

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Stanislav Petíra
O Pupinově telefonii

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 34 (1905), No. 3, 301--314

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121159>

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>

O Pupinově telefonii.

Podává

Stanislav Petíra,

professor c. k. státní průmyslové školy na Smíchově.

Úspěchy, jichž bylo docíleno vynálezem telegrafu a telefonu, jakož i důležitost přístrojů těch hlavně v životě praktickém, jsou s dostatek známy, takže netřeba se o nich šířiti. Rovněž však známo, že v příčině vzdálenosti, až do které možno hlas lidský telefonem přenášeti, existují jisté meze, a že úkol, vzdálenost tu zvětšiti, jest spojen s nemalými obtížemi. Hlavní z obtíží, jež se vyskytují při telefonii (i telegrafii) do velké dálky pomocí střídavých proudů nebo rychlých impulsů elektrických, jest škodlivý účinek elektrostatické kapacity, a to jak u dlouhých vedení ve vzduchu známým způsobem umístěných (vedení vzduchových), tak zejména u kabelů.

Šíření se elektrické vlny vodivým drátem pozůstává v neustálé přeměně elektrokinetické energie v energii elektrostatickou a magnetickou. Čím větší je kapacita vedení, tím větší jest též intensita proudů nabíjejících, vznikajících při této přeměně, a tím ovšem větší jsou i ztráty energie Jouleovým teplem. A škodlivý účinek kapacity je tím větší, čím vyšší je frekvence střídavých proudů vedením probíhajících. Proud vyšší frekvence se vedením více zeslabí než proud o frekvenci malé. Aby se toto rozptylování energie podél vedení zmírnilo, nutno při rostoucí délce vedení a rostoucí kapacitě průřez vedení rychle zvětšovati, čímž se arcíř zase výnosnost nadmíru rychle umenšuje.

Jest však ještě jiná cesta, na níž lze mnohem levněji působiti proti škodlivému vlivu kapacity. Ta pozůstává v tom, že se postaráme, aby se hromadění energie dělo z větší části ve formě energie magnetické, čehož se docílí dostatečným zvýšením *samoindukce* vedení. Takto zvýšená impedance značně srazí intenzitu uvedených škodlivých nabíjejících proudů a tím i ztráty tepelné, a to tím více, čím více se zvýší samoindukce ve vedení.

Již dříve bylo známo, že zvýšení samoindukce vedení, která sama o sobě jest malá, má příznivý vliv na přenášení.

Tak r. 1899 poukázal Wietlisbach na základě úvah theoretických správně na nadměru příznivý účinek zvětšení samoindukce, kteroužto chtěl způsobiti užitím železných drátů. Pozoruhodno však jest, že zavrhoval Wietlisbach právě onen prostředek, kterým brzy na to americký professor *Pupin* na Columbia-universitě docílil skvělého výsledku. Bylo arciž na snadě způsobiti zvýšení samoindukce vedení obalením měděného vodiče železem nebo jinou látkou paramagnetickou; avšak pokusy tímto směrem podniknuté, — jak níže shledáme — jakož i jednoduché výpočty theoretické poučily o tom, že takto zvýšená samoindukce daleko nemůže kompensovati škodlivý vliv kapacity kabelů.

Za to mnohokrátě většho zvýšení samoindukce docíliti lze snadno způsobem *Pupinovým*, když na různých místech vedení přerušíme a zařadíme cívky o velké samoindukci. Pupinovi náleží zásluha, že princip teorií dříve poznány učinil vhodnou volbou prostředků upotřebitelným k velkým účelům technickým. Při tom v mnohém směru theorii rozšířil a hlavně udal — jak shledáme — pravidlo, dle něhož možno určití míru souhlasu mezi vedeními se stejnoměrně a přetržitě rozloženými vlastnostmi elektrickými. Způsob Pupinův má však též tu eminentní výhodu, že se kapacita vedení nezvyšuje, čemuž se při spojitě rozdělené samoindukci naprosto nelze vyhnouti. Ačkoliv se již před Pupinem Heaviside a S. P. Thompson podobným úkolem zabývali, nedovedli výpočtem docíliti zlepšení; teprve Pupin udal ideu, na základě které možno samoindukci cívek a jich vzdálenost tak rozměřiti, že škodlivé odrazy vln se odstraní a jen žádaný účinek samoindukce nastane. A okolnost ta jest nad jiné důležitá; neboť nesprávně zařazené cívky mohou způsobiti i značné zhoršení místo zlepšení. Tato okolnost pak měla za následek, že pokusy konané před uveřejněním theorie Pupinovy zůstaly bezvýslednými nebo vedly k výsledku zápornému.

