

Časopis pro pěstování matematiky a fyziky

Václav Petržílka

Popis aparatury pro buzení velmi krátkých, netlumených
elektromagnetických vln

Časopis pro pěstování matematiky a fyziky, Vol. 59 (1930), No. 2, D1--D8

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/122741>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1930

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>

hein
Hollmann
u. Ref.
1161

VÁCLAV PETRŽÍLKA:

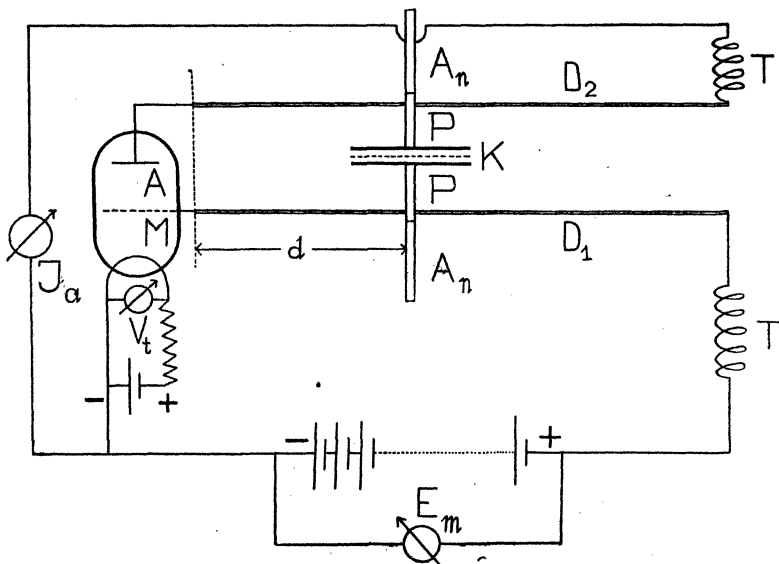
Popis aparatury pro buzení velmi krátkých, netlumených elektromagnetických vln.

Velmi krátkých elektromagnetických vln užíval při svých klasických pokusech již Hertz (Wied. Ann. sv. 31, 1887, str. 421 Ges. Werke, sv. II., str. 184.), který pracoval s vlnami řádově 1 *m* dlouhými. Nevýhodou Hertzových oscilací byla ta okolnost, že to byly oscilace tlumené.

Proto od té doby, co elektronová lampa docházela stále většího a většího rozšíření, projevila se snaha užití elektronové lampy k získání velmi krátkých, netlumených elektromagnetických vln celou řadou prací. Přehled všech těchto různých metod podal v Časop. pro pěst. mat. a fys. dr. J. Sahánek v práci „O netlumených vlnách Hertzových“, roč. 54., (1925), str. 361. Zatím co se vyskytly obtíže v získání netlumených, elektromagnetických vln kratších 1 *m*, buzených v Meissnerově generátoru se zpětnou vazbou, podali Barkhausen a Kurz novou metodu (s užitím elektronové lampy) pro buzení velmi krátkých, netlumených vln, kterou bylo možno velmi snadno získati vlny kratší jednoho metru. A právě aparatura Barkhausen-Kurzova je velmi vhodná k demonstrování celé řady krásných Hertzových pokusů, jak to popsal před časem dr. R. Šimůnek v Rozhledech mat.-přír. roč. I., (1922), str. 52 v článku „Hertzovy pokusy“.

Přes to bych rád popsal v tomto článku experimentální uspořádání metody Barkhausen-Kurzovy, které provedl Hollmann a popsal v Ann. d. Phys. sv. 86, (1928), str. 129, a to z následujících důvodů. Předně proto, že metoda sama je velmi jednoduchá, snadno reprodukovatelná a dává v uspořádání Hollmannově daleko větší energie než v původním uspořádání Barkhausen-Kurzově. V důsledku své jednoduchosti je to aparatura velmi laciná, takže i na středních školách lze si ji opatřiti a prováděti s ní základní pokusy Hertzovy, zvláště také z toho důvodu, že lze užití k topení lampy i k mřížkovému napětí městského střídavého proudu (120 resp. 220 Volt, jak v dalším bude podrobně popsáno). Pokusy Hertzovy s aparaturou Hollmannovou byly demonstrovány při universitních přednáškách prof. Žáčka; experimentální uspořádání, kterého bylo při tom užito a které je zvláště vhodné pro demonstrační pokusy přednáškové, bude v následujícím popsáno.

