

Antonín Svoboda

Výklad a demonstrace elektromagnetických kmitů a vln

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 67 (1938), No. Suppl., D143--D147

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/120805>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1938

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>

Výklad a demonstrace elektromagnetických kmitů a vln.

Antonín Svoboda, Prachatice.

Elektrické kmity lze výhodně a žákům snadno pochopitelně uvést analogií s mechanickými kmity hmotné koule na pružné spirále:

Mechanické kmity jsou podmíněny dvěma činiteli: Setrvačností hmotné koule a pružností spirály. Při kmitech elektrických je setrvačnost ekvivalentní samoindukci. Obě představují odpor proti změnám. Pružnosti spirály odpovídá zase elektrické pole kondensátoru. Spojením těchto ekvivalencí vyplyne, že vznik elektrických kmitů vyžaduje samoindukční cívky a kapacity kondensátoru.

Tuto dedukci lze verifikovati jednoduchým pokusem: Proud ze sekundární cívky induktoru, jehož primár je napájen proudem čtyřvoltového akumulátoru, vedme k pólům Hotzovy trubice (se dvěma rameny). Výboj prochází jedním z nich; jestliže polaritu zaměníme, prochází výboj druhým ramenem a pokaždé lze rozeznati charakteristické zbarvení kolem elektrod, na znamení, že prochází proud stejnosměrný.

Vepneme-li však mezi póly trubice a sekundární cívky leydské lahve, prochází výboj současně oběma rameny trubice a charakteristické zbarvení na elektrodách zmizí na znamení, že proud je rychle střídavý, póly se rychle mění a jedná se tedy o elektrické kmity. Samoindukci obstarává sekundární cívka induktoru.

Přímý důkaz oscilačního charakteru výboje kondensátoru podáme snadno miliampermetrem, který má nulu na kraji stupnice, nabijeme-li kondensátor kapacity asi $12 \mu\text{F}$ na 120 V.

Vybíjíme-li jej cívkou (12.000 závitů se železným jádrem přes mavometr), ukážeme (nejlépe v projekci) asi 3 tlumené kmity, jichž doba kmitová je delší 1 sek. Totéž uspořádání umožní i demonstraci výboje aperiodického, nahradí-li se cívka odporem ohmickým asi $\frac{1}{2}$ megaohmu.

Mnohem zřetelněji vynikne střídavý ráz výboje, máme-li k dispozici oscilograf, jehož opatření, přes jeho poněkud vyšší cenu, pro jeho všestranné použití i v jiných oborech fyziky vřele doporučuji. Oscilografem můžeme žáky přesvědčiti o střídavém charakteru jiskrového výboje, o závislosti doby kmitové na L a C a podmínkách aperiodicity.

Nepřímý důkaz střídavého charakteru lze podati známým pokusem o impedanci jediného závitu, která je větší, než značný ohmický odpor žárovky. Tento zjev dokazuje, že frekvence kmitů je velmi značná, poukážeme-li na známý výraz $\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$, vyjadřující impedanci.

Vedle demonstraací s oscilografem je nejpřesvědčivějším důkazem kmitavého charakteru výboje okruhu samoindukce — kapacita (tedy „kmitavého okruhu“) možnost jeho transformace; pokusy s Teslovým transformátorem, k němuž aparatura bývá ve všech, i v průměrně vybavených kabinetech a pokusy jsou všeobecně známy. Vynikají značnou efektností a žáky neobyčejně zaujmou.

V dalším bude nám třeba užívat i a měnit frekvenci kmitů, což povede ke vzorci Thomsonovu $T = \text{konst} \sqrt{LC}$, který lze zhruba odvodit opět z analogie s kmity mechanickými: Zavěsme opět pružnou spirálu se závažíčkem a uveďme ji do podélného kmitání. Nyní položme žákům otázku, jak změnit dobu kmitovou. Možnosti jsou dvě: Buďto změnou setrvačné hmoty závaží, což u kmitů elektrických odpovídá změně samoindukce, nebo použitím jinak pružné spirály, tedy změnou kapacity.

Přesné odvození vzorce Thomsonova je také velmi snadné, ale předpokládá předchozí výklady o zdánlivých odporech kapacitivních a induktivních v kapitole o střídavých proudech.

Nejpříznivější ovšem pro nás bude, dovolí-li úroveň žáků po stránce matematické odvodit jejich význam jako vektorů; neboť v tom případě lze velmi snadno stanovit už uvedený výraz pro impedanci a hlavně lze matematicky ukázat případ resonance:

