

Jednoduchý solární radioteleskop a jeho využití ve školní praxi

Jan Šlégr, Univerzita Hradec Králové

6. 4. 2007

Abstract

Sun is the brightest radiation source on the sky (about $5 \cdot 10^4$ Jy) and its emissions can be received and analyzed with very cheap equipment.

In this paper, there are also depicted demonstrational experiments, which can be done on high schools with this equipment (determination of Sun angular diameter, calculation of absolute temperature of Sun photosphere, observing human body microwave radiation etc.) and can be used for better understanding abstract concepts as e.g. blackbody radiation.

1 Úvod

Slunce vysílá k Zemi široké spektrum elektromagnetického záření, z něž pouze zlomek je zachytitelný lidským okem. S pomocí jednoduchého zařízení lze zkoumat záření Slunce na frekvencích kolem 12 GHz a využít jej při výuce astrofyziky a výkladu zákonů vyzařování dokonale černého tělesa.

Základním prvkem zařízení je parabolická anténa pro příjem satelitního televizního vysílání. Ta je vybavená LNB (Low Noise Block), což je monolitický prvek, který v sobě integruje ozařovač antény, vlnovod, vysokofrekvenční zesilovač a transvertor. LNB převádí družicový signál z mikrovlnných frekvencí v pásmu 10,7 - 12,75 GHz do pásma 950 - 1950 MHz, které zpracovává satelitní televizní přijímač. V pásmu kolem 12 GHz lze velmi dobře pozorovat záření Slunce. Za tímto účelem je vhodné na svod antény připojit nějaký prvek, který by umožnil zjistit, jaké množství záření na anténu dopadá. Jedná se tzv. TPR (Total Power Receiver, viz [1]). V našem případě je tímto TPR upravené zařízení, které používají satelitní technici ke správnému nastavení antén a prodává se pod názvem Satel-

ite Finder nebo zkráceně SatFinder. Jedná se v podstatě o vysokofrekvenční zesilovač s proměnným zesílením a vysokofrekvenční milivoltmetr. Běžné použití je takové, že technik nastaví přibližně azimut a elevaci antény podle toho, kde by se měla nacházet hledaná družice a na anténní svod připojí SatFinder. Pomocí drobných korekcí polohy antény pak podle přístroje nastaví maximální napětí, které odpovídá relativní síle signálu (relativní proto, že zisk vř zesilovače je nastavitelný).



Figure 1: Použité zařízení

2 Konstrukce

SatFinder potřebuje externí napájení v rozsahu 13 - 18 voltů, které je zároveň použito

pro napájení LNB (za normálních okolností je SatFinder napojen mezi parabolickou anténu a přijímač; přijímač má na anténním svodu 18 V stejnosměrných, které musíme v tomto případě nahradit).

Na desce plošných spojů se zároveň nachází piezoelektrický bzučák, jehož hlasitost je přímo úměrná síle signálu, stejně jako výchylka elektromagnetického měřicího přístroje. Je vhodné bzučák odletovat a na jeho místě měřit napětí. To může být přes vhodný dělič připojeno na vstup AD převodníku a naměřená data mohou být počítačově zpracována.

3 Pozorování

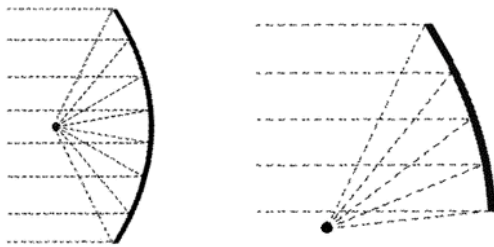
3.1 Určení průměru Slunce

Nejprve za zapotřebí určit šířku hlavního svazku antény pro pokles o 3 dB. Podle vzorce uvedeného ve [4] platí:

$$2\Theta_{0,7} = 59 \frac{\lambda}{D} \quad [^\circ], \quad (1)$$

kde λ je frekvence elektromagnetického záření a D průměr paraboly. Pro frekvenci 12 GHz je vlnová délka $\lambda = 0,025$ m. Použitá parabola má průměr 90 cm, proto je šířka hlavního svazku $2\Theta_{0,7} = 1,64^\circ$.

Nyní je možné provést první měření, ve kterém se nechá Slunce přejít přes hlavní svazek antény. Naprostá většina satelitních antén nemá ozařovač (míně ozařovač jako součást LNB) v primárním ohnisku paraboly (obr. 3a), nýbrž ofsetově, tj. mimo prostor paraboly (obr. 3b).



3 a - Primární ohnisko 3 b - Ofsetová montáž

Figure 2: Montáže ozařovačů

Proto jejich zaměřování v elevační ose probíhá jinak - za tímto účelem je anténa vybavena stupnicí ukazující, kam směřuje její hlavní svazek a elevaci je možné nastavit např. pomocí sextantu.

