

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum
Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica

Jan Žouželka; Zdeněk Trčka
Nové přístroje pro pokusy z elektrostatiky

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica, Vol.
12 (1972), No. 1, 293--303

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/119988>

Terms of use:

© Palacký University Olomouc, Faculty of Science, 1972

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

*Katedra experimentální fyziky a metodiky fyziky přírodovědecké fakulty
Univerzity Palackého v Olomouci
Vedoucí katedry: prof. dr. Josef Fuks*

NOVÉ PŘÍSTROJE PRO POKUSY Z ELEKTROSTATIKY

JAN ŽOUŽELKA A ZDENĚK TRČKA

(Předloženo dne 10. června 1971)

Věnováno prof. dr. Josefu Fukovi k 65. narozeninám.

Obsah

Práce obsahuje tři části. V první části je popsána konstrukce van de Graaffova generátoru se samobuzením a konstrukce rotačního elektrostatického voltmetru. Druhá část pojednává o elektronickém zdroji vysokého napětí. Ve třetí části je popsán stejnosměrný tranzistorový měřicí zesilovač. Uvedené přístroje jsou vhodné zejména pro modernizaci pokusů z elektrostatiky.

1. Van de Graaffův generátor se samobuzením a elektrostatický rotační voltmetr

Van de Graaffův generátor se samobuzením slouží jako laboratorní zdroj vysokého stejnosměrného napětí. Generátor, znázorněný na obr. 1, se v několikaletém provozu dobře osvědčil v praktiku školních pokusů a ve školním vyučování může nahradit poruchovou a pro žáky funkčně složitou indukční elektriku.

Funkce a činnost generátoru je patrná ze schématu na obr. 2. Pás se pohybuje ve směru šipek a v určitém místě se od budicí kladky V_0 vzdaluje. Je-li např. budicí kladka z novoduru a nekonečný pás z hedvábné stuhy, nabíjí se kladka záporně a klesající část pásu kladně. V elektrickém poli, vytvářeném klesajícím pásem, se polarizuje stoupající část pásu a vlivem hrotů H na ni zůstává jen nesouhlasný, tj. záporný náboj. Horní hroty H_0 „odsávají“ jednak záporný náboj z budicí kladky, jednak záporný náboj ze stoupající části pásu. Kladný náboj z klesající části pásu odvádějí obě kovové kladky (hnací kladka V_1 , vodivě spojená s přitlačnou kladkou V_1').

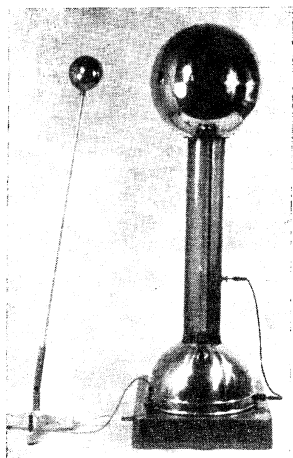
Propojíme-li přes jednotlivé mikroampérmetry hroty H_0 , dále pak obě kovové kladky a hřeben H se zemí, můžeme měřit příslušné proudy I_0 , I_1 a I_2 a přesvědčit se o polaritě generátoru. Tyto proudy můžeme měřit postupně (vystačíme s jedním mikroampérmetrem na stejnosměrný proud s rozsahem 50 nebo 100 μA). Při měření proudu I_0 spojíme plus svorku mikroampérmetru se zemí a druhou svorku s hroty H_0 (nebo s kulovým konduktorem generátoru). Při měření proudu I_1 zapojíme mikroampérmetr naopak; svorku plus spojíme (po vysunutí polokulové elektrody) s kovovými kladkami a další jeho svorku spojíme se zemí. Stejně tak (jako při měření proudu I_1) zapojíme svorky mikroampérmetru při měření proudu I_2 .

