

L. Šimek

O použití dynamometru na slabé proudy při měřeních můstkových

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 41 (1912), No. 3-4, 501--509

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/122948>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1912

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>

O použití dynamometru na slabé proudy při měřeních můstkových.

Prof. L. Šimek.

Při nullových methodách můstkových, kde třeba pracovati s proudy střídavými, jako ku př. při určování odporů tekutin, při určování induktivních koeficientů ev. kapacit kondensátorů, třeba použití takového přístroje v mostě, který reaguje na proudy střídavé, nebo nutno proudy v mostě usměrniti.

Jako takové máme k dispozici: telefon, telefon optický, galvanoměr strunový, tepelné galvanoměry, repulsivní galvanoměr a dynamometr na proudy slabé. K usměrnění proudu v mostě používáme obvykle dvojkomutátoru t. zv. sekohmmetru.

Citlivost všech těchto přístrojů daleko zůstává za citlivostí přístrojů pro proudy stejnosměrné a nevykazují ani nejdražší galvanoměry na proud střídavý mnohem větší citlivost, než docíluje se pomocí telefonu. Použití strunového galvanoměru jest dosti namáhavé pro oči (pozorujícího), při sekohmmetru pak vyskytují se vlivem tření a ohřívání kontaktů proudu, jež výsledky činí přes velikou citlivost nepříliš přesné. Z toho důvodu používá se v praxi technické téměř výhradně telefonu ku výše zmíněným účelům.

Přes to poskytuje použití vhodného dynamometru na slabé proudy v mnohých případech dosti značných výhod. Dynamometr takový můžeme použítí trojím způsobem:

1. Cívka pevná jest spojena v serii s cívkou pohyblivou v mostě.
2. Cívka pevná vede měřený proud v mostě, cívka pohyblivá jest postavena v úhlu ca. 45° k cívce pevné a jest spojena na krátko (spojení repulsivní).
3. Cívka pevná vede neodvislý trvalý proud téže periody a vhodné fáse jako cívka pohyblivá, jež vede proud měřený v mostě; postavení cívek přesně kolmé.

Ve spojení prvním jest docílitelná citlivost ca. 10^{-4} Amp. při značném induktivním i ohmickém odporu, takže použití jeho

jest tak dobře jako vyloučeno; krom toho reaguje dynamometr v tomto spojení také na proudy stejnosměrné, jež při měření tekutin vedle proudu střídavého mohou se z různých příčin vyskytnouti.

Tato poslední závada nestává při spojení druhém, leč citlivost jest opět velmi malá, takže prakticky zbývá pouze použití způsobu třetího.

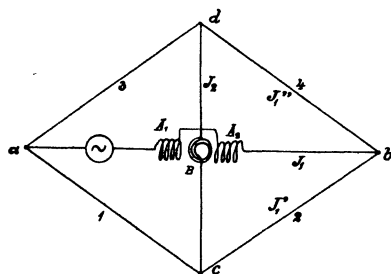
Odchylka dynamometru jest, jak známo, závislá na součinu intenzity v pevné cívce J_1 , intenzity v cívce pohyblivé J_2 , a \cos úhlu pošinutí obou intenzit.

$$\alpha = k \cdot J_1 \cdot J_2 \cdot \cos \varphi.$$

Při spojení třetím jest intenzita J_1 konstantní, takže

$$\alpha = k' J_2 \cos \varphi.$$

Závislost jest zde lineární, tedy i blízko stavu, kdy intenzita J_2 jest rovna nulle, jest citlivost stejně veliká a závislá pouze na úhlu pošinutí intenzit J_1 a J_2 .



Obr. 1.

Citlivost bude největší, když proud J_2 bude ve fázi s intenzitou J_1 , kdežto pro proudy J_2 o čtvrt periody od J_1 odlišné, nebude dynamometr vůbec reagovati. Na tuto okolnost nebývá při uvádění tohoto spojení upozorněno, ač značně může alternovati jak citlivost, tak výsledky měření.

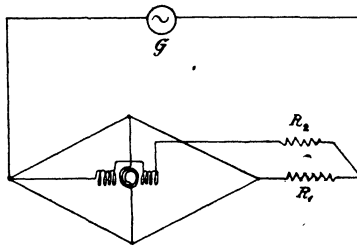
Obr. 1. představuje schema Wheatstonova uspořádání

s dynamometrem, spojeným dle způsobu třetího, jak obyčejně se udává.

- G = zdroj proudu střídavého,
 A_1, A_2 = pevné cívky dynamometru,
 B = pohyblivá cívka dynamometru,
 1, 2, 3, 4 větve Wheatstonova mostu.

