

Augustin Žáček

O sesilovači stejnosměrného proudu. [II.]

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 50 (1921), No. 2-3, 120--134

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/109170>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1921

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>

involucí, jejímiž samodruž. paprsky jsou přímky  $Q_1$  a  ${}^1Q_1$ . Pro další pak stačí uvažovati jen jednu z těchto přímek, třeba  $Q_1$ , jejíž imag. průsečíky s kružnicí  $K$  odpovídají imag. bodům  $b^i$   $b^i$  na přímce  $Q$ . Kdybychom vzali imag. body na  ${}^1Q_1$ , dostali bychom tytéž dvě rovnose hyperboly. Úběžnice  $U_1$  kolíneace jde úběžníkem  $\omega'_1$  přímky  $Q_1$  a je tečnou k elipse  $\Sigma$  mající ohniska v  $o$  a  $p$  a jejíž hlavní osu snadno omezíme dle hořejšího. Ježto z  $\omega'$ , dají se k  $\Sigma$  sestrojiti dvě tečny dostáváme dvě úběžnice a tudíž dvě rovnose reálné hyperboly. Další dvě hyperboly jsou imaginární.

## O sesilovači stejnosměrného proudu.

Napsal August Žáček.

(Dokončení.)

### II. Část experimentální.

V tomto oddílu chceme jednak ukázati, jak souhlasí formule, odvozená pro efekt sesilovače, s měřeními, jednak podati několik ukázek měření veličin  $S$ ,  $D$ ,  $R_i$  popsanou kompenzační metodou.\*)

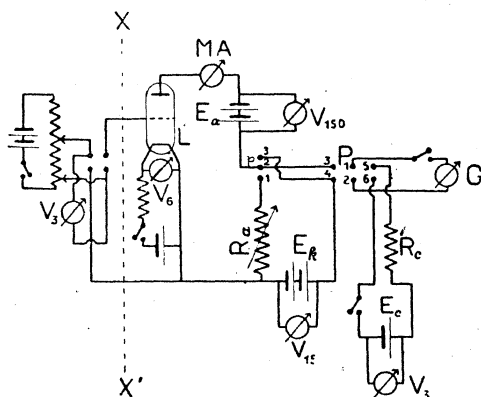
#### Jednolampový sesilovač.

Nejprve studován sesilovač jednolampový, jenž jest poměrně jednoduchý, takže se dá u něho čekati daleko lepší souhlas s měřeními než u komplikovanějších sesilovačů vícelampových, u nichž formule, udávající efekt sesilovače, obsahuje větší množství veličin, jež nutno měřiti.

Uspořádání, jehož bylo při měření užito, jest schematicky znázorněno na obr. 6. Všechny veličiny byly určovány pokud možno za týchž podmínek; pomocí několika klíčů a přepínačů bylo totiž možno, spojení vhodným způsobem pro různá měření rychle měniti. Jako sesilovací lampy užito francouzské heterodynové lampy  $L$ . Poněvadž intensita nasyceného proudu roste daleko rychleji s rostoucí intenzitou topného proudu než s napětím na pólech katody, bylo tohoto napětí užito k měření tepného proudu (tak zvané topení dle napětí): topný proud byl

\*) Při měřeních pomáhal mi p. Dr. Šimůnek, asistent Masarykovy university v Brně, za což jsem mu zavázán velkým díkem.

neustále udržován na konstantní výši a sice takové, aby na pólech katody bylo napětí  $3\cdot6\text{ V}$ , což odpovídá intenzitě  $0\cdot63\text{ A}$ . Velikost mřížkového napětí odvětveného z potenciometru lze přímo měřiti Westonovým voltmetrem  $V_3$ . Na negativní pól katody jest vedle mřížkového kruhu připojen ještě anodový kruh, obsahující anodovou baterii  $E_a$  (86 volt), miliampermetr  $MA$  fy Siemens-Halske (10 *ohmů*, největší výchylka 150 skálových dílců odpovídá proudu 45 miliamp.) a kompenzační odpor  $R_a$ , tvořený precisním reostatem. Kompenzační kruh obsahuje vedle baterie  $E_k$  (6 volt) ještě direktně ukazující cívkový galvanometr  $G$  fy Hartmann-Braun s odporem ca 50 *ohmů*. Ostatní detaily jsou



Obr. 6.

přímo patry z obrázku. Změna uspořádání pro měření jednotlivých veličin dala se přepínači  $p$ ,  $P$ ; tak na př. funguje-li uspořádání jako zesilovač, jest u přepínače  $p$  spojení: 1—2, u přepínače  $P$  spojení: 1—3, 2—4. Při měření strmosti  $S$  lampy a citlivosti galvanometru  $G$  jest u přepínače  $p$  spojení: 2—3, u  $P$ : 1—5, 2—6; které klíče nutno při jednotlivých měřeních zapnouti resp. vypnouti, vidíme přímo z obrázku.