Při měření volíme nejprve malé otáčky motoru generátoru a zkontrolujeme správnost zapojení mikroampérmetrů (zda polarita svorek měřicích přístrojů odpovídá polaritě generátoru). Přítlačnou kladkou pak zajistíme mechanické napětí pásu takové, při němž se obě jeho poloviny přiblíží téměř k dotyku. Potom vyzkoušíme vhodné výškové nastavení hrotů H a nastavíme optimální vzdálenosti obou hrotů od pásu. Pokud budou ztráty během transportu malé, bude velikost proudu $I_o \approx I_1 + I_2$. Při vzrůstajícím počtu otáček motoru generátoru vzrůstá i velikost proudu až na určitou konstantní hodnotu.

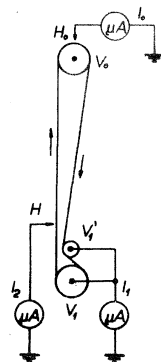
Použijeme-li např. stejnou budicí kladku a místo hedvábné stuhy pás z textilu, opatřený po obou stranách silikonovým kaučukem, bude polarita generátoru opačná (vzhledem k předchozímu měření bude třeba zapojit svorky mikroampérmetru právě naopak).

Polarita generátoru tedy závisí na dielektrickém materiálu pásu a budicí kladky (dielektrikum s vyšší permitivitou se nabíjí pozitivně oproti dielektriku s nižší permitivitou). Obecně však při pokusech nezáleží na polaritě generátoru.

Konstrukce generátoru se opírá o schéma na obr. 2. Pás je veden přes hnací kladku V_1 a budicí kladku V_2 ; obě kladky běží v kuličkových ložiskách. Soudkový tvar kladek zajišťuje, aby měl pás během pohybu stabilní polohu. Hnací kovová kladka V_1 je poháněna (přes řemenici) motorkem, umístěným v podstavci generátoru; v našem případě jsme použili motorek typu $K2G4N$ pro šicí stroje. Budicí kladka V_2 a pás jsou ze dvou různých dielektrických materiálů. Dutá kulová elektroda je zhotovena ze dvou částí z měděného plechu; je poniklovaná a opatřena kruhovými otvorem s okrajem zahnutým do vnitřku kulového konduktoru. Nosná trubice, na jejíž obrubu nasuneme kulovou elektrodu, chrání také částečně pás před prachem a vlhkostí; trubice je zhotovena z umaplexu.



294



Obr. 2. Schéma zapojení k demonstraci činnosti van de Graaffova generátoru

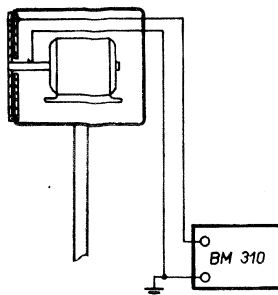
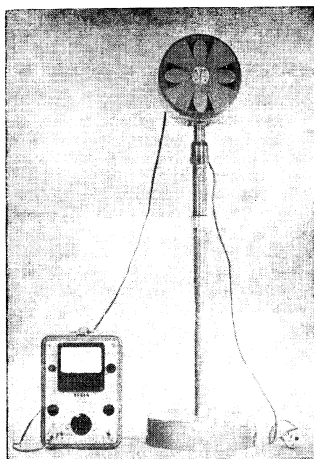
Obr. 1. Van de Graaff generátor se samobuzením

Ve spodní části generátoru lze vzdálenost obou polovin pásu zmenšit kovovou přítlačnou kladkou V_1 , uchycenou v kovových ramenech (pod dutou polokoulí na podstavci generátoru). Vzdálenost obou polovin pásu (i ve střední části) je vhodné zmenšit další kovovou kladkou, umístěnou bezprostředně pod kladkou budicí. Jako hroty H , slouží ocelové gramofonové jehly, připájené těsně vedle sebe mezi dva kovové pásy; na pásy je rovněž připojen jeden konec kovového pára, které se svým druhým koncem dotýká vnitřku kulového konduktoru. Hroty H v drážce nosné trubice jsou výškově přestavitelné a s podstavcem generátoru je propojujeme vodičem. S podstavcem generátoru se rovněž vodič propojují obě kovové kladky (tj. hnací kladka V_1 a napínací kladka V_2).

