

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Vladimír Novák

Grafické studium střídavého proudu [I.]

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 34 (1905), No. 3, 230--247

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121166>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1905

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>

Grafické studium střídavého proudu.

Napsal

Dr. Vladimír Novák,
professor české techniky v Brně.

Z přečetných fyzikálních zjevů periodických vyniká bohatostí a propracovaností měřicích method ukaz střídavého proudu elektrického.

Příčinou jest nejen praktické užití proudů střídavých v elektrotechnice ale i stále rostoucí upotřebení těchto proudů v laboratorních fyzikálních. Měření střídavého proudu elektrického nevztahuje se pouze ke *konstantám* tohoto proudu, jako jsou průměrná elektrom. síla a intenzita proudu, perioda a pod., ale i k časovému *průběhu okamžitých hodnot*, proud elektrický charakterisujících. Jako v podobných případech studia ukazů periodických užívá se též při proudu střídavém grafického znázorňování, nebo přímých method grafických.

V článku tomto chci pojednatí jak o *nepřímých* tak i *přímých* methodách měřicích, jimiž lze studovati časový průběh okamžitých hodnot střídavého proudu elektrického.

I. *Methody nepřímé.*

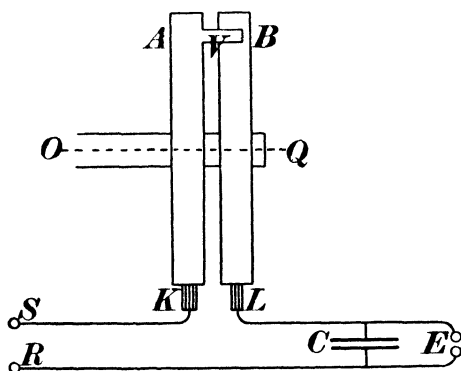
Při nepřímých methodách k určení časového průběhu okamžitých hodnot střídavého proudu pozorují se jednotlivé okamžité hodnoty elektromotorické síly resp. intenzity proudu, náležející určitému okamžiku fáze proudové a z hodnot těchto jako disparatních bodů sestrojují se *křivky* proudové.

Nejstarší methodou nepřímou jest *Joubertova*¹⁾ methoda okamžitého doteku z r. 1880.

Na osu stroje dynamoelektrického, jehož elektromotorická síla měla býti měřena v okamžitých svých hodnotách, připevněny byly dva kruhové kotouče *A* a *B* (viz obr. 1.), jeden *A* na obvodu svém kovový, druhý *B* pak dřevěný. Kotouč *A* opatřen byl kovovým výstupkem *V*, svorky stroje *S* a *R* spojeny byly jednak s kartáčkem *K* přilehajícím na kotouč *A*, jednak přes měřicí stroje (kondensator *C* a elektrometr *E*) ke kartáčku *L* přilehajícímu na dřevěný kotouč *B*.

¹⁾ *Joubert*, C. R. 91. 161. 1880.

Při otáčení se dynamy spojí se výstupkem V a kartáčky K a L proud pouze na krátký okamžik, který odpovídá určité fázi střídavého proudu. Tato fáze se změní, stočí-li se kontakt L relativně proti výstupku V . Úchylkou elektrometru E spojeného s póly kondensatoru C měří se pak okamžitá elektromotorická síla proudu střídavého pro určitou jeho fázi. Měření fáze děje se odečtením stočení kartáčku L .



Obr. 1.

Metoda *Joubertova* byla rozmanitě pozměněna od různých pozorovatelů k různým účelům.

*Mershon*²⁾ užil při metodě *Joubertově* místo elektrometru telefonu, *Duncan*³⁾ vedle křivek střídavého proudu z dynamy měřil metodou *Joubertovou* proudy transformatorů. Podobnými měřeními zabývali se též *Hutchinson* a *Wilkes*,⁴⁾ *Ryan Merritt* a *Hopkinson*⁵⁾ a jiní.

Joubertova metoda *jediného* kontaktu okamžitého má některé vady, které ohrožují její přesnost a spolehlivost. Metoda nutně vyžaduje, aby kontakt (kartáček L) byl pohyblivý; při přestavování tohoto kartáčku snadno se může státi, že kontakt

²⁾ *R. D. Mershon*, *Electrician* 27. 561. 1891.

³⁾ *Duncan*, *Electrician* 28. 61. 1891.

⁴⁾ *Hutchinson a Wilkes*, *El. World* II. 160.

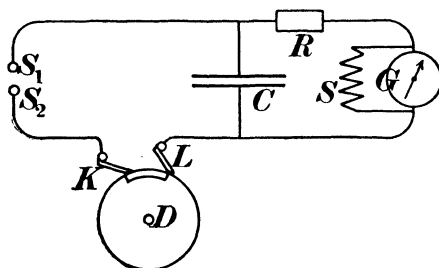
⁵⁾ *Ryan a Merritt*, *Electrician* 24. 239, 263. 1890.