Nechť pozůstávají větve mostu — jako na př. při měření odporů tekutin — z neinduktivních odporů, pak bude napětí mezi body ab a při nevyrovnaném mostě též mezi body cd ve fázi (zanedbáme-li vliv intenzity J_2 , jež budiž malá) s intenzitou J_1 . Ježto pohyblivá cívka má značnou induktivitu, bude proud J_2 značně zpozděný za napětím mezi body cd , tedy i za napětím mezi body ab a za intenzitou J_1 .

Citlivost bude tudíž malá.



Obr. 2.

Z toho důvodu jest výhodnější spojení pevnou cívku paralelně ku ab . (Obr. 2.)

- Budiž L_A induktivní koeficient pevné cívky,
 R_A ohmický odpor " "
 L_B induktivní koeficient pohyblivé cívky,
 R_B ohmický odpor " "

Nechť $\frac{L_A}{L_B} > \frac{R_A}{R_B}$, jak obyčejně bývá, pak upravíme měření dle schematu (obr. 2.).

Pomocí neinduktivního odporu R_2 doplníme obvod cívky pevné tak, aby

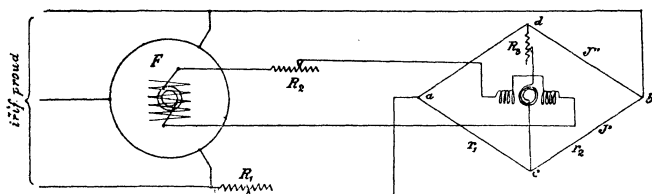
$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{R_A + R_2}{R_B}.$$

Napětí zdroje G volíme tak veliké, jak pevná cívka snese. Aby v mostě, který má obyčejně menší odpor, neprocházela příliš velká intenzita, vložíme neinduktivní odpor R_1 .

Tím dosáhli jsme toho, že intenzity J_1 a J_2 jsou ve fási, neboť jsou o stejný úhel φ ($\operatorname{tg} \varphi = \frac{L_A \omega}{R_A + R_2} = \frac{L_B \omega}{R_B}$) pošinuty od napětí zdroje G .

Při měření induktivních odporů, kdy napětí mezi body ab není ve fási s napětím mezi body cd , bylo by nutno najít odpor R_2 (jímž uvádíme intenzitu J_1 do fáse s intenzitou J_2) zkusmo při konstantní intenzitě J_1 .

Pak jest pohodlnější vyrovnati fási v cívce pevné pomocí fázového transformátoru.



Obr. 3.

K tomu cíli musí ovšem proud střídavý, jímž měříme, býti vícefázový, ale ježto není třeba, vzhledem na docílení dostatečné citlivosti, příliš velkého počtu period, jak jest třeba při používání telefonu, stačí pro většinu případů proud střídavý ze sítě městských o 50 periodách.

Bude pak schema celkového uspořádání toto (obr. 3.):

F fázový transformátor,

R_1 odpor vymežující přiměřenou intenzitu ve větvích mostu,

R_2 odpor vymežující přiměřenou intenzitu v pevné cívce dynamometru,

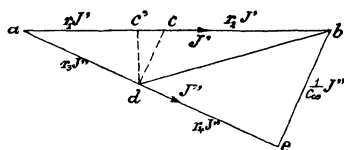
R_3 odpor zařazený do obvodu pohyblivé cívky dynamometru.

Při tomto spojení můžeme vhodným postavením fázometru učiniti dynamometr necitlivý pro určitý směr proudu, čímž docílíme různých výhod, ku př.:

A. Měření tekutinových odporů.

Nádobka s tekutinou měřenou reprezentuje vždy krom ohmického odporu tekutiny též kapacitu. Při měření telefonem tato kapacita činí obtíže a proto potahujeme elektrody černí platinovou, aby vliv kapacity se zmenšil.

Sledujme blíže tento případ. Směr a velikost napětí mezi body ab (obr. 3.) budiž dána vektorem \overline{ab} (obr. 4.). Intenzita J' jest ve fázi s tímto napětím, ježto odpory r_1 a r_2 jsou neinduktivné. Napětí \overline{ab} skládá se z napětí mezi body ac (obr. 3.), jež rovno jest $r_1 J'$ a dáno vektorem \overline{ac} (obr. 4.) a napětí mezi body cb , jež jest rovno $r_2 J'$ a dáno vektorem \overline{cb} .



Ve větvi \overline{adb} intenzita J'' předbíhá napětí \overline{ab} o úhel φ'' , jež dán vztahem

$$\operatorname{tg} \varphi'' = \frac{1}{C\omega(r_3 + r_4)}.$$

Napětí \overline{ab} v této větvi skládá se z napětí $r_3 J'' = \overline{ad}$, jež má směr intenzity J'' , a z napětí $\overline{db} = J'' \sqrt{r_4^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}$.