Celková výška generátoru je 90 cm; budicí a hnací kladka mají průměr 3 cm a jsou ve vzdálenosti 67 cm, pás má šířku 5 cm. Kulový konduktor má průměr 25 cm a je opatřen kovovou zdičkou (svorka na podstavci generátoru představuje protipól). Generátor dodává při krátkém spojení proud 10–15 μA . Největší dosažitelné napětí je kolem 300 kV (můžeme je omezit nastavením vhodné doskokové vzdálenosti mezi konduktorem a kovovou kuličkou, vodič spojenu s podstavcem generátoru).

Výkon generátoru je poměrně malý; je také závislý na atmosférických podmínkách a na čistotě přístroje. Všechny podstatné části generátoru (hlavně budicí kladka a pás) musí být čisté a suché; na očistění generátoru používáme plátno navlhčené lihem. V blízkosti generátoru nemají být stěny, lampy nebo jiné předměty, které by mohly jeho výkon rovněž snižovat.

Po uvedení generátoru do chodu se náboj na kulovém konduktoru postupně zvyšuje a napětí generátoru vzrůstá na jistou dosažitelnou hodnotu, závislou



Obr. 4. Propojení čidla elektrostatického rotačního voltmetru s elektronickým voltmetrem

Obr. 3. Elektrostatický rotační voltmetr s připojeným elektronickým voltmetrem *Tesla* BM 310

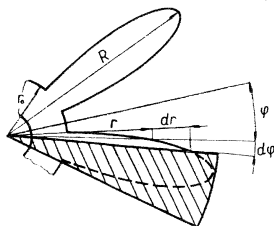
na poloměru kulového konduktoru, omezenou elektrickou pevností vzduchu a izolační schopností příslušných součástek generátoru.

Vysoké stejnosměrné napětí van de Graaffova generátoru můžeme pohodlně měřit *elektrostatickým rotačním voltmetrem* (obr. 3), umístěným v dosti velké vzdálenosti od kulového konduktoru generátoru.

Čidlo elektrostatického rotačního voltmetru sestává z listů stabilních a rotorových. Rotorové listy voltmetru jsou uzemněné, stabilní listy jsou od země izolované. Otáčí-li motorek rotorovými listy, jsou stabilní listy střídavě zakrývány a vystavovány elektrickému poli generátoru (na odkrytých stabilních listech se indukuje náboj).

Napětí indikované rotačním voltmetrem závisí na poloze a vzdálenosti voltmetru od generátoru, na úpravě a rozměrech listů čidla voltmetru, na otáčkách motoru voltmetru a na permitivitě prostředí; jsou-li všechny tyto podmínky konstantní, závisí indikované napětí pouze na velikosti napětí van de Graaffova generátoru.

Stabilní (měrné) listy voltmetru tvoří s elektrodou vysokonapěťového generátoru kondenzátor. Má-li kulový konduktor kladnou polaritu, indukuje se na odkrytých stabilních listech záporný náboj (indukovaný náboj bude vázán). Při zakrývání stabilních listů může dříve vázaný náboj procházet vstupním odporem připojeného zesilovače. Dáme-li listům vhodný tvar, může mít časová změna náboje (odpovídající časové změně plochy listů) čistě sinusový průběh; sinusový průběh bude mít i proud, procházející vstupním odporem zesilovače a vytvářející na něm napětí. Toto napětí můžeme značně zesílit a např. po usměrnění je měřit vhodným deprežským měřicím přístrojem. Místo zesilovače se samostatným měřicím přístrojem můžeme použít např. elektronkový voltmetr *Testa BM 310*. Sestava elektrostatického rotačního voltmetru s připojeným voltmetrem *Testa MB 310* je patrná z obr. 3. Propojení čidla rotačního voltmetru se vstupem elektronkového voltmetru je znázorněno na obr. 4.



