

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

18976

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. CL.

G01B 7/06 (2006.01)

G01B 15/02 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2008 - 20126**

(22) Přihlášeno: **10.07.2008**

(47) Zapsáno: **13.10.2008**

(73) Majitel:

České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická, Praha, CZ

(72) Původce:

Papež Václav Doc. Ing. CSc., Praha, CZ

(74) Zástupce:

Ing. Hana Dušková, Na Kočově 180, Chotutice, 28301

(54) Název užitého vzoru:

Zařízení pro bezkontaktní měření tloušťky tenkých vodivých vrstev

CZ 18976 U1

Zařízení pro bezkontaktní měření tloušťky tenkých vodivých vrstev

Oblast techniky

Je řešeno zařízení, které umožňuje bez nebezpečí poškození bezdotykově měřit tloušťku tenkých vodivých vrstev a homogenitu vrstev.

5 Dosavadní stav techniky

Základní měření tloušťky tenkých vrstev je měření mechanické. Pro tento účel se používá jemný diamantový hrot ve tvaru čtyřbokého jehlanu, který se rovnoměrně posunuje po měřeném povrchu přes hranu vrstvy nebo zkušební rýhu. Změna polohy hrotu způsobená nerovnostmi na povrchu se elektronicky vyhodnocuje. Zařízení je v ideálním případě schopné snimat výškové rozdíly na povrchu v rozsahu 1 nm, jako tloušťku vrstvy ale vyhodnocuje i nerovnosti na podložce a nepřesné uložení podložky. Nepřesnosti způsobuje i nevhodný tvar vrstvy na hraně, kdy změna tloušťky vrstvy je pomalá. Měřicí zařízení vyžaduje složitou obsluhu a měření je zdlouhavé, vhodné pro použití v laboratoři, ne však ve výrobě.

Nejobvyklejší metody užívané pro měření tloušťky vodivých vrstev vycházejí ze závislosti plošného odporu na tloušťce vrstvy a měření plošného odporu. Měření odporu lze provádět Ohmovou metodou voltmetrem a ampérmetrem nebo přímo měřičem odporu. Při jejich použití musí být vzorek měřené vrstvy opatřen dvěma velkoplošnými kontakty vhodného tvaru, mezi kterými je při přivedení napětí známý tvar elektrického pole, umožňující ze změřeného ohmického odporu mezi kontakty určit plošný odpor vrstvy. Nevýhodou těchto metod je zejména fakt, že pro měření je třeba připravovat zvláštní vzorek, do měření vnášejí velké chyby všechny geometrické nepřesnosti, které nastaly při přípravě vzorku a kontaktů a případný kontaktní odpor nebo vlastní odpor kontaktů. Nepřesnosti určení tloušťky vrstvy způsobují i nepřesnosti výpočtu tloušťky z hodnoty odporu podle jednoduchých aproximací.

Přesná měření plošného odporu vrstev umožňuje čtyřbodová metoda. Nejčastěji se používá sonda se 4 wolframovými nebo ocelovými elektrolyticky ostřenými hroty s průměrem kolem 50 μm , které jsou ekvidistantně rozmístěny na jedné přímce a přitlačovány k měřené vrstvě. Dvě vnější elektrody jsou napájeny proudem a měřen je úbytek napětí mezi vnitřními dvěma elektrodami. Vzdálenost elektrod je několik desetin mm, v případě tenkých vrstev, které mají tloušťku mnohonásobně menší než vzdálenost elektrod, je plošný odpor vrstvy určen pouze poměrem napětí a proudu na elektrodách sondy a nezávisí na tloušťce vrstvy, což je výhodné. Čtyřbodová metoda je aplikovatelná i v případě jiného geometrického uspořádání elektrod, ovšem za cenu složitějších vztahů pro výpočet odporu vrstvy. Rizikem této metodiky je poškození vrstvy, chyby měření způsobují opět nepřesnosti aproximací, které jsou používány při výpočtech.

Bezkontaktní měření tloušťky tenkých vrstev umožňuje metoda vyhodnocující plošný odpor vrstvy podle změny komplexní impedance cívky, do jejíhož magnetického pole je vložen vzorek vrstvy. Při běžných měřeních je vyhodnocována změna činitele jakosti cívky resp. rezonančního obvodu s měřicí cívkou a vhodným kondenzátorem. Změně reálného odporu rezonančního obvodu v rezonanci, kterou způsobuje vzorek, je v určitých mezích přímo nebo nepřímo úměrný plošný odpor vrstvy, kterému je v určitých mezích nepřímo úměrná tloušťka vrstvy. Nejednoznačnost určení tloušťky vrstvy změnou tlumení je velkou nevýhodou této metody. Pro každé uspořádání existuje tloušťka vrstvy, při kterém je zvýšení tlumení rezonančního obvodu maximální, přičemž pro větší nebo menší hodnoty tloušťky odporu vrstvy je zvýšení tlumení rezonančního obvodu menší. Každé hodnotě tlumení, kromě maximálního, odpovídají dvě možné tloušťky vrstvy, které je způsobují. Jednoznačné vyhodnocení je možné buď za předpokladu, že tloušťka vrstvy bude vždy buď menší nebo větší, než odpovídá maximální změně tlumení nebo vyhodnocováním změny tlumení v širším rozsahu frekvencí a hledáním extrémní hodnoty, jak je např. řešeno v PUV 2007-19373, osvědčení č.18188. Zařízení zde uvedené ale neumožňuje au-

tomatické vyhodnocování, protože vyžaduje optický odečet maxima průběhu a pokud nebude používáno pouze pro jeden materiál vrstvy, vyžaduje i přepočet odečtených hodnot.

5 Tloušťku vrstvy je možné určit i nepřímou podle hmotnosti vrstvy. Hmotnosti řádu miligramů lze určit vážením na analytických vahách, hmotnosti řádu mikrogramů lze měřit pomocí mikrovah, hmotnosti materiálu řádu 10^{-9} g deponované na ploše 1 cm^2 je možné měřit rozladěním oscilátoru řízeného krystalem přírůstkem hmotnosti krystalového výbrusu, na jehož povrch je materiál vrstvy též nanášen. Tyto postupy ale neumožňují měřit vlastnosti vrstvy přímo na výrobku, vyžadují při zhotovování vrstvy pro měření vytvořit další vzorek nebo vrstvu vytvářet také na měřicí krystal.