V následujícím chceme podati přehled jak úvah theoretických, jimiž Pupin k výsledku svému dospěl, tak i zmíniti se o pokusech, kterými názory Pupinovy došly skvělého potvrzení. Osvědčila se i na vynálezu Pupinově známá zkušenost — jako u četných případů jiných —, jak důležitou a mocnou pákou pro řešení úkolů praktických jsou správně odvozené a praksi přizpůsobené úvahy a výpočty theoretické.

Každé vedení elektrické, na př. vzduchové vedení nadzemní z měděného drátu, má vedle elektrostatické kapacity též jistý odpor a jistou samoindukci, kteréžto tři okolnosti mají na průběh elektrického proudu důležitý, arcí škodlivý vliv. K překonání tohoto jest vnější síle elektromotorické konati trojí práci, která se jeví jako teplo (odpor) a jako hromadění energie v poli magnetickém (samoindukce) a elektrickém (kapacita). Theorie průběhu proudu byla hlavně v druhé polovici minulého století různými badateli studována a to hlavně ve spojení s novým rozvojem v telegrafii, telefonii a přenášení elektrické síly pomocí střídavých proudů.



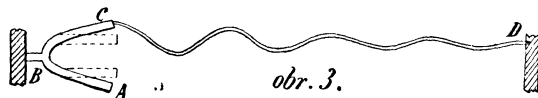
obr. 1.

Aby tyto pochody elektrické učinil názornějšími, zvolil Pupin za příklad ladičku, jejíž kmity se přenášejí na těžkou pružnou napiatou strunu (obr. 1.). Rozechvěje-li se ladička trvale,



obr. 2.

uvede i strunu ve chvění; perioda kmitů struny souhlasí nezávisle na vlastnostech struny s periodou ladičky (kmity vynucené). Při dosti malých vnitřních i vnějších odporech vytvoří se na struně — je-li její délka vhodně volena —, stojaté vlny, jak obr. 2. znáz. () ii z ladičky vycházející a vlna



obr. 3.

v *D* odražená interferují. Vlna šíří se od začátku až ke konci v téže síle. Jsou-li však vnitřní i vnější odpory větší, takže ich nelze zanedbati, vznikne postupující vlna tlumená (obr. 3.).

Odporů následkem tření totiž způsobují, že amplitud od C ku D ubývá. Vlna odražená je slabší než vlna přímá, a nemůže proto interferencí vzniknouti vlna stojatá určitého tvaru (s pevnými uzly), nýbrž tvar vlny se neustále mění; proto obr. 3. představuje tvar struny v určitém okamžiku. Za předpokladu pak, že při takovémto chvění odpor v tření jest úměrný rychlosti, dává theorie výsledek, že útlum, t. j. poměr dvou po sobě následujících amplitud, jest konstantní.

Útlum a délka vlny daná rychlostí šíření se charakterizují určitý pohyb vlnivý. Obě veličiny závisí na hustotě a napětí struny, na odporech v tření a na frekvenci. Čím větší jest napětí, tím větší je ceteris paribus rychlost postupná a tudíž při dané frekvenci i délka vln. Velmi důležitá jest závislost tlumení na hustotě struny: čím hustší struna (na př. drát platinový oproti hliníkovému), tím menší je tlumení. Specificky těžší struna přenáší tudíž vlny silněji než struna specificky lehčí. Mimo to budiž ještě uvedeno: Pochod chvění pozůstává v po sobě následujících přeměnách energie kinetické (jakožto energie pohybu hmoty struny) a energie potenciální (energie deformace struny). Při těchto přeměnách ztrácí se část energie následkem tření jako teplo, kterážto ztráta jest úměrna čtverci rychlosti (jsou-li odpory následkem tření vznikající úměrný rychlosti). Odtud plyne dále, že při n^2 -násobné hmotě elementu struny přenáší tento stejnou energii kinetickou, avšak s n^2 -kráte menší ztrátou. Jest tudíž ztráta vzniklá přeměnou v teplo přibližně obráceně úměrna hustotě struny.