Nezmizí tedy nikdy napětí mezi body d a c (obr. 3.), dané úsečkou \overline{cd} (obr. 4.). Minimum intenzity J_2 ve větvi cd bude při minimálním napětí \overline{cd} , jež nastane při takovém poměru $\frac{r_1}{r_2}$, při němž napětí \overline{cd} bude kolmé k napětí \overline{ab} . Toto minimum intenzity měříme při použití telefonu. Pak není však poměr $\frac{r_1}{r_2}$ roven $\frac{r_3}{r_4}$, nýbrž

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4 + \frac{1}{C^2\omega^2(r_3 + r_4)}}$$

a my neměříme správně odpory.

Při použití navrženého uspořádání můžeme však dynamometr učiniti necitlivý pro napětí ve směru \overline{eb} (obr. 4). Pak obdržíme odchylku na dynamometru rovnou nulle tenkráté, když napětí \overline{cd} bude ve směru napětí \overline{eb} a pak

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}.$$

Měříme tedy odpory správně.

Nastavení J_1 do žádaného směru provedeme tím způsobem, že připojíme pohyblivou cívku dynamometru na body a a d , a regulujeme fázovým transformátorem tak dlouho, až odchylka na dynamometru bude maximum. Nebo lépe a přesněji tím, že natočíme fázový transformátor tak, aby odchylka dynamometru byla rovna nulle, a pak fázový transformátor otočíme o 90° (elektrických). Tím je fáze J_1 nastavena do směru J'' , a dynamometr necitlivý ku směru \overline{eb} . Zapneme opět pohyblivou cívku na body c a d , a vyregulujeme poměr $\frac{r_1}{r_2}$ tak, aby odchylka galvanometru rovnala se nulle.

B. Měření induktivních odporů methodou Maxwellovou.

Methoda tato spočívá, jak známo, v tom, že do větve 1 a 2 vloží se neinduktivní odpory r_1 a r_2 a do větve 3 a 4 indukce známá (L_3, r_3) a neznámá (L_4, r_4).

Pro stejnosměrný proud bude rovnováha, když

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}.$$

Pro střídavý proud bude rovnováha tenkráté, když zároveň

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{r_3^2 + (\omega L_3)^2}}{\sqrt{r_4^2 + (\omega L_4)^2}}.$$

Je-li stejnosměrným proudem vyregulováno, pak

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}.$$

Je-li současně i pro střídavý proud rovnováha, pak

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{L_3}{L_4}.$$

Provádíme pokus obyčejně tak, že nejprve střídavým proudem o velkém počtu period nalezneme v telefonu minimum. Odporů nebudou dosud vyrovnány a proto nezmizí úplně tón v telefonu. Pak přepneme na proud stejnosměrný, a ponechavše poměr $\frac{r_1}{r_2}$ regulujeme poměr odporů $\frac{r_3}{r_4}$ až opět $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$. Opakujeme pokus střídavým proudem, a regulujeme poměr $\frac{r_1}{r_2}$. Tím obdržíme ostřejší minimum, atd.

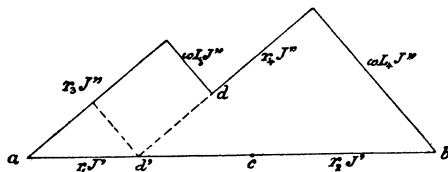
Tímto způsobem dojdeme dosti rychle k cíli, jsou-li indukční odpory bez železa a jiných ztrát. Není-li tomu tak, jsou zdánlivé ohmické odpory pro proud střídavý jiné než pro proud stejnosměrný a lze jen obtížně zkusmo dle optima minima pravý stav naléztí.

Použití fázového transformátoru nám dovolí přímo při střídavém proudu stanovití poměr zdánlivých odporů $\frac{r_3}{r_4}$, nastaví-li se fáse proudu v cívkách pevných tak, aby spadala do fáse napětí v bodech a a b . Toto měření vyplývá z diagramu napětí v jednotlivých větvích mostu (obr. 5.), jenž nepotřebuje dalšího vysvětlení.

K tomu cíli zapneme pohyblivou cívku na ab a natočíme fázový transformátor tak, aby odchylka dynamometru rovnala se nulle. Tím je učiněna fáse proudu J_1 kolmá ku napětí \overline{ab} . Připneme nyní pohyblivou cívku na \overline{cd} a regulujeme při libovolném poměru $\frac{r_1}{r_2}$ odpory r_3 a r_4 tak, aby odchylka dynamometru byla opět rovna nulle. Pak natočíme fázový transformátor o 90° , takže pro právě panující směr napětí \overline{cd} má dynamometr největší citlivost, a odchylku vzniklou redukuje pohybem běhounku.