Obr. 5. Tvar listů elektrostatického rotačního voltmetru

Vhodný tvar listů elektrostatického rotačního voltmetru znázorňuje obr. 5. Stabilní listy jsou zaoblené a spojené středovým prstencem. Vnější poloměr stabilních listů jsme označili písmenem R , libovolnou hodnotu poloměru r a vnější poloměr středového prstence r_0 . Rotorové listy mají tvar táhlých kruhových výsečí s vrcholovým úhlem $22,5^\circ$ a stejně široké jsou i mezery. Zaoblené (stabilní) listy jsou rozložené podobně, avšak jejich obrysová křivka, při níž se kapacita mění prakticky sinusově, je v rozsahu $[\pi/2 > N\varphi > -\pi/2]$ dána v polárních souřadnicích podle [1] rovnicí

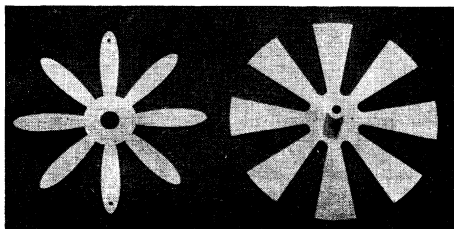
$$r = \sqrt{r_0^2 + (R^2 - r_0^2) \cos(N\varphi)}, \quad (1)$$

kde N je zvolený počet listů. Zkonstruované stabilní a rotorové listy znázorňuje obr. 6; délky průvodičů stabilních listů jsme zvolili $R = 85$ mm, $r = 23$ mm a počet listů $N = 8$.

Velký počet listů volíme při nízkém počtu otáček voltmetru. V opačném přípa-

dě zvolíme počet listů $N = 4$ nebo $N = 2$; obrysovou křivku stabilních listů určíme rovněž ze vztahu (1).

Po definitivním umístění van de Graaffova generátoru a elektrostatického rotačního voltmetru přístroje uzemníme a připojený elektronkový voltmetr *Tesla BM 310* ocechujeme (přímo v kilovoltech) pomocí kulového jiskřiště¹⁾.



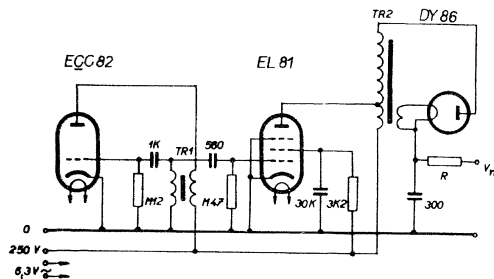
Obr. 6. Stabilní a rotorové listy ($N = 8$) pro sestavení čidla elektrostatického rotačního voltmetru

Měření napětí van de Graaffova generátoru bude pak i při jeho různém zatížení jednoduché a pohodlné. Pro tento generátor (zdroj malého výkonu) je také obzvláště důležité, že samotný rotační voltmetr jej nezatěžuje — příkon pro otáčení rotorových listů dodává motorek voltmetru.

Některé pokusy s van de Graaffovým generátorem jsou uvedeny ve [4] a [5].

2. Elektronkový zdroj vysokého napětí

Schéma pro zapojení zdroje je patrné z obr. 7. Vysoké napětí (kolem 15 kV) vzniká na transformátoru *TR 2* náhlým přerušováním proudu procházejícího



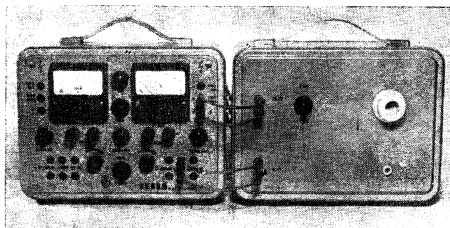
Obr. 7. Schéma zapojení zdroje vysokého napětí (s blokovacím oscilátorem)

¹⁾ Pro měření vysokých napětí kulovým jiskřištěm slouží předpisy a tabulky, které jsou obsaženy v normě ČSN ESČ 53 - 1951 - některá ustanovení z této normy jsou také obsažena v článku [3].

elektronkou *EL 81*, ovládanou střídavým napětím (vhodného tvaru a kmitočtu) z blokovacího oscilátoru nebo z multivibrátoru. Jako transformátor *TR 2* jsme použili transformátor *6PN 35010* (z řádkového koncového stupně televizního přijímače) s usměrňovací elektronkou *DY 86* s malým žhavicím proudem, který se odebírá z cívky s jedním nebo se dvěma závitů.