A nyní možno přejíti k šíření se vln elektrických v dlouhém vedení drátovém, jehož jeden konec jest spojen se zdrojem jednoduchých vln harmonických, druhý pak se zemí. Analogie je zde úplná, třeba ovšem různé veličiny mající vliv na chvění a tvar struny zaměnití příslušnými veličinami elektrickými: odpor vedení odpovídá tření ve vzduchu u struny, samoindukce hmotě, reciproká hodnota kapacity napětí.

Právě tak jako možno strunou velké hustoty — jak uvedeno — energii mechanickou lépe přenášeti, zrovna tak přenáší vodič o velké samoindukci elektrické vlny lépe než o samoindukci malé, jelikož onen může určitou energii magnetickou nahromaditi při menší intenzitě proudu než tento.

Pro správné dorozumívání se telefonem jest ovšem důležité, aby při vlnách šířících se podél drátu, bylo tlumení co nejmenší. Konstanta tlumení α dána jest výrazem :

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} pC [\sqrt{p^2 L^2 + R^2} - pL]},$$

kdež jsou L , R , C hodnoty samoindukce, odporu a kapacity pro jednotku délky, $p = \frac{2\pi}{T}$, je-li T perioda elektromotorické síly.

Ze vzorce toho vyplývá, že s rostoucí samoindukcí zmenšuje se tlumení; stane-li se podíl $\frac{pL}{R}$ velkým proti 1, stává se tlumení nezávislým na frekvenci p . Má tudíž vedení se samoindukcí vedle zmenšení tlumení ještě tu právě pro telefonii důležitou výhodu, že veškeré v hlase lidském se vyskytující frekvence přibližně stejnou měrou se zeslabí — a tato okolnost jest právě pro čistotu přenášení řeči velkého významu —, kdežto ve vedení bez samoindukce je zeslabení tím větší, čím je vyšší frekvence.*)

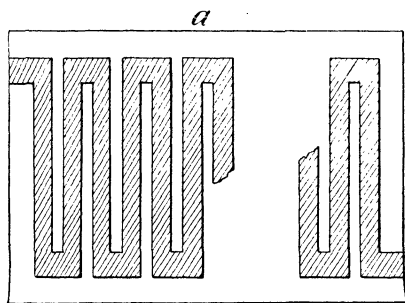
Přikročme nyní k experimentálním pracem Pupinovým. Okolnost, že při přenášení střídavých proudů na velké vzdálenosti má samoindukce příznivý vliv, byla — jak již svrchu uvedeno — známa před Pupinem. Avšak nerozřešenou zůstala otázka, jak nutno stavěti vedení s velkou samoindukcí. Otázku tu rozřešil Pupin theoretickými úvahami a stvrdil své vývody pokusy na umělých vedeních.

Nejlépe by ovšem bylo, rozložití za příčinou zmírnění tlumení samoindukci zcela stejnoměrně asi tím způsobem, že obklopíme drát železem. Bohužel má však tento železný obal za následek nepříznivý vliv na druhý faktor, důležitý pro šíření se vln, totiž na kapacitu, čemuž při zařazení samoindukčních cívek tak není. Pupin shledal ze srovnávacích pokusů, že se nejlépe vyhoví praktické potřebě, když se cívky samoindukční umístí

*) *Pupin* dokázal výpočtem pro vzdálenost Nový York-Boston, že při frekvenci 3000 period za vteřinu se tlumení tak zmenší, že telefonické dorozumění se jest možné; avšak frekvence ta jest dle všeobecného náhledu daleko vyšší než nejvyšší frekvence, jaká se vyskytuje při telefonickém přenášení mluvy lidské.

dle určitého zákona stejnoměrně ve vedení a sice vedle sebe s vedením.

Cívky nutno užiti tolik, aby na délku vlny nejvyššího tonu, který jest přenášeti, připadlo ještě několik cívek, jinými slovy: Od místa k místu zařazená samoindukce sníží jen tehdy konstantu tlumení, je-li vzdálenost cívek zlomkovou částí délky vlny přenášené. A to je vlastní jádro systému Pupinova. Při tom arcif musí býti splněna podmínka, aby Ohmův odpor cívek nezvýšil podstatně odpor vedení.

