

Elektromagnetické kmitání a vlnění

1) *Malý úvod a neb chvála analogií*

V této části jsou popsány některé pokusy, kterými je možno demonstrovat elektromagnetické kmitání a vlnění a jeho základní vlastnosti. Ačkoli se jedná o významnou část fyziky, se kterou se setkáváme v každodenní praxi jako uživatelé, na mnoha školách bývá opomíjena, a to z mnoha důvodů. Jedním z nich je možná i to, že se zde setkáváme s jevy, které jsou dosti komplexní a vyžadují velký stupeň abstrakce. Na druhou stranu mohou být pro žáky atraktivní právě pro jejich praktickou využitelnost.

Problémy s menší názorností elektromagnetických vln a kmitů je možné dosti omezit využitím **analogie s mechanickým kmitáním** a zejména **vlněním** (*vlna na vodě vs. vlna elektromagnetická*). I když se jedná jen o zjednodušený model, je představa elektromagnetických vln v analogii s vlnou na vodě pro žáky názorná a umožňuje jim lepší vhled do dané problematiky. Již z toho důvodu doporučujeme dané analogie hojně při zkoumání elektromagnetických kmitů a vln využívat. I když drtivou většinu elektromagnetického spektra nejsme schopni našimi smysly detekovat, je vhodné si neustále uvědomovat (a žákům zdůrazňovat), že jsme schopni detekovat (sice úzkou, ale pro nás důležitou) část celého spektra, a to okem. Ačkoli různé části elektromagnetického spektra mají svá specifika, mají stejnou podstatu, a tedy mnoho společných vlastností. **Je tedy vhodné využít znalostí žáků z optiky** a tyto znalosti jen rozšířit do oblastí pro naše oko nedetekovatelných. Na víc je třeba si uvědomit, že ani světlo nevidíme, pokud nedopadne do našeho detektoru, tedy oka, resp. na zdravou sítnici a vzniklý vzruch pak není náležitě zpracován mozkiem. Možná právě proto, že žáci „nevidí“ tuto souvislost a že většina studijních materiálů a školních vzdělávacích plánů se věnuje nejdříve pro nás neviditelným (a proto hůře uchopitelným) částem spektra, není tato kapitola běžnými studenty (ale ani učiteli) příliš oblíbená a je vnímána jako poměrně složitá. Pravda, ani u nás tomu nebude jinak 😊. Nicméně o to více bychom rádi předem zdůraznili výše uvedené souvislosti a analogie, tedy to, že se zde budeme zabývat (zjednodušeně řečeno) **neviditelným „světlem“, „neviditelnými“ vlnami a „neviditelnými“ kmity**, které se pokusíme zviditelnit pro lidské oči.

Viditelnou oblast přenecháme optice, která je součástí Praktik školních pokusů I, nicméně zde zařazujeme nejen pokusy s „delšími“ elektromagnetickými vlnami, které se užívají ve sdělovací technice (patří do oblasti radiového spojení a již klasických školských pokusů, bohužel však s méně dostupnými pomůckami), ale i pokusy s mikrovlnami (mikrovlnka) a základními pokusy s IR a UV zářením. Pro úplnost zařazujeme i základní seznámení s gama zářením prostřednictvím soupravy Gama-Beta.

Ještě jednou zdůrazněme význam analogií a modelů, které pomohou nejednomu z našich žáků proniknout do problematiky elmag. kmitání a vlnění, ale jsou důležitým nástrojem fyziky při zkoumání světa kolem nás. Přitom se nejedná jen o zde zmiňovanou oblast, ale například o moderní oblasti fyziky jako je kvantová fyzika. Nicméně i v klasické fyzice se s tímto přístupem setkáváme, aniž bychom si to uvědomovali; jistá míra abstrakce je ve zkoumání přírody zcela běžná (ruku na srdce, kdo z nás potkal na ulici třeba „sílu F“ 😊).

2) Elektromagnetické kmitání

A) Tlumené elektromagnetické kmitání

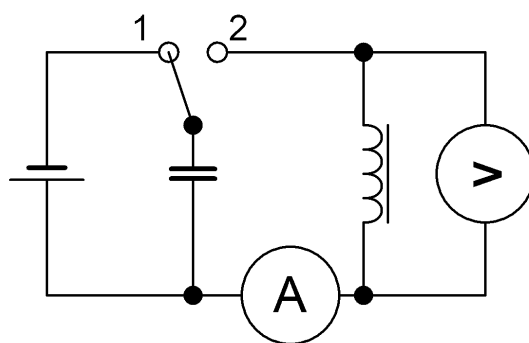
Tlumené elektromagnetické kmitání nízké frekvence (PC zpracování)

Pomůcky

Plochá baterie 4,5 V, digitální voltmetr a ampérmetr Vernier, tablet, kondenzátor o co největší kapacitě (nejlépe řádu mF), přepínač, cívka s jádrem 1 200 z (použijeme-li cívku o vyšším počtu závitů, musíme počítat nejen se zvýšením indukčnosti, ale i odporu, a tedy s větším tlumením).

Příprava a provedení

Obvod sestavíme podle schématu na obrázku. Zapneme LabQuest. V menu nastavíme dobu trvání (2 s); vzorkovací frekvenci (200 vzorků/sekundu) a zatrhneme spuštění triggeru, když napětí vzroste nad hodnotu 0,05 V. Nejdříve připojíme kondenzátor ke zdroji (přepínač v poloze 1), aby se kondenzátor nabil. Spustíme měření. Pak přepneme přepínač do polohy 2. Z grafu odečteme periodu kmitů, případně spočteme frekvenci. Opět můžeme měnit parametry cívky a kondenzátoru, opakovat experiment a porovnat. Z grafu je dále patrné, že napětí na cívce není ve fázi s proudem v obvodu; jsou vzájemně posunuty o $\pi/2$.



Závěr

V obvodu s cívkou a kondenzátorem vznikne elektromagnetické kmitání. Energie elektrického pole kondenzátoru se mění na energii magnetického pole cívky a naopak. V okamžiku, kdy je v obvodu největší proud (kolem cívky je největší magnetické pole), je na kondenzátoru nulové napětí, a tedy mezi jeho deskami je nejmenší (tedy nulové) pole elektrické. Díky vlastní indukčnosti cívky se kondenzátor nabije na opačnou polaritu, než tomu bylo na počátku cyklu a celý děj se může opakovat (proud začne téct opačným směrem, začne kolem cívky vznikat magnetické pole opačného směru atd.). V oscilačním obvodu nastává tlumené elektromagnetické kmitání.

Další informace

Experiment je zpracován na adrese: <http://www.vernier.cz/experimenty/pazdera/7.26/index.php>

B) Netlumené elektromagnetické kmitání

Z předchozího pokusu je zřejmé, že při kmitání elektromagnetického obvodu dochází k přeměně elektrického a magnetického pole na jiné formy energie. Pokud tento úbytek energie periodicky dodáváme z vnějšího zdroje, mluvíme o kmitání netlumeném. Nejsou-li tyto ztráty kompenzovány v průběhu celé doby, ale jen v určitých fázích kmitání, kmity jsou sice periodické a „netlumené“, ale

nejsou harmonické (podobně jako je tomu v případě, když houpeme na houpačce malé dítě a energii potřebnou na hrazení úbytku mechanické energie dodáváme houpačce pouze v okamžicích, kdy se k nám přiblíží a „připostrčíme“ ji požadovaným směrem). Pokud hradíme ztráty v průběhu celé periody tak, že je kompenzujeme tu více tu méně podle toho, jak jsou v daný okamžik tyto ztráty velké, dostaneme kmitání netlumené a harmonické. K tomu je potřeba tzv. zpětná vazba mezi oscilátorem a zdrojem. Harmonického buzení oscilací je možno dosáhnout např. vhodným zapojením tranzistoru do obvodu s dostatečně silnou kladnou zpětnou vazbou, která reguluje průchod proudem tranzistorem tak, aby se kondenzátor v LC obvodu dobíjel ve vhodných okamžicích. Vznikne tak automaticky pracující tzv. tranzistorový oscilátor, tedy generátor netlumených harmonických oscilací.

Netlumené elektromagnetické kmitání akustických frekvencí

Pomůcky

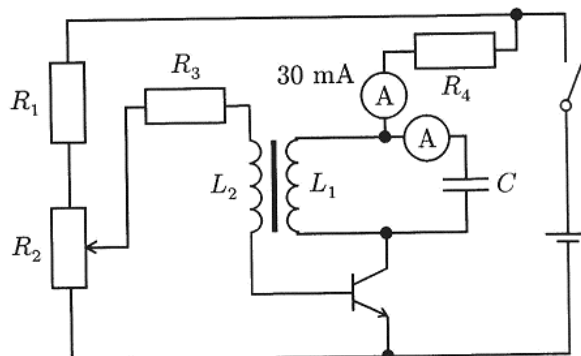
- a) Předem připravený panel (dřevěná deska) s některými napájenými prvky (viz obr.), cívky 600 z, 300 z, U jádro, krátké jádro, ss miliampérmetr 30 mA, ampérmetr (Vernier), zdroj ss napětí 10 V–12 V (2 akumulátory), potenciometr 100 Ω , kondenzátory 0,2–0,5 μF , sluchátko (2 k Ω), spojovací vodiče.



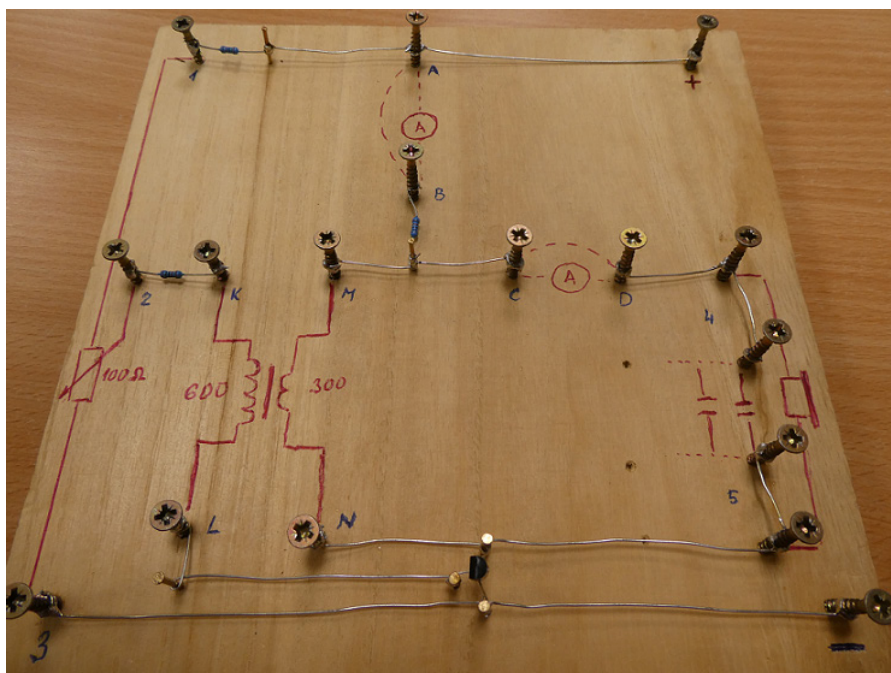
- b) Cívky 600 z, 300 z, U jádro, krátké jádro, spínač (případně je možné přímo připojovat ke zdroji), ss miliampérmetr 30 mA, ampérmetr (Vernier), zdroj ss napětí 10 V–12 V (2 akumulátory), tranzistor (BC 337), tři rezistory ($R_4 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 1,5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$), potenciometr 100 Ω (R_2), spojovací vodiče, kondenzátory 0,2–0,5 μF , sluchátko (2 k Ω).

Příprava a provedení

Není-li k dispozici předem připravený panel, obvod zapojíme podle schématu na obrázku. Na jádro nasuneme cívky L_1 (300 z) a L_2 (600 z) a uzavřeme ho krátkým jádrem. Jezdce potenciometru R_2 dáme do krajní polohy tak, aby



na potenciometru bylo nastaveno nulové výstupní napětí (resp., aby mezi bází a emitorem tranzistoru bylo nulové napětí). Paralelně ke kondenzátoru připojíme sluchátko. Můžeme připojit i druhý ampérmetr, na kterém pak můžeme sledovat časový průběh. Nastavte sledování cca 0,02 s a vzorkovací frekvenci 10 000 Hz.



Pro rychlejší zapojování je v praxi připraven panel s některými předem připájenými prvky (viz obrázek). I tak je tento obvod relativně složitý, ale je menší pravděpodobnost, že se dopustíme nějaké chyby a případně se chyba v zapojení lépe hledá. Připojení dalších prvků pomocí vhodných vodičů je zřejmé z nákresu na destičce.

K hřebíčkům (šroubkům) 1,2,3 připojíme potenciometr a jezdec nastavíme tak, aby mezi 3 a 2 (tedy mezi emitorem a bází tranzistoru) bylo nulové napětí. Dále připojíme podle schématu vhodné cívky, které spojíme uzavřeným jádrem. Mezi šroubky 4 a 5 připojíme sluchátko a kondenzátor zvolené kapacity. Nejdříve je lepší zkratovat svorky C a D, tedy provádět pokusy jen se sluchátkem, bez grafického zaznamenání Vernierem. Subjektivně tak můžeme sami zhodnotit závislost vysílané frekvence na připojené kapacitě kondenzátoru a indukčnosti cívky (posouváním krátkého jádra).