Uvedeme nyní, jakožto příklad, protokol jednoho měření.  
Měření čís. 2.

1. Citlivost galvanometru: Napětí baterie  $E_c$  odečítáno na westonském voltmetru  $V_3$  (150 skálových dílců odpovídá napětí 3 volt). Dostáváme

$$E_c = 67\cdot2 \text{ skál. dílců.}$$

Galvanometr  $G$ , připojený přes odpor  $R_c = 10.000$  ohmů na toto napětí, dává výchylku 16·8 skál. dílků.

2. Strmost  $S$ : Napětí na mřížce ( $e_g$ ) měreno westonským voltmetrem  $V_3$  (150 dílků na 3 volty), anodový proud  $i_a$  měřen miliampermetrem  $MA$  (150 dílků odpovídá proudu 4·5 miliamp.): odečetli jsme pro

$e_g$	$i_a$
0 skál. dílků	48·4 skál. dílků,
24·2 " "	43·9 " "
52·3 " "	38·7 " "

3. Sesilovač: Kompensační odpor  $R_a = 4300$  ohmů. Odečetli jsme pro

$e_g$	$i_G$
0 skál. dílků	0 skál. dílků,
24·6 " "	17·1 " "

• Výpočet.

1. Citlivost:  $E_c = 67·2' = 1·344$  V.

Celkový odpor v kruhu  $R_c + R_G = 10.050$  ohmů.

Intensita proudu  $i_G$  jest tedy

$$i_G = \frac{1·344}{10.050} A = 16·8 C.$$

Z toho vypočteme citlivost galvanometru

$$C = 7·96 \cdot 10^{-6}.$$

2. Strmost  $S$ : Převědme údaje nahore uvedené na volty a ampéry; dostáváme pro

$e_g$	$i_a$
0 volt	1·452 miliamp.,
0·484 " "	1·317 " "
1·046 " "	1·161 " "

Z toho ihned vypočítáme  $S$  dle vzorce

$$S = \left( \frac{\partial i_a}{\partial e_g} \right)_{e_a}$$

a máme pro  $de_g = 0·484$  V.

$$S = \frac{0·135 \cdot 10^{-3} A}{0·484 V} = 2·79 \cdot 10^{-4} \frac{A}{V};$$

pro další změnu  $de_g = 0.562 \text{ V}$   
dostáváme

$$S = 2.78 \cdot 10^{-4} \frac{A}{V}.$$

Střed z obou hodnot jest

$$S = 2.78_5 \cdot 10^{-4} \frac{A}{V}.$$

3. Sesilovač: Výchylka galvanometru,  $\alpha_G = 17.1$  skálových dílků, odpovídá proudu

$$di_{G_{\text{měř.}}} = 17.1 \cdot C = 1.337 \cdot 10^{-4} A.$$

4. Srovnání s teorií: Dle dřívějšího jest však proud v galvanometru dán také formulí (str. 17.)

$$di_{G_{\text{poč.}}} = \frac{S}{1 + \frac{R_G}{R_a} + \frac{R_G}{R_i}} de_g.$$

V našem případě jsme měli  $R_G = 50 \text{ ohmů}$ ,  $R_a = 4300 \text{ ohmů}$ ,  
 $R_i = \text{ca } 30.000 \text{ ohmů}$ . Dosadíme-li tedy do vzorce číselné hodnoty,  
dostáváme:

$$di_{G_{\text{poč.}}} = 1.331 \cdot 10^{-4} A.$$

Srovnání s hodnotou, získanou přímo měřením, dává

$$\Delta = \frac{di_{G_{\text{poč.}}} - di_{G_{\text{měř.}}}}{di_{G_{\text{poč.}}}} = -0.45 \text{ ‰}.$$