Výklad metody a vzniku oscilací. Schema aparatury Barkhausen-Kurzovy pro vysílání krátkých elektromagnetických vln v úpravě Hollmannově je patrné z obr. 1. Elektronová lampička s třemi elektrodami s válcovitou anodou se topí akumulátorovou baterií (ku př. 10 Volt), topné napětí měříme voltmetrem V_t . Na mřížku M a anodu A této lampičky je připojen systém dvou paralelních drátů D_1 a D_2 , který je přemostěn kondensátorem K kapacity ca 500 cm, kterým lze po drátech posunovati. Anoda A je



Obr. 1.

připojena přes drát D_2 , tlumivku T a miliampermetr J_a se záporným pólem topné a mřížkové baterie o napětí $E_m = 120$ až 300 Volt. Positivní pól této baterie spojíme přes tlumivku T s mřížkou M .

Tím jsou dány podmínky pro buzení elektrických oscilací velmi vysoké frekvence podle Barkhausena a Kurze; jejich vznik (nasazení) ukáže anodový proud J_a , který měříme miliampérmetrem, zařazeným do anodového kruhu. Jejich existenci ve vzdálenosti několika metrů zjistíme krystalovým přijímačem.

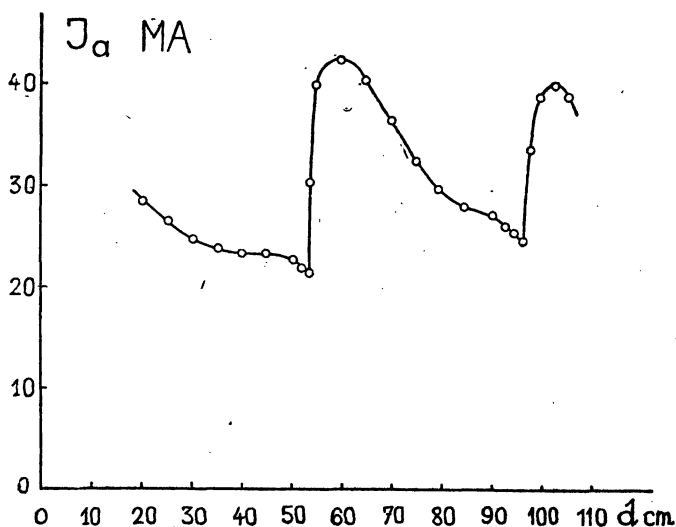
Dříve však než podám popis mechanického uspořádání vysílače i přijímače, zmínil bych se rád o zjevech, souvisejících těsně s Hollmannovou úpravou Barkhausen-Kurzovy aparatury, a podal jejich aspoň stručný výklad.

Barkhausen a Kurz ukázali ve své práci (Phys. Ztschr., sv. 21, 1920, str. 1), že vlnová délka oscilací buzených popsáním uspořádáním nezávisí na oscilačním systému připojeném mezi anodou

a mřížkou (t. j. na jeho vlnové délce), nýbrž že závisí pouze na mřížkovém napětí vztahem

