

# UŽITNÝ VZOR

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2005 - 17320**  
(22) Přihlášeno: **19.12.2005**  
(47) Zapsáno: **27.03.2006**

(11) Číslo dokumentu:

# 16386

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:  
**H01P 11/00** (2006.01)

- (73) Majitel:  
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Praha, CZ
- (72) Původce:  
Zehentner Ján Prof. Ing. DrSc., Praha, CZ
- (74) Zástupce:  
Ing. Hana Dušková, patentový zástupce, Travná 1285, Praha 14 - Kyje, 19800

- (54) Název užitého vzoru:  
**Reflexní atenuátor s nastavitelným útlumem**

**CZ 16386 U1**

## Reflexní atenuátor s nastavitelným útlumem

### Oblast techniky

Předkládané řešení se týká reflexního typu atenuátoru, u kterého lze nastavovat úroveň výstupního výkonu.

### 5 Dosavadní stav techniky

Atenuátor se velice často používá v radiotechnických, mikrovlnných i milimetrových obvodech. Atenuátory jsou s pevně nastaveným útlumem nebo s proměnným útlumem. U atenuátorů s nastavitelným útlumem se jeho změny dosahuje mechanickým pohybem jeho nejdůležitější funkční části, nebo změna útlumu je řízena elektronicky. Atenuátory s mechanicky ovládaným útlumem  
10 můžeme rozdělit na atenuátory absorpční, a reflexní.

V absorpčním atenuátoru se přenášená energie absorbuje v samonosné odporové vrstvě, nebo vrstvě umístěné na nosné destičce. Absorbér se pak zasouvá v místě maxima intenzity elektrického pole do vlnovodu s obdélníkovým průřezem nebo do koaxiálního vedení. Druhá možnost jak dosáhnout změny útlumu je přemísťování absorpční destičky z místa malé do místa velké  
15 intenzity elektrického pole ve vlnovodu s obdélníkovým průřezem. Třetí varianta atenuátoru je založena na změně délky průmětu vektoru intenzity elektrického pole do roviny absorpční destičky, která se otáčí ve vlnovodu s kruhovým průřezem kolem osy vlnovodu. V mikropáskovém atenuátoru se absorpce řídí délkou absorbéru, který se zasouvá pomocí kruhového nosiče umístěného otočně v rovině substrátu, mezi horní páskový vodič a spodní metalizaci. Obdobně pracuje  
20 atenuátor v podobě páskového vedení. Pod jeho střední vodič se lineárním pohybem zasouvá absorbér. Plynulé změny útlumu lze dosáhnout také přibližováním a oddalováním fólie nesoucí horní páskový vodič mikropáskového vedení od spodního vodiče pokrytého absorbérem. U další varianty atenuátoru se mechanickým zasouváním kolíčků do vlnovodu zakončeného bezodrazově, který je připojen k jednomu rameni tříramenného cirkulátoru, mění výkon postupující od  
25 vstupního k výstupnímu rameni. Výhodou absorpčních atenuátorů je poměrně dobré impedanční přizpůsobení a jednoduché mechanické ovládání. Energie pohlcená v absorpční destičce se mění v teplo. To je nevýhodné při přenosu velkého výkonu. S tím souvisí potřeba účinného odvodu tepla, která se obtížně konstrukčně zajišťuje.

Reflexní atenuátory naopak energii odráží, ale nemají širokopásmově konstantní impedanční  
30 přizpůsobení. Typickým příkladem jsou dva úseky koaxiálního vedení, mezi kterými je sekce vlnovodu s kruhovým průřezem jehož délkou se mění útlum atenuátoru. Nevýhodou je tedy nutnost měnit délku atenuátoru, která vylučuje jejich instalaci do vlnovodové přenosové trasy s fixním uspořádáním.

