

Orientační měření blízkého elektrického pole nižších kmitočetů

Martin Zavřel

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

zavreln@kev.zcu.cz

www.fel.zcu.cz

Indicative Measurement of the Nearby Electric Field of Lower Frequencies

Abstract – In this paper is discussed and derived an alternative method for nearby lower frequency electric field measurement with emphasis on low cost and simplicity. Derived method is compared with commercial measuring devices and verified by reference electric field values. Described method was proposed for wireless power transfer system but is valid in general.

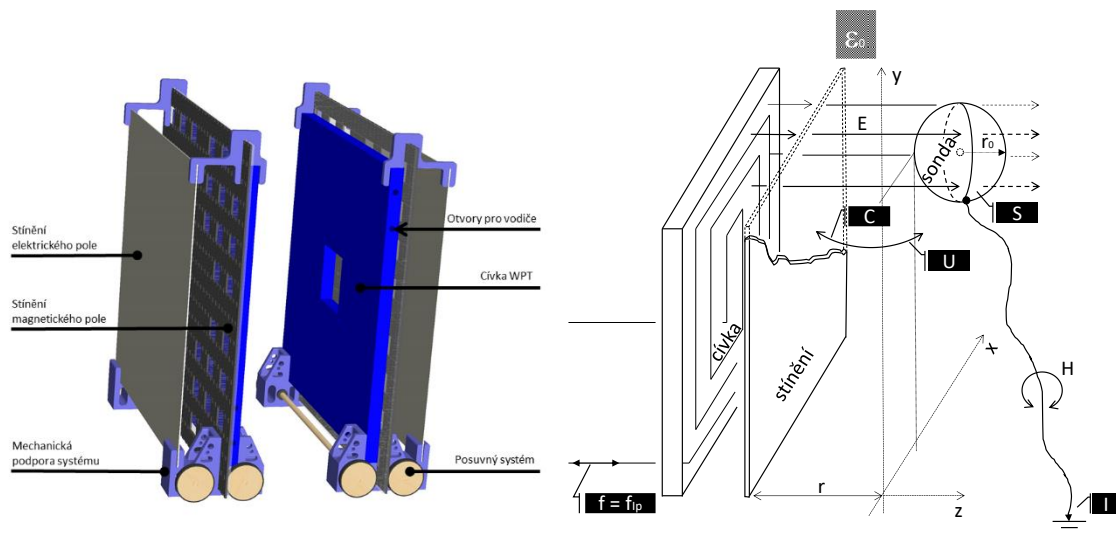
Keywords – Alternative Method; Measurement; Nearby Electric Field; Wireless Power Transfer.

I. ÚVOD

Současný technický rozvoj je z velké míry podpořen rozvojem elektrických zařízení a elektrotechniky obecně. Elektrotechnická zařízení jsou však také zdrojem mnoha nepříznivých vlivů, mezi nimiž je i vliv produkovaného elektromagnetického pole na živé organismy. V souvislosti se snahou minimalizovat tento negativní vliv vznikla celá řada doporučení či zákonů [1-3,6] omezujících nebo jinak upravujících možné intenzity elektromagnetického pole v okolí zařízení. Aby však bylo možné posoudit shodu nebo neshodu zařízení s doporučením, je nutné produkované EM pole s dostatečnou přesností změřit. Měřicími přístroji pro měření EM pole se zabývá několik společností [4-5]. Obecně však platí, že jsou tyto přístroje velmi drahé a pro jednorázové ověření prototypem produkovaného EM pole tedy nevhodné. Tento článek popisuje alternativní metodu pro měření blízkého elektrického pole se zaměřením na bezdrátový přenos elektrické energie, pro který navíc existují další (nezávazná) upřesňující doporučení [6]. Popisovaná metoda je velmi jednoduchá a na rozdíl od dostupných měřicích přístrojů finančně nenáročná, což umožňuje její nasazení při ověřování funkčnosti navrhovaného stínění EM pole pro systém bezdrátového přenosu energie [7].

II. UVAŽOVANÝ ZDROJ ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE

Popisovaná metoda měření blízkého elektrického pole je obecně platná, avšak primárně je vyvinuta pro ověření správné funkce stínění systému bezdrátového přenosu elektrické energie. Tento systém je uveden na Obrázku I. Zdrojem EM pole je zde čtvercové vzduchové vinutí cívky systému (primární či sekundární). Magnetická složka tohoto pole je stíněna převážně skládaným feritovým plátem a její zbytková část je odstíněna hliníkovou deskou elektrického stínění. Elektrická složka pole je odstíněna hliníkovou deskou připojenou na definovaný potenciál (PE vodič pro primární cívku a nulový potenciál přijímacího zařízení pro sekundární cívku).



