat běžný vrták s výbrusem do dřeva s hadovitým (někdy také nazývaném spirálovým) vrtákem do dřeva. Oba vrtáky jsou znázorněny na obr. č. 7.



a)

b)

obr. č. 7 Vrtáky do dřeva. a) Běžný vrták s výbrusem pro vrtání do dřeva. b) Hadovitý vrták do dřeva. Archív autora.

Vzhledem k použitému materiálu cuprexit nedojde k poškození vrtáku a jeho středový hrot podstatně přesněji navede vrták do naznačení pro vrtaný otvor. Po dokončení veškerých výrobních operací byly veškeré hrany obou elektrod opracovány jemným brusným papírem. Jako výhodné se jeví následné čištění měděných ploch rounem určeným pro čištění měděných ploch před letováním. Používá se např. při letování topenářských měděných trubek. Je cenově dostupné v běžných hobbymarketech. Vizuálně je povrch po této úpravě jednodušší než při použití jemného brusného papíru. Povrch lze také očistit pod vodou houbičkou s tzv. pískem na nádobí. Efekt je srovnatelný. Tento způsob je občas amatérsky používán při čištění desek plošných spojů.

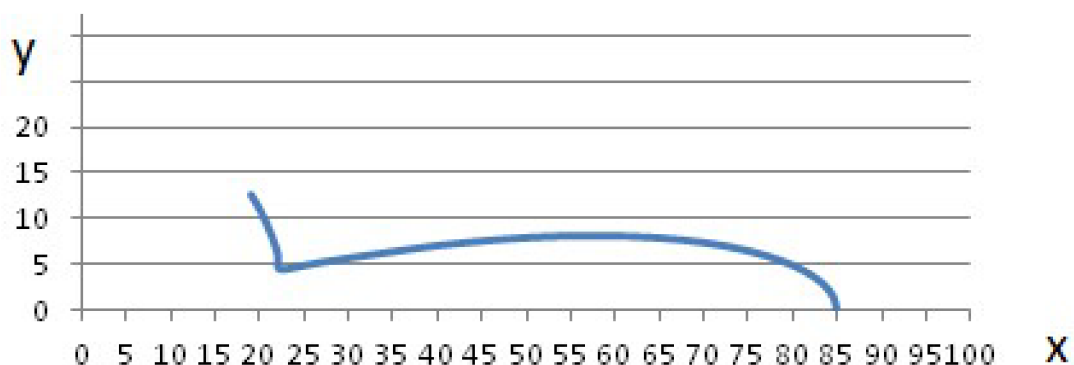
Jako další možnost výroby minimálně měřicí elektrody s tvarem výrobně náročnějším oproti stínící elektrodě se jeví využití tzv. fotocesty používané při výrobě plošných spojů. Tvar elektrody lze z předlohy přenést touto metodou na desku s fotocitlivou vrstvou na měděné vrstvě. Aplikací postupu této metody je následně odleptána měď v okolí požadovaného tvaru. Na desce zůstane pouze požadovaný tvar měděné vrstvy. Následná výroba by byla zjednodušena o přesné orýsování a další opracování tvaru elektrody.

Prvotní návrh stacionární měřicí elektrody byl realizován pomocí programu Excel. Tato volba se jevila jako nejdostupnější varianta a byla realizována pro vytvoření představy o reálném tvaru listů elektrody. Do tabulky 1 obr. č. 8 byl dosazen vztah (2).

r_0 [mm]	R [mm]	N	Úhel [α]	r [mm]	φ [rad]	X [mm]	Y [mm]
23	85	8	0	85	0	85	0
23	85	8	1	84,61581	0,017453	84,60292	1,476749
23	85	8	2	83,46022	0,034907	83,40938	2,91272
23	85	8	3	81,52362	0,05236	81,41189	4,266617
23	85	8	4	78,78788	0,069813	78,59596	5,495965
23	85	8	5	75,22256	0,087266	74,93632	6,556078
23	85	8	6	70,77781	0,10472	70,39008	7,398296
23	85	8	7	65,37091	0,122173	64,88364	7,96671
23	85	8	8	58,85859	0,139626	58,28578	8,191532
23	85	8	9	50,97232	0,15708	50,34477	7,973828
23	85	8	10	41,13087	0,174533	40,506	7,1423
23	85	8	11	27,61679	0,191986	27,10939	5,269532
23	85	8	11,25	23	0,19635	22,55806	4,487077
			15	23	0,261799	22,21629	5,952838
			20	23	0,349066	21,61293	7,866463
			25	23	0,436332	20,84508	9,72022
			30	23	0,523599	19,91858	11,5
			33,5	23	0,584685	19,17937	12,69455

obr. č. 8 Tabulka 1. Parametry pro výpočet tvaru elektrody. r_0 je poloměr středové kružnice, R je vnější poloměr, N je počet listů, úhel α je úhel pro něhož platí zadané parametry, r je délka polární souřadnice, φ úhel polární souřadnice, X je horizontální souřadnice pro niž platí zadané parametry, Y je vertikální souřadnice pro niž platí zadané parametry. Archiv autora.

Následně byl z tabulky 1 pomocí grafu vygenerován tvar poloviny listu měřicí elektrody zobrazen na obr. č. 9.



obr. č. 9 Zobrazení poloviny reálného tvaru listu stacionární měřicí elektrody. Obrázek nezachovává měřítko 1:1 původního rozměru.

Měřítko zobrazení obr. č. 9 bylo nastaveno tak aby odpovídalo reálnému rozměru v mm. Na ose Y odpovídá vzdálenost mezi hodnotou 0 a hodnotou 20 rozměru 20 mm. Na ose X odpovídá vzdálenost mezi hodnotou 0 a hodnotou 100 rozměru 100 mm. Následným překlopením takto vzniklého obrazu poloviny listu byl získán finální tvar listu. Takto získané hodnoty lze také použít pro ruční kreslení na papíře s polárními souřadnicemi [15], příloha 1.

Obě elektrody jsou v měřítku 1:1 uvedeny v přílohách 2 a 3.

6.1.2 Elektrody se zjednodušeným tvarem

Měřicí i stínící elektroda má vždy identický zjednodušený tvar a snížený stejný počet listů oproti elektrodám navrženým výpočtem. Další tři páry elektrod se zjednodušeným tvarem mají navrženy dva, tři a čtyři listy. Listy elektrod mají vždy stejné rozměry jako výseče mezi listy. Všechny elektrody mají stejný průměr a také stejnou velikost plochy bez ohledu na počet listů a to vždy polovinu plochy mezikruží. Všechny tři páry elektrod byly navrženy s důrazem na dostupnost materiálu a jejich výrobu v běžných domácích podmínkách.

6.1.2.1 Třílisté elektrody

Tyto elektrody byly vyrobeny jako první pár. Orýsovaný kruh pro výrobu elektrody je rozdělen pravidelně výsečemi po 60° tj. vznikne šest stejných výsečí kruhu. Každá druhá výseč je mezera mezi listy viz obr. č. 10.



obr. č. 10 Třílistá elektroda. Na obrázku vlevo rotační stínící elektroda, na obrázku vpravo stacionární měřicí elektroda. Archív autora.

Výroba a zkušenosti z výroby

Nosný materiál nahrazující sklolaminát u cuprexitu je tvrzený papír ze stolního kalendáře. Z jednoho stolního kalendáře lze získat dva kusy. Pro lepší mechanické vlastnosti byly v celé ploše oba kusy tvrzeného papíru k sobě slepeny. V tomto případě měl konkrétní tvrzený papír hladkou a hrubou stranu. Slepění bylo provedeno nanášením lepidla v celé ploše štětcem a přiložením hrubých stran na sebe. Použito bylo lepidlo Herkules. Následně byla lepená deska zatížena v celé ploše po dobu cca 24 hodin. Jako vhodné se jeví pod a mezi zatěžovanou deskou a zátěží vložit list papíru, tak aby s rezervou překryl lepenou deskou. Tím je zamezeno případnému kontaktu zátěže a podložky s lepidlem, které může být vytlačeno na okraje lepené desky. Současně je takto také částečně odvedena přebytková vlhkost. Tímto postupem výroby bylo dosaženo až překvapivě mnohem lepší tuhosti vzniklé papírové desky v porovnání s původní. Touto úpravou lze považovat vzniklou deskou za kompozitní materiál. Vodivá vrstva elektrody nahrazující měděnou vrstvu u cuprexitu byla vytvořena z alobalu – tenké hliníkové fólie. Alobal byl nalepen na vyrobenou deskou v celé ploše opět lepidlem Herkules. Opět byla deska zatížena v celé ploše po dobu cca 24 hodin. Jako vhodné se jeví přiložit alobal matnou stranou na lepidlo. Alobal přiložený lesklou stranou na lepidlo drží na papírové desce mnohem méně, dá se snadno oddělit i po zaschnutí lepidla. Alobal přiložený matnou stranou na lepidlo drží po zaschnutí velmi dobře. Jako vhodné se jeví alobal překrýt před jeho zatížením igelitem či mikrotenem např. rozbaleným sáčkem určeným do odpadního koše. Toto zamezí případnému přilepení alobalu k zátěži tj. poškození alobalu při sejmutí zátěže z desky. Použitý sáček není poškozen přilepením a je následně použitelný ke svému účelu.

Z takto vyrobené desky lze vystříhnout nůžkami, případně vyříznout např. zalamovacím nožem požadovaný tvar. Takto vyrobená deska je mechanicky mnohem odolnější i při následné výrobě elektrod. Přestože jde stříhat kancelářskými nůžkami, je potřeba vyvinout mnohem větší sílu než bylo potřeba vyvinout na tvrzený papír při stříhání před jeho slepením. Je výhodné použít ostré nůžky na plech. Pozor, jsou-li opotřebené, nemusí se podařit čistý stříh. Je výhodné vyzkoušet stříh na odpadní části desky. Při řezání zalamovacím nožem je dobré použít ocelové měřítko a vyvarovat se chvatu a přílišnému mačkání na nůž. Přílišný tlak na nůž svádí k vývinu větší síly při tahu nožem. To může způsobit odchylky od správného vedení nože přímkou podle pravítka, tedy křivý řez. Řez podle kružnice může být problematický, lze ho nahradit přímým řezem (tětiva kruhové úseče) což nebude mít zásadní vliv na funkci elektrod. Běžně dostupné tzv. zalamovací nože jsou provedeny ve dvou velikostech. Je výhodné použít větší provedení zalamovacího nože. Jeho zalamovací břit je tužší a aretace polohy také. Optimálně se jeví vysunutí břitu maximálně do poloviny délky ulamovací části břitu. Prsty přidržující vodítko řezu jsou při práci velmi blízko břitu. Při případném vyjetí nože při řezání může dojít k velmi nepříjemnému poranění prstů. Řezaný materiál je pro řez poměrně tuhý. Tloušťka materiálu je u obou konkrétních typů papírových lepených desek 1,5 mm. Materiál tedy svírá klínovitý břit nože po obou stranách ve výšce dané tloušťkou desky. V žádném případě se při řezu nejedná o lehký tah nože podél přiloženého vodítka. Řez je výhodné vést směrem od jednotlivých otvorů. Při řezu mezi dvěma otvory lze řez ukončit za polovinou své délky a následně vést řez od protějšího otvoru stejným způsobem.

Napojením listů na středovou kružnici vznikají ostré rohy na obou stranách listu v místě pomyslného spojení s kružnicí. Je výhodné tyto rohy tzv. odvrtat před stříháním nebo vyřezáváním tvaru elektrody. Otvor neumožňuje vznik ostrému vrcholu, což zlepšuje v tomto místě mechanickou pevnost. Při dostatečně přesné práci je kružnice a kraj listu v tomto vrcholu tečnou vyvrtaného otvoru. Jako vhodnější se jeví položit vrtanou desku alobalem na podložku tj. papírem směrem k vrtáku. Je výhodné použít již zmiňovaný vrták s výbrusem do dřeva, opět je s ním podstatně přesnější práce bez rizika jeho poškození. Vyplatí se použít neopotřebovaný ostrý vrták. Při vrtání otvorů do papírové desky je výhodné vyvinout ruční pákou posuvu vřetena nebo vrtačky velmi pomalý posuv. Na břitu vrtáku po provrtání otvoru může zůstat část vyvrtaného alobalu s papírem a nemusí to být patrné na první pohled. To může znehodnotit další vrtaný otvor. Vrták se s neodstraněnou částí chová jako tupý. Neubírá, ale spíše rozvaluje vrtaný materiál. Při vrtání jednotlivých otvorů do elektrody je výhodné přemísťovat elektrodu na podložce do jiných pozic. Otvor vrtaný na stejném místě podložky není ostře ohraněn. Materiál po obvodu otvoru je spíše zatlačován do již vzniklého otvoru v podložce. Stejným způsobem je vyvrtán i středový otvor elektrody. Důrazná připomínka – přesnost umístění středového otvoru se následně promítne do chování rotující elektrody.

Otvory lze také vyseknout opět ostrým výsečником. Při sekání středového otvoru výsečником je výhodné mít nakreslen středový kříž a ne jenom středový bod. Na kříži lze mít od jeho středu ryskami označeny poloměry otvoru pro přesné nasazení výsečníku. Výsečníky mají v převážné většině ostří broušeno k vnitřní hraně, pomyslně do špičky – kuželu viz obr. č. 11.



a)

b)

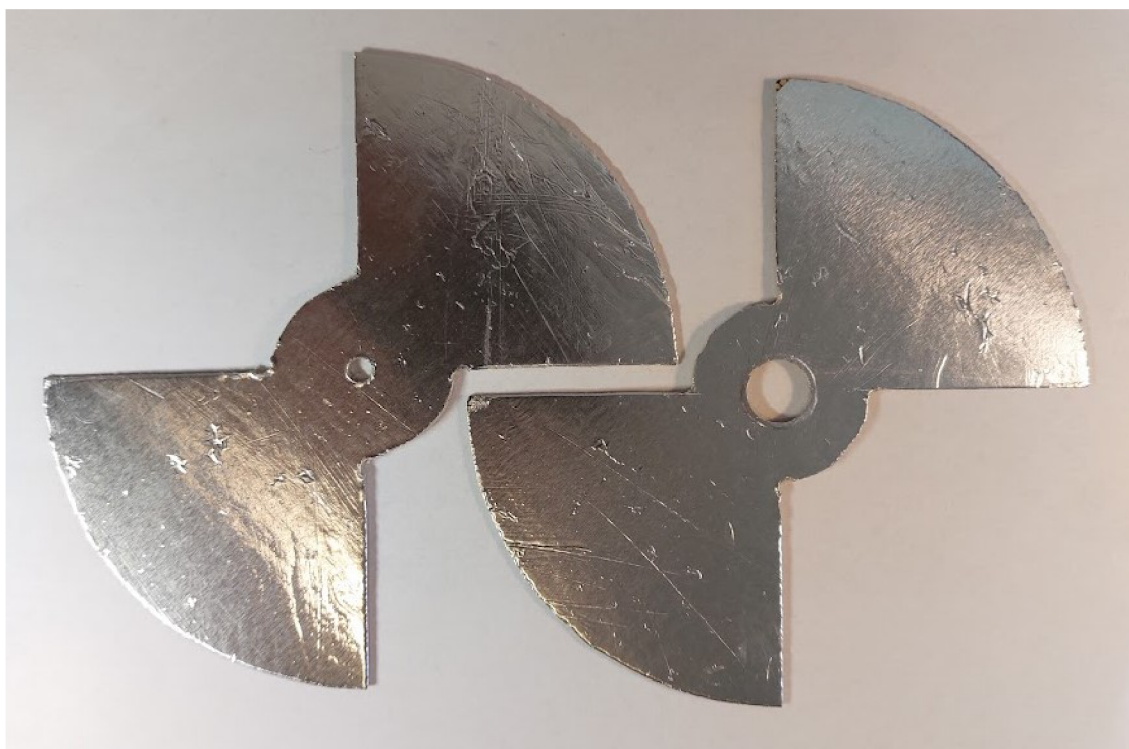
obr. č. 11 Výsečník o průměru 16 mm. a) Boční pohled na výsečník o průměru 16 mm. b) Detail břitu výsečníku. Při sekání otvoru do materiálu o tloušťce $tl.$ vznikne rozdíl mezi průměry otvoru na spodní straně materiálu a horní straně materiálu. Horní strana materiálu 1, spodní strana materiálu 2, tloušťka materiálu $tl.$, pomyslný kužel výbrusu výsečníku k . Archiv autora.

Při příliš velkém úderu na výsečník vznikne v materiálu otvor odpovídající tomuto kuželu výbrusu výsečníku a intenzitě úderu tj. otvor větší než udávaný rozměr výsečníku. To může opět způsobit možný problém s vystředěním rotující elektrody. Opět je výhodné vysekávat jednotlivé otvory vždy na jiném místě podložky. Přesto může dojít k neproseknutí hliníkové vrstvy. Finální dokončení vyseknutého otvoru je výhodné dokončit ručním proříznutím pomocí použitého výsečníku. Při této operaci je pohyb výsečníku obdobný, jako při tvoření otvoru šídlem. Lze přirovnat i k pohybu nástroje ve svídku. Je výhodné vyzkoušet nejdříve na odpadním kusu desky.

Obě popsané metody vytvoření jednotlivých otvorů byly realizovány. Obě metody mají své výhody i nevýhody. Z tohoto pohledu nelze jednoznačně určit, která z metod je lepší. V obou případech je výhodné používat hladkou podložku z tvrdého dřeva. Mezi elektrody a podložku byl vždy vložen list papíru. Ten zabraňuje poškození tenké vrstvy hliníku nepatrnými otřepy na podložce. Otřepy nemusí být na první pohled patrné.

6.1.2.2 Dvoulisté elektrody

Tyto elektrody byly vyrobeny jako druhý pár. Pomyslný kruh pro výrobu elektrody je rozdělen pravidelně výsečemi po 90° tj. vzniknou čtyři čtvrtkruhové výseče. Každá druhá výseč je mezera mezi listy viz obr. č. 12.



obr. č. 12 Dvoulistá elektroda. Na obrázku vlevo rotační stínící elektroda, na obrázku vpravo stacionární měřicí elektroda. Archív autora.

Výroba a zkušenosti z výroby

Nosný materiál tentokrát není tvrzený papír ze stolního kalendáře. Jsou použity desky pro archivaci dokumentů stahovatelné tkalouny. Na každou z desek je na vrchní hladkou stranu nanášeno lepidlo Herkules a následně přiložen alobal matnou stranou na lepidlo. To se nepovedlo podle očekávaných představ. Pod alobalem zůstaly vzduchové bubliny. Ty se nepodařilo zcela vytlačit k okrajům. Pozor, při nadměrné snaze vytlačit bubliny vzduchu k okraji může dojít k poškození vrstvy alobalu jeho protržením. To vede k roznesení lepidla vytlačeného touto trhlinou po okolí trhliny na povrchu alobalu. Znečištění lepidlem je potřeba odstranit navlhčeným hadříkem nebo podobným prostředkem (platí pro lepidlo Herkules). Po pokusu sejmutí alobalu z desky již velmi pevně držel na jejím povrchu. Lepidlo nemohlo být za dobu cca tří až pěti minut zaschlé. Alobal by se ale podle všeho při sejmutí z desky již poškodil. Jedna z možností je vzduchové bubliny propíchnout špendlíkem, vzduch pod alobalem lze pak vytlačit tímto otvorem. Pozor, jakmile se otvor manipulací přitlačí, tento postup již není dále funkční a je potřeba jej znovu opakovat.

Jako vhodnější přilepení alobalu se jeví obrácený postup lepení. Na rovnou podložku je položen igelit nebo mikroten. Na toto podložení je následně alobal položen matnou stranou nahoru. Ideálně by měl mít přesah alespoň na dvou protilehlých stranách. Na nich je možné alobal zatížit těžítka, např. mincemi, závažíčky a lehce jej napnout aby se nevlínil. Použitá deska tvrzeného papíru má snahu po nanášení lepidla absorbovat vlhkost z lepidla. To má za následek její nepatrné vyboulení na stranu nanášení lepidla. Deska s lepidlem je v této fázi přiložena vyboulením na matnou stranu alobalu a lehce přitlačována od středu směrem k okrajům. Následně je deska překryta papírem a zatížena v celé ploše po dobu zaschnutí lepidla. Desky jsou také velmi často nepatrně prohnuty samy o sobě. Toho lze pro tento postup rovněž využít.

Po zaschnutí lepidla tentokrát deska s alobalem nedosáhla takové tuhosti jako deska vyrobená pro třílísté elektrody, zkušeno ohybem rukou v mezích pružnosti. Pokud by elektrody vyrobeny z této desky neměly dostatečnou mechanickou odolnost, nabízí se možnost druhou vyrobenou desku s alobalem vyztužit přilepením další papírové desky. V této fázi zatím nebylo možné určit, zda bude vyztužení další deskou potřeba. Elektrody byly po zaschnutí lepidla orýsovány a vystřiženy.

6.1.2.3 Čtyřlísté elektrody

Tyto elektrody byly vyrobeny jako třetí pár. Orýsovaný kruh pro výrobu elektrody je rozdělen pravidelně výsečemi po 45° tj. vznikne osm stejných výsečí. Každá druhá výseč je mezera mezi listy viz obr. č. 13.



obr. č. 13 Čtyřlístá elektroda. Na obrázku vlevo rotační stínící elektroda, na obrázku vpravo stacionární měřící elektroda. Archív autora.

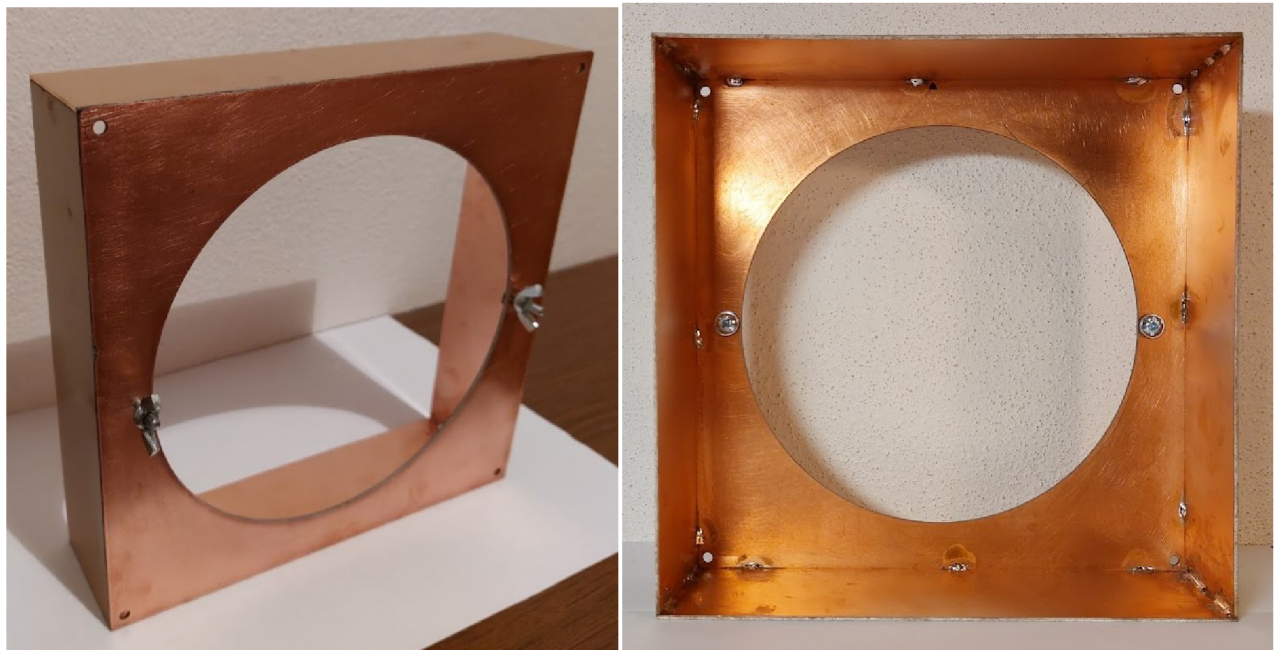
Výroba a zkušenosti z výroby

Nosný materiál je opět tvrzený papír ze stolního kalendáře. Tentokrát jsou desky k sobě slepeny hladkými stranami s bohatým potiskem opět lepidlem Herkules. Důvodem této změny oproti postupu u třílísté elektrody je možná špatná čitelnost při orýsování tvaru elektrod. Třílísté vyrobené elektrody se po nějakém čase bez zatížení na rovné ploše lehce prohýbají (vyboulí) směrem na stranu bez polepu alobalem. Deska vyrobená pro čtyřlísté elektrody se může nepatrně lišit svými mechanickými vlastnostmi díky změně v postupu.

6.2 Stíněná klec

Rotační stínící elektroda i měřicí stacionární elektroda jsou umístěny ve stíněné kleci tvořené opět dostupným materiálem konkrétně cuprextitem.

Klec je konstruována jako dostatečně velká čtvercová základna s přiměřeně vysokými bočnicemi a čelním zakrytím opět čtvercového tvaru. Ve středu základny je vytvořen otvor pro průchod hřídele pohonu stínící elektrody. V čelním zakrytí stíněné klece je vytvořen otvor kruhového tvaru o průměru měřicí stacionární elektrody viz obr. č. 14.

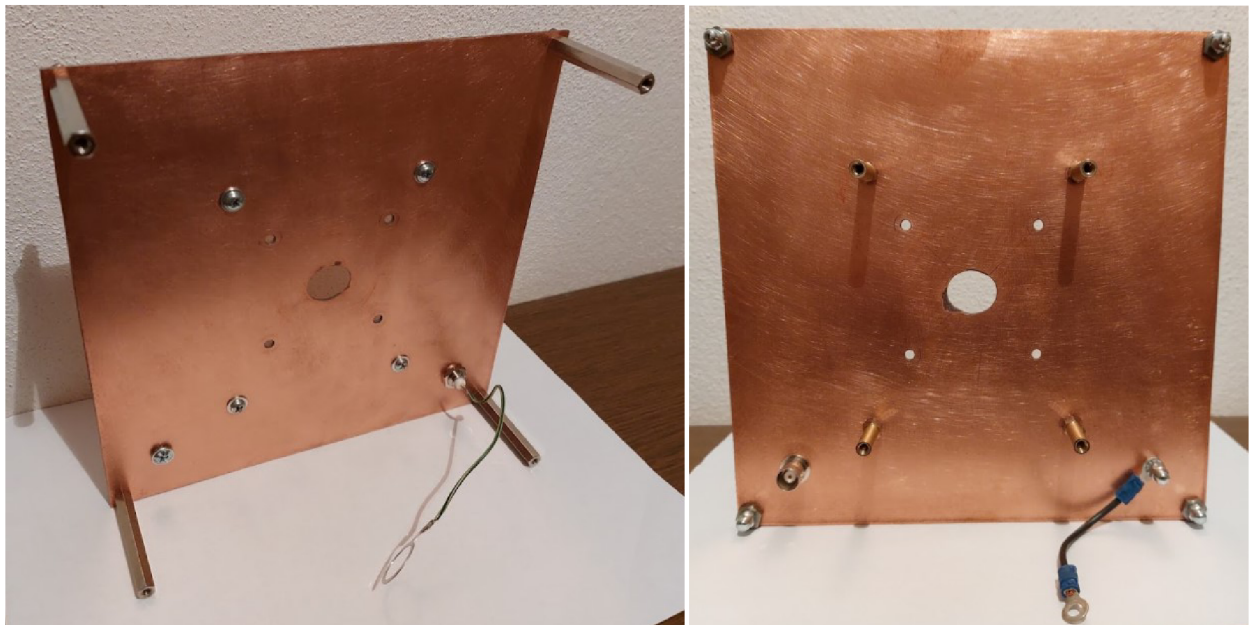


a)

b)

obr. č. 14 Pohled na čelní zakrytí s bočnicemi. a) Vnější pohled na čelní zakrytí s bočnicemi. Již po montáži šroubků s křídlovými maticemi pro uchycení stínící desky kruhového otvoru. b) Vnitřní pohled na čelní zakrytí s bočnicemi. Na obrázku jsou patrné letované spoje. Archív autora.

Čelní zakrytí je s bočnicemi vodivě spojeno pájením. Na základně stíněné klece jsou v rozích osazeny distanční sloupky viz obr. č. 15.



a)

b)

obr. č. 15 Pohled na základnu stíněné klece. a) Pohled na základnu ze strany stíněné klece, již po montáži konektoru BNC a vodiče s očkem pro vyvedení signálu měřící elektrody. b) Pohled na základnu ze strany osazení motorku. Uprostřed základny je vyvrtán otvor pro průchod hřídele motorku. Vpravo dole osazen konektor BNC, vlevo dole aplikován zemnicí vodič pro připojení k stínění motorku. Archiv autora.

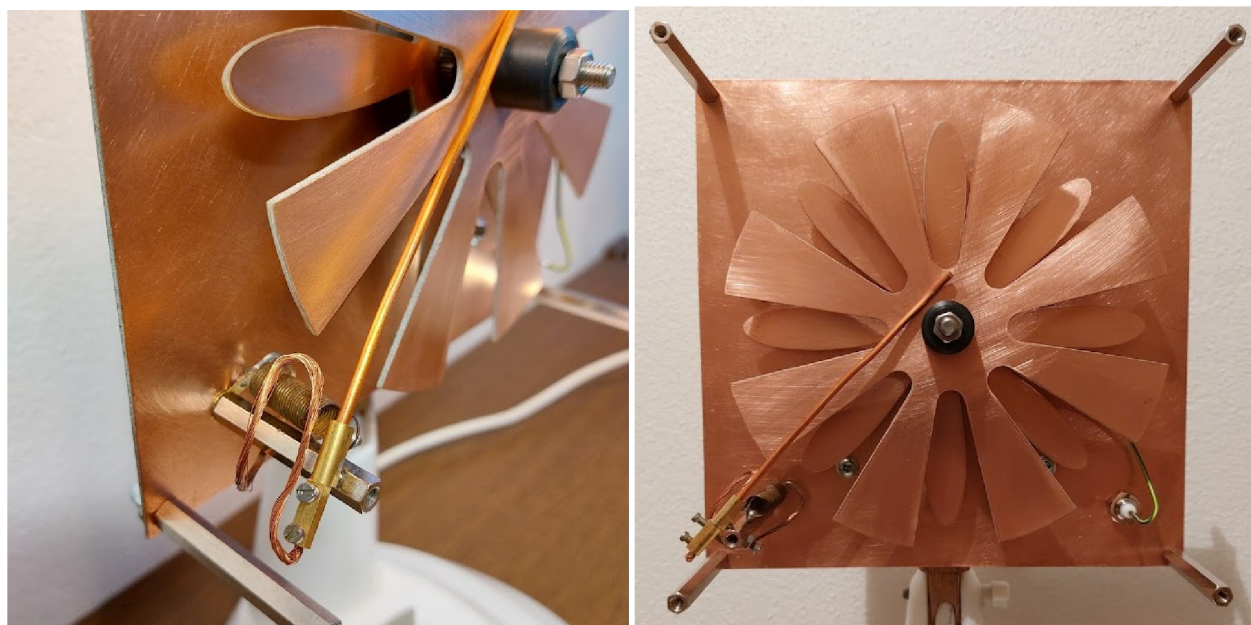
Jednotlivé sloupky centrují a usnadňují montáž čelního zakrytí s bočnicemi na základnu. Do sloupků je následně přišroubováno čelní zakrytí s bočnicemi šroubky. Pro zaručené vodivé spojení základny stíněné klece se zakrytím jsou překlemovány dva protilehlé distanční sloupky. Každý z těchto sloupků má své konce vodičů propojeny vodičem s očky uchycenými pod šroubky vně stíněné klece.