K elektronickému ovládní průchozího útlumu se používají PIN diody nebo tranzistory. Polovodičové prvky většinou zkratují nebo otvírají krátké úseky vedení, které značně omezují šířku  
35 použitelného frekvenčního pásma. Příkladem je atenuátor s hybridním členem, u kterého ve funkci proměnných odporů se uplatňují tranzistory. Pokud tranzistory jsou součástí T článku, atenuátor je poměrně širokopásmový, ale má složitou obsluhu vyžadující současné řízení třech tranzistorů. Tyto atenuátory jsou poměrně širokopásmové, s dostatečným rozsahem nastavitelného útlumu, zejména v kaskádním zapojení i když vlastní průchozí útlum není zanedbatelně malý.  
40 K atenuátorům řízeným proudem patří mikropáskový atenuátor s vlnou vedenou okrajem širokého páskového vodiče kde je umístěn absorbér. Stejnoseměrné magnetické pole buzené elektromagnetem přemísťuje tok energie k okraji širokého vodiče v důsledku změny permeability magnetického substrátu. V atenuátoru s děličem výkonu stejnosměrné magnetické pole ovlivňuje  
45 vybuzení magnetostatické vlny v YIG filmu, která interferuje na výstupu interdigitálního sdružovače s přímou vlnou a tak mění úroveň výstupního výkonu. Velké výkony lze tlumit v plazmě, hustota které se řídí napětím budícího zdroje. Nevýhodou atenuátorů řízených elektronicky je většinou horní mez přenášeného výkonu.

### Podstata technického řešení

Výše uvedené nevýhody odstraňuje reflexní atenuátor s nastavitelným útlumem tvořený vlnovodem s obdélníkovým průřezem podle předkládaného řešení. Jeho podstatou je, že vlnovod je v rovině kolmé k jeho podélné ose rozdělen na první část a druhou část, mezi nimiž je přes celý průsvit vlnovodu kolmo na jeho podélnou osu umístěna kovová lineární polarizační mřížka, která je v rovině kolmé na podélnou osu vlnovodu otočná minimálně v rozmezí  $0^\circ$  až  $90^\circ$ .

Ve výhodném provedení je kovová lineární polarizační mřížka kruhová a je svým obvodem upnuta mezi dvě protilehlá mezikruží, jejichž vnitřní průměr je větší než jsou obrysy vnitřních stěn v průřezu vlnovodu. První část vlnovodu je opatřena první přírubou s první kruhovou drážkou, do které kluzně zapadá první mezikruží. Druhá část vlnovodu je opatřena druhou přírubou s druhou kruhovou drážkou, do které kluzně zapadá druhé mezikruží. Dále je v části první nebo druhé kruhové drážky alespoň v rozmezí  $0^\circ$  až  $90^\circ$  vytvořen výřez, kterým je vyveden prvek pro ovládní natočení kovové lineární polarizační mřížky. V první nebo druhé přírubě, kde je plná drážka, je vytvořena vysokofrekvenční tlumivka. První a druhá příruba jsou navzájem pevně spojeny. Hustota vodičů kovové lineární polarizační mřížky je přímo úměrná velikosti pracovního kmitočtu.

Výhodou předkládaného řešení je jednoduché mechanické nastavení úrovně výstupního výkonu atenuátoru, velký rozsah jeho změny, dostatečně široké frekvenční pásmo, malé rozměry a konstantní délka nezávislá na nastaveném útlumu atenuátoru. Výhodou této koncepce atenuátoru jsou jeho relativně malé rozměry, neboť mechanické prodloužení centrální části doposud užívaného reflexního atenuátoru je nyní nahrazeno otáčením lineární polarizační mřížky. Mechanicky lze zajistit velmi jemnou změnu útlumu při vhodně navrženém převodu otáčivého pohybu. Snadno lze dosáhnout prakticky úplného odrazu dopadající energie. Změna vstupní impedance a šířka použitelného frekvenčního pásma jsou analogické jako u jiných konstrukcí reflexních atenuátorů.