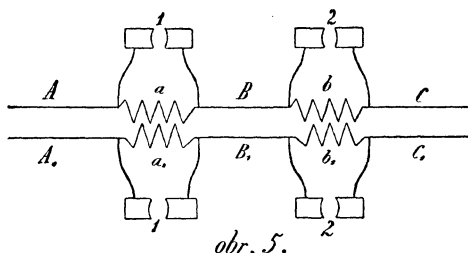


obr. 4.

Pupin sestrojil různé modely umělých vedení se zařazenými samoindukcemi; nejlépe se osvědčil tvar následující: Vedení skládalo se z pěti skříňů, z nichž každá odpovídala 80 km (50 angl. mil) dvojitého kabelu telefonního. Každá skříň složena byla z 50 pododdělení, jedno takové znázorňuje obr. 4. Na každé straně listu *a* z paraffinovaného papíru nalepena byla vrstva staniolu, která byla naznačeným způsobem rozřezána, takže vznikl pruh odporu asi 9 ohmů. Oba pruhy tvořící vedení mají vzájemnou kapacitu 0·074 mikrofaraď a znázorňují tak telefonní kabel asi 1 angl. míle. Zařazení jich vysvítá z obrazce 5. Velká písmena označují části vedení dvojitého, malými písmeny označeny cívky, jež byly bez železa (s dřevěným jádrem). Jednotlivé části kabelu možno spojití pomocí kolíčků v místech 1, 2 atd. přímo, anebo možno zařaditi cívky.

Samoodukce cívek byla pro každou 0·030 Henry *) a vzájemná indukce 0·028 Henry.

Na tomto kabelu konány četné pokusy dorozumívání se, jimiž theoretické úvahy Pupinovy byly úplně potvrzeny. Nejlépe nám vše objasní několik příkladů číselných. Byly-li samooduk-



obr. 5.

ční cívky krátce spojeny, bylo dorozumění dobré do vzdálenosti 50 angl. mil, při 100 mílich obtížné, při více než 112 mílich vůbec nemožné. Po zařazení cívek do vedení bylo možno přes celý kabel velmi dobře mluvíti a se dorozuměti.

Pupin ustanovil, jak dalece vedení s cívkami samoodukčními souhlasí v příčině účinnosti s vedením, při němž odpor, samoodukce a kapacita jsou rozděleny stejnoměrně, a shledal, že až do 3500 period jeví se souhlas až na 1%. Podobnost obou vedení vyjádřiti lze poměrem

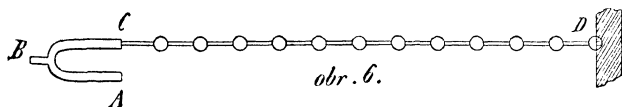
$$\sin \frac{\pi}{n} : \frac{\pi}{n},$$

je-li n počet cívek připadajících na délku vlny.

Celou věc možno názorně vysvětliti uvedenou již analogií struny. Umístíme-li na struně stejnoměrně (ve stejných vzdálenostech) stejné hmoty (obr. 6.) a chvěje-li se ladička tak, že v zatížené struně vznikne vlna, jejíž délka je rovna nebo větší než vzdálenost CD , bude chvění struny zatížené až na 1% totéž

*) 1 Henry = $\frac{1 \text{ Volt} \times 1 \text{ vteřina}}{1 \text{ Ampère}}$; jest to samoodukce proudového kruhu, v němž se buď elektromotorická síla 1 Volt, mění-li se v něm intensita za 1 vteřinu o 1 Ampère.

jako chvění homogenní struny stejné délky a hmoty a stejného napětí a tření. Mechanické chvění takové struny jest přesným obrazem chvění elektrického v přirozeném vedení, jehož samoindukce byla zařazením cívek vhodně umístěných zvýšena.



obr. 6.

Nemalé důležitosti pro praxi jest otázka, mají-li cívky býti hotoveny ze železa anebo bez něho. Ačkoliv by v prvém případě byly cívky jednak menší, jednak lacinější, přece vzhledem ke škodlivým účinkům vznikajícím hysteresí a proudy Foucaultovými osvědčily se lépe cívky dřevěné.