Po připojení ke zdroji napětí (event. sepnutí spínače) jezdcem potenciometru pomalu zvětšujte napětí mezi bází a emitorem tranzistoru, který se tak pomalu otvírá. Při určité hodnotě kolektorového proudu (měřeného miliampérmetrem v rozsahu 30 mA) pozorujeme netlumené kmitání akustických frekvencí oscilačního obvodu, které se projeví pískáním ve sluchátku. Toto pískání (kmitání) je projevem elektromagnetických kmitů LC oscilátoru, proto také závisí na volbě parametrů L a C. Pokud oscilátor nezačal kmitat, zaměníme přívody (polaritu) zpětnovazební cívky 600 z, což odpovídá změně zpětné vazby. Vzhledem k tomu, že je připojen akustický detektor kmitů (sluchátko), není nutné ani zapojení ampérmetru mezi svorky A a B, které je proto možno zkratovat. Ampérmetr zde plní jen funkci detekční a dává představu o hodnotě proudu, který teče do kolektoru.

Postupně na takto sestaveném oscilátoru můžeme demonstrovat:

- 1) Závislost doby kmitu na indukčnosti L , kterou měníme posouváním (případně zcela odejmutím krátkého jádra.
- 2) Závislost doby kmitu na kapacitě připojeného kondenzátoru C v oscilátoru.
- 3) Časový průběh kmitů v oscilačním obvodu můžeme pak podrobněji sledovat ampérmetrem Vernier, kde se ale projeví i vliv dalších částí obvodu, a to především při nižších frekvencích. Pro grafické zaznamenávání je vhodnější krátké jádro zcela odejmout a sledovat změny pro kapacity 200 nF, 400 nF, 500 nF a případně 600 nF

Závěr

Tranzistorový oscilátor je zdrojem netlumeného elektromagnetického kmitání. Periodický přísun energie do oscilačního obvodu, nahrazující úbytky energie kmitajícího obvodu za jednu periodu, zajišťuje tranzistor zapojený jako automaticky řízený ventil, který je otvírán a zavírán prostřednictvím kladné zpětné vazby (indukční) mezi cívkou LC oscilátoru a cívkou zpětné vazby (vzájemná indukce). Takto buzené netlumené kmitání jsou téměř harmonické. Frekvence netlumeného elektromagnetického kmitání (výška tónu) závisí na parametrech oscilačního obvodu (indukčnosti a kapacitě), výška tónu vzrůstá s klesající indukčností nebo kapacitou LC obvodu.

3) Elektromagnetické vlnění

V předchozí části jsme uvedli několik experimentů, které demonstrují elektromagnetické kmitání jako důsledek přeměny elektrické energie kondenzátoru na magnetickou energii cívky a naopak. Aby byly sledované jevy lépe pozorovatelné, volili jsme nižší frekvence oscilací; z předchozích pokusů je však zřejmé, jak je možno vybudit frekvence vyšší, které se ve sdělovací technice používají častěji.

Ačkoli se signál ve vodiči šíří obrovskou rychlostí (tedy rychlostí světla), je-li obvod připojen na zdroj s velkou frekvencí (případně má obvod větší rozměry), okamžitá hodnota proudu a napětí není jen funkcí času, ale i prostoru (vzdálenosti od zdroje); magnetické a elektrické pole, které kolem vodičů (případně mezi nimi) vzniká, má charakter vlnění. Jednoduchým výpočtem zjistíme (ale i ze zkušenosti víme), že pro běžné frekvence sítě se vlnový charakter neprojeví (při sepnutí spínače se lampa rozsvítí prakticky okamžitě; pokud pozorujeme nějakou odezvu, jedná se o mechanickou záležitost spínače apod.). Nicméně žáci ze zkušenosti vědí, že se používají i vyšší frekvence (MHz, GHz). Především pro účely sdělovací techniky se konstruuje tyto vysokofrekvenční generátory, které jsou podstatnou součástí vysílačů. Ty pak budí nucené elektromagnetické kmitání ve vysílací anténě (v nejjednodušším případě tvaru dipólu). Anténa vysílá do okolí vysokofrekvenční elektromagnetické vlny, které na straně příjemce vybudí kmitání v anténě přijímací.

Velmi efektní a názorné jsou demonstrace vlastností elektromagnetických vln pomocí tzv. Lecherova¹⁾ vedení. Tento historický experiment je neustále živý a pravděpodobně nejnázornější metodou, jak žáky experimentálně seznámit se základními vlastnostmi vzniku a šíření

¹⁾ Profesor Ernst Lecher (1856 – 1926) působil na německé technice v Praze a později ve Vídni a jeho měření vlnové délky je známé od r. 1889. (Viz též http://de.wikipedia.org/wiki/Ernst_Lecher.)

elektromagnetických vln. S Lecherovými dráty se můžeme setkat v některých science centrech, případně ve starých fyzikálních sbírkách (zde jsou ještě elektronkové oscilátory), ideálně však v moderní (polovodičové) období soupravy vyráběné doc. Hubeňákem z Univerzity Hradec Králové. Tato souprava je v PŠP i na několika školách a je i relativně finančně dostupná. Bližší informace (nejen k této soupravě) jsou na <http://hubenak.ttnet.cz/>.

Jednoduché a poměrně názorné demonstrace vlastností elektromagnetických vln je možno provést s použitím výše zmíněné „Školní mikrovlnné soupravy“. Tato souprava generuje lineárně polarizované elektromagnetické vlnění o vlnové délce 3 cm (frekvenci 10 GHz). Práci s touto soupravou si vyzkoušíme podle doporučení v další části textu. Více méně pokusy s touto soupravou navazují na zkoumání elmeg. vlny ve dvou vodičovém vedení (Lecherovy dráty). Na víc touto soupravou je možné pěkně demonstrovat např. polarizaci elektromagnetické vlny a názorně porovnat s polarizací světla užitím polarizačních filtrů.

V neposlední řadě je k některým demonstracím možno použít elektromagnetické vlnění generované v mikrovlnné troubě, což je mnohem přístupnější a lacinější zdroj mikrovln, navíc ho žáci znají z běžného života.

A) Pokusy s Lecherovým vedením

Oscilační obvod, kterým jsme demonstrovali elektromagnetické kmitání, se skládá z tzv. diskretních prvků, tedy z kondenzátoru, který je prvkem se soustředěnou kapacitou, a z cívky, která je prvkem se soustředěnou indukčností. Takový obvod se nazývá obvod se soustředěnými parametry. Kapacita a indukčnost (pochopitelně i odpor) Lecherova vedení tvořeného dvěma přímými rovnoběžnými vodiči, jejichž průměr je značně menší než jejich vzdálenost, jsou spojitě a rovnoměrně rozloženy podél celého vedení. Takový obvod se nazývá obvod s rozestřenyými (rozloženými) parametry.



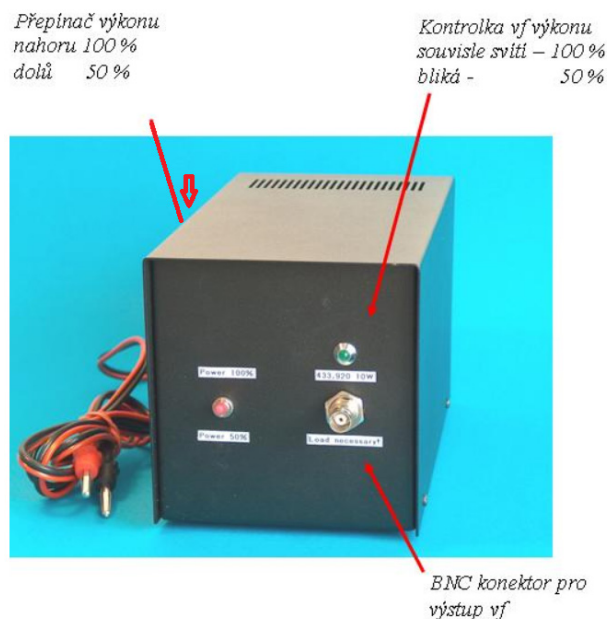
Souprava na pokusy s Lecherovým vedením

Bezpečnostní pokyny pro experimenty s Lecherovým vedením

- Než zapneme zdroj stejnosměrného napětí do sítě, zkontrolujeme, že vypínač na zdroji je v **poloze OFF**, na výstup vf generátoru je **připojena zátěž** (dipól nebo vedení), generátor je připojen se **správnou polaritou** napájecího napětí, přepínač výkonu je v **poloze 50 %**.
- Vysokofrekvenční výkon vyzářený při pokusech je zdrojem rušení radiových signálů. Generátor proto zapínejte jen na nezbytnou dobu.
- Osoby s elektronickými implantáty a podobnými elektronickými zdravotními pomůckami nesmějí experimenty sledovat ze vzdálenosti menší než 3 m.

Složení soupravy (pomůcky)

- Generátor UHF 433/10** ($f = 433,92 \text{ MHz}$, $P = 10 \text{ W}$) s přívodním vodičem malého napětí. Generátor obsahuje mikroprocesorem řízený oscilátor 433,92 MHz a výkonový zesilovač. Stejnosměrné napájecí napětí 13,8 V je přivedeno dvoulinkou zakončenou červeným (+) a černým banánkem (-). Napájení je jištěno pojistkou 6,3 A. V případě náhodného přepólování napájecího napětí bude pojistka přetavena a je nutné ji nahradit stejným typem (tzv. rychlá - F typ). Odběr proudu při výstupním výkonu 100 % je asi 3 A, při 50 % klesne na 2 A. Účinnost výkonového zesilovače je asi 30 % a ztrátové teplo je odváděno masivním chladičem a proudem vzduchu z vestavěného ventilátoru. Vstupní a výstupní otvory pro vzduch (nahore a dole) musí zůstat volné.



- Stabilizovaný zdroj 13,8 V / 6 A** s přívodním vodičem nízkého napětí 230 V / 50 Hz. Je třeba dbát na odvod tepla - **zadní stěna zdroje s chladičem musí zůstat volná**.
- Lecherovo vedení** (dva měděné vodiče průměr 6 mm, délka 2 m).
- Stojánky pro vedení** (3 ks). Deska z plexiskla je opatřena zářezy pro vedení a zářezy pro uložení zářivky. Stojánek vložte do podstavce (běžný stativový materiál).



2.



4.

5. **Koaxiální kabel s BNC konektory** pro spojení generátoru a panelu se čtvrtvlnným dipólem.
6. **Koaxiální kabel se symetrizačním členem** pro spojení generátoru s Lecherovým vedením.

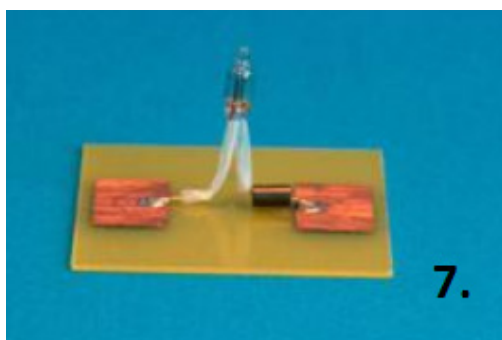


5.

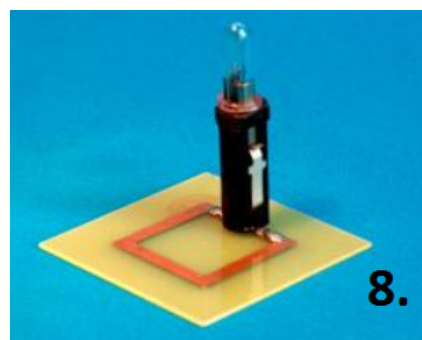


6.

7. **Kapacitní sonda s doutnavkou** (3 ks). Doutnavky mají zápalné napětí asi 90 V a výboj zapalujeme pomocí upraveného piezoelektrického zapalovače. Při plném výkonu generátoru se sonda v napěťové kmitně na vedení poněkud přehřívá; **je lépe přepnout generátor na 50 %**.
8. **Induktivní sonda se žárovkou** (3 ks). V patici je zasunuta telefonní žárovka 24 V / 50 mA. Pokud na vedení použijeme plný výkon generátoru a jedinou žárovku umístíme do proudové kmitny, svítí plným jasnem. K přetížení může dojít při umístění jediné žárovky na vedení těsně k odraznému terči - ke zkratu na vedení.

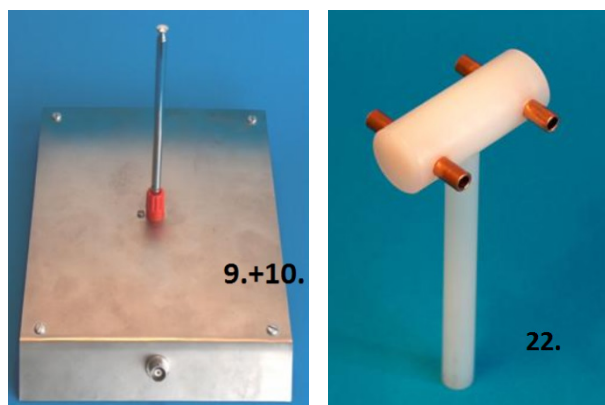


7.

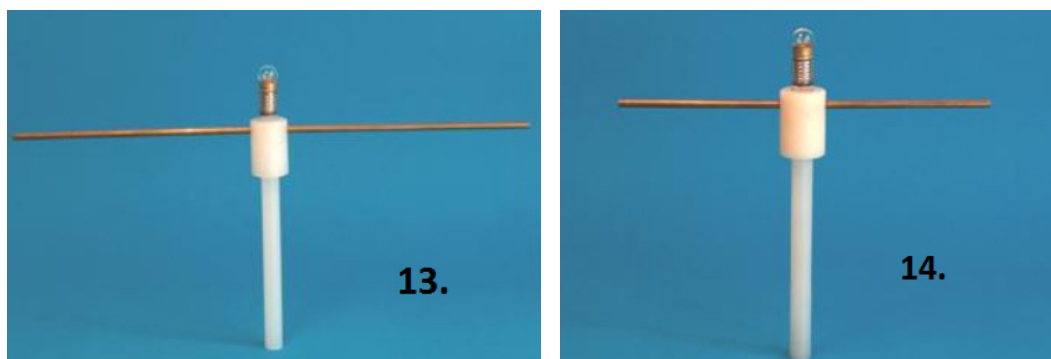


8.