6.2.1 Uzemnění stíněné elektrody

Stíněná rotující elektroda je pohyblivý díl, který je pro správnou funkci VN voltmetru potřebné kvalitně uzemnit. Zdánlivě jednoduchá operace je komplikována provozními podmínkami elektrody. Pevný elektrický kontakt se dotýká měděné vrstvy na elektrodě v rotačním pohybu. Konstrukce zemnicího kontaktu je navržena s ohledem na dlouhodobé provozování. Přítlačná síla v místě dotyku kontaktu s elektrodou by měla být co nejnižší. Tím bude sníženo opotřebení kontaktu a elektrody. Z pohledu zaručeného galvanického spojení by přítlačná síla neměla být příliš malá. Navrženy byly celkem dva způsoby uzemnění. První způsob používá pevný kontakt přitlačovaný tažnou pružinkou k měděné vrstvě elektrody. Druhý způsob používá hřídel motorku jako vodič pevně spojený se stíněnou elektrodou. Hřídel motorku je uzemněn kontaktem přitlačovaným vlastní pružností.

6.2.1.1 Zemní kontakt stíněné elektrody s tažnou pružinkou

Zemní kontakt je ramínko sloužící jako vodivý kontakt umístěné na příčném čepu nosného dílu. Nosný díl je přišroubován mimo rotující elektrodu k základně stíněné klece viz obr. č. 16.



a)

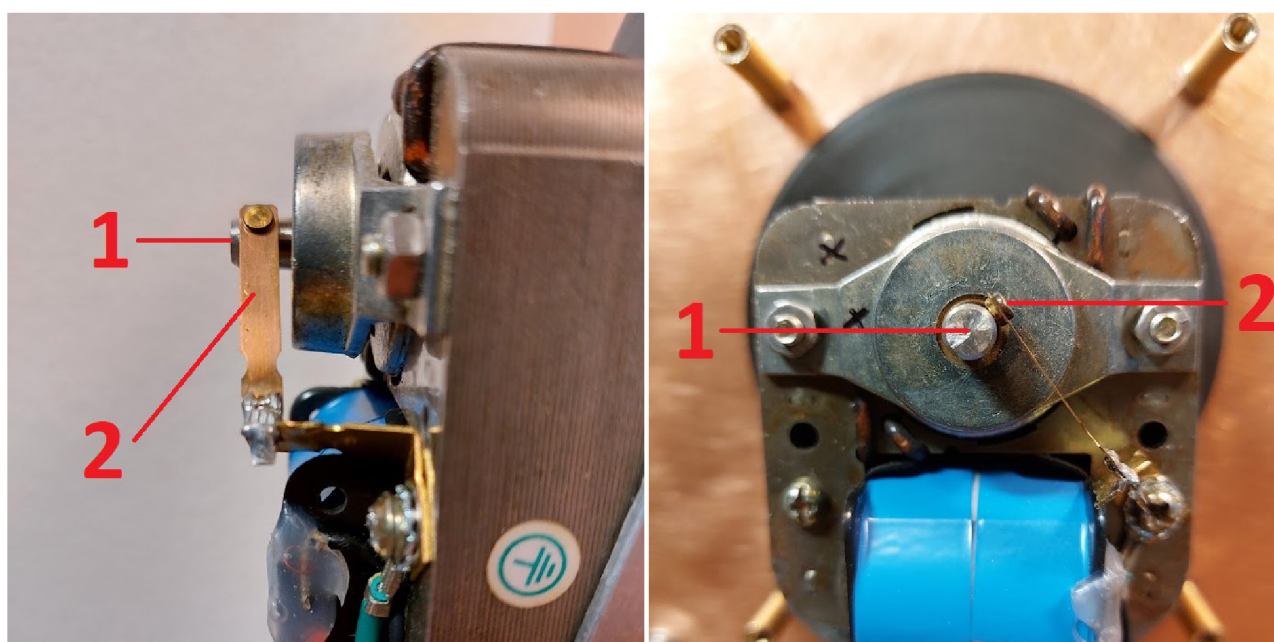
b)

obr. č. 16 Pohled na zemní kontakt s tažnou pružinkou. a) Detail osazení kompletního zemního kontaktu stínící elektrody. b) Čelní pohled na osazenou stínící elektrodu s aplikovaným zemním kontaktem. Archív autora.

Ramínko je dostatečně dlouhé což je součet poloměru elektrody a montážní vzdálenosti nosného dílu. Tažná pružinka je umístěna v blízkosti nosného dílu směrem ke kontaktujícímu konci ramínka. Pružinka táhne ramínko proti měděné vrstvě stíněné elektrody. Poměr rozložení sil na jednoduché páce - ramínku zajišťuje malou, ale dostačující sílu k přitlačení ramínka na stíněnou elektrodu. Na druhém konci ramínka je připojen zemní vodič.

6.2.1.2 Zemní pružný kontakt hřídele motorku

Stíněná rotační elektroda je vodivě spojena s hřídelem motorku. Hřídel vyrobený z kovu je tedy vodič, procházející základnou stíněné klece, rotorem motorku a vyúsťuje za zadní částí motorku v dostatečné délce. Na zadní části motorku je vytvarován držák pružného kontaktu. Držák je uchycen pod šroubky motorku stahující statorové plechy. Na držáku je vodivě připevněn pružný kontakt. Pružný kontakt je předeprnut svou polohou a dotýká se hřídele malou silou viz obr. č. 17.



a)

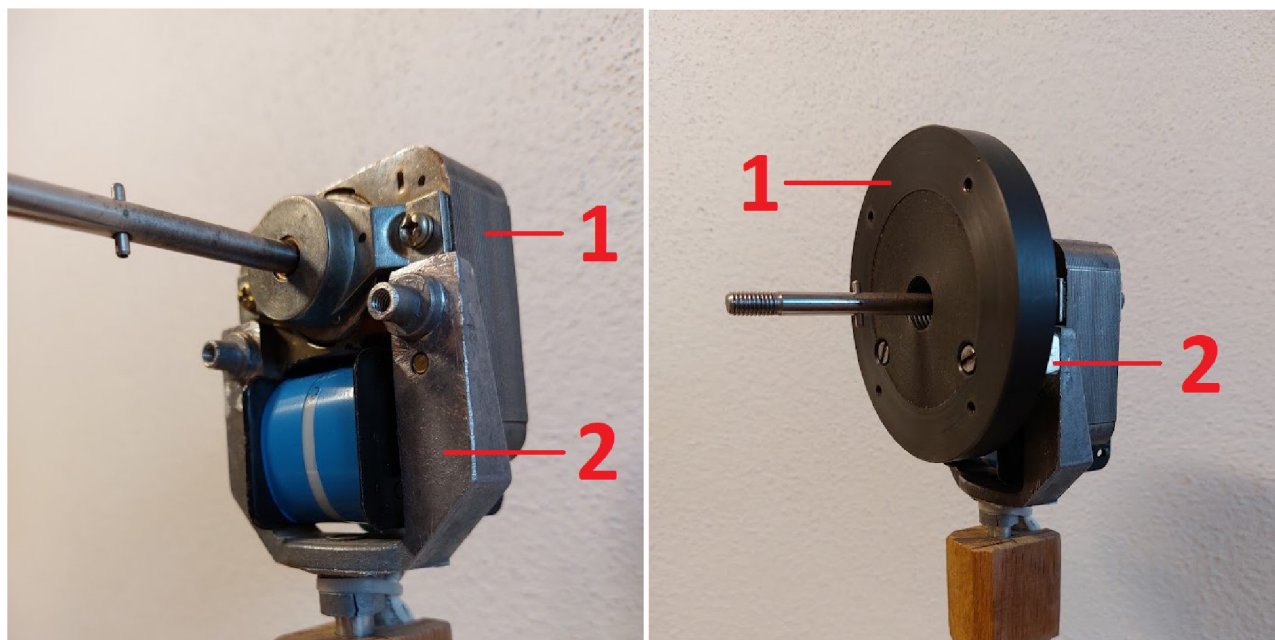
b)

obr. č. 17 Pohled na zemní kontakt hřídele motorku. a) Boční pohled na zemní kontakt hřídele motorku. Hřídel motorku č. 1, zemní kontakt č. 2 b) Čelní pohled na zemní kontakt hřídele motorku. Hřídel motorku č. 1, zemní kontakt č. 2. Archív autora.

Tím je galvanicky propojen hřídel s kontaktem. Držák pružného kontaktu je současně připojen prostřednictvím šroubku také k očku zemního vodiče.

6.2.2 Uchycení pohonu stínící elektrody ke stíněné kleci

Pohon stínící elektrody je uchycen pomocí mezikusu k stíněné kleci elektrod. Na pohonu – motorku není vytvořena příruba k upevnění ani rovná dosedací plocha. Motorek je čelně uchycen do nosného dílu typu U profilu s trnem pro vsazení do kloubu stojánku viz obr. č. 18.



a)

b)

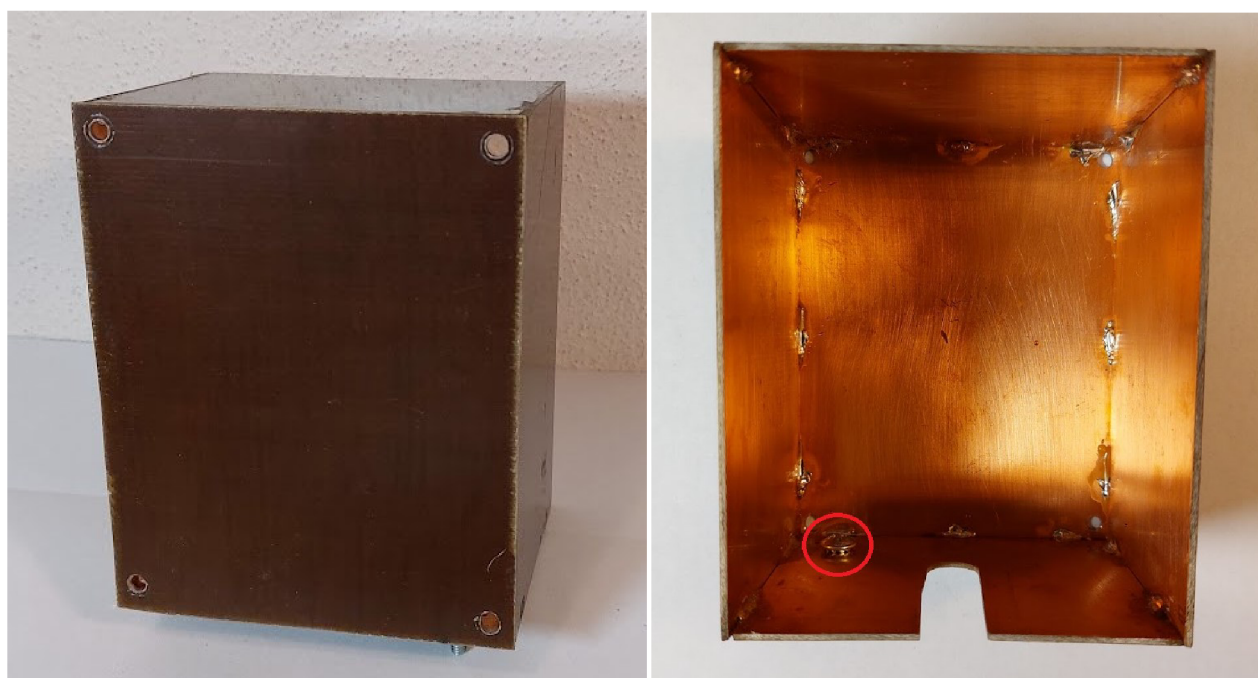
obr. č. 18 Pohled na uchycení motorku. a) Pohled na motorek uchycený v nosném dílu typu U profilu. Motorek č.1, nosný díl motorku č. 2. b) Pohled na mezikus přichycený šroubky k U profilu. Mezikus č. 1, distanční podložka č. 2. Archív autora.

Profil U je přisazen k plechům vinutí motorku a přišroubován dvěma šroubky. Mezi rameny profilu prochází hřídel motorku. Konstrukčně toto provedení neumožňuje přisazení pro uchycení k rovné ploše. Tento nedostatek řeší dvě vymezovací podložky s vhodnou výškou přisazené k profilu U. Na tyto podložky již lze přiložit souvislou rovnou plochu s otvorem pro hřídel motorku. Mezikus mezi stíněnou klecí a motorkem je přiložen na vymezovací podložky k U profilu a přichycen šroubky M4.

Mezikus obsahuje otvory se závity pro uchycení k základně stíněné klece. Toto řešení vyztužuje základnu a stabilněji fixuje motorek v dané pozici.

6.2.3 Stíněná klec pohonu stínící elektrody – motorku

Stíněná klec (dále jen stínění motorku) pro motorek zamezuje šíření elektromagnetického pole při provozu motorku. Elektromagnetické pole motorku by mohlo ovlivňovat vlastní měření VN voltmetrem. Ideálně by toto stínění mělo být uzavřeno v celé své ploše. To není dodrženo v místě průchodu napájecího kabelu a nosného dílu motorku, který je trnem osazen do stavitelného stojanu VN voltmetru. V případě nutnosti je možné tento společný průchod stíněním motorku řešit dodatečným vyrobením stínění napájecího kabelu a zaslepením volných míst v průchodu přišroubováním vhodně tvarovaného zakrytí složeného ze dvou dílů. Dělicí rovina těchto dvou dílů je zároveň středovou osou přesně vytvořených otvorů pro napájecí kabel a trn nosného dílu motorku. Na obr. č. 19 je zobrazen celkový pohled z vnější a vnitřní strany na stínění motorku.



a)

b)

obr. č. 19 Pohled na stínění motorku. a) Celkový pohled na stínění motorku. b) Pohled z vnitřní strany na stínění motorku. Ve spodní části je patrný průchod pro držák a napájecí kabel motorku. Vlevo dole je patrná hlava šroubku (zvýrazněna kroužkem) pro uzemnění stínění motorku. Archiv autora.

6.2.4 Výroba a zkušenosti z výroby

6.2.4.1 Stíněná klec elektrod

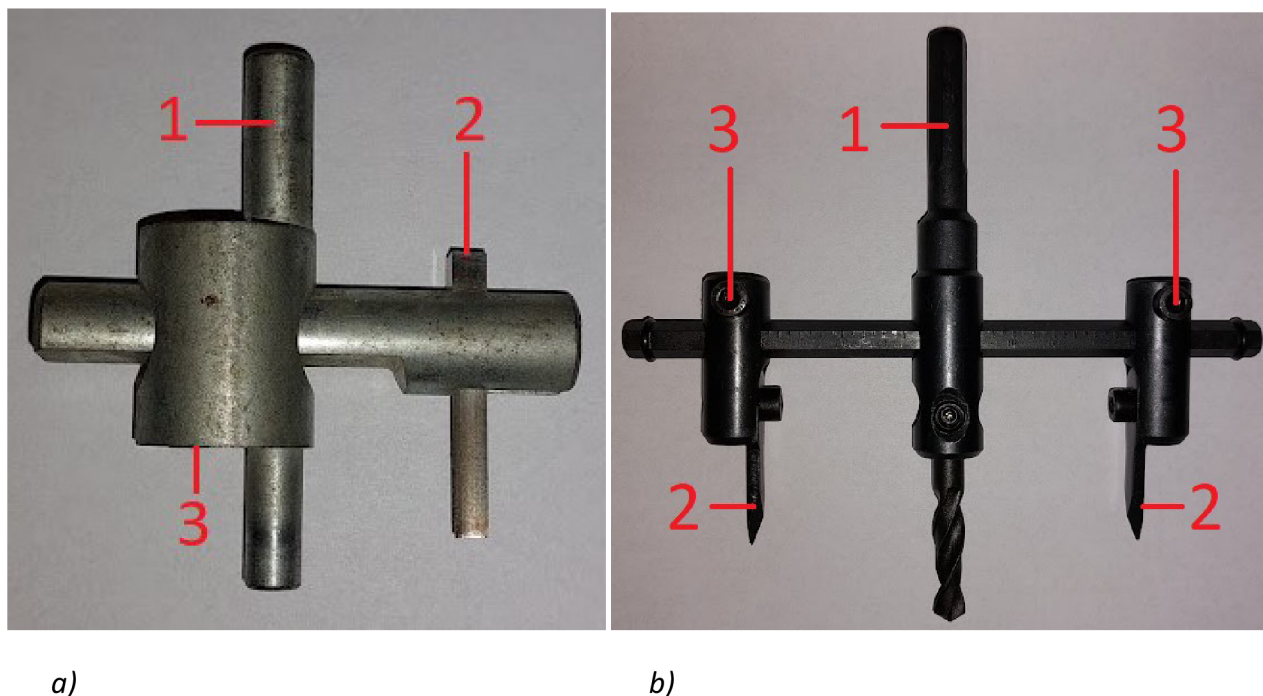
Stíněná klec byla navržena následujícím způsobem. Mezi základnu a čelní zakrytí o stejné velikosti čtvercového tvaru jsou vloženy bočnice. Na základně i čelním zakrytí byly vyvrtány otvory ve všech rozích pro distanční sloupky. Distanční sloupky jsou umístěny ve stejných vzdálenostech od rohových vrcholů a to síla bočnice + poloměr distančního sloupku + 1 mm pro dostatečnou vůli. Pozor, distanční sloupky jsou většinou šestihrany, tedy nesednou přesně do úhlu 90°, stejně tak šestihrané maticky. Šestihran distančního sloupku 7 mm má na vrcholech průměr 8 mm. Všechny bočnice mají stejnou výšku. Je výhodné určit výšku bočnic podle délky dostupných distančních sloupků. V tomto případě 50 mm. Distanční sloupky lze nahradit např. závitovou tyčí nebo dostatečně dlouhým šroubkem a vymežovací trubičkou, ideálně se závitem M4 nebo M5. Vymežovací trubičku lze případně nahradit matickami. Dvě protilehlé bočnice mají délku hrany čtverce základny. Další dvě protilehlé bočnice jsou kratší o dvojnásobek tloušťky použitého materiálu.

Po určení rozměru základny a bočnic, byly díly orýsovány tenkým popisovačem (centrofix) na desku cuprexit. Po tomto kroku byly díly vystřiženy nůžkami na plech. Po vystřížení a následném sesazení nanečisto se ukázaly nedostatky použitého postupu. Bočnice byly sesazeny na základně čtvercového tvaru a svírají ve všech místech dotyku úhel 90°. V této fázi se projevují veškeré nepřesnosti při rýsování a následném stříhání. V lepším případě lze opravit projevené odchylky od pravoúhlého tvaru odstřížením nebo broušením přebytečného materiálu. Přiložením hran bočnic na základnu se hrany podle přesnosti opracování dotýkají v maximální možné míře základny. Problém se projevuje hlavně na protilehlé straně základny, kde je možné přebytečný materiál obrousit, ale nelze přidat chybějící. V takovém případě je řešením snížit výšku bočnic na rozměr, který je umožněn jejich předešlým opracováním. Případné snížení je potřeba realizovat i úpravou délky distančních sloupků. Protilehlá strana základny je osazena deskou - čelním zakrytím s otvorem o průměru měřicí elektrody. Veškeré nepřesnosti se tak projeví až po přiložení čelního zakrytí.

Je výhodné orýsovat jednotlivé díly na cuprexit rýsovací jehlou, lze nahradit např. jehlou kružítko. Značně to upřesňuje následující stříhání. Jehlu kružítko nepoškodí sklolaminátová vrstva a ani měděná vrstva. Nůžky na plech vzhledem k rozměrům vyráběných dílů nejsou ideálním řešením, ale lze je použít. Hlavně při dostřihávání obrobku už lehce deformují ohybem. Po vystřížení lze tyto deformace na rovné podložce případně protitlakem v ruce narovnat. Pozor, často používané nůžky na plech mohou mít poškozenou střížnou hranu běžným používáním, což se ukazuje na kvalitě stříhu, kdy spíše trhají cuprexit. Je výhodné použít ostré přímé nůžky s co nejdelšími čelistmi. Pokud je možnost použít dílenské tabulové nůžky, někdy také nazývané pákové, rovné dlouhé stříhy budou mnohem jednodušší na provedení.

Při výrobě otvoru u čelního zakrytí byl použit vykružovací vrták ve stolní stojanové vrtačce. Tyto práce vyžadují jistou zkušenost. Deska čelního zakrytí byla přichycena k podložce. Na všech obvodových hranách desky byly vždy dvěma těsně přisazenými vruty přišroubovány lišty o délce hrany desky. Celá podložka s deskou byla vycentrována na střed desky proti vrtáku a šrouby přichycena k základně stojanové vrtačky. Následně byl předvrtán otvor pro vykružovací vrták.

Vykružovací vrták byl použit stavitelný s jedním nožem. Po nastavení vykružovaného průměru na vrtáku a upnutí do vrtačky byl velmi pomalým posuvem udávaným ruční pákou vykroužen požadovaný otvor. Pokud je dodržen správný postup bez chvatu, je výsledný otvor velmi čistě provedený. V současné době jsou na trhu stavitelné vykružovací vrtáky s dvěma protilehlými noži. Jejich použití je nesporně výhodnější. Pozor, tuto dílenskou operaci nelze doporučit bez přiměřených zkušeností získaných praxí. Vykružovací vrták má rotující ramena tj. páky s upnutými vykružovacími noži. Velmi snadno se dá opracováváný obrobek nevratně poškodit např. při jeho nedostatečné fixaci. Mnohem závažnější však může být i devastující zranění rukou. Vykružovací vrták s jedním nožem a s dvěma noži je zobrazen na obr. č. 20.



obr. č. 20 Vykružovací vrtáky. a) Vykružovací vrták s jedním nožem použitý k výrobě otvoru v čelním zakrytí. b) Vykružovací vrták s dvěma noži. a), b) Stopka určená k upnutí do sklíčidla č. 1, nůž č. 2, šroub aretující nastavenou polohu držáku nože č. 3. Archiv autora.

Druhou možností výroby otvoru v čelním zakrytí stíněné klece je pracnější, ale bezpečný postup tzv. odvrtávání. Vhodným vrtákem o průměru např. 4 - 8 mm lze po obvodu požadovaného tvaru odvrtávat otvory. Je vhodné narýsovat na obrobek kružnici o rozměru původního poloměru, od kterého je odečten poloměr vrtáku. Tato kružnice slouží jako vedení bodu pro nasazení vrtáku a značně zpřesňuje následné provedení. Rozteče jednotlivých bodů pro vrtání mají rozměr průměru použitého vrtáku. Z toho také plyne počet vrtaných otvorů po obvodu této kružnice. Menší průměr vrtáku se jeví jako výhodnější. Po odvrtání otvorů po celém obvodu kružnice lze vyjmout vzniklou středovou část. Na obrobku ve vzniklém otvoru zůstává materiál k dalšímu opracování. Při použití menšího vrtáku je potřeba následně odstranit méně materiálu. Další opracování vzniklého

vnitřního otvoru usnadněné např. frézou v ruční vrtačce lze opět doporučit jen po získání přiměřených zkušeností. Frézka má při nepřiměřeném tlaku snahu se zakusovat a nekontrolovaně ubírat materiál. Jako vhodnější se jeví lamelový boční brusný kotouč na stopce upnutý do vrtačky viz obr. č. 21.

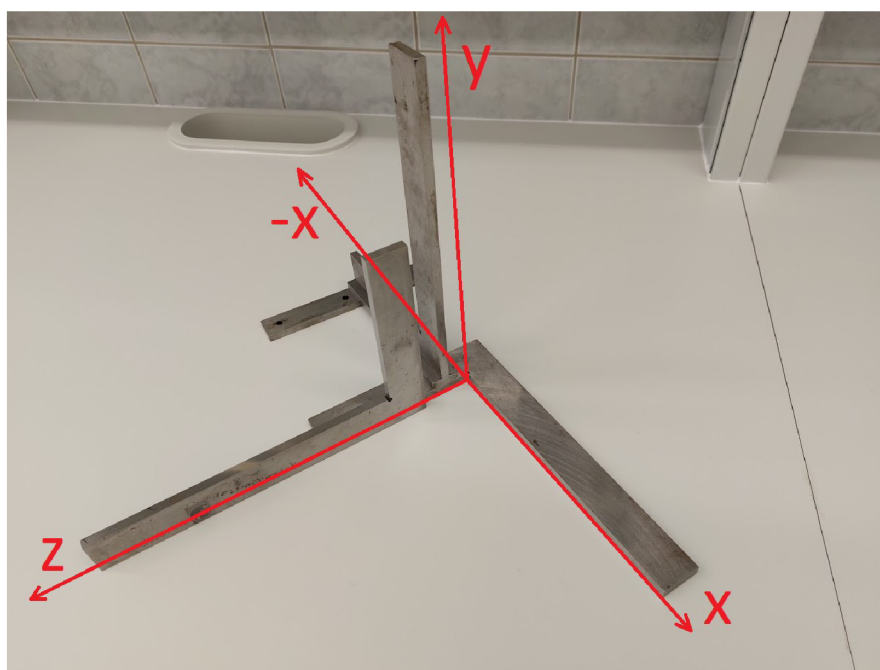


a)

b)

obr. č. 21 Frézky a lamelový brusný kotouč. a) Sada stopkových frézek HSS 6 mm určených pro upnutí do sklíčidla. b) Lamelový boční kotouč se stopkou 6 mm určený pro upnutí do sklíčidla. Archív autora.

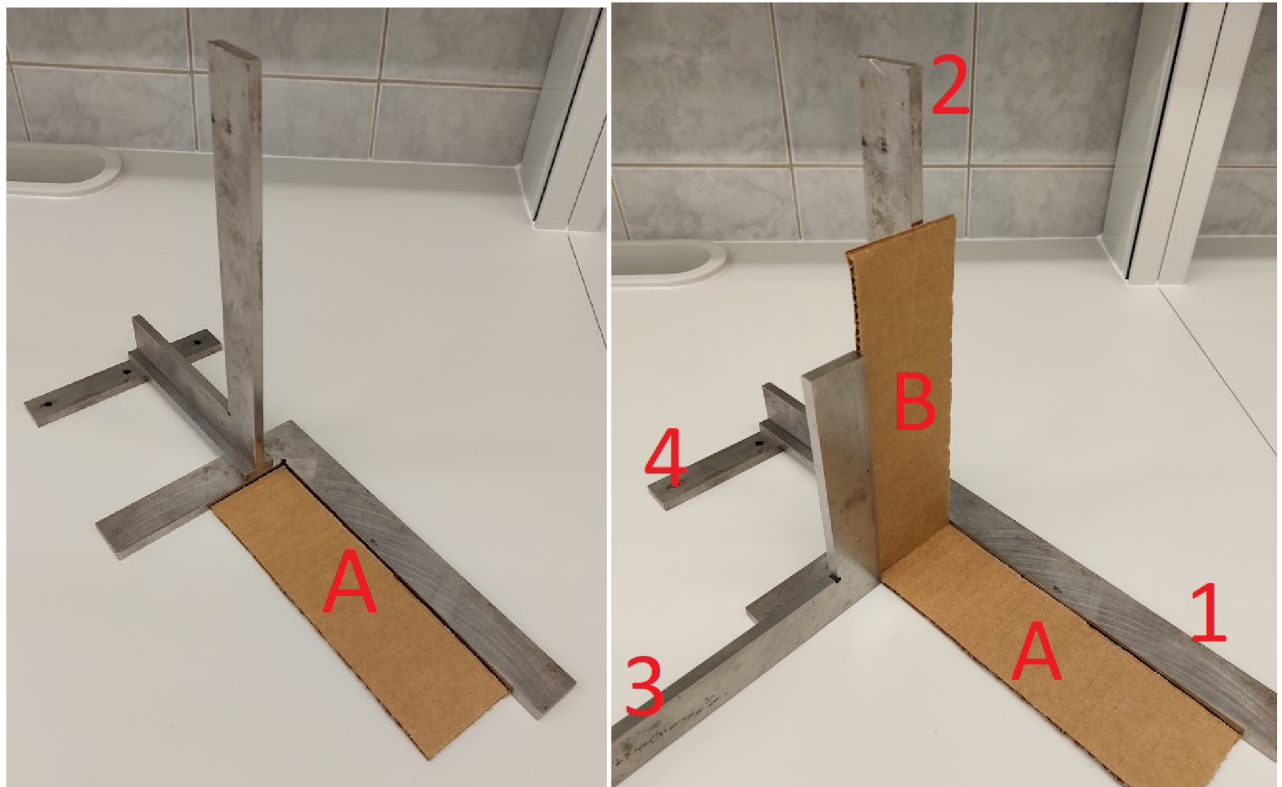
Po začištění otřepů na vyrobených dílech lze přistoupit k jejich sestavení a pospojování pájením. Tato operace byla provedena za pomoci tří zámečnických úhelníků a malých truhlářských svěrek. S jejich pomocí byly následně vyrobeny dva polotovary vždy ze dvou bočnic svírajících úhel 90°. Pro lepší představu bude použita soustava souřadnic X, Y, Z viz obr. č. 22.



obr. č. 22 Pohled na promítnutí soustavy X, Y, Z do sestavy použitých úhelníků. Archív autora.

Osa X je rovnoběžná s podložkou, osa Y je kolmá na podložku, osa Z je rovnoběžná s podložkou a kolmá na plochu tvořenou osami X, Y.

Delší bočnice A byla položena na podložku (plocha mezi osami Z, X). Na jejím konci se zamýšleným spojem byla postavena kratší bočnice B (plocha mezi osami Z, Y) svírající s podloženou bočnicí úhel 90° tak aby lícovaly jejich hrany viz obr. č. 23.



a)

b)

obr. č. 23 Sestava bočnic A a B. a) Bočnice A vložena do sestavy úhelníků. b) Bočnice B přiložena na bočnici A do sestavy úhelníků č. 1, 2, 3. Příložník č. 4 demontovaný z úhelníku, použitý pro rovnoběžné podložení s pracovní deskou úhelníku č. 2. Archiv autora.

V této fázi byl úhelník č. 1 s odšroubovaným příložníkem č. 4 přiložen svým bokem na podložku a vnitřním úhlem svíral bočnici A (osa Z a X) u zamýšleného spoje. Tím úhelník č. 1 pravouhle ohraničuje a současně tvoří doraz také pro bočnici B přiloženou kolmo na ležící bočnici. Druhý úhelník č. 2 byl přiložen stojmo (osa – X, Y) příložníkem na ležící úhelník č. 1 za postavenou bočnici B. Svým vnějším úhlem byl sevřen stojící bočnicí B a na plochu ležícím úhelníkem č. 1. V tuto chvíli byl příložník stojícího úhelníku č. 2 podložen na svém volném konci rovnoběžným s podložkou demontovaným příložníkem č. 4 z ležícího úhelníku č. 1. Tím je úhelník č. 2 dostatečně stabilizován pro další práci se zachováním úhlování. Třetí úhelník č. 3 měl opět demontován příložník. Svým delším ramenem byl přiložen na podložku (osa Z), kratší rameno směřovalo k podložce kolmo (osa Y). Následně byl přiložen svým vnějším úhlem k stojící bočnici B, čímž nahrazuje základnu nebo

čelní zakrytí. Současně byl přiložen stejně jako stojící bočnice B k ramenu úhelníku č. 1 (osa Z) ležícího na podložce. Tímto je bezpečně zaručeno pravoúhlé spojení bočnic A a B v osách X, Y, Z tj. ve všech možných směrech. Malé truhlářské svěrky byly použity k fixaci úhelníků k pracovní podložce. Celou tuto sestavu je výhodné situovat na rohu pracovní desky pro možnost použití svěrek pro fixaci.

Použitý postup má zaručený výsledek při správném provedení, ale je velmi pracný a zdlouhavý. Je výhodné pracovat ve dvojici. Tím odpadnou např. komplikované fixace svěrkami. Jako jednodušší varianta tohoto postupu bez použití úhelníků je možnost bočnice složit uvedeným způsobem např. v rohu policové skříně. Po ověření správnosti úhlů některého z vnitřních rohů např. trojúhelníkem lze jejich odchylky korigovat vhodným podložením vložených bočnic dle potřeby. Práce ve dvojici opět mnohé usnadní.