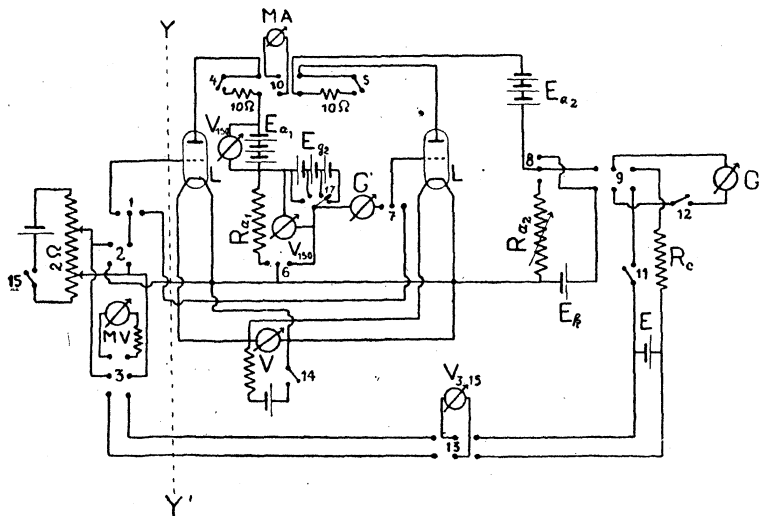
Souhlas jest zcela dobrý podobně jako u dvou dalších měření, kde bylo

$$\Delta = +0.67 \text{ ‰} \text{ a } \Delta = -0.67 \text{ ‰}.$$

### Dvojlampový sesilovač.

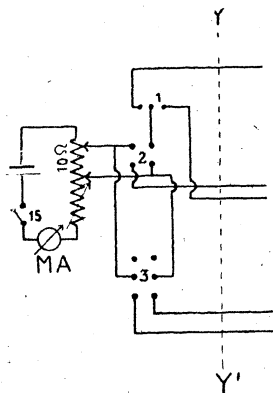
Také v tomto případě bylo možno, řadou klíčů a přepínačů rychle měnit uspořádání dle toho, co se mělo měřiti, takže všechna měření jedné serie dala se opět za podmínek velmi příbližně týchž. Proto je také pochopitelno, že uspořádání jest poněkud komplikované; v případě, kdy jde o pouhý sesilovač, jest ovšem schema spojení daleko jednodušší (obr. 5.).

Jako zesilovacích lamp bylo opět užito francouzských lamp heterodynových. Katody obou lamp (obr. 7.) jsou spojeny para-



Obr. 7.

lelně a připojeny přes proměnlivý odpor na šestivoltovou akumulátorovou baterii. Topný proud byl udržován neustále na takové



Obr. 8.

výši, aby na pólech katody bylo trvale napětí 3-6 voltu. Napětí, odvětvené od odporu 2 ohmů potenciometru, je možno měřit buď westonským milivoltmetrem *MV* (přepínač 3 nahoru) nebo we-

stonským voltmetrem  $V_3$  (přepínač 3 dolů, přepínač 13 vlevo). Užitý milivoltmetr má vnitřní odpor 2 *ohmy*, celkové výchylce, 150 skalovým dílkům, odpovídá napětí 60 milivolt na svorkách; byl mu předřazen odpor 30 *ohmů*, takže nutno jeho údaje v skalových dílcích násobiti číslem 6·4, chceme-li dostati měřené napětí v milivoltech. U voltmetru  $V_3$  způsobuje napětí 3 *volt* na svorkách voltmetru výchylku 150 skalových dílků, nutno tedy jeho údaje násobiti číslem 0·02, abychom dostali napětí ve *voltech*. Při druhé serii měření bylo odvětvoováno od 10 *ohmů* potenciometru a odvětvené napětí bylo vypočítáváno jako ohmický spád z údajů miliampermetru  $MA$ , zařazeného do kruhu potenciometru (viz obr. 8, kde je tato modifikace obr. 7., nalevo od přímky  $YY'$ , znázorněna). Komutátorem 2 lze odvětvené napětí komutovati, přepínač 1 dovoluje nám konečně, připojení je buď na mřížku první lampy nebo na mřížku lampy druhé. Anodový kruh první lampy obsahuje anodovou baterii  $E_{a_1}$  o napětí ca 120 *volt* a odpor  $R_{a_1} = 33.000$  *ohmů*. Anodový proud měříme miliampermetrem fy Siemens Halske (o odporu 10 *ohmů*, celková výchylka, 150 dílků, odpovídá proudu 4·5 miliamper); při tom je třeba přepnouti přepínač 10 vlevo, klíč 4 vypnouti, přepínač 6 přepnouti nalevo. Mřížka druhé lampy jest připojena přes pomocnou baterii  $E_{g_2}$  a přímo ukazující galvanometr  $G'$  ke konci odporu  $R_{a_1}$ . Napětí pomocné baterie  $E_{g_2}$  lze zapínáním různého počtu akumulátorů (klíčem 17) měniti v mezích 38 až 48 *volt*. Nareguluje se tak, aby jím byl téměř vykompensován ohmický spád na odporu  $R_{a_1}$ , jež vypočítáme z velikosti odporu  $R_{a_1}$  a intensity anodového proudu; galvanometrem  $G'$ , zařazeným do mřížkového kruhu druhé lampy, neprochází potom žádný proud. Anodový kruh druhé lampy obsahuje anodovou baterii  $E_{a_2}$  o napětí ca 86 *volt*, lze do něho zařaditi miliampermetr  $MA$ , posléze obsahuje ještě proměnlivý anodový odpor  $R_{a_2}$ . K tomuto je paralelně připojen kompenzační kruh s baterií  $E_k$  (ca 6 *volt*) a přímo ukazujícím galvanometrem  $G$  fy Hartmann-Braun o odporu 50 *ohmů*. Další kruh, obsahující Edisonův akumulátor, odpor  $R_c$  a galvanometr  $G$ , slouží k určování citlivosti galvanometru  $G$ .