9. **Panel pro čtvrtvlnný dipól** je vyroben z nerez. Slouží jako "protiváha" pro čtvrtvlnný dipól a je galvanicky spojen s vnějším vodičem koaxiálního kabelu - je uzemněn.
10. **Čtvrtvlnný dipól** je krátká teleskopická anténa, kterou při experimentech zasuneme do přístrojové svorky panelu. Optimální délka dipólu je asi 17 cm.



11. **Piezoelektrický zapalovač** má místo jiskřiště připojen krátký vodič se silnou izolací. Hrotem vodiče se při zapalování výboje dotkne žárovky nebo doutnavky a stiskem zapalovače vytvoříme na okamžik vysoké napětí asi 3 000 V.
12. **Pasivní půlvlnný dipól** (bez žárovky). Délka dipólu je rovna polovině vlnové délky, tj. 34,6 cm.
13. **Půlvlnný rezonanční dipól** se žárovkou. Dipól je uprostřed přerušen a spojen s objímkou žárovky 2V / 0,18 A. Při experimentech se čtvrtvlnným dipólem může v těsné blízkosti zářiče a plném výkonu generátoru dojít k přetížení žárovky. Délka je menší než polovina vlnové délky, pouze 28 cm.
14. **Zkrácený dipól se žárovkou** Tento dipól je zkrácen na 17 cm a do rezonance na 433 MHz se dostane jen s dielektrickými nastavci nebo prodloužením pomocí měděných trubiček.

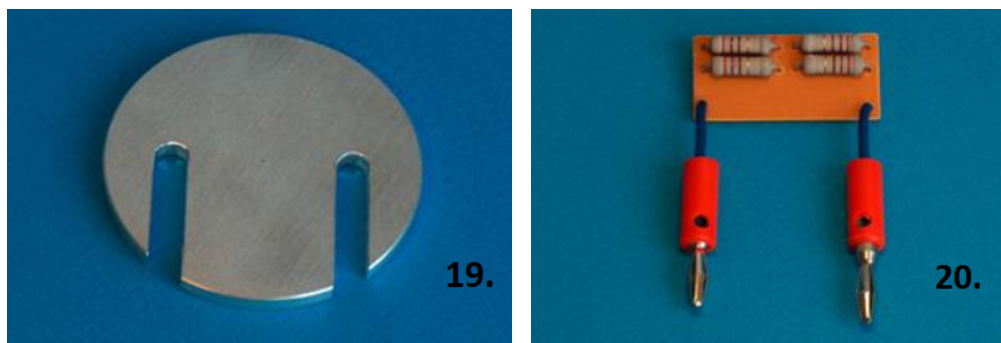


15. **Skládaný dipól**. Je opatřen dvěma banánky pro připojení na konec vedení. Při práci s dipólem je třeba dát pozor na případnou deformaci.



16. **Upravená zářivka** 20 W 120 cm je zbavena kovových konektorů na koncích, aby při experimentech kovové části nerušily odrazem vlny.
17. **Zářivka s rezonátorem** má ponechány kovové koncovky a izolepou je k ní připevněn mosazný drát o délce 70 cm a průměru 2 mm.
18. **Zářivka dekorativní** 9 W 20 cm nemá žádnou úpravu a používáme ji jako sondu pro pole na vedení nebo u čtvrtvlnného dipólu.
19. **Zkratovací terč** z duralu. Dva výřezy slouží k nasunutí na vedení.

20. **Zatěžovací odpor** pro Lecherovo vedení je složen ze tří bezindukčních rezistorů a opatřen krátkými vodiči s banánky pro připojení na konec vedení. Celkový odpor je 27Ω .



21. **Plastové a kovové návleky** jsou určeny pro nastavení zkráceného dipólu do rezonance.
 22. **Stojan ke skládanému dipólu** je vyroben z polyamidu a dvě měděné trubičky umožní z jedné strany připojit symetrizační smyčku a z druhé skládaný dipól.

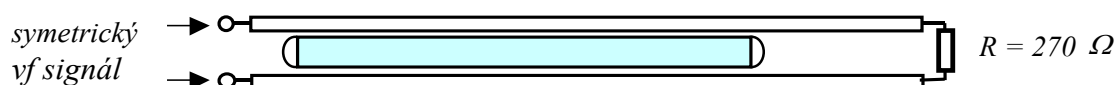
Popis experimentů

Postupná vlna na vedení

Na výstup generátoru připojíme koaxiální kabel se symetrizační smyčkou a připojíme Lecherovo vedení. Na konec vedení zapojíme zatěžovací odpor a do stojánků položíme zářivku bez rezonátoru. Zářivku umístíme blíže k symetrizační smyčce.

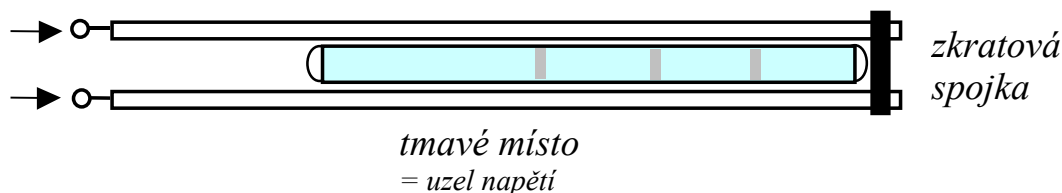
Výkon generátoru nastavíme na 100 % a po zapnutí stejnosměrného zdroje zapálíme výboj v zářivce piezoelektrickým zapalovačem.

Zářivka svítí takřka rovnoměrně po celé délce. Energie elektromagnetické vlny se soustředí mezi vodiči, postupuje směrem k připojené zátěži, kde se přeměňuje na vnitřní energii zátěže. Díky připojené zátěži prakticky nedochází k odrazu vlny na konci vedení, vzniká postupná vlna. Připojený rezistor se zahřívá, což je možné si ověřit pouhým dotykem.



Stojatá vlna na vedení (konce vedení ve zkratu)

Do stojánků položíme zářivku bez rezonátoru a bez kovových konců. Odpojíme zatěžovací odpor a asi 10 cm od konce nasuneme zkratovací terč. Výkon generátoru nastavíme na 50 %. Zářivku přesuneme blíže ke zkratu a piezozapalovačem rozsvítíme. Ve výboji jsou patrná tmavá místa (dvě až tři), nejtmavší je přibližně 35 cm od místa zkratu.

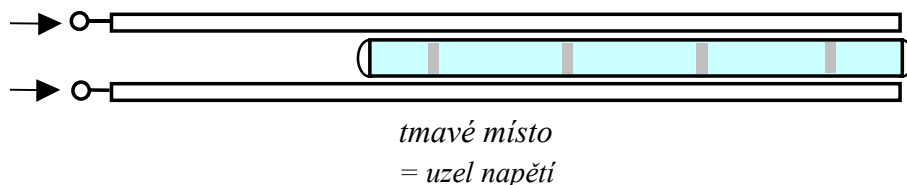


Ve zkratové spojce vzniká přesouváním nábojů elektrické pole s opačně orientovanou intenzitou a zkratová spojka se stává zdrojem vysokofrekvenčního signálu s fází opačnou, než má vlna přicházející od generátoru. Vpravo od zkratu se obě vlny ruší, vlevo vzniká stojaté vlnění. Zářivka má nyní výrazná slabě svítící místa – zde jsou napěťové uzly. Posunutí zkratové spojky vede i k posuvu tmavých míst na zářivce. Vzdálenost zkratu a napěťového uzlu je právě polovina vlnové délky.

Dekorační zářivkou můžeme dále ukázat, že před zkratem je elektromagnetická vlna intenzivní, za zkratem se nepodaří zářivku rozsvítit – zde se vlna od generátoru a vlna s opačnou fází od zkratové spojky vzájemně ruší.

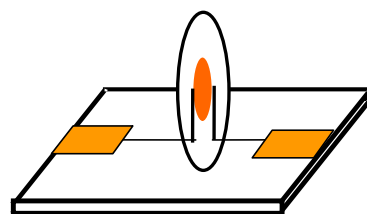
Stojatá vlna na otevřeném vedení

Uspořádání je stejné jako v předchozím pokusu. Sejmeme akorát zkratovou spojku. Ve vedení vznikne opět stojatá vlna, která se prozradí střídáním světlých a tmavých míst, přičemž jejich poloha se ve srovnání s předchozím pokusem změnila. Vzdálenost mezi jednotlivými uzly (tedy uzly napětí) je opět přibližně 35 cm, ale první tmavé místo (napěťový uzel) je tentokrát ve zhruba poloviční vzdálenosti od konců drátů. Na konci otevřeného vedení vznikne tedy napěťová kmitna.

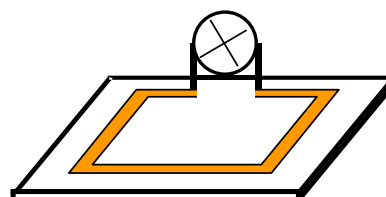


Napěťové a proudové kmitny na zkratovaném vedení

Pro sledování kmiten napětí použijeme kapacitní sondu s doutnavkou. Je vyrobena z jednostranného tištěného spoje a přiložením na vedení se ponechané pásky mědi stanou jednou deskou kondenzátoru, druhou je samotný vodič Lecherova vedení. Posouváním po vedení najdeme místa maximálního svitu, tedy místa napěťových kmiten.



Pro určení kmiten proudu použijeme indukční sondu s žárovkou. Čtvercový závit z tištěného spoje je v místě přerušení připojen na žárovku 24 V, 50 mA. Sondu položíme na vedení a hledáme místo maximálního svitu žárovky, tedy místa, kde se v závitě indukuje největší napětí (a tedy i proud), a to je v místech, kde



se nejvíce mění proud, tedy v místech proudových kmiten.

Indikaci proudových a napěťových kmiten pomocí výše popsaných sond provedeme v následujících třech krocích:

- Vyladění vedení do rezonance. Výkon generátoru přepneme na 50 %, indukční sondu umístíme těsně ke zkratovacímu terči a pak tuto dvojici posouváme od konce vedení zpět. Nastavíme polohu pro maximální svit žárovky. Vedení má nyní optimální aktivní délku.
- Určení proudových kmiten. Výkon generátoru přepneme na 100 %. Indukční sondy (žárovky) umístíme tam, kde nejvíce svítí, přičemž najdeme polohy, kdy svit všech sond je přibližně stejný. Tyto polohy by měly být ve vzdálenostech 1krát, 2krát a $3\lambda/2$ od zkratu. Ověříme vzdálenosti.
- Určení napěťových kmiten. Výkon generátoru je na 100 %. Kapacitní sondy (doutnavky) umístíme mezi zkrat a první žárovku, další sondy pak mezi žárovky zbývající. Zapálíme výboj (pokud se doutnavky nerozsvítí samovolně parazitními elektrostatickými výboji) a přesouváním najdeme polohy maxim. Pozor, maxima neleží uprostřed mezi proudovými kmitnami. Vedení je zatíženo odběrem činného výkonu a fázový posuv mezi napětím a proudem není přesně 90° .

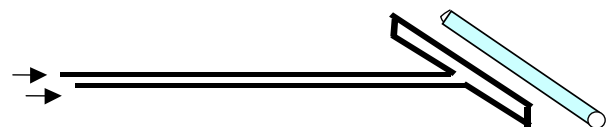
Měření vlnové délky, frekvence, případně rychlosti šíření vln

Pro měření vlnové délky použijeme jednu indukční sondu a výkon generátoru nastavíme na 50 %. Připravíme si papírové značky pro označení bodů na vedení. Na vedení posouváme sondu od zkratu až ke vstupu a značkami zachytíme polohy, kdy žárovka zcela pohasne. Ze změřených vzdáleností mezi značkami vypočteme $\lambda/2$ a pak frekvenci. Porovnáme se skutečnou hodnotou $f = 433,92$ MHz. Místo sondy je lépe použít dekorační zářivku.

Pokus můžeme využít naopak k určení rychlosti šíření vln, změříme-li vlnovou délku výše uvedeným způsobem a použijeme-li deklarovanou frekvenci 433,92 MHz.

Vedení zakončené skládaným dipólem

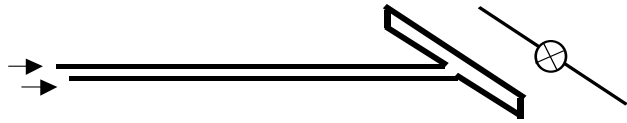
Vstupní impedance půlvlnného dipólu je asi 75Ω a jeho připojením na konec vedení dojde k částečnému odrazu elektromagnetické vlny. Lépe je k vedení přizpůsoben skládaný dipól se



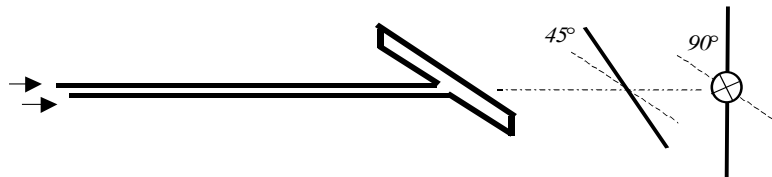
vstupní impedancí asi 300Ω , který větší část energie vyzáří do okolí. Indukční sonda na vedení ukáže jen nevýrazná maxima a minima proudu, takže na vedení je takřka postupná vlna. Elektromagnetické vlny v blízkosti dipólu prokážeme nejprve zářivkou, umístěnou rovnoběžně se zářičem. Po zapálení výboje piezoelektrickým zapalovačem svítí nejvíce u konce dipólu. V poloze kolmé k rovině zářiče svítí jen menší část uprostřed, což ukazuje na průběh siločar elektrického pole u dipólu. Použijte plný výkon generátoru. Dekorační zářivku protáhněte mezi vodiči vedení – svítí všude prakticky stejně.