$$\lambda = \frac{1000 d_a}{\sqrt{E_m}} \quad (1)$$

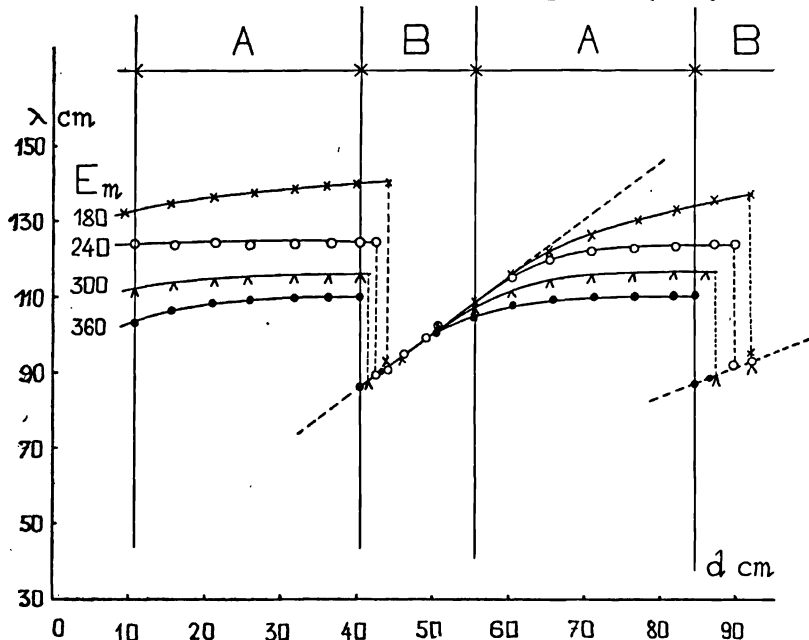
kde λ vlnová délka, E_m mřížkové napětí, d_a průměr válcovité anody. Gill a Morell (Phil. Mag. sv. 44, 1922, str. 161), kteří pokusy Barkhausenovy opakovali, tvrdili pravý opak, totiž že vlnová délka závisí na naladění oscilačního systému mezi anodou a mřížkou. Hollmann, který užil uspořádání právě popsaného, ukázal, že je pravda na obou stranách.



Obr. 2.

Měníme-li polohu kondensátoru K tak, že jím posunujeme směrem od lampy po systému paralelních drátů, mění se anodový proud v závislosti na vzdálenosti d kondensátoru K , měřené od přívodů k lampě, jak ukazuje obr. 2., převzatý z práce Hollmannovy. Anodový proud, který zprvu klesá, naskočí velmi rychle pro $d = 53$ cm k maximu, za kterým zvolna klesá, aby znovu při $d = 96$ cm úplně stejně velmi rychle stoupl k novému maximu stejného charakteru. Již tato křivka svým tvarem, který je velmi odlišný od normálního tvaru rezonančních křivek, nám ukazuje, že se zde nemůže jednat o pouhé naladění připojeného systému, nýbrž že se zde jedná o zjev komplikovanější. Že tomu tak je, o tom nás poučuje obr. 3., který nám znázorňuje závislost vlnové délky (kterou měříme Lecherovým systémem) na vzdálenosti d

kondensátoru K od lampy. Z těchto křivek je patrné, že zde existují vedle sebe dva druhy oscilací a sice v oboru „A“ oscilace nižší frekvence, v oboru „B“ vyšší frekvence, při čemž přechod z oboru „A“ do oboru „B“ se děje skokem, kdežto v opačném směru spojitě. Charakteristický rozdíl obou druhů oscilací spočívá v tom, že „A“ oscilace na vnějším připojeném systému vůbec nezávisí, naproti tomu frekvence „B“ oscilací je dána jediné připojeným systémem.



Obr. 3.

Z toho plyne, že „A“ oscilace jsou oscilace ve smyslu Barkhausen-Kurzové (v dalším BK oscilace označované), kdežto „B“ oscilace jsou totožné s oněmi, které poprvé pozorovali Gill a Morell (a které budeme nazývat GM oscilacemi).

Jedná se nyní o to, jak si vznik oscilací a zjevy pozorované Hollmannem vyložíme. Pokud se týče „A“ oscilací, t. j. BK oscilací, podali již sami autoři výklad a rovněž Hollmann podepřel svá pozorování teorií; jejich vývody podám tak, jak to autoři sami učinili.

V důsledku toho, že Barkhausen a Kurz udržují mřížku na vysokém pozitivním potenciálu, začnou elektrony, vystupující z vlákna, vykonávat kmitavý pohyb kolem mřížky. Neboť elektrony emitované vláknem a přitahované mřížkou proletí mřížkou, zabrzdí se před anodou (která má nulový potenciál nebo je záporná)

a vrací se působením mřížky opět k vláknu, načež se děj periodicky opakuje. Některé z těchto elektronů dopadnou na anodu, některé na mřížku a způsobují tak anodový resp. mřížkový proud. Aby ovšem na venek se mohl tento kmitavý pohyb určitým způsobem projevit, je třeba učiniti předpoklad, že pohyb elektronů se děje „v jistém pořádku“, čili že elektrony kmitají synchronně a ve stejné fázi; jakožto příčinu tohoto uspořádaného pohybu udávají Barkhausen a Kurz jejich vzájemné ovlivňování. Potvrzení své teorie vidí Barkhausen a Kurz v tom, že vlnová délka, pro niž za určitých předpokladů odvodili vzorec (1), závisí pouze od rozměrů lampy a napětí vloženého na její elektrody.