Jak jsme již nahoře poznamenali, lze toto uspořádání rychle měniti dle toho, kterou veličinu chceme měřiti. Uvádím v pře-

hledu polohy přepínačů pro jednotlivá měření. Při měření citlivosti jest přepínač 9 zapjat vpravo, 13 vpravo, klíče 11 a 12 zapjaty. Užíváme-li uspořádání jako sesilovače, jest přepínač 1 zapjat vlevo, 3 nahoru, 5 zapjat, 4 vypjat, 10 vlevo, 7 vlevo, 8 dolů, 9 vlevo. Při měření strmosti  $S_1$  první lampy jest 9 vpravo, 6 vpravo, 17 zůstane v téže poloze jako při sesilovači, 10 vlevo, 4 vypnout, 7 vpravo, 3 dolů, 1 vlevo, 13 vlevo. Při určování průniku  $D_1$  první lampy zůstane uspořádání totéž, pouze u voltmetru, připojeného k přepínači 13, změní se měrný obor z 3 na 15 *volt*; změna anodového napětí děje se tak, že se pomocná baterie  $E_g$ , zcela vypne. Při určování strmosti  $S_2$  druhé lampy máme toto spojení: 9 vpravo, 3 dolů, 8 nahoru, 7 vpravo, 1 vpravo, 10 vpravo, 5 vypnout, 13 vlevo, 6 vlevo.

Ostatní podrobnosti možno vyčístí přímo z obrázku; při tom jen poznamenávám, že indexy u značek pro voltmetry udávají nám měrný obor voltmetru, tak na př. značí  $V_{150}$  voltmetr na 150 *volt* a pod.

Jako ukázkou uvádím opět výtah z pozorovacího protokolu a příslušný výpočet jednoho měření.

Měření čís. 4.

a) Citlivost galvanometru  $G$ : U voltmetru  $V_3$  odpovídá výchylka 150 skálových dílců napětí 3 *volt*, nutno tedy jeho údaje násobiti číslem 0·02, abychom dostali velikost měřeného napětí ve *voltech*; odpor galvanometru jest

$$R_G = 50 \text{ ohmů},$$

předřazeného odporu

$$R_c = 4000 \text{ ohmů}.$$

Pro napětí

$$E = 67·4 \text{ skál. dílků} = 1·348 \text{ V}$$

byla výchylka galvanometru

$$a_G = 40·95 \text{ dílků}$$

jako střed z celé řady odečtení. Z toho máme citlivost galvanometru

$$C = 8·128 \cdot 10^{-6}.$$

b) Sesilovač: Anodový miliampermetr  $MA$  ukazuje proud  $i_{a_1} = 1·431 \text{ miliamper}$ ; na odporu  $R_{a_1} = 33·000 \text{ ohmů}$  jest tedy



spád napětí roven 47·1 voltu. Napětí pomocné baterie naregulováno (klíčem 17) na 46·6 voltu, takže má mřížka druhé lampy napětí — 0·6 voltu. Také v ostatních měřeních bylo napětí mřížky pravidelně negativní, jak dle dřívějšího má být. Napětí anodových baterií jsou

$$E_{a_1} = 122·3 \text{ V} \quad \text{a} \quad E_{a_2} = 86·2 \text{ V}.$$

Odpor  $R_{a_2}$  v anodovém kruhu druhé lampy byl naregulován tak, aby výchylka galvanometru  $G$  byla přibližně nulová za nulového stavu ( $de_{g_1} = 0$ , t. j. když mřížka první lampy má potenciál katody. V našem případě bylo

$$R_{a_2} = 4940 \text{ ohmů}.$$

Napětí  $de_{g_1}$  na mřížce první lampy bylo měřeno milivoltmetrem  $MV$ ; jeho údaje nutno násobiti číslem 6·4, chceme-li dostati měřené napětí v milivoltech.