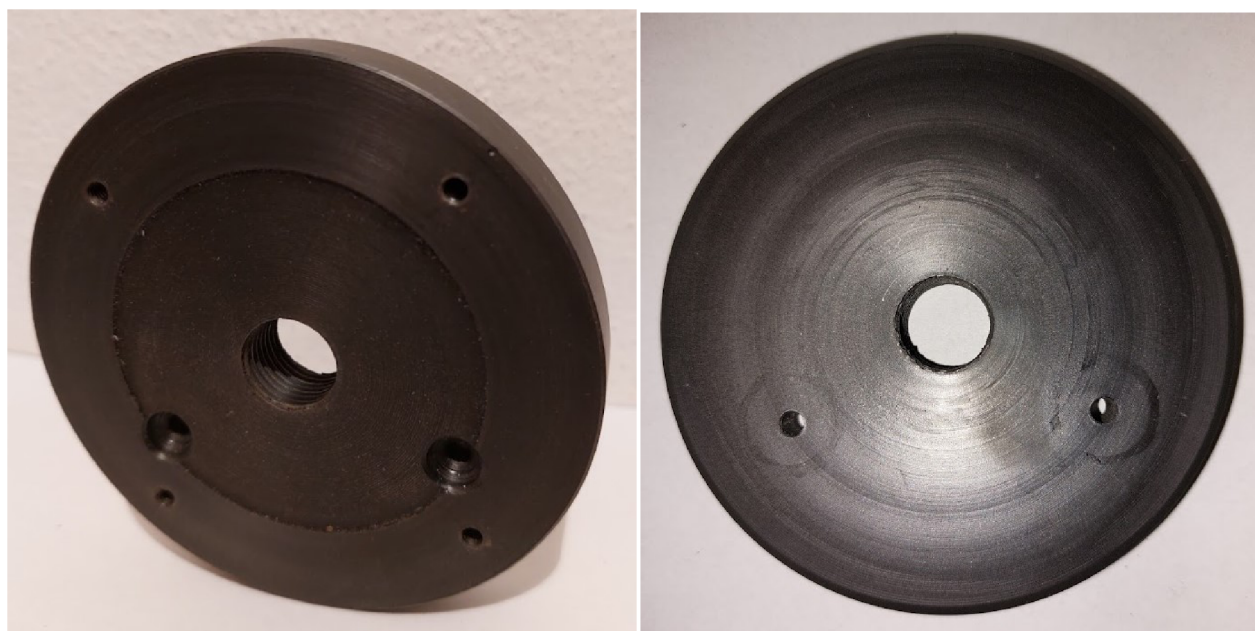
Po realizovaném složení bočnic v potřebných úhlech byly zamýšlené spoje letovány trubičkovým cínem používaným v elektrotechnice. Použito bylo pistolové pájedlo s příkonem 100 W. Po nanesení letovacího přípravku do místa spoje byl spoj ohříván pájedlem, což se ukázalo jako velmi problematické i při zdánlivě dostatečném výkonu pájedla. Velké plochy mědi na bočnicích dokáží velmi dobře odvádět dodané teplo pájedlem. Letované spoje byly následně ohřívány dvěma pájedly. To se ukázalo jako dostačující. Po přidání a roztavení cínu již bylo možné pokračovat s jedním pájedlem. Je výhodné tvořit celkově vždy dva bodové spoje pro možnost případné následné úpravy.

Takto vyrobené dva polotovary bočnic A a B byly sesazeny proti sobě. Svým sesazeným tvarem ohraničují čtverec. Při správném sesazení jsou protilehlé bočnice vždy o stejných délkách. Opět byly dva nové spoje bodově na dvou místech letovány. Je výhodné letovat v pozici, kdy delší bočnice leží na podložce a kratší bočnice na ní stojí a opět si pomoci úhlováním. V této fázi se také projeví možné nedostatky při výrobě předchozích polotovarů bočnic.

Po sletování finálního tvaru bočnic byl vzniklý rámeček přiložen na čelní zakrytí a vycentrován. V této fázi se můžou projevit nepřesnosti. Rámeček nemusí dostatečně lícovat s čelním zakrytím. V místech dotyku rámečku s čelním zakrytím lze rámeček opatrně přibrušovat tak aby se možné mezery zmenšily na přijatelnou úroveň. Rámeček byl přiletován k čelnímu zakrytí opět bodovými spoji. Na každé straně rámečku - bočnici byl vytvořen v polovině délky jeden bodový spoj. Tím byl rámeček dostatečně zafixován pro další bodové spoje. Na každé bočnici byl následně u obou konců vytvořen další spoj. Tímto postupem byl vytvořen finální tvar se snahou zamezit co nejvíce deformacím vlivem tepelné roztažnosti. To by mělo v co největší možné míře zamezit následnému pnutí materiálu při vychladnutí. Následně byly bodové spoje rozšířeny letováním na délku cca 10 mm. Je výhodné opět prohřívát spoj dvěma pájedly a následně dotvořit jedním pájedlem.

6.2.4.2 Uchycení pohonu stínící elektrody

Základna stíněné klece byla dodatečně upravena pro připevnění k pohonu - motorku stolního ventilátoru. Ve středu základny byl vyvrtán dostatečně velký otvor pro průchod hřídele motorku viz obr. č. 14. Motorek je uchycen k základně prostřednictvím vyrobeného mezikusu z plastu. Z nepotřebné plastové příruby odpovídajících rozměrů byl vysoustružen mezikus spojující motorek a základnu stíněné klece viz obr. č. 24.



a)

b)

obr. č. 24 Pohled na mezikus. a) Pohled na mezikus ze strany stíněné klece. b) Pohled na mezikus ze strany motorku. Archív autora.

Čela tohoto dílu jsou rovnoběžná. Ve středu mezikusu je vytvořen závit M16 odpovídající závitům středového dutého šroubu k uchycení měřicí elektrody a její distanční podložky. Poté byly vytvořeny čtyři otvory se závity M4 pro uchycení základny stíněné klece. Čtyři průchozí otvory byly vytvořeny také v základně. Pro uchycení motorku do mezikusu byly vytvořeny dva průchozí otvory se zapuštěním pro válcové hlavy šroubků. Čelní plochy dvou kaskádových nálitků na nosném dílu motorku byly zvětšeny distančními podložkami. Distanční podložky potřebné k uchycení motorku byly vyrobeny z matic M12, kterým byl následně odvrtnut závit na požadovaný průměr. Tato úprava umožňuje jejich dosednutí v celé ploše kolem kaskádovitých nálitků se závity na nosném dílu motorku. Na nálitky byly vloženy distanční podložky a do závitů nálitků byl šroubkem uchycen mezikus k motorku. Tato sestava byla čtyřmi šroubky M4 uchycena k základně stíněné klece. Tento mezikus spojuje mnohem pevněji základnu s motorkem oproti uchycení motorku dvěma šroubky přímo do základny.

Následně bylo dořešeno uchycení stacionární měřicí elektrody. Z nepotřebného plastového dílu byla vyrobena distanční podložka o síle cca 10 mm vložená mezi měřicí elektrodu a základnu viz obr. č. 25 a). Jako vhodné řešení uchycení se jevil dutý šroub. Následně byl soustružením upraven nepotřebný plastový šroub se závitem M16 viz obr. č. 25 b).



a)

b)

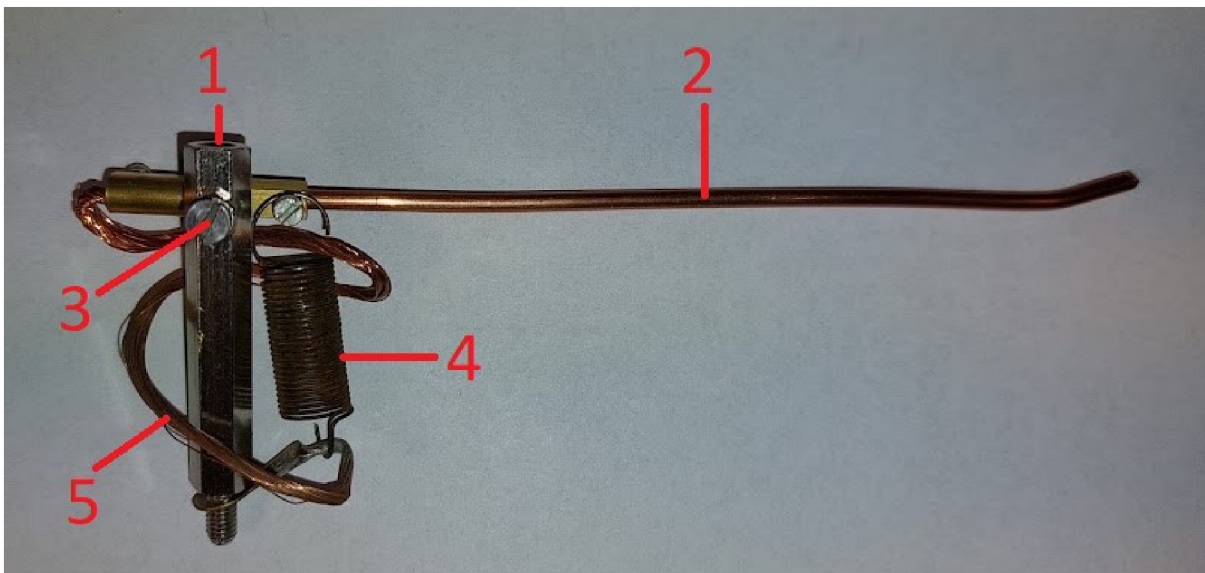
obr. č. 25 Distanční podložka a dutý plastový šroub. a) Pohled na distanční podložku oddělující měřicí elektrodu od stíněné klece. b) Pohled na dutý plastový šroub se závitem M16, sloužící k uchycení měřicí elektrody do závitu v mezikusu. Archív autora.

Tento šroub prochází očkem vodiče měřicí elektrody, měřicí elektrodou, distanční podložkou mezi elektrodou a základnou, základnou stíněné klece. Šroub je následně zašroubován do vytvořeného závitu M16 v mezikusu mezi základnou a motorkem.

Dutý plastový šroub lze nahradit např. dvěma šroubky procházejícími měřicí elektrodou do závitů, které je možné vytvořit v distanční podložce mezi elektrodou a základnou. Tuto distanční podložku lze uchytil šroubky již procházejícími základnou do závitů mezikusu mezi základnou a motorkem, případně do závitů k tomuto účelu vytvořených.

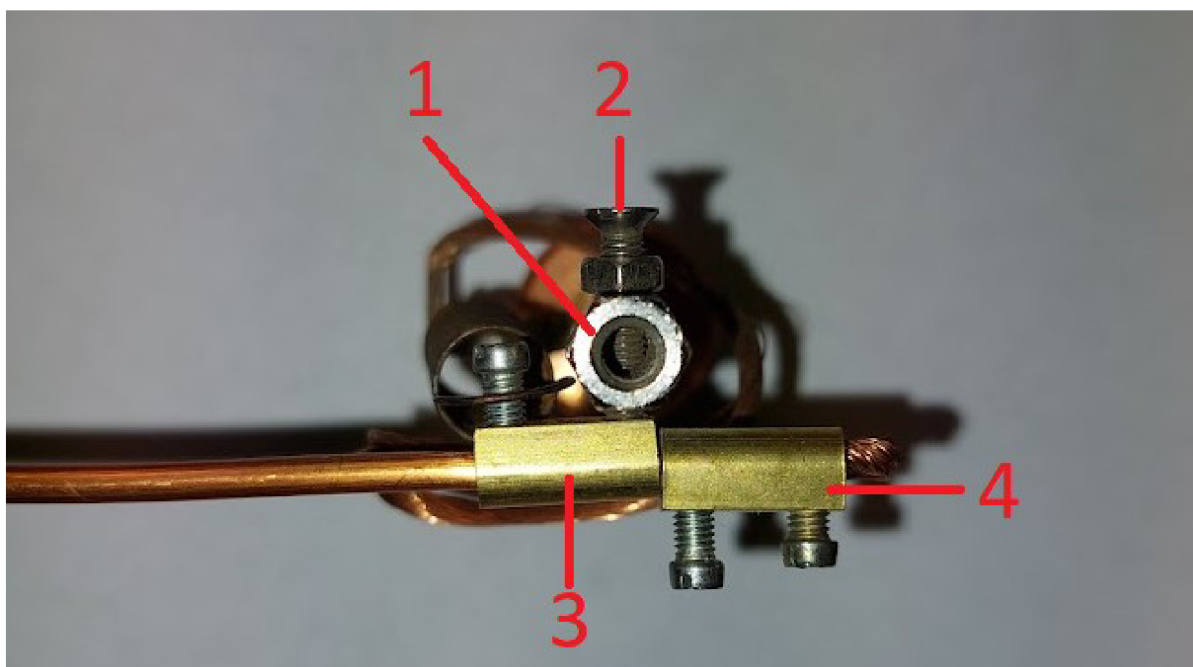
6.2.4.3 Uzemnění stínící elektrody ramínkem

Následně bylo vyrobeno uzemnění rotující stínící elektrody ramínkem. Ramínko je přitahováno tažnou pružinou proti stínící elektrodě. Kompletní sestava ramínka v pracovní poloze je zobrazena na obr. č. 26.



obr. č. 26 Boční pohled na sestavu ramínka v pracovní poloze. Tažná pružina je lehce předeprnuta. Nosný díl č. 1, ramínko č. 2, čep ramínka č. 3, tažná pružina č. 4, zemnicí vodič ramínka č. 5. Archív autora.

Nosný díl č. 1 ramínka byl vyroben z distančního sloupku. Sloupek byl na straně s vnitřním závitem příčně provrtán a následně byl vyříznut závit M3. Ramínko č. 2 sloužící jako přítlačný kontakt bylo vyrobeno z plného měděného vodiče o průřezu 5 mm^2 což je zhruba průměr 2,52 mm o délce 130 mm. Následně byla odstraněna jeho izolace. Na konci ramínka zhruba 10 mm od konce bylo ramínko kleštěmi ohnuto zhruba o úhel 20° . Vzniklý ohyb bude sloužit jako místo kontaktu se stíněnou elektrodou. Tím bylo ramínko připraveno k další montáži na nosný díl. Jeho uchycení k čepu bylo vyrobeno pomocí elektrické svorkovnice tzv. čokolády viz obr. č. 27.



obr. č. 27 Čelní detail sestavy zemnicího ramínka. Čep ramínka č. 2 zašroubován do závitu v nosném dílu č. 1 a současně do závitu uchycení ramínka č. 3, svorkovnice zemnicího vodiče č. 4. Archív autora.

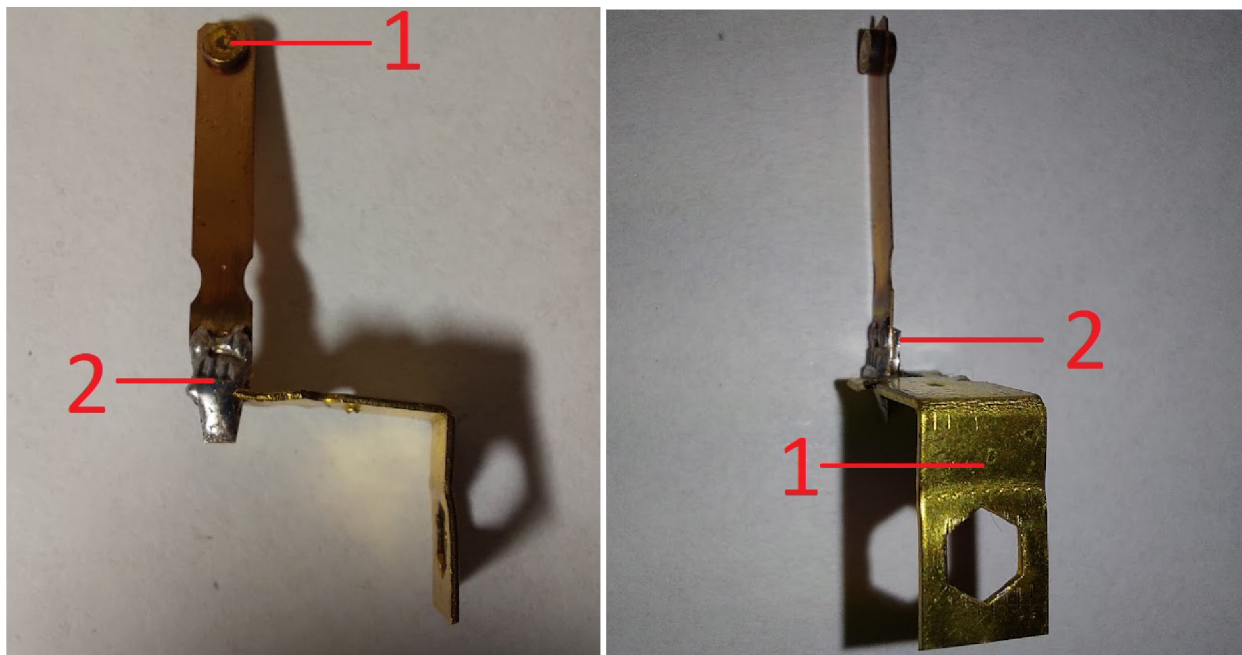
Tato svorkovnice je dlouhodobě na trhu stále v původním provedení. Pozor, svorkovnice tzv. čokoláda má vodivý díl vyroben z jednoho kusu kde se na jeho koncích pomocí šroubků fixují spojované vodiče. Novější svorkovnice jsou složeny z několika vodivých dílů a pro tuto aplikaci nejsou příliš vhodné. Ze svorkovnice je potřeba demontovat šroubky a následně ji lze vyjmout z izolačního materiálu. Celkem byly použity dva kusy vodivých dílů svorkovnice dále svorkovnice.

V této fázi byl zašroubován dostatečně dlouhý šroubek do příčného závitu M3 v nosném dílu č. 1 – distančním sloupku. Šroubek byl nastaven s přesahem na jeho konci cca 3 – 4 mm vyčnívajícím z nosného dílu a aretován v této poloze kontramatkou mezi nosným dílem a hlavou šroubku. Na vyčnívajícím závit z boku nosného dílu byl našroubován vodivý díl svorkovnice č. 3 tak, aby závit nepřecházel do průchozího otvoru svorkovnice. Do průchozího otvoru bylo vsunuto ramínko svým rovným koncem tak aby konec přecházel vně o zhruba polovinu délky svorkovnice. Ramínko svým obloukem na volném konci směřuje ve směru pohybu daného čepem proti stínící elektrodě. Do volného závitu svorkovnice byl zašroubován původní šroubek a dotažen, čímž fixuje ve správné poloze ramínko vůči čepu. Na přecházející konec ramínka byla nasunuta druhá svorkovnice č. 4 a zafixována šroubkem. Do druhé poloviny této svorkovnice je uchycen zemnicí vodič a opět fixován šroubkem. Zemnicí vodič tvoří měděné lanko o délce minimálně cca 100 mm zbavené izolace a na svém druhém konci opatřeno pájecím očkem M4. Zemnicí vodič zkracovat na odpovídající délku není vhodné. Svojí tuhostí může ovlivňovat funkci ramínka, přestože se jedná o měděné lanko.

Nosný díl byl následně vhodně umístěn na základnu stíněné klece. V daném místě byl provrtán otvor. Mezi nosný díl a základnu je vloženo očko zemnicího vodiče ramínka. Očko slouží také jako záchyť pro tažnou pružinku a svým kontaktem pro připojení vodiče je orientováno ve směru ramínka viz obr. č. 26. Po tomto nastavení byl šroubový spoj utáhnout. Jako poslední je vložena vhodná tažná pružinka chycena za očko a za šroubek fixující ramínko ve svorkovnici.

6.2.4.4 Uzemnění stínící elektrody pružným kontaktem

Druhý způsob uzemnění stínící elektrody je výrobně podstatně jednodušší. Jedná se o jednoduchý nosný díl, na který je letováním přichycen pružný kontakt. Nosný díl je vyroben z kontaktu starého stykače. V principu se jedná o vodivý pásek konkrétně délky 30 mm a šířky 7 mm. Pásek je ohnut do tvaru L s rameny o délce 13 a 17 mm. Na konci kratšího ramene byl využit původní otvor nyní sloužící k uchycení původním šroubkem stahujícím plechy jádra motorku. Na delším ramenu zhruba 4 mm od konce bylo rameno nastříženo do poloviny své šířky a tato ploška byla následně vyhnuta vně profilu L o úhel 90°. K této plošce byl přiletován pružný kontakt získaný ze starého relé. Detaily vyrobeného dílu jsou patrné na obr. č. 28.



a)

b)

obr. č. 28 Zemní kontakt hřídele motorku. a) Boční pohled na vyrobený zemní kontakt. Kontakt č. 1 pružného dílu uchyceného letovaným spojem č. 2 k nosnému dílu. b) Pohled na čelní plochu č. 1 dosedající na motorek. Ploška č. 2 nosného dílu ohnuta o 90° sloužící jako plocha pro letovaný spoj s pružným kontaktem. Archiv autora.

Takto vyrobený díl byl přichycen jedinou možnou plochou s otvorem původním šroubkem k motorku. Celý díl byl vhodně nasměrován a utažen šroubkem, pružný kontakt byl přiložen do vhodné polohy mezi hřídel a nosný díl a přiletován k nosnému dílu. Na šroubku byl následně nosný díl lehce natočen, kontakt se pružně dotýká, je nepatrně předeprnut.

Toto řešení má nevýhodu v uchycení jedním šroubkem. Pod šroubek je vloženo očko zemního vodiče viz obr. č. 17 a). To může být z různých důvodů potřeba odpojit a následně připojit. Pak je nutné znovu nastavit i zemní kontakt. Vhodné řešení může být v použití závitové tyče na místo šroubku, nosný díl lze pevně přitáhnout matkou s kontramatkou teprve potom již bez problémů vložit očko zemního vodiče a utáhnout opět matkou.

Při této konstrukci kladený důraz na vždy přímo nebo co nejbližší připojené zemní vodiče má své důvody i přes některé tím způsobené komplikace při výrobě jednotlivých částí VN voltmetru. Výstupní signál voltmetru se předpokládá velmi nízký. Voltmetr ke své správné funkci potřebuje být kvalitně uzemněn na všech dílech k tomu určených. Kvalitní provedení veškerých vodivých spojů usnadňuje následné oživování, případně hledání závad. To je také důvod např. k překleování distančních sloupků při konstrukci stíněné klece. Je výhodné používat letované spoje a šroubové spoje k tomu určené. Na místech, kde má být funkční vodivý spoj, nelze spoléhat na spoj náhodný nebo předpokládaný. Stejně tak je výhodné u všech vodivých šroubových spojů používat vějířové podložky. Vějířová podložka svou konstrukcí zlepšuje vodivý spoj. Vyhnuté plošky po celém obvodu vějířové podložky narušují případné povrchové nevodivé vrstvy na povrchu vodivě spojovaných materiálů. Tyto nevodivé vrstvy nemusí být vždy zrakem viditelné. Pozor, nezaměňovat vějířovou podložku s pérovou podložkou viz obr. č. 29.



a)

b)

obr. č. 29 Vějířová a pérová podložka. a) Pohled na vějířovou podložku. b) Pohled na pérovou podložku. Archív autora.

Alternativa uzemnění hřídele motorku pokud je hřídel zakončen hned za ložiskem je obdobná s provedením pomocí pružného kontaktu. Lze řešit čelním přiložením pružného kontaktu na konec hřídele. Pokud by záměrem byla také eliminace tření, nabízí se vložení ocelové kuličky mezi čelo hřídele a pružný kontakt. Pokud by hřídel nebyl vybaven středícím kuželem, lze nahradit otvorem v pružném kontaktu. K udržení kuličky mezi hřídelem a kontaktem je potřeba jedna z těchto možností. Zmíněná alternativa je na úrovni teorie, neodzkoušena v praxi.

6.2.4.5 Úprava hřídele motorku

Hřídel motorku na straně zemnicího kontaktu bylo v tomto případě potřeba zkrátit. Na jeho konci byl z výroby vytvořen šnekový převod používán pro oscilační pohyb ventilátoru. Hřídel byl ponechán v délce 6 mm přečnávající za ložisko motorku. Do stopkové modelářské brusky byl upnut tenký řezný kotouček. Motorek byl připojen na napájecí napětí a spuštěn tj. hřídel má plné provozní otáčky. Stopkovou brusku po jejím zapnutí byl odřezáván potřebný kus hřídele. Rotující řezný kotouček byl přiložen kolmo na osu hřídele a lehkým tlakem přitlačován k hřídeli. Směr otáčení hřídele při řezu byl proti směru otáčení řezného kotoučku. Tím byla ještě zvýšena řezná rychlost kotoučku. Výsledný řez byl takto proveden čistý a kolmý na osu hřídele. Následně byl do stopkové brusky upnut brusný kotouček. Brusný rotující kotouček byl přiložen boční brusnou plochou k hraně rotující hřídele. Směr otáčení brusného kotoučku byl volen tak aby směr odletujících pilin při broušení hrany hřídele směřoval od motorku. Opět lehkým tlakem na brusný kotouček bylo docíleno pravidelného a čistého sražení hrany hřídele.

Pozor, tato operace není vhodná u výkonnějších strojů a nástrojů. U rotujících strojů a obrábění může dojít k nepříjemným až devastujícím poraněním. Vzhledem k velmi malému výkonu motorku a stopkové modelářské brusky lze popsany postup aplikovat. I při těchto malých výkonech je vhodné chránit zrak před odletujícími částicemi ochrannými brýlemi.

Stejným způsobem byl zkrácen hřídel se závitem také ze strany elektrod. Je výhodné nejprve na závít našroubovat matici do vhodné polohy a následně aplikovat řez a broušení vzniklých otřepů. Demontáž matice po této úpravě ve většině případů zajistí vhodné formování konce závitu. V tomto případě levotočivý závitník pro případné opravy není běžně dostupný. Hřídel byl zkrácen na rozměr, který umožňuje výměnu obou elektrod bez nutnosti demontáže stíněné klece od základny.

6.2.4.6 Stíněná klec motorku

Po osazení sestavy motorku na základnu stíněné klece byla vyrobena také stíněná klec pro motorek viz obr. č. 19. Materiál byl použit opět stejný tj. cuprexit. Rozměry stíněné klece byly navrženy stejným způsobem jako u stíněné klece pro elektrody. Po orýsování na cuprexit byly díly vystříženy a opracovány okraje brusným papírem. Vzhledem k menším rozměrům oproti stíněné kleci elektrod již nedocházelo k deformacím dílů při stříhání nůžkami na plech. Následovalo opět sestavení bočnic nanečisto na čelním zakrytí a jejich upravení broušením aby co nejlépe lícovaly. V čelním zakrytí byly opět vytvořeny otvory pro šroubky určené k zašroubování do distančních sloupků. Tyto otvory byly vyvrtány také v základně stíněné klece elektrod. Po vyvrtání byly osazeny distančními sloupky. Do bočnice, která je určena pod motorek bylo potřeba vytvořit průchod pro napájecí kabel a trn nosného dílu. Průchod má tvar písmena U viz obr. č. 19 b). V místě průchodu trnu byl vyvrtán otvor o potřebném průměru a v šíři průměru otvoru byla prostřížena drážka k okraji bočnice. Směr drážky je také směr nasazení stíněné klece na motorek.

Při přípravě bočnic do finálního tvaru pro letované spoje se osvědčil mnohem jednodušší způsob jejich fixace. Celý obvod po sestavení bočnic byl omotán lepicí páskou a následně letováním spojen. I tato činnost vyžaduje trpělivost, ale časově je méně náročná než aplikovaný postup s úhelníky. Tento postup nezaručuje přesné složení bočnic na pomyslných čelech - základnách vzniklého rámečku. Díky mnohem menším rozměrům rámečku lze jeho čelní hrany v celé ploše dorovnat např. na boku brusného kotouče přiměřených rozměrů. Brusný kotouč lze nahradit brusným papírem nebo plátnem vhodně fixovaným na rovné ploše. Toto je výhodné nejlépe na straně s menšími odchylkami, protože rámeček zatím nemá přiměřenou tuhost. Po přebroušení jedné strany rámečku bylo připevněno čelní zakrytí letováním. V této fázi už je konstrukce stíněné klece motorku velmi pevná a lze mnohem snadněji doopravit broušením i druhou stranu bočnic. Tento postup broušení dosedacích ploch by se mnohem hůře aplikoval u stíněné klece elektrod, vzhledem k jejím rozměrům. Bočnice s průchodem tvaru U byla dodatečně provrtána pro umístění šroubku zajišťujícího uchycení zemního vodiče.

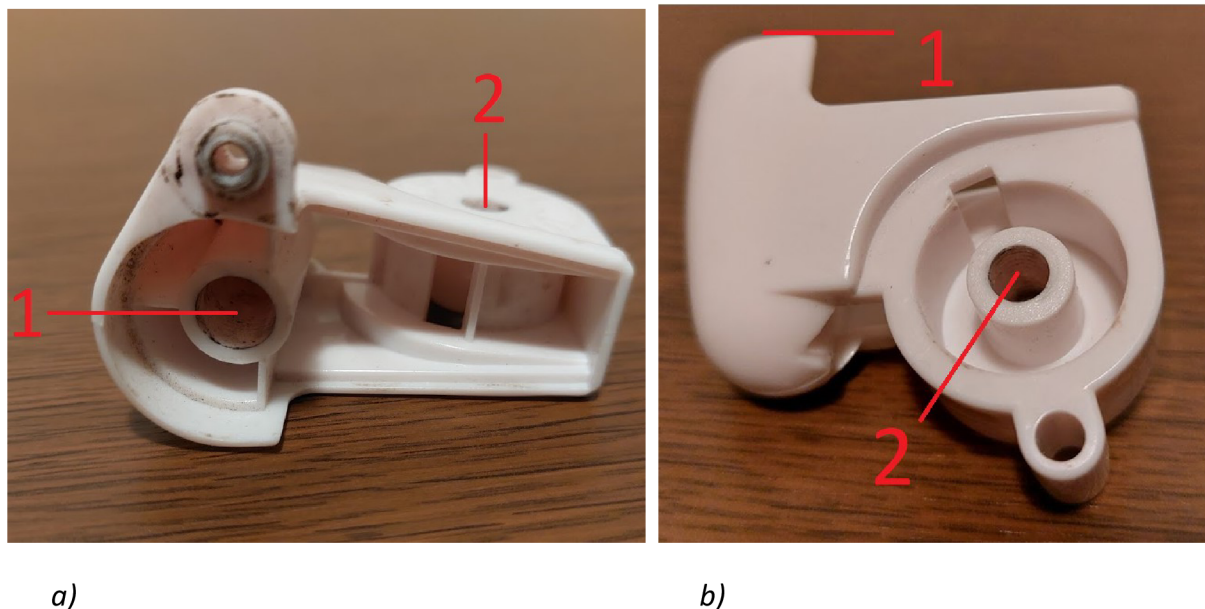
Nabízí se otázka, zda stíněné klece nevyrobit např. z měděného plechu. Samozřejmě to možné je, pokud je dostupný měděný plech. Práce s mědí má svá specifika. Měď po určité době mění mechanické vlastnosti a postupem času tvrdne, při ohybu se tvoří viditelné trhliny. Pokud bude použit dlouhodobě skladovaný měděný plech, je výhodné jeho vyžihání. Tím se jeho struktura změní, změkne. Takto upravená měď má vysokou tažnost. Je vhodné pracovat s ostrými neopotřeбенými nástroji. Při vrtání mědi a nedodržení vhodného postupu lze snadněji zlomit vrták

než při vrtání běžného kovu. Stárnutím měď opět tvrdne. K tvoření pájených spojů nebudou stačit svým výkonem pájedla používaná v elektrotechnice. Práce s mědí vyžaduje přiměřené dílenské znalosti.

6.3 Úprava stojánku

Smontovaný komplet VN voltmetru byl osazen na stojánek, tj. trn držáku motorku nesoucí váhu celého kompletu je zasazen do otvoru kloubu stojánku, zajišťujícího vertikální nastavení. Po několika manipulacích kloubem a pokusech o zafixování požadované polohy voltmetru byly shledány nedostatky.