10 Podstata technického řešení

Výše uvedené nevýhody odstraňuje zařízení pro měření tloušťky vodivých vrstev podle předkládaného řešení, kde tloušťka vrstvy je stanovována podle jejího plošného odporu, který je vyhodnocován podle kmitočtové závislosti přírůstku ztrátového odporu cívky, do jejíhož magnetického pole je měřený vzorek vložen. Při každém měření je vyhodnocována kmitočtová závislost ztrátového odporu cívky normovaná ke kmitočtu. Kmitočet, při kterém maximum nastává, je pro danou konfiguraci snímací cívky a vzorku mírou tloušťky vrstvy, samotná extrémální hodnota ztrátového odporu umožňuje ověřit dodržení předpokládaných podmínek měření, zejména dodržení geometrické konfigurace cívky a vzorku. Ztrátový odpor cívky je vyhodnocován kompenzační metodou tak, že je porovnáván ztrátový odpor měřicí cívky, do jejíhož magnetického pole je vložen vzorek a referenční cívky, která je přesně stejná jako měřicí cívka, ale do jejíhož magnetického pole není vložen vzorek. Tato metoda umožňuje jednoznačné vyhodnocení tloušťky v širokém rozsahu.

Měřicí zařízení sestává ze snímacího obvodu a z vyhodnocovacího obvodu. Snímací obvod je tvořen měřicí cívkou, do jejíhož magnetického pole je vložen měřený vzorek a která je svým 25 jedním koncem uzemněná a druhým koncem je spojena do série přes sekundární vinutí budicího transformátoru a přes primární vinutí měřicího transformátoru s jedním koncem referenční cívky. Referenční cívka je shodná s měřicí cívkou a její druhý konec je uzemněn. Primární vinutí budicího transformátoru je připojeno na výstup řízeného zesilovače, jehož vstup je připojen na rozmítaný generátor. Rozmítaný generátor má řídicí vstup propojen s výstupem generátoru řídicího signálu, např. pilovitého průběhu. Na řídicí vstup řízeného zesilovače je připojen výstup prvního 30 rozdílového zesilovače, na jehož neinvertující vstup je připojen výstup zdroje referenčního napětí a na jehož invertující vstup je připojen výstup amplitudového detektoru. Amplitudový detektor je svým vstupem připojen na výstup kmitočtové závislého členu, připojeného na sekundární vinutí měřicího transformátoru, z něhož je zároveň vyveden výstup řídicího signálu ze snímacího obvodu k vyhodnocovacímu obvodu. 35

Toto zařízení může být realizováno pro měření tloušťky vodivých vrstev na nepříliš vysokých frekvencích nebo na vysokých frekvencích a jeho zapojení se liší zapojením vyhodnocovacího obvodu.

40 Pro měření na nepříliš vysokých frekvencích může být používán vyhodnocovací obvod pracující přímo na měřicí frekvenci. V tomto případě jsou signály z měřicí a referenční cívky vyhodnocovány synchronními detektory na měřicí frekvenci.

Vstup prvního širokopásmového synchronního detektoru je připojen přes první lineární zesilovač paralelně k měřicí cívkce. Vstup druhého širokopásmového synchronního detektoru je připojen přes druhý lineární zesilovač paralelně k referenční cívkce.

45 Výstup prvního širokopásmového synchronního detektoru je připojen na neinvertující vstup druhého rozdílového zesilovače, na jehož invertující vstup je připojen výstup druhého širokopásmového synchronního detektoru.

Synchronizační signál ze sekundárního vinutí měřicího transformátoru je veden na vstup generátoru synchronizačního signálu, jehož výstup je spojen jednak s řídicím vstupem prvního širokopásmového synchronního detektoru a jednak s řídicím vstupem druhého širokopásmového synchronního detektoru.

- 5 Zařízení se stejnou funkcí pro měření na vysokých frekvencích je vhodné realizovat s použitím kmitočtové konverze ve vyhodnocovacím obvodu. Vyhodnocovací obvod je v tomto případě tvořen na vstupu prvním směšovačem, na jehož první vstup je připojen signál ze sekundárního vinutí měřicího transformátoru a na druhý vstup je připojen výstup řízeného oscilátoru a jehož výstup je spojen s jedním vstupem fázového detektoru. Druhý vstup fázového detektoru je pro-
- 10 pojen s výstupem referenčního oscilátoru a jeho výstup je přes filtr propojen na řízený oscilátor, takže tvoří smyčku fázového závěsu. Výstup řízeného oscilátoru je dále propojen jednak s oscilátorovým vstupem druhého směšovače připojeného svým signálovým vstupem paralelně k měřicí cívice a svým výstupem spojeného přes první selektivní zesilovač a přes první synchronní detektor s neinvertujícím vstupem druhého rozdílového zesilovače, a jednak s oscilátorovým vstu-
- 15 pem třetího směšovače připojeného svým signálovým vstupem paralelně k referenční cívice a výstupem přes druhý selektivní zesilovač a druhý synchronní detektor s invertujícím vstupem druhého rozdílového zesilovače. Řídicí vstupy prvního a druhého synchronního detektoru jsou spojeny s výstupem referenčního oscilátoru. Výstup prvního synchronního detektoru je připojen na neinvertující vstup druhého rozdílového zesilovače, na jehož invertující vstup je připojen
- 20 výstup druhého synchronního detektoru.

Podstatou nového řešení v obou případech, tedy u zapojení pro měření na nepříliš vysokých frekvencích i u zapojení pro měření na vysokých frekvencích, je automatické vyhodnocení maxima ztrátového odporu měřicí cívky. Proto je na výstup druhého rozdílového zesilovače přes derivační obvod připojen komparátor jehož výstupním signálem jsou impulzy označující mini-

25 mální hodnotu derivace resp. maximální hodnotu výstupního signálu druhého rozdílového zesilovače. Výstupní signál komparátoru je veden na klíčovací vstup vzorkovacího zesilovače a startovací vstup generátoru řízení. Generátor řízení má frekvenční vstup propojen s výstupem rozmiňaného generátoru, jeho výstupy hradlovacího signálu, nulovacího signálu a zapisovacího signálu jsou propojeny s řídicím vstupem hradla čítače, nulovacím vstupem hlavního čítače a

30 zapisovacím vstupem paměťového registru. Signálový vstup hradla čítače je propojen s výstupem nastavitelného generátoru hodinového signálu, výstup hradla čítače je propojen s hodinovým vstupem hlavního čítače.