### Přehled obrázků na výkresech

Na přiložených výkresech je na obr. 1 schéma konstrukčního provedení reflexního atenuátoru. Na obr. 2 je naznačena v náryse kovová lineární polarizační mřížka a její upnutí v protilehlých mezikruzích a na obr. 3 je příčný řez středem kovové lineární polarizační mřížky. Na obr. 4 je pohled na jednu přírubu pro uložení kovové lineární polarizační mřížky a na obr. 5 je naznačen řez A-A' touto přírubou. Analogicky je na obr. 6 a na obr. 7 naznačen pohled na druhou přírubu a na řez A-A' touto druhou přírubou. Na obr. 8 je uvedena změřená závislost průchozího útlumu atenuátoru na úhlu natočení lineární polarizační mřížky při kmitočtu 10 GHz.

### Příklad provedení technického řešení

Reflexní atenuátor s nastavitelným útlumem na obr. 1 je tvořený vlnovodem s obdélníkovým průřezem, který je v rovině kolmé ke své podélné ose rozdělen na první část 1 a druhou část 2. V praxi bude většinou vlnovod rozdělen v polovině, avšak toto není nutná podmínka. Rozdělení se volí tak, aby od dělicí roviny k vnějším přírubám vlnovodu bylo dosti dlouhé vedení, na kterém zaniknou případně vybuzené vyšší vidy, neboť pro funkci je důležitý jen dominantní vid. Mezi touto první částí 1 a druhou částí 2 vlnovodu je přes celý průsvit vlnovodu kolmo na jeho podélnou osu umístěna kovová lineární polarizační mřížka 3. Tato kovová lineární polarizační mřížka 3 je uložena tak, že je v rovině kolmé na podélnou osu vlnovodu otočná, a to minimálně v rozmezí  $0^\circ$  až  $90^\circ$ , neboť toto je rozmezí nutné pro správnou funkci reflexního atenuátoru. Výřez může být delší než  $90^\circ$ , aby se bezpečně a pohodlně nastavily mezní úhly.

Konstrukčně lze řešení realizovat například následujícím způsobem. Kovová lineární polarizační mřížka 3 má kruhový tvar a je svým obvodem upnuta mezi první mezikruží 31 a druhé, protilehlé mezikruží 32. Vnitřní průměr těchto mezikruzí 31 a 32 je větší než jsou obrysy vnitřních stěn v průřezu vlnovodu. První část 1 vlnovodu je zde opatřena první přírubou 4, ve které je vytvořena

první kruhová drážka 41, která je vytvořena tak, aby do ní kluzně zapadalo první mezikruží 31. Analogicky je druhá část 2 vlnovodu opatřena druhou přírubou 5, ve které je opět vytvořena druhá kruhová drážka 51 pro kluzné uložení druhého mezikruží 32. V části první kruhové drážky 41 nebo druhé kruhové drážky 51 je v uvedeném příkladě v rozmezí 0° až 110° vytvořen výřez 6. Tímto výřezem 6 je vyveden prvek 7 pro ovládání natočení kovové lineární polarizační mřížky 3, například ve formě kolíčku. V té přírubě 4 (respektive 5), kde zůstala plná drážka 41 respektive 51, je vytvořena vysokofrekvenční tlumivka 8. První příruba 4 a druhá příruba 5 jsou navzájem pevně spojeny například šrouby s maticemi.

Kovová lineární polarizační mřížka 3 je zhotovena na polymerní fólii, například polytereftalátové, tlusté 50  $\mu\text{m}$ . Je vyrobena leptáním zlaté naprášené vrstvy tlusté 200 nm. Šířka vodičů kovové lineární polarizační mřížky 3 je 100  $\mu\text{m}$  a mezera mezi nimi rovněž 100  $\mu\text{m}$ . Tato hustota lineární polarizační mřížky 3 umožňuje dosáhnout hodnoty koeficientu přenosu  $S_{21}$  -44 dB při kmitočtu 7,5 GHz, -32 dB při 10 GHz a -22 dB při 12,5 GHz. Z hlediska požadovaného maximálního  $S_{21}$  má lineární polarizační mřížka 3 mít pro větší frekvence větší hustotu. Buď se zmenší šířka vodičů a mezer mezi nimi, nebo se při stejné mezeře zvětší pouze šířka vodičů. Prakticky dostupná fotolitografie omezuje nejmenší šířku vodičů lineární polarizační mřížky a mezer mezi nimi. Nerovnoměrná hustota lineární polarizační mřížky v rozsahu průřezu vlnovodu nemá podstatný vliv na vlastnosti atenuátoru.