Hopkinson, *Electrot. SZ.* 10. 345. 1889,

neděje se na různých místech obvodu desky Joubertovy stejně, mimo to trvání plošného kontaktu nemízí proti krátkým periodám střídavých proudů, tak že se neodečítá hodnota okamžitá ale střední hodnota z blízkých hodnot okamžitých. Při mechanickém provedení jediného kontaktu nelze dobře odstraniti *vibrace* kartáčku a nelze zaručiti *stálost odporu* kontaktu.

Uvedené vady podařilo se odstraniti *Franke-ovi*,⁶⁾ který sestrojil indikátor pro grafické studium střídavého proudu a to na základě *dvou* kontaktů posuvných.

Uspořádání metody Frankeovy patrně jest z obr. 2.



Obr. 2.

Svorka stroje, jehož střídavý proud má býti v časovém svém průběhu proměřen, spojí se s jedním pomocným kontaktem K přilehající k desce D montované na ose stroje; druhý kontakt L spojen jest jednak přes kondensator C , jednak galvanometrem G s druhou svorkou stroje S_2 .

Proudovým kruhem probíhá proud jen potud, pokud oba kontakty K a L leží na kovové vložce desky D . Kontakty lze tak regulovati, že spojení proudu trvá okamžik velice krátký.

Stáčení kontaktů děje se kolem středu desky D , aby pak vibrace kartáčků byly pokud možno vyloučeny, jakož aby tlak kartáčků nebyl jednostranný, jest proti oběma kartáčkům KL montován ještě kartáček *třetí*, posuvný na tomže společném podkladě, který nese kontakty K a L .

Krátký okamžik proudového spojení stačí k nabití konden-

⁶⁾ *R. Franke*, Elektrot. ZS. 20. 802. 1899 a ZS. f. Instrum.-kunde 21. 11. 1901.

satoru C , který se vybíjí galvanometrem G velikým odporem R , tak že tento výboj jest jen částečný, trvaje chvilku, ve které mjí kovová výplň na desce D oba kontakty K a L ; novým spojením obou kontaktů doplní se náboj kondensatoru a galvanometr G ukazuje úchylku tak jako při trvalém proudu stejnosměrném.

Mají-li míti uvedené metody praktický význam, jest třeba určovati jimi jednotlivé body křivek proudových rychle za sebou. Poněvadž pak při velkých úchylnkách galvanometru překáží tomuto způsobu pozorování doba kyvu pohyblivé části galvanometru a malý její útlum, nutno pozorovati při úchylnkách malých, tedy stroji zrcadlovými. U těchto strojů jest indexem stopa svazku paprskového, odraženého od zrcátka, připevněného k pohyblivé části galvanometru. Padá-li svazek odražených paprsků na citlivou desku fotografickou, (resp. film), která se pohybuje současně při posouvání kontaktů K a L úměrně tomuto posunutí, pak se na desce zaznamenává graficky časový průběh elektromotorické síly stroje a metoda předešlá stává se *přímou*.

Franke provedl tuto modifikaci vylíčené metody tím způsobem, že převedl stopu odražených paprsků od zrcátka galvanometru na válec, který se současně otáčel při stáčení kontaktů K a L .

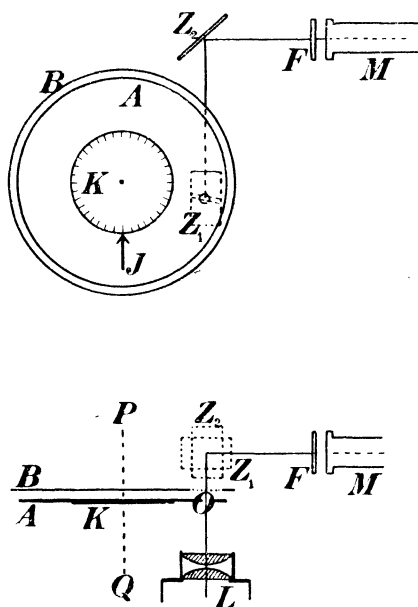
Na válci napjat byl papír, poloha stopy paprsků pak zaznamenávána tužkou. V této úpravě tvoří metoda Frankeho *přechod* od method nepřímých k methodám znázorňujícím graficky přímo časový průběh okamžitých hodnot střídavého proudu. Úprava fotografická jest ovšem přesnější, není však pro praktické užití tak výhodná, neboť pozorování nutno provésti často ve strojovnách v blízkosti strojů dynamoelektrických, kde nelze vždy místnost vhodně zatemnit.

Franke zdokonalil mechanické provedení posuvných kontaktů tak, že jak *Reilstab*⁷⁾ uvádí, lze hořejší methodou měřiti okamžité hodnoty proudové s přesností 0·1%.

