

# UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

## 27 020

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

**H05K 9/00** (2006.01)

**H01Q 17/00** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2014-29120**

(22) Přihlášeno: **22.01.2014**

(30) Právo přednosti:  
**22.01.2014 CZ PV 2014-52**

(47) Zapsáno: **10.06.2014**

(73) Majitel:  
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín, CZ

(72) Původce:  
prof. Ing. Yurii Kazantsev, Zlín, CZ  
M. Sc. Vladimír Babayan, Ph.D., Zlín, CZ  
doc. Ing. Natalia Kazantseva, CSc., Zlín, CZ  
doc. Ing. Jarmila Vilčáková, Ph.D., Zlín, CZ  
Ing. Robert Moučka, Ph.D., Zlín, CZ  
prof. Ing. Petr Sába, CSc., Zlín, CZ

(74) Zástupce:  
Ing. Dana Kreizlová, UTB ve Zlíně, nám. T. G.  
Masaryka 5555, 760 01 Zlín

(54) Název užitného vzoru:  
**Širokofrekvenční absorbér  
elektromagnetického záření**

**CZ 27020 U1**

## Širokofrekvenční absorbér elektromagnetického záření

### Oblast techniky

Technické řešení se týká širokofrekvenčních absorpčních materiálů magnetického typu určených pro řešení problémů souvisejících s nežádoucími účinky elektromagnetického záření v moderní elektronice. Řešení patří do oblasti materiálů a zařízení se speciálními elektrofyzikálními vlastnostmi, schopných absorbovat energii mikrovlnného elektromagnetického záření ve frekvenčním rozsahu 0,5 až 15 GHz.

### Dosavadní stav techniky

Teorie a technika radioabsorbérů se začala rozvíjet od třicátých let 20. století. Vrchol zájmu o tento obor byl zaznamenán v letech 1970 – 1980 v souvislosti s vývojem „stealth“ technologií - antidekčních systémů. Nicméně po roce 2000 zájem o tuto problematiku opět významně vzrostl v souvislosti s pokračujícím pronikáním elektroniky do všech oblastí lidské činnosti. Přitom dále narostly s rozmachem elektroniky související problémy, a to zejména problém elektromagnetické kompatibility a elektromagnetické interference a také problémy související s negativním vlivem elektromagnetického záření na přírodu a člověka.

Jednou z metod umožňujících řešit tyto problémy je použití radioabsorbérů. Kvalita radioabsorbéru je dána navzájem provázanými charakteristikami jako operační frekvenční rozsah, míra absorpce v daném frekvenčním rozsahu, hmotnost a tloušťka absorbéru.

Stávající běžné typy radioabsorbérů jsou nejčastěji radioabsorbéry pohlcující podstatnou část elektromagnetického záření ve hmotě. U těchto absorbérů je pro jejich funkci nezbytná určitá tloušťka materiálu, přičemž nejmenší tloušťky a hmotnosti lze dosáhnout v případě, že uvažovaná aplikace umožní značné omezení operačního frekvenčního rozsahu. Při konstrukci reálných absorbérů se používají kompozitní materiály se ztrátami jak elektrickými, tak magnetickými. Je známo, že použití materiálů i s magnetickými ztrátami umožňuje připravit absorbéry o menší tloušťce a širším operačním frekvenčním rozsahu oproti absorbérům pracujícím na bázi materiálu se ztrátami pouze elektrickými.

Uvedené kompozitní materiály jsou na bázi vhodné matrice a magnetického plniva. Vývoji takovýchto radioabsorpčních materiálů a zkoumání jejich elektromagnetických vlastností se věnuje značné množství výzkumných prací.

Řada patentovaných technických řešení je zaměřena na použití frekvenčně selektivních prvků, nazývaných frekvenčně selektivní povrchy – FSP - v absorbérech rezistivního typu, ve kterých je elektromagnetická energie pohlcována rezistivními (odporovými) prvky absorbéru. Např. v patentech US 6 538 596 a US 5 627 541 jsou prvky pohlcujícími elektromagnetické záření rezistivní vrstvy s rezistivitou rovnající se okolnímu (volnému) prostředí ( $120 \pi \Omega$ ). V patentu CN 102026531 jsou prvky pohlcujícími elektromagnetické záření rezistory s rezistivitou 44,9 k $\Omega$ , začleněné mezi kovové prvky FSP. Tyto typy absorbérů však nejsou prioritně určeny a ani vhodné pro řešení problémů souvisejících s nežádoucími účinky elektromagnetického záření v moderní elektronice. Jsou zaměřeny přednostně na „stealth“ technologie - antidekční systémy. Navíc tyto absorbéry mají i kvalitativně nižší charakteristiky (šíře pracovního frekvenčního pásma a úspora tloušťky). Tak kupříkladu v patentu US 6 538 596 relativní operační frekvenční pásmo ( $f_{\max}/f_{\min}$ ) absorbéru je rovno 2 a jeho tloušťka vztažená na vlnovou délku leží v intervalu 1/16 až 1/12 vlnové délky. V patentu CN 102026531 je navržen radioabsorbér s FSP, který má relativně menší tloušťku (1/40 vlnové délky), nicméně není pro něj udána šířka frekvenčního pásma, která podle kvalifikovaného odhadu činí 1,1. Nicméně princip FSP jako takový nabízí určité možnosti využití i ve sledované oblasti, jak bude uvedeno dále.