Úroveň výstupního výkonu popsaného reflexního atenuátoru se mění v důsledku otáčení kovové lineární polarizační mřížky 3 umístěné kolmo k ose vlnovodu s obdélníkovým průřezem. Princip činnosti tohoto reflexního atenuátoru je následující. Rovina polarizace dominantního vidu  $\text{TE}_{10}$  šířícího se ve vlnovodu s obdélníkovým průřezem je dána podélnou osou vlnovodu a kolmicí k jeho širším stěnám. Když pole dominantního vidu narazí na kovovou lineární polarizační mřížku 3, jejíž rovina leží v rovině příčného průřezu vlnovodu a její vodiče jsou rovnoběžné se širší stěnou vlnovodu, tj. jsou kolmé ke směru vektoru intenzity elektrického pole, tak prochází touto lineární polarizační mřížkou 3 se zanedbatelně malými ztrátami. Při pootočení lineární polarizační mřížky 3 z této výchozí polohy tak, že její vodiče svírají se širší stěnou vlnovodu ostrý úhel, lze intenzitu elektrického pole dopadající vlny rozložit na složku kolmou k vodičům lineární polarizační mřížky a složku s nimi rovnoběžnou. Složka kolmá k vodičům lineární polarizační mřížky 3 projde lineární polarizační mřížkou 3, složka rovnoběžná s vodiči lineární polarizační mřížky 3 se od ní odrazí zpět. Vektor intenzity elektrického pole prošlé vlny je nyní natočen o stejný ostrý úhel vůči rovině polarizace dominantního vidu  $\text{TE}_{10}$  ve vlnovodu a proto pro šíření je použitelný pouze jeho průmět do roviny polarizace dominantního vidu. Složka kolmá k rovině polarizace se nemůže šířit, neboť je schopna budit vid  $\text{TE}_{01}$ , který se ovšem nachází v podkritickém režimu. Pootočí-li se lineární polarizační mřížkou o 90° vzhledem k její výchozí poloze, jsou její vodiče rovnoběžné se směrem vektoru intenzity elektrického pole vidu  $\text{TE}_{10}$ , který se proto zcela odráží směrem ke vstupní přírubě atenuátoru. Zmenšování úrovně výstupního signálu je plynulé, teoreticky od úrovně koeficientu přenosu jedna až k hodnotě nula.

Funkce nového reflexního atenuátoru byla nejdříve ověřena výpočtem prvků jeho rozptylové matice v závislosti na orientaci lineární polarizační mřížky 3 elektromagnetickým simulátorem. Výrobě vzorku atenuátoru předcházelo praktické ověření jeho funkce měřením úrovně výstupního signálu při otáčení lineární polarizační mřížky v mezeře mezi dvěma úseky vlnovodu R100. Na obr. 8 je zakreslena změřená závislost koeficientu přenosu  $S_{21}$  reflexního atenuátoru na pootočení lineární polarizační mřížky při frekvenci 10 GHz. Koeficient přenosu byl měřen v pásmu od 7,5 do 12,5 GHz. Funkce atenuátoru je zachována, mění se pouze maximálně dosažitelný útlum, který je větší na nižších frekvencích než při vyšších frekvencích. Souvisí to s hustotou lineární polarizační mřížky 3 jak je uvedeno výše.