Zjevy, které pozoroval Hollmann při ladění vnějšího systému připojeného k lampě, a které graficky znázorňuje obr. 2. a 3., a tudíž i vznik GM oscilací vykládá Hollmann zpětným působením střídavých napětí (která vznikají na elektrodách) na pohyb elektronů. Za stejných předpokladů jako Barkhausen a Kurz vypočítává pro délku vlny GM oscilací následující formuli

$$\lambda = \frac{1000 \cdot \sqrt{E_m - E_0} \cdot d_a}{E_m - \frac{4E_0}{\pi^2}} \quad (2)$$

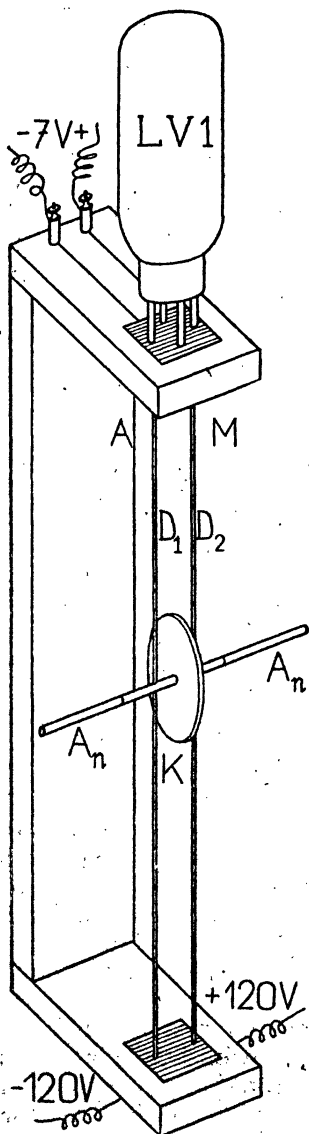
kde E_0 značí amplitudu střídav. napětí, které se překládá přes stejnosměrné napětí E_m , ostatní označení byla vyložena při vzorci (1). Nasazení GM oscilací lze si představit podle Hollmanna asi takto.

Předpokládejme, že vlna připojeného oscilačního systému je menší než vlna BK oscilací. Pak na elektrodách nevznikají žádná značnější střídavá napětí, která by ovlivňovala BK oscilace. Měníme-li nyní vlastní vlnu připojeného systému od kratších vln k delším, takže se blížíme vlně BK oscilací, vzrůstají střídavá napětí tak dlouho, až dosáhnou určitého napětí, zvaného „rozněcovací napětí“ (Anfachungsspannung), které způsobí (podle (2)) zkrácení budící BK vlny, čili přiblížení se k resonanci s vlastní vlnou systému. To má však za následek zesílení střídavých napětí na elektrodách, které způsobí nové zkrácení vlny atd., neboť obě veličiny na sobě závisí podle rezonanční křivky. Stabilního stavu je dosaženo tehdy, když vlna vznikajících oscilací je stejná jako vlastní vlna připojeného systému, neboť další zkracování vlny přes resonanci mělo by za následek zeslabení střídavých napětí. Z toho je patrné, že frekvence „ B “ oscilací čili GM oscilací je dána pouze vlastní vlnou vysokofrekvenčního systému a sleduje přesně ladění tohoto systému.

Leží-li naopak vlastní vlna oscilačního systému nad BK vlnou, pak vznikají sice v lampě při přibližování k resonanci také střídavá napětí, která mají však za následek zkrácení budící vlny a tudíž vzdálení od resonance (na rozdíl od předcházejícího případu). Proto blížíme-li se k budící vlně od delších vlastních vln

systému, pak je *BK* vlna poněnáhu zkracována. Tím vysvětluje Hollmann průběh křivky vlnových délek v závislosti na d (obr. 3.), který se děje skokem, blížíme-li se od kratších vln, a poněnáhlým přechodem, blížíme-li se od delších vln k vlně budící.