Efektivní metodou rozšíření frekvenčního pásma radioabsorbérů na bázi kompozitů s magnetickým plnivem je současné použití frekvenčně selektivního povrchu, který se vkládá buďto na povrch absorbéru nebo do jeho objemu. Hlavní výhodou této metody je, že vede k určitému rozšíření frekvenčního pásma bez zvětšení tloušťky a hmotnosti absorbéru. Protože

však konečný efekt je výrazně závislý jak na charakteristice frekvenčně selektivních povrchů, tak na jejich poloze v kompozitu, u dosud známých řešení tohoto typu nejsou zdaleka využity možnosti absorpce oběma účinnými složkami radioabsorbéru, zejména pokud jde o jejich efektivní kombinaci ve vztahu k danému frekvenčnímu pásmu.

## 5 Podstata technického řešení

Uvedené nevýhody a nedostatky dosud známých radioabsorbérů do značné míry odstraňuje širokofrekvenční absorbér elektromagnetického záření na bázi vrstveného materiálu podle technického řešení. Podstata technického řešení spočívá v tom, že širokofrekvenční absorbér elektromagnetického záření obsahuje kompozitní vrstvu o celkové efektivní tloušťce  $d_m$  v rozmezí 1/60 až 1/20  $\lambda_m$ , kde  $\lambda_m$  je hodnota střední vlnové délky záření, vytvořenou na bázi elastomerní matrice a magnetického plniva, a s ní spojenou optimalizovanou frekvenčně selektivní mřížku, vytvořenou z nevodivé polymerní fólie o tloušťce do 0,1 mm, opatřené ze strany dopadající vlny elektromagnetického záření obvodově uzavřenými navzájem se nedotýkajícími plošnými vodivými prvky s centrálními otvory, pravidelně rozmístěnými tak, že vzájemná vzdálenost středů plošných vodivých prvků je v intervalu  $\frac{1}{2} \lambda_m$  až  $D_2$ , kde  $D_2$  je charakteristický vnější rozměr plošných vodivých prvků, přičemž frekvenčně selektivní mřížka je umístěna na vstupním povrchu absorbéru nebo uvnitř kompozitní vrstvy a na výstupním povrchu absorbéru je umístěna podkladní kovová vrstva.

Širokofrekvenční absorbér podle technického řešení má s výhodou plošné vodivé prvky s centrálními otvory vytvářející frekvenčně selektivní mřížku ve tvaru mezikruží a/nebo čtvercových rámečků.

Frekvenčně selektivní mřížka začleněná uvnitř kompozitní vrstvy je pak výhodně umístěna tak, že rozděluje kompozitní vrstvu na dvě části, přičemž poměr jejich tloušťek  $d_1 : d_2$  leží v intervalu 1 : 1 až 2 : 1 a jejich součet  $d_1 + d_2$  je roven efektivní tloušťce  $d_m$ .

25 Kompozitní vrstva s výhodou obsahuje jako magnetické plnivo karbonylové železo.

Hlavní předností širokofrekvenčního absorbéru elektromagnetického záření podle technického řešení je nastavení optimálních charakteristik a polohy frekvenčně selektivní mřížky v absorbéru, což umožňuje dosažení nejširšího operačního frekvenčního rozsahu při využití tzv. efektivní tloušťky – bez zvýšení tloušťky kompozitní vrstvy.

30 Absorpce elektromagnetické energie v radioabsorbéru podle technického řešení je především magnetického typu. U tohoto typu absorpce probíhá v celém objemu absorbéru, přičemž relativní šířka operačního pásma vyplývající z rozmezí frekvencí a daná poměrem  $f_{max}/f_{min}$  je značně větší než 2 a dosahuje 2,6 při tloušťce absorbéru rovné 1/60  $\lambda_m$  (tloušťka vztažená na střední vlnovou délku  $\lambda_m$  operačního rozsahu frekvencí). Rozšíření frekvenčního rozsahu je u absorbéru podle 35 technického řešení umožněno tím, že charakteristika frekvenčně selektivní mřížky a její poloha v kompozitní vrstvě odpovídá optimu.

Na rozdíl od řešení známých z patentové literatury se řešení absorbéru podle technického řešení zabývá rozšířením frekvenčního pásma kompozitních absorbérů magnetického typu získaných v kombinaci s optimalizovanou frekvenčně selektivní mřížkou, a to včetně optimalizace její polohy v absorbéru.

## Objasnění výkresů

Konkrétní řešení širokofrekvenčního radioabsorbéru podle technického řešení je blíže dokumentováno na příložených výkresech, kde značí:

- obr. 1 – běžný radioabsorbér – kompozitní vrstva bez FSM – výchozí schéma,
- 45 - obr. 2 – FSM připojená ke kompozitní vrstvě z radioabsorbujícího materiálu,
- obr. 3 – FSM uvnitř kompozitní vrstvy radioabsorbujícího materiálu,

- obr. 4 – struktura FSM dle technického řešení s plošnými vodivými elementy kruhového tvaru,
- obr. 5 – struktura FSM dle technického řešení s plošnými vodivými elementy čtvercového tvaru,
- 5 - obr. 6 – elektromagnetické charakteristiky kompozitních vrstev,
- obr. 7 – frekvenční závislost koeficientu odrazu kompozitní vrstvy radioabsorbéru,
- obr. 8 – frekvenční závislosti koeficientů odrazu ilustrující proces stanovení rezonanční frekvence  $f_0$  a faktoru kvality  $Q_0$  pro danou FSM, pro jejichž hodnoty je šířka operačního frekvenčního pásma maximální.