#### Průmyslová využitelnost

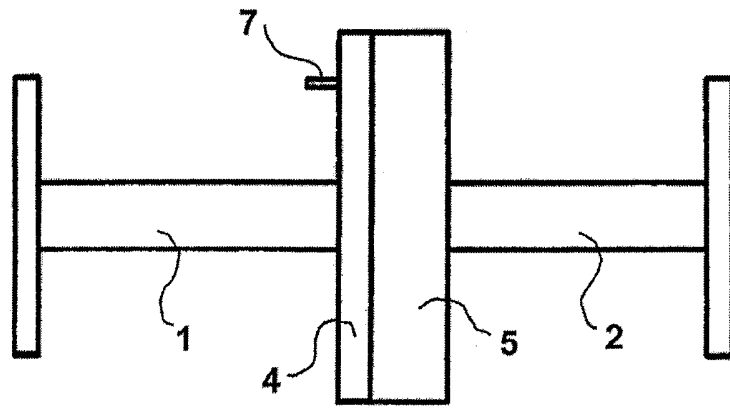
Regulovat přenášený výkon je potřeba prakticky ve všech vysokofrekvenčních obvodech. K tomu slouží atenuátory. Pokud se mění provozní podmínky v obvodu, musí se tomu přizpůsobit i

zaváděný útlum, aniž by se musel obvod rekonfigurovat. Proto jsou výhodné atenuátory s nastavitelným útlumem, které zachovávají své rozměry nezávisle na požadovaném útlumu. Navržená koncepce atenuátoru s nastavitelným útlumem snadno splňuje tento požadavek tím, že využívá dosud nepoužívanou kombinaci otočné kovové lineární polarizační mřížky instalované do klasického vlnovodu s obdélníkovým průřezem. Tento atenuátor vyhovuje praktickým požadavkům kladeným na elektrické parametry atenuátoru instalovaného do mikrovlnné přenosové trasy.

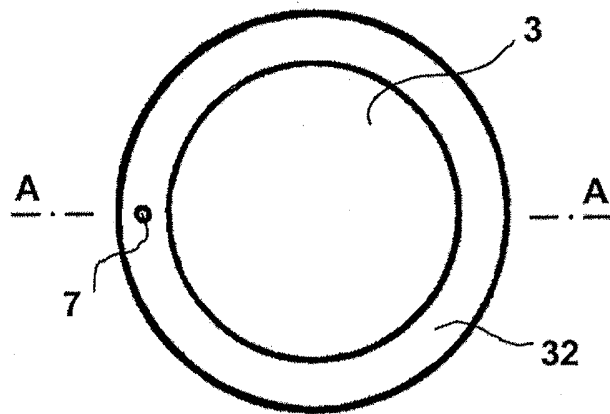
## NÁROKY NA OCHRANU

1. Reflexní atenuátor s nastavitelným útlumem tvořený vlnovodem s obdélníkovým průřezem, **vyznačující se tím**, že vlnovod je v rovině kolmé k jeho podélné ose rozdělen na první část (1) a druhou část (2), mezi nimiž je přes celý průsvit vlnovodu kolmo na jeho podélnou osu umístěna kovová lineární polarizační mřížka (3), která je v rovině kolmé na podélnou osu vlnovodu otočná minimálně v rozmezí  $0^\circ$  až  $90^\circ$ .
2. Reflexní atenuátor podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že kovová lineární polarizační mřížka (3) je kruhová a je svým obvodem upnuta mezi dvě protilehlá mezikruží (31) a (32), jejichž vnitřní průměr je větší než jsou obrysy vnitřních stěn v průřezu vlnovodu a první část (1) vlnovodu je opatřena první přírubou (4) s první kruhovou drážkou (41), do které kluzně zapadá první mezikruží (31) a druhá část (2) vlnovodu je opatřena druhou přírubou (5) s druhou kruhovou drážkou (51), do které kluzně zapadá druhé mezikruží (32), a dále je v části první nebo druhé kruhové drážky (41, 51) alespoň v rozmezí  $0^\circ$  až  $90^\circ$  vytvořen výřez (6), kterým je vyveden prvek (7) pro ovládání míry natočení kovové lineární polarizační mřížky (3) a v první nebo druhé přírubě (4, 5), kde je plná drážka (41, 51), je vytvořena vysokofrekvenční tlumivka (8), přičemž první příruba (4) a druhá příruba (5) jsou navzájem pevně spojeny.
3. Reflexní atenuátor podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že hustota vodičů kovové lineární polarizační mřížky (3) je přímo úměrná velikosti pracovního kmitočtu.