Datový výstup hlavního čítače je propojen se vstupem paměťového registru, výstup paměťového registru je propojen s datovým vstupem jednotky zobrazovače. Vzorkovací zesilovač má analo-

35 gový vstup propojen s výstupem druhého rozdílového zesilovače, výstup vzorkovacího zesilovače je propojen se signálovými vstupy druhého a třetího komparátoru. Referenční vstupy druhého a třetího komparátoru jsou propojeny s generátory referenčních úrovní, vstup druhého komparátoru s výstupem druhého generátoru referenční úrovně, vstup třetího komparátoru s výstupem třetího generátoru referenční úrovně. Výstupy komparátorů jsou vedeny na hradlo negovaného

40 logického součtu, jehož výstupní signál je veden na aktivační vstup zobrazovací jednotky.

Tloušťka vrstvy je vyhodnocována podle plošného odporu vrstvy, který je jí přibližně nepřímo úměrný, přičemž koeficientem úměrnosti je hodnota měrného odporu materiálu vrstvy. Odpor vrstvy je určován podle kmitočtové závislosti rozdílu fázoru napětí, který je ve fázi s měřicím proudem ve snímací a referenční cívice. Při každé periodě rozmiňání nalezeno jeho maximum

45 podle průchodu derivace tohoto signálu nulovou úrovní. Kmitočtu, při kterém maximum nastává, je pro danou konfiguraci snímací cívky a vzorku a měrný odpor materiálu vrstvy, tloušťka vrstvy přibližně nepřímo úměrná. Vyhodnocení tloušťky vrstvy je proto prováděno měřením doby periody signálu rozmiňaného generátoru v oblasti maxima napětí rozdílového signálu. Koeficient úměrnosti, jako multiplikační faktor, je nastavován volbou kmitočtu hodinového generátoru.

50 Extremální hodnota napětí je při dodržení předpokládaných podmínek měření, zejména dodržení geometrické konfigurace cívky a vzorku kmitočtově nezávislá, je sledována porovnáváním s

mezními hodnotami a pouze v případě, že extrémální hodnota splňuje předepsané toleranční limity, je verifikován výsledek měření.

- 5 Nepřesnosti měření, vznikající použitím jednoduchých idealizovaných aproximací pro vyhodnocení měření lze významně snížit použitím kalibrační tabulky. Tato může být např. zapsána do EPROM paměti, která je zařazena do toku dat mezi paměťový registr a zobrazovací jednotku a je upravena tak, že každé hodnotě výstupního signálu čítače přiřazuje skutečnou hodnotu tloušťky vrstvy.

Přehled obrázků na výkresech

- 10 Příklady provedení zařízení pro měření tloušťky vodivých vrstev podle předkládaného řešení jsou uvedeny na příložených výkresech, a to na obr. 1 je provedení pro měření na ne příliš vysokých frekvencích a na obr. 2 je uvedeno zařízení pro měření na velmi vysokých frekvencích nebo pro měření v širokém frekvenčním rozsahu.

Příklady provedení technického řešení

- 15 Základní uspořádání zařízení pro měření tloušťky vodivých vrstev na obr. 1 sestává ze snímacího obvodu a z vyhodnocovacího obvodu. Snímací obvod je tvořen budicí měřicí cívkou 1, referenční cívkou 2, budicím transformátorem 4 a měřicím transformátorem 3. Měřicí cívka 1, do jejíhož magnetického pole se vkládá měřený vzorek 100, naznačený na obrázku náhradním schématem, je svým jedním koncem uzemněná a druhým koncem je spojena do série přes sekundární vinutí budicího transformátoru 4 a přes primární vinutí měřicího transformátoru 3 s jedním koncem referenční cívkou 2, která je shodná s touto měřicí cívkou 1 a jejíž druhý konec je uzemněn. Primární vinutí budicího transformátoru 4 je připojeno na výstup řízeného zesilovače 7, jehož vstup je připojen na rozmitaný generátor 5, jehož řídicí vstup je propojen s výstupem generátoru 6 řídicího signálu, například napětí pilovitého průběhu. Na řídicí vstup řízeného zesilovače 7 je připojen výstup prvního rozdílového zesilovače 10, jehož neinvertující vstup je propojen s výstupem zdroje 11 referenčního napětí. Invertující vstup prvního rozdílového zesilovače 10 je spojen na výstup amplitudového detektoru 9, který má vstup přes kmitočtově závislý člen 8 připojen na sekundární vinutí měřicího transformátoru 3, z něhož je zároveň vyveden výstup snímacího obvodu k vyhodnocovacímu obvodu.

- 30 Vyhodnocovací obvod pro měření na nepříliš vysokých frekvencích pracuje přímo na frekvenci měřicího signálu. Řídicí vstup vyhodnocovacího obvodu je tvořen vstupem generátoru 12 synchronizačního signálu, který je připojen na výstup měřicího transformátoru 3. Výstup generátoru 12 synchronizačního signálu je spojen jednak s řídicím vstupem prvního širokopásmového synchronního detektoru 13 a jednak s řídicím vstupem druhého širokopásmového synchronního detektoru 14. Vstup prvního širokopásmového synchronního detektoru 13 je připojen přes první lineární zesilovač 15 paralelně k měřicí cívkou 1 a vstup druhého širokopásmového synchronního detektoru 14 je připojen přes druhý lineární zesilovač 16 paralelně k referenční cívkou 2. Výstup prvního širokopásmového synchronního detektoru 13 je připojen na neinvertující vstup druhého rozdílového zesilovače 17, na jehož invertující vstup je připojen výstup druhého širokopásmového synchronního detektoru 14. Výstupní signál druhého rozdílového zesilovače 17 je veden na derivační obvod 118 jehož výstupní signál je přiváděn na první komparátor 119. Výstupní signál prvního komparátoru 119 je veden do generátoru 120 řízení a na klíčovací vstup vzorkovacího zesilovače 126. Výstupní hradlovací impuls z generátoru 120 řízení je veden na řídicí vstup hradla 121 čítače, výstupní zapisovací impuls je veden do paměťového registru 124 a nulovací impuls je veden na nulovací vstup hlavního čítače 123. Na signálový vstup hradla 121 čítače je přiváděn výstupní signál generátoru 122 hodinového signálu, výstupní signál hradla 121 čítače je veden na hodinový vstup hlavního čítače 123. Datový signál z hlavního čítače 123 je veden na vstup paměťového registru 124, jehož výstupní signál je veden na datový vstup zobrazovací jednotky 125.