Ke konci roku minulého sestavil jsem se svým asistentem panem *B. Macků* nepřímou methodu k určování okamžitých hodnot střídavého proudu, která má před předešlými methodami

⁷⁾ *L. Reilstab*, Verh. d. Ges. D. Naturf. u. Ärzte. 72. 40. 1900.

některé důležité výhody. Při této metodě měří se okamžitá hodnota na př. elektromotorické síly *stočením polarisační roviny* a to polarimetrem, jehož zorné pole jest osvětlováno momentně v okamžicích určujících fázi měření hodnoty proudové. Jest tedy mechanický kontakt na desce Joubertově nahrazen při metodě naší zábleskem světelného svazku paprskového, který lze mnohem přesněji adjustovati a v stejných podmínkách udržeti, než-li je tomu při metodách kontaktu mechanického.



Obr. 3.

Jednoduché sestavení metody naší, jejíž různé modifikace jinde budou uveřejněny, vysvítá z obr. 3., v jehož hořejší části jest nárys, v dolejší půdorys.

Na ose dynama PQ , jehož proudové hodnoty mají býti proměřeny, připevněn jest plechový kotouč B , opatřený u obvodu radiální šterbinou. Rovnoběžně a souose s tímto kotoučem postavena jest kruhová deska A , v níž u obvodu v bodě O nalézá se kruhový malý otvor. Desku A lze stáčeti kolem osy

PQ , stočení pak odečísti na kruhovém dělení K , které při otáčení probíhá kol pevného indexu J .

Na desce K odečítá se fáze.

Osvětlení polarimetru M děje se elektrickou lampou L , jejíž paprsky koncentrují se kondensorem do bodu O . Je-li dyuamo v pohybu, projdou tyto paprsky deskou B jen v určitém okamžiku, totiž při krytí šterbiny a kruhového otvoru; v tomto okamžiku projdou paprsky za desku B , odrazí se od zrcadla Z_1 , na zrcadlo Z_2 a odtud filtrem F osvětlí polarimetr M . Mezi polarisátorem a analysátorem nachází se cívka válcová, v jejíž ose lze umístiti buďto dlouhé Faradayovo sklo nebo trubici s benzolem. Cívka spojí se s oběma póly dynama vhodným odporem.

Jiná důležitá výhoda uvedené metody záleží v tom, že se měřicím strojem, — kterým je tu magnetisační cívka bez železného jádra — přidává k celému uspořádání jen *nepatrná samoindukce*, jakož i že se stočení roviny polarisační dostavuje *bezprostředně*, tak že po této stránce připouští tato metoda modifikaci na metodu určování přímého.

Zajímavým způsobem vyhnul se vadám Joubertova kontaktu *Goldschmidt*.⁵⁾ Nahradil totiž mechanický kontakt okamžitým *magnetickým spřezáním* dvou cívek, z nichž primární spojena byla se zkoumaným proudem střídavým, druhá pak s precizním voltmetrem. Cívky byly nastrčeny na železné jádro podoby podkovy, jejíž otvorem procházela kotva, vložená do diamagnetického válce, který se před otvorem podkovy otáčel synchronně s dynamem, zkoumaný proud poskytujícím.

Změnou relativní polohy kotvy a železného jádra změněn okamžik magnetického spřezání, tak že stáčením kotvy mohly býti stanoveny okamžité hodnoty napjetí střídavého proudu během jedné jeho periody.

Má-li býti uvedenými methodami prozkoumán podrobně časový průběh hodnoty střídavého proudu po celé periodě, vyžaduje pozorování četných bodů křivky proudové času několika hodin: má býti totiž zachována stálost podmínek v celém uspořádání alespoň po dobu celého měření. Výhodnějším jest proto

⁵⁾ R. Goldschmidt, Elektrot. ZS. 23. 496. 1902.

pozorování jen několika hodnot, když o povaze měřených křivek pozorovatel již jinak jest poučen. Takovéto zvláštní případy nastávají při proměřování elektromotorické síly proudu z dynamu na proudy střídavé. U moderních strojů lze, jak zkušenost ukazuje, vyjádřiti elektromotorickou sílu dynamu na proudy střídavé Fourierovou řadou

$$l = a_1 \sin \omega t + a_3 \sin 3\omega t + a_5 \sin 5\omega t + \dots \\ + b_1 \cos \omega t + b_3 \cos 3\omega t + b_5 \cos 5\omega t + \dots$$

při čemž $a_1, a_3, b_5 \dots b_1, b_3, b_5 \dots$ jsou konstanty, ω úhlová rychlost stroje, t čas,

*Fischer-Hinnen*⁹⁾ a *Langsdorf*¹⁰⁾ ukázali, kterak lze při platnosti hořejšího vzorce z několika málo měření určitých bodů složité křivky proudové, konstruovati jak její sinusové složky tak i výsledný složitý tvar. Zejména metoda *Fischer-Hinnen*-va jest jednoduchou a praktickou, poněvadž rozklad v jednoduché složky provede se při ní v čase poměrně krátkém.