Provedení kloubu respektive bočních třecích ploch kloubu následně stahovaných šroubem při fixaci polohy bylo nedostatečné pro současnou hmotnost voltmetru. Původně kloub nesl hmotnost motorku, vrtule a ochranného koše ventilátoru. Tato hmotnost se nyní zvětšila. I při snaze utáhnout šroub větší silou nebyl vertikální kloub pevně fixován. Voltmetr se samovolně sklápěl. Při zvětšení utahovací síly na šroub vznikalo riziko trvalého poškození stojánku. Stojánek i kloub jsou vyrobeny z plastu. Jako řešení se nabízelo posunutí těžiště voltmetru více směrem ke šroubu kloubu, který je zároveň otočným čepem kloubu. Toto bohužel konstrukce otočného dílu kloubu neumožňuje. Je tvořena profily, není z plného materiálu. Jako nejjednodušší řešení se nabízela fixace přidaným šroubkem např. z boku třecí plochy nebo čelně proti válcové části kloubu. Po bližším prozkoumání kloubu však nebylo nalezeno vhodné místo pro spolehlivou funkci tohoto řešení. Všechny části kloubu jsou profilované bez výplně viz. obr. č. 30,



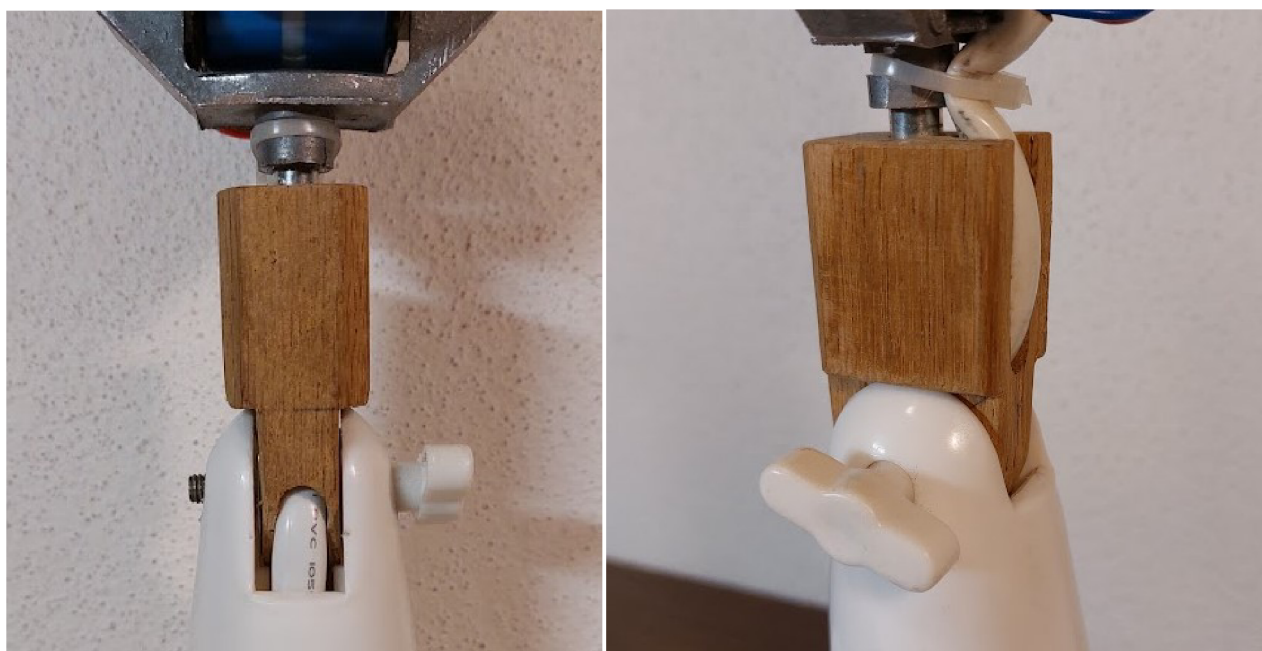
obr. č. 30 Plastový kloub. a) Pohled na horní stranu původního plastového kloubu. Otvor pro trn nosného dílu č. 1, otvor pro čep kloubu č. 2. Mezi otvory č. 1 a 2 je zřejmý průchod pro napájecí kabel motorku. b) Boční pohled na původní plastový kloub. Umístění otvoru pro trn nosného dílu motorku č. 1, otvor čepu kloubu č. 2. Archiv autora.

stejně tak stojánek tj. s nedostatečnou tuhostí pro takové řešení. Po zvážení všech možností řešení byl kloub vyroben z bloku tvrdého dřeva a nahradil původní plastový. Těžiště voltmetru bylo na dřevěném kloubu posunuto zhruba o 30 mm směrem k šroubu kloubu. Touto úpravou bylo dosaženo zkrácení páky působící na kloub. Tím se také zlepšila fixace při vertikálním nastavení voltmetru. Přesto toto řešení nenabízí očekávanou tuhost kloubu při dotažení. Je ale dostačující pro zamezení samovolného klopení.

6.3.1 Výroba a zkušenosti z výroby

Původní plastový kloub byl důkladně změřen a nakreslen. Do nákresu byly následně zaneseny požadované úpravy pro nový kloub ze dřeva. Získaný kus tvrdého dřeva byl orýsován základním tvarem. Ručním obráběním byla vytvořena část kloubu s třecími plochami. Byla vyzkoušena funkčnost ve stojánku. Po drobných úpravách se funkce kloubu jevila dostatečná. Následovalo navržení konkrétního umístění pro trn držáku motorku. Před samotným vrtáním byla kontrolována rovnoběžnost vrtáku s třecími plochami nového kloubu. Po vyvrtání otvoru byla opět zkoušena funkce nového kloubu s nasazeným voltmetrem. Stabilita fixace byla dostatečná.

Následně bylo řešeno vedení napájecího kabelu motorku. Na původním kloubu procházel kabel dutinou v profilu kloubu umístěnou mezi šroubem kloubu a trnem držáku motoru, kde byl dostatek prostoru. Tento prostor je na novém dřevěném kloubu minimalizován. Trn držáku motoru je nově posunut nad šroub kloubu. Jako vhodné a elegantní řešení se jevilo vytvoření žlábků a průchozího otvoru vrtáním a frézováním. V zadní části držáku byl vrtán otvor rovnoběžný s otvorem pro trn nad šroubem kloubu. Vrták byl nasazen částí své plochy mimo materiál tj. v celé délce vrtaného otvoru vznikala otevřená drážka. Otvor má stejnou hloubku jako otvor pro trn držáku motorku. Z konce právě vytvořeného otvoru byl šikmo vrtán otvor vedený prostorem nad příčným otvorem pro šroub kloubu a pod koncem otvoru pro trn držáku motorku. Otvor vyústuje na protější straně. Celý vyrobený dřevěný kloub byl zbaven ořepů brusným papírem. Před montáží držáku motorku byl nejprve navlečen kabel do drážky a průchozího otvoru dřevěného kloubu. Po usazení trnu držáku motorku byl kabel dotvarován a utažen ve svém vedení dřevěným kloubem. Při celkovém pohledu na smontovanou sestavu voltmetru vizuálně kabel mizí v kloubu a pokračuje dále k vypínači dutinou ve stojánku. Takto koncipovaný kloub by bylo velmi výhodné vyrobit na 3D tiskárně. Celkové provedení nově koncipovaného kloubu je patrné z obr. č. 31.



a)

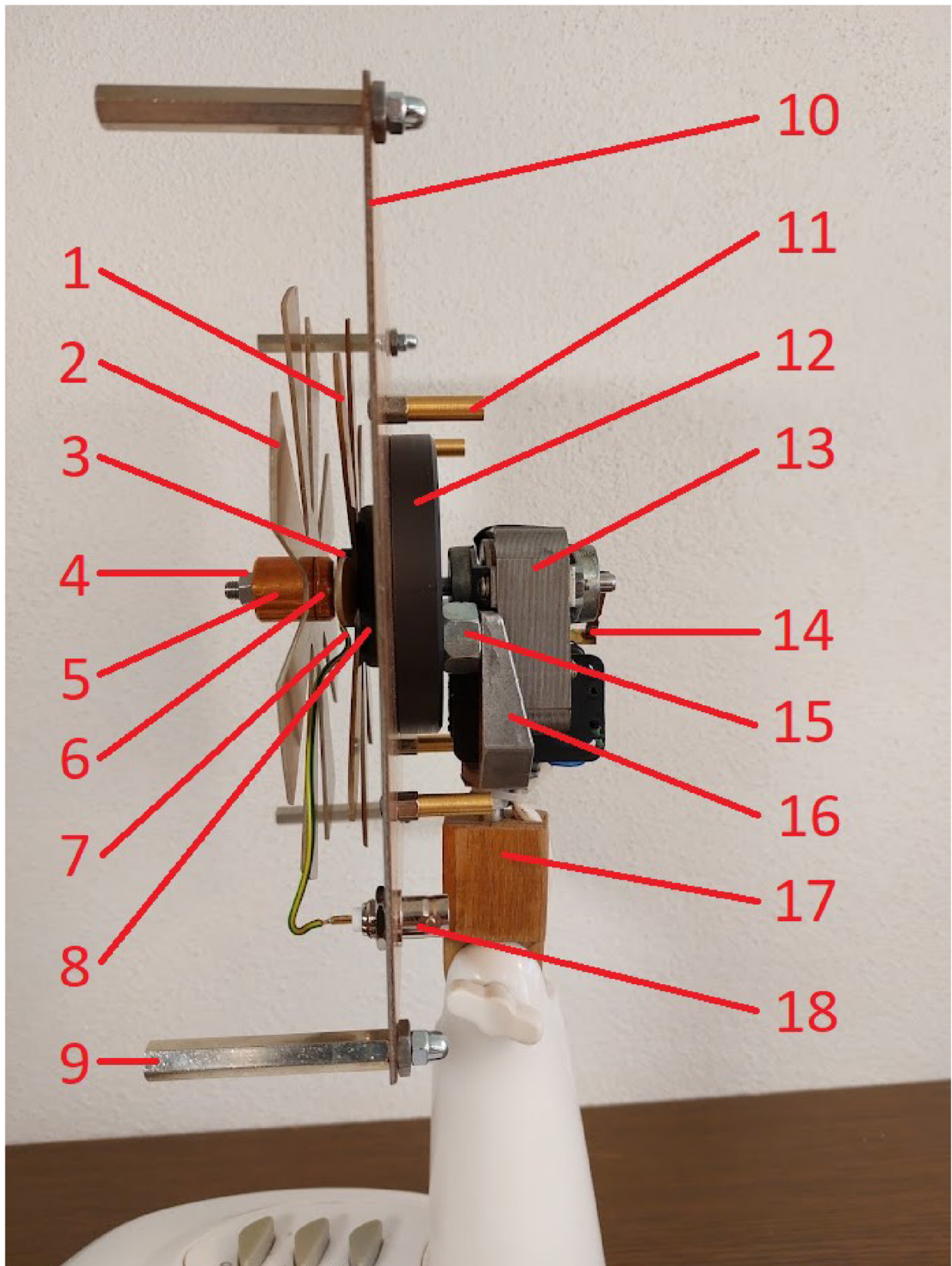
b)

obr. č. 31 Vyrobený dřevěný kloub. a) Čelní pohled na osazený vyrobený dřevěný kloub. Na obrázku je patrné vyústění napájecího kabelu motorku před čepem kloubu. b) Šikmý pohled na osazený dřevěný kloub. Na obrázku je patrné vedení napájecího kabelu motorku z části otevřeným podélným otvorem - drážkou. Archív autora.

Pro vrtání byla použita stolní stojanová vrtačka s možností fixace svěráku. Byl opět použit běžný vrták s výbrusem pro vrtání dřeva. Na vrtačce byly nastaveny maximální otáčky, posuv vrtáku ruční pákou byl aplikován velmi pomalý. Výbrus do dřeva u běžného vrtáku je pro zmíněný postup opět výhodný. Při vrtání otvorů, kdy část půdorysu vrtáku leží mimo materiál tj. vrták není podélně z části veden materiálem, může u běžného vrtáku docházet k vychýlení směru mimo materiál, obecně směrem menšího odporu. Špička v podobě ostrého trnu výbrusu do dřeva je schopna podržet přímé vedení vrtáku. Pozor, opět není vhodné použít hadovitý vrták do dřeva viz obr. č. 7 b). Tento je konstrukčně odlišný a není určen pro vysoké otáčky. Uvedený postup by se hadovitým vrtákem do dřeva zřejmě nedal aplikovat, nebo jen velmi obtížně.

6.4 Kompletace

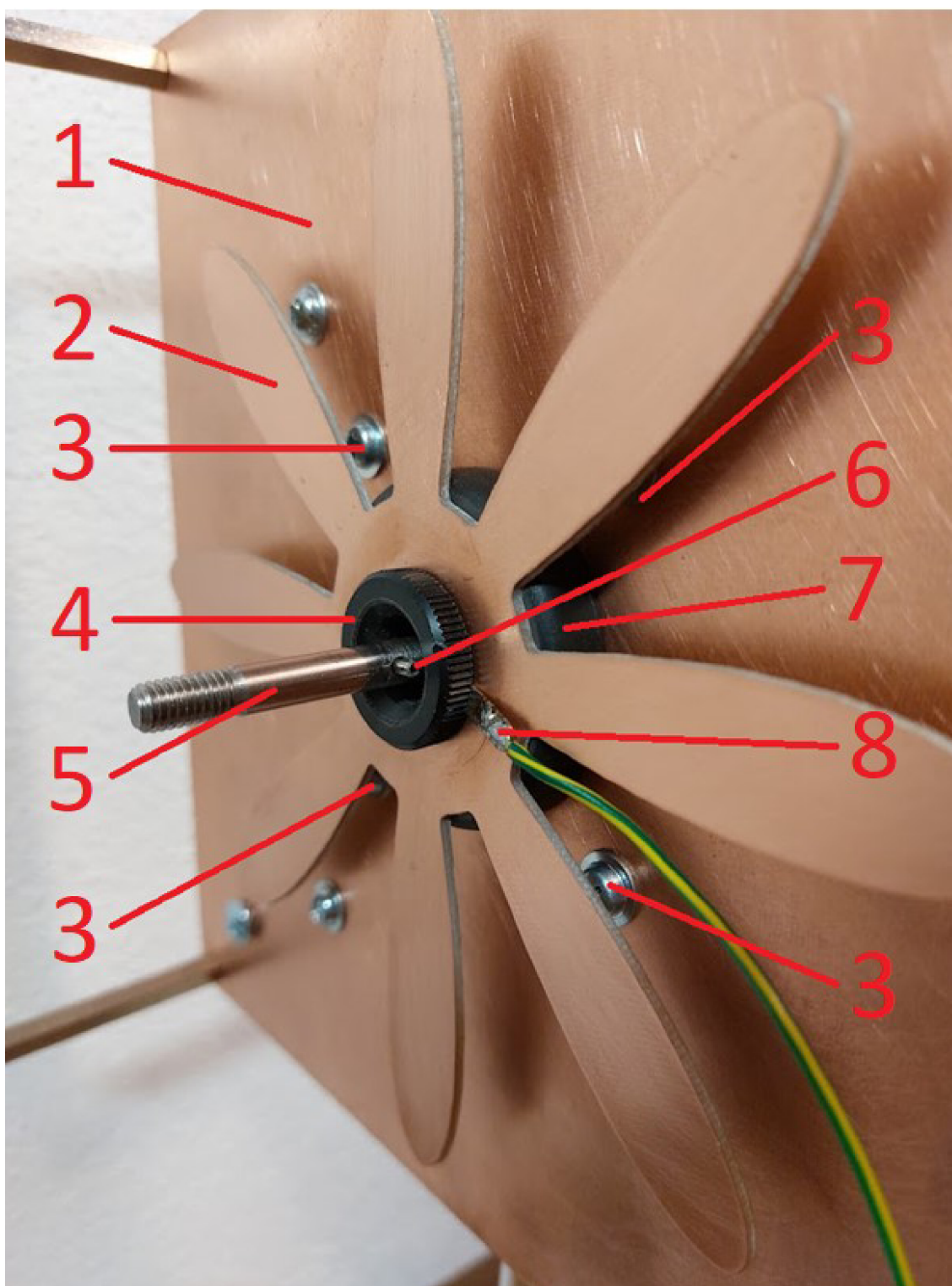
Kompletní sestava VN voltmetru bez namontované stíněné klece elektrod a stínění motorku je vyobrazena na obr. č. 32.



obr. č. 32 Kompletní sestava VN voltmetru bez namontovaných stínících krytů.

Měřicí elektroda č. 1, stínící elektroda č. 2, dutý plastový šroub č. 3, levotočivá matice č. 4, měděná distanční podložka č. 5, měděná distanční podložka č. 6, očko s připojeným vodičem č. 7, distanční plastová podložka měřicí elektrody č. 8, jeden ze čtyř distančních sloupků pro uchycení stíněné klece č. 9, základna stíněné klece č. 10, jeden ze čtyř distančních sloupků pro uchycení stínění motorku č. 11, plastový mezikus č. 12, motorek pro pohon stínící elektrody č. 13, zemnicí kontakt hřídele motorku č. 14, distanční podložka uchycení motorku č. 15, nosný díl motorku č. 16, dřevěný vyrobený kloub č. 17, konektor BNC pro vyvedení signálu měřicí elektrody č. 18. Archív autora.

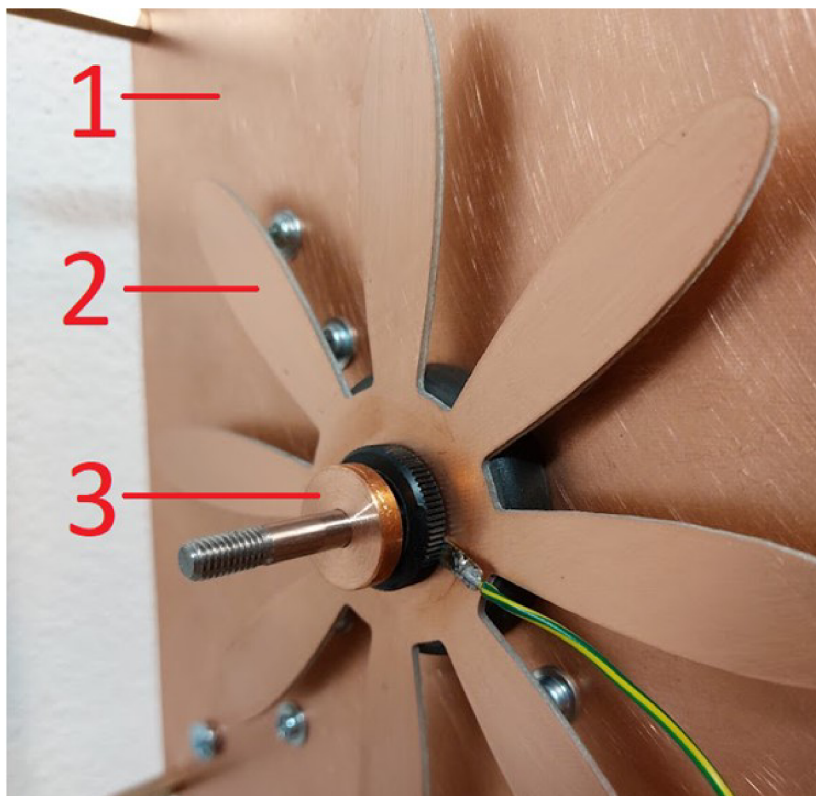
Základna stíněné klece je k motorku ventilátoru přichycena pomocí vyrobeného plastového mezikusu kruhového tvaru. Mezikus řeší pevnější a stabilnější uchycení základny. K motorku je uchycen dvěma původními šroubky viz obr. č. 18 b) a k základně je uchycen čtyřmi šroubky ve čtvercové rozteči. Na středový otvor základny je umístěna distanční plastová podložka, následně stacionární měřicí elektroda. Připojení vodiče k měřicí elektrodě je řešeno kabelovým očkem s připájeným vodičem. Tyto díly jsou uchyceny ve svém středu dutým plastovým šroubem do mezikusu mezi motorkem a základnou stíněné klece. Celkový pohled na sestavu s měřicí elektrodou zobrazuje obr. č. 33.



obr. č. 33 Pohled na namontovanou měřící elektrodu na základnu stíněné klece. základna stíněné klece č. 1, měřící elektroda č. 2, šroubek M4 (zašroubován do mezikusu za základnou) č. 3, dutý plastový šroub č. 4, hřídel motorku č. 5, příčný kolík hřídele motorku č. 6, distanční podložka měřící elektrody č. 7, očko s otvorem o průměru 16 mm s připojeným vodičem č. 8. Archív autora.

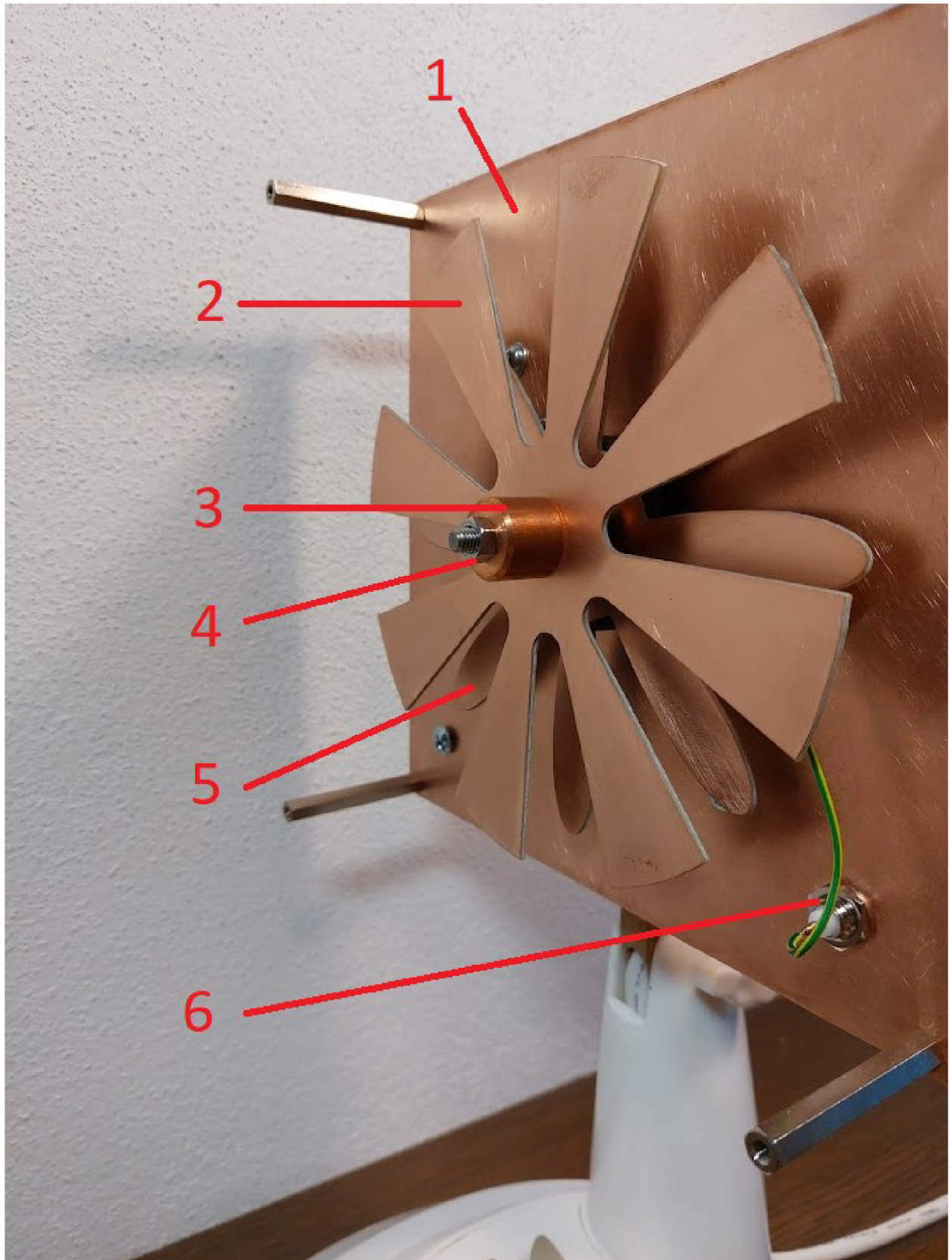
Kabelové očko, vloženo mezi dutý plastový šroub a měřící elektrodu slouží jako galvanické připojení měřící elektrody. Toto řešení se kvalitou nevyrovná letovanému spoji, ale umožňuje rychlou a komfortní výměnu elektrody v případě potřeby. Druhý konec vodiče je připájen ke konektoru BNC osazeném v základně stíněné klece.

Na hřídel motoru je navlečena distanční podložka rotační stínící elektrody. Distanční měděná podložka je opřena o původní kolík umístěný v otvoru hřídele přičně k jeho ose viz obr. č. 34.



obr. č. 34 Pohled na distanční měděnou podložku umístěnou na hřídeli motorku. Na distanční podložku bude následně vložena stínící elektroda. Základna stíněné klece č. 1, měřící elektroda č. 2, distanční podložka č. 3. Archív autora.

Na podložku na hřídeli je posazena rotační stínící elektroda. Elektroda je přitlačena další distanční měděnou podložkou a tím vodivě spojena s hřídelem motorku. Takto složený celek je utažen matkou M6 na původním levotočivém závitu hřídele. Hřídel motorku je použit jako zemní vodič. Pohled na sestavu stínící a měřící elektrody VN voltmetru zobrazuje obr. č. 35.

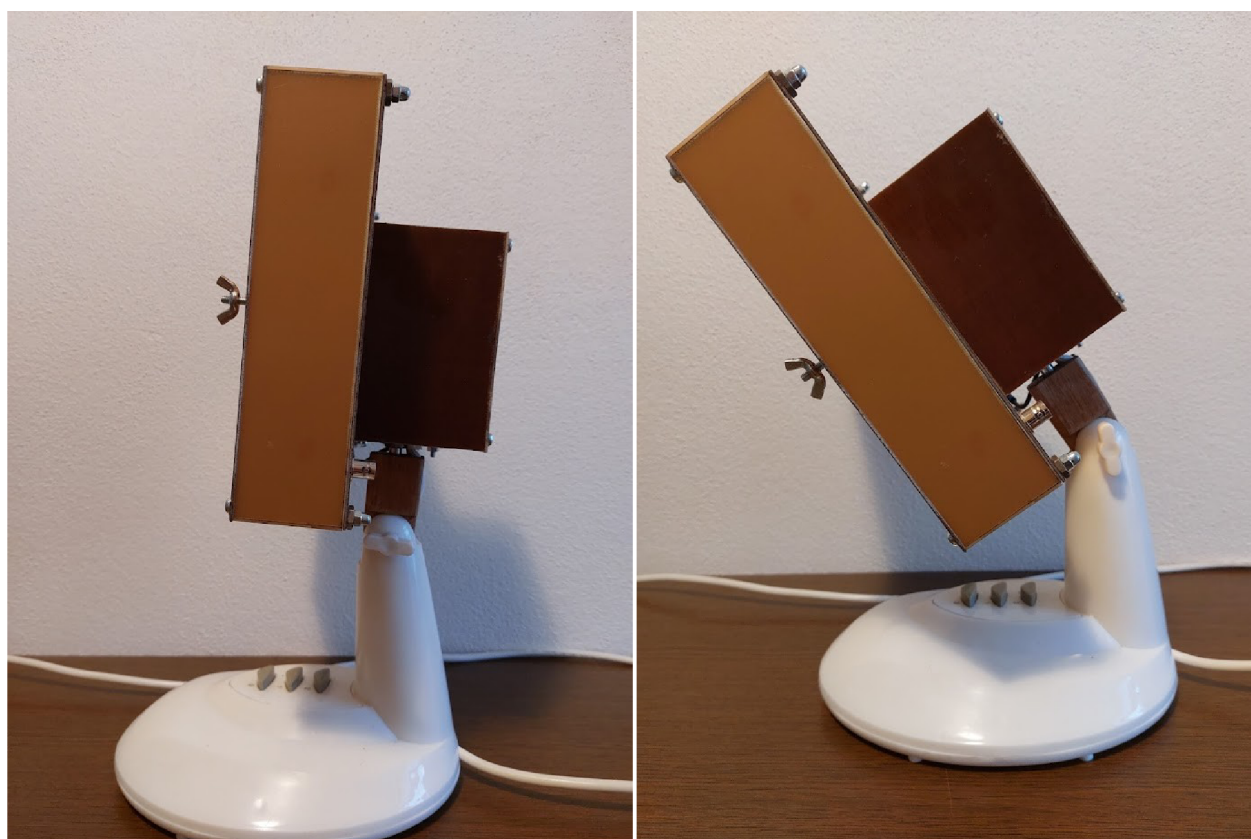


obr. č. 35 Pohled na sestavu stínící a měřící elektrody VN voltmetru. Základna stíněné klece č. 1, stínící elektroda č. 2, měděná distanční podložka č. 3, levotočivá matice č. 4, měřící elektroda č. 5, konektor BNC č. 6. Archív autora.

Na druhém konci hřídele motorku je pružným kontaktem hřídel vodivě spojen s uzemněním motorku viz obr. č. 17. Pružný kontakt je přichycen původním šroubkem uzemnění motorku. Pod tento šroubek jsou také přichycena očka zemnicích vodičů.

Jako první varianta bylo zemnění stínící elektrody řešeno vhodně vytvarovaným měděným drátem – ramínkem viz obr. č. 16. Ten se dotýkal rotační stínící elektrody blízko jejího středu přitlačován malou silou tažné pružinky. Toto řešení se ukázalo jako méně vhodná alternativa. Povrch cuprextitu není zcela hladký a kopíruje strukturu cuprextitu. Ta je dána obsahem skelné tkaniny kopírována měděnou vrstvou nanesenou na nosnou desku. Po roztočení rotační stínící elektrody docházelo k nepříjemnému zvukovému doprovodu. V tuto dobu byla používána distanční podložka vyrobená z plastu přitlačující na hřídeli stíněnou elektrodu. Následně použitá měděná distanční podložka by svojí polohou umožňovala opětovné použití uzemnění ramínkem. Ramínko by se opíralo o měděnou distanční podložku. Jednoduchou dílenskou úpravou by bylo potřebné změnit směr působení ramínka. Vzhledem ke svému nosnému dílu by nevykonávalo vertikální pohyb působící proti stíněné elektrodě, ale horizontální pohyb působící proti distanční měděné podložce.

Celý smontovaný komplet je umístěn na podstavci, který umožňuje vertikální a horizontální nastavení viz obr. č. 36.



a)

b)

obr. č. 36 Boční pohled na VN voltmetr. a) Boční pohled na VN voltmetr s maximálním vertikálním úhlem nastavení. b) Boční pohled na VN voltmetr s minimálním vertikálním úhlem nastavení. Archív autora.

Tato možná nastavení podstavce jsou potřeba pro nasměrování elektrod VN voltmetru na měřený zdroj napětí. V ideálním případě je pomyslná spojnice kolmá na plochu elektrod. Podstavec obsahuje také tři tlačítkové přepínače pro maximální a snížené otáčky motorku a jejich vypnutí. Celkový pohled na kompletní VN voltmetr zobrazuje obr. č. 37.