Výstupní signál druhého rozdílového zesilovače 17 je veden též na analogový vstup vzorkovacího zesilovače 126, jehož výstupní signál je přiváděn na druhý komparátor 127 a na třetí komparátor 128, na jejichž referenční vstupy jsou přiváděny referenční signály z odpovídajících generátorů referenčních úrovní, tedy z prvního generátoru referenční úrovně 129 a z druhého generátoru referenční úrovně 130. Výstupní signály z druhého komparátoru 127 a třetího komparátoru 128 jsou vedeny na hradlo 131 negovaného logického součtu. Výstupní signál hradla 131 negovaného logického součtu je veden na aktivační vstup zobrazovací jednotky 125.

Pro měření je tedy používán porovnávací měřicí obvod skládající se z měřicí cívky 1, do jejíhož magnetického pole je vkládán vzorek 100, referenční cívky 2, budicího transformátoru 4 a měřicího transformátoru 3. Měřicí obvod je napájen zdrojem sinusového proudu s proměnnou frekvencí, který je tvořen řídicí smyčkou tvořenou budícím transformátorem 4, amplitudovým detektorem 9, kmitočtově závislým členem 8, řízeným zesilovačem 7, rozmitaným generátorem 5, generátorem 6 řídicího signálu, prvním rozdílovým zesilovačem 10 a zdrojem 11 referenčního napětí. Proud je z hlediska zátěže tvořený měřicí cívkou 1 a referenční cívkou 2 konstantní a z hlediska frekvence budicího signálu nepřímě úměrný této frekvenci. Budicí signál s proměnnou frekvencí je generován rozmitaným generátorem 5, jehož frekvence je ve zvolených mezích řízena generátorem 6 řídicího signálu, zde generátorem pily. Proud do měřicího obvodu je dodáván z výstupu řízeného zesilovače 7, který je buzen z rozmitaného generátoru 5. Výstupní obvod řízeného zesilovače 7 je od měřicího obvodu galvanicky oddělen budícím transformátorem 4. Proud v měřicím obvodu je snímán měřicím transformátorem 3 a vzorek tohoto proudu je přes kmitočtově závislý člen 8 s přenosovou charakteristikou s velikostí přenosu úměrnou frekvenci veden na amplitudový detektor 9. Výstupní napětí amplitudového detektoru 9 je prvním rozdílovým zesilovačem 10 porovnáváno s referenčním napětím ze zdroje 11 referenčního napětí. Výstupním napětím prvního rozdílového zesilovače 10 je řízen řízený zesilovač 7. Řízený zesilovač 7, budicí transformátor 4, měřicí transformátor 3, kmitočtově závislý člen 8, amplitudový detektor 9 a první rozdílový zesilovač 10 tvoří smyčku se zápornou zpětnou vazbou, která řídí velikost proudu v měřicím obvodu. Mírou impedance měřicí cívky 1 a referenční cívky 2 je úbytek napětí na nich. Reálná část impedance měřicí cívky 1 a referenční cívky 2 odpovídá složce úbytku napětí, které je ve fázi s budícím proudem. Ztrátový odpor měřicí cívky 1 se vzorkem 100, způsobený vzorkem 100, odpovídá rozdílu napětí na měřicí cívce 1 a referenční cívce 2, která jsou ve fázi s budícím proudem. Velikost této složky je sledována prostřednictvím synchronní detekce napětí prvním širokopásmovým synchronním detektorem 13 a druhým širokopásmovým synchronním detektorem 14, které jsou řízeny ve fázi s proudem v měřicím obvodu. Vzorek napětí odpovídajícího proudu v měřicím obvodu je odebírán z měřicího transformátoru 3 a je veden do generátoru 12 synchronizačního signálu, kde je generován řídicí signál pro synchronizaci prvního širokopásmového synchronního detektoru 13 a druhého širokopásmového synchronního detektoru 14. Vstupní signál je do tohoto prvního širokopásmového synchronního detektoru 13 a druhého širokopásmového synchronního detektoru 14 veden z měřicího obvodu, a to z měřicí cívky 1 a z referenční cívky 2, po zesílení shodnými lineárními zesilovači, a to prvním lineárním zesilovačem 15 a druhým lineárním zesilovačem 16. Výstupní signály prvního širokopásmového synchronního detektoru 13 a druhého širokopásmového synchronního detektoru 14 jsou vedeny na vstupy druhého rozdílového zesilovače 17, jehož výstupní signál je úměrný rozdílu ztrátového odporu měřicí cívky 1 a referenční cívky 2, který je normován funkcí odpovídající měřicí frekvenci. Maximální hodnota průběhu výstupního signálu druhého rozdílového zesilovače 17 během periody rozmitání je vyhledávána automaticky podle derivace tohoto signálu. Výstupní signál druhého rozdílového zesilovače 17 je derivován derivačním obvodem 118 a výstupní signál derivačního obvodu 118 je vyhodnocován prvním komparátorem 119. V čase průchodu výstupního signálu derivačního obvodu 118 nulovou úrovní generuje první komparátor 119 synchronizační impuls, odpovídající maximu průběhu výstupního signálu druhého rozdílového zesilovače 17. Synchronizační impuls je veden do generátoru 120 řízení, kde startuje čítač tohoto generátoru. Následkem toho čítač generátoru 120 řízení začne odpočítávat pulzy z výstupního signálu rozmitaného generátoru 5 a po dobu, než bude odpočítán jejich předem zvolený dostatečně vysoký počet, například 128, generuje generátor 120 řízení výstupní hradlovací impuls. S malým zpož-