Polarizační rovina elektromagnetické vlny

Použijeme přijímací dipól s žárovkou, přepneme výkon 100 %. Vyslaná elektromagnetická vlna vybudí v přijímacím dipólu stojatou vlnu, která má uprostřed (v místě žárovky 2 V/180 mA) maximální amplitudu proudu (na koncích je kmitná napěťová a proudový uzel). Žárovka se rozsvítí zřetelně ještě ve vzdálenosti více než 0,3 metru od dipólu. Přijímací dipól otáčíme a prokážeme polarizaci elektromagnetického vlnění. V daném uspořádání je rovina polarizace vodorovná a přijímací dipól postavený svisle žárovku nerozsvítí.

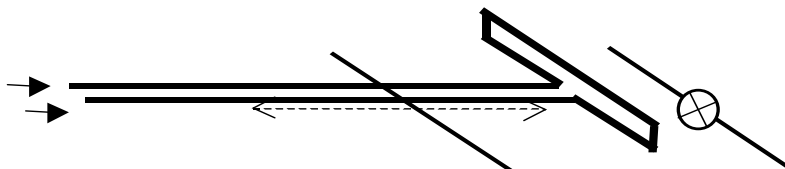


Polarizační rovinu lze postupně otočit soustavou dalších pasivních dipólů (viz obrázek). Abychom mohli vkládat vodiče (volné tyčky) mezi vysílací dipól a dipól s žárovkou, je vhodnější dipól s žárovkou upevnit do stojanu asi 25 cm od skládaného dipólu. Stojan by měl být nejlépe nevodivý. Průmět elektrické intenzity pole zářiče do směru dipólu otočeného o 45° stačí na rozkmitání náboje v něm. Tento dipól pak vysílá dále a složka elektrické intenzity jeho pole rozkmitá dipól se žárovkou.

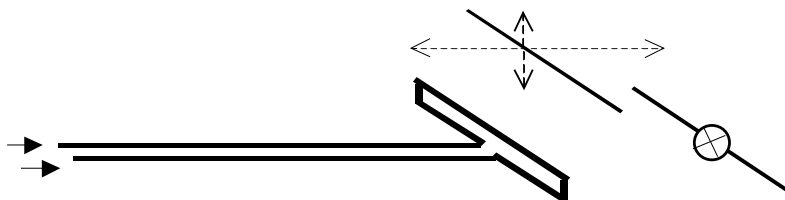


Odraz a interference elektromagnetické vlny

Použijeme výkon 100 %. Přijímací dipól se žárovkou necháme ve stojanu asi 25 cm od skládaného dipólu. Odraz a interferenci ukážeme pomocí pasivního dipólu, který přesouváme nad vedením za zářičem dopředu a dozadu. Žárovka svítí maximálně, je-li pasivní dipól vzdálen o čtvrtinu vlnové délky.



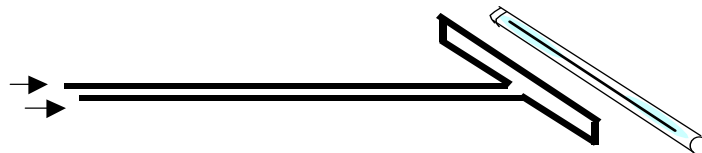
Maxima a minima svitu žárovky se objeví také, jestliže pasivní dipól přenášíme nad rovinou zářiče a dipólu se žárovkou.



Pasivní dipól umístíme kamkoliv mezi skládaný dipól a dipól se žárovkou. Žárovka zhasne. Pasivní dipól umístíme až za dipól se žárovkou. Opět najdeme polohy, kdy žárovka svítí maximálně. Takto pracují např. televizní přijímací antény s reflektorem.

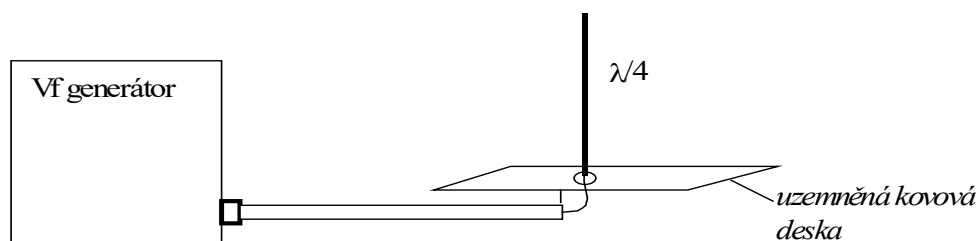
Vliv rezonance

Pole rezonujícího pasivního dipólu je dost intenzivní na to, aby udrželo výboj v zářivce. Na zářivku je připevněn rezonátor – půlvlnný dipól. Po ionizaci piezoelektrickým zapalovačem se zářivka rozsvítí jen u konců dipólu, zato svítí i několik decimetrů od zářivky.



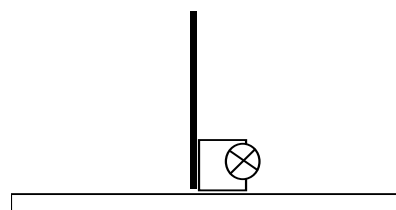
* Pole čtvrtvlnného dipólu

Z nesymetrického výstupu vysokofrekvenčního generátoru lze velmi dobře napájet čtvrtvlnný dipól, jehož vstupní impedance je přibližně 50Ω .

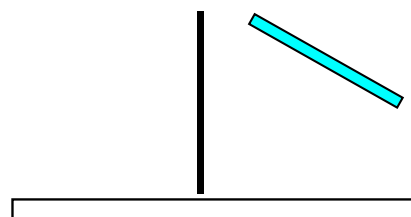


Teleskopickou anténu lze nastavit do rezonance pomocí indukční sondy se žárovkou. Sondu položíme k patě dipólu a délku dipólu nastavujeme tak, abychom dosáhli maximálního svitu žárovky. Pro toto ladění použijeme do sondy žárovku 6 V/ 50 mA. Sondu přitom postavíme mezi upevňovací šroubek a svorku.

Indukční sondu se žárovkou 6 V/ 50 mA posouváme podél dipólu – u paty svítí maximálně a směrem k vrcholu zhasíná. Napětí je maximální při vrcholu – přiložíme sondu s doutnavkou izolantem k dipólu, ionizujeme piezozapalovačem, při vrcholu se doutnavka bezpečně rozsvítí. Pak posouváme k patě a její jas se zmenšuje, až zcela zhasne. Z chování sond je jasné, že proud má maximální amplitudu u paty dipólu a uzel na jeho konci, přičemž u napětí je tomu naopak (kmitna na konci, uzel u paty).



Orientačně můžeme prozkoumat i elektrické siločáry v okolí čtvrtvlnného dipólu, a to zářivkou bez rezonátoru, kterou rozsvítíme zapalovačem. Zářivku bez rezonátoru rozsvítíme zapalovačem a sondujeme pole v okolí. Vytvoříme představu siločar, které vycházejí z vrcholu dipólu a končí na kovové desce. Zářivku držíme vodorovně a přejíždíme dipól shora dolů a poté svisle a obkroužíme dipól kolem dokola. Upozorníme na rozsah svítící části zářivky. Dekorační zářivku zapálíme dotekem jejích kovových kontaktů s vrcholem dipólu a pokus můžeme opakovat.



B) Pokusy se školní mikrovlnnou soupravou

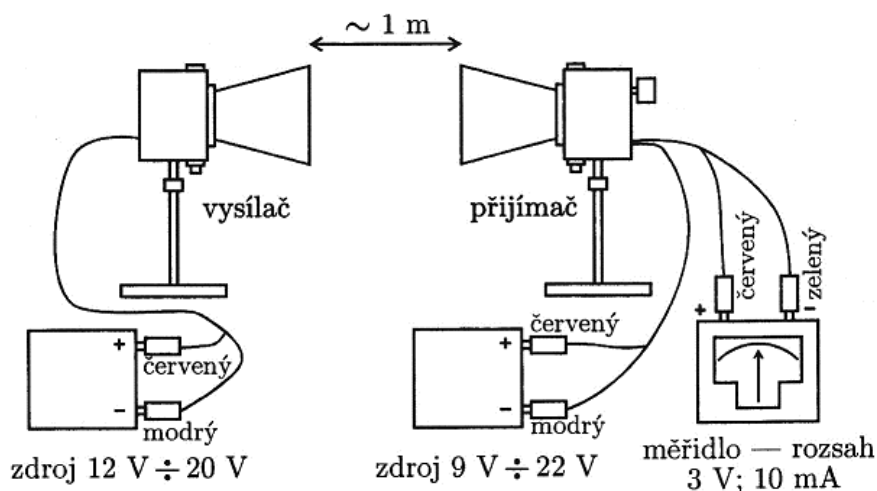
Školní souprava pro pokusy s mikrovlnami generuje elektromagnetické vlny lineárně polarizované ve vertikální rovině nebo v rovině k ní kolmé (závisí na umístění na stojanu) o frekvenci 10 GHz (tedy o vlnové délce přibližně 3 cm).

Složení soupravy:

1. Vysílač s trychtýřovou anténou
2. Přijímač s trychtýřovou anténou
3. Stojánek nízký
4. Stojánek vysoký
5. Dielektrický trojboký hranol z epoxidové pryskyřice
6. Kovová deska 200 mm x 200 mm
7. Kovová deska 60 mm x 200 mm
8. Kovová deska se dvěma štěrbinami
9. Kovová mřížka
10. Deska z organického skla 200 mm x 200 mm
11. Deska z tvrzené tkaniny 200 mm x 200 mm
12. Dielektrická čočka z epoxidové pryskyřice průměru 120 mm
13. Objímka pro natáčení směru polarizace přijímače a vysílače
14. Upínací úhelník
15. Spojovací šrouby s matkami a podložkami

Čísla uvedená u jednotlivých částí soupravy odpovídají číslům, která jsou dále uváděna ve schématech jednotlivých pokusů.

Pro indikaci příjmu vln se používá demonstrační ss voltmetr s konektorovým přívodem a rozsahem 3 V. Jako napájecí zdroj je vhodný každý stejnosměrný zdroj s napětím 12 V až 20 V a přípustným odběrem 300 mA (pro vysílač) a druhý zdroj s napětím 9 V až 22 V a přípustným odběrem 30 mA (pro přijímač). Na přesné hodnotě výstupního napětí v uvedeném rozsahu nezáleží. Podstatné je galvanické oddělení vysílače a přijímače. Vhodné jsou např. sériově zapojené NiCd či olověné baterie (samostatně pro vysílač a samostatně pro přijímač). Zapojení je zřejmé z obrázku. Ne ve všech typech souprav je dodrženo barevné odlišení na obrázku, nicméně vždy je zapojení zřejmé.



Soupravu uvedeme do chodu tak, že zapneme napájení a knoflíkem „zisk“ na přijímači nastavíme potřebnou výchylku na voltmetru. Pootočením antén vysílače a přijímače kolem svislé osy nastavíme maximální intenzitu příjmu. Tím je aktivní část připravena k provádění pokusů.

Příprava a tomu odpovídající uspořádání následujících pokusů jsou většinou uvedeny jen příslušným obrázkem, z něhož je patrné použití a rozmístění jednotlivých pomůcek očíslovaných v souladu s čísly uvedenými v úvodu (viz složení soupravy). V obrázcích jsou uvedeny doporučené vzdálenosti jednotlivých částí, úhly a směry posunů.

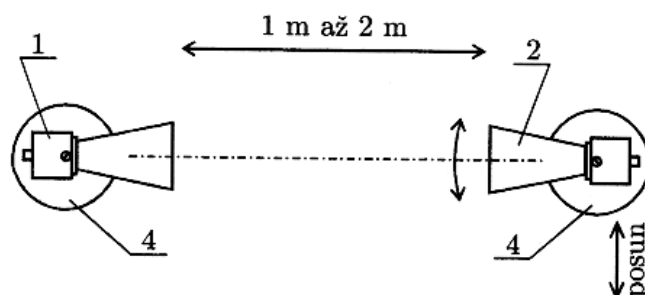
Poznámky

- 1) Pozor na škodlivost záření v okruhu asi půl metru od antény vysílače. Nedíváme se do zapnutého vysílače.
- 2) Vzhledem k bodu 1) berte ohled i na spolupracovníky, a to nejen přímým ozařováním, ale pokud možno i ozařováním odrazem.

Šíření elektromagnetického vlnění (vysílání a příjem)

Při tomto pokusu demonstrujeme, že vysílač vysílá úzký svazek záření, že přijímač je schopen přijímat jen v úzkém prostorovém úhlu. Vyzařovací diagram antény získáme pohybem přijímače po kružnici okolo vysílače, přičemž anténa přijímače vždy směřuje k anténě vysílače.

Z pokusu je zřejmé, že vysílač vyzařuje elektromagnetické vlnění, které se šíří přímočaře. Mikrovlnné antény mohou mít tedy výrazný směrový účinek.



Polarizace elektromagnetických vln

Příprava a provedení

Vysílač i přijímač upevníme na stojánky pomocí objímek (13), přičemž oba natočíme v objímkách do polohy pro vertikální polarizaci. Postavíme je proti sobě na vzdálenost asi 1 m tak, aby jejich osy splývaly. Nastavíme zřetelnou úroveň signálu.

Přijímač otáčíme v objímce podél osy „válece“ a sledujeme změnu intenzity příjmu. Úplný zánik nastane při otočení o 90°. Zánik příjmu tedy nastane, když polarizační roviny vysílače a přijímače jsou k sobě kolmé. Jestliže nyní otočíme i rovinu polarizace vysílače o 90°, nastane opět původní příjem. Přijímač se vybudí jedině tehdy, když v dopadajícím vlnění existuje nenulová složka intenzity elektrického pole, rovnoběžná s vedením uvnitř přijímače. Vybudení přijímače závisí na velikosti této složky, tedy i na úhlu vzájemného natočení.