Blokovací oscilátor je osazen elektronkou *BCC 82* (je zapojena pouze jedna trioda). Transformátor *TR 1* je z řádkového generátoru televizoru *Tesla 4001*. Podobné transformátory se vyskytují např. v televizorech „Oravan“, „Krivák“, „Mánes“ nebo „Aleš“. (Poněvadž transformátory z těchto televizorů nejsou zcela stejné, bude při jejich použití třeba dostavit vhodný kmitočet oscilátoru — změnou hodnoty mřížkového odporu, který má v našem zapojení hodnotu *M 12*, případně i změnou hodnoty mřížkového kondenzátoru).

Zdroj vysokého napětí jsme zabudovali do přístrojové skříňky z n. p. *Tesla Brno*. V její čelní desce jsme umístili zdířky pro připojení žhavicího a anodového napětí z eliminátoru *Tesla M 110* nebo *Tesla 052* (obr. 8) a svorku *Vn* jsme zabudovali do objímky z izolantu.



Obr. 8. Propojení zdroje vysokého napětí s eliminátorem *Tesla 052*

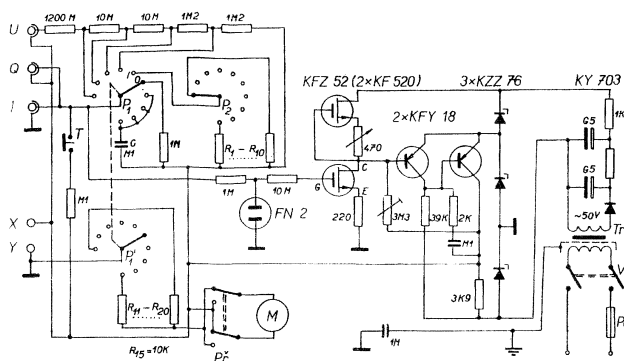
Do výstupního obvodu jsme zapojili filtrační kondenzátor 300 pF/15 kV a vysokonapěťový odpor 100 M (s typovým označením *TR 131*), kterým jsme zvětšili vnitřní odpor zdroje. I když zdroj nepovažujeme za nebezpečný, dbáme, abychom nepřišli do styku s vysokým napětím. Zdroj uzemníme a při demonstračních jej zapojujeme až po připojení příslušných konduktorů; svorku *Vn* přitom propojujeme např. vysokonapěťovým kabelem ze zapalovacího zařízení motorových vozidel. Po ukončení demonstrace zdroj vypneme a i když je na výstupu filtrační kondenzátor malý, než aby jeho náboj mohl způsobit úraz, propojíme raději svorku *Vn* se zemí (kondenzátor zkratujeme).

Některé příklady demonstrací, které můžeme s tímto zdrojem provádět, jsou uvedeny v článku [6].

3. Stejnoseměrný tranzistorový měřicí zesilovač

Navržený stejnosměrný měřicí zesilovač (obr. 9) slouží k měření stejnosměrného napětí, malých hodnot stejnosměrného proudu a k měření elektrického náboje. Představuje soustavu se zpětnou vazbou, která se na napěťových rozsazích uzavírá přes zařazené odpory děliče napětí a na proudových rozsazích přes příslušné

vstupní odpory R_1 až R_{10} (princip měření proudu je založen na měření napětí, vyvolaného průtokem proudu odporem); zapojíme-li do zpětnovazební smyčky místo odporů R_1 až R_{10} kondenzátor C , je napětí na výstupu úměrné vstupnímu náboji (indikací měřidlo M lze tedy cejchovat v hodnotách náboje, přeneseného vstupním proudem za časový interval).



Obr. 9. Schéma stejnosměrného tranzistorového měřicího zesilovače

Volbu napětových a nábojových rozsahů provádíme přepínačem P_1 ; spřaženým přepínačem P_1' zároveň zapojujeme předřadné odpory indikačního měřidla M . Vstupní odpory pro jednotlivé proudové rozsahy nastavujeme přepínačem P_2 (přepínač P_1 je přitom v poloze označené značkou I).