Při konstantní hodnotě zesílení byly získány následující hodnoty (hodnoty byly zaznamenávány každých pět sekund, na vodorovné ose čas, na svislé ose napětí na vstupu AD převodníku):

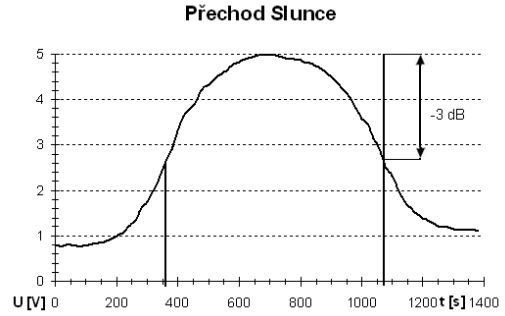


Figure 3: Naměřené hodnoty

Na obrázku je vyznačen i pokles o 3 dB (50% síly signálu). Pokud víme, že Země rotuje rychlostí 15' za minutu, můžeme ze znalosti, jak dlouho se Slunce nacházelo uvnitř hlavního svazku, určit úhlový průměr Slunce podle vztahu:

$$\Psi_{\odot} = \frac{2\Theta_{0,7}}{\Phi_{rot}}, \quad (2)$$

kde Ψ_{\odot} je úhlový poloměr Slunce, $2\Theta_{0,7}$ šířka hlavního svazku antény a Φ_{rot} je úhel, o který se Země otočí během doby, kdy je Slunce uvnitř hlavního svazku. Tedy zřejmě platí

$$\Phi_{rot} = \frac{T}{15'}, \quad (3)$$

kde T je čas v minutách. Z grafu je patrné, že pro pokles o 3 dB je $T = 785$ sekund a tedy $T = 13,083$ minuty. Po dosazení do vzorce (3) získáme hodnotu $\Phi_{rot} = 3,27^\circ$ a po dosazení do vztahu (2):

$$\Psi_{\odot} = \frac{1,64}{3,27} = 0,501^\circ = 30,06'. \quad (4)$$

Vzhledem k ročnímu období, ve kterém bylo měřeno, je správná hodnota 31.92'.

3.2 Určení teploty fotosféry Slunce

V první řadě je zapotřebí přijímač nakalibrovat pomocí dobře definovaných stavů. Při konstantní hodnotě zesílení tedy zaměříme anténu na oblohu - anténa zachycuje pouze reliktní záření. Přitom zaznamenáme napětí na výstupu přijímače. Poté totéž opakujeme s namířením antény na zem a např. na člověka (předpokládáme, že vyzařují jako dokonale černé těleso). Provedeme měření absolutní teploty povrchu Země a povrchu lidského těla, například pomocí infračerveného bezdotykového teploměru. Získáme následující údaje:

Stav	teplota	napětí
Reliktní záření	2,73	0,76
Povrch Země	288	2,62
Lidské tělo	308	2,91

Na základě těchto údajů je možné sestavit kalibrační křivku celé soustavy - jedná se o přímku, která byla proložena výše uvedenými třemi body pomocí metody nejmenších čtverců. Pomocí rovnice této přímky lze podle naměřeného napětí přiřadit odpovídající teplotu tělesa na vlnové délce 2,5 cm.



Figure 4: Kalibrační křivka

Rovnice této kalibrační křivky je

$$T_{abs} = 146,06 \cdot U - 106,66. \quad (5)$$

Pokud nyní (při stále stejném nastavení zesílení!) namíříme anténu primárním svazkem na Slunce (azimut a elevaci upravujeme tak,

aby bylo naměřené napětí maximální) a naměřené napětí (v našem případě $U = 9,74$ V) dosadíme do rovnice (5), získáme hodnotu $T_{abs} = 1315,96$. Je ale důležité si uvědomit, že všechny kalibrační stavy byly měřeny tak, že těleso bylo přímo před anténou a zabíralo tak celý primární svazek, kdežto Slunce (jak bylo zjištěno výše) má úhlový průměr pouze asi 31', což je několikrát méně, než je šířka primárního svazku. Přesnou opravu k lze vypočítat podle vztahu:

$$k = \frac{2\Theta_{0,7}^2}{\Psi_{\odot}^2}. \quad (6)$$

(uvažujeme poměr podstavy kužele primárního svazku a plochy slunečního kotouče ve stejné vzdálenosti, úhel je přímo úměrný odvěsně). V tomto případě je oprava číselně rovna $k = 9,767$ a pro teplotu fotosféry Slunce na vlnové délce 2,5 cm platí:

$$T_{korig} = \frac{2\Theta_{0,7}^2}{\Psi_{\odot}^2} (146,06 \cdot U - 106,66). \quad (7)$$

Pro námi naměřené údaje pak $T_{korig} = 12851,22$ K, což je velmi blízko běžně uváděných hodnot.

3.3 Další experimenty

Výše popsaného zařízení je možné kromě výuky astrofyziky použít přímo při výkladu záření dokonale černého tělesa, např. porovnáním vyzařování různých těles - kapalného dusíku, lidského těla nebo plamene Bunsenova kahanu.

Pokud by byla anténa umístěna na ekvatoriální montáži s pohonem v hodinové ose, bylo by možné pozorovat a vyhodnocovat fluktuace v záření Slunce. Nicméně, v tomto případě by bylo nutné LNB termostatovat - na obr. 2 je patrné, že napětí po výstupu Slunce ze svazku antény bylo vyšší. To je způsobeno tím, že parabolická anténa odráží na LNB i infračervené záření a tím jej zahřívá. Pokud by se tak dělo po delší dobu, byly by výsledky velmi zkreslené.

References

- [1] Bates, Cliff: A basic primer on setting up an amateur radio telescope [on-line], poslední revize 1/1998 [cit. 2007-4-2] Dostupné z <http://www.bambi.net/sara/cliff.htm>
- [2] Benoit, Herve: Satellite television: Techniques of analog and digital television, Arnold 1999, 978-0340741085
- [3] Bradáč, Jindřich: Satelitní technika populárně, Grada 1994 ISBN 80-85623-97-8
- [4] Ternoy, Léon: Une méthode de construction d'un radiotélescope á partir de matériel grand public [on-line], poslední revize 2/2006 [cit. 2007-4-2] Dostupné z <http://www.astrosurf.com/soleilradio/>