V dalsím značí čísla  $\alpha_G$  polohu ukazatele galvanometru  $G$  a to první hodnoty polohu pro  $de_{g_1} = 0$ , druhé pro napětí  $de_{g_1}$ .

1.	$de_{g_1}$	11·2,	11·2 dílků,
	$\alpha_G$	$\left\{ \begin{array}{l} -0·7, \\ 9·05, \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} -0·7 \text{ " } , \\ 9·0 \text{ " } , \end{array} \right.$
z toho	$d\alpha_G$	9·75,	9·7 dílků.

Střední hodnoty jsou pak

$$\begin{aligned} \overline{de_{g_1}} &= 11·2 \text{ dílků} = 71·7 \cdot 10^{-3} \text{ volt}, \\ \overline{d\alpha_G} &= 9·72 \text{ dílků}, \\ \overline{di_G} &= C d\alpha_G = 7·90 \cdot 10^{-5} \text{ A}. \end{aligned}$$

Vypočtème poměr

$$\frac{\overline{di_G}}{\overline{de_{g_1}}} = 1·102 \cdot 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{V}}.$$

2.	$de_{g_1}$	23·0,	23·0 dílků,
	$\alpha_G$	$\left\{ \begin{array}{l} -0·9, \\ 19·2, \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} -0·8 \text{ " } , \\ 19·3 \text{ " } , \end{array} \right.$
z toho	$d\alpha_G$	20·1,	20·1 " .

A tedy dále střední hodnoty

$$\begin{aligned} \overline{de_{g_1}} &= 23·0 \text{ dílků} = 147·2 \cdot 10^{-3} \text{ V}, \\ \overline{d\alpha_G} &= 20·1 \text{ " } , \\ \overline{di_G} &= 16·34 \cdot 10^{-5} \text{ A}. \end{aligned}$$

Poměr

$$\frac{\overline{di}_G}{de_{g_1}} = 1110 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V}$$

$$3. \quad \begin{array}{l} de_{g_1} \quad 35.0, \quad 35.0 \text{ dílků,} \\ \alpha_G \left\{ \begin{array}{l} -0.95, \quad -0.9 \text{ " ,} \\ 29.2, \quad 29.2 \text{ " ,} \end{array} \right. \end{array}$$

$$\text{z toho} \quad d\alpha_G \quad 30.15, \quad 30.1 \text{ " .}$$

Dále máme středy

$$\begin{aligned} \overline{de}_{g_1} &= 35.0 \text{ dílků} = 224.0 \cdot 10^{-3} V, \\ \overline{d\alpha}_G &= 30.12 \text{ " ,} \\ \overline{di}_G &= 24.48 \cdot 10^{-5} A. \end{aligned}$$

Poměr

$$\frac{\overline{di}_G}{\overline{de}_{g_1}} = 1.093 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V}$$

$$4. \quad \begin{array}{l} de_{g_1} \quad 47.0, \quad 47.0, \quad 47.0 \text{ dílků,} \\ \alpha_G \left\{ \begin{array}{l} -1.0, \quad -0.95, \quad -0.95 \text{ " ,} \\ 39.1, \quad 39.05, \quad 39.05 \text{ " ,} \end{array} \right. \end{array}$$

$$\text{z toho} \quad d\alpha_G \quad 40.1, \quad 40.0, \quad 40.0 \text{ " .}$$

Dále máme středy

$$\begin{aligned} \overline{de}_{g_1} &= 47.0 \text{ dílků} = 300.8 \cdot 10^{-3} V, \\ \overline{d\alpha}_G &= 40.03 \text{ " ,} \\ \overline{di}_G &= 32.54 \cdot 10^{-5} A. \end{aligned}$$

Poměr

$$\frac{\overline{di}_G}{\overline{de}_{g_1}} = 1.082 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V}$$

Jak vidíme, jest poměr mezi proudem v galvanometru a napětím na mřížce první lampy, až na pozorovací chyby, konstantní, jak také dle teorie má býti. Výsledná střední hodnota

$$\left( \frac{di_G}{de_{g_1}} \right)_{\text{měř.}} = 1.098 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V}$$

c) Strmost  $S_1$  první lampy. Při měření strmosti první lampy bylo napětí na mřížce měřeno voltmetrem  $V_3$ ; výsledky pozorování obsahuje následující tabulka:

$e_{g_1}$		$i_{a_1}$	
dílků	volt	dílků	mili-amp.
0	0	47·8	1·434
+ 25·0	+ 0·50	52·5	1·575
- 25·0	- 0·50	43·2	1·296
+ 49·0	+ 0·98	57·0	1·719
- 49·0	- 0·98	38·9	1·167
+ 73·55	+ 1·471	61·6	1·848
- 73·6	- 1·472	34·2	1·026

Vedle toho byla tabulka znázorněna ve velkém měřítku také graficky; body diagramu proložena přímkou, jejíž směrnice je hledaná strmost  $S_1$ . Hodnota strmosti takto určená jest

$$S_1 = 2·775 \cdot 10^{-4} \frac{A}{V}.$$

d) Průnik  $D_1$  první lampy. Při měření průniku nejprve zařazena pomocná baterie  $E_{g_2}$  proti anodové baterii  $E_{a_1}$ , takže anodové napětí bylo  $e_{a_1} = E_{a_1} - E_{g_2}$ . Při tom odečteme pro toto anodové napětí výchylku anodového miliampermetru  $MA$ , když mřížka má týž potenciál jako katoda ( $d_{g_1} = 0$ ). Potom pomocná baterie vypnuta, čímž se zároveň změní také anodový proud. Volbou vhodného napětí  $d_{g_1}$  na mřížce lze docílití toho, že miliampermetr má touž výchylku jako v prvním případě. Pozorování dalo tyto hodnoty:

1. Na voltmetrech odečteno přímo

$$E_{a_1} = 122·1 V, \quad E_{g_2} = 46·8 V;$$

tedy

$$e_{a_1} = 75·3 V.$$

Při tomto anodovém napětí, když mimo to napětí na mřížce  $e_{g_1} = 0$ , jest výchylka miliampermetru  $MA$

$$i_{a_1} = 47·6 \text{ skál. dílků.}$$

Po té pomocná baterie  $E_{g_2}$  klíčem 17 vypnuta, takže potom  $e_{a_1} = 122·1 V$ . Abychom uvedli výchylku miliampermetru do původní polohy  $i_{a_1} = 47·6$  dílků, bylo nutno udělití mřížce napětí  $d_{e_{g_1}} = 5·03 V$ . Z těchto hodnot vypočítáme

$$D_1 = \left( \frac{d e_{g_1}}{d i_{a_1}} \right)_{i_{a_1}} = \frac{d e_{g_1}}{E_{g_2}} = 0·1075.$$

2. Podobně při druhém měření jsme našli

$$\begin{array}{lll} \text{pro } e_{a_1} = 75.3 \text{ V,} & de_{g_1} = 0. & i_{a_1} = 46.9 \text{ dílků;} \\ \text{pro } e_{a_1} = 122.1 \text{ V,} & de_{g_1} = 5.06 \text{ V} & i_{a_1} = 46.5 \text{ " ;} \\ \text{pro } e_{a_1} = 122.1 \text{ V,} & de_{g_1} = 4.96 \text{ V} & i_{a_1} = 47.1 \text{ " .} \end{array}$$

Interpolací najdeme z posledních dvou řádek, že výchylce  $i_{a_1} = 46.9$  dílků odpovídá napětí  $de_{g_1} = 5.04 \text{ V}$ .

Z toho vypočítáme

$$D_1 = 0.1067.$$

Střední hodnota průniku z obou měření jest tedy

$$D_1 = 0.1071 = 10.71\%.$$

e) Vnitřní odpor  $R_{i_1}$  první lampy vypočítáme z Barkhausenovy vnitřní rovnice

$$S_1 D_1 R_{i_1} = 1;$$

dostáváme pro něj hodnotu

$$R_{i_1} = 33\,650 \text{ ohmů.}$$

f) Strmost  $S_2$  druhé lampy určovali jsme úplně analogicky jako  $S_1$  u prvé lampy (srov. odstavec e). Výsledky jsou obsaženy v následující tabulce:

$e_{g_2}$		$i_{a_2}$	
dílků	volt	dílků	mili-amp.
0	0	44.7	1.341
+25.1	+0.502	48.9	1.467
-25.1	-0.502	40.6	1.218
+50.3	+1.006	52.8	1.584
-50.25	-1.005	36.6	1.008
+74.3	+1.486	56.5	1.695
-74.35	-1.487	32.9	0.987

Z grafického znázornění určeno

$$S_2 = 2.43_4 \cdot 10^{-4} \frac{A}{V}.$$

g) Srovnání s teorií. V prvním oddílu jsme odvodili pro dvojlampový sesilovač vzorec (str. 17.):

$$\frac{di_G}{de_{g_1}} = \frac{1}{D_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_{i_1}}{R_{a_1}}} \cdot \frac{S_2}{1 + \frac{R_G}{R_{a_2}} + \frac{R_G}{R_{i_2}}}$$