#### 10 Příklady uskutečnění technického řešení

Radioabsorbér pro absorpci elektromagnetického záření podle technického řešení je vytvořen na bázi kompozitní vrstvy 1 radioabsorpčního materiálu s tloušťkou  $d$ , jehož jedna strana je opatřena podkladní kovovou deskou 6 – viz obr. 1. Radioabsorpční vlastnosti tohoto systému jsou dány hodnotou koeficientu odrazu dopadající vlny a šířkou operačního frekvenčního pásma, ve kterém

15 tato hodnota nepřesahuje danou mez (např.  $-10$  dB).

Pro rozšíření frekvenčního rozsahu tohoto základního typu absorbéru byly navrženy konstrukce širokofrekvenčního absorbéru elektromagnetického záření podle technického řešení, které kromě kompozitní vrstvy 1 a podkladní kovové desky 6 obsahují frekvenčně selektivní mřížku 2 buďto na vnějším povrchu (obr. 2) či uvnitř (obr. 3) kompozitní vrstvy 1. Frekvenčně selektivní mřížka 2 (dále též FSM) představuje biperiodickou mřížku (ve dvou směrech se pravidelně opakující), vytvořenou na nevodivé polymerní fólii 3 a složenou z pravidelně rozmístěných plošných vodičových prvků 4 o navzájem shodné geometrii, zde kovových, přičemž FSM 2 je umístěna na vstupním povrchu absorbéru nebo uvnitř kompozitní vrstvy 1, v tom případě jsou plošné vodivé prvky 4 na nevodivé polymerní fólii 3 rovněž uchyceny ze strany dopadajícího elektromagnetického

20 záření. Struktura frekvenčně selektivní mřížky 2 je zřejmá z obr. 4 a obr. 5. Míra rozšíření frekvenčního rozsahu absorbéru podle technického řešení záleží na charakteristice a poloze FSM 2 v materiálu kompozitní vrstvy 1 stejně jako na jeho elektromagnetických charakteristikách.

Řešení parametrů rozšíření operačního frekvenčního pásma magnetického absorbéru podle technického řešení pomocí FSM 2 a optimální navržené jeho parametry představuje řadu následných

30 mezi sebou provázaných kroků, jejichž výsledkem je absorbér elektromagnetického záření s maximálně širokým frekvenčním operačním rozsahem. Jednotlivé kroky – fáze řešení budou popsány dále.

Nejprve byla provedena syntéza kompozitních vrstev 1. Materiály kompozitních vrstev 1 zde představují polymerní kompozity o různých koncentracích magnetického plniva - karbonylželeza (KŽ). Podle typu použitého KŽ a jeho koncentrace v elastomerní matici byly získány různé kompozitní vrstvy 1a, 1b a 1c s navzájem odlišnými hodnotami permitivity a magnetické permeability, stejně jako hodnotami elektrických a magnetických ztrát daného materiálu. Jako magnetické plnivo byly použity prášky KŽ s obsahem  $\alpha$ -Fe v rozmezí 97 až 99 atomů Fe, s úzkou distribucí částic a průměrnou velikostí částic kolem 2  $\mu\text{m}$  (typ HQ a ES, BASF, Německo) a jako pomocná přísada také skleněné mikrokuličky (typ MSVPA9, NPO Stekloplastic, Rusko). Jako elastomerní matrice byl použit silikonový elastomer (typ Sylgard 184, DOW Corning, USA). Skleněné mikrokuličky byly použity pro zlepšení homogenity jednotlivých kompozitních vrstev 1a, 1b a 1c a pro dosažení požadovaných hodnot permitivity. Z těchto složek byly připraveny homogenní směsi, které byly následně odlity do lisovacích forem a vytvrzeny během 4 h za teploty 80  $^{\circ}\text{C}$  a tlaku 3 MPa, načež následovalo jejich vyjmutí z forem. Připravené kompozitní

45 vrstvy 1 měly tloušťku 2 mm a následující složení a hustotu:

Kompozitní vrstva 1a: 50 % obj. elastomerní matrice - silikonového elastomeru SYLGARD 184,  $\rho = 4.43 \text{ g cm}^{-3}$  a 50 % obj. magnetického plniva - KŽ typu ES

Kompozitní vrstva 1b: 45 % obj. elastomerní matrice - silikonového elastomeru SYLGARD 184,  $\rho = 3.64 \text{ g cm}^{-3}$ , 40 % obj. magnetického plniva - KŽ typu HQ, 15 % obj. skleněných mikrokuliček MSVPA9.

5 Kompozitní vrstva 1c: 50 % obj. elastomerní matrice - silikonového elastomeru SYLGARD 184,  $\rho = 2.93 \text{ g cm}^{-3}$ , 30 % obj. magnetického plniva - KŽ typu HQ, 20 % obj. skleněných mikrokuliček MSVPA9.