Na tomto místě sluší též uvésti metodu, kterou *des Coudres*¹¹⁾ určoval jednoduché sinusové složky složité vlny střídavého proudu. Měřícím strojem byl při této metodě torsní dynamometr, jehož pevnou cívkou procházel proud, jehož sinusové složky o frekvenci pn , kde $p = 1, 2$ atd. měly býti určeny. Pohyblivou cívkou veden byl známý proud sinusový, jehož frekvenci bylo možno měniti z n na $2n, 3n, 4n$ atd. Dynamometr ukáže stálou úchylku jen tehdy, když periody obou střídavých proudů, procházejících jeho cívkami, souhlasí, velikost úchylky záleží pak na intensitě obou proudů jakož i na fázové jich diferencii. Amplituda pomocného proudu byla známa, byla pak měřena úchylka dynamometru při určité fázi pomocného proudu a při fázi o 90° zvětšené. Z obou úchylek dynamometru bylo možno určití jak amplitudu tak i fázi té jednoduché vložky proudu zkoumaného, která svou periodou souhlasila s periodou proudu pomocného.

II. *Methody přímé.*

⁹⁾ *J. Fischer-Hinnen*, Elektrot. ZS. 22. 396. 1901.

¹⁰⁾ *A. S. Langsdorf*, Phys. Rev. 12. 184. 1901.

¹¹⁾ *Th. Des Coudres*, Elektrot. ZS. 21. 752, 770. 1900.

Mnohem rozmanitější a četnější jsou — proti methodám předešlým — metody, jež přímo, *graficky* zaznamenávají časový průběh proměnných hodnot elektrického proudu v podobě spojitých křivek.

Přechod od nepřímých method k těmto methodám přímým tvoří (jak již dříve vzpomenu) metoda *Joubertova* upravená pro automatickou registraci úchylek stroje měřicího.

*Blondel*¹²⁾ nabíjel momentním dotekem na desce Joubertově kondensator, který se vybíjel galvanometrem zrcadlovým.¹³⁾ Úchylky galvanometru zaznamenávají opticky na proužku fotografického papíru, který se hodinovým strojem rovnoměrně odvíjel směrem ku pohybu zrcátka kolmým.

U method novějších děje se pohyb plochy, na které se úchylnka měřicího stroje zaznamenává a pohyb kontaktu Joubertova *synchronně*.

*Laws*¹⁴⁾ takovýmto uspořádáním obdržel celou křivku proudovou během půl druhé minuty, ač ovšem nedokázal, že by při tak rychlém měření nevystupovala rušivě doba kyvu a útlum pohyblivé části galvanometru.

*Blondin*¹⁵⁾ vedl střídavý proud, který měl býti proměřen, do synchronního motoru, jímž poháněn byl zvláštní kolektor a to tak, že při určitém počtu otoček motoru nastal u kolektoru počet otoček o jednu menší (resp. větší). Tímto stroboskopickým zařízením, kterého k svému ondografu použil též *Hospitalier*¹⁶⁾ odpadlo stáčení kartáčků okamžitého kontaktu Joubertova. Automatický záznam proudové křivky dál se na otáčející se válec pokrytý citlivým filmem fotografickým.

Jiné zdokonalení původní metody *Joubertovy* a přeměnu její na přímou metodu grafickou zavedl *Carpentier*.¹⁷⁾ Zařízení Carpentierovo sestává ze dvou částí, z galvanometru Deprez-D'Arsonvalova, který své úchylky automaticky zapisuje a z rotujícího kontaktu, který jest spojen s proudovým klíčem a ma-

¹²⁾ *Blondel*, Electrician 27. 598, 603, 1891.

¹³⁾ Srovnej uvedenou metodu Frankeovu.

¹⁴⁾ *F. A. Laws*, Electrician 46. 796. 1901.

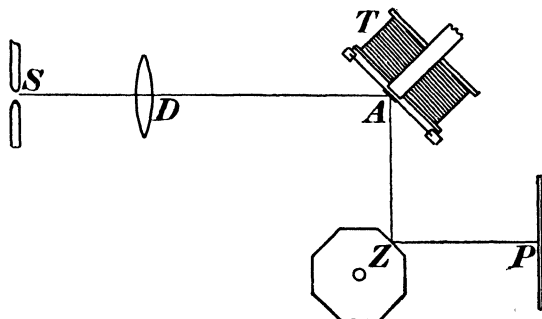
¹⁵⁾ *J. Blondin*, Éclair. élect. 28. 64. 1901.

¹⁶⁾ *E. Hospitalier*, Journ. d. Phys. (4) 1. 409. 1902.

¹⁷⁾ *J. Carpentier*, C. R. 136. 965. 1903. J. de Phys. (4) 2. 689. 1903.

lým motorem. Motor tento běží synchronně s dynamem, jehož proud se zkouší a uzavírá periodicky proudový klíč. Tímto klíčem spojuje se rychle za sebou kondensator střídavě s proměnným proudem a s galvanometrem. Aby se záznam úchylek galvanometru nedál na témž místě papíru, pohybuje se list papíru zvláštním elektromagnetickým zařízením a to synchronně s výměnou Joubertova kontaktu.