Dosadíme-li do něj právě nalezené číselné hodnoty, dostáváme

$$\left(\frac{di_G}{de_{g_1}}\right)_{\text{poč.}} = 1 \cdot 110 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V}.$$

Od hodnoty na str. 31. dole, získané přímým měřením, liší se tento výsledek o

$$\Delta = \frac{\left(\frac{di_G}{de_{g_1}}\right)_{\text{poč.}} - \left(\frac{di_G}{de_{g_1}}\right)_{\text{měř.}}}{\left(\frac{di_G}{de_{g_1}}\right)_{\text{poč.}}} = + 1 \cdot 1\%.$$

Vzhledem k četným pomocným měřením, jež nutno provést, jest tento souhlas s teorií jistě velmi dobrý; rovněž uspokojiví jest souhlas u ostatních měření, kde byly difference:

$$\Delta = + 1 \cdot 9\%, \quad \Delta = - 2 \cdot 6\% \quad \text{a} \quad \Delta = + 2 \cdot 2\%.$$

#### Měření veličin $S$ , $D$ , $R_i$ kompenzační metodou.

Ku konci podám ještě ukázkou měření charakteristických dat elektronových lamp kompenzační metodou. V prvním oddílu odvodili jsme pro tyto veličiny vztahy:

$$S = \left(\frac{di_G}{de_g}\right)_{e_a} \left(1 + \frac{R_G}{R_a} + \frac{R_G}{R_i}\right),$$

$$D = \left(\frac{de_g}{de_a}\right)_{i_G},$$

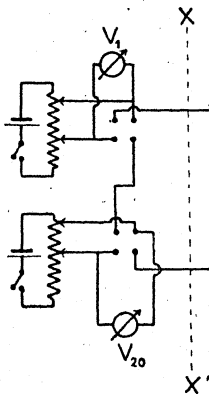
$$R_i = \frac{\left(\frac{de_a}{di_G}\right)_{e_g} - R_G}{1 + \frac{R_G}{R_a}}$$

K měření užili jsme v podstatě téhož uspořádání jako u jednolampového sesilovače (obr. 6.). K zvýšení citlivosti byly provedeny v uspořádání tyto nepatrné změny: napětí na mřížce bylo odvětveno od dvou za sebou spojených potenciometrů (srv.

obr. 9., kde je tato změna znázorněna), z nichž každý má vlastní voltmetr. Jedním potenciometrem udělujeme mřížce napětí dle toho, v kterém bodě chceme pracovat, druhým způsobujeme změny napětí  $de_g$ . Podobně máme také v anodovém krouhu dva voltmetry: jedním měříme  $E_a$ , druhým  $de_a$ .

Měřena byla strmost  $S$ , průnik  $D$  a vnitřní odpor  $R_i$  v okolí bodu ( $e_g = 0$ ,  $e_a = 80 V$ ) u francouzské heterodynové lampy č. 491. Topný proud byl stejně jako dříve naregulován a udržován tak, aby na pólech katody bylo napětí 3·6 voltu.

Nejprve bylo nutno určit citlivost užitého galvanometru  $G$ : K tomu konci byl přepínač  $P$  přepnut napravo a v reostatu



Obr. 9.

$R_c$  naregulován odpor 6000 ohmů; galvanometr sám pak má odpor 50 ohmů. Značí-li  $E_c$  napětí článku,  $\alpha_G$  jím způsobenou výchylku galvanometru, odečetli jsme

$$E_c = 66.4, \quad 66.4 \text{ dílků} = 1.338 \text{ volt,}$$

$$\alpha_G = 27.1, \quad 27.1 \text{ „ „}$$

Z toho vypočítáme citlivost

$$C = 8.08_s \cdot 10^{-6}.$$

Při určování strmosti přepneme přepínač  $P$  nalevo,  $p$  dolů. Proměnlivý odpor  $R_a$  naregulujeme tak, aby pro  $de_g = 0$  byla také výchylka galvanometru  $d\alpha_G = 0$ ; potom změňme napětí

mřížky o  $de_g$  a pozorujeme tím způsobenou výchylku galvanometru  $d\alpha_G$ . Pozorované hodnoty jsou

$$\begin{aligned} R_a &= 2429, & 2430 \text{ ohmů}, \\ de_g &= 25.0, & 25.0 \text{ dílků}, \\ d\alpha_G &= 17.9, & 17.9 \text{ dílků}. \end{aligned}$$