V dalším ukazuje Pupin, jakým způsobem si třeba vésti, aby se vypočítal pro určité vedení — ať vzduchové nebo kabel — jak počet cívek, které třeba do vedení zařaditi na délce jedné vlny, tak i samoindukce jejich.

Vynálezu Pupinova lze užiti nejen při telefonii a telegrafii, nýbrž i při přenášení síly elektrické pomocí proudů střídavých.

Správa německých říšských pošt a telegrafů zavedla vynález Pupinův v praxi, vyzbrojivši vzduchové vedení Berlín-Děvín (150 *km*) a kabelové vedení Berlín-Postupim (32·5 *km*) cívkami samoindukčními dle vzoru Pupinova. O pokusech na těchto vedeních v příčině přenášení mluvy, jakož i o měřeních na nich konaných pojednávají *Dolezalek* a *Ebeling*. Již hned prvními pokusy shledáno, že při témž nákladu možno na větší než čtyřnásobnou vzdálenost oproti vedení bez samoindukce se dorozuměti. Nyní docíleno toho, že lze i na velké vzdálenosti (na př. Paříž-Petrohrad nebo Berlín-Londýn) zjednati velmi dobré spojení telefonické.

Z pokusů Dolezalek-Ebelingových budiž krátce aspoň výsledek sdělen. Vedení kabelové (Berlín-Postupim) skládá se z 28 dvojitých vedení 1 *mm* silného drátu měděného. Na 14 z nich konány pokusy se soustavou Pupinovou, ostatních 14 zůstalo ve stavu původním. Tato okolnost byla nadmíru důležitá, poněvadž bylo umožněno přímým srovnáním obou vedení

získati jasný obraz o zlepšení. Mimo to bylo možno několik žil zařaditi za sebou, čímž docíleno zvětšení délky vedení. Cívky samoindukční byly umístěny ve vzdálenostech 1300 *m*, každá z nich měla odpor 4:1 ohmu a samoindukci 0·062 Henry. Výsledky byly překvapující. Kdežto při vedení normálním (na vzdálenost 32·5 *km*) bylo ve vzdálenosti půl metru od přístroje přijímacího rozuměti, bylo u vedení vyzbrojeného cívkami zřetelně slyšeti ve vzdálenosti 10 *m* od přijímače na opačném konci místnosti. Zvýšena-li délka vedení (zařazením za sebou) na 162·5 *km*, mohlo u vedení normálního pouze cvičené ucho poznati, že se membrana telefonu ještě pohybuje, tedy dorozumění naprosto přestalo, za to u vedení dle systému Pupinova bylo dorozumění velmi zřetelné; síla zvuku v tomto případě byla přibližně taková jako u vedení obyčejného při délce vedení pouze 32·5 *km*. Celkem bylo ještě na vzdálenost 422 *km* dorozumění možné. Pozoruhodným jest též výsledek, že docíleno bylo na 1 *mm* silném vedení kabelovém se systémem Pupinovým stejné síly zvuku jako na 2 *mm* (tedy při čtyřnásobném průřezu) vedení volném stejné délky.

Podobně pokusy konané na vedeních volných vedly k zajímavým výsledkům. Srovnávána dvě vedení (Berlín-Děvín), z nichž jedno 2 *mm* silné mělo délku 150 *km* a bylo opatřeno cívkami, druhé 3 *mm* silné 180 *km* obyčejné. Cívky (60 ohmů, 0·08 Henry) umístěny ve vzdálenostech po 4 *km*. Síla zvuku byla nyní u vedení armovaného (2 *mm*) značně větší než u obyčejného silnějšího (3 *mm*), kdežto jinak tomu bylo naopak.