Obrázek I. Uvažovaný zdroj EM pole a náčrt metody

III. POPIS METODY

Popisovaná metoda orientačního měření blízkého elektrického pole vychází ze základů teorie EM pole, kde je intenzita elektrického pole definována jako vektorová veličina

$$\vec{E} = [E_x ; E_y ; E_z] \quad (1)$$

a pro velikost intenzity elektrického pole platí

$$|\vec{E}| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}. \quad (2)$$

Přičemž u systému uvedeného na Obrázku I je zcela dominantní pouze složka ve směru přenosové vzdálenosti. Položíme-li tento směr rovnoběžně s osou z souřadného systému $x; y; z$ může provést zjednodušení

$$|\vec{E}| = E_z \quad (3)$$

Popsanou situaci znázorňuje Obrázek I, který současně slouží jako základ pro odvození popisované metody. Dále je z Obrázku I patrná možnost zjednodušení všech vektorových veličin na jednorozměrné.

Pro vyznačenou kapacitu C lze psát

$$C = \left| \frac{Q}{U} \right| = \left| \frac{DS}{U} \right| = \left| \frac{\epsilon_0 ES}{U} \right| = \left| \frac{\epsilon_0 US}{Ur} \right| = \left| \frac{\epsilon_0 S}{r} \right|. \quad (4)$$

Dále platí vztah mezi intenzitou elektrického pole E a elektrickou indukci D

$$D = \epsilon_0 E \rightarrow E = \frac{D}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 S} = \frac{UC}{\epsilon_0 S} = \frac{U}{\epsilon_0 S} \cdot \frac{\epsilon_0 S}{r} = \frac{U}{r}. \quad (5)$$

Pomocí Ohmova zákona můžeme definovat napětí U a vyjádřit impedanci mezi deskami kapacity C

$$U = R * I \rightarrow R = \frac{U}{I}. \quad (6)$$

Tento odpor je dále s využitím (4) nahrazen impedancí kondenzátoru ve střídavém systému a je vyjádřena její velikost

$$R \rightarrow Z = X_c = -j \frac{1}{\omega c} \rightarrow |Z| = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi f \frac{\epsilon_0 S}{r}} = \frac{r}{2\pi f \epsilon_0 S} \quad (7)$$

Vztah (7) lze zpětně dosadit do rovnice (6), čímž po úpravě dostaneme

$$U_{ef.} = \frac{r}{2\pi f \epsilon_0 S} \cdot I_{ef.} \quad (8)$$

Dosazením (8) do (5) dostaneme finální vztah využívaný v popisované metodě

$$|\vec{E}|_{ef.} = \frac{r \cdot I_{ef.}}{2\pi f \epsilon_0 S \cdot r} = \frac{I_{ef.}}{2\pi f \epsilon_0 S}, \quad (9)$$

kde $I_{ef.}$ je svodový proud elektrody, f je frekvence elektrického pole a S je užitná plocha elektrody stanovená dle (10).

Pro účely snímání intenzity blízkého elektrického pole byla zvolena kulová elektroda o poloměru 3,5 cm. Její umístění a způsob použití je patrný z Obrázku I. Volba kulové elektrody vychází ze snahy minimalizovat okrajový jev a tím zpřesnit měření. Efektivní plocha elektrody je pak

$$S = 4\pi r_0^2. \quad (10)$$

V souvislosti se zvolenou elektrodou je třeba upravit vztah (9) na tvar

$$|\vec{E}|_{ef.} = \frac{r \cdot I_{ef.}}{2\pi f \epsilon_0 S \cdot r} \cdot \frac{1}{2} = \frac{I_{ef.}}{2\pi f \epsilon_0 S} \cdot \frac{1}{2}, \quad (11)$$

neboť při bližším prozkoumání rozložení elektrického pole v okolí zvolené kulové elektrody dospějeme k závěru, že skutečná intenzita bude zhruba poloviční té neměřené. Na polokouli blíže zdroji pole bude působit měřená intenzita a na odvrácenou pak podobně velká, způsobená zakřivením pole. Tato tvrzení také dokazuje uvedené měření, které je popsáno dále.