Závěr

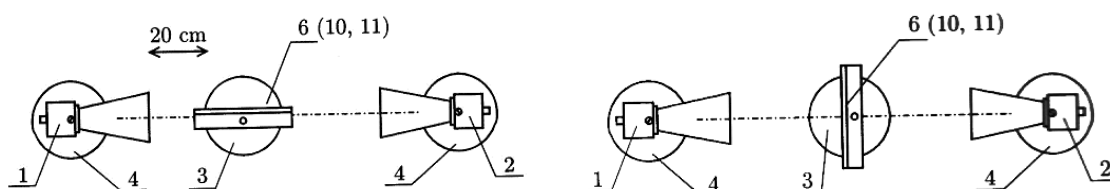
Použitý vysílač vyzařuje příčné lineárně polarizované elektromagnetické vlnění. Pomocí přijímače můžeme analyzovat směr polarizace vlny, je ho možné tedy použít jako analyzátor. Přijímač je naladěný na maximální příjem, když jeho polarizační rovina splývá s polarizační rovinou vysílače.

Poznámka

Prohlédneme-li si anténku vysílače (při jeho vypnutí), je zřejmé, že rovina polarizace (tedy rovina, ve které kmitá elektrická intenzita) je určena orientací vysílacího vedení (anténky).

Stínění a absorpce elektromagnetických vln

Pokusy provádíme podle následujících obrázků, a to při různých polohách překážky.



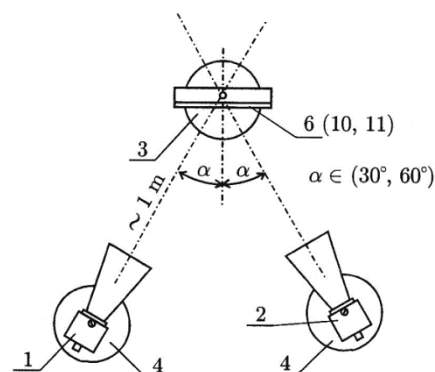
Tímto pokusem pak můžeme demonstrovat:

- 1) Kovovými překážkami vlnění neprochází.
- 2) Za kovovou překážkou vzniká stín.
- 3) Nevodivými překážkami vlnění proniká, dochází však k jeho útlumu.
- 4) Velikost útlumu závisí na rozměrech, materiálu a poloze překážky (překážku můžeme pootočit o 90° , jak je to zřejmé z obrázků) vzhledem ke směru šíření vlnění i polarizaci vlny (v případě anizotropie překážky). U izotropních látek útlum na polarizaci nezávisí. Při této demonstraci volíme nejdříve vertikální a pak horizontální polarizaci.

Odras elektromagnetických vln

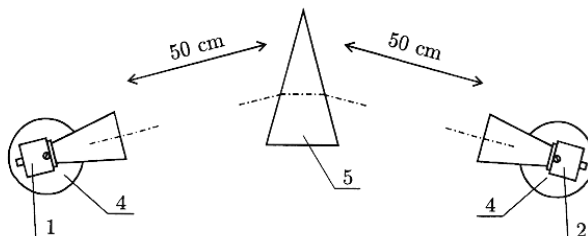
V uspořádání podle obrázku demonstrujeme, že se elektromagnetické vlny na vodivém prostředí odrážejí. Pro odraz platí zákon odrazu známý z optiky. Příjem slabne, odchýlíme-li anténu přijímače nebo vysílače od původního směru nebo pootáčíme-li deskou. Vzdálenost mezi vysílačem a odraznou deskou volíme do jednoho metru.

Pokud místo vodivé desky použijeme desku z nevodivého materiálu, je odraz slabší. Nevodivé látky odrážejí tedy jen část elektromagnetického vlnění.



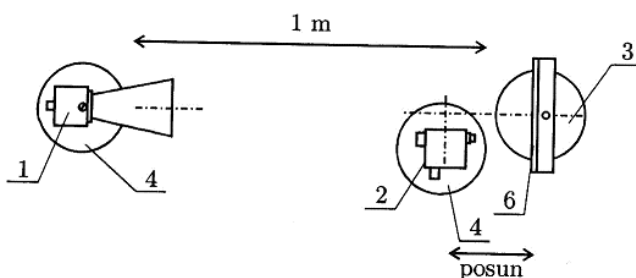
Lom elektromagnetických vln trojbokým hranolem

Při tomto pokusu volíme horizontální polarizaci, aby se potlačily odrazy od boční stěny. Vhodnou (nevodivou) podložkou upravíme výšku středů bočních stěn hranolu od úrovně os vyzařujících antén. Posunem přijímače nalezneme maximum příjmu. Necháme-li dopadat elektromagnetické vlny na stěnu hranolu pod úhlem asi 30° , zjistíme, že z protější strany vycházejí pod stejným úhlem. Při dopadu elektromagnetické vlny na rozhraní dvou dielektrik dochází k lomu (pro který platí stejný zákon jako v optice).



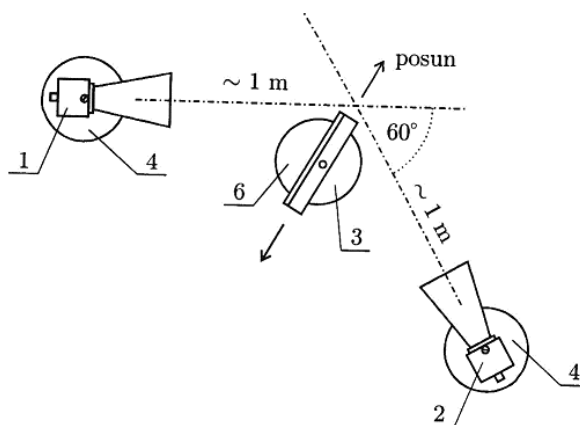
Demonstrace stojatého vlnění

V tomto pokusu použijeme přijímač bez trychtýřové antény v poloze pro horizontální polarizaci. Vlny, které postupují od vysílače směrem k vodivé desce, se odrážejí a vrací se zpět k vysílači. Vlna vystupující z vysílače se skládá (interferuje) s vlnou odraženou. Posunem přijímače rovnoběžně s osou vyzařování zjistíme, že v některých místech je příjem vyšší, v jiných menší – interferencí vznikla maxima a minima (ta jsou výraznější, a hodí se proto pro měření vlnové délky elektromagnetické vlny). Vzdálenost dvou sousedních minim odpovídá polovině vlnové délky. Postupující a odražená vlna spolu interferují a při vhodné vzdálenosti vytvářejí stojatou vlnu charakterizovanou kmitnami a uzly.



Ohyb elektromagnetických vln na hraně překážky

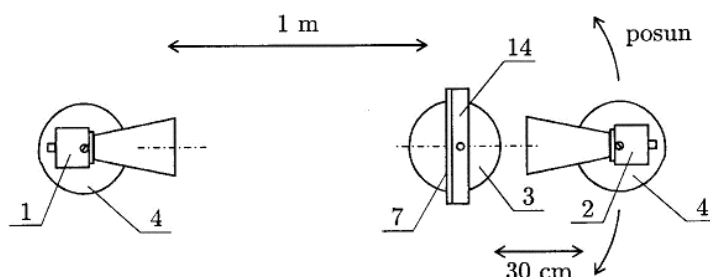
Přijímač a vysílač upevníme na stojánku v poloze pro horizontální polarizaci (jev bude vzhledem k uspořádání výraznější). Na přijímači nastavíme vysokou citlivost, při uspořádání bez překážky by však příjem neměl být ještě indikován. Vložíme-li do průsečíku os přijímače a vysílače desku (6), objeví se příjem, jehož maximum vyhledáme posunem desky ve vyznačeném směru na obrázku. Při vyjmutí desky příjem zmizí (případně zeslábně).



Z pokusu je zřejmé, že elektromagnetické vlny se na hranách překážek ohýbají. Přitom překážka nemusí být vodivá. Tím lze v některých případech vysvětlit i dobrý příjem velmi krátkých vln (VKV) v situacích, kdy není zajištěna přímá viditelnost.

Ohyb elektromagnetických vln na úzké vodivé překážce

Pro tento pokus použijeme horizontální polarizaci. Přijímačem pohybujeme po kružnici naznačeným směrem (viz obrázek), přičemž osa antény směřuje do středu překážky. Zjistíme, že za překážkou vzniklo vlivem interference pole, ve kterém se střídají oblasti silného a slabého příjmu signálu.



C) Pokusy s mikrovlnnou troubou

Řadu pěkných a efektních pokusů je možné předvést pomocí mikrovlnné trouby, která je zdrojem mikrovln, tedy elektromagnetického vlnění řádu GHz. V prostoru mikrovlnné trouby vzniká při odrazech a interferenci stojatá vlna. Změříme-li polohy např. maxim, můžeme ze známé rychlosti šíření vln (tedy rychlosti světla) přibližně určit frekvenci vlnění. Nebo naopak, zjistíme-li frekvenci vln (na zadní straně spotřebiče na štítku parametrů trouby, $f = 2,45$ GHz), můžeme přibližně určit rychlost šíření vln ve vzduchu.

Další efektní pokusy můžeme provést po vložení CD (netradiční „vypalování“ CD nebo DVD), LED, tavné pojistky apod. do mikrovlnky. Na základě těchto a dalších pokusů je možné žákům přiblížit a vysvětlit, co se v mikrovlnce děje, proč a jak se potraviny v troubě prohřívají, proč se talíř otáčí apod. Efektní pokusy s plazmatem a mikrovlnkou včetně metodických poznámek jsou popsány ve Sborníku Veletrhu nápadů učitelů fyziky (<http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/13-13-Kohout.html>).

Určení rychlosti světla pomocí mikrovlnky

Pomůcky

mikrovlnná trouba, filtrační papír, termocitlivý (faxový) papír (toustový chléb, plátkový sýr, nastrohaná čokoláda apod.), rozprašovač s vodou, polystyrénová deska

Provedení

Nejdříve je třeba z mikrovlnky vyjmout otáčivý talíř. Na polystyrénovou desku dáme např. filtrační papír, který navlhčíme vodou, na něj pak položíme termocitlivý (např. faxový) papír. Desku umístíme na dno mikrovlnky. Zapněte na maximální výkon na přibližně 10 s. Na papíře se objeví zčernalá místa. Jejich vzájemná vzdálenost odpovídá polovině vlnové délky stojaté vlny. Tuto vzdálenost změříme (pokud možno pro více skvrn). Pokud není zčernání dostatečné, ponecháme troubu zapnutou déle. Ze známé frekvence (kterou najdeme na zadní stěně trouby na štítku parametrů) a ze vztahu $c = \lambda \cdot f$ spočteme (alespoň přibližně) rychlost vlny (tedy i světla).

Vysvětlení

V troubě vzniká odrazy a následnou interferencí prostorová stojatá vlna. Protože mají mikrovlny stále stejnou frekvenci, vytvoří se v objemu trouby stabilní systém maxim a minim. V místech maxim se pole mění intenzivněji a uvolňuje se zde více energie. Naopak v místech minim se neuvolňuje téměř žádná energie. V místech kmiten se proto voda na filtračním papíře nejvíc ohřívá. Zde také dochází ke ztmavnutí termocitlivého papíru. Vzdálenosti kmiten jsou přitom právě rovny polovině vlnové délky. Aby se potraviny neohřívaly jen v některých místech, jsou umístěny na otáčejícím se talíři, prohřívání je pak rovnoměrnější. Uprostřed se potraviny ohřívají nejméně, protože je v daném místě uzol.

Poznámky

- Délku ohřívání a výkon je vhodné nejprve vyzkoušet. Raději volit menší časy a papír případně „dopéci“. Doba ohřívání závisí na materiálu (chléb, papír, čokoláda), na druhu mikrovlnky a pochopitelně na vlhkosti prohřívané látky.
- Je třeba mít na paměti, že je vlna prostorová. Proto je také vhodné umísťovat papír postupně do různých výšek a porovnat polohu kmiten.
- Místo termocitlivého papíru je možné použít např. toustový chléb. Vzhledem k poměrně malé vlhkosti je ho třeba déle ohřívát. Na druhou stranu je ho možné stavět do tlustších vrstev a tím lépe rozložení intenzity zmapovat (je možné určit vzdálenost kmiten i ve svislém směru). Jako další vhodný materiál se doporučuje také plátkový sýr, nastrouhaná čokoláda apod. (viz např. <http://fyzweb.cuni.cz/dilna/krouzky/mikrov/podr2.htm>)
- Pěkné video s tímto pokusem a názorným vysvětlením naleznete také na stránkách <https://www.youtube.com/watch?v=7I9-AL30hQg>
- Je poměrně zajímavé, nechat probíhat pokus s termocitlivým papírem na otáčejícím se talíři, černá mezikruží, okraje a střed moc neztmavnou.

Vypalování CD v mikrovlnce apod.

Tento pokus názorně ukazuje, proč není vhodné do mikrovlnky dávat vodivé předměty. Do mikrovlnky můžeme vložit na příklad kousek drátu, LEDku (s roztaženými vývody, tedy jako přijímací dipól), tavnou pojistku apod. Podobně jako působí vlny na molekuly vody, působí i na elektrony, které se začnou ve vodiči pohybovat, vznikne elektrický proud, který může dosahovat značných hodnot. Po zapnutí se proto drátek poměrně rychle zapálí, LEDka jasně zazáří a dojde k jejímu zničení. Při těchto pokusech dejte pozor na popálení a znečištění prostoru mikrovlnky. Velmi efektní je chování CD po zapnutí trouby; můžeme pozorovat intenzivní jiskření v rovině disku a v některých případech i krátkodobý plazmový výboj v celém vnitřním prostoru. Primární je zde jiskření, které probíhá na principu elektromagnetické indukce, výboj je jevem sekundárním. Při delším „vypalování“ CD může dojít i k vznícení a zdeformování plastu. Chcete-li si „vypálené“ CD ponechat (např. jako dekorační předmět) je lepší zvolit kratší dobu „vypalování“.