10 Poté byly naměřeny frekvenční závislosti komplexních elektrických a magnetických veličin připravených kompozitů. Vzorčky ve formě desek o rozměrech  $200 \times 200 \text{ mm}$  byly proměřeny dvouanténovou metodou na vektorovém analyzátoru Agilent 5230A. Frekvenční závislosti reálné a imaginární složky permitivity a magnetické permeability ( $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\mu'$ ,  $\mu''$ ) jsou uvedeny na obr. 6. Číslo křivek odpovídají číslování kompozitů.

Jak je patrné z obr. 6, s klesající koncentrací KŽ oblast frekvenční disperze magnetické permeability se posouvá k vyšším frekvencím, nicméně všechny tři oblasti leží ve frekvenčním rozsahu 0,5 až 15 GHz.

15 V další etapě byla stanovena tzv. střední („matching“) frekvence - frekvence nacházející se ve středu operačního pásma frekvencí připravených kompozitních vrstev 1 s tloušťkou rovnou tzv. efektivní („matching“) tloušťce. Předtím byla tato efektivní - „matching“ tloušťka  $d_m$  stanovena podle následujícího postupu:

20 Na začátku byla vypočtena závislost komplexního parametru absorbéru, kterým je tloušťka  $d$ , na frekvenci  $f$  dle následujícího vztahu V1:

$$d = d' + jd'' = \frac{c}{2\pi f \sqrt{\mu \epsilon}} \arctan \left( -j \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \right), \quad (V1)$$

25 kde  $\epsilon$ , a  $\mu$  jsou komplexní veličiny permitivity a magnetické permeability kompozitu závislé na frekvenci (obr. 6),  $c$  je rychlost světla. Dále jsou vybrány ty tloušťky, pro které je splněna nerovnost  $|d''/d'| < 0,01$ ; odpovídající  $d'$  je brána za efektivní „matching“ tloušťku ( $d' = d_m$ ). Pro vybranou efektivní tloušťku je spočtena frekvenční závislost koeficientu odrazu  $R$  podle vztahu V2:

$$R = \left| \frac{Z - 1}{Z + 1} \right|, \quad (V2)$$

$$Z = j \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \operatorname{tg} \left( \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\mu \epsilon} d_m \right). \quad (V3)$$

30 Frekvence  $f_m$ , které odpovídá hluboké minimum na frekvenční závislosti  $R$ , je tzv. „matching“ - střední frekvenci. Nejnižší střední („matching“) frekvenci 1,8 GHz má kompozitní vrstva 1a a nejvyšší střední frekvenci 10,8 GHz má kompozitní vrstva 1c. Kompozitní vrstvy 1 v podobě desek s tloušťkami rovnými efektivní tloušťce  $d_m$  byly připraveny na základě teoretických výpočtů. Na těchto byly naměřeny frekvenční závislosti koeficientů odrazu ( $R$ ). Jako příklad je na obr. 7 uvedena frekvenční závislost  $R$  pro kompozitní vrstvu 1b radioabsorbéru s tloušťkou  $d_m = 2 \text{ mm}$ , pro nějž je střední frekvence 4,7 GHz.

40 V další etapě byly spočteny zobecněné charakteristiky FSM 2, a to rezonanční frekvence  $f_0$  a kvalita  $Q_0$ , a také poloha FSM 2 v objemu absorbéru, tj. tloušťky  $d_1$  a  $d_2$  (viz obr. 3). Tyto hodnoty jsou získány pomocí několika vztahů V4 až V10, jež spojují koeficient odrazu ( $R$ ) s elektromagnetickými charakteristikami kompozitní vrstvy 1 ( $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\mu'$  a  $\mu''$ ), se zobecněnými charakteristikami FSM 2 ( $f_0$ ,  $Q_0$ ) a dílčími tloušťkami kompozitní vrstvy 1 -  $d_1$ ,  $d_2$ :

$$R = \frac{Z_{11} - 1}{Z_{11} + 1}, \quad (\text{V4})$$

kde

$$Z_{11} = \frac{Z_{22} + j\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \operatorname{tg}(kd_2\sqrt{\mu\varepsilon})}{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} + jZ_{22}\operatorname{tg}(kd_2\sqrt{\mu\varepsilon})}, \quad (\text{V5})$$

5

$$Z_{22} = \frac{Z_{33}Z_e}{Z_{33} + Z_e}, \quad (\text{V6})$$

$$Z_{33} = j\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \operatorname{tg}(kd_1\sqrt{\mu\varepsilon}), \quad (\text{V7})$$

$$Z_e = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \left[ \frac{Q_0}{Q} - 1 + jQ_0 \left( \frac{f\operatorname{Re}\sqrt{\mu\varepsilon}}{f_0} - \frac{f_0}{f\operatorname{Re}\sqrt{\mu\varepsilon}} \right) \right], \quad (\text{V8})$$

$$Q = \frac{Q_0Q_1}{Q_0 + Q_1}, \quad (\text{V9})$$

$$Q_1 = \frac{\varepsilon'\mu'}{\varepsilon'\mu'' + \varepsilon''\mu'}, \quad (\text{V10})$$