V předešlých odstavcích popsané přímé metody grafického studia střídavých proudů byly různými modifikacemi původní metody Joubertovy. Methody tyto tvoří přechod k vlastním methodám přímým, které zachycují celou křivku proudovou právě



Obr. 4.

za dobu jedné periody střídavého proudu. Přímé tyto metody v užším slova smyslu užívají zvláštních přístrojů, které slují *oscilloskopy*, *oscillografy*, *rheografy* a *oscilloradiografy*, a jež označují čtverý typ zmíněných method.

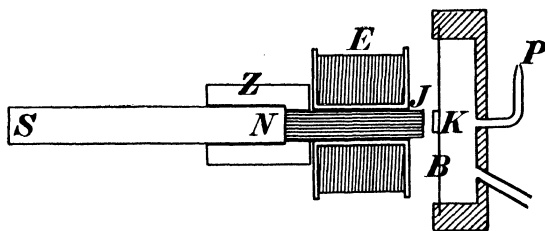
1. *Oscilloskopy.*

K nejstarším oscilloskopům náleží uspořádání *Fröhlichovo* ¹⁸⁾ patrné z obr. 4.

Obloukovou lampou *S* s čočkou *D* osvětluje se membrána telefonu *T*, na níž excentricky u *A* připevněno jest malé zrcátko. Tímto zrcátkem odráží se paprsky na system zrcadel upevněných na válci *Z*, odkud dopadají na stínítko *P*. Střídavý proud,

¹⁸⁾ O. Fröhlich, *Elektrot. ZS.* 10. 345. 1889.

kteřý má býti tímto osciloskopem studován, zavede se do telefonu a zároveň se jím uvede v pohyb synchronní motor, který otáčí zrcadly Z . Na stínítku P objeví se proudová křivka, která jest však značně pozměněna *vlastními* kmity membrány telefonu. Metoda hodí se spíše pro *objektivní* demonstrace střídavých proudů a podobá se v té příčině jednoduchému a instruktivnímu zařízení, které k objektivnímu demonstrování proudů proměnných sestavil *Navrátil*.¹⁹⁾



Obr. 5.

*R. Weber*²⁰⁾ nahradil destičku telefonu membránou papírovou a vychvěje její studoval *hořákem Koenigovým*. Místo telefonu užil *polarisovaného elektromagnetu*, jehož sestavení patrnou je z obr. 5.

Magnet SN spojen jest kusem měkkého železa Z s jádrem J , složeným z tenkých, měkkých drátků železných. Tyto drátky tvoří jádro elektromagnetu E a namířeny jsou proti kousku měkkého železa K , přilepeného na papírovou blánu B , jež tvoří pružnou stěnu Koenigova plamenníku. Plamének plynu reguluje se tlakem plynu tak, aby vydával jasný ton: pohyby plaménku vznikajícího při procházení střídavého proudu elektromagnetu E , studují se v rotujícím zrcadle, buď subjektivně nebo fotograficky.

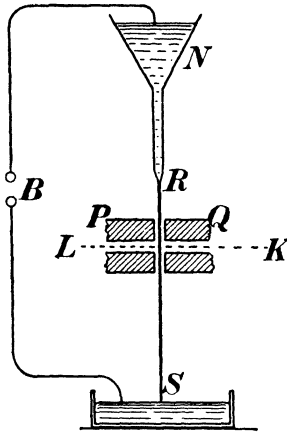
Na jiné myšlence založen jest osciloskop *Nicholsův*.²¹⁾

¹⁹⁾ *B. Navrátil*, Časopis p. p. math. a fys. 30. 10. 1901.

²⁰⁾ *R. Weber*, Drud. Ann. d. Phys. 6. 565. 1901.

²¹⁾ *E. Nichols*, American Association for the advancement of Science 42. 57. 1899.

Střídavý proud prochází (viz obr. 6.) *rtuťovým paprskem* RS , který protéká silným polem magnetickým elektromagnetu P a Q , jímž prochází stejnosměrný proud. Úchytky paprsku RS z rovnovážné polohy fotografovány byly komorou K skrze horizontální šterbinu.



Obr. 6.

2. Oscillografy.

Pro elektrotechnické zkoušení strojů na proudy střídavé, transformátorů, obloukových lamp a pod. má veliký význam vynález oscillografů, t. j. strojů, které s dostatečnou (technicky) přesností zaznamenávají skutečný časový průběh okamžitých hodnot proudových nepřetržitě a to v době identické s trváním periodického děje.

Nejstarším oscillografem jest *W. Thomsonův „siphonrecorder“*,²²⁾ který byl sestaven jako přijímací apparát pro telegrafii kabelovou. Pohyblivou částí tohoto receptoru byl sole-noid otáčivý mezi póly silného elektromagnetu; proud zkoumaný veden do pohyblivé cívky, která pákovým zařízením spojena byla s násoskou dvojrannou, ponořenou kratším koncem do barevného roztoku. Delší konec násosky zapisoval pohyby sole-noidu na papír hodinovým strojem odvíjený.