Vedle těchto pokusů — kvalitativních — konána též v obou případech měření proudu střídavého na konci vedení vystupujícího. Souhlasně s výsledky telefonem získanými shledán proud na konci kabelu s cívkami mnohem silnější než u kabelu normálního. Rozdíl ten pak rychle roste s délkou vedení. Tak na př. při vzdálenosti 32·5 *km* jest proud na konci vedení kabelu Pupinova sedmkrát větší než u obyčejného; při vzdálenosti 97 *km* je dokonce přenášení řeči v kabelu Pupinové 48-krát lepší než v obyčejném (měl-li proud počáteční 900 period za vteřinu). Podobně shledán při vedení volném ve vzdálenosti 150 *km* proud konečný více než čtyřikrát větší u Pupinova vedení. Z dalších měření vyplývá ještě, že lze s Pupinovou soustavou docílití téže

účinnosti čtvrtinou váhy mědi nebo při stejné váze překonati vzdálenost čtyřnásobnou.

Z měření týkajících se vlivu vzdálenosti cívek dlužno uvést, že i zde theoretické výpočty byly úplně stvrzeny. Od jisté vzdálenosti cívek počínaje klesá intenzita konečného proudu velmi náhle, a to mnohem silněji než kdyby cívky nebyly vůbec zařazeny; neboť nastává odraz vln na cívkách. Ukázalo se zjevně, že při méně než 2—3 cívkách na délce vlny dosáhne se účinku právě opačného než jaký byl zamýšlen.

Ve výsledcích, jež jsme krátce uvedli, lze viděti bezpečný důkaz, že zařazování cívek samoindukčních do telefonických vedení na dálku dle soustavy Pupinovy lze docílití teorií vyžadovaných účinků též prakticky, což arcíř znamená v telefonii značný pokrok; neboť tímto vynálezem pošinut problem telefonie transatlantické aspoň do říše možností.

Jako však žádný výkon ducha lidského nebývá dokonalým, tak našel i při soustavě Pupinově, jinak pokusy osvědčené a stvrzené, *Breisig* nedostatek, jímž praktické užití systému toho nabývá důležitého omezení. Pupinův výraz určující konstantu tlumení neobsahuje totiž veličinu, jež může mít vliv na průběh proudu; veličinou tou jest vodivost izolujícího materiálu; neboť materiál ten není nikdy naprostým izolátorem, a na tuto nedokonalost izolace vedení elektrického neběře ohledu systém Pupinův. Zavedením vodivosti A pozmění se tvar vzorce pro konstantu tlumení na:

$$2\alpha^2 = \sqrt{(A^2 + p^2C^2)(R^2 + p^2L^2)} - (p^2CL - AR).$$

Jednoduchým výpočtem vyplývá, že konstanta tlumení pro určitou hodnotu samoindukce L , danou hodnotami veličin C , R , A a nezávislou na periodě, jest minimem. To znamená, že pro určitý počet period docílí se nejmenšího možného tlumení, a to pro případ, že

$$L = \frac{CR}{A}.$$

Konstanta tlumení klesá tak dlouho, ale jen tak dlouho, dokud platí nerovnost

$$L < \frac{CR}{A},$$

po překročení hodnoty té opět stoupá. Případ vyjádřený vztahem

$$A : C = R : L$$

vyjadřuje přesně takový stav vedení, při němž proudy všech period tlumí se stejně silně.

Z toho vysvítá, že vodivost izolace má zde důležitou vlastnost, omezujíc přidávání samoindukce k vedení na určitou míru. Dle Breisiga lze pak pro každé vedení nadzemní a pro každou danou izolaci udati krajní hodnotu délky vedení, při níž lze ještě užití soustavy Pupinovy. Tato největší délka má, je-li izolace pro *km* 1 megohm — a tuto hodnotu lze již považovati za velmi dobrou hodnotu průměrnou —, tyto hodnoty:

pro bronzový drát 2 mm silný:	612 km,
" " " 3 " "	932 " ,
" " " 4 " "	1220 " .

Ze svých vývodů pak usuzuje Breisig, že bude nutno izolaci vedení nadzemních oproti nynějšímu stavu postatně zlepšiti. Bude-li to však trvale možno, o tom může teprve zkušenost poučiti, zrovna tak jako o tom, budou-li vedení dle systému Pupinova zbudovaná více neb méně citlivými oproti změnám izolace vznikajícím změnou počasí než vedení obyčejná.