10

Zobecněné charakteristiky  $f_0$ ,  $Q_0$  jsou rezonanční frekvence a faktor kvality FSM 2 umístěné ve volném prostoru. Vztahy V4–V10 jsou získány z teorie přenosových linek a elektrických obvodů. Uvedenými vztahy změnou hodnot  $f_0$  a  $Q_0$  pro několik hodnot poměru  $d_1/d_2$  je nalezena taková frekvenční závislost  $R(f)$ , pro kterou je šířka absorpčního pásma maximální pro danou hodnotu útlumu  $R$  (např.  $-10$  dB). Přitom celá tloušťka absorberu představuje efektivní („matching“) tloušťku dané kompozitní vrstvy ( $d_1 + d_2 = d = d_m$ ). Tento postup je zobrazen na obr. 8, kde jsou uvedeny frekvenční závislosti koeficientu odrazu od absorberu na bázi kompozitní vrstvy 1b pro několik hodnot rezonančních frekvencí FSM 2 a fixních hodnot  $d = d_m = 2$  mm,  $d_1/d_2 = 1$  a  $Q = 2,8$  (veličinám  $f_0 = 19$  GHz, 28 GHz, 33 GHz a 40 GHz odpovídají ve stejném pořadí čísla křivek 1, 2, 3, 4). Relativní maximální šířka absorpčního pásu ( $f_{\max}/f_{\min}$ ): při útlumu  $-10$  dB je tento poměr krajních hodnot intervalu absorbovaných frekvencí roven 2,9, když rezonanční frekvence FSM 2 je  $f_0 = 33$  GHz. Bez FSM 2 je relativní šířka absorpčního pásu 1,6.

15

20

25

30

Analogické výpočty provedené pro všechny tři kompozitní vrstvy 1a, 1b a 1c při dalších poměrech  $d_1/d_2$  ukazují, že největší efekt rozšíření frekvenčního absorpčního pásu lze dosáhnout při  $d_1/d_2 \geq 1$ , přičemž při zvětšení podílu  $d_1/d_2$  požadované hodnoty  $f_0$  narůstají a  $Q_0$  klesají. Minimální hodnota  $Q_0$  je omezena technologickými možnostmi provedení FSM 2 s extrémně hustým uspořádáním plošných vodivých prvků 4. Plošné vodivé prvky 4 ve tvaru čtverce umožňují vytvořit FSM 2 s extrémně nízkou hodnotou  $Q_0$  ( $Q_{\min} \approx 0,8$ ). Maximální hodnota  $Q_0$  je omezena možnostmi vzniku negativních difrakčních jevů (difrakční laloky) způsobených řídkým osazením frekvenčně selektivní mřížky 2 plošnými vodivými prvky 4. Kruhový tvar plošných vodivých prvků 4 umožňuje uskutečnit FSM 2 s extrémně vysokými hodnotami faktoru kvality ( $Q_{\max} \approx 10$ ). Proto pro hodnoty  $Q$  z intervalu 1,5 až 10 se volí plošné vodivé prvky 4 kruhové, zatímco v rozmezí hodnot  $Q = 0,8$  až 1,5 vyhovují tvary čtvercové. U jednodušších konstrukcí absorberů,

kdy FSM 2 jsou umístěny na povrchu kompozitu, se dosahuje poněkud nižších rozšíření absorpčního frekvenčního pásu ( $f_{\max}/f_{\min} = 2,5$ ) oproti případu, kde je FSM 2 uvnitř vrstvy.

V navazující etapě byly stanoveny konkrétní rozměry plošných vodivých prvků 4 pro FSM 2 a také konstanta P hustoty frekvenčně selektivní mřížky 2, ve které budou plošné vodivé prvky 4 umístěny. V další etapě byly stanoveny zobecněné charakteristiky FSM 2 (rezonanční frekvence  $f_0$  a faktor kvality  $Q_0$ ) a také jejich tvar (kruh, čtverec). Cílem další etapy je stanovení hlavních rozměrů  $D_1$ ,  $D_2$  a umístění P plošných vodivých prvků 4, pro které bude mít FSM 2 požadované zobecněné charakteristiky  $f_0$  a  $Q_0$ . Tento úkol byl řešen pomocí rigorózních (analytických) metod integrálních rovnic frekvenční závislosti koeficientu odrazu od FSM 2 ve volném prostoru pro různé hodnoty  $D_1$ ,  $D_2$  a P. Přitom zobecněné charakteristiky FSM 2 jsou vyjádřeny také tvarem a polohou rezonance na frekvenční závislosti koeficientu odrazu. Frekvenční závislost koeficientu odrazu od FSM 2 s plošnými vodivými prvky 4 jak kruhovými, tak čtvercovými může být také získána pomocí specializovaného softwaru (FEKO).

V další etapě byla vyrobena a odzkoušena FSM 2 o parametrech vydefinovaných v předchozích etapách. Poměrně spolehlivou metodou výroby zaručující dobrou přesnost je metoda fotolitografická. Struktura FSM 2 byla realizována na tenké vrstvě z nevodivé polymerní fólie 3 s tloušťkou od 0,05 mm do 0,1 mm, což je dostačující. FSM 2 připravená touto metodou byla kontrolována pomocí měření frekvenční závislosti koeficientu odrazu (ve volném prostoru), z které byly dále získány veličiny  $f_0$  a  $Q_0$ . Tyto byly následně porovnány s hodnotami vypočtenými.