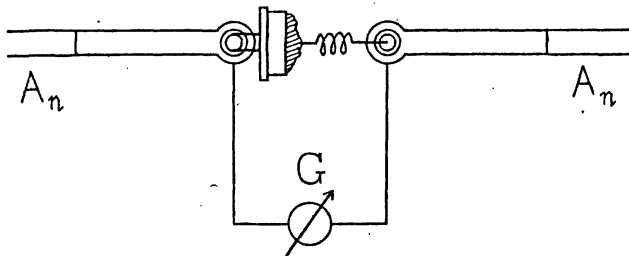
Popis experimentálního uspořádání. Skutečné mechanické provedení aparatury (znázorněné v obr. 1.), které bylo zhotoveno v mechanické dílně II. oddělení fyzikálního ústavu Karlovy university a s kterým byly při přednáškách pokusy demonstrovány, ukazuje obr. 4. Pro tyto pokusy se velmi dobře hodí elektronová lampa o třech elektrodách LV 1 fy „Elektra“ s normálním soklem a cylindrickou anodou (což je pro tuto metodu podstatné), jejíž osou jde topné vlákno. Anoda *A* a mřížka *M* této lampy jsou připojeny na systém dvou paralelních drátů měděných D_1 a D_2 , průměru 2 mm, které jsou dlouhé asi 1 až 1,5 m a od sebe vzdáleny 2 cm. Po těchto drátech se posunuje slídový kondensátor *K* (dva kruhové polepy v průměru 4 cm se slídovou vložkou 0,1 mm silnou jakožto izolátorem) o kapacitě ca 500 cm, který tvoří most pro vysokou frekvenci, takže jeho polohou je dána vlastní vlna tohoto vysokofrekventního systému. Přívody, k tomuto kondensátoru tvoří tyčinky *P*, které jsou provrtány a kterými procházejí dráty D_1 a D_2 tak, aby byl zaručen dobrý kontakt (který se může mimo to zajistiti ještě zvláštním mechanickým zařízením). Pokračování těchto tyčinek tvoří anteny A_n , které jsou seřazeny v sádce tyčinek 1, 2, 3, 5, 10, 15 cm atd. dlouhých a jsou upraveny tak, aby bylo možno jednu tyčinku do druhé lehce našroubovati a tím anteny A_n libovolně prodlužovati. Prodlužování antenek možno prováděti též tím způsobem, že tyčinky *P* volíme 30 resp. 40 cm dlouhé (podle toho, užíváme-li 220 resp. 120 Volt napětí na mřížce a je-li průměr anody ca 1 cm, viz formuli (1)) a na ně nasunujeme



Obr. 4.

na obou stranách těsně přiléhající trubičky ca 20 cm dlouhé a tím délku antenek měníme. Systém drátů i s kondensátorem upevníme na vhodný dřevěný podstavec (viz obr. 4.), přívody izolujeme pryží a dbáme toho, aby systém drátů byl od dřevěné stěny s ním rovnoběžně vzdálen 10 až 15 cm. — Tím je vyčerpán popis po stránce mechanické a jest třeba udati data elektrická.

Uvedená lampa se topí akumulátorovou baterií tak, aby její žhavicí napětí měřené topným voltmetrem V_t bylo 7 voltů (max. 7.5 volt), při čemž její topná intensita je asi 1.8 Amp. Mřížka lampy se dá na vysoké, stejnosměrné, pozitivní napětí (120 až 300 Volt), které přivádíme přes tlumící cívku T (která má zameziti vnikání vysokofrekventních proudů do přívodů) ke konci zmíně-



Obr. 5.

ného systému paralelních drátů (nebo též přímo ke kondensátoru K). Anodu lampy spojíme opět přes tlumivku, miliampérmetr, měřící anodový proud J_a , přímo se záporným pólem vlákna (nebo přes malé negativní předpětí max. 20 Volt).