děním po ukončení výstupního hradlovacího impulzu generuje generátor 120 řízení krátké impulzy pro zápis stavu a nulování hlavního čítače 123, načež se generátor 120 řízení zastaví a zůstane v tomto stavu až do příchodu dalšího synchronizačního impulzu z prvního komparátoru 119. Výstupní hradlovací impulz z generátoru 120 řízení je veden na hradlo 121 čítače, které
 5 otevírá a způsobuje tak průchod hodinových pulzů volitelné frekvence z generátoru 122 hodinového signálu na hodinový vstup hlavního čítače 123. Po ukončení hradlovacího impulzu se hlavní čítač 123 zastaví, přičemž jeho stav je číslo úměrné periodě signálu rozdílového generátoru 5 při frekvenci, při které nastalo maximum výstupního signálu druhého rozdílového zesilovače 17. Zapisovacím impulzem je stav hlavního čítače 123 přepsán do paměťového registru 124 a
 10 nulovacím impulzem je hlavní čítač 123 nastaven do výchozího nulového stavu. Při vhodné volbě frekvence generátoru 122 hodinového signálu číslo uložené v paměťovém registru 124 odpovídá tloušťce měřené vrstvy vyjádřené v určitých jednotkách. Výstupní signál paměťového registru 124 je veden na datový vstup zobrazovací jednotky 125, kde je číslo tomuto signálu odpovídající, pokud bylo měření platné, zobrazováno.

Platnost měření je kontrolována vzorkovacím zesilovačem 126, druhým komparátorem 127 a třetím komparátorem 128. Na analogový vstup vzorkovacího zesilovače 126 je přiváděno výstupní napětí z druhého rozdílového zesilovače 17 a vzorkování a zápis do analogové paměti vzorkovacího zesilovače 126 jsou synchronizovány synchronizačním impulzem, který je do
 20 vzorkovacího zesilovače 126 přiváděn z výstupu prvního komparátoru 119. Tímto způsobem jsou do analogové paměti vzorkovacího zesilovače 126 zapisovány hodnoty výstupního signálu druhého rozdílového zesilovače 17 odpovídající maximálním hodnotám tohoto signálu. Výstupní signál vzorkovacího zesilovače 126 je veden na vstupy druhého komparátoru 127 a třetího komparátoru 128, na jejichž referenční vstupy jsou přiváděny referenční signály z prvního generátoru referenčních úrovní 129 a z druhého generátoru referenčních úrovní 130. Výstupní signály z
 25 druhého komparátoru 127 a ze třetího komparátoru 128 jsou vedeny na hradlo 131 negovaného logického součtu, kde jsou vyhodnocovány tak, že výstupní signál hradla 131 negovaného logického součtu, označující platnost měření, je generován tehdy, když úroveň výstupního signálu vzorkovacího zesilovače 126 je mezi referenčními úrovněmi z prvního generátoru referenčních úrovní 129 a z druhého generátoru referenčních úrovní 130. Výstupní signál hradla 131 negovaného logického součtu je veden na aktivací vstup zobrazovací jednotky 125, kde způsobuje
 30 zobrazení jejich vstupních dat.

Při realizaci úpravy umožňující dosažení vyšší přesnosti měření je mezi paměťový registr 124 a zobrazovací jednotku 125 zařazen blok EPROM. Vstupní signál z paměťového registru 124 určuje v bloku EPROM adresy, na kterých jsou zapsána čísla vyjadřující korigované hodnoty
 35 tloušťky měřené vrstvy, která jsou zobrazována zobrazovací jednotkou 125.

Česlicový signál reprezentující tloušťku vrstvy je odebírán paralelně z datového vstupu zobrazovací jednotky 125, signál udávající platnost dat je odebírán z výstupu hradla 131 negovaného logického součtu.

Pro měření na velmi vysokých frekvencích nebo měření v širokém frekvenčním rozsahu je výhodnější uspořádání zařízení s vyhodnocováním signálů z měřicího obvodu s použitím kmitočtové konverze znázorněné na obr. 2. Snímací obvod je shodný jako v minulém případě, liší se ale
 40 zapojení vyhodnocovacího obvodu. Ten je tvořen na vstupu prvním směšovačem 19, na jehož signálový vstup je připojen signál ze sekundárního vinutí měřicího transformátoru 3, na jehož oscilátorový vstup je připojen výstup řízeného oscilátoru 20 a jehož výstup je spojen s jedním vstupem fázového detektoru 21. Druhý vstup fázového detektoru 21 je propojen s výstupem referenčního oscilátoru 22 a jeho výstup je přes filtr 23 zajišťující stabilitu smyčky fázového závěsu připojen na řídicí vstup řízeného oscilátoru 20. Výstup řízeného oscilátoru 20 je propojen dále
 45 jednak s oscilátorovým vstupem druhého směšovače 24 a jednak s oscilátorovým vstupem třetího směšovače 27. Druhý směšovač 24 je připojen svým signálovým vstupem paralelně k měřicí cívice 1 a výstupem je spojen přes první selektivní zesilovač 25 a přes první synchronní detektor 26 s neinvertujícím vstupem druhého rozdílového zesilovače 17. Třetí směšovač 27 je připojen
 50 svým signálovým vstupem paralelně k referenční cívice 2 a výstupem přes druhý selektivní zesi-

lovač 28 a druhý synchronní detektor 29 s invertujícím vstupem druhého rozdílového zesilovače 17. Řídicí vstupy prvního synchronního detektoru 26 a druhého synchronního detektoru 29 jsou spojeny s výstupem referenčního oscilátoru 22.

Výstupní signál druhého rozdílového zesilovače 17 je veden na derivační obvod 118 jehož výstupní signál je přiváděn na první komparátor 119. Výstupní signál z prvního komparátoru 119 je veden do generátoru 120 řízení a na klíčovací vstup vzorkovacího zesilovače 126. Výstupní hradlovací impuls z generátoru 120 řízení je veden na řídicí vstup hradla 121 čítače, výstupní zapisovací impuls je veden do paměťového registru 124 a nulovací impuls je veden na nulovací vstup hlavního čítače 123. Na signálový vstup hradla 121 čítače je přiváděn výstupní signál generátoru 122 hodinového signálu. Výstupní signál hradla 121 čítače je veden na hodinový vstup hlavního čítače 123. Datový signál z hlavního čítače 123 je veden na vstup paměťového registru 124, jehož výstupní signál je veden na zobrazovací jednotku 125.