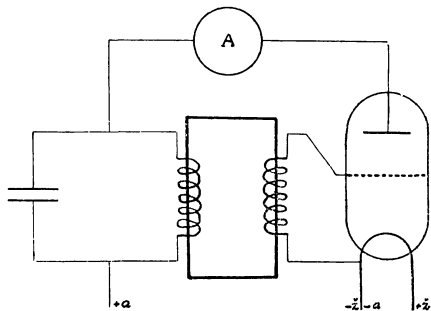
Je-li kmitový okruh složen ze samoindukce a kapacity, spojených v serii, je celkový odpor, kladený střídavému proudu dán výrazem (na ohmický odpor nehledě) $L\omega - 1/\omega$, který za resonance je roven nule. Z rovnice $L\omega - 1/\omega = 0$ plyne pro ω hodnota $\omega = 1 : \sqrt{LC}$, neboli $T = 2\pi\sqrt{LC}$, kterýžto vzorec můžeme uvést i v úplný souhlas se známou rovnicí pro pohyb harmonický $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{P/y}}$. Pišme jej ve tvaru $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{1/C}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{VQ}}$, kde V značí potenciální rozdíl a Q množství na deskách kondensátoru; tedy samoindukce odpovídá hmotě a napětí, přepočtené na jedničku, množství, síle přepočtené na jedničkovou elongaci.

Pomocí známého vztahu $\lambda = c/f$ mezi délkou vlny a frekvencí lze při známé rychlosti $c = 300\,000$ km/sek. a délce vlny libovolné stanice počítati frekvenci v její anteně. Pomůckou tu může býti jedno číslo Radiojournalu a obráceně z počtu udaných kilocyklů počítati délku vlny.

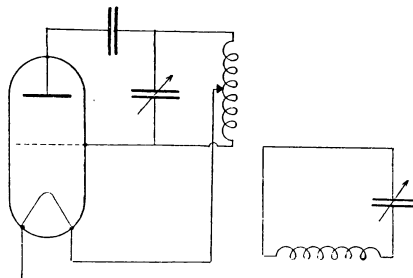
Konečně bude nutno vyložiti význam resonance obou kmitavých okruhů, což lze, jak se ostatně většinou děje, vyložiti analogií s resonancí dvou ladiček; je tu jen třeba zdůrazniti, že druhá ladička kmitá kmitky vynucenými, je-li naladěna na stejný kmitočet s prvou. Přejít k resonanci kmitavých okruhů nejsrozumitelněji

na vyšším stupni provedeme pouhým poukázáním na nutnost vztahu $f_1 = f_2$ a tedy $L_1C_1 = L_2C_2$.

Pokusnou verifikaci těchto vztahů provedeme nejvýhodněji pokusem Lodge-ovým, k němuž aparatura jest i v kabinetech malých ústavů. Při tom uvádíme do resonance 2 okruhy sestavené ze stejných leydských lahví a samoindukce jediného závitu (čtvercového s posuvnou příčkou). U některých, zvláště starších souprav, bývá proměnná kapacita lahví, ale prvý případ je ke školním pokusům svou názorností vhodnější. Uvedeme-li oscilátor do kmitání (připojením na sekundár induktoru), ladíme resonátor proměnou



Obr. 1.



Obr. 2.

samoindukcí a tento se ozve, až se tato shoduje se samoindukcí oscilátoru. Potom skutečně jest $L_1C_1 = L_2C_2$.

Neopomeňme se zde právě zmíniti, že úplně na stejném principu spočívá ladění domácích přijimačů radiových. Změnou kapacity otočným kondensátorem při stálé samoindukci měníme f a tím ladíme na délku vlny vysílací stanice.

Nejefektivnější a nejinstruktivnější jsou však pokusy s netlumenými kmity. Jejich generátorem bude trioda, jejíž mřížka je induktivně spřažena s kmitavým okruhem samoindukce — kapacita, který je v okruhu anodovém. Proto nutno provést včas výklady o teorii elektronových lamp.

Kmitavý okruh sestavíme z proměnné kapacity a samoindukce. Kapacitu možno sestaviti v sádku lístkových kondensátorů, paralelně spojených v rozsahu od 1—12 μF .

Samoindukci obstará cívka o velikém počtu závitů (na př. 12000). Tato budiž induktivně spřažena s mřížkou triody a v jejím anodovém okruhu vepjat citlivý ampérmetr s otáčivou cívkou, aby reagoval na směr kmitů (obr. 1).

Kmitavý okruh dává pomalé kmity, na něž mechanismus galvanometru stačí reagovati. Při 120 V anodového napětí začne

jeho ručička volně kývati. Rychlost kmitů možno regulovati změnou kapacity (vyjímáme jednotlivé bloky) nebo samoindukce (posunujeme jho na transformátoru), čímž můžeme přijíti k frekvenci, na niž galvanometr nestačí reagovati a ručička zůstává na nule. V tom případě možno galvanometr nahraditi amplionem, jenž na kmity reaguje výškou tónu.

Stejně lze velmi názorně podobnou aparaturou demonstrovati princip vysilače a přijímače, ovšem na krátkých vlnách.

Generátorem bude opět trioda (RE 134 nebo TB 04/10), tentokrát v trojbodovém zapojení je připojen kmitavý okruh proměnné kapacity (otáčivého kondensátoru) a samoindukce (asi 10 závitů silnějšího drátu). Okruh rozkmitáme na maximum. Indikátorem může býti žárovka kapesní svítilny se svorkou přiletovanou k závitům (obr. 2). Tímto oscilátorem můžeme opakovati pokus o impedanci a, spráhneme-li galvanicky s vysilačem asi 1 m dlouhou cívku ($d = 2$ cm), předvedeme snadno Seibtovy pokusy, jimiž ukážeme, že napětí a proud jsou posunuty o $\frac{1}{4}$.