Opatřiti si dostatečně vysoké *stejnosměrné napětí* bývá zvláště na středních školách velmi obtížné. Proto přichází velmi vhod ta okolnost, že lze na mřížce užívati *napětí střídavého*, které je dnes skoro v každém městě k dispozici. Na to poukázal svou prací Wechsung (Jahrb. d. dr. Telegr. sv. 32, 1928, str. 15 a 58). Kterýkoliv z přívodů vysokého *střídavého napětí* (120 resp. 220 Volt) připojíme k mřížce, druhý přívod k zápornému pólu topné baterie. V důsledku toho, že napětí na mřížce se uplatňuje při buzení oscilací pouze v oné půlperiodě, kdy mřížka je na pozitivním potenciálu, je vysílaná energie menší než při použití napětí stejnosměrného. Stačí však úplně k provádění všech popsaných pokusů.

Ba dokonce i k topení vlákna můžeme užiti *střídavého napětí*, které transformujeme vhodným transformátorem z napětí vysokého (na př. 120 Volt) na napětí nízké (na př. 10—20 Volt). K tomu potřebný transformátor lze si snadno v elektrotechnických závodech opatřiti.

Jakožto přijímače užijeme krystalového detektoru v jednoduché úpravě. Na konce zástrček pro krystalový detektor připojíme tyčinky, upravené stejně jako u kondensátoru K ve vysí-

lači, aby bylo možno sadou antenek A_n přijímač na vysílač naladiti (obr. 5.). Resonanci pozorujeme na galvanometru G (citlivosti řádu 10^{-7} Amp., po případě na zrcátkovém galvanometru, jedná-li se o pokusy demonstrační). Místo galvanometru G lze zapojiti paralelně k detektoru buď telefon nebo lampový zesilovač s amplicnem v tom případě, že do anodového kruhu vedle miliampermetru J_a zapneme malý induktor (asi takový, jakého se užívá k měření vodivosti elektrolytů), který nám anodový kruh periodicky přerušuje, anebo uijeme střídavého napětí, takže v telefonu posloucháme hluboký tón, jehož frekvence je dána frekvencí střídavého proudu.

Ke konci třeba se ještě zmíniti o naladění vysílače a přijímače, při čemž postupujeme takto: Předem nutno posunutí kondensátorem K tak, abychom se nacházeli v oboru GM oscilací, to jest tam, kde anodový proud J_a (který pozorujeme miliampermetrem v anodovém kruhu) a tudíž i vysílaná energie nabývá svého maxima, o což se nám právě jedná. Vedle toho působí zde příjemně i ta okolnost, že v oboru GM oscilací, čili „B“ oscilací (jak patrně z obr. 3.) je dána vlnová délka jediné vlastní vlnou připojeného systému, čili polohou kondensátoru K ; v důsledku toho uplatňují se v tomto oboru rušivé vlivy způsobené na př. kolísáním střídavého napětí v síti velmi nepatrně. Vykazuje tudíž pro experimentování úprava Hollmannova proti původní úpravě Barkhausen-Kurzově popsané drem Šimůnkem (l. c.) dvě přednosti: Větší energii a konstantnost oscilací. K zvýšení vysílané energie je ještě třeba naladiti antenky vysílače na vysílanou vlnu, čili prodloužití antenky A_n tak, aby jejich délka na obou stranách kondensátoru K byla táž a rovna $\lambda/4$. Za tím účelem nasadíme na vysílači a přijímači antenky přibližně podle toho, o jakou délku vlny se asi jedná (podle vzorce (1) vypočteme na př. 80 cm), a přiblížením přijímače k vysílači nastavíme na galvanometru G potřebnou výchylku. Nyní měníme délku antenek ve vysílači tak dlouho, až na galvanometru G najdeme maximální výchylku. Tím konstatujeme, že antenky vysílače jsou naladěny na vysílanou vlnu, čili že jsme ve vysílači dosáhli optimálních vysílacích podmínek pro dané poměry; zjistíme tak aspoň přibližně délkou antenek délku vysílané vlny. Jest tedy třeba naladiti ještě přijímač, čili měniti délku antenek v přijímači tak, až galvanometr G ukazuje opět maximum.

Pak jsou vysílače i přijímač v resonanci, a můžeme s tímto uspořádáním prováděti celou řadu krásných Hertzových pokusů, které popsal v citovaném článku dr. Šimůnek.

II. oddělení fyzikálního ústavu Karlovy university, Praha II., U Karlova 5.