Výstupní signál druhého rozdílového zesilovače 17 je veden též na vzorkovací zesilovač 126, jehož výstupní signál je přiváděn na druhý komparátor 127 a třetí komparátor 128, na jejichž referenční vstupy jsou přiváděny referenční signály z prvního generátoru referenčních úrovní 129 a z druhého generátoru referenčních úrovní 130. Výstupní signály z druhého komparátoru 127 a z třetího komparátoru 128 jsou vedeny na hradlo 131 negovaného logického součtu a výstupní signál hradla 131 negovaného logického součtu je veden na aktivační vstup zobrazovací jednotky 125.

Pro měření je opět používán porovnávací měřicí obvod skládající se z měřicí cívky 1, referenční cívky 2, budicího transformátoru 4 a měřicího transformátoru 3. Měřicí obvod je napájen zdrojem sinusového proudu s proměnnou frekvencí, který je tvořen řídicí smyčkou tvořenou budicím transformátorem 4, amplitudovým detektorem 9, kmitočtově závislým členem 8, řízeným zesilovačem 7, rozmitaným generátorem 5, generátorem 6 řídicího signálu, prvním rozdílovým zesilovačem 10 a zdrojem 11 referenčního napětí. Proud je z hlediska zátěže tvořené měřicí cívkou 1 a referenční cívkou 2 konstantní a z hlediska frekvence budicího signálu nepřímo úměrný této frekvenci. Budicí signál s proměnnou frekvencí je generován rozmitaným generátorem 5, jehož frekvence je ve zvolených mezích řízena generátorem 6 řídicího signálu, zde generátorem pily. Proud do měřicího obvodu je dodáván z výstupu řízeného zesilovače 7, který je buzen z rozmitaného generátoru 5. Výstupní obvod řízeného zesilovače 7 je od měřicího obvodu galvanicky oddělen budicím transformátorem 4. Proud v měřicím obvodu je snímán měřicím transformátorem 3 a vzorek tohoto proudu je přes kmitočtově závislý člen 8 s přenosovou charakteristikou s velikostí přenosu úměrnou frekvenci veden na amplitudový detektor 9. Výstupní napětí amplitudového detektoru 9 je prvním rozdílovým zesilovačem 10 porovnáváno s referenčním napětím ze zdroje referenčního 11 napětí a výstupním napětím prvního rozdílového zesilovače 10 je řízen řízený zesilovač 7. Řízený zesilovač 7, budicí transformátor 4, měřicí transformátor 3, kmitočtově závislý člen 8, amplitudový detektor 9 a první rozdílový zesilovač 10 tvoří smyčku se zápornou zpětnou vazbou která řídí velikost proudu v měřicím obvodu. Mírou impedance měřicí cívky 1 a referenční cívky 2 je úbytek napětí na nich. Reálná část impedance měřicí cívky 1 a referenční cívky 2 odpovídá složce úbytku napětí, které je ve fázi s budicím proudem. Ztrátový odpor měřicí cívky 1 se vzorkem 100, způsobený vzorkem 100, odpovídá rozdílu napětí na měřicí cívce 1 a referenční cívce 2, která jsou ve fázi s budicím proudem. Velikost těchto napětí je sledována vyhodnocovacím obvodem s kmitočtovou konverzí.

Oscilátorový signál pro kmitočtovou konverzi, který je přiváděn na oscilátorové vstupy druhého směšovače 24 a třetího směšovače 27, je generován podle výstupního signálu měřicího transformátoru 3 fázovým závěsem, který je tvořen bloky řízeného oscilátoru 20, prvního směšovače 19, fázového detektoru 21, referenčního oscilátoru 22 a filtru 23. Výstupní signál měřicího transformátoru 3 proudu je veden na první směšovač 19 kde je směšován se signálem řízeného oscilátoru 20 a mezifrekvenční signál je fázovým detektorem 21 porovnáván se signálem referenčního oscilátoru 22, který pracuje na konstantní frekvenci pod dolním mezním kmitočtem měřicího pásma. Výstupní signál fázového detektoru 21 je zpracován filtrem 23 a výstupním signálem filtru je řízen řízený oscilátor 20.

V měřicích kanálech napětí na měřicí cívce 1 a na referenční cívce 2 je kmitočtová konverze realizována druhým směšovačem 24 a třetím směšovačem 27, na jejichž oscilátorové vstupy je přiváděn signál řízeného oscilátoru 20. Výstupní mezifrekvenční signály druhého směšovače 24 a třetího směšovače 27 jsou zesilovány prvním selektivním zesilovačem 25 a druhým selektivním
 5 zesilovačem 28, jejichž propustné pásmo odpovídá frekvenci referenčního oscilátoru 22. Výstupní signál prvního selektivního zesilovače 25 a druhého selektivního zesilovače 28 je veden do prvního synchronního detektoru 26 a do druhého synchronního detektoru 29, které jsou řízeny signálem referenčního oscilátoru 22 a fázově nastaveny tak, aby jimi detekované napětí odpovídalo reálné složce impedance měřicí cívky 1 a budicí cívky 2. Výstupní signály prvního syn-
 10 chronního detektoru 26 a druhého synchronního detektoru 29 jsou vedeny na vstupy druhého rozdílového zesilovače 17, jehož výstupní signál je úměrný rozdílu ztrátového odporu měřicí cívky 1 a referenční cívky 2, který je normován funkcí odpovídající měřicí frekvenci.