²²⁾ *E. Mascart a J. Joubert, „Electricität u. Magnetismus“ 2. 227.*

Rekorder Thomsonův nebyl sestrojen k účelům grafického studia střídavých proudů, jím měl býtí zaznamenán pouze směr proudu a kratší neb delší jeho *trvání*. Typ tohoto stroje stal se však základem pozdějších oscillografů.

André Blondel ²³⁾ vypracoval r. 1893 theorii oscillografů a sestrojil tři různé typy těchto strojů dle různé úpravy jich pohyblivé části. Oscillograf jest v podstatě galvanometrem, jehož pohyblivá část oscilluje synchronně s proudem střídavým, který galvanometrem prochází a jehož úchytky jsou v každém okamžiku úměrny okamžité intenzitě proudu střídavého. Značí-li x úchytku galvanometru v čase t , K moment setrvačnosti pohyblivé části galvanometru, p moment útlumu, D direkční sílu a i intenzitu proudu, jest

$$K \frac{d^2x}{dt^2} + p \frac{dx}{dt} + Dx = qi,$$

kde q značí dynamickou konstantu galvanometru.

Všeobecné řešení této rovnice pro úchytku ballistickou podal *Dorn* ²⁴⁾ a *Diesselhorst* ²⁵⁾. *Blondel* ²⁶⁾ aplikoval poprvé tuto rovnici pro oscillografy, t. j. předpokládal K a p velmi malé a hledal jak se liší úplný integrál hořejší rovnice

od částečného $x_0 = \frac{qi_0}{D_0}$ rozvinutím funkce i v řadu Fourierovu.

Pro jednoduchost předpokládejme, že proud oscillografem studovaný jest jednoduchý proud sinusový, tedy

$$i = \sin 2\pi nt,$$

kde n značí frekvenci proudu. Řešení hořejší rovnice poskytuje pak výsledek

²³⁾ *A. Blondel*, C. R. 116. 748. 1893 a 116. 502. 1893. Viz též článek: „Sur l'inscription directe des Courants variables“ v Rapports présentés au Congrès International de Physique réuni a Paris en 1900. Svazek III. 264. 1900.

²⁴⁾ *E. Dorn*, Wied. Ann. 17. 654. 1882.

²⁵⁾ *H. Diesselhorst*, Drud. Ann. 9. 712. 1902.

²⁶⁾ *A. Blondel*, C. R. 116. 748. 1893.

$$x = \frac{q}{\{D - 4\pi^2 n^2 K\}^2 - 4\pi^2 n^2 p^2} \left\{ (D - 4\pi^2 n^2 K) \sin 2\pi nt \right. \\ \left. - 2\pi np \cos 2\pi nt - \frac{n}{m} \left(D - 4\pi^2 n^2 K - \frac{p^2}{2k} \right) e^{-\frac{p}{2k} t} \sin 2\pi mt \right. \\ \left. + 2\pi n p e^{-\frac{p}{2k} t} \cos 2\pi mt \right\}$$

$$\text{při čemž } 2\pi m = \sqrt{\frac{D}{2k} - \left(\frac{p}{2k}\right)^2}.$$

Kdyby kmitání oscilografu bylo působeno pouze proudem, bylo by

$$x_0 = \frac{q}{D} \sin 2\pi nt.$$

Počítáme-li relativní rozdíl obou úchylek a zavedeme-li do výrazu pro x podmínku, že $K \doteq 0$ a $p \doteq 0$ jest

$$\frac{x - x_0}{x_0} = \frac{-n \cdot e^{-\frac{p}{2k} t} \sin 2\pi mt}{m \sin 2\pi nt}.$$

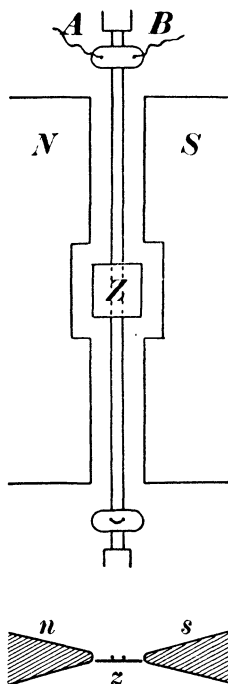
Poněvadž m z hruba určuje kmitočet suspense, ukazuje se z hořejší rovnice důležitá podmínka pro konstrukci oscilografů, *n má býti proti m malé*. Vedle toho stane se koeficient $e^{-\frac{p}{2k} t}$ tím menší čím bude p proti k větší, čili čím mohutnější bude útlum.

K těmto základním podmínkám přistupují ještě tyto tři další.

Samoindukce stroje má býti tak malá, aby se jí nepozměňoval proud studovaný, podobně hysterese a proudy Foucaultovy nemají se vyskytovat. Mimo to má býti stroj dostatečně citlivý, čemuž lze vyhověti, vzhledem k podmínkám hořejším pouze nepatrnými rozměry pohyblivých částí.

U *bifilárního* oscilografu (viz obr. 7.) jest pohyblivou částí smyčka AB z tenkého drátku měděného, na jejíž středěu připevněno jest lehounké zrcátko Z . Smyčka visí v poli silného elektromagnetu NS , jehož póly mají tvar plochých, trojbokých hranolů uprostřed pro zrcátko Z vybraných.