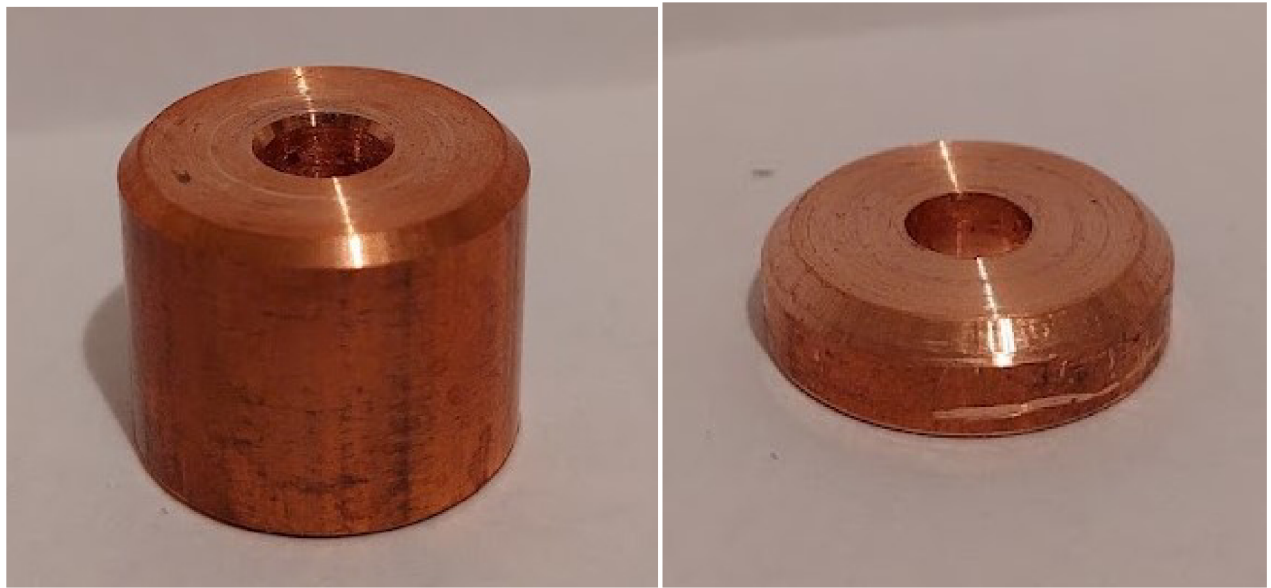
obr. č. 37 Celkový pohled na kompletní VN voltmetr. Na podstavci jsou umístěna tři tlačítka. První tlačítko nejdále od nosného dílu podstavce slouží pro vypnutí, druhé tlačítko spíná snížené otáčky, třetí tlačítko nejbližší k nosnému dílu podstavce spíná maximální otáčky motorku. Archív autora.

Pro funkci voltmetru je potřebné zajištění uzemnění rotační stínící elektrody, stíněné klece a veškerých kovových dílů. To je potřeba i z pohledu ochrany před úrazem elektrickým proudem, vzhledem k napájení motorku napětím 230 V z rozvodné sítě. Napájení motorku je proto řešeno třívodičovým napájecím kabelem a předpokládaná rozvodná síť použita k napájení je TN-S.

6.4.1 Úpravy a zkušenosti z kompletace

Distanční měděná podložka stínící elektrody byla původně navržena a vysoustružena z plastu. Plastová podložka byla mechanicky plně funkční. K výrobě měděné distanční podložky vedlo zjednodušení při řešení vodivého spojení stínící elektrody s hřídelem motorku. To vyplynulo ze způsobu finálního uzemnění stínící elektrody přes hřídel motorku. Původní uzemnění ramínkem vodivé spojení stínící elektrody s hřídelem nevyžadovalo. I přesto lze plastovou distanční podložku při uzemnění přes hřídel použít. Vodivý spoj stínící elektrody s hřídelem přes měděnou podložku lze nahradit vodičem přiletovaným k elektrodě a osazeným na svém druhém konci očkem nebo s očky vhodné velikosti na obou koncích. Jedno očko je umístěné mezi plastovou podložkou a stínící elektrodou, druhé očko je umístěno mezi plastovou elektrodou a levotočivou maticí na hřídeli. Jako vhodný vodič se také jeví pásek tenkého měděného plechu používaný v instalatérství např. k uzemnění vodovodních trubek. Z pásku lze vytvarovat profil U, do něhož je následně vložena plastová distanční podložka, na jejíž čela přiléhají ramena profilu U. Do přiléhajících ramen U profilu lze vyvrtat otvory o průměru hřídele dle polohy otvoru v plastové podložce. Tuto sestavu lze nasunout na hřídel a utáhnout matkou na hřídeli proti stínící elektrodě. Tenký měděný plech by se měl dotvarovat a přizpůsobit deformací při utahování. Lze z něho také vyrobit očka o potřebné ploše pro přiletování na klemovací zemnicí vodič plastové podložky. Zmíněné návrhy jsou na úrovni teorie a nejsou odzkoušeny v praxi.

Měděná distanční podložka byla vyrobena z kulatiny o průměru 20 mm. Výška podložky byla určena také na 20 mm. Na soustruhu byla vytvořena čelní hladká dosedací plocha pro stíněnou elektrodu, odvrtán otvor pro hřídel s ponecháním přídávku na vystružení finálního rozměru a vystružen otvor na přesný průměr hřídele 6 mm. Veškeré operace byly provedeny na jedno upnutí. Cílem tohoto postupu bylo přesné kolmé upnutí stínící elektrody na hřídeli motorku. Následně byla soustružena plocha ze strany matice. Pohled na měděné distanční podložky použité k upnutí stíněné elektrody na hřídel motorku zobrazuje obr. č. 38.

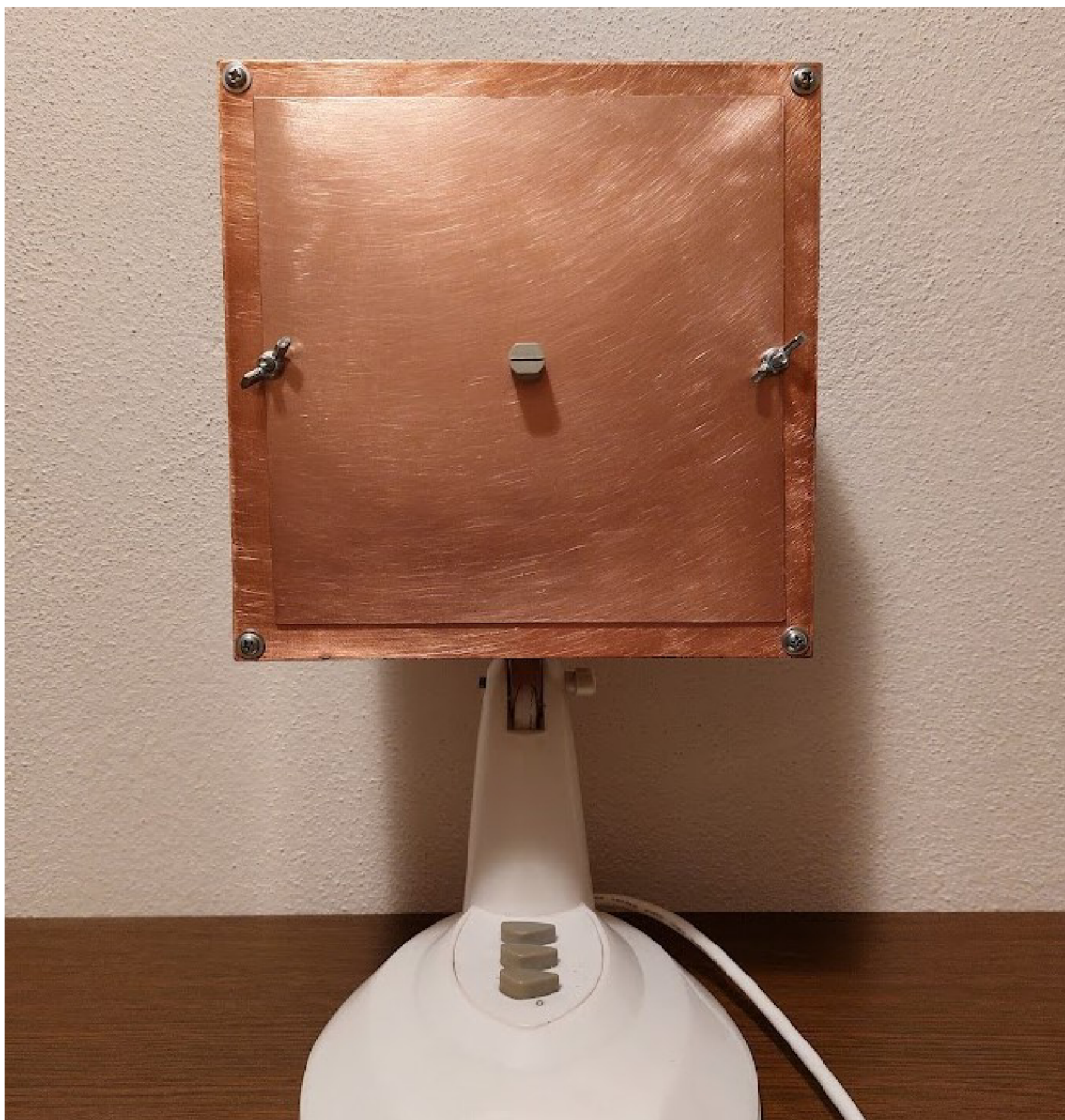


a)

b)

obr. č. 38 Distanční měděné podložky použité k upnutí stínící elektrody na hřídel motorku. a) Distanční podložka vložena mezi elektrodu a matici. b) Distanční podložka vložena mezi elektrodu a příčný kolík hřídele motorku viz kapitola 6.6.1. třetí odstavec. Archív autora.

Dodatečně byla vyrobena stínící deska otvoru čelního zakrytí stíněné klece elektrod. Na čelním zakrytí ve vodorovné ose otvoru byly vyvrtány po stranách dva otvory a vyříznuty závity M4 do cuprexitu. Závity slouží k fixaci šroubků v těchto otvorech. Z cuprexitu byla vystřižena deska o čtvercovém tvaru. Deska svým rozměrem kryje s přesahy otvor v čelním zakrytí. Na desce byly propilovány drážky tvaru U k okrajům v místech, kde bude uchycena šroubky k čelnímu zakrytí. Drážky velmi zjednodušují nasazení stínění na otvor. Střed desky stínění byl později doplněn hmatníkem ze staré měřicí karty. To opět velmi usnadňuje manipulaci. Uchycení na šroubcích je výhodné křídlovými maticemi. Celkové provedení je zřejmé z obr. č. 39.



obr. č. 39 Čelní pohled na stíněnou klec elektrod s namontovanou stínící deskou. Na stínící desce je v jejím středu namontován plastový hmatník pro snadnější manipulaci. Ve vodorovné ose hmatníku jsou patrné křídlové matice pro beznástrojové uchycení stínící desky. Archív autora.

Po osazení veškerých distančních sloupků a následné montáži stínění motorku a stínění elektrod na základnu se ukázaly nedostatečné mechanické vůle mezi jednotlivými díly. Spasování bylo možné, ale velmi těsné. Častým rozebíráním a různými zkouškami došlo k poškození letovaného spoje na dvojici bočnic stínění elektrod. Závada byla zjištěna při demontáži, která se nyní jevila bezproblémová. Při náhodném úchopu rukou stínění elektrod byla pociťována snížená tuhost. Na spoji bočnic byla patrná trhlinka v celé jeho délce. Spoj byl opraven letováním. Následně bylo vhodné upravit konstrukci stíněné klece. Po zvážení realizovatelných možností úprav byly veškeré otvory pro distanční sloupky zvětšeny na svém průměru o 0,5 – 1 mm. Dodatečně byly některé otvory propilovány vhodným směrem uvolňujícím napětí mezi jednotlivými díly. Přesto bylo ještě nutné zmenšit průměry distančních sloupků pro stínění motorku soustružením. Těsné problematické spojení bylo dáno zřejmě snahou docílit co nejpřesnější výrobu konstrukce. K tomu se určitě promítly i nepřesnosti při orýsování jednotlivých dílů a jejich výrobě. Jako výhodné se jeví

počítat s běžnými nepřesnostmi a přičítat nebo odčítat rozumné přídatky rozměrů při navrhování umístění pro jednotlivé distanční sloupky. Dodatečně byly vytvořeny naváděcí kužely pro šroubky na čelech distančních sloupků u stínění motorku. Sloupky mají poloviční délku oproti výšce bočnic stínění motorku. Vzhledem k nedostupnosti vhodné délky distančních sloupků bylo zvoleno toto řešení. Kužely následně značně usnadňují montáž šroubků fixujících stínění.

Po kompletaci VN voltmetru se ukázala výška bočnic stíněné klece elektrod jako nevyužitá. Navržena byla 50 mm, vzhledem ke stejné délce použitých distančních sloupků. Záměr byl také dostatečný prostor uvnitř stíněné klece elektrod pro případné aplikace uzemnění stínící elektrody. V praxi se ukázaly nevyužité rezervy tohoto rozměru. Celá konstrukce by byla proveditelná a funkční i s výškou stíněné klece elektrod např. 30 mm. To by se také promítlo do nižší váhy stíněné klece a snížení síly působící na kloub stojánku. Další snížení síly působící na kloub by bylo možné, pokud by distanční podložka mezi měřicí elektrodou a základnou stíněné klece sloužila současně jako vyztužující mezikus použitý mezi motorkem a základnou stíněné klece. Tyto dodatečné úpravy nebyly aplikovány vzhledem k již vyrobenému dřevěnému kloubu.

6.5 Elektrické zapojení napájení pohonu stínící elektrody

Stojan ventilátoru je vybaven přepínači rychlosti otáčení a jejich aretací do vypnutého stavu. Elektroinstalace byla při výrobě voltmetru zcela odpojena. Při kompletaci voltmetru byla opět kompletně připojena.

Při připojování mezi přepínači rychlosti otáčení a motorkem došlo k chybnému připojení cívek motorku. Cívka vynutí motorku je na kostře vinutí navinuta s odbočkou. Tím vznikají dvě cívky v sériovém zapojení. Podle provedeného způsobu vinutí byla jedna s vyšším počtem závitů. Kombinace zapojení cívek byla původně použita u tohoto motorku jako regulace otáček. Chybné zapojení se projevilo po prvním zapnutí. Po chvíli běhu motorku došlo k rychlému zvýšení teploty vinutí motorku a následnému poškození izolace tj. nastal tzv. závitový zkrat ve vinutí. Cívka motorku byla nenávratně poškozena.

Konstrukce použitého motorku umožňuje rozebrání a vyjmutí cívky. Cívka byla předána k převinutí a následně opět použita. Motorek je dále funkční. Po správném zapojení cívek vinutí k přepínači rychlosti otáčení je tato regulace funkční. Po opravě vinutí je po přepnutí počtu otáček jasný jednoznačný rozdíl mezi dvěma možnými volbami rychlosti otáčení. Původní nižší rychlost otáčení motorku měla rychlejší rozběh. Z tohoto pohledu lze původní cívku motorku považovat za vhodněji provedenou.

6.5.1 Možná řešení regulace otáček pohonu stínící elektrody

Původní přepínání rychlosti otáček nemusí vyhovovat požadavkům na provozování, vezme-li se v potaz výsledný efekt opravené statorové cívky. Regulaci otáček motorku lze řešit několika

dostupnými způsoby. V tomto případě je řešena regulace pro indukční motorek napájený střídavým proudem. Regulace otáček v pravém slova smyslu lze provést pouze změnou frekvence. Na tomto principu je také založen pohyb synchronního a asynchronního motoru. Změna amplitudy pouze snižuje výkon, frekvence ovšem pořád zachovává počet otáček. Za určitých okolností se změna amplitudy také může projevit změnou otáček. Je-li snížena amplituda, přiměřeně se snižuje i výkon. Snížení výkonu se ve výsledku může projevit také snížením otáček, pokud je motorek zatížen. Otáčky motorku ovlivňuje např. odpor kladený pouzdry ložisek rotoru, odpor kladený vzduchem např. na otáčející se vrtuli, lze říci zjednodušeně zátěž.

Jako nejjednodušší se jeví použití autotransformátoru, vzhledem k jeho rozšíření na základních školách. Autotransformátor svým principem reguluje výšku amplitudy střídavého napětí. Umožňuje regulaci od nuly do maximální hodnoty použitého napájecího napětí. Jen pro připomenutí, autotransformátor galvanicky neodděluje regulovaný spotřebič. Při poruše autotransformátoru přerušením společného vinutí je na jeho výstupních svorkách plné napětí. Autotransformátor použitý k testu regulace otáček je zobrazen na obr. č. 40.



obr. č. 40 Autotransformátor použitý k testu regulace otáček motorku. Archív autora.

Jako další přijatelná možnost regulace rychlosti otáček se jeví jednofázový frekvenční měnič. Frekvenční měniče skýtají pro odborníky řadu výhod. Při znalosti této problematiky lze nastavením parametrů frekvenčního měniče doslova přesně nakonfigurovat charakteristiku regulace pro daný spotřebič. Pro regulaci rychlosti otáček motorku je v případě VN voltmetru naprosto dostačující základní regulace frekvence bez dalších znalostí nastavení frekvenčního měniče, tj. změnou frekvence od 0 do 50 Hz. Ta je ve většině případů umožněna otočným potenciometrem bez dalšího

nastavování. Pozor, frekvenční měniče naprosto běžně zvládají frekvenci zvyšovat nad kmitočety 50 Hz. Pokud není na štítku motoru vyznačena možná nejvyšší frekvence, není tento motor uzpůsoben k provozu při frekvenci vyšší než 50 Hz. Může dojít k nevratnému poškození motoru. V praxi bylo zaznamenáno výrobní nastavení konkrétního frekvenčního měniče na maximum 65 Hz, přestože dosahuje několikanásobně vyšší frekvence při svém maximu. Bylo to velmi pragmatické řešení chránící výrobce a daný spotřebič. Při testu regulace otáček na třífázovém motoru stolního soustruhu je navýšení frekvence o 15 Hz velmi dobře slyšitelné. Sluchový vjem laika budí dojem výraznější změny otáček.

Frekvenční měnič nižšího výkonu pro tuto aplikaci lze v současnosti pořídit cca za 3000 Kč [16]. Pozor, třífázový měnič nelze použít pro jednofázový spotřebič, pokud to výrobce výslovně neuvádí. Obecné doporučení odborníků je zhruba dvojnásobný výkon měniče vzhledem k příkonu spotřebiče. Frekvenční měnič je zobrazen na obr. č. 41.



a)

b)

obr. č. 41 Frekvenční měnič. a) Celkový pohled na frekvenční měnič. V jeho zadní části je zřejmý chladič. b) Pohled na zapnutý frekvenční měnič. Na zobrazovači je nastavena výstupní frekvence 25 Hz. V pravé části ovládacího panelu je zřejmý potenciometr pro plynulou regulaci zvolené veličiny. Archív autora.

Jako další jednoduché řešení regulace se nabízelo zařazení diody do napájecího okruhu motorku. Tento způsob je využíván např. v některých vysoušečích na vlasy tzv. fénech. Dioda propustí pouze jednu půlvlnu. Pomyslně sníží amplitudu napájecího napětí na polovinu. Přepínačem by bylo možné volit plné napájecí napětí motorku nebo napájecí napětí upravené diodou. V praxi se tento způsob ukázal jako nefunkční.

Další možný jednoduchý způsob regulace, který se nabízel, je sériové zařazení kondenzátoru o vhodné kapacitě do obvodu napájení motorku. Vyzkoušen byl také kapacitní napěťový dělič. Oba způsoby byly čerpány z internetových kutilských zdrojů [17, 18]. Regulace otáček motorku pomocí kondenzátorů se po prvním zapojení jevila jako nadějná. Následnými pokusy s empirickým určením kapacit kondenzátorů byly určeny vhodné hodnoty kapacit kondenzátorů. Další pokusy v provozu vyvrátily vhodnost obou typů regulace otáček pomocí kondenzátorů pro VN voltmetr.

6.5.2 Zkušenosti se zapojením elektroinstalace a odstraněním vzniklé poruchy

Při prvním odpojení statorových cívek vinutí motorku došlo k první chybě. Nebyly zaznamenány barvy tří vývodů cívek a následně jejich připojení na přepínač rychlosti otáček motorku. Při připojování jednotlivých vývodů došlo k druhé chybě. Jednotlivé vývody cívek nebyly vzájemně proměřeny měřičem odporu. To by umožnilo určení cívky s vyšší hodnotou odporu a určení společného vodiče obou cívek. Cívka s vyšší hodnotou odporu původního vinutí mohla být připojena k napájení bez následného poškození. Cívka s nižší hodnotou odporu by byla následně volbou přepínače přiřazována zapojením do série, tj. napájecí napětí je přivedeno na krajní vodič každé z cívek, společný vodič cívek je od napájení v této fázi odpojen. Třetí chyba byla zcela zásadní. Barvy jednotlivých vodičů byly vnímány jako platné dle zvyklostí v elektrotechnice praktikovaných v ČR. Původní stolní ventilátor je čínský výrobek a je samozřejmě vyroben dle platných zvyklostí v elektrotechnice na území Číny. Ty se v mnoha ohledech mohou odlišovat od našich.

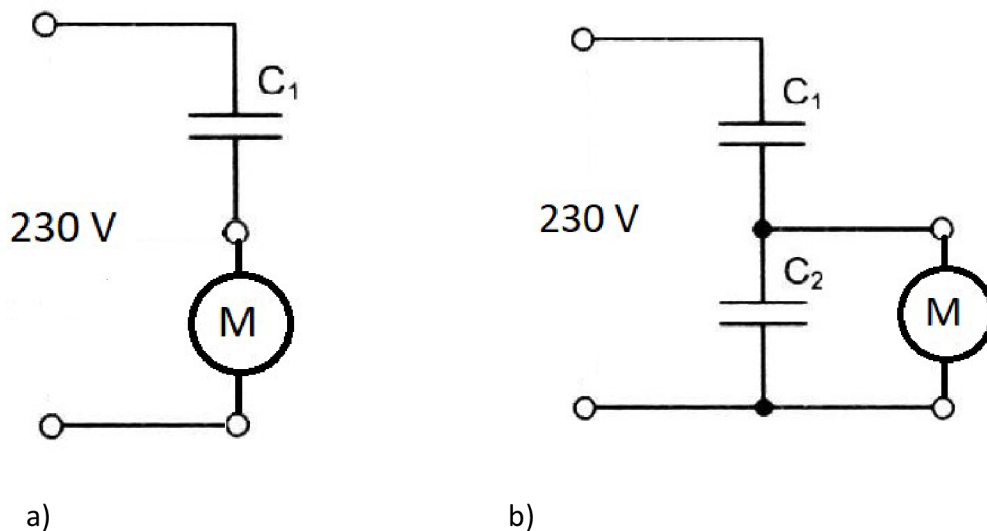
Poškozená cívka byla zpečena a nebylo možno počítat jednotlivé závity odvíjením. Byl změřen průměr použitého vodiče a určena vzdálenost odbočky vinutí od vnitřní hrany cívky. Na základě těchto parametrů byla navinuta nová cívka. Po kompletaci motorku byla provedena zkouška dle výše uvedených postupů. Motorek byl nyní už správně zapojen k přepínači rychlosti otáček. Nyní je převinutá cívka funkční a motorek vykazuje změnu otáček po přepnutí. Bohužel se zmíněným postupem převinutí nepodařilo určit původní počty závitů cívky. Jednalo se pouze o hrubý odhad počtu závitů. To je zřejmě také důvodem nevýrazného rozběhu motorku při volbě nižších otáček přepínačem.

Při manipulaci s motorkem bylo na původní i opravené cívce patrné nedostatečné fixování vodičů vyvedených z cívky. Je výhodné na cívce její vývody v místě vyvedení zalepit pomocí tavné pistole. Tím je zamezeno mechanickému poškození ukroucením nebo utržením tenkých vodičů. Následná oprava může být komplikovaná.

Zkouška regulace otáček motorku diodou v sériovém zapojení se ukázala jako nepoužitelná. Původní myšlenka ne zcela ideálního pomyslného snížení amplitudy tímto způsobem se v podstatě potvrdila. Takto upravená amplituda motorek v praxi nedokázala uvést do pravidelného otáčivého pohybu. Motorek se v zapojení s diodou velmi pomalu nepravidelně otáčel a měl snahu tzv. vrnět.

Ověření funkce regulace otáček pomocí kondenzátorů se jevilo efektivněji. Nejprve byl sériově zařazen do obvodu s motorkem kondenzátor o hodnotách 330 nF/ 630 V, dále jen kondenzátor

F/630 V. Motorek po zapnutí nereagoval ani na ruční uvedení do pohybu. Stejně se choval při zařazení kondenzátoru 440 nF/ 630 V. Při zařazení kondenzátoru 540 nF/ 630 V motorek po zapnutí kladl proti směru svých otáček větší odpor než po směru svých otáček při ručním uvedení do pohybu. Při zařazení kondenzátoru 770 nF/ 630 V motorek po zapnutí a ručním uvedení do provozu udržel dané otáčky a následně začal nepatrně zvyšovat otáčky. Po zařazení kondenzátoru 870 nF/ 630 V motorek po zapnutí bez pomoci začal nepatrně přidávat otáčky. Po zařazení kondenzátoru 1 μ F/ 630V měl motorek bezproblémový rozběh, ale také rychleji zvyšoval otáčky. Schéma aplikovaného zapojení motorku s kondenzátory zobrazuje obr. č. 42.



obr. č. 42 Zapojení motorku s kondenzátory. a) Sériové zapojení motorku s kondenzátorem. b) Kapacitní napěťový dělič s připojeným motorkem. Motorek M, kondenzátor C1 a C2. Archiv autora.

Při zapojení kondenzátorů jako napěťový dělič s hodnotami 2 x 2 μ F motorek po zapnutí velmi rychle dosáhl maximálních otáček. Následnými kombinacemi kapacit kondenzátorů a testy rozběhů a dosažených otáček byly vybrány dvě varianty hodnot kondenzátorů. Napěťový dělič 1 s kondenzátory C1 1 μ F a C2 540 nF a napěťový dělič 2 s kondenzátory C1 877 nF a C2 540 nF. Tyto varianty napěťových děličů byly v provozu po stanovenou dobu a v časových úsecích byly měřeny otáčky motorku.

Tento test byl následně proveden i s kondenzátory v sériovém zapojení. V tomto zapojení se motorek nepodařilo zprovoznit s kondenzátorem 770 nF/ 630 V, až při zapojení kondenzátoru 870 nF/ 630 V se motorek začal otáčet po ručním uvedení do pohybu. Mohlo to být způsobeno teplotou motorku po určité době provozu, kdy se mohou např. ložisková pouzdra chovat jiným způsobem. Motorek v celkovém výsledku mohl mít ovlivněny svoje parametry rozdílem teplot mezi oběma testy. Volba obou kapacit kondenzátorů v sériovém zapojení s motorkem byla podle tohoto chování velmi blízko spodní hranice funkčnosti motorku. Pro porovnání byl takto změřen i motorek v původním zapojení, kde jsou dvě možnosti rychlosti otáček dány zapojením cívek. Tyto

testy potvrdily nedostatečnou funkčnost a nestabilitu takto provedených regulací otáček bez přiměřené zátěže motorku. Nestabilita otáček motorku při jednotlivých pokusech o regulaci otáček motorku je zřejmá z tabulky 2 viz obr. č 43.

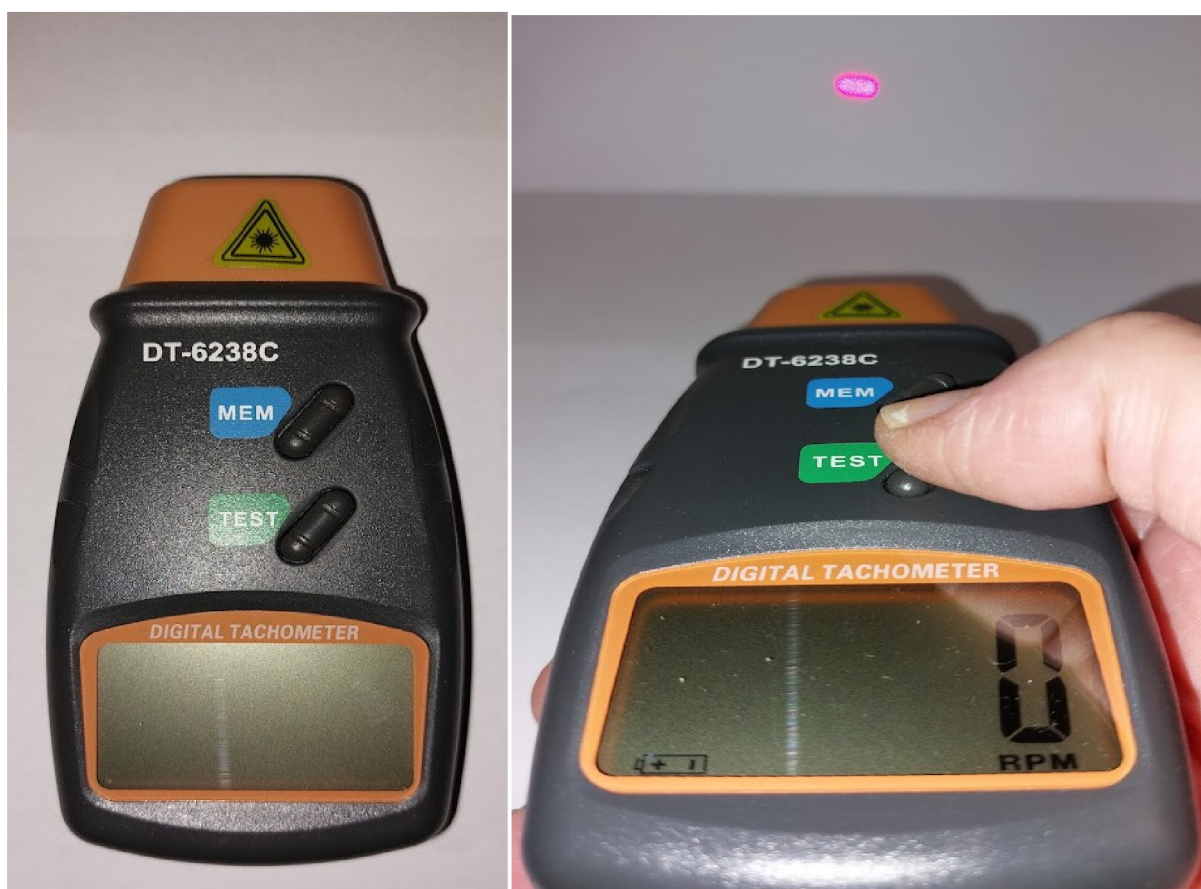
Aplikace	Měřené otáčky za minutu v čase od zapnutí motorku					
	5 s.	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.
napěťový dělič 1.	334	1200	2376	2464		
napěťový dělič 2.	504	2485				
Sériový kondenzátor						
870 nF	203	334	400	497	670	899
1 μ F	700	2385				
Motorek samostatně						
První rychlost	1300	2250	2256			
Druhá rychlost	2292	2596	2604			
Autotransformátor s nastaveným výstupním napětím						
150V	494	846	1032	1475	1804	2182
120V	480	514	524	580	585	692
100V	143	114	102	98	81	69
110V	201	213	194	201	189	177
120V	278	415	447	456	517	533

obr. č. 43 Tabulka 2. Regulace otáček. V prvním sloupci tabulky jsou uvedeny aplikované regulace otáček, řazení pod sebou zachovává následnost jednotlivých pokusů. V dalších sloupcích jsou uvedeny jednotlivé časy měření otáček od zapnutí motorku volbou vyšší rychlosti. U nevyplněných polí jednotlivých časů aplikací již nedocházelo k dalšímu zvyšování počtu otáček.

Regulace otáček motorku autotransformátorem také nebyla uspokojivá. Pro kontrolu chování motorku byla celkem dvakrát opakována s napětím 120 V. otáčky motorku byly odlišné i přes zachování stejného napětí viz tabulka 2. Jednotlivé pokusy regulací byly aplikovány následně, tak jak jsou řazený v tabulce 2.

Při měření otáček motorku optickým otáčkoměrem na stínící elektrodě se ukázal následující problém. Na elektrodu je k tomuto účelu nalepena nálepka odrážející měřicí paprsek otáčkoměru. Před úpravou povrchu elektrody broušením jemným smirkovým papírem probíhalo měření otáček bezproblémově. Po této úpravě docházelo k velkým nepřesnostem a odchylkám při uvedeném

měření optickým otáčkoměrem. Optický otáčkoměr použitý pro měření otáček motorku zobrazuje obr. č. 44.