Obraz o pokusech zdokonalení telefonie na dálku nebyl by úplný, kdybychom se nezmínili o jednom ještě způsobu, který měl též účel jako Pupinův, avšak snažil se ho docílití jinou cestou. Byl zhotoven telefonní kabel (Düsseldorf-Elberfeld), jemuž ke zvýšení schopnosti dorozumívací mělo se dostatí při malé kapacitě určité samoindukce, a to jednak zachováním určité vzdálenosti mezi oběma žilami každého páru, jednak — a to hlavně — tím, že dráty měděné byly spirálovitě a izolované ovinuty dráty železnými a na to obaleny papírem. V této okolnosti právě spočívá podstatný rozdíl oproti soustavě Pupinově. Kdežto u této byla samoindukce umístěna odděleně na různých místech, byla vedení druhého systému opatřena samoindukcí naprosto stejnoměrně po celé délce vedení rozdělenou. Pokusy konané na tomto kabelu, o nichž podává zprávu Breisig, vedly

k výsledkům velmi uspokojivým. Celkem se ukázalo, že i zde jest to zvýšená samoindukce, která dorozumívání telefonem zřejmě zlepšuje a mluvení na velké vzdálenosti umožňuje; výsledky ty získány srovnáním účinnosti vedení železem obalených a neobalených. Konána též měření za tím účelem, by se rozhodlo, účinkuje-li ovinutí jednotlivých žil železným drátem pouze mechanicky jako izolace nebo účinkuje-li též současně magneticky. Pokusy pak shledáno, že není to vzdálenost jednotlivých žil kabelu, která přispívá ke zvýšení samoindukce, nýbrž především a hlavně železo.

Podobné povahy jsou též pokusy *Krarupovy*, zjednati kabel pro telefonování do dálky co možná vysoké indukce ovinutím jemným drátem železným. *Krarup* přimlouvá se za budování podmořských kabelů dle toho principu. Z pokusů jeho buďtež krátce uvedeny výsledky, které jsou nové pro praktickou techniku mluvení do dálky. Kdežto u kabelů bez železa nebo se společným obalem (jako se děje u dosavadních podmořských kabelů) jest samoindukce pro jednoduchá vedení větší než pro dvojitá, jest tomu u kabelů s obalem železným kol každé žíly naopak. Zvětšení samoindukce pocházející od železného obalu jest pro dvojitá vedení dvakrát větší než pro jednoduchá. A tato samoindukce roste v rychlejším poměru než váha železa, je-li magnetický oběh více uzavřen. Jemný, hustě vinutý drát velké permeability značně předstihuje pruh železný. Doporučuje tudíž *Krarup* na základě výsledků měření vlastních a *Breisigových*, na kabelech dle uvedeného principu konaných, sestrojiti kabel podmořský se železným drátem, ačkoliv dosud se nenaskytla příležitost prakticky kabel této soustavy vyzkoušeti.

Uvedené dva způsoby, zdokonaliti telefonické dorozumívání do dálky, totiž jednak pomocí stejnoměrně rozdělené samoindukce, jednak pomocí samoindukce na různých místech ve vedení umístěné zmenšiti tlumení vln proudových, prodělávají boj o to, který z obou způsobů se v praxi lépe osvědčí. V příčině té poučným je článek *Dolezalek-Ebelingův*, v němž pojednáno o měřeních konaných na kabelech se stejnoměrně nepřetržitě rozdělenou samoindukcí. Pro naše pojednání má důležitost ona část, kde srovnány jsou účinnosti obou druhů kabelů. Hlavní přednost soustavy *Pupinovy* záleží — jak již uvedeno — v tom,

že zařazením cívek nezvýší se kapacita kabelu, čemuž u kabelů s obalem železným se nelze vyhnouti. Následek toho ovšem jest, že u kabelů s obalem jsou pro tlumení dány jisté meze, které nelze překročiti, nemá-li nabytí vrchu škodlivý vliv zvýšené kapacity. Mimo to lze touže vahou železa získati při užívání cívek neobyčejně vyšších hodnot indukce než při kabelech s obalem.