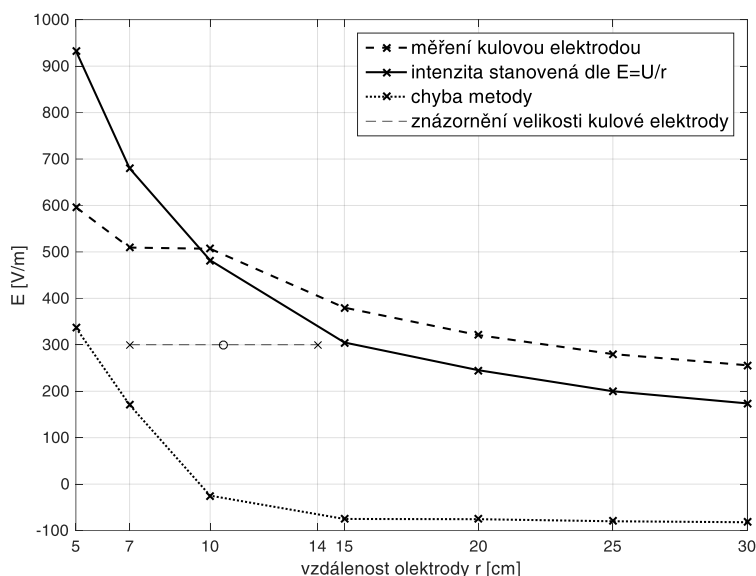
IV. NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

Pro navrženou metodu byl sestaven prototyp měřícího zařízení, na kterém byla ověřena její správnost. Hodnoty získané měřícím prototypem byly porovnány s hodnotami získanými přímým měřením napětí mezi stíněním a elektrodou, kde platí

$$|\vec{E}|_{ef.} = \frac{U_{r ef.}}{r}. \quad (12)$$

Naměřené hodnoty a celé porovnání s referenčními hodnotami je uvedeno na Obrázku II. Na stejném obrázku je také vynesena rozdílová křivka mezi metodami, která reprezentuje chybu navržené metody. Černou čarou je na Obrázku II znázorněn průměr použité kulové elektrody.

Na obrázku II jsou také patrné dvě oblasti. Do vzdáleností $r = 10,5$ cm je metoda zcela nevyhovující pro svou velkou chybu. Pro vzdálenosti $r > 10,5$ cm se chyba ustaluje a následně setrvává v okolí 75 Vm^{-1} . Hranice je jednoznačně dána použitou kulovou elektrodou o průměru 7 cm. Pro bližší pole, nežli 10,5 cm, je tedy třeba zvolit menší elektrodu.



Obrázek II. Naměřené výsledky

V. ZÁVĚR

V tomto článku popsána metoda vychází ze základních definičních vztahů elektromagnetického pole. Značnou výhodou této metody je její nízká cena a náročnost, která z ní ve spojení s dosahovanou přesností v okolí 75 Vm^{-1} vytváří skvělý nástroj pro orientační měření intenzity elektrického pole. Přesnost této metody a také její rozlišovací schopnost je pak značně závislá na přesnosti měření svodového proudu (11). Druhý omezující faktor je dosažitelná blízkost pole, která je dána především velikostí použité elektrody. Popisovaná metoda je ve spojení s vhodným způsobem měření svodového proudu a odměření chybové křivky dostatečně přesná s dobrou shodou při opakovaném měření. Pro orientační měření je tak skvělou alternativou komerčních měřicím přístrojům.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2017-008 a projektu SGS-2015-002: Moderní metody řešení, návrh a aplikace elektronických a komunikačních systémů.

LITERATURA

- [1] Nařízení vlády č. 480/2000 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Sbírka zákonů. 22. 11. 2000. ISSN 1211-1214.
- [2] Nařízení vlády č. 291/2015 Sb., o ochraně veřejného zdraví před neionizujícím zářením. V: Sbírka zákonů. 3. 11. 2015. ISSN 1211-1214.
- [3] ICNIRP, INCIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), V: Health physics 74(4), 1998, IBN: 494-522.
- [4] Společnost: Narda – Safety Test Solutions®. Dostupné na: <https://www.narda-sts.com>
- [5] Společnost: Blue Panther. Dostupné na: <http://www.blue-panther.cz>
- [6] SAE International. Standards.sae[online]. USA: SAE,2016 [cit. 2017-01-19]. Dostupné z <http://standards.sae.org/wip/j2954>
- [7] Kindl V, Kavalír T, Zavřel M. Stínění EM pole výkonového WPT systému „RICE ver.1“. Výzkumná zpráva FEL/RICE/KEV č.: 22160-18-2014.