Tento typ oscilografů značně byl zdokonalen *Duddelem*²⁷⁾, který místo drátu měděného použil tenkého proužku fosforové bronzi, jež vedl od svorek na dolejší části (u *C* v obr. 7.) přístroje umístěných přes kladku, která u *AB* visela na pružné spirále, tak že napjetí a tím také oscillace smyčky bylo možno regulovati až k frekvenci 10.000 za sec. Aby útlum vlastního pohybu smyčky byl co možná velký, nalézala se střední část



Obr. 7.

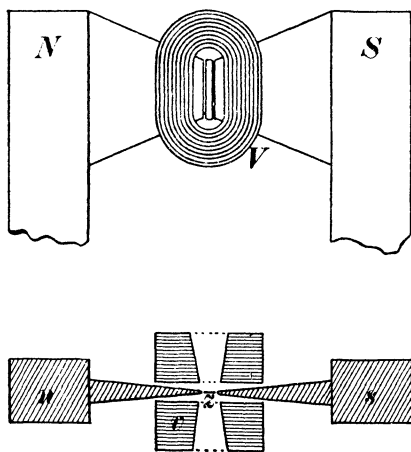
smyčky obsažená v poli elektromagnetu v lázni oleje rycinového.²⁸⁾

²⁷⁾ *A. Duddell*, Journal of the Instit. of Electrical. Eng. 28. 8. 1899.

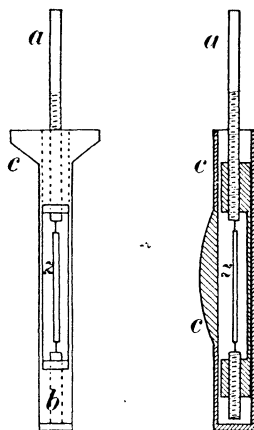
²⁸⁾ Cambridgeská Scientific Instrument Comp. vyrábí oscilografy Duddelovy ve dvojí úpravě, jednak s frekvencí 2000 pro účely demonstrační, jednak s frekvencí 10.000 pro proměřování křivek proudových.

Aby se daly pozorovati zároveň křivka potencialných diferencí a křivka intenzit, umístěny jsou u oscillografu Duddelova *dvě* smyčky vedle sebe, jedna pro proud příčný (intenzitu) druhá pro proud odvětvený (potenc. diferencí). Mezi oběma malými zrcátky těchto smyček umístěno jest pevné zrcátko, které stanoví rovnovážnou polohu.

K pozorování křivek proudových nutno spojení oscillační pohyb zrcátek oscillografu s příčným nějakým pohybem, který by pohyb smyčky oscillografu časově rozvinul. Užívá se tu s výhodou rotujícího zrcadla, které ještě při studiu periodických úkazů proudových uváděno v pohyb synchronním motorem.



Obr. 8.



Obr. 9.

Křivky proudové lze pak buďto promítati na stěnu zvětšené nebo je v malém formátu fotografovati na film odvíjející se synchronním motorem.

Zavede-li se do elektromagnetu oscillografu místo proudu stejnoměrného proud střídavý, lze oscillografem studovati graficky průběh křivek udávajících pracovní intenzitu stroje.²⁹⁾

A. Wehnelt³⁰⁾ upravil dvojitý oscillograf Duddelův pro

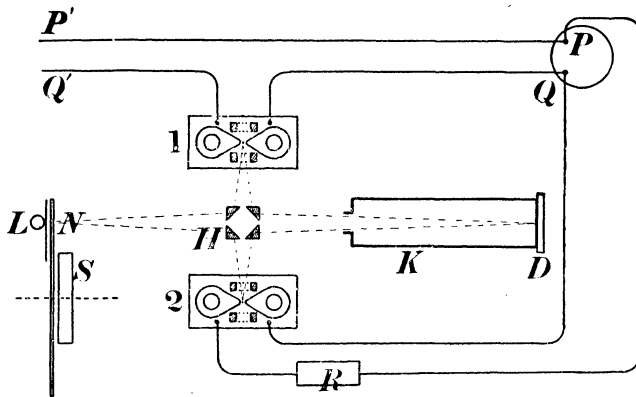
²⁹⁾ Podrobnosti a vyobrazení Duddelova oscillografu viz též v *Nature* 63. 142. 1900.

³⁰⁾ A. Wehnelt, *Ber. d. D. Physik. Ges.* 5. 178. 1903.

účely projekční. Smyčka toho oscillografu jest z tvrdého drátu stříbrného, časové rozložení periodického průběhu děje se rotujícím zrcadlem.

Druhým typem oscillografu Blondelova jest přístroj, jehož pohyblivou částí jest tyčinka měkkého železa malých rozměrů, umístěná v poli silného elektromagnetu a dvou solenoidů.

V obr. 8. nakreslen jest v hořejší části nárys, v dolejší půdorys sestavení elektromagnetů a solenoidů.