Dalším poměrně efektním pokusem je vložení žárovky do mikrovlnky. Ve vlákně se indukuje proud, který často vede k vzniku plazmatu v baňce, která se rozžhaví a v nejtenčím místě následně praskne (roli zde hraje pochopitelně i rozpínání plynu v baňce). Při tomto pokusu je nutné dbát na pevné zavření dvířek mikrovlnky a uvědomit si, že jistě mikrovlnce neprospíváme.

Další pokusy a náměty na experimenty s mikrovlnou můžete najít např. na:

- <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=44>
- <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/mikrovlnka-mytu-zbavena-aneb-je-duvod-k-obavam--13546>
- <https://www.youtube.com/watch?v=nwNUV4RXAcA>

D) Pokusy s IR a UV zářením

UV a IR záření je elektromagnetické vlnění, které opět nevnímáme okem (a navíc jsou některé složky UV záření pro organismus nebezpečné). Proto je třeba zvolit nejen vhodný zdroj, ale i detektor, který nám dané vlnové délky převede na námi vnímatelný signál. Pravda je, že některé vlnové délky v oblasti IR vnímáme jako teplo (tepelné záření), ale je vhodné se zabývat i těmi, které fyziologicky nevnímáme. Při demonstraci je vhodné upozornit, že právě i pro tyto oblasti spektra platí stejné zákony, jako pro světlo; toho se využívá u dálkových ovladačů, termokamer apod.

a) Pokusy s UV zářením

K detekci UV záření je vhodné použít luminiscenci (přesněji fotoluminiscenci) látek. Jako zdroj může sloužit např. UV dioda, UV zářivka či žárovka (zdroj tzv. černého světla – takto se obvykle označuje zdroj s maximem záření kolem 395 nm) či laserové ukazovátko s vhodnou diodou (stačí fialová barva). Pokusy s UV zářivkou a fialovým ukazovátkem nejsou zcela „čisté“, protože oba zdroje vysílají záření z konce viditelného spektra (tedy spíše fialovou barvu), nicméně pro základní princip se jedná o pro naše účely poměrně postačující, a hlavně dostupné zdroje. V případě UV zářivky jde na víc o relativně bezpečný zdroj, který studenti znají většinou z vlastní zkušenosti (diskotéka apod.). Obdobně řada UV diod vyzařuje i ve viditelném spektru, což můžeme pozorovat jako její slabé světélkování (slabý světlý obláček s fialovým nádechem). **Při práci s laserovým ukazovátkem je třeba dbát na bezpečné zacházení a žáky na ně důrazně upozornit!!!** Nicméně i tak jde o zdroj poměrně bezpečný a k výuce vhodný; navíc lze dané pokusy provádět demonstračně. Nevýhodou je, že kolem nás je i za běžného denního osvětlení poměrně dost UV záření, a proto je vhodné pokusy provádět při zatemnění učebny. Vzhledem k tomu v PŠP 2 budeme provádět jenom ty pokusy, které jsou pozorovatelné i za denního světla. Doporučujeme však si tyto pokusy vyzkoušet někde při zatemnění. Již samotné zatemnění vzbuzuje u žáků pocit tajemna, pokusy jsou pro žáky velmi lákavé a víc efektní. Když už nic jiného, tak ukazují, že je fyzika krásná.



Další nevýhodou UV záření je, že běžné sklo (čočky, okenní tabule apod.) ho pohlcuje, a proto je třeba použít speciální optiku z křemenného skla (problém je s horší dostupností a větší cenou). V zatemněné místnosti je možné mnohé pokusy provádět i s „vodní“ čočkou. Voda UV záření pohlcuje méně. Materiál, do kterého lze vodu nalít, nesmí UV záření pochopitelně také moc pohlcovat. Pro tento účel je použitelný a při tom snadno sehnatelný nízkohustotní polyethylen, ze kterého se vyrábějí různé balicí fólie a sáčky. Výrobky z něj jsou označeny LDPE (low-density polyethylene), případně číslem 4. Některé z těchto pokusů jsou popsány například v [6].

Dále je vhodné upozornit, že se v našich pokusech omezíme jen na fotoluminiscenci (tedy světélkování pevných látek a kapalin při dopadu elektromagnetického záření, v našem případě ultrafialového event fialového či modrého světla).

Pro úplnost ještě uvedme, že luminiscence se někdy dělí podle doby světélkování, a to na *fosforescenci* (krátkodobá luminiscence, která probíhá z makroskopického hlediska jen po dobu dodávání energie, tedy ozařování, časově zpoždění maximálně řádu nanosekund) a *fluorescenci* (luminiscence, která trvá delší dobu, je tedy pozorovatelná i po odstranění světelného zdroje, doba vyzářování trvá několik minut i déle). Přesnější definici tohoto rozlišení najdete v odborné literatuře.

***Luminiscence dekoračního (fluorescenčního) kamínku a jiných materiálů**

Jde o asi nejjednodušší pokus, kdy osvěcujeme UV zářením dekorační kamínek (průsvitný kousek plastu obsahující fotoluminiscenční látku), případně jiné materiály. Jde ve své podstatě o to ukázat, že při dopadu UV záření dojde k fluorescenci, tedy déletrvajícimu rozsvícení vhodného materiálu.

Pomůcky

Fluorescenční kamínek pro dekoraci zabalený v alobalu, zdroj UV záření – např. LED (UV a event. i jiných barev), ss zdroj napětí, ochranný rezistor.

Příprava a provedení

Pokus je vhodnější provádět v zatemněné (případně alespoň polozatemněné) místnosti (jak moc je třeba zatemnit závisí na druhu kamínku). Doporučujeme kamínek v dostatečném časovém předstihu (nebo v zatemněné místnosti) zabalit do alobalu, aby nedošlo k jeho předčasnému nasvícení.

Kamínek po rozbalení nesvítí, ale po osvětlení zdrojem UV se jasně rozzáří a zůstane svítit i po odstranění zdroje UV.

Poznámky

Máte-li dostatek kamínek, je vhodné provést pokus ve skupinkách. Žáci si mohou kamínky nasvítit, když učitel rozsvítí UV zářivku. Další možností je, že ve skupinkách jsou zdroje UV záření (nejlépe UV LED s ochranným rezistorem).

Pro žáky je též zajímavé, mají-li ve skupinách LED různých barev a kamínek jimi postupně prosvěćují. Zjistí, že zatímco např. červená a zelená dioda světlo rozptýlí (kamínek svítí příslušnou barvou, po oddálení zdroje světla zhasne), jen slabě svítící UV LED (tedy UV dioda případně někdy i modrá) je schopná kamínek nejen rozsvítit (a to jinou barvou), ale svítí i po zhasnutí diody. Pokud kamínek vykazuje luminiscenci modrou diodou, tak svítí při osvětlení modře a po odstranění diody zeleně. Žáci si tak uvědomí si, že světlo (obecně záření) může mít na materiál různý (a někdy i déletrvajcí) vliv; přitom navíc záleží i na barvě (frekvenci) použitého světla.

Pomocí UV LED je možné zkoumat různé materiály (bankovky, doklady, lístky na tramvaj, zuby, různé fluorescenční papíry, banánek v čokoládě, plísňový sýr apod.) a zkoumat, co a jak vypadá při osvětlení UV zářením.

Vysvětlení

Při dopadu UV záření dojde k excitaci elektronů do vyšších energetických vrstev. Následná deexcitace pak způsobí i přeskoky ve viditelné oblasti. Z rozšířené varianty žáci zjistí, že různé barvy mají různý vliv. Červené a zelené fotony mají malou energii, která nedostačuje k potřebné excitaci. Modré a UV (resp. fialové) fotony mají energii vyšší, a tedy jsou schopné luminiscenci vybudit (přičemž po oddálení modré, resp. UV diody, svítí kamínek zeleně, tedy emituje fotony o nižší energii).

*** „Změna barvy světla“ odrazem**

Pomůcky

Červený a zelený laser (ukazovátka), červená a zelená lesklá luminiscenční fólie (papír)

Provedení

Nejdříve posvítíme červeným laserem na červenou fólii a pak zeleným laserem na zelenou fólii a pozorujeme dopadovou stopu na fólii (případně stopu odraženého paprsku na bílé stěně event. na bílém papíru). Nedojde k žádnému překvapivému jevu.

Poté posvítíme zeleným laserem na červenou luminiscenční fólii. Dopadová stopa svítí červeným světlem (je vidět z různých směrů). Docílíme tak iluze změny barvy světla. Podíváme-li se však na stopu odraženého paprsku, kterou promítneme např. na bílou stěnu či bílý papír zjistíme, že tato stopa je zelená.

Na konec posvítíme červeným laserem na zelenou fólii a opět pozorujeme stopu odraženého paprsku a stopu při dopadu.

Vysvětlení

Výsledek první části pokusu je zřejmý a vychází stejně, i kdyby fólie nebyly luminiscenční. Zajímavá je druhá část a v jistém smyslu i ta poslední. Podstatná je zde luminiscence a energie dopadajících paprsků. Dopadovou stopu vidíme díky rozptylu i díky luminiscenci fólie. Zelený paprsek na červené fólii je schopen vybudit luminiscenci (má vyšší energii než červený foton), přičemž červená fólie svítí („luminiscenčně“) červeně. Při dopadu červeného světla na zelenou fólii je však situace jiná. Červený foton není schopen vybudit zelenou luminiscenci (na tu je potřeba vyšší energie), a proto je dopadová (tedy jen rozptýlená) stopa červená. Při odrazu se barva světla nemění.

Poznámky

Pro zajímavost je možné pokus provést ještě s fialovým laserem.

„Změna barvy světla" průchodem (zviditelnění paprsku)

Tento experiment ukazuje fosforescenci kapalin (vodných roztoků) v UV světle, resp. při prosvěcování laserem vhodné vlnové délky (zelený, modrý). Při prosvěcování laserem není třeba ani nějaké zvláštní zatemnění. Pro větší zviditelnění je vhodné za nádobu s prosvěcovaným roztokem dát černý papír, případně použít vhodně upravenou krabičku, do které je nádobka vložena. V PŠP 2 máme k dispozici krabičky vytištěné 3D tiskárnou. Výhodou této krabičky je mimo jiné i to, že laserovým ukazovátkem, kterým je kapalina prosvěcována, prakticky není možné posvítit pozorovateli do oka. I tak **je třeba dbát zvýšené bezpečnosti při zacházení s laserem.**

Pomůcky

Nádobky s různými kapalinami (tonik, destilovaná voda, líh, slunečnicový a olivový olej, energetický drink, vodný roztok aesculinu, chlorofylu, vitamínu B apod.). Zelený a modrý laser (ukazovátka), event krabičku na nádobku s roztokem.

Příprava a provedení

Nejdříve si připravte roztoky. Roztok aesculinu pořídíte ponořením uříznuté větvičky nebo pupenu kaštanu do vody. Je pěkné pozorovat v UV světle, jak se aeskulin z pupenu pomalu vyluhuje ve formě bíle-namodralého obláčku (toto pozorování je nutné provádět v zatemněné místnosti s UV světlem). Pro naše pozorování stačí vytvořit mírně nažloutlý roztok. Při posvícení modrým laserem je vlivem luminiscence vidět bíle-modrá stopa.

Podobně je možné vytvořit vodný roztok chlorofylu, i když je mnohdy výhodnější k jeho vyloužení použít líh. Takto vzniklý roztok má tmavě zelenou barvu, luminiscence je ale červená. Podobně v olivovém oleji při prosvícení modrým laserem vznikne červená stopa, která je způsobena luminiscencí právě chlorofylu.

Fosforescence toniku je poměrně známá a je způsobena chininem.

Luminiscenci vykazují vitaminové doplňky s vitamínem B, který je obsažen i v řadě energetických nápojů apod.

Některé kapaliny luminiscenci nevykazují (např. destilovaná voda), ale stačí malá nečistota (příměs) a luminiscence se objeví (např. voda z kohoutku).

Poznámky

Pro dané pokusy jsou zajímavé a efektní i roztoky barviv jako je např. fluoresceinu ($C_{20}H_{12}O_5$), eosinu (barvivo vzniklé působením brómu na fluorescein), rhodaminu B ($C_{28}H_{31}ClN_2O_3$) apod.

To, že je vidět např. zelená stopa laserového ukazovátka ve vodě není díky luminiscenci, ale především díky rozptylu na drobných nehomogenitách (mikrobublínách), které jsou ve vodě přítomny. Nejvíce je pozorovatelný tento jev u zeleného laseru, protože oko je na danou vlnovou délku nejcitlivější (při prosvícení červeným a modrým laserovým ukazovátkem je málo patrný i při dobrém zatemnění). Tento rozptyl je možné zvýraznit kápnutím mléka apod. (zvýší se pak viditelnost i pro jiné barvy laseru). Toho se využívá v optice při demonstraci lomu a odrazu paprsků.

c) Pokusy s IR zářením

Obvykle se za IR považuje elektromagnetické vlnění asi od 750 nm do 1 mm, delší vlnové délky se zpravidla nazývají mikrovlnné záření (od 1 mm do 1 m). IR záření některých oblastí vlnových délek při dopadu na kůži vyvolá tepelný vjem (proto se také někdy nazývá jako tzv. tepelné záření). Nejvýraznějším přímým účinkem krátkovlnného infračerveného záření (cca 1,5 μm) na kůži při vyšším jednorázovém ozáření je spálenina. To však není nejlepší způsob detekce, navíc celou spoustu vlnových délek nejsme schopni našimi smysly detekovat. Pro detekci IR záření se dá použít:

- Fotodioda citlivá na IR záření. Jde o využití tzv. hradlového fotoefektu, kdy při dopadu vhodného záření na PN přechod dojde jeho pohlcením ke vzniku napětí.
- Termokamera. Konstrukce termokamery je principiálně stejná jako konstrukce běžné kamery či digitálního fotoaparátu. Optika (čočka) je většinou germaniová a slouží zároveň jako filtr, který propouští jen ty části spektra, která se pak využijí k měření teploty. Tepelným detektorem, se kterým se žáci nejčastěji mohou setkat, je soustava tzv. mikrobolometr (funkce této polovodičové součástky je založena na závislosti jejího odporu na teplotě).
- Digitální fotoaparát, videokamera nebo mobil. Citlivost CCD nebo CMOS čipu běžně sahá do blízké infračervené oblasti (tj. až do cca 1,1 μm). Protože tato vlastnost je u barevných přístrojů nežádoucí, citlivost je většinou snížena filtrem. Přístroje pro noční vidění mají tento filtr snímatelný. Proto je před samotným experimentováním nutné vyzkoušet, zda námi používaný přístroj je pro detekci vhodný (filtr se dá vysunout, nebo jednoduše chybí).
- Termocitlivá fólie. Ty se komerčně vyrábějí pro orientační určení teplot. Určitou nevýhodou je, že pro detekci je třeba intenzivnější zdroje. Fólie se vyrábí pro poměrně úzké oblasti teplot, což komplikuje experimenty v učebně, kde se teplota mění. Proto je nutné mít k dispozici několik kusů fólií různého rozsahu. Pro demonstrace je vhodnější mít velké fólie o rozměrech 30 × 30 cm, které se prodávají v ceně cca 1000,- Kč.