Předností stejnosměrného měřicího zesilovače je jeho vysoký vstupní odpor, který zajišťují tranzistory $KF 520$ nebo sdružený prvek $KFZ 52$ fy Tesla [7], [8], tj. dvojice polem řízených tranzistorů typu MOS . Doutnavka $FN2$ s odpory $1M$ a $10 M$ chrání tranzistory před případným napětovým přetížením (tenká izolační vrstva mezi řídicí elektrodou a vodivým kanálem, charakteristická pro tranzistor typu MOS , má malou průraznou pevnost). Následující dvoustupňový stejnosměrný zesilovač je osazen tranzistory $KFY 18$. Napájecí napětí je stabilizováno Zenerovými diodami $KZZ 76$. Primární vinutí transformátoru Tr je stíněno měděnou fólií (fólie nesmí tvořit uzavřený závit).

Stejnoseměrný měřicí zesilovač je určen pro školní demonstrace; byl navržen tak, aby byl co nejméně nákladný a aby mohl být na škole zhotoven svépomocně.

Kontrola činnosti přístroje a jeho seřízení:

Ověření činnosti elektronické části přístroje provedeme v základní poloze funkčního přepínače P_1 , tj. v poloze označené značkou O . Po připojení přístroje na síťové napětí a zapojení vypínače V se ručka indikačního měřidla vychýlí a musí reagovat na nastavení nuly, které provádíme proměnným odporem 470Ω .

Osciloskopem (připojeným na zdířky XY) zjistíme, zda zesilovač na proudových rozsazích nekmitá; na těchž rozsazích pak také seřizujeme zesílení. Potřebujeme k tomu zdroj stejnosměrného napětí, regulovatelný v okolí 100 mV. Realizujeme jej např. tak, že ke svorkám suché baterie 4,5 V připojíme odpor 45 k s proměnným odporem 2,5 k zapojeným v sérii, z něhož odebíráme napětí. Po vynulování zesilovače zapojíme zdroj mezi zdířku X a živý konec stíněného kabelu zasunutého do konektoru se značkou I . Na svorky XY připojíme stejnosměrný laboratorní milivoltmetr a proměnným odporem 3 M 3 (zapojeným v obvodu zesilovače podle obr. 9) nastavíme zesílení rovno jedné. Toto nastavení několikrát kontrolujeme (výstupní napětí se musí rovnat napětí vstupnímu) a sledujeme stálost nuly.

Po nastavení zesílení upravíme hodnotu předřadného odporu měřidla M tak, aby při 100 mV na vstupu ukazovala ručka na stupnici maximální výchylku. Tímto odporem jsme pro všechny proudové rozsahy dosáhli i příslušné citlivosti měřidla M – za předpokladu pečlivého výběru dekadických násobků odporů R , až R_{10} (10^1 až $10^{10} \Omega$), přepínatelných přepínačem P_2 .

Nábojové rozsahy nastavujeme pomocí polystyrenového kondenzátoru a pomocí regulovatelného zdroje stejnosměrného napětí. Např. při cejchování nábojového rozsahu $10 \cdot 10^{-8}$ As použijeme kondenzátor o kapacitě $C = 1000$ pF, který nabijeme ze zdroje stejnosměrného napětí 100 V. Velikost náboje kondenzátoru odpovídá (dle vztahu $Q = UC$) hodnotě uvedeného rozsahu, takže po zapojení kondenzátoru mezi svorku X a živý konec stíněného kabelu, zasunutého do konektoru Q , musí ručka indikačního měřidla ukazovat maximální výchylku; po nastavení rozsahu vybijeme kondenzátor stisknutím tlačítka T . Citlivost indikačního měřidla nastavujeme (příslušným sériovým odporem R_{11} až R_{14}) pro každý nábojový rozsah zvlášť.