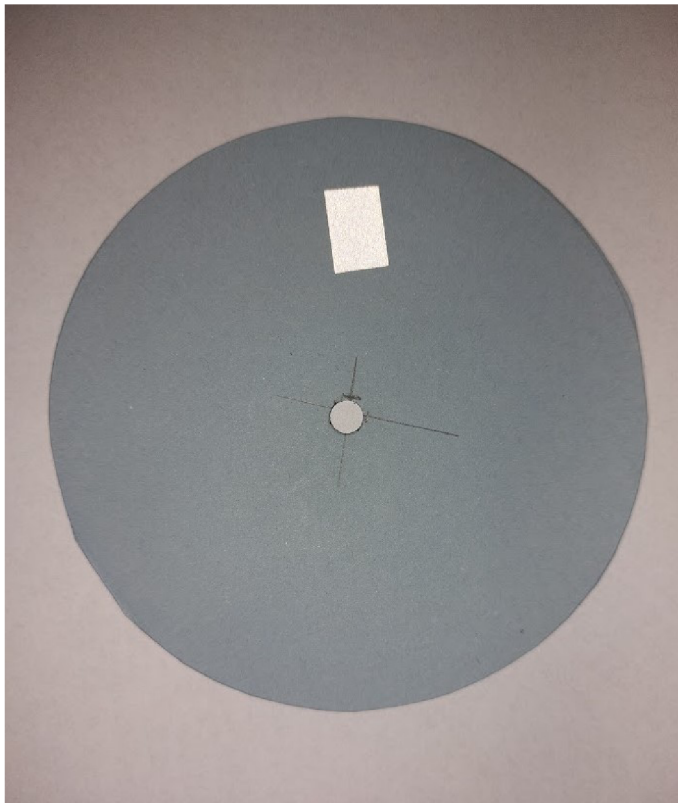


a)

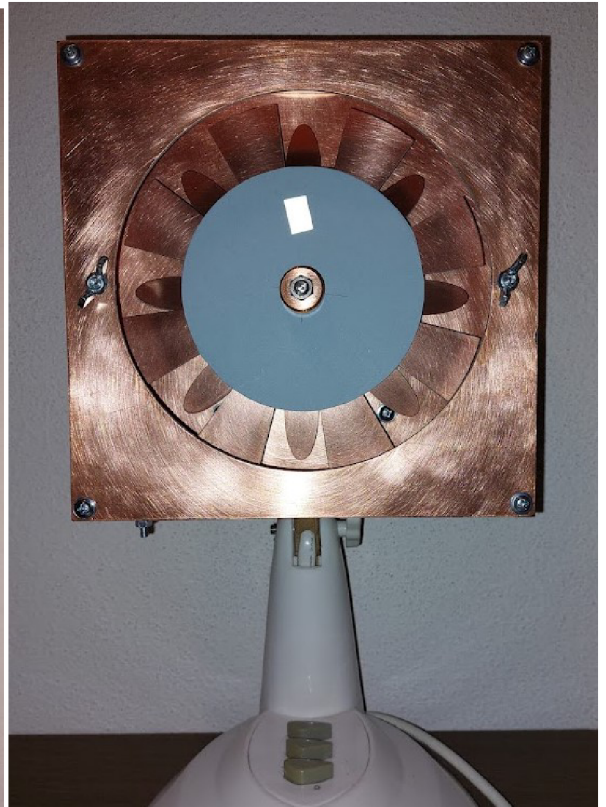
b)

obr. č. 44 Optický otáčkoměr. a) Optický otáčkoměr použitý pro měření otáček motorku. b) Optický otáčkoměr při aktivovaném měření. V horní části obrázku je patrný červený terčik, který se směřuje na reflexní plošku nalepenou na měřený rotující díl. Archív autora.

Jako nejjednodušší řešení se ukázal kotouček z tvrzeného papíru o dostatečném průměru vložený mezi stínící elektrodu a distanční podložku ze strany matky hřídele motorku. Na kotouček za cca polovinou poloměru byla opět nalepena odrazná nálepka. Touto úpravou bylo měření otáček opět bezproblémové. Papírový kotouček použitý pro měření otáček motorku zobrazuje obr. č. 45.



a)



b)

obr. č. 45 Papírový kotouček pro měření otáček. a) Papírový kotouček pro měření otáček motorku. Nad středovým otvorem pro hřídel motorku je nalepena reflexní ploška. b) Čelní pohled na VN voltmetr s namontovaným papírovým kotoučkem pro měření otáček motorku. Archív autora.

6.6 Mechanické zprovoznění

Stínící klec je dostatečně robustní pro případné zachycení uvolněného rotujícího dílu, nebo jeho části. Po zapnutí motorku voltmetru se mohou projevit vibrace. Mohou být způsobeny nepřesným umístěním středního otvoru do středu stínící elektrody, otvorem o průměru větším než je rozměr hřídele nebo nepřesnou výrobou finálního tvaru stínící elektrody. Tyto nedostatky lze odstranit vystředěním nebo vyvážením stínící elektrody.

Po prvním zapnutí motorku se také projeví vyšší otáčky, než byly změřeny s osazenou původní ventilátorovou vrtulí. Otáčky s ventilátorovou vrtulí kolísaly mezi 950 až 1000 otáčkami za minutu. Otáčky se stíněnou elektrodou se blíží k cca 2400 otáčkám za minutu (měřeno optickým bezdotykovým otáčkoměrem). Obvodová rychlost rotační stínící elektrody o průměru 169 mm při 2400 ot. za minutu je 21,23 m/s. Ke zvyšování otáček stínící elektrody dochází velmi pomalu, řádově v jednotkách minut. Změna zvukového projevu při tomto zvyšování otáček je nepatrná, může být snadno neregistrována. Ventilátorová vrtule klade značně větší odpor při pohybu vzduchem způsobený hustotou vzduchu než použitá rotační stínící elektroda, což se projevuje

pravděpodobně tímto rozdílem otáček. Motorek o výkonu 35 W nedokáže udělit rotující vrtuli ventilátoru kladoucí značný odpor ještě vyšší otáčky.

Boční plocha stínící elektrody o šíři 1,5 mm a délce 60 mm je u každého listu 90 mm^2 . Pro lepší představu převedeno na $0,9 \text{ cm}^2$. Celková plocha stínící osmilisté elektrody kladoucí významnější odpor při pohybu vzduchem je $7,2 \text{ cm}^2$. Ventilátorová třílistá vrtule má plochu jednoho listu cca 45 cm^2 tj. celková plocha tří listů cca 135 cm^2 . Jedná se jen o hrubé porovnání pro vysvětlení rozdílu. Plocha listu tažné případně tlačné vrtule je naklopena a speciálně tvarována vůči směru pohybu. V jistém ohledu tak může mít analogii s nakloněnou rovinou. Nepochybně je tato problematika mnohem hlubší a komplikovanější než nabídnutý postřeh. O značném odporu vzduchu při pohybu vrtule svědčí také např. potřeba výkonu motoru vrtulového letadla běžně ve stovkách kW pro pohyb vzduchem danou rychlostí.

Uzavření motorku do stíněné klece způsobuje nárůst jeho provozní teploty, Při teplotě okolí $20 \text{ }^\circ\text{C}$ je po deseti minutách provozu teplota stínění motorku $28,3 \text{ }^\circ\text{C}$, měřeno na středu horní bočnice stínění. Teplota samotného motorku je $48 \text{ }^\circ\text{C}$, měřeno na zadním uložení kluzného ložiska. Teploty měřeny bezdotykovým optickým teploměrem viz obr. 46.



a)

b)

obr. č. 46 Optický teploměr. a) Bezdotykový optický teploměr. b) Aktivované měření teploty bezdotykovým optickým teploměrem. V horní části obrázku je patrný červený terčik směřovaný na místo měření teploty. Archív autora.

Nárůst teploty je bez pochyby způsoben daným provozováním motorku. V původní konstrukci ventilátoru byl motorek dostatečně ochlazován prouděním vzduchu způsobeným vrtulí ventilátoru a jeho zakrytím přizpůsobeným pro ochlazování vzduchem. Vliv na vyšší provozní teplotu motorku může mít také nevhodně provedená oprava statorové cívky jejím převinutím, případně nepřesné složení motorku po realizované opravě. Teplotu pravděpodobně ovlivňuje i zvýšené namáhání ložiskových pouzder rotoru motorku způsobené vibracemi a hmotností veškerých prvků osazených na hřídeli.

6.6.1 Zkušenosti z mechanického zprovoznění

Vibrace způsobené nepřesným centrováním stínící elektrody bylo možné řešit několika způsoby. Některá zdánlivě jednoduchá řešení se značně komplikovala při aplikaci. Dodatečně vyvrtaný středící otvor stínící elektrody nebyl přesně vycentrován a při vrtání běžným vrtákem měl i nepatrně větší průměr. Jako chyba se ukázalo použití běžného HSS vrtáku. Při vrtání a snaze dodatečně vystředit otvor došlo ke zmiňovaným odchýlkám. Vzniklá nepřesnost by pravděpodobně byla eliminována použitím již zmiňovaného běžného dvoubřitého vrtáku s výbrusem do dřeva. Za těchto okolností nemá smysl vyvažovat stínící elektrodu ubíráním materiálu, pokud nemá přesně vyroben středící otvor.

Nabízela se možnost soustružení přesného středícího otvoru. Upnutí stíněné osmilisté elektrody do tříčelistové univerzální hlavy 100 mm se ukázalo jako nereálné. Jako vhodný postup se jeví upnutí do čtyřčelistové univerzální hlavy. Požadovaný průměr univerzální hlavy byl následně určen odhadem na 80 mm. Záměrem bylo upnutí stínící elektrody za její středovou část o průměru 46 mm měřeném na nejnižších místech jednotlivých radiusů. Po pořízení čtyřčelistové univerzální hlavy 80 mm se projevil další nedostatek. Šíře čelistí pro tuto aplikaci byla zhruba o 3 mm větší, než je maximální možná šíře mezi listy elektrody v místě zamýšleného upnutí. K úpravě šíře čelistí zatím nebylo přistoupeno. Vhodnější rozměr univerzální hlavy by byl pravděpodobně 60 mm.

Za daných okolností byla stínící elektroda na hřídeli středěna následujícím způsobem: uchycena je letmo bez utažení matky. Vlastní vahou se stínící elektroda ustaví do pro ni nejvýhodnější polohy. V této poloze je rukou přitahována opačným směrem proti působení gravitace a zajištěna matkou. Projevované vibrace se tímto znatelně zklidnily. Následně byla stínící elektroda posunuta svým uchycením blíže k motorku. Úprava spočívala ve snížení distanční podložky mezi stínící elektrodou a příčným kolíkem na hřídeli motorku. Po zkoušce provozu bylo opět zaznamenáno zlepšení. Další neplánované zlepšení se projevilo po montáži měděné distanční podložky mezi stínící elektrodou a matkou. Po této zkušenosti byla vyrobena z mědi i distanční podložka mezi stíněnou elektrodou a příčným kolíkem hřídele viz obr. č. 38.

Uvedený aplikovaný postup vystředění stínící elektrody se jeví dostačující. Je potřeba zdůraznit prvotní projev vibrací. Jednalo se o vizuální chvění stíněné klece elektrod výrazným při určitých otáčkách. V žádném případě nešlo o projev pohybu celého voltmetru vzhledem k desce stolu nebo jeho nestabilitu na stojánku.

V případě možnosti upnutí stínící elektrody do univerzální hlavy soustruhu lze přiměřeně zvětšit průměr středícího otvoru a např. na použité měděné distanční podložce vyrobit soustružením přesné osazení odpovídající průměrem otvoru v elektrodě. Jako další zamezení vibracím stíněné elektrody při provozu lze snížit otáčky motorku některou z uvedených funkčních regulací.

V krajním případě se vliv vibrací může dále projevovat také narušením letovaných spojů bočnic stíněné klece elektrod trhlinami. V jistých ohledech by nebylo možné považovat stíněnou klec takto provedenou za dostatečnou ochranu před uvolněnou částí rotující stínící elektrody. Jako dostatečné řešení se nabízí např. dodatečné zpevnění po obvodu stíněné klece elektrod aplikací hojně používané lepicí pásky s tkaninou.

Řešení ochlazování motorku zatím nebylo realizováno. Předpokládaná doba provozu pro měření cca 10 min. se jeví jako dostačující. V případě potřeby ochlazování motorku se jeví několik možností. Vždy by to bylo narušením celistvosti stínění motorku. Zůstává otázkou, do jaké míry by dané zásahy měly vliv na funkci voltmetru.

Jako nejjednodušší se jeví vyvrtání skupiny chladicích otvorů v horní nebo zadní části stínění motorku. Tím by byl zajištěn výstup zahřátého vzduchu. Vstup okolního vzduchu je umožněn průchodem tvaru U pro trn nosného dílu a napájecího kabelu motorku. V zadní části stínění by vyvrtané otvory byly výhodnější, pokud by bylo aplikováno ochlazování přidanou ventilátorovou vrtulkou. Ventilátorová vrtulka vhodných rozměrů např. z ventilátorů používaných ve výpočetní technice by mohla být osazena na přesahu hřídele motorku využívaném k uzemnění stínící elektrody. Uzemnění hřídele by v tomto případě bylo proveditelné již popsáním čelním kontaktem nebo druhou variantou ramínka uzemňujícího stíněnou elektrodu prostřednictvím měděné distanční podložky. Samotný ventilátorek by bylo možné také připevnit na vyvrtané otvory. Pak by bylo potřebné řešit vhodné napájení ventilátorku.

Jako zajímavá varianta se zachováním vlastností stíněné klece se také jeví osazení např. zadní stěny stínění motorku pasivním chladičem v celé ploše zadní části. Vhodným přichycením průchozími šrouby na několika místech by byly vytvořeny tepelné mosty odvádějící teplo do tohoto chladiče. Pro zvýšení tohoto efektu by bylo možné vnitřní plochu zadní části stínění motorku doplnit měděným, případně hliníkovým plechem následně přichyceným šrouby do chladiče. Chladič samotný by se dal také použít přímo jako součást stíněné klece, kdy by svou plochou nahrazoval původní materiál cuprexitu.

7 Měření výstupního signálu měřící elektrody

Předpokládaný výstupní signál měřící elektrody bude velmi nízké hodnoty se střídavým, v ideálním případě sinusovým průběhem. Pro jeho další zpracování je potřeba znát velikost této hodnoty. Následně lze určit, jakým způsobem bude signál zpracováván dál. Pro měření velmi nízkých nebo neznámých hodnot napětí je výhodné použít osciloskop. Osciloskop je měřicí přístroj, který zobrazuje na obrazovce průběh napětí v čase a to od velmi nízkých hodnot napětí. Na obrazovce osciloskopu lze zobrazit jak stejnosměrnou hodnotu tak měnící se hodnotu a průběh napětí. V současné době jsou již značně rozšířeny osciloskopy digitální. Digitální osciloskop v mnohém usnadňuje měření oproti osciloskopu analogovému. Digitální osciloskopy jsou v převážné většině vybaveny pamětí, do které lze mimo jiné ukládat snímky obrazovky a dále s nimi pracovat na počítači.

7.1 Měření osciloskopem

Osciloskop se připojuje k měřenému zdroji napětí tzv. měřicí sondou, která může obsahovat dělič napětí např. 10:1, 100:1 nebo 1:1 a podobně. Je to poměr velikosti napětí mezi vstupním napětím do měřicí sondy a výstupním napětím z měřicí sondy. Např. poměr 10:1 znamená na výstupu měřicí sondy desetkrát nižší hodnotu napětí než je hodnota vstupního napětí sondy. Sonda s těmito poměry napětí zajišťuje stejně velké nebo nižší napětí z měřeného zdroje dále zpracovávané osciloskopem. To je důležité pro ochranu vstupních obvodů osciloskopu před jejich poškozením. Výstupní napětí měřicí sondy je přiváděno na vstupní obvod osciloskopu do konektoru BNC z měřicí sondy. Na osciloskopu lze mimo jiné otočnými prvky nastavit základní parametry tj. amplitudu napětí (vertikální nastavení) a časovou základnu (horizontální nastavení) viz obr. č. 47.

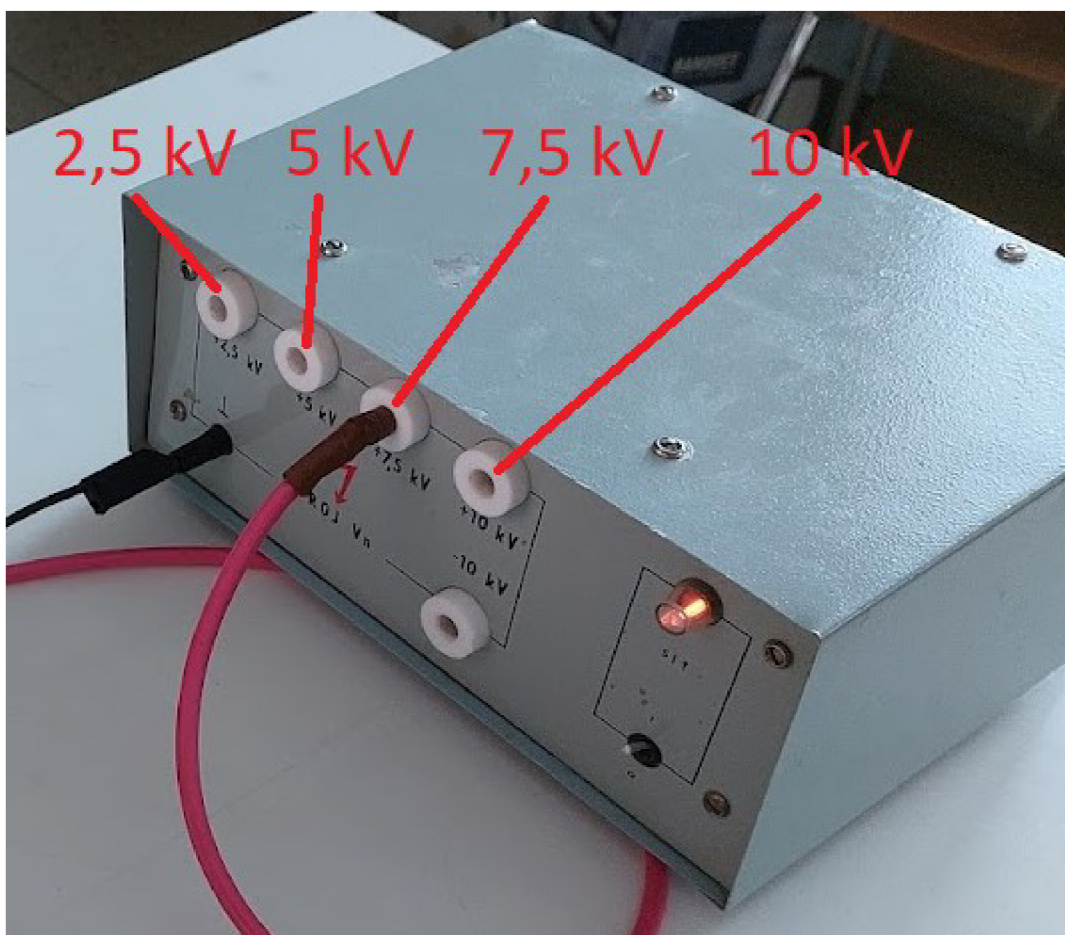


obr. č. 47 Čelní pohled na ovládací panel běžného digitálního osciloskopu. V rámečcích jsou označeny základní prvky pro vertikální (amplituda) a horizontální (časová základna) nastavení zobrazení měřeného signálu. Archiv autora.

Po připojení zdroje napětí k osciloskopu lze vertikálním nastavením posunout zobrazení průběhu napětí do viditelné části na obrazovce. Následně lze horizontálním nastavením upravit časovou základnu a zobrazený průběh napětí. To umožňuje na rastru obrazovky určit případnou frekvenci měřeného napětí. Na obrazovce digitálního osciloskopu lze graficky zobrazit průběh napětí současně s číselným zobrazením měřené hodnoty napětí tohoto průběhu a jeho frekvence. Postup základního měření osciloskopem je dostatečně popsán v mnoha publikacích knižních i elektronických.

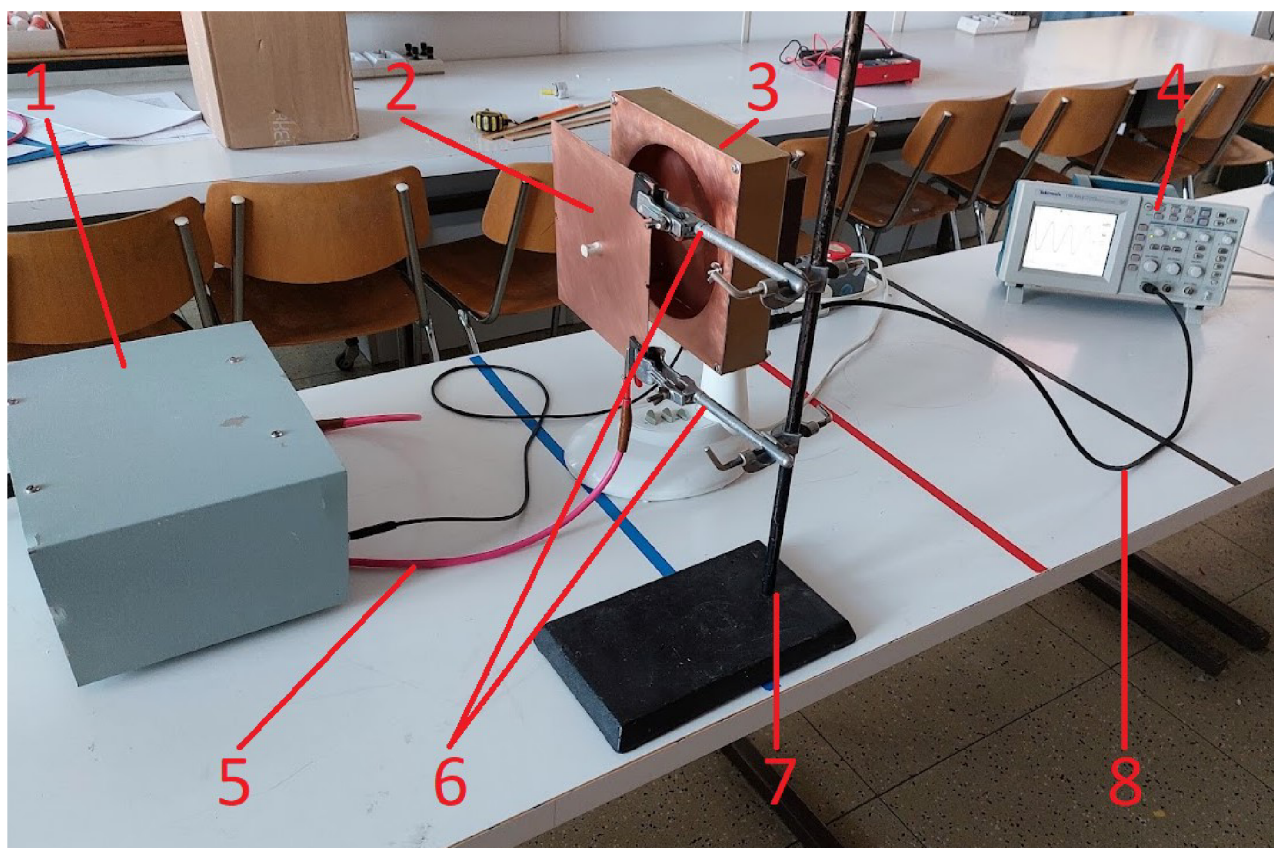
7.2 Měřicí sestava se stejnosměrným zdrojem VN

Původní záměr změření napětí na Van de Graaffovu generátoru nebyl dodržen. Generátor v době realizace měření nebyl funkční. Generátor byl nahrazen stejnosměrným zdrojem VN. Tento zdroj má výstupní svorky pro 2,5 kV, 5 kV, 7,5 kV, 10 kV viz obr. č. 48.



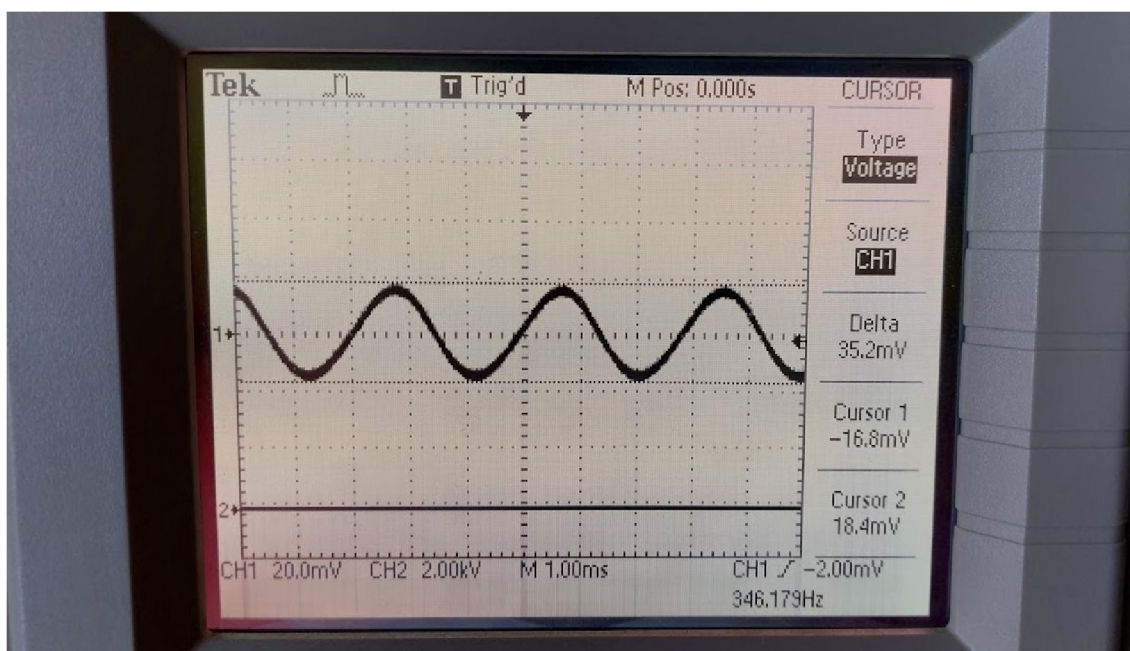
obr. č. 48 Stejnosměrný zdroj vysokého napětí. U jednotlivých svorek jsou vyznačeny hodnoty výstupního napětí. Archív autora.

Stejnoseměrný zdroj VN byl připojen na deskovou elektrodu. Stínící deska byla použita jako desková elektroda VN. Desková elektroda byla upnuta přes izolační prvky do svorek tyčového stojanu. V této fázi bylo potvrzeno výstupní napětí 2,5 kV a 5 kV stejnosměrného zdroje VN sondou s dělicím poměrem 1000:1 připojenou k osciloskopu. Ověření výstupního napětí 7,5 kV a 10 kV sondou 1000:1 nebylo věrohodné, protože docházelo mezi hrotem sondy a deskovou elektrodou VN k slyšitelnému jiskrovému výboji ještě před kontaktem hrotu elektrody s deskovou elektrodou. Změřené napětí bylo snižované tímto výbojem zhruba o jednu polovinu. Měřeno metodou zaznamenání maximální hodnoty napětí osciloskopem. Desková elektroda VN upnuta na stojanu byla následně umístěna před VN voltmetr. VN voltmetr byl připojen propojovacím kabelem BNC k osciloskopu viz obr. č. 49. Samotná měření VN voltmetrem proběhla za teploty 19°C a relativní vlhkosti vzduchu 47 %.



obr. č. 49 Měřicí sestava VN voltmetru. Stejnoseměrný zdroj VN č. 1, elektroda VN č. 2, VN voltmetr č. 3, osciloskop č. 4, vodič VN č. 5, svorky č. 6, tyčový stojan č. 7, kabel BNC č. 8. Archív autora.

První měření proběhlo s nedefinovanou vzdáleností mezi elektrodou VN a VN voltmetrem při hodnotě 2,5 kV. Na osciloskopu nebyla zaznamenána žádná změna ani po korekcích vertikálního a horizontálního nastavení. Následně byly zvyšovány hodnoty VN se stejným postupem korekce osciloskopu. Při hodnotě 10 kV byla zaznamenána změna. VN voltmetr generoval napětí měřitelné osciloskopem viz obr. č. 50.



obr. č. 50 Měřená hodnota napětí osciloskopem na nedefinovanou vzdálenost při hodnotě napětí 10 kV. Archív autora.

Následně byla určena vzdálenost 10 cm mezi elektrodou VN a měřicí elektrodou VN voltmetru, nastavena na obr. č. 49. V této vzdálenosti proběhla veškerá další měření VN.

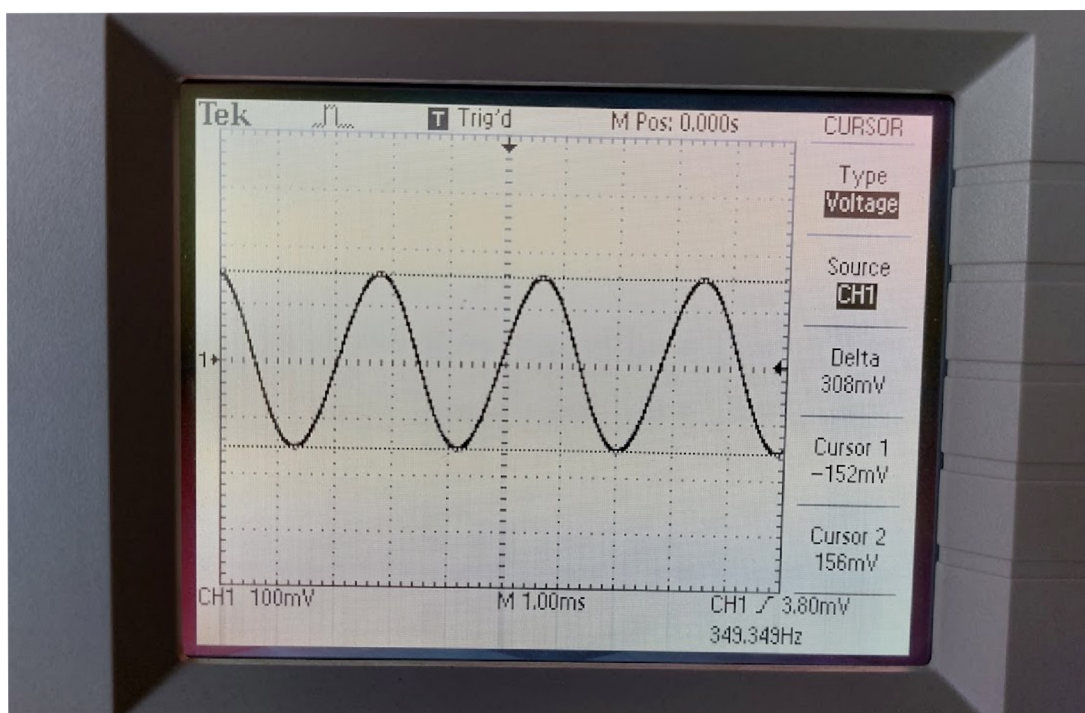
7.2.1 Osmilistá elektroda

Osmilistá elektroda generuje na jednu otáčku frekvenci 8 Hz, tj. osmkrát dojde ke změně napětí. Při otáčkách motoru 1000 otáček za minutu je tato frekvence 133,33 Hz. Při otáčkách 2400 je to 320 Hz.

Osmilistá měřicí elektroda při napětí 2,5 kV a ve vzdálenosti 10 cm od elektrody VN generuje střídavé napětí o hodnotě 154 mV.