Stejně, jako tento vysilač, sestavíme přijímač. Umístěn v malé vzdálenosti od vysilače, reaguje citlivě vyladován (na př. kondensátorem) na kmity vysilače: Žárovka, na jeho samoindukci naletovaná, při příznivé kapacitě se náhle rozsvítí, kdežto žárovka vysilače ztlumí. Vkládáním desek z různých materiálů (plech, sklo, dřevo) mezi vysilač a přijímač můžeme názorně demonstrovati jich vliv na šíření vln.

Značnou názorností a proto velkým významem pro vyučování vynikají experimenty s vlnami ultrakrátkými, kde možno žákům přiblížiti a demonstrovati pojem délky vlny, tuto dokonce pomocí zjištěných uzlů měřiti. Stejně jednoduše lze ukázati vliv dielektrika (obyečně vody) na délku vlny.

Generátorem ultrakrátkých vln je opět trioda v trojbodovém zapojení. Abychom dosáhli co možná nejmenší hodnoty součinu LC , bude nutno voliti za samoindukci pouze jediný závit. Kapacitou nám bude kapacita lampy. Přívody na katodu a na mřížku dlužno chrániti před kmitáním tlumivkami (asi o 20 závitech). Anodové napětí i v tomto případě záleží na užití lampě. S touto aparaturou provedeme na př. známý pokus Lecherův:

Kmity tohoto vysilače zachycujeme přijímačem vhodně přizpůsobeným: jediný závit (s naletovanou objímkou pro žárovku kapesní svítilny) připojíme na dva rovnoběžné a izolovaně napjaté dráty několik metrů dlouhé, jež možno šroubovými nosiči upevniti jedním koncem na př. na katedře, druhým na zadní lavici posluchárny. Dlužno pečlivě vyšetřiti vazbu. Oba dráty spojíme nakrátko (na př. drátem přes ně položeným). Tímto volně posouváme od začátku, při čemž v určitých polohách se žárovka na závitě rozsvítí. Takových míst najdeme na drátech několik (podle jejich délky),

a vzdálenost sousedních dvou udává poloviční délku vlny. Podobně neonovou lampičkou možno nalézt kmitny napětí, jež se shodují s uzly intensity na důkaz fázového rozdílu obou.

Jiný, stejně pěkný pokus možno provést s dipolem, t. j. otevřeným oscilátorem, který opět opatříme žárovkou. Pokud možná opatříme si k němu ramena proměnné délky (na způsob zasouvacích nožek fotograf. stativu). Jeden takový dipol umístíme do blízkosti vysilače a upravme vazbu a délku ramen, aby žárovka svítila. Podobný dipol s izolovaným držátkem uprostřed chopme do ruky a, pohybujeme-li se s ním směrem od prvního, rozsvítí se v některých místech žárovka (v kmitnách), jsou-li jeho ramena rovnoběžná s prvním.

S podobným, ale kratším dipolem se přesvědčíme o vlivu dielektrika na délku vlny. Vložme jej do válce s vodou; pohybem válce od vysilače docílíme opět toho, že se jeho žárovka rozsvítí, ale při dipolu kratším vzhledem k dielektrické konstantě vody.

* * *

Uvedl jsem část pokusů, jež považuji za nejinstruktivnější z těch, které jsme konali v oktávě Jirsíkova gymnasia v Čes. Budějovicích při výkladech o elektromagnetických vlnách a mohu říci, že jejich úspěch odmění učitele za námahu a čas, vynaložené na jejich přípravu, neboť jsou z oněch pokusů, které vyžadují předchozí pečlivé přípravy nejvíce.

Aparatura je sice nákladnější,*) ale tam, kde dostatečná dotace kabinetu dovolí, jest její pořízení nutností, neboť zmíněná partie je aktualitou fyziky poválečné.

Barkhausenův efekt.

Dr. Kliment Šoler, Čes. Budějovice.

Nízkofrekvenční lampový zesilovač jest dnes v praktickém životě i ve škole věc zcela běžná. Pro fysika plynou z toho dvě výhody. Především má v ústavě nebo přímo ve fysikálním kabinetě pomůcku, která mu dovoluje ukázat pokusně některé nové věci, které by jinak mohl vyložit pouze čistě teoreticky. Okolnost, že nízkofrekvenční lampový zesilovač jest žákům — jako předmět denní potřeby — věcí zcela běžnou, pak dovoluje, abychom takové pokusy užívající nízkofrekvenčního zesílení konali i tehdy, když vlastní funkce elektronové lampy a tudíž i činnost zesilovače

*) Fysma, Praha II, Žitná 25, vypracovala soubor pro výklady o elektromagnetických vlnách upravený vhodně pro střední školy.