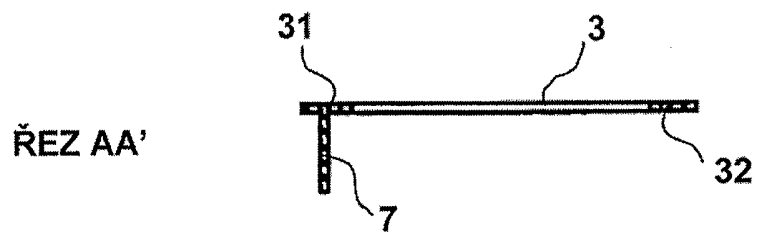
4 výkresy



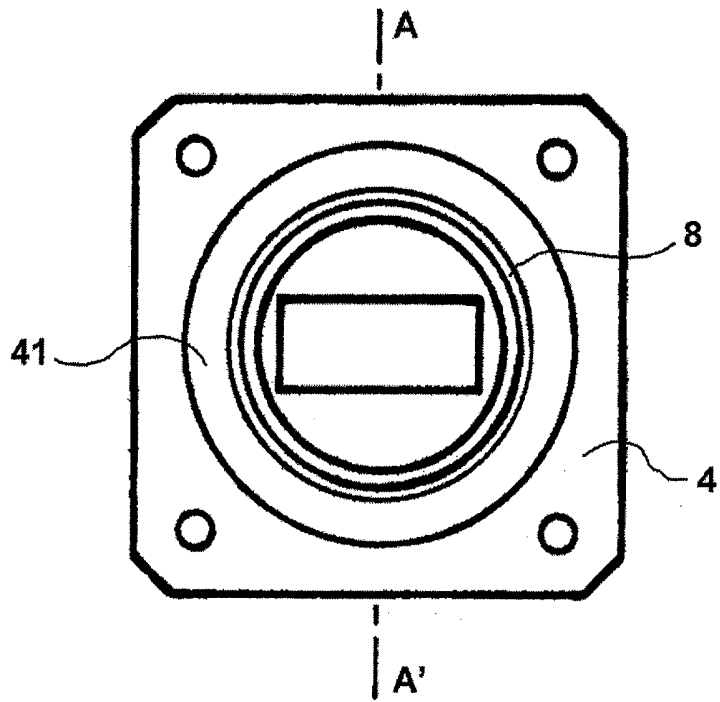
Obr. 1



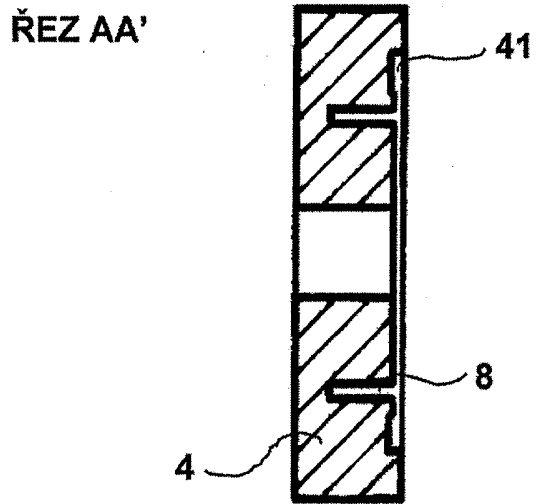
Obr. 2



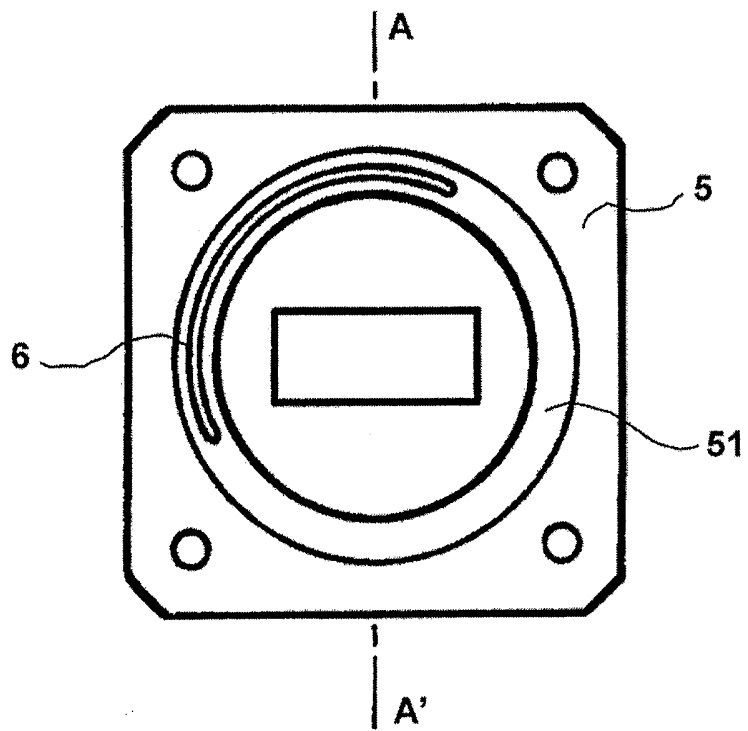