Obr. 10.

Elektromagnet NS dává stálé pole magnetické, v němž u Z postavena jest malá železná tyčinka zrcátkem opatřená. Podrobnosti úpravy této tyčinky patrný jsou z obr. 9., z něhož je patrné, že lze tyčince z udělití různé napjetí (šroubkem a) a že ji lze obklopiti kapalinou. Proud, který má býti oscillografem zkoušen, zavádí se do cívek V , jichž osa míří kolmo k silokřivkám elektromagnetu.

Úpravu dvou takovýchto oscillografů pro fotografický záznam jak křivky proudové tak křivky napjetí ukazuje obr. 10.

Proud, který má býti zkoušen, vychází od svorek $P'Q'$ a vykonává práci v zařízení PQ . Přímou vede se tento proud oscillografem 1 pro křivku proudovou, v odvětvení pak rheostatem R do oscillografu 2 pro křivku napjetí.

Zrcátka oscillografů osvětlují se lampou L , umístěnou za štěrbinou vertikální, již prochází světlo na desku otáčející se.

motorem S , který je synchronním s dynamem, jehož proud zkoumáme.

Deska N obsahuje řadu štěrbin radialních, kterými se světlo propouští na system čtyř hranolů H , tak že paprsky od zrcátek oscilografů odražené vrací se k hranolům a těmi se odrážejí do fotografické komory K na citlivou desku D .

Třetím typem oscilografu Blondelová jsou stroje, jichž pohyblivou částí jest jediný úzký proužek napjatý vertikálně v magnetickém poli silného elektromagnetu. Dle Blondela lze u tohoto systému docílit 40—50 tisíc vlastních vibrací v sekundě, tak že přesnost zápisu křivek proudových jest dokonalá.

Citlivost Blondelových oscilografů s frekvencí 12—15 tisíc kmitů za sek. jest asi 0.6—1.0 mm úchyly na škále 1 m vzdálené pro proud 1 milliampère.

Na str. 236 stala se zmínka o rozkladu složitých periodických proudů na jednoduché proudy sinusové. Úlohu tuto lze velmi rychle provést pomocí oscilografu. *Armagnat*³¹⁾ ukázal, jak lze tu zjednodušit starší nepřímou metodu *Pupinovu*³²⁾ a jak zvláště výhodným jest spojení dvou oscilografů.

3. Rheograf.

Z uvedené theorie oscilografů vychází, že stroje tyto jen s větší neb menší přesností reprodukují skutečný průběh momentních hodnot střídavého proudu. Základní obtíž jest současně vyplnění podmínek *veliké frekvence* pohyblivé části přístroje s *malým momentem setrvačnosti* a podmínek *citlivosti* přístroje.

Zajímavým způsobem odstranil tuto obtíž *Abraham*.³⁴⁾ Proud proměnné intensity J , který měl býti zkoumán, přeměněn byl v rheografu na proud intensity i a to tak, aby

$$K \frac{d^2x}{dt^2} + p \frac{dx}{dt} + Dx = qi$$

$$i = K_0 \frac{d^2J}{dt^2} + p_0 \frac{dJ}{dt} + D_0 J$$

³¹⁾ *H. Armagnat*, *Éclair. élect.* 30. 373. 1902.

³²⁾ *Pupin*, *Beibl. z. d. Ann. d. Phys.* 17. 969. 1893.

³³⁾ *H. Armagnat*, *J. de Phys.* 4. 345. 1902.

³⁴⁾ *H. Abraham*, *Buletin de la Société Internationale des Électriciens* 1897.

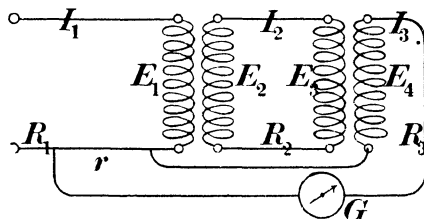
a zároveň

$$\frac{K_0}{K} = \frac{p_0}{p} = \frac{D_0}{D},$$

tak že úchylka x byla vždy přesně úměrnou intenzitě J .

Podmínek hořejších dosaženo užitím čtyř elektromagnetů, jichž schematické sestavení ukazuje obr. 11.

Proud, který má býti zkoumán, prochází prvním elektromagnetem E_1 , kterým se indukuje v kruhu E_2E_3 proud J_2 .



Obr. 11.

Proud tento indukuje pak v E_4 proud J_3 . Kruh tohoto proudu obsahující galvanometr připojen jest na odpor r zkoumaného proudu.

Vliv vlastních kmitů lze regulováním přístroje (vzájemných indukci, odporem R_3) úplně vymýtiti, tak že doba kmitová pohyblivé části rheografu může býti 0·1 sek.

Na snadě jest myšlenka spojení výhody rheografu s výhodami oscillografu, užití tedy místo galvanometru G oscillografu smyčkového, který může pak při menší vlastní frekvenci býti velmi citlivé zařízen.

(Dokončení.)