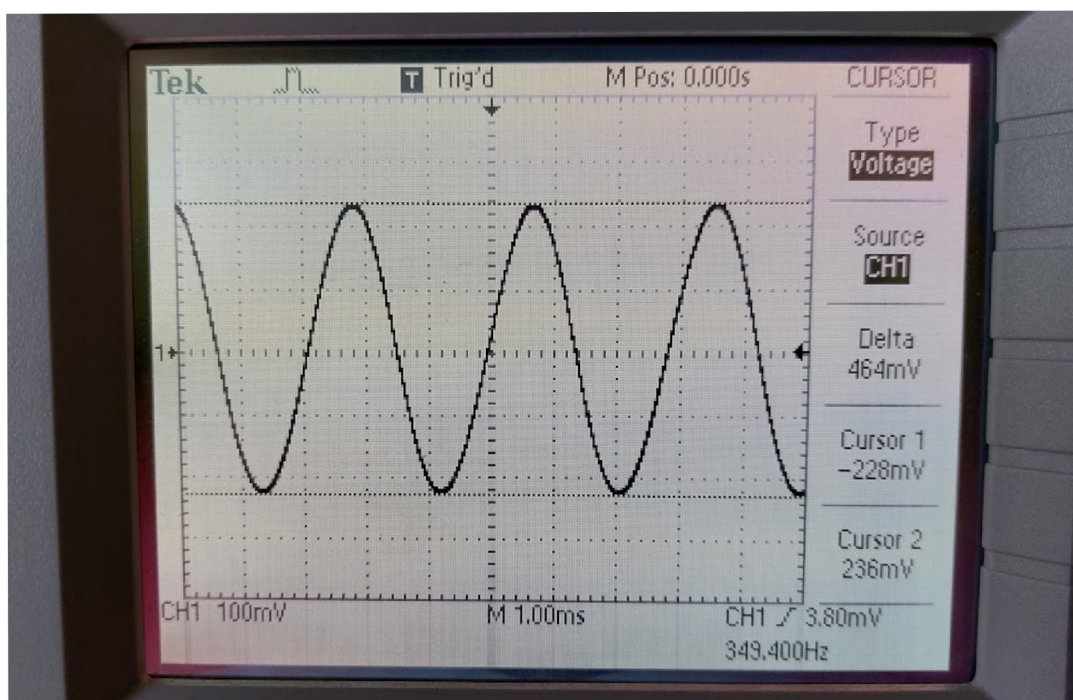
Obrázek není uveden.

Osmilistá měřící elektroda při napětí 5 kV a ve vzdálenosti 10 cm od elektrody VN generuje střídavé napětí o hodnotě 308 mV viz obr. č. 51.



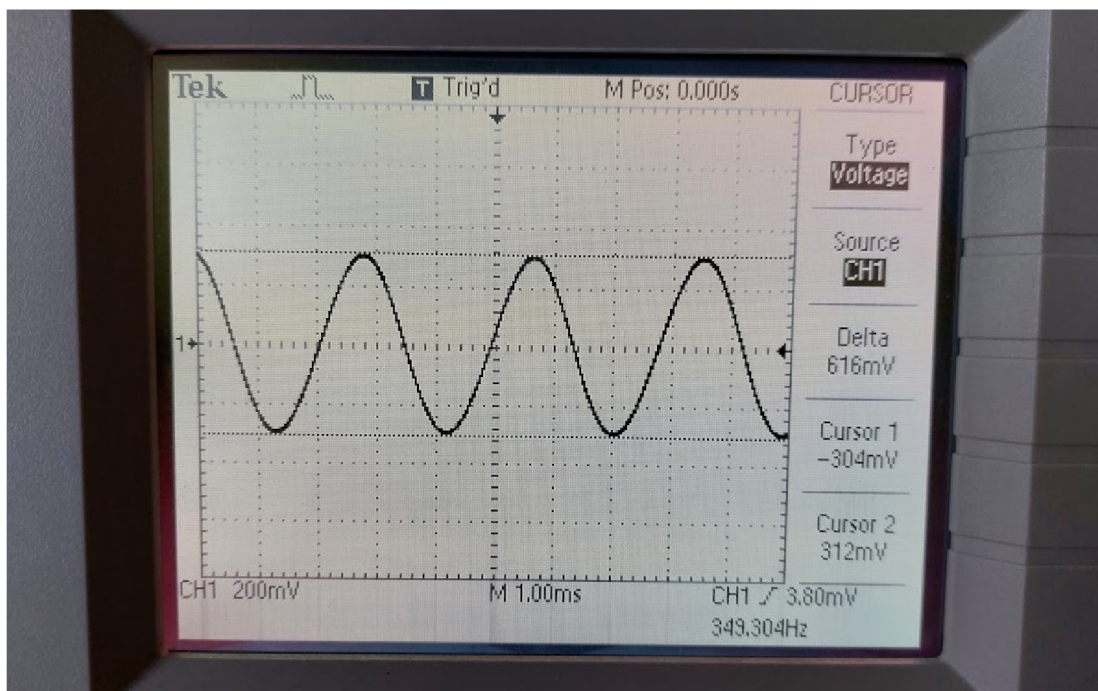
obr. č. 51 Generované napětí osmilistou měřící elektrodou při napětí 5 kV. Archív autora.

Osmilistá měřící elektroda při napětí 7,5 kV a ve vzdálenosti 10 cm od elektrody VN generuje střídavé napětí o hodnotě 464 mV viz obr. č. 52.



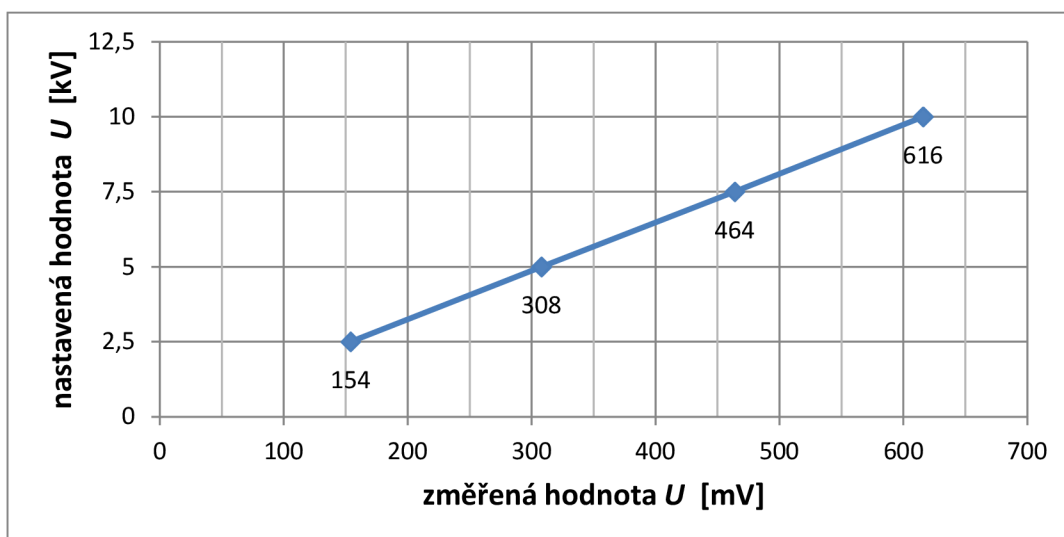
obr. č. 52 Generované napětí osmilistou měřící elektrodou při napětí 7,5 kV. Archív autora.

Osmilistá měřící elektroda při napětí 10 kV a ve vzdálenosti 10 cm od elektrody VN generuje střídavé napětí o hodnotě 616 mV viz obr. č. 53.



obr. č. 53 Generované napětí osmilistou měřící elektrodou při napětí 10 kV. Archív autora.

Hodnoty jednotlivých nastavených napětí na zdroji VN a změřených napětí na osciloskopu byly promítnuty do grafu 1 viz obr. č. 54.



obr. č. 54 Graf 1. Měření se stejnosměrným zdrojem VN. Z grafu je patrná linearita změřeného napětí při postupném zvyšování napětí na VN zdroji. Svislá osa znázorňuje napětí U v kV nastavené na stejnosměrném zdroji VN, vodorovná osa znázorňuje napětí U v mV změřené osciloskopem. U jednotlivých bodů spojnice je pro přehlednost uvedeno konkrétní změřené napětí v mV. Archív autora

Při propojení jednotlivých bodů výslednice grafu je patrný lineární nárůst měřené hodnoty napětí osciloskopem.

7.2.2 Dvoulistá elektroda

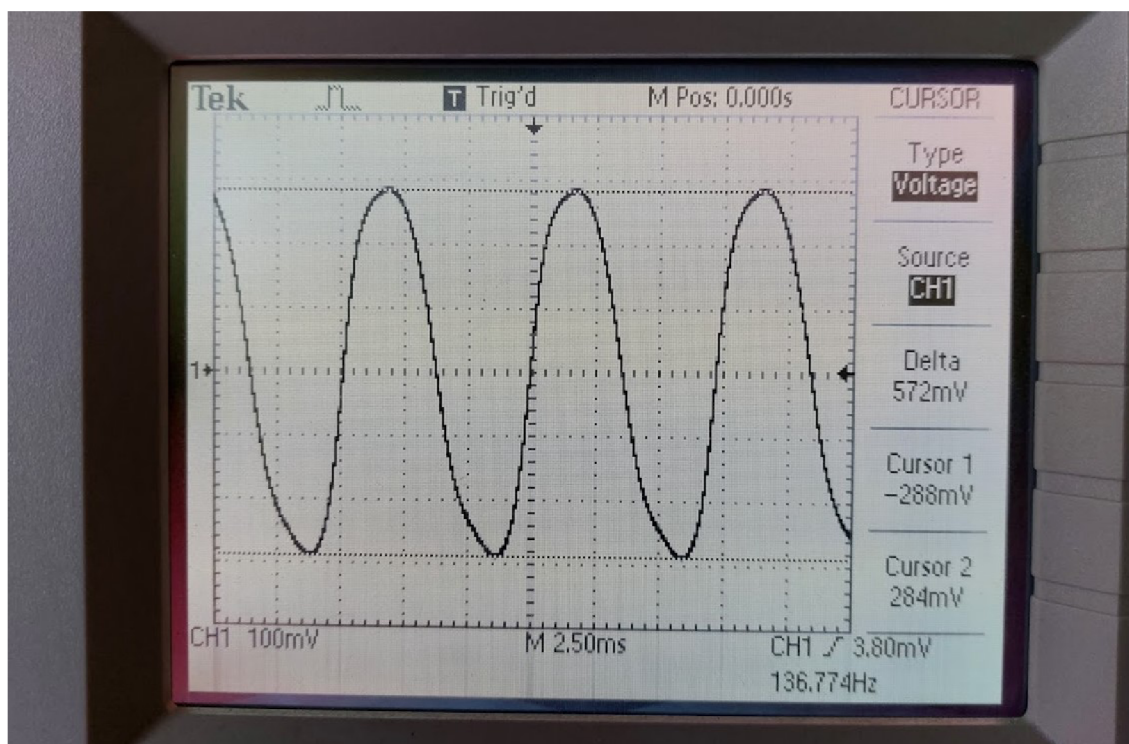
Dvoulistá elektroda generuje na jednu otáčku frekvenci 2 Hz. Při otáčkách motoru 1000 otáček za minutu je tato frekvence 33,33 Hz. Při otáčkách 2400 je to 80 Hz.

Měření s dvoulistou elektrodou nebylo realizováno.

7.2.3 Třílistá elektroda

Třílistá elektroda generuje na jednu otáčku frekvenci 3 Hz. Při otáčkách motoru 1000 otáček za minutu je tato frekvence 50 Hz. Při otáčkách 2400 je to 120 Hz.

Třílistá měřicí elektroda při napětí 7,5 kV a ve vzdálenosti 10 cm od elektrody VN generuje střídavé napětí o hodnotě 572 mV viz obr. č. 55.



obr. č. 55 Generované napětí třílistou měřicí elektrodou při napětí 7,5 kV. Archív autora.

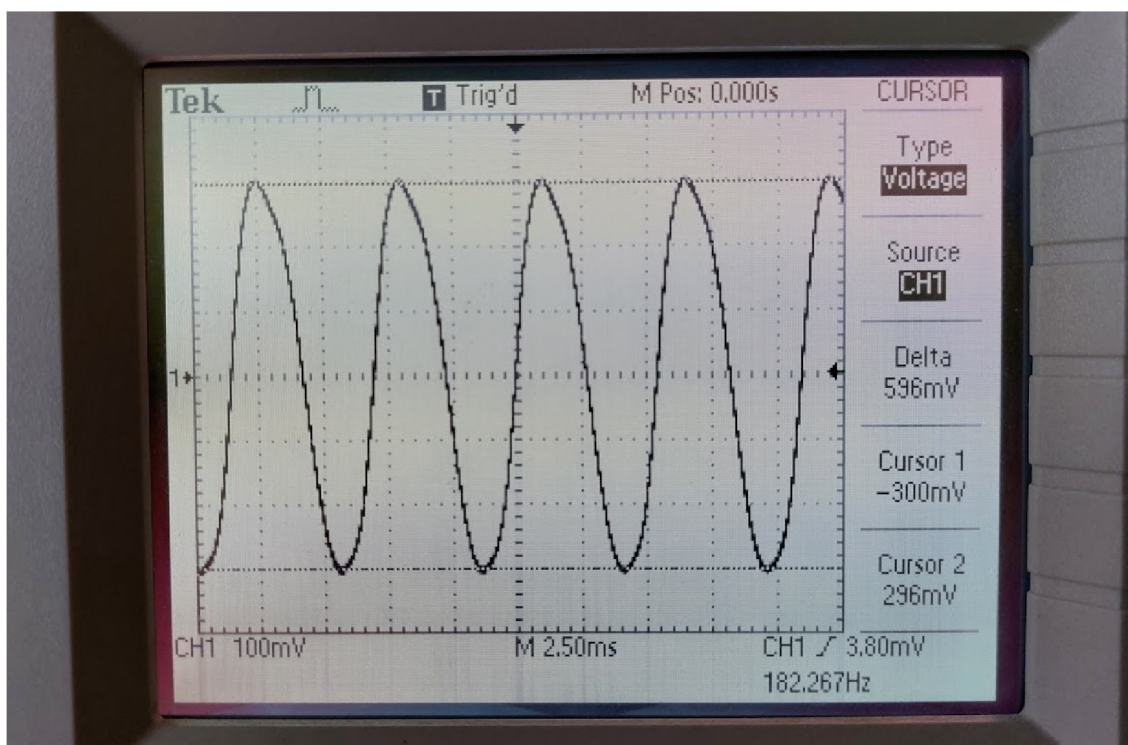
Průběh generovaného střídavého napětí třílistou elektrodou nelze považovat za sinusový. Na fotografii obr. č. 55 je patrná deformace křivky napětí u jejích vrcholů. Tato deformace se nepatrně odlišuje v kladné i záporné půlvině. Zmíněný rozdíl může být způsoben výrobní nepřesností stínící a měřicí elektrody.

Generované střídavé napětí třílistou elektrodou 572 mV je vyšší než generované napětí osmilistou elektrodou 464 mV viz obr. č. 52. Rozdíl může být způsoben menší plochou osmilisté elektrody díky jejímu odlišnému tvaru.

7.2.4 Čtyřlístá elektroda

Čtyřlístá elektroda generuje na jednu otáčku frekvenci 4 Hz. Při otáčkách motoru 1000 otáček za minutu je tato frekvence 66,66 Hz. Při otáčkách 2400 je to 160 Hz.

Čtyřlístá měřicí elektroda při napětí 7,5 kV a ve vzdálenosti 10 cm od elektrody VN generuje střídavé napětí o hodnotě 596 mV viz obr. č. 56.



obr. č. 56 Generované napětí čtyřlístou měřicí elektrodou při napětí 7,5 kV. Archiv autora.

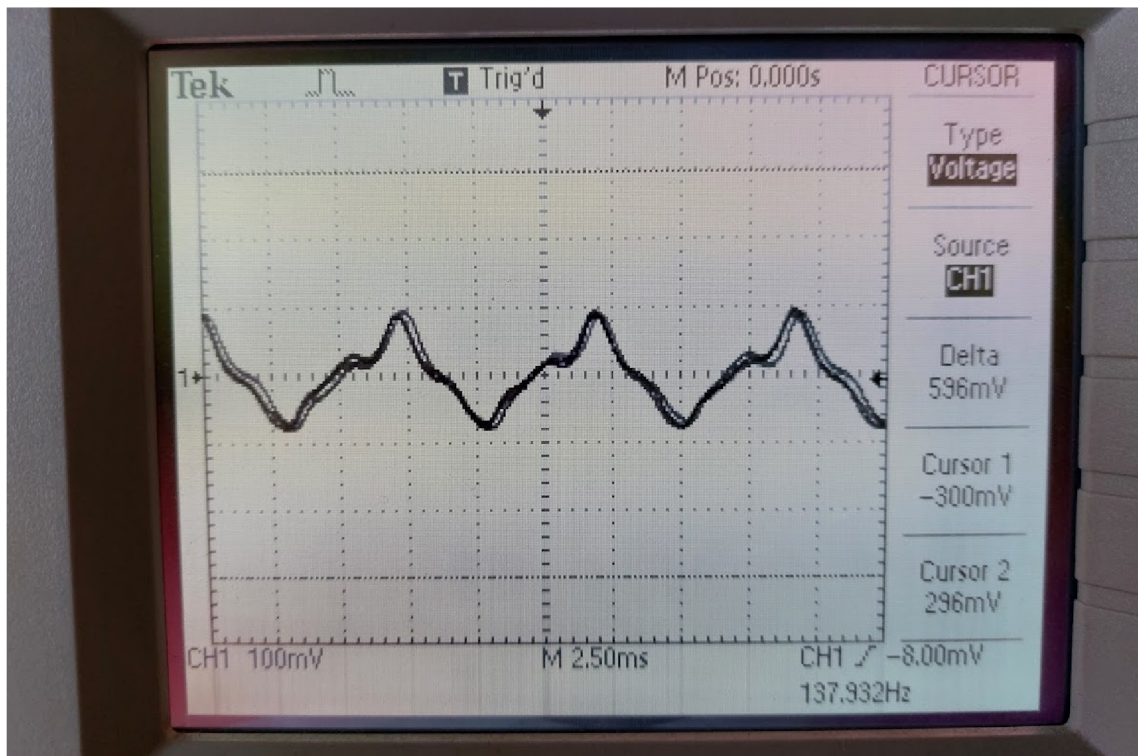
Průběh generovaného střídavého napětí čtyřlístou elektrodou nelze považovat za sinusový. Na fotografii obr. č. 56 je opět patrná deformace křivky napětí u jejích vrcholů. Tato deformace se nepatrně odlišuje v kladné i záporné půlvlně. Zmíněný rozdíl může být způsoben výrobní nepřesností stínící a měřicí elektrody.

Generované střídavé napětí čtyřlístou elektrodou 596 mV je vyšší než generované napětí osmilístou elektrodou 464 mV viz obr. č. 52. Rozdíl může být způsoben menší plochou osmilísté elektrody díky jejímu odlišnému tvaru.

7.2.5 Kombinace třílisté stínící elektrody a čtyřlisté měřicí elektrody

Tato kombinace generuje značně deformovanou křivku střídavého napětí.

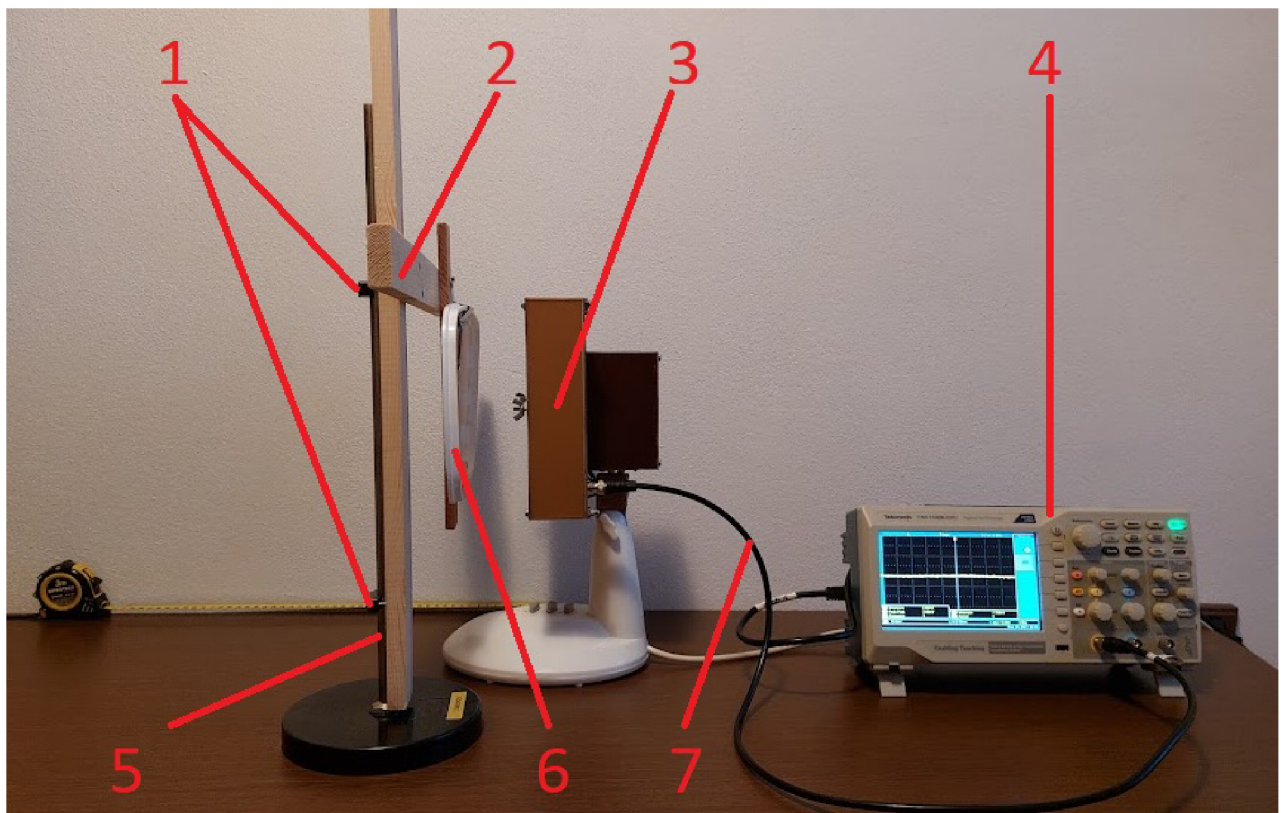
Kombinace třílisté měřicí elektrody a čtyřlisté stínící elektrody při napětí 7,5 kV a ve vzdálenosti 10 cm od elektrody VN generuje deformované střídavé napětí o hodnotě 596 mV viz obr. č. 57.



obr. č. 57 Generované napětí kombinací třílisté měřicí elektrody a čtyřlisté stínící elektrody při napětí 7,5 kV. Archív autora.

7.3 Měřicí sestava s náhodně vybraným materiálem

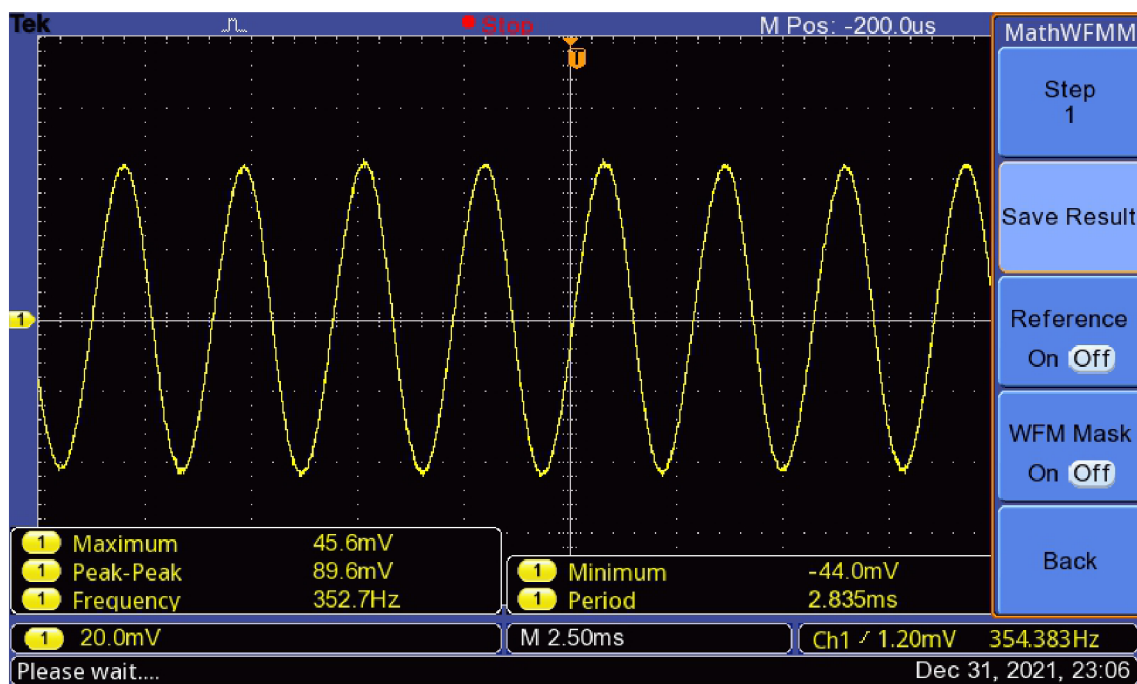
Vyrobená dřevěná konstrukce byla fixována třmeny k tyčového stojanu. Na dřevěnou konstrukci byla přichycena deska neznámého plastu, konkrétně víko dózy pro průmyslové využití. Přichycení bylo realizováno kancelářskými pružnými svorkami z ocelové planžety. Tento komplet byl následně umístěn v definované vzdálenosti před VN voltmetr. Vzdálenost mezi měřeným materiálem a měřicí elektrodou byla určena 10 cm, následně se postupně zvyšovala na 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm. VN voltmetr byl připojen propojovacím kabelem BNC k osciloskopu. Samotná měření VN voltmetrem proběhla za teploty 21,5°C a relativní vlhkosti vzduchu 51 %. Měřicí sestava s upnutou plastovou deskou je zobrazena na obr. č. 58.



obr. č. 58 Měřicí sestava s upnutou plastovou deskou. Třmeny k upnutí dřevěné konstrukce č. 1, dřevěná konstrukce č. 2, VN voltmetr č. 3, osciloskop č. 4, tyčový stojan č. 5, plastová deska – víko dózy pro průmyslové využití č. 6, kabel BNC č. 7. Archív autora.

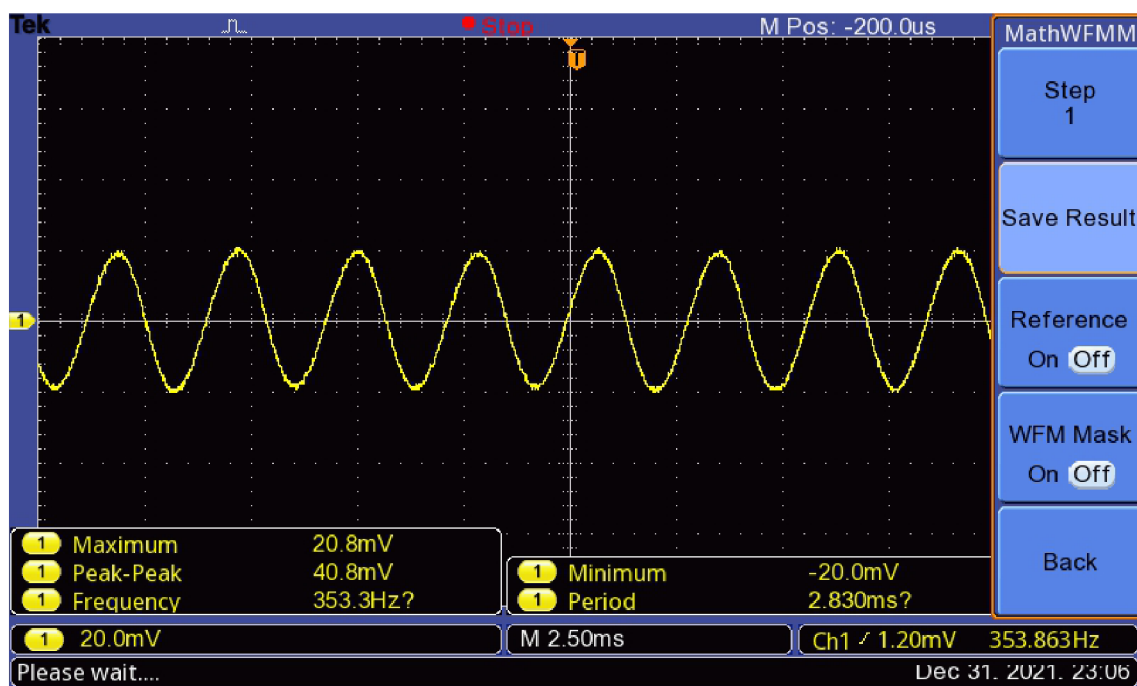
7.3.1 Osmilistá elektroda

Osmilistá měřící elektroda ve vzdálenosti 10 cm od měřeného plastového materiálu generuje střídavé napětí o hodnotě 89,6 mV viz obr. č. 59.



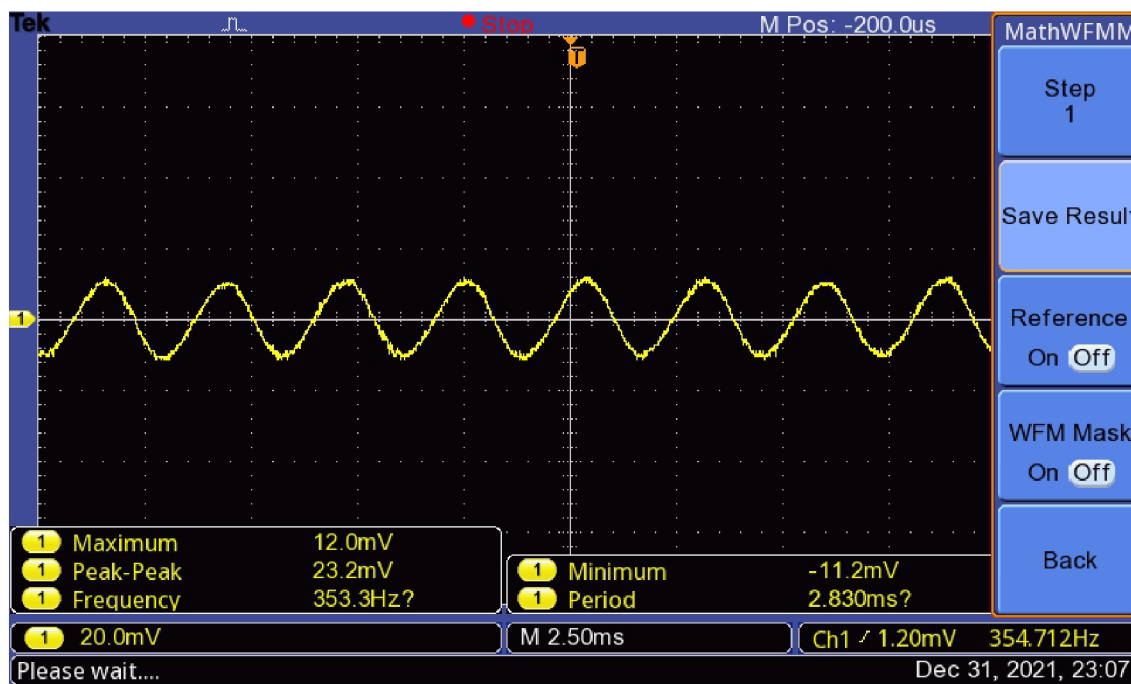
obr. č. 59 Generované napětí osmilistou měřící elektrodou ve vzdálenosti 10 cm od měřené plastové desky. Archív autora.

Osmilistá měřící elektroda ve vzdálenosti 15 cm od měřeného plastového materiálu generuje střídavé napětí o hodnotě 40,8 mV viz obr. č. 60.