Při cejchování napětových rozsahů zapojíme tentýž zdroj stejnosměrného napětí mezi svorku X a konektor se značkou U . Napětí vyregulujeme vždy na maximální hodnotu požadovaného napětového rozsahu a citlivost indikačního měřidla upravíme pro každý rozsah příslušnou hodnotou sériově zapojeného odporu R_{17} až R_{20} tak, aby ručka na stupnici ukazovala maximální výchylku.

Stejnoseměrný měřící zesilovač může jistou dobu vykazovat nestabilitu nuly; po ustálení hodnot součástek tento nedostatek vymizí.

Technické údaje:

Napětové rozsahy: 5, 10, 50 a 100 V (vstupní odpor kolem 1 200 M).

Proudové rozsahy: $10 \cdot 10^{-3}$ až $10 \cdot 10^{-12}$ A (v deseti rozsazích).

Rozsahy pro měření náboje: $5 \cdot 10^{-9}$, $10 \cdot 10^{-9}$, $5 \cdot 10^{-8}$ a $10 \cdot 10^{-8}$ As.

Jako indikační měřidlo M ($200 \mu A/75 \Omega$) jsme použili upravený školní demonstrační přístroj *Metra DsD*; jeho hrotový systém jsme v *n. p. Metra Blansko* vyměnili za systém vláknový.

Pro laboratorní měření je vhodnějším indikačním měřidlem např. mikroampérmetr *Metra DHR 10* (jehož citlivost nastavíme příslušnými hodnotami odporů R_{11} až R_{20}); ve schématu na obr. 9 je také znázorněno zapojení přepínače P_7 , kterým můžeme přehnout polaritu výstupního napětí tak, aby odpovídala polaritě indikačního mikroampérmetru.

Konstrukční připomínky:

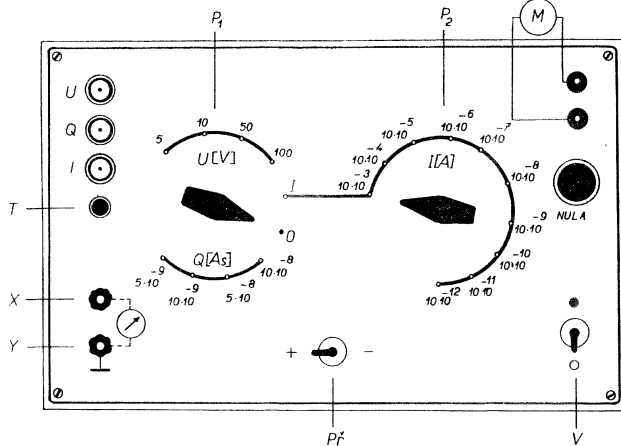
Stejnoseměrný měřící zesilovač je zabudován do přístrojové skříňky *fy Tesla*, uzemněné nulovým vodičem síťového přívodu. Vstupní konektory mají telefon-

vou izolaci a k přednímu panelu jsou upevněny izolovaně. Použité přepínače jsou keramické. Funkční přepínač P_1 je mechanicky spřažen s přepínačem P'_1 . Odporů R_1 až R_{10} jsou uhlíkové, zatavené ve skleněných trubičkách (typ *TR 123* a *TR 142*). Hodnoty odporů R_{11} až R_{20} nastavíme vhodnou sériovou a paralelní kombinací uhlíkových odporů. Kondenzátor o kapacitě $C = 0,1 \mu\text{F}$ je polystyrenový (např. typ *TC 276*).

Výstup zesilovače uvnitř přístroje je třeba stínit (předejdeme tak vzniku případných oscilací). Příslušnou pozornost věnujeme také propojení a uzemnění jednotlivých částí přístroje.