Maximální hodnota průběhu výstupního signálu druhého rozdílového zesilovače 17 během peri-
 15 ody rozmitání je vyhledávána automaticky podle derivace tohoto signálu. Výstupní signál druhého rozdílového zesilovače 17 je derivován derivačním obvodem 118 a výstupní signál derivačního obvodu 118 je vyhodnocován prvním komparátorem 119. V čase průchodu výstupního signálu derivačního obvodu 118 nulovou úrovní generuje první komparátor 119 synchronizační impuls, odpovídající maximu průběhu výstupního signálu druhého rozdílového zesilovače 17. Synchronizační impuls je veden do generátoru 120 řízení, kde startuje čítač tohoto generátoru
 20 120 řízení. Následkem toho čítač generátoru 120 řízení začne odpočítávat pulzy z výstupního signálu rozmitaného generátoru 5 a po dobu, než bude odpočítán jejich předem zvolený dostatečně vysoký počet, například 128, generuje generátor 120 řízení výstupní hradlovací impuls. S malým zpožděním po ukončení výstupního hradlovacího impulsu generuje generátor 120 řízení krátké impulzy pro zápis stavu a nulování hlavního čítače 123, načež se generátor 120 řízení
 25 zastaví a zůstane v tomto stavu až do příchodu dalšího synchronizačního impulsu z prvního komparátoru 119. Výstupní hradlovací impuls z generátoru 120 řízení je veden na hradlo 121 čítače, které otevírá a způsobuje tak průchod hodinových pulzů volitelné frekvence z generátoru 122 hodinového signálu na hodinový vstup hlavního čítače 123. Po ukončení hradlovacího impulsu se hlavní čítač 123 zastaví, přičemž jeho stav je číslo úměrné periodě signálu rozmitaného
 30 generátoru 5 při frekvenci při které nastalo maximum výstupního signálu druhého rozdílového zesilovače 17. Zapisovacím impulzem je stav hlavního čítače 123 přepsán do paměťového registru 124 a nulovacím impulzem je hlavní čítač 123 nastaven do výchozího nulového stavu. Při vhodné volbě frekvence generátoru 122 hodinového signálu číslo uložené v paměťovém registru 124 odpovídá tloušťce měřené vrstvy vyjádřené v určitých jednotkách. Výstupní signál paměťo-
 35 věho registru je veden na datový vstup zobrazovací jednotky 125, kde je číslo tomuto signálu odpovídající, pokud bylo měření platné, zobrazováno.

Platnost měření je kontrolována vzorkovacím zesilovačem 126, druhým komparátorem 127 a třetím komparátorem 128. Na analogový vstup vzorkovacího zesilovače 126 je přiváděno vý-
 40 stupní napětí z druhého rozdílového zesilovače 17 a vzorkování a zápis do analogové paměti vzorkovacího zesilovače 126 jsou synchronizovány synchronizačním impulzem, který je do vzorkovacího zesilovače 126 přiváděn z výstupu prvního komparátoru 119. Tímto způsobem jsou do analogové paměti vzorkovacího zesilovače 126 zapisovány hodnoty výstupního signálu druhého rozdílového zesilovače 17 odpovídající maximálním hodnotám tohoto signálu. Výstupní
 45 signál vzorkovacího zesilovače 126 je veden na signálové vstupy druhého komparátoru 127 a třetího komparátoru 128, na jejichž referenční vstupy jsou přiváděny referenční signály z prvního generátoru referenčních úrovní 129 a z druhého generátoru referenčních úrovní 130. Výstupní signály druhého komparátoru 127 a třetího komparátoru 128 jsou vedeny na hradlo 131 negovaného logického součtu, kde jsou vyhodnocovány tak, že výstupní signál hradla 131 negovaného logického součtu, označující platnost měření je generován tehdy, když úroveň výstupního signálu
 50 vzorkovacího zesilovače 126 je mezi referenčními úrovněmi z prvního generátoru referenčních úrovní 129 a z druhého generátoru referenčních úrovní 130. Výstupní signál hradla 131 negovaného logického součtu je veden na aktivační vstup zobrazovací jednotky 125, kde způsobuje zobrazení jejich vstupních dat.

Při realizaci úpravy umožňující dosažení vyšší přesnosti měření je mezi paměťový registr 124 a zobrazovací jednotku 125 zařazen blok EPROM. Vstupní signál z paměťového registru 124 určuje v EPROM adresy, na kterých jsou zapsána čísla vyjadřující korigované hodnoty tloušťky měřené vrstvy, která jsou zobrazována zobrazovací jednotkou 125.

- 5 Číslíkový signál reprezentující tloušťku vrstvy je odebírán paralelně z datového vstupu zobrazovací jednotky 125, signál udávající platnost dat je odebírán z výstupu hradla 131 negovaného logického součtu.

Průmyslová využitelnost

- 10 Zařízení pro měření odporu vodivých vrstev podle předkládaného řešení je využitelné ve všech oblastech, kde se používají vodivé vrstvy, například v mikroelektronice při výrobě integrovaných obvodů, při výrobě elektronických součástek a při všech technologických procesech, kde jsou nanášeny tenké kovové vrstvy.