Pokusy s termokamerou

Pro základní seznámení se s termokamerou zde uvádíme jen několik jednoduchých pokusů. Podrobněji se můžete nechat inspirovat např. na [11].

Pomůcky

Termokamera, filtry z různých materiálů, brýle, vodivá deska, nevodivá deska (např. polystyrén, ale stačí třeba jen deska stolu)

Příprava a provedení

- Přes termokameru se podívejte na spolužáky.
- Pomocí termokamery vyhledejte v místnosti nejteplejší a nejstudenější místo.
- Přes termokameru se podívejte přes okenní tabuli. Co pozorujete? K čemu byste chování okenní tabule v IR světle přirovnali?
- Přes termokameru se podívejte na někoho, kdo nosí brýle. Vysvětlete.
- Prozkoumejte propustnost různých látek (filtrů) pro IR záření.
- Pozorujte termokamerou dva různé zdroje světla (sledujte zároveň např. dvě lampičky; jednu s klasickou žárovkou a druhou se zářivkou nebo LED žárovkou).

Pokusy s mobilem a dálkovým ovladačem

Jedná se asi o nejjednodušší a pravděpodobně i nejznámější pokus, který zobrazí záření emitované dálkovým ovladačem.

Pomůcky

Dálkový ovladač, mobil případně digitální fotoaparát (obé bez IR filtru), filtry z různých materiálů (včetně IR filtru), nádoby s vodou, vodnými roztoky hypermanganu, cukru, soli, síranu měďnatého

Příprava a provedení

Nejdříve namiřte dálkový ovladač do objektivu vašeho detektoru (mobilu v režimu fotografování, fotoaparátu apod.). Pokud Váš detektor neobsahuje IR filtr, který by pohltil záření emitované LED ovladače, po stisknutí libovolného tlačítka na ovladači se v místě LED objeví namodralé světlo. Tím ověříte, že je ovladač zdrojem pro oko jinak neviditelného záření a že váš detektor danou vlnovou délku neodfiltruje, tedy rozsvícenou LED „vidí“.

Pomocí tohoto zdroje IR záření a již prověřeného mobilu můžeme porovnat šíření IR záření a světla při odrazu, lomu apod. Při tom je třeba si uvědomit, že kdyby pro oba druhy neplatily stejné zákony, tak by obraz namodralé tečky (tedy stopy, která vychází ze zdroje, tedy IR LED) byl v našem detekčním zařízení vidět jinde než v místě, kde je LED umístěna. Protože výsledek není nijak překvapivý, je třeba s žáky vést nejdříve diskusi, co by se stalo, kdyby se paprsek z ovladače šířil jinak než světlo (třeba by se odrážel pod jiným úhlem, než je úhel dopadu, nebo by se neodrážel vůbec apod.). Při lomu sice dochází k disperzi, ale ta je okem v běžných situacích nepozorovatelná.

V neposlední řadě pomocí dálkového ovladače a mobilu můžeme zkoumat propustnost různých látek pro dané IR záření. Nepřekvapí, že většina látek, která je průhledná pro viditelnou oblast (světlo) je propustná i pro toto IR záření. Na druhou stranu pozorovatele překvapí rozdíl v propustnosti mezi roztokem hypermanganu a síranu měďnatého (právě ionty mědi jsou příčinou větší pohltivosti IR záření). Při přípravě pokusu je třeba předem vyzkoušet koncentraci roztoků, aby byl pokus dostatečně průkazný (zkoumaný roztok elmag. vlnu trochu zeslabuje, a tedy přílišná koncentrace a tloušťka roztoku pochopitelně pohltí i tu část spektra, kterou chceme pozorovat).

***Zobrazení horkého objektu**

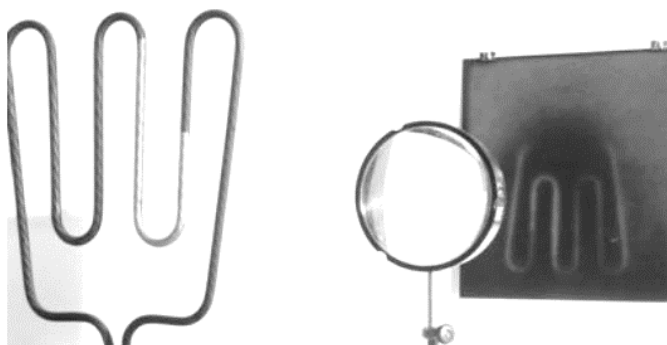
Zobrazit tepelné zdroje IR běžnou optikou je poměrně obtížné (podrobněji viz [6]) a možné pouze, je-li jejich teplota dostatečně vysoká (cca 500 °C a výše), tedy na samé hranici teplot, kdy objekt začíná vyzařovat ve viditelné oblasti. Chceme-li ale záření detekovat termocitlivou fólií, nesmí mít zdroj příliš velký zářivý výkon tak, aby zahříval celé okolí. K tomu se spíše než plotýnky (na které se můžeme podívat např. termokamerou) hodí topné tyče (např. elektrické grily, zapalovač dřevěného uhlí apod.).

Pomůcky

Zapalovač dřevěného uhlí, termocitlivá fólie na desce, spojná čočka (lupa), stojany.

Příprava a provedení

Zapalovač dřevěného uhlí, lupu a termocitlivou fólii upevníme do stojanů a rozmístíme podle obrázku. Pomocí zobrazovací rovnice a známé (event. změřené) ohniskové vzdálenosti čočky určíme místo, kam je třeba umístit stojan s fólií, aby na ní vznikl ostrý obraz spirály zapalovače. Pak zapneme zapalovač a sledujeme obraz na fólii. Přitom obraz je převrácený podobně jako by vznikl obraz ve viditelné oblasti.



Poznámky

Tento pokus je velmi citlivý na rozmístění jednotlivých prvků a na okolní teplotu. Takže ne vždy vznikne požadovaný efekt. Fólie nesmí být příliš blízko zdroji, aby se od něj sama příliš neohřívala, na druhou stranu nesmí být ani příliš daleko, aby se místo obrazu dostatečně teplotně odlišovalo od okolí. Pokud se ale vše povede správně „naladit“, je pokus velmi efektní.

*E) Pokusy s gama zářením

Poslední částí elektromagnetického spektra, se kterou se žák ve výuce setká, je gama záření. Z pohledu experimentů je tato oblast asi pro běžné školy nejméně pokryta. Považujeme však minimálně za slušné se o této oblasti zmínit, i když trochu okrajově.

Žák se s pojmem gama záření setkává v případě záření vycházejícího z jádra při deexcitaci jádra, tedy jako s druhem jaderného záření. Protože u gama záření převažuje korpuskulární (částicový) charakter, je vhodnější pak hovořit o fotonech, případně gama kvantech spíše než o vlnění (i když vlnový charakter má stále). Přesto, nebo právě proto je třeba připomenout, že se jedná také o elektromagnetické vlnění.

Na školách se může učitel setkat v principu se dvěma typy souprav Gama-beta, případně se soupravou MX-10 (je v některých centrech Elixíru do škol). Starší souprava Gama-beta byla do škol dodávaná v 90. letech minulého století společností ČEZ, modernější (a rozšířená) souprava Peterem Žilavým. Součástí obou je zdroj gama a beta záření, detektor (Geiger-Mullerova trubice) napájený 9V baterií, který je možné spojit s akustickým a digitálním čítačem pulsů, u kterého je možné nastavit různé (2–3) délky časových intervalů, po kterých je čítač zapnut.

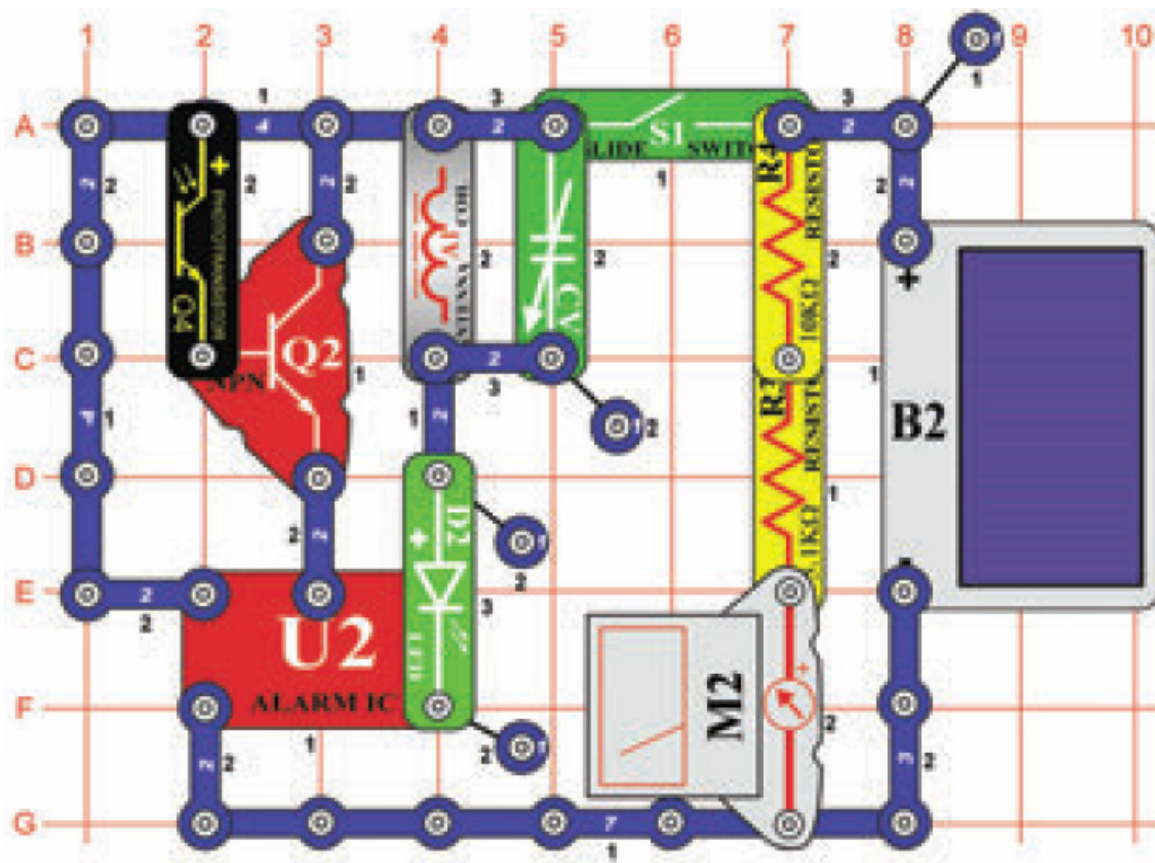
Se starší soupravou Gama-beta a s řadou pokusů se můžete seznámit na stránkách Světa energie, na adrese: <https://www.svetenergie.cz/cz/stahuj-zdarma/filmy-on-line/vyukove-filmy/prace-s-gamabetou-1-cast>

4) Základní princip rozhlasového přijímače

Princip rozhlasového přijímače se nejlépe vysvětluje na amplitudové modulaci (AM) a experimentálně ukazuje na tzv. krystalku. Krystalka je základní a nejjednodušší zapojení, které sloužilo k příjmu elektromagnetických vln, přesněji radiového signálu. Základem je LC oscilátor, který se naladil na přijímanou frekvenci (stanici), a to buď změnou kapacity (tzv. ladicího) kondenzátoru nebo změnou indukčnosti cívky vysouváním/zasouváním feritového jádra. Na krystalku dopadají vlny různé frekvence. Je-li oscilační obvod naladěný na přijímanou stanici, dojde mezi nosnou frekvencí stanice a tímto obvodem k rezonanci a tzv. rezonančnímu zesílení (amplituda napětí je na rezonančním obvodu výrazně větší oproti kmitům ostatních frekvencí). Usměrnění provádí v tomto obvodu germaniová dioda, a právě podle ní (resp. krystalu germania) byl i tento přijímač nazván. V nejjednodušším zapojení nebylo třeba používat ani zdroj napětí. Bohužel po vypnutí vysílačů středních vln, na kterých šlo s jednoduchými pomůckami vysílané stanice přijímat, již není možno tento experiment provádět. Experimenty s frekvenční modulací jsou méně názorné a spíše „jen“ ukazují možnost vyslání a příjmu signálu pomocí jakési černé skříňky. I když to v současné době bezdrátových přenosů není pro žáky neznámá věc, může být zajímavé sestavení takového zařízení pomocí jednoduché stavebnice. Následující pokusy jsou tedy jakýmsi doplněním a inspirací pro práci s elektronickými soupravami, které jsou dnes na trhu a mnohé školy je mají ve svých sbírkách (nebo žáci doma). Pro úplnost a názornost uvádíme i experiment s krystalkou s využitím stavebnice Voltík a analogický experiment se stavebnicí Bofin.