Obsluha přístroje a jeho použití:

Všechny prvky pro obsluhu jsou umístěny na čelní desce přístroje (obr. 10). Před vlastním měřením připojíme na výstupní zdířky indikační měřidlo M a do zvoleného konektoru (pro měřenou veličinu U , Q nebo I) zasuneme zástrčku koaxiálního kabelu. Po zapnutí přístroje vypínačem V začneme s vlastním měřením asi za 10–15 minut. Přepínač P_1 přepneme ze základní polohy O na zvolený rozsah (při měření proudu přepneme přepínač P_1 do polohy se značkou I a proudové rozsahy nastavujeme přepínačem P_2). Příslušným knoflíkem



Obr. 10. Schématické znázornění čelní desky stejnosměrného měřicího zesilovače

pak vyregulujeme ručku indikačního měřidla na nulu; na nábojových rozsazích stiskneme při nastavování nuly tlačítko T , kterým vybijeme měřící kondenzátor. Měření začínáme vždy na nejméně citlivém rozsahu. Na měřený obvod připojíme nejprve svorku spojenou se stíněním koaxiálního kabelu, potom jeho měřící hrot.

Přístroj slouží k celé řadě pokusů, kde je třeba měřit elektrický náboj nebo malé hodnoty stejnosměrného proudu a k řadě pokusů, kde je třeba měřit stejnosměrné napětí měřidlem s velkým vnitřním odporem. Můžeme jej např. použít k ověření Coulombova zákona [9], při demonstraci elektrostatické indukce, k měření elektrického náboje při zjišťování kapacit různých konduktorů a elektrolytech, k měření ionizačního proudu, k měření fotoelektrického proudu, při demonstraci Franckova-Hertzova pokusu [10], ke zjišťování poločasu rozpadu některých radioaktivních prvků apod.

LITERATURA

- [1] *Sirovinskij L. I. a kol.*: Technika vysokého napětí. SNTL, Praha 1956.
- [2] *Norma ČSN EŠČ 53* – 1951.
- [3] *Zouželka J.*: Van de Graaffův generátor se samobuzením a elektrostatický rotační voltmetr. Fyzika ve škole 8, 1969 – 70, č. 6, s. 348 – 356.
- [4] *Zouželka J., Fuks J.*: Pokusy z fyziky na středních školách. SPN, Praha 1971.
- [5] *Zouželka J.*: Autoemisi elektronový mikroskop. Fyzika ve škole (v tisku).
- [6] *Zouželka J., Trčka Z.*: Zdroj vysokého napětí pro pokusy z elektrostatiky. Fyzika ve škole 8, 1969 – 70, č. 8, s. 473 – 477.
- [7] *Hrubý F.*: Vlastnosti dvojice MOS tranzistoru *KFZ 52*. Sdělovací technika, 1969, č. 7, s. 207 – 210.
- [8] *Balás J.*: Výstupní charakteristiky MOS tranzistoru *KF 520 Tesla*. Sdělovací technika, 1968, č. 10 – 11, s. 372 – 375.
- [9] *Physikalsche Handblätter fy Leybold*, karta DK 537 . 211; b.
- [10] *Zouželka J., Široká M.*: Souprava pro demonstraci Franckova-Hertzova pokusu. Fyzika ve škole 8, 1969 – 70, č. 9, s. 544 – 548.

ABSTRACT

NEW DEVICES FOR EXPERIMENTS IN ELECTROSTATICS

JAN ŽOUŽELKA AND ZDENĚK TRČKA

The work is divided into three parts. In the first one a construction of both the van de Graaff generator with self – pumping and the electrostatic rotary voltmeter is described. The second part deals with the electronic high voltage power supply. In the third part the direct current measuring multiplier is described. The introduced devices are particularly suitable for modernization of experiments in electrostatics.

ZUSAMMENFASSUNG

**NEUE GERÄTE FÜR DIE VERSUCHE
IN DER ELEKTROSTATIK**

JAN ŽOUŽELKA UND ZDENĚK TRČKA

Die Arbeit enthält drei Teile. Im ersten Teil wird die Konstruktion des Van de Graaff – Generators mit Selbsterregung und die Konstruktion des elektrostatischen Rotationsvoltmeters beschrieben. Im zweiten Teil wird das elektronische Hochspannungsgerät behandelt. Im dritten Teil wird der Gleichstrommessverstärker beschrieben. Die angeführten Geräte sind besonders für die Modernisierung der Versuche in der Elektrostatik geeignet.