N Á R O K Y N A O C H R A N U

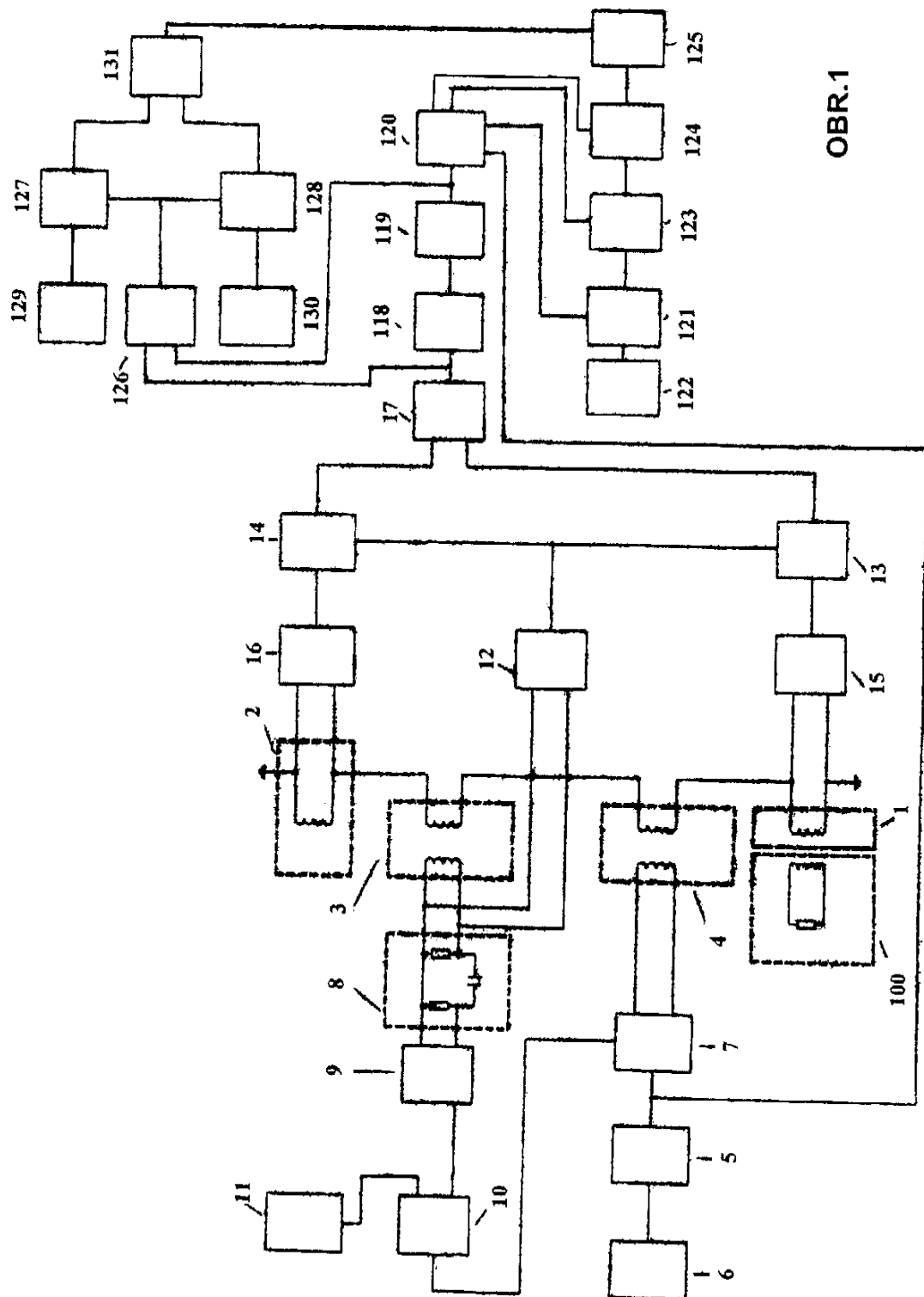
1. Zařízení pro měření odporu vodivých vrstev sestávající ze snímacího obvodu a z vyhodnocovacího obvodu, kde snímací obvod je tvořen měřicí cívkou (1) pro vložení měřeného vzorku (100), která je svým jedním koncem uzemněná a druhým koncem je spojena do série přes sekundární vinutí budicího transformátoru (4) a přes primární vinutí měřicího transformátoru (3) s jedním koncem referenční cívkou (2), která je shodná s měřicí cívkou (1) a jejíž druhý konec je uzemněn a kde primární vinutí budicího transformátoru (4) je připojeno na výstup řízeného zesilovače (7), jehož vstup je připojen přes rozmlítaný generátor (5), který má řídicí vstup propojen s výstupem generátoru (6) řídicího signálu a kde na řídicí vstup řízeného zesilovače (7) je připojen výstup prvního rozdílového zesilovače (10), na jehož neinvertující vstup je připojen výstup zdroje (11) referenčního napětí a na jehož invertující vstup je připojen výstup amplitudového detektoru (9), jehož vstup je připojen na výstup kmítočtově závislého členu (8) připojeného na sekundární vinutí měřicího transformátoru (3), z něhož je zároveň vyveden výstup tohoto snímacího obvodu k vyhodnocovacímu obvodu, který je pro měření na nepříliš vysokých frekvencích tvořen na vstupu generátorem (12) synchronizačního signálu, jehož výstup je spojen jednak s řídicím vstupem prvního širokopásmového synchronního detektoru (13) a jednak s řídicím vstupem druhého širokopásmového synchronního detektoru (14), kde vstup prvního širokopásmového synchronního detektoru (13) je připojen přes první lineární zesilovač (15) paralelně k měřicí cívkou (1) a vstup druhého širokopásmového synchronního detektoru (14) je propojen přes s prvním lineárním zesilovačem (15) shodný druhý lineární zesilovač (16) paralelně k referenční cívkou (2) a dále je výstup prvního širokopásmového synchronního detektoru (13) připojen na neinvertující vstup druhého rozdílového zesilovače (17), na jehož invertující vstup je připojen výstup druhého širokopásmového synchronního detektoru (14), **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že výstup druhého rozdílového zesilovače (17) je propojen s analogovým vstupem vzorkovacího zesilovače (126) a s derivačním obvodem (118), jehož výstup je spojen se vstupem prvního komparátoru (119) majícího výstup spojen s klíčovacím vstupem vzorkovacího zesilovače (126) a se startovacím vstupem generátoru (120) řízení, kde frekvenční vstup generátoru (120) řízení je propojen s výstupem rozmlítaného generátoru (5), výstup hradlovacího impulsu generátoru (120) řízení je spojen s řídicím vstupem hradla (121) čítače, výstup zapisovacího impulsu je spojen se vstupem paměťového registru (124) a výstup nulovacího impulsu je spojen s nulovacím vstupem hlavního čítače (123), přičemž signálový vstup hradla (121) čítače je spojen s výstupem generátoru (122) hodinového signálu, výstup hradla (121) čítače je propojen s hodinovým vstupem hlavního čítače (123), jehož datový výstup je propojen přes paměťový registr (124) s datovým vstupem zobrazovací jednotky (125), a kde je dále výstup vzorkovacího zesilovače (126) spojen jednak se vstupem druhého komparátoru (127), jehož referenční vstup je spojen s výstupem prvního generátoru referenční úrovně (129) a jednak se vstupem třetího komparátoru (128), jehož referenční vstup je propojen s výstupem druhého generátoru referenční úrovně (130) a výstup

druhého komparátoru (127) a třetího komparátoru (128) jsou spojeny se vstupy hradla (131) negovaného logického součtu, jehož výstup je spojen s aktivacním vstupem zobrazovací jednotky (125).