Nejlépe lze poznati převahu kabelu Pupinova oproti kabelu s obalem železným z některých číselných dat, jež uvádějí Dolezalek a Ebeling. Pro kabel (papírový) s drátem 1 mm silným a při vzdálenosti žil 3 mm jest nejvyšší možná samoindukce pro km dvojitého vedení 0·046 Henry. Kapacita pro kabel s obalem je 0·0310, pro kabel bez obalu 0·0155 mikrofaraď pro km. Zařadí-li se do kabelu bez obalu ve vzdálenostech 1 km malé cívky samoindukční o samoindukci pouze 0·1 Henry při 2 ohmech odporu, obnáší samoindukce pro 1 km dvojitého vedení 0·2 Henry. Konstanta tlumení jest pro kabel s obalem 0·018, pro kabel s cívkami však 0·0066, tudíž asi třikrát menší než nejpříznivější hodnota kabelu s obalem. Při tom třeba uvážiti, že uvedenou samoindukci kabelu s cívkami možno ještě značně zvýšiti a tím konstantu tlumení snížiti. Vedle toho padá na váhu, že kabelem Pupinovým lze docíliti třikrát větší vzdálenosti než kabelem s obalem. Přednost kabelu Pupinova vyplývá též z následujícího. Aby se kabelem obalovým docílilo samoindukce 0·2 Henry (jako u Pupinova), musela by vrstva železná obnášeti 23·5 mm, čímž by každá žíla nabyla průměru 48 mm. Pak by ale tenký železný drát vážil asi 170 g pro km dvojitého vedení. Avšak i k získání nejpříznivější hodnoty indukční, totiž 0·046 Henry, bylo by třeba 38 kg drátu železného pro km vedení dvojitého, kdežto váha vodiče samého obnáší pouze asi třetinu, 14 kg. U kabelu soustavy Pupinovy třeba k docílení 0·2 Henry, tedy k získání čtyřikrát větší samoindukce, pouze 0·7 kg železa a asi 0·4 kg mědi. Čísla tato nejlépe objasňují přednosti systému Pupinova; neboť nejen, že účinnost jeho je mnohem větší, nýbrž i náklad na takový kabel jest kromobyčejně menší, což ovšem padá v první řadě na váhu.

Výsledek, který možno z krátkého vylíčení odvoditi, jest, že lze sice pro praktickou telefonii voliti dvě cesty, aby se

účinnost přenášení a tím i vzdálenost akce telefonu zvětšila, že však v každém ohledu nepopíratelné výhody a přednosti má soustava Pupinova. Pokud uvedených method bude možno užití též při telegrafii, bude záviset na užitém systému telegrafickém, a budoucnost teprve rozhodne o vhodnosti neb nevhodnosti method těch.*)

O tepelném záření.

Napsal

Dr. Frant. Závíška,

assistent české university.

Přiblížíme-li k sobě dvě tělesa různé teploty, pak, jak známo, počnou se ihned tyto vyrovnávat, těleso teplejší chladne, těleso studenější se zahřívá, a rovnováha tepelná nastane teprve tehdy, až obě tělesa dosáhnou stejné teploty. Je-li celý systém tepelně izolován, takže ani z venčí teplo nepřijímá ani sám na venek teplo nevysílá, jest tato rovnováha stabilní, neboť kdyby se porušila, musilo by jedno těleso se zahřívati na účet druhého, což bez nákladu mechanické práce není možno. Toto sdílení tepla může se dít cestou rozmanitou. Jsou-li obě tělesa přímo ve styku, anebo jedná-li se o dvě části téhož tělesa, jež jsou na různé teploty, šíří se teplo *vedením*; v kapalinách a plynech přistupuje k tomu za vhodných okolností i proudění hmoty samé, částice zahřáté vstupují do výše a na místo jich přicházejí částice studené, čímž se šíření tepla ovšem podporuje — zjev ten nazýváme *konvekcí* tepelnou. V obou těchto případech sprostředkují sdílení tepla částice materiální. Ale teplo přechází od tělesa teplejšího k studenějšímu

*) Podrobnější vylíčení obsahují tyto články:

Br., Elektrotechn. Zeitschr. sv. 23. str. 700. 1901.

F. Breisig, ibid. str. 1029 a 1046.

C. E. Krarup, ibid. sv. 23. str. 344. 1902.

F. Dolezalek a A. Ebeling, ibid. str. 1059.

F. Dolezalek a A. Ebeling, ibid. sv. 24. str. 770. 1903.

L. Reilstab, Physik. Zeitschr. sv. 4. str. 217. 1903.