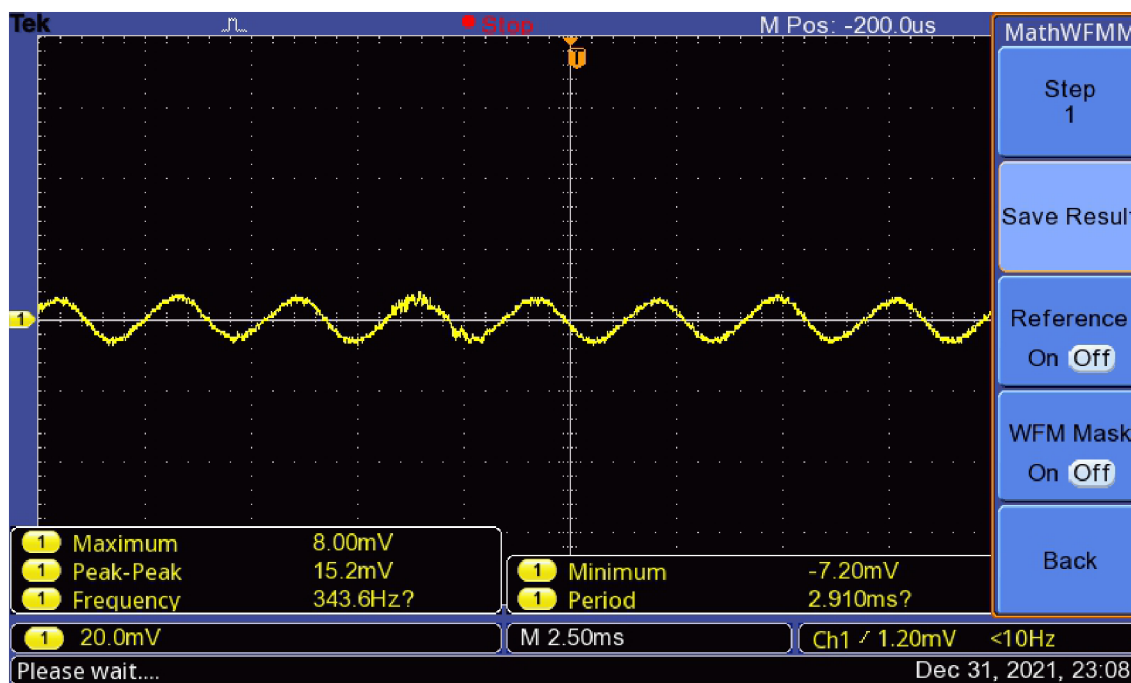
obr. č. 60 Generované napětí osmilistou měřící elektrodou ve vzdálenosti 15 cm od měřené plastové desky. Archív autora.

Osmilistá měřící elektroda ve vzdálenosti 20 cm od měřeného plastového materiálu generuje střídavé napětí o hodnotě 23,2 mV viz obr. č. 61.



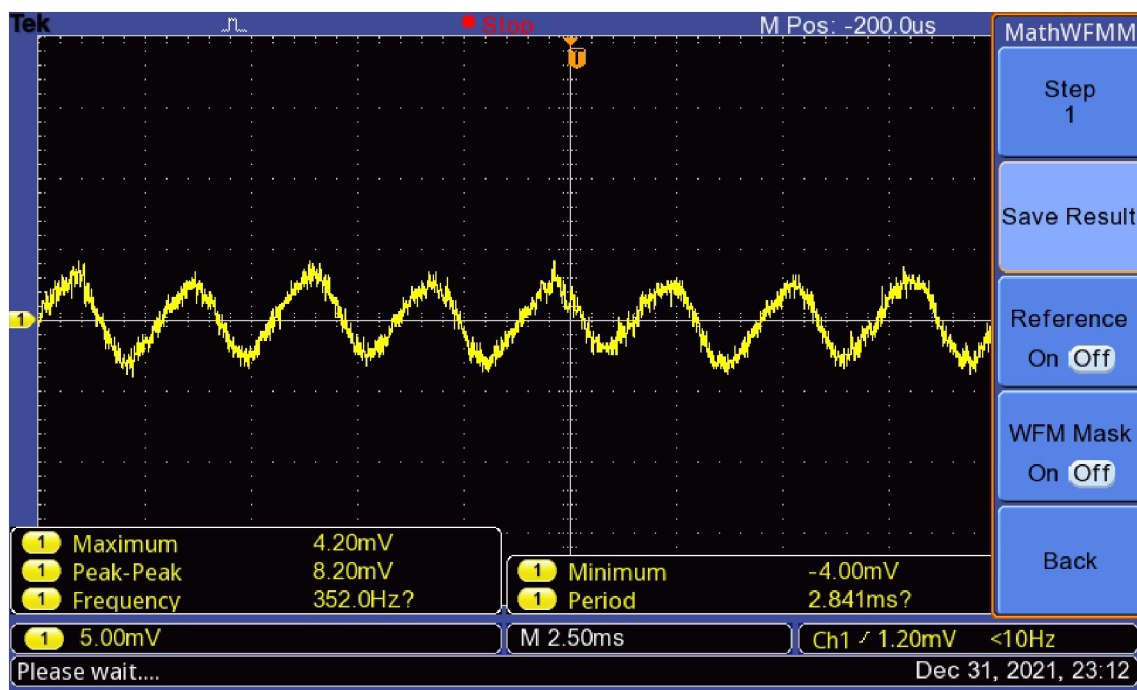
obr. č. 61 Generované napětí osmilistou měřící elektrodou ve vzdálenosti 20 cm od měřené plastové desky. Archív autora.

Osmilistá měřící elektroda ve vzdálenosti 25 cm od měřeného plastového materiálu generuje střídavé napětí o hodnotě 15,2 mV viz obr. č. 62.



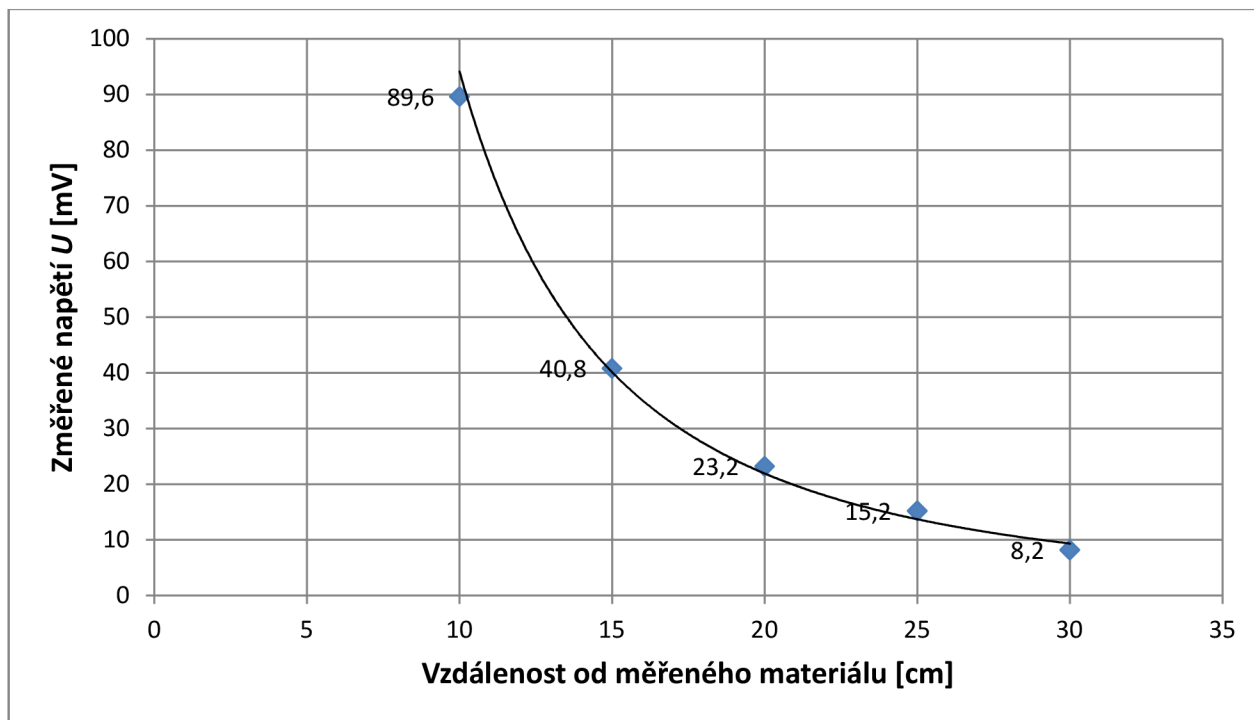
obr. č. 62 Generované napětí osmilistou měřící elektrodou ve vzdálenosti 25 cm od měřené plastové desky. Archív autora.

Osmilistá měřící elektroda ve vzdálenosti 30 cm od měřeného plastového materiálu generuje střídavé napětí o hodnotě 8,2 mV viz obr. č. 63.



obr. č. 63 Generované napětí osmilistou měřící elektrodou ve vzdálenosti 30 cm od měřené plastové desky. Archív autora.

Vzdálenost 30 cm mezi měřící elektrodou a plastovou deskou byla pro osciloskop za daných podmínek maximální. Na zobrazené křivce se již promítají rušivá napětí, která mohou ovlivňovat měřenou hodnotu. Při nastavení vzdálenosti 35 cm již nebyla detekována frekvence měřeného signálu. Změna hodnoty měřeného napětí při jednotlivých vzdálenostech mezi měřící elektrodou a plastovou deskou potvrzuje funkčnost VN voltmetru pro měření tohoto typu. Naměřené hodnoty jsou promítnuty do grafu 2 viz obr. č. 64.



obr. č. 64 Graf 2. Měření s plastovou deskou. Z grafu je patrná nelinearita změřených napětí osciloskopem při postupném zvyšování vzdálenosti. Svislá osa znázorňuje změřené napětí U v mV. Vodorovná osa znázorňuje vzdálenost měřeného materiálu od měřící elektrody v cm. U jednotlivých bodů spojnice je pro větší přehlednost zobrazeno změřené napětí. Archiv autora.

8 Zpracování výstupního signálu měřící elektrody

Změřený výstupní signál měřící elektrody je nízké hodnoty. Další měření signálu těchto hodnot jinak než osciloskopem je obtížně proveditelné. Jedna z možností je signál zesílit zesilovačem a následně měřit jeho hodnotu běžně dostupným multimetrem, případně ručkovým měřidlem - voltmetrem. Na základě známé hodnoty signálu lze určit nebo navrhnout vhodný zesilovač. Jako jedna z možností se nabízí využití cenově dostupného operačního zesilovače CA3140 [19]. Vstupní obvody CA3140 obsahují MOSFET tranzistory zajišťující vysokou vstupní impedanci a napěťovou odolnost. Tyto vlastnosti se jeví jako výhodné pro zesílení signálu z VN voltmetru.

Závěr

Tato práce shrnuje samotnou konstrukci a zkušenosti z konstrukce VN voltmetru pro bezkontaktní měření, následně také samotná měření s několika variantami provedení elektrod. Při měřeních jednotlivými variantami elektrod byly zaznamenány a komentovány rozdíly ve tvarech měřených generovaných napětí. Další možné využití bylo demonstrováno realizovaným měřením na náhodně vybraném materiálu – plastové desce.

Snahou bylo podrobně zdokumentovat jednotlivé postupy výroby s jejich výhodami i nevýhodami. Tyto postupy vždy nabízí alespoň dvě možnosti řešení jednotlivých součástí VN voltmetru. Tuto konstrukci nelze považovat za profesionální měřicí přístroj, což je zmíněno již v úvodu. Pohon stínící elektrody – motorek se z pohledu regulace otáček neukázal jako nejvhodnější řešení. Přesto z pohledu využití spotřebiče již nefunkčního pro původní účel se tato volba nejeví jako špatná. V tomto smyslu bylo nahlíženo na celkovou konstrukci a návrh materiálů pro VN voltmetr. Zde realizovaná a navrhovaná řešení se vždy nemusí jevit jako ideální volby. Tato řešení se jevila jako optimalizovaná za daných podmínek tj. možností realizace jednotlivých výrobních postupů a dostupnosti jednotlivých materiálů.

Původní záměr změření napětí Van de Graaffova generátoru nebyl dodržen. Na místo Van de Graaffova generátoru byl použit stejnosměrný zdroj VN. Maximální napětí stejnosměrného zdroje VN bylo 10 kV. Toto napětí přivedeno na deskovou elektrodu bylo také úspěšně detekováno a generovaný signál VN voltmetrem odpovídal úrovni 10 kV viz graf 1 obr. č 54. Z tohoto pohledu lze konstatovat naplnění cíle této práce.

Zdroje

- [1] <https://elektrika.cz/terminolog/eterminologitem.2005-05-23.2617495405>, 8.12.21
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Field_mill, 8.12.21
- [3] ŠEVČÍK, Karel. Měření s elektrostatickými voltmetry [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/104241>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, str. 10
- [4] GÁBRIŠ, F. Elektrostatické zariadenia. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatury, 1962, str. 165 - 166
- [5] LYSENKO, V. VN zdroje – zdroje vysokého napětí. Praha: BEN, 2008. ISBN 978-80-7300-235-0, str. 151 – 152
- [6] ĎAĎO, S., KREIDL, M. Senzory a měřicí obvody. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01500-9, str. 262
- [7] https://cs.wikipedia.org/wiki/Van_de_Graaffův_generátor, 11.12.2021
- [8] <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/vedec/1164/graaff>, 11.12.2021
- [9] BUREŠ, J. Měřicí sestava pro zkoušky impulzním napětím. Plzeň, 2015 Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11025/18795>. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. str. 18
- [10] STUPKA, L. Měřicí systémy vysokonapěťových zdrojů napětí [online]. Plzeň, 2013 2014 [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11025/10106>. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. str. 25
- [11] ŽOUŽELKA, J. Van de Graaffův generátor se samobuzením a elektrostatický rotační voltmetr. Fyzika ve škole 8, č. 6, 1969-70, str. 348-356
- [12] https://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/119988/ActaOlom_12-1972-1_27.pdf, 11.12.2021
- [13] https://cs.wikipedia.org/wiki/Plo%C5%A1n%C3%BD_spoj, 12.12.2021
- [14] http://aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/ekologie_a_ekotechnika/lab/elp/, 11.12.2021
- [15] <https://cz.depositphotos.com/159159030/stock-illustration-polar-coordinate-circular-grid-graph.html>, 11.12.2021
- [16] <https://www.aliexpress.com/item/1005002777119700.html?spm=a2g0o.cart.0.0.59c63c00lhPfr&mp=1>, 22.12.2021
- [17] <https://www.rolc-elektro.cz/snizeni-otacek-ventilatoru>, 22.12.2021

[18] <https://diskuse.elektrika.cz/index.php/topic,1291.0.html>, 22.12.2021

[19] <https://www.gme.cz/ca3140-dip8-intersil>, 25.12.2021

Seznam obrázků

obr. č. 1	Uspořádání rotačního voltmetru s válcovou elektrodou. Převzato a upraveno [5].	9
obr. č. 2	Uspořádání rotačního voltmetru s deskovou elektrodou. Převzato a upraveno [5].	10
obr. č. 3	Schematické znázornění Van de Graaffova generátoru. Převzato a upraveno [10].	12
obr. č. 4	Znázornění konstrukce tvaru listu stacionární měřicí elektrody. Převzato a upraveno [14].	15
obr. č. 5	Osmilistá stacionární měřicí elektroda navržena a vyrobena v rámci této práce. Archív autora.	16
obr. č. 6	Osmilistá rotační stínící elektroda navržena a vyrobena v rámci této práce. Archív autora.	17
obr. č. 7	Vrtáky do dřeva. Archív autora.	18
obr. č. 8	Tabulka 1. Parametry pro výpočet tvaru elektrody. Archív autora.	19
obr. č. 9	Zobrazení poloviny reálného tvaru listu měřicí elektrody. Archív autora.	20
obr. č. 10	Třílístá elektroda. Archív autora.	21
obr. č. 11	Výsečník o průměru 16 mm. Archív autora.	23
obr. č. 12	Dvoulístá elektroda. Archív autora.	24
obr. č. 13	Čtyřlístá elektroda. Archív autora.	26
obr. č. 14	Pohled na čelní zakrytí s bočnicemi. Archív autora.	27
obr. č. 15	Pohled na základnu stíněné klece. Archív autora.	28
obr. č. 16	Pohled na zemnicí kontakt s tažnou pružinkou. Archív autora.	29
obr. č. 17	Pohled na zemnicí kontakt hřídele motorku. Archív autora.	30
obr. č. 18	Pohled na uchycení motorku. Archív autora.	31
obr. č. 19	Pohled na stínění motorku. Archív autora.	32
obr. č. 20	Vykružovací vrtáky. Archív autora.	34
obr. č. 21	Frézky a lamelový brusný kotouč. Archív autora.	35
obr. č. 22	Pohled na promítnutí soustavy x, y, z do sestavy použitých úhelníků. Archív autora.	35
obr. č. 23	Sestava bočnic A a B. Archív autora.	36
obr. č. 24	Pohled na mezikus. Archív autora.	38
obr. č. 25	Distanční podložka a dutý plastový šroub. Archív autora.	39
obr. č. 26	Boční pohled na sestavu ramínka v pracovní poloze. Archív autora.	40
obr. č. 27	Čelní detail sestavy zemnicího ramínka. Archív autora.	40
obr. č. 28	Zemnicí kontakt hřídele motorku. Archív autora.	42
obr. č. 29	Vějířová a pérová podložka. Archív autora.	43
obr. č. 30	Plastový kloub. Archív autora.	45
obr. č. 31	Vyrobený dřevěný kloub. Archív autora.	47
obr. č. 32	Kompletní sestava VN voltmetru bez namontovaných stínících krytů. Archív autora.	48
obr. č. 33	Pohled na namontovanou měřicí elektrodu na základnu stíněné klece. Archív autora.	50
obr. č. 34	Pohled na distanční měděnou podložku umístěnou na hřídeli motorku. Archív autora.	51
obr. č. 35	Pohled na sestavu stínící a měřicí elektrody VN voltmetru. Archív autora.	52
obr. č. 36	Boční pohled na VN voltmetr. Archív autora.	53
obr. č. 37	Celkový pohled na kompletní VN voltmetr. Archív autora.	54
obr. č. 38	Distanční měděné podložky použité k upnutí stínící elektrody na hřídel motorku. Archív autora.	56

obr. č. 39	Čelní pohled na stíněnou klec elektrod s namontovanou stínící deskou. Archív autora.....	57
obr. č. 40	Autotransformátor použitý k testu regulace otáček motorku. Archív autora.....	59
obr. č. 41	Frekvenční měnič. Archív autora.....	60
obr. č. 42	Zapojení motorku s kondenzátory. Archív autora.....	62
obr. č. 43	Tabulka 2. Regulace otáček. Archív autora.....	63
obr. č. 44	Optický otáčkoměr. Archív autora.....	64
obr. č. 45	Papírový kotouček pro měření otáček. Archív autora.....	65
obr. č. 46	Optický teploměr. Archív autora.....	66
obr. č. 47	Čelní pohled na ovládací panel běžného digitálního osciloskopu. Archív autora.....	69
obr. č. 48	Stejnoseměrný zdroj vysokého napětí. Archív autora.....	70
obr. č. 49	Měřicí sestava VN voltmetru. Archív autora.....	71
obr. č. 50	Měřená hodnota napětí osciloskopem na nedefinovanou vzdálenost při hodnotě napětí 10 kV. Archív autora.....	72
obr. č. 51	Generované napětí osmilistou měřící elektrodou při napětí 5 kV. Archív autora.....	73
obr. č. 52	Generované napětí osmilistou měřící elektrodou při napětí 7,5 kV. Archív autora.....	73
obr. č. 53	Generované napětí osmilistou měřící elektrodou při napětí 10 kV. Archív autora.....	74
obr. č. 54	Graf 1. Měření se stejnosměrným zdrojem VN. Archív autora.....	74
obr. č. 55	Generované napětí třílistou měřící elektrodou při napětí 7,5 kV. Archív autora.....	75
obr. č. 56	Generované napětí čtyřlistou měřící elektrodou při napětí 7,5 kV. Archív autora.....	76
obr. č. 57	Generované napětí kombinací třílisté měřící elektrody a čtyřlisté stínící elektrody při napětí 7,5 kV. Archív autora.....	77
obr. č. 58	Měřicí sestava s upnutou plastovou deskou. Archív autora.....	78
obr. č. 59	Generované napětí osmilistou měřící elektrodou ve vzdálenosti 10 cm od měřené plastové desky. Archív autora.....	79
obr. č. 60	Generované napětí osmilistou měřící elektrodou ve vzdálenosti 15 cm od měřené plastové desky. Archív autora.....	79
obr. č. 61	Generované napětí osmilistou měřící elektrodou ve vzdálenosti 20 cm od měřené plastové desky. Archív autora.....	80
obr. č. 62	Generované napětí osmilistou měřící elektrodou ve vzdálenosti 25 cm od měřené plastové desky. Archív autora.....	80
obr. č. 63	Generované napětí osmilistou měřící elektrodou ve vzdálenosti 25 cm od měřené plastové desky. Archív autora.....	81
obr. č. 64	Graf 2. Měření s plastovou deskou.....	82

Seznam grafů

obr. č. 54	Graf 1. Měření se stejnosměrným zdrojem VN. Archív autora.....	74
obr. č. 64	Graf 2. Měření s plastovou deskou. Archív autora.....	82

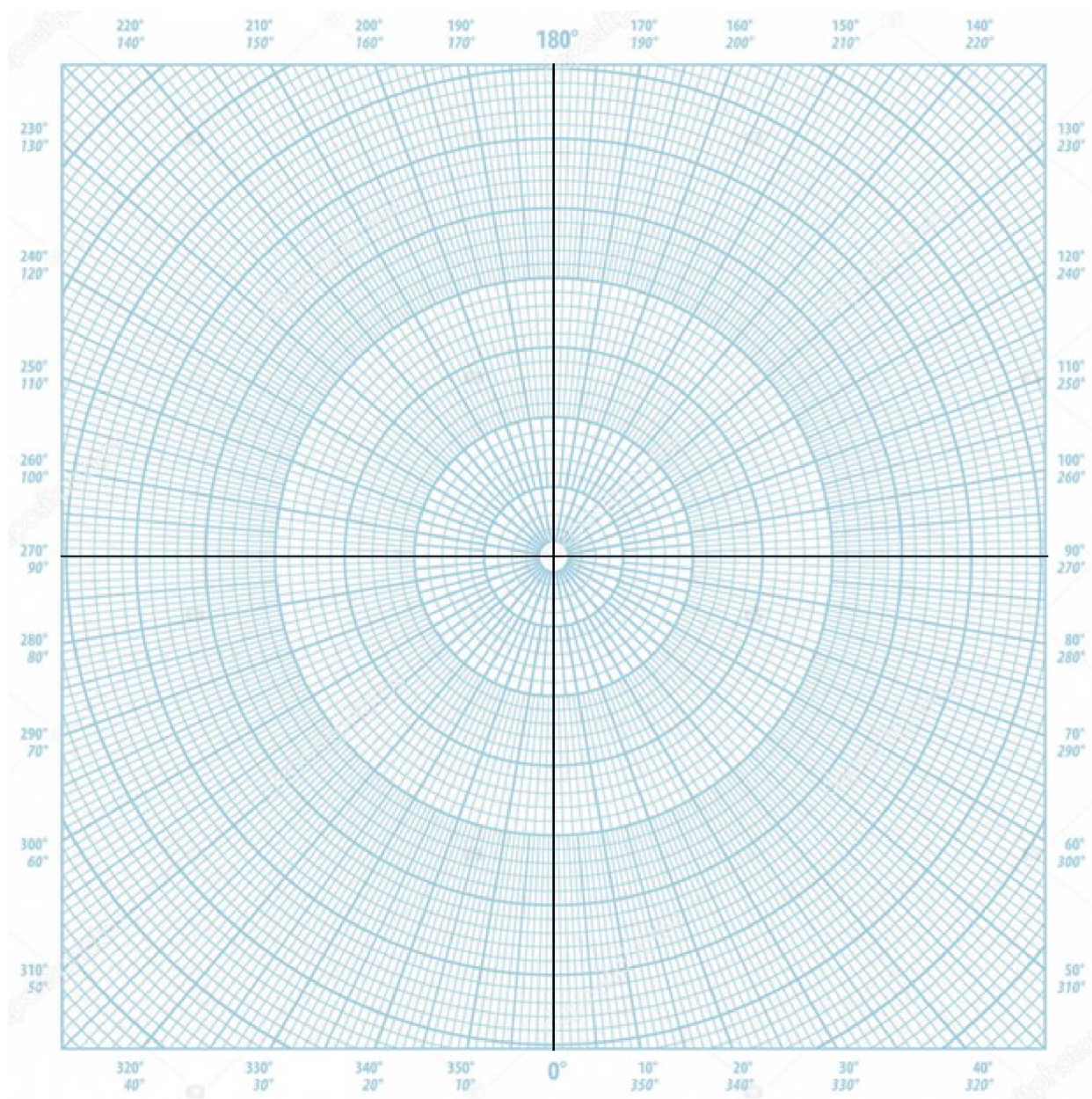
Seznam tabulek

obr. č. 8	Tabulka 1. Parametry pro výpočet tvaru elektrody. Archív autora.....	19
obr. č. 43	Tabulka 2. Regulace otáček. Archív autora.....	63

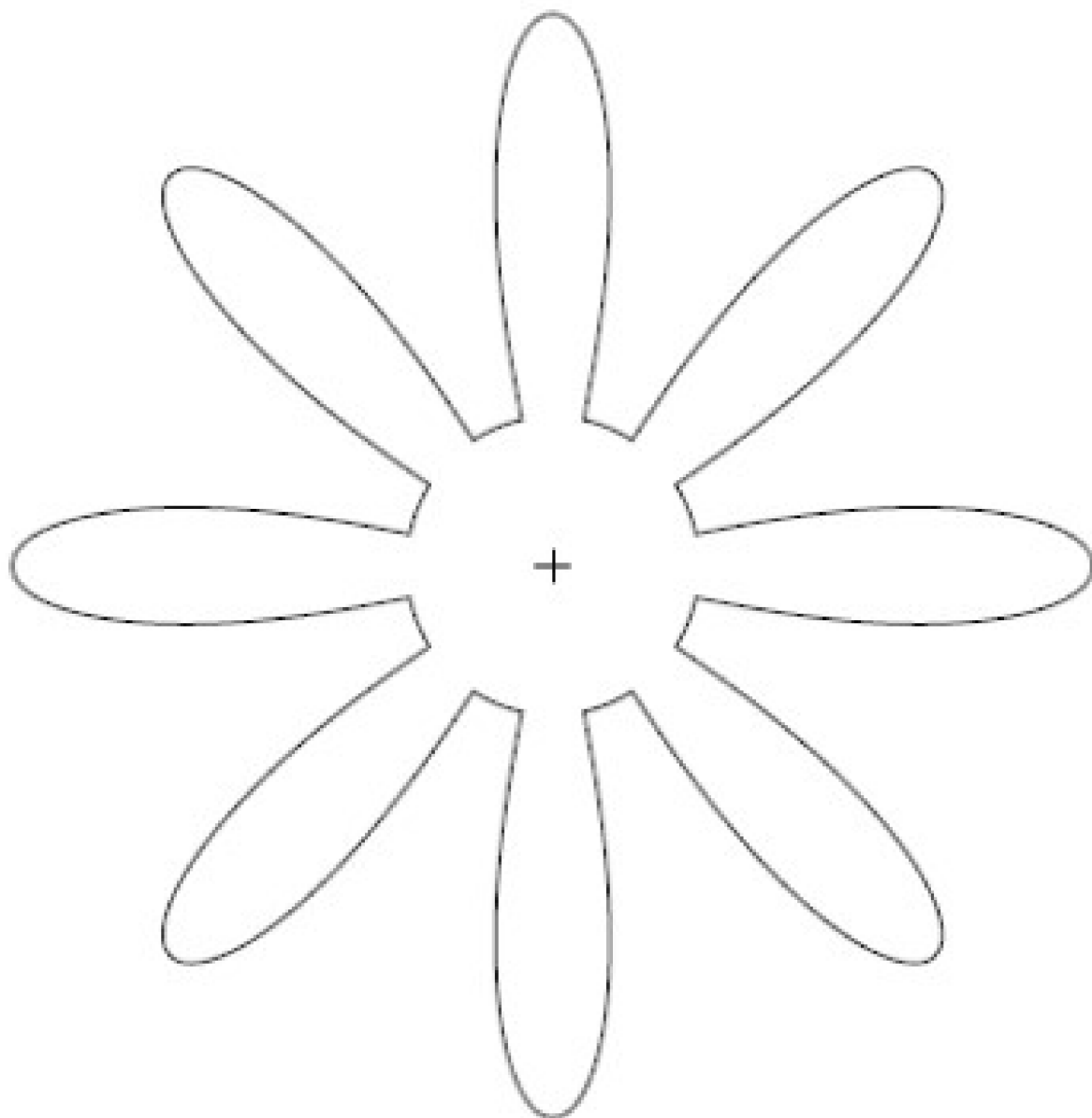
Seznam příloh

<i>příloha 1</i>	88
<i>příloha 2</i>	89
<i>příloha 3</i>	90

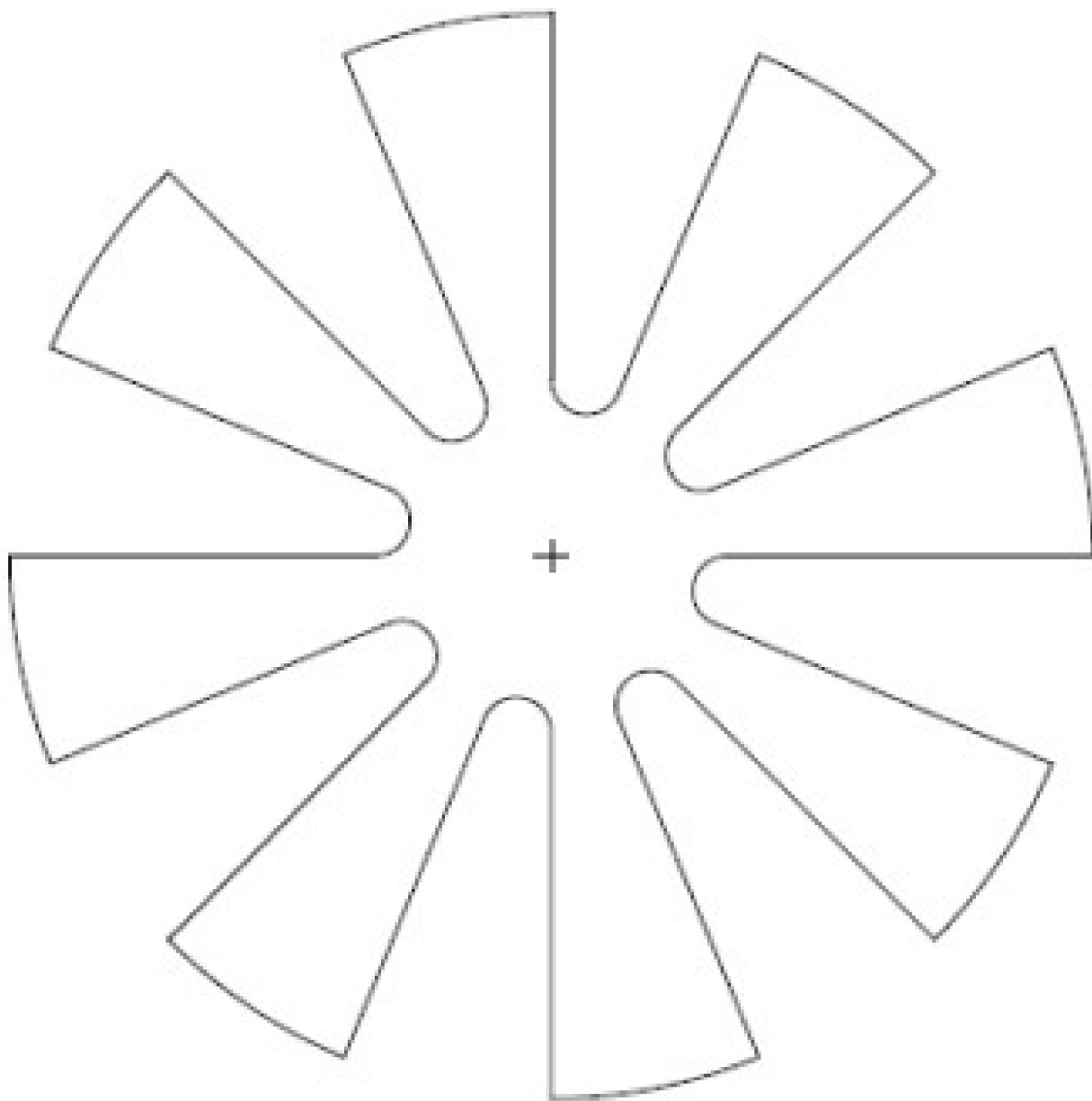
Přílohy



příloha 1 Převzato a upraveno [15].



příloha 2 Archív autora.



příloha 3 Archív autora.