Z toho určíme střední hodnoty:

$$\begin{aligned} \bar{R}_a &= 2429.5 \text{ ohmů}, \\ \bar{de}_g &= 25.0 \text{ dílků} = 0.50 \text{ volt}, \\ \bar{d\alpha}_G &= 17.9 \text{ „} \end{aligned}$$

a z nich dle nahore uvedeného vzorce vypočítáme

$$S = 2.96 \cdot 10^{-4} \frac{A}{V}.$$

Při měření vnitřního odporu opět vykompenzujeme odporem  $R_a$  výchylku galvanometru; potom změním napětí anodové baterie o  $de_a$  a odečteme tím způsobenou výchylku galvanometru  $d\alpha_G$ . V našem případě jsme odečetli:

$$\begin{aligned} R_a &= 2431, & 2427 \text{ ohmů}, \\ de_a &= 5.92, & 5.92 \text{ dílků}, \\ d\alpha_G &= 23.2, & 23.2 \text{ dílků}; \end{aligned}$$

z toho stanovíme střední hodnoty

$$\begin{aligned} \bar{R}_a &= 2429 \text{ ohmů}, \\ \bar{de}_a &= 5.92 \text{ volt}, \\ \bar{d\alpha}_G &= 23.2 \text{ dílků} \end{aligned}$$

a z těchto dle horní formule vypočítáme vnitřní odpor lampy

$$R_i = 30.860 \text{ ohmů}.$$

Při určování průniku  $D$  měním napětí mřížky tak dlouho, až výchylka galvanometru, způsobená změnou anodového napětí, opět zmizí. Odečetli jsme pro

$$de_a = 5.92 \text{ volt}$$

při  $de_g = 32.1$  dílků  $= 0.642 \text{ volt}$  výchylku galvanom.  $\alpha_G = -0.05$

při  $de_g = 31.9$  dílků  $= 0.638 \text{ volt}$  „ „ „ „  $\alpha_G = +0.1$ .

Interpolací najdeme z těchto hodnot, že nulové výchylce galvanometru ( $\alpha_G = 0$ ) odpovídá změna mřížkového napětí  $de_g = 0.6407 \text{ voltu}$ . Z toho vypočítáme

$$D = 0.1082 = 10.82\%.$$

Abychom mohli posouditi přesnost, s jakou jsme uvedené hodnoty stanovili, verifikujme vypočtenými číselnými hodnotami Barkhausenovu vnitřní rovnici lampy: dostáváme

$$SDR_i = 0.989.$$

Od teoretické hodnoty ( $SDR_i = 1$ ) liší se tento výsledek asi o 1%.

V Praze počátkem října 1920.

## Pohyb hmotného bodu v poli gravitačním dle všeobecné theorie relativnosti.

Napsal ředitel *Ant. Libický*.

Theorie relativnosti, jak ji původně *Einstein* odvodil, založena byla na postulátu, že zákony fyzikální platné v soustavě souřadnic **S**, v níž vyjádřeny jsou formou nejjednodušší, platí též pro soustavu **S'**, která se pohybuje vzhledem k **S** přímočárně a rovnoměrně. Dle toho přísluší přímému pohybu rovnoměrnému jakási přednost před jinými pohyby, jako jsou pohyb kruhový, pohyb zrychlený a j. Okolnost ta byla patrně závadou této theorie, kterou se snažil *Einstein* odstraniti tím, že ji zvsobecnil tak, aby platnost její vztahovala se k jakémukoli pohybu postupnému neb otáčecímu. Požadavku tomu se vyhoví, budou-li rovnice, jimiž vyjadřujeme zákony fyzikální, kovariantní vzhledem k libovolné substituci souřadnic a nikoliv jen vzhledem k substituci Lorentzově\*), jak tomu bylo dosavad. Novou tuto theorii nazval *Einstein* všeobecnou theorií relativnosti, na rozdíl od theorie původní, která sluje *specielní*.

O poli gravitačním, v němž pohyb hmotného útvaru se děje, předpokládá se ve všeobecné theorii, že jest zvláštním polem metrickým, jehož význačnou vlastností jest, že kvadra-

\*) Substitute ta dána jest rovnícemi:  $x' = \beta(x - vt)$ ,  $y' = y$ ,  $z' = z$ ,  $t' = \beta(t - \frac{v}{c^2}x)$ , kde  $\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ ; viz mŕj čl. „Kinematika

theorie relativnosti“ v tomto Časopise roč. XLIII., pag. 213.