AM radiovysílač pomocí stavebnice Bofin

S využitím stavebnice Bofin si můžeme sestavit jednoduchý vysílač a nahrávku (happy birthday), která je součástí soupravy, přijmout některým ze starších typů radiopřijímačů (s rozsahem pro příjem AM vln). Pro sestavení vhodného vysílače se hodí projekt č. 568, který je sestaven z pokročilejší verze stavebnice řady I (Boffin 750), která se soustředí na opticky citlivé prvky, jako zdroj je proto použit solární článok (panel B2) a k regulaci proudu báze (a následkem toho i proudu mezi kolektorem a emitorem) fotorezistor (panel RP). Jde tak současně demonstrovat několik fyzikálních jevů.



Pomůcky

Stavebnice Boffin 750, radiopřijímač (nastavený na příjem AM vln), při nedostatečném osvětlení zdroj světla

Příprava a provedení

Pokus sestavíme podle obrázku (projekt 568) s vypnutým spínačem S1. Jako vysílaný zvuk můžete použít alarm ((U2), jak je uvedeno ve schématu. Tento zvuk je ale dosti nepříjemný a spíše poslouží k vyhnání ostatních z místnosti. Proto je vhodnější použít díl MUSIC (součástka U1), na které je nahrávka „happy birthday“, což je mnohem příjemnější a na víc nevzniká dojem, že jde o nějaké pískání, jehož zdrojem může být cokoli.

Nastavte rozsah na ampérmetru (M2) na nižší rozsah (10 mA) a nastavte osvětlení solárního článku B2 tak, aby ampérmetrem protékal proud alespoň 9 mA. Při zapnutí spínače dojde k otevření tranzistoru, LED se rozbliká, oscilační obvod (anténa A1 a laditelný kondenzátor LC) začne vysílat. Umístěte v blízkosti vysílače radiopřijímač s nastavením na AM (resp. SV) a zapněte ho; vysílaný signál doladíte vysílací pomocí kapacity laditelného kondenzátoru LC. Pro kvalitnější příjem je lepší vysunout anténu radiopřijímače. Zvuk se dá měnit osvětlením (resp. spíše zastíněním) fotorezistoru RP.

***Krystalka pomocí stavebnice Voltík**

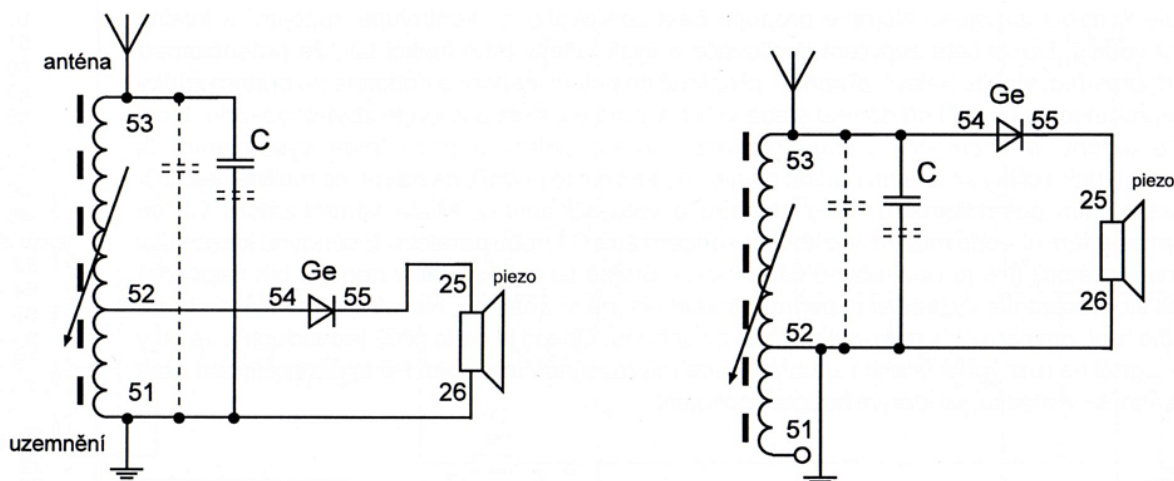
Krystalka je základní a nejjednodušší zapojení, které slouží k příjmu elektromagnetických vln, přesněji radiového signálu. Základem je LC oscilátor, který naladíme na přijímanou frekvenci (stanici), a to buď změnou kapacity (tzv. ladicího) kondenzátoru nebo (jako je tomu v tomto pokusu) změnou indukčnosti cívky vysouváním/zasouváním feritového jádra. Na krystalku dopadají vlny různé frekvence. Je-li oscilační obvod naladěn na naši oblíbenou stanici, dojde mezi nosnou frekvencí stanice a tímto obvodem k rezonanci a tzv. rezonančnímu zesílení (amplituda napětí je na rezonančním obvodu výrazně větší oproti kmitům ostatních frekvencí). Usměrnění provádí v tomto obvodu germaniová dioda, a právě podle ní (resp. krystalu germania) se i tento přijímač nazývá.

Pomůcky

Stavebnice Voltík, krokosvorky, vodič k propojení se zemí, 12 m vodič (anténa), vysokoohmová sluchátka (alespoň 2 k Ω).

Příprava a provedení

Pokus sestavíme podle následujícího obrázku (vlevo) pomocí soupravy Voltík, kde najdeme i podrobný návod (str. 36, pokus 23). Vzhledem k tomu, že konstruovaná krystalka neobsahuje žádný zesilovač (který se pochopitelně používá v lepších typech přijímačů) a vstupní laděný obvod je příliš jednoduchý, je nutno maximálně využít energii okolních radiových vln. Proto je nutné, aby anténa, na kterou vlny dopadají, byla tvořena minimálně 10 m drátem, jehož jeden konec necháme volně viset z okna podél budovy (délka antény je v tomto případě vlastně omezena výškou budovy). Dále je nutné uzemnění, a to připojením krystalky (zdířky 51) ke kovové části ústředního topení nebo k uzemňovacímu kolíku zásuvky.



Po sestavení obvodu přiložíme ucho co nejbližší k reproduktoru a pozvolným posouváním jádra v cívice se snažíme naladit frekvenci některé stanice. Vzhledem k jednoduchosti zařízení je zvuk opravdu slabý. Zlepšit poslech je možno připojením vysokoohmového sluchátka (už z pohledu lepšího komfortu a odstínění okolních ruchů) místo piezoreproduktoru ze soupravy (viz též schéma). Kondenzátor ve vstupním laděném obvodu označený jako C (resp. C4 220 pF) můžeme nahradit kondenzátorem 100 pF, případně jejich paralelním spojením. Je také možno použít modifikované zapojení (obrázek vpravo) s jedním případně dvěma kondenzátory.

Poznámky

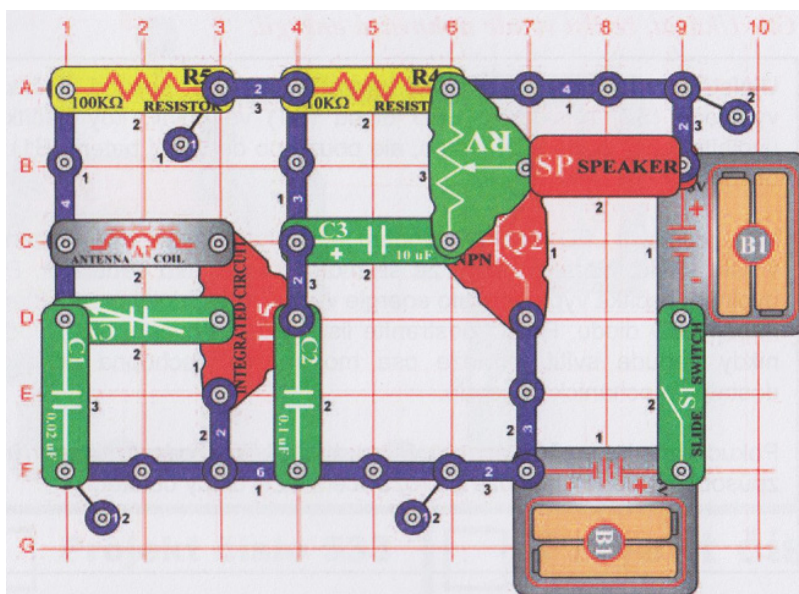
Pomocí krystalky podle obrázku vlevo s paralelní kombinací 220 pF a 100 pF a sluchátkem 2 k Ω je možno relativně slušně naladit stanici Impuls, a to při jádru zasunutém jen několik mm do cívky. Lepšího výsledku lze pochopitelně docílit zesílením signálu, tedy zařazením jednoho nebo více zesilovacích tranzistorových stupňů. K tomu je třeba do obvodu zapojit stejnosměrný napájecí zdroj. Stavebnice Voltík nabízí několik takových zapojení.

*Jednoduchý AM přijímač pomocí stavebnice Bofin

Tento radiový přijímač je již opatřen tranzistorovým zesilovačem (jde tedy o „tranzistorové rádio“) s laděním pomocí změny kapacity (ladicí kondenzátor), který pracuje v pásmu středních vln a přijímá amplitudově modulovaný signál (podobně jako krystalka). Součástí tohoto dětského modelu rádia je však operační zesilovač (U5), díky němuž je rozhlasový příjem mnohem lepší než v případě krystalky. Na druhou stranu se ztrácí názornost a jednoduchost. I tak je zde patrná základní funkce LC obvodu, kterým na principu rezonance vybíráme poslouchanou stanici (ladění provádíme kondenzátorem CV), zesilovač (s tranzistorem Q2) pak zesiluje (už jen) nízkofrekvenční signál. Ze zapojení tohoto typu není (jako v případě krystalky) zřejmé oddělení vysokofrekvenční složky (tedy frekvence, na které vysílá poslouchaná stanice) od složky nízkofrekvenční (tedy signálu, který pro nás nese informaci, jako je např. hudba a mluvené slovo); v této části jde o jakousi „černou skříňku“.

Obvod sestavte podle obrázku. Sepněte páčkový spínač (resp. Připojte napájení zesilovače). Pomocí kondenzátoru CV naladte oscilační obvod na frekvenci vhodné radiové stanice, hlasitost upravte

pomocí potenciometru *RV* (děliče napětí). Pokud je obvod správně sestaven, podaří se vám naladit a dostatečně zesílit zvuk přijímané stanice tak, že je dostatečně slyšitelná i na větší vzdálenost.



Cílem sestavení tohoto jednoduchého obvodu je ukázat výstup radiového přijímače s využitím poměrně jednoduchých součástí. Zde je patrná především funkce přijímací části (tedy oscilátoru *LC*), resp. praktické využití rezonance, a funkce koncového zesilovacího stupně, který je také neodmyslitelnou součástí radiopřijímače. Princip amplitudové demodulace je však žákům skryt (může být však podnětem pro další studium a zkoumání (základní princip je však vidět z krystalového přijímače). Je tedy zřejmé, že pro dokonalou funkci radiopřijímače jsou potřebné i další obvody, jejichž rozbor přesahuje základní zkoumání.

Literatura

Při zpracování experimentů jsme vycházeli z následujících zdrojů:

- [1] E. Svoboda a kol.: Pokusy z Fyziky na střední škole 3. Prometheus, Praha 1999.
ISBN: 80-7196-009-8
- [2] Hubeňák Jan, Hubeňák Jiří: Souprava pro demonstraci vlastností elektromagnetické vlny na vedení a v prostoru. Hradec Králové, 2003. Dostupné na: <http://hubenak.ttnet.cz/Experimenty.doc>
- [3] Pazdera Václav: Elektromagnetický oscilátor. Dostupné na:
<http://www.vernier.cz/experimenty/pazdera/7.26/index.php>
- [4] Boffin: Uživatelská příručka
- [5] Bochníček Z., Strumienský J.: Pokusy s ultrafialovým a infračerveným zářením. Veletrh nápadů učitelů fyziky 13. Plzeň 2008. Dostupné na: <https://vnuf.cz/sbornik/prispevky/13-03-Bochnicek.html>

- [6] Bochníček Z.: Zobrazení v IR oblasti s využitím termocitlivých fólií. Veletrh nápadů učitelů fyziky 17, Praha, 2012. Dostupné na: <https://vnuf.cz/sbornik/prispevky/17-02-Bochnicek.html>
- [7] Gottwald S.: Nekomplikovaná optika. Dílny Heuréky 2009-2010, Prometheus, 2010. Dostupné na: https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2009-2010.pdf
- [8] Polák Z.: Infračervené záření. Dílny Heuréky 2009-2010, Prometheus, 2010. Dostupné na: https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2009-2010.pdf
- [9] Fišar Z. a kol: Studijní materiály 1.LF UK, 2005. Dostupné na: <https://psych.lf1.cuni.cz/fluorescence/soubory/principy.htm>
- [10] Eduportál, Techmania Science Centre, Elektromagnetické vlnění. Dostupné na: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/elektromagneticke-vlny>
- [11] Kácovský P.: Materiály pro učitele – Termodynamika. Dostupné na: <http://kdf.mff.cuni.cz/~kacovsky/termodynamika.php>
- [12] Žilavý P.: GAMAbeta – Souprava pro pokusy z jaderné fyziky. Dostupné na: http://kdf.mff.cuni.cz/~zilavy/clanky/Souprava_GAMAbeta_2007
-

Aktualizace a úprava textu byla v roce 2022 podpořena MŠMT v rámci opatření na podporu studijních programů specificky zaměřených na přípravu učitelů s deficitními aprobacemi na nepedagogických fakultách veřejných vysokých škol.