Šířka operačního frekvenčního rozsahu absorberu podle technického řešení je závislá na druhu magnetické kompozitní vrstvy:

Pro kompozitní vrstvu 1a tloušťka absorberu vztažená na střední vlnovou délku operačního pásma absorberu ( $d/\lambda_m$ ) je  $1/60$ , operační frekvenční rozsah ( $f_{\max}/f_{\min}$ ) je roven 2,6.

Výše uvedené hodnoty pro kompozitní vrstvu 1b jsou:  $d/\lambda_m = 1/30$ ,  $f_{\max}/f_{\min} = 2,4$ .

A konečně pro kompozitní vrstvu 1c:  $d/\lambda_m = 1/20$ ,  $f_{\max}/f_{\min} = 2,4$ . Jak už bylo výše uvedeno, celková tloušťka absorberu je přibližně rovna efektivní tloušťce kompozitu  $d_m$ .

#### Průmyslová využitelnost

Širokofrekvenční absorber elektromagnetického záření podle technického řešení je využitelný ve všech oblastech, kde je třeba zajistit absorpci energie mikrovlnného elektromagnetického záření ve frekvenčním rozsahu 0,5 až 15 GHz. Absorbér podle technického řešení slouží k odstranění problémů souvisejících s nežádoucími účinky elektromagnetického záření v moderní elektronice.

## NÁROKY NA OCHRANU

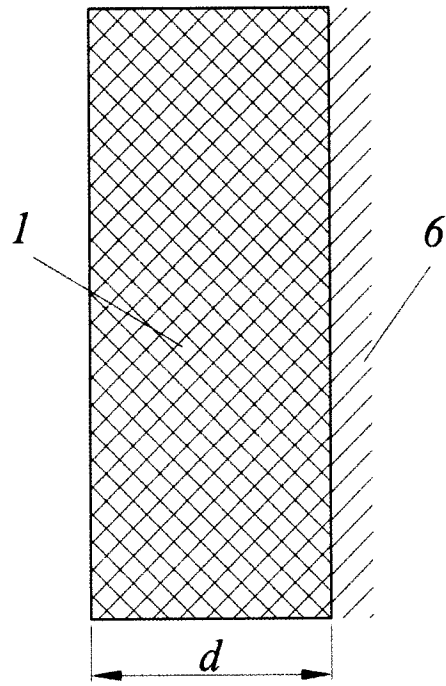
1. Širokofrekvenční absorber elektromagnetického záření na bázi vrstveného materiálu, **v y z n a č u j í s e t í m**, že obsahuje kompozitní vrstvu (1) o celkové efektivní tloušťce  $d_m$  v rozmezí  $1/60$  až  $1/20 \lambda_m$ , kde  $\lambda_m$  je hodnota střední vlnové délky záření, vytvořenou na bázi elastomerní matrice a magnetického plniva, a s ní spojenou optimalizovanou frekvenčně selektivní mřížku (2), vytvořenou z nevodivé polymerní fólie (3) o tloušťce do 0,1 mm, opatřené ze strany dopadající vlny elektromagnetického záření obvodově uzavřenými navzájem se nedotýkajícími plošnými vodivými prvky (4) s centrálními otvory (5), pravidelně rozmístěnými tak, že vzájemná vzdálenost (P) středů plošných vodivých prvků (4) je v intervalu  $\frac{1}{2} \lambda_m$  až  $D_2$ , kde  $D_2$  je charakteristický vnější rozměr plošných vodivých prvků (4), přičemž frekvenčně selektivní mřížka (2) je umístěna na vstupním povrchu absorberu nebo uvnitř kompozitní vrstvy (1) a na výstupním povrchu absorberu je umístěna podkladní kovová vrstva (6).

2. Širokofrekvenční absorber elektromagnetického záření podle nároku 1, **v y z n a č u j í s e t í m**, že plošné vodivé prvky (4) s centrálními otvory (5) vytvářející frekvenčně selektivní mřížku (2) mají tvar mezikruží a/nebo čtvercových rámečků.

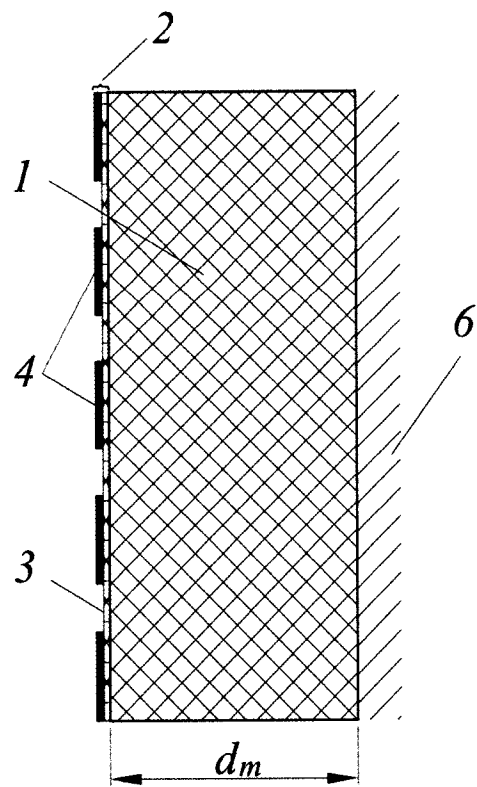
3. Širokofrekvenční absorbér elektromagnetického záření podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že frekvenčně selektivní mřížka (2) svým umístěním rozděluje kompozitní vrstvu (1) na dvě části, přičemž poměr jejich tloušťek  $d_1 : d_2$  leží v intervalu 1 : 1 až 2 : 1 a jejich součet  $d_1 + d_2$  je roven efektivní tloušťce  $d_m$ .
- 5 4. Širokofrekvenční absorbér elektromagnetického záření podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že kompozitní vrstva (1) obsahuje jako magnetické plnivo karbonylové železo.