Nyní musí odchylka dynamometru zůstatí rovna nulle, i když otočíme fázový transformátor zpět. Není-li tomu tak, nutno při ponechání takto stanoveného poměru $\frac{r_1}{r_2}$ korigovati poměr odporů $\frac{r_3}{r_4}$ při prvním postavení fázového transformátoru

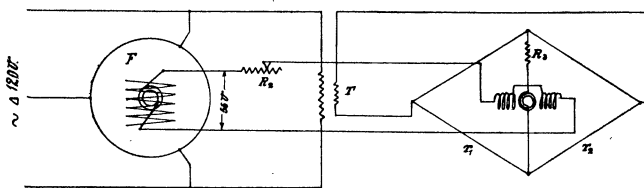
atd. (Této korekce, kterou pravidelně jen jedenkrát jest třeba provést, nebylo by třeba, kdyby odpor v pohyblivé cívce byl nekonečný, jak předpokládáno v diagramu. (Obr. 5.) Ježto týž má však určitou, byť velikou hodnotu, není přesně vyhověno podmínce, že intenzita v odporu r_3 rovná se intenzitě v odporu r_4 . Z tohoto důvodu jest třeba vždy do pohyblivé cívky zařaditi značnější odpor.



Obr. 5.

Při provedení pokusu bylo voleno toto uspořádání (obr. 6.):

Fázový transformátor F použit od firmy Siemens a Halske, jinak ku cejchování počítadel sloužící.



Obr. 6

Místo odporu r_1 užito zvonkového transformátoru T „Reduktorové společnosti“ s převodem $120/3$ Volt.

Větev r_1, r_2 pozůstávala z kalibrovaného drátu ca. 2 Ω odporu a 1 metru délky; regulováno běhounkem.

Dynamometr použit od firmy Siemens a Halske, cívka pohyblivá měla odpor $R_B = 128 \Omega$, $L_B = 0.011 H$. Obě cívky pevné dohromady $R_A = 300 \Omega$, $L_A = 0.39 H$.

$$R_3 = 6000 \Omega,$$

$$R_2 = 2000 \Omega.$$

Odchylka při vzdálenosti 1·5 *m* od zrcátka dynamometru byla 2 — 5 *mm* při 1 *mm* pohybu běhounku na měrném drátě.

Bylo lze měřiti indukce od 0·01 *H* do 10 *H* při odporech od 2 Ω — 4000 Ω .

Při uvedeném měření pomocí dynamometru nemá deformace proudu při indukcích se železem vliv na přesnost měření, kdežto při měření pomocí telefonu činí deformace taková měření téměř nemožným.

Podobné výhody jako užitím dynamometru s fázovým transformátorem lze též dosíci tím způsobem, že do větvi mostu zavádíme proud střídavý, v mostě pak použijeme galvanoměru stejnosměrného, připojeného přes komutátor, jenž synchronně se střídavým proudem se otáčí a při němž natáčením kartáčků můžeme voliti okamžik komutace.

Plochy konstantní křivosti s dvojnásobným systémem geodetických kruhů stejných poloměrů a oblouků.

Napsal Dr. **Frant. Velíšek.**

Pro tvar lineárního elementu

$$ds^2 = e du^2 + 2f du dv + g dv^2 \quad (1)$$

jsou dány geodetické křivosti ϱ_u, ϱ_v čar souřadných výrazy

$$\begin{aligned} \varrho_u &= -\frac{1}{\sqrt{eg - f^2}} \left(\frac{\partial \sqrt{g}}{\partial u} - \frac{\partial}{\partial v} \frac{f}{\sqrt{g}} \right), \\ \varrho_v &= -\frac{1}{\sqrt{eg - f^2}} \left(\frac{\partial \sqrt{e}}{\partial v} - \frac{\partial}{\partial u} \frac{f}{\sqrt{e}} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Dle podmínky má býti

$$\varrho_u = \varrho_v = -c, \quad e = g = \varepsilon^2,$$

a položíme-li za f funkci φ , obdržíme z rovnic (2)

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial u} - \frac{\partial \varphi}{\partial v} = c\varepsilon \sqrt{\varepsilon^2 - \varphi^2}, \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial v} - \frac{\partial \varphi}{\partial u} = c\varepsilon \sqrt{\varepsilon^2 - \varphi^2}. \quad (3)$$