Obr. 3



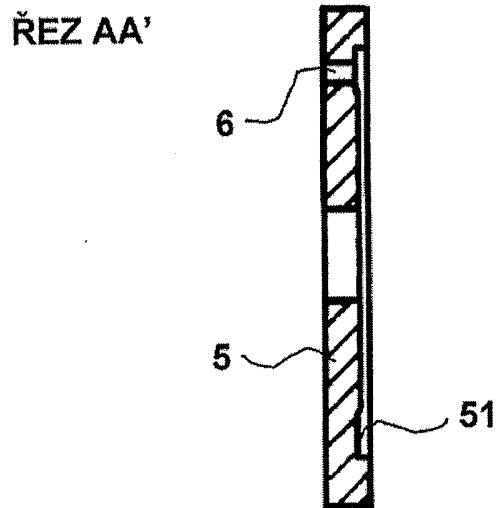
Obr. 4



Obr. 5

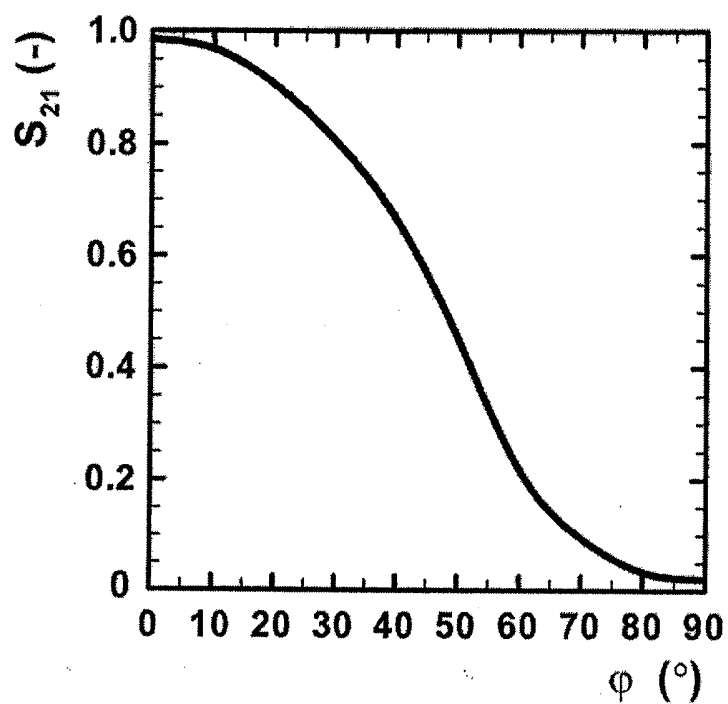


Obr. 6



Obr. 7





Obr. 8

Konec dokumentu