4 výkresy

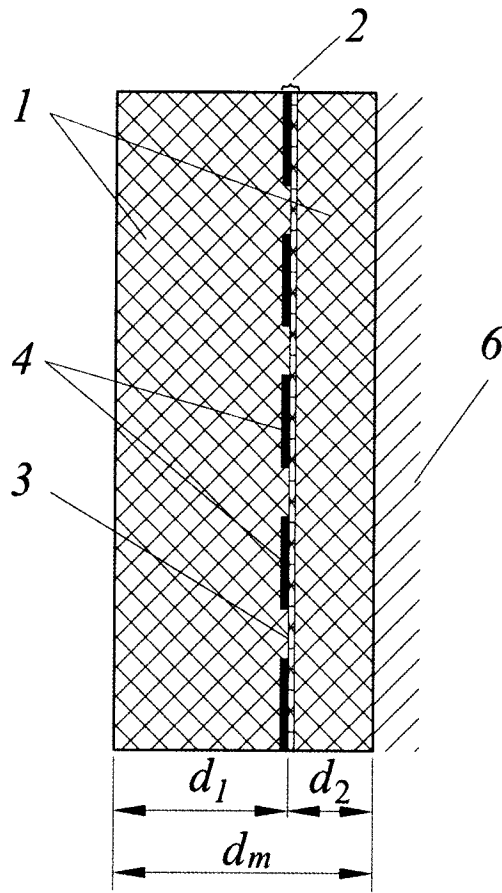




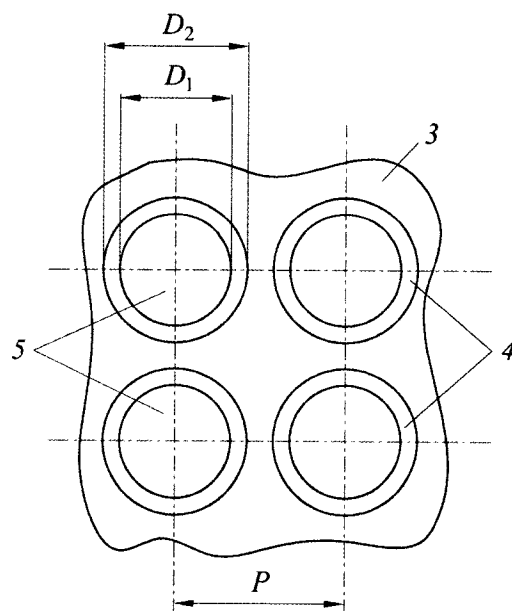
Obr. 1



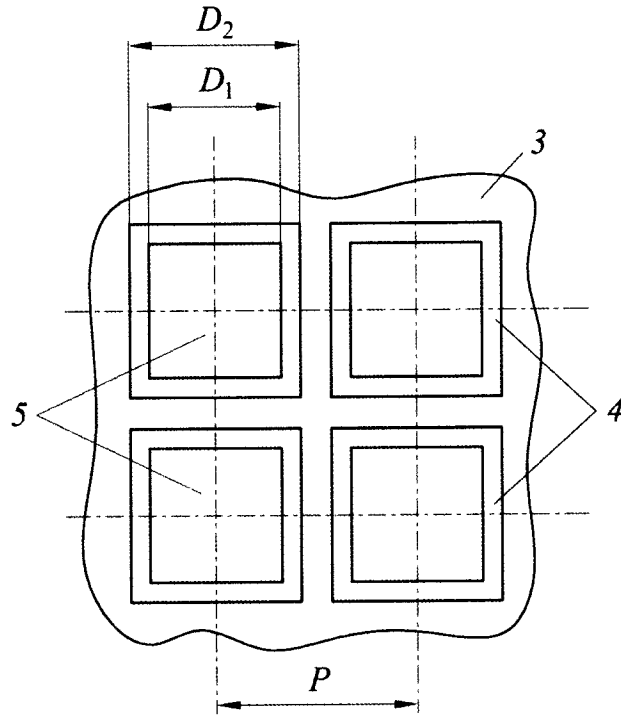
Obr. 2



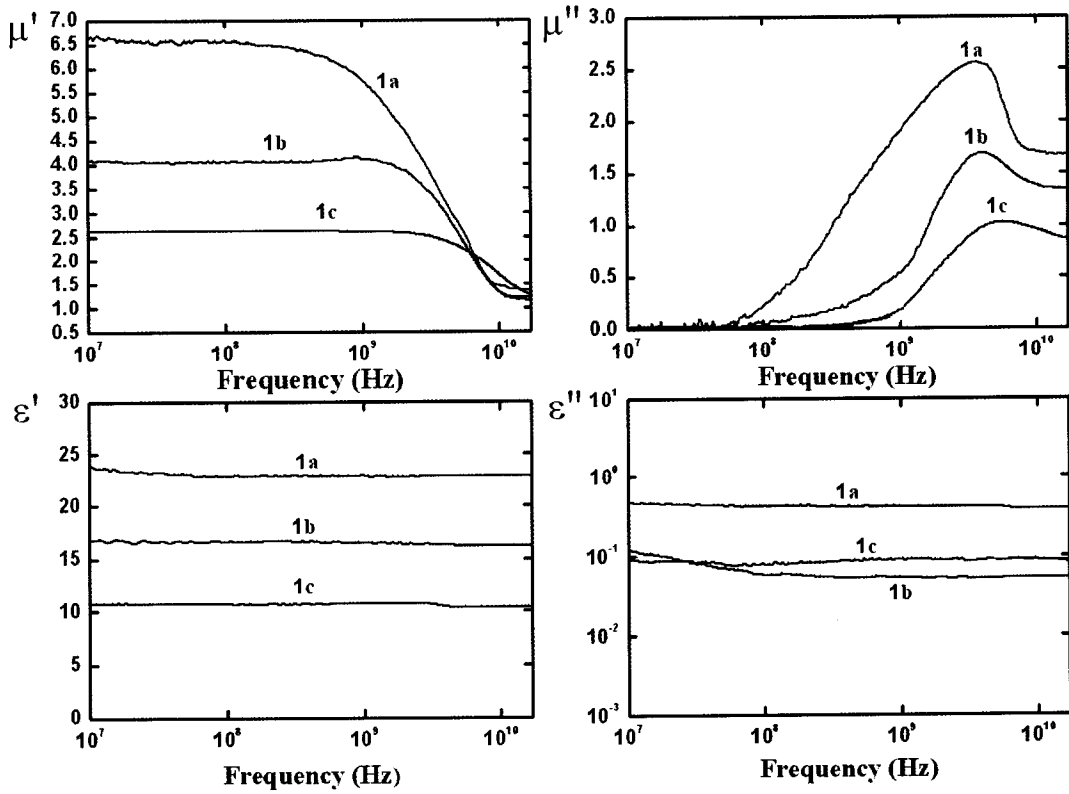
Obr. 3



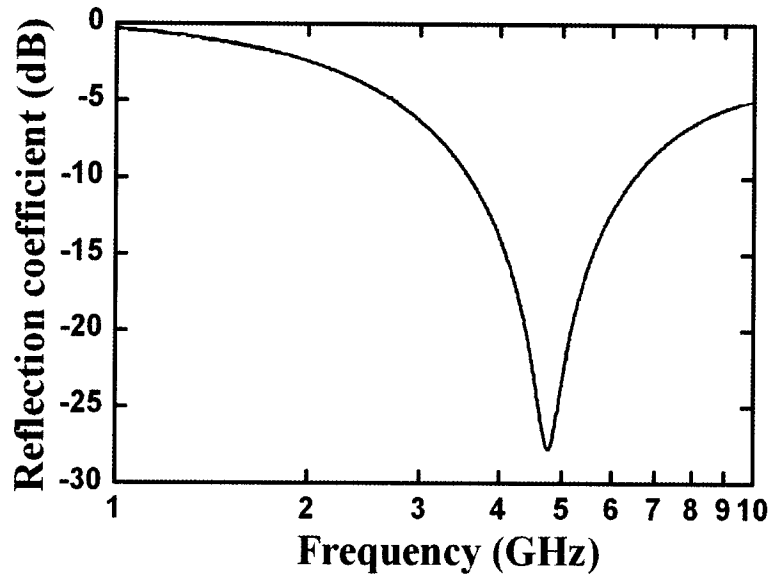
Obr. 4



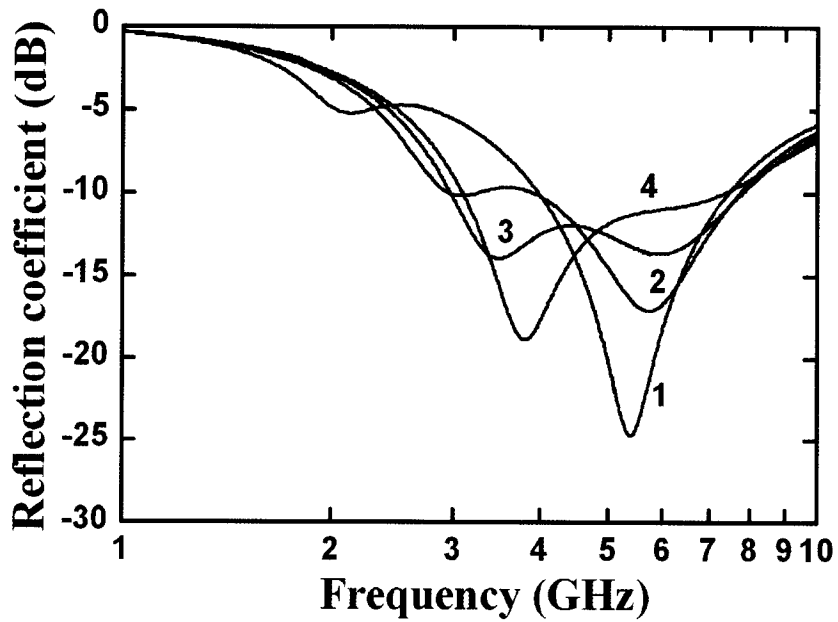
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8

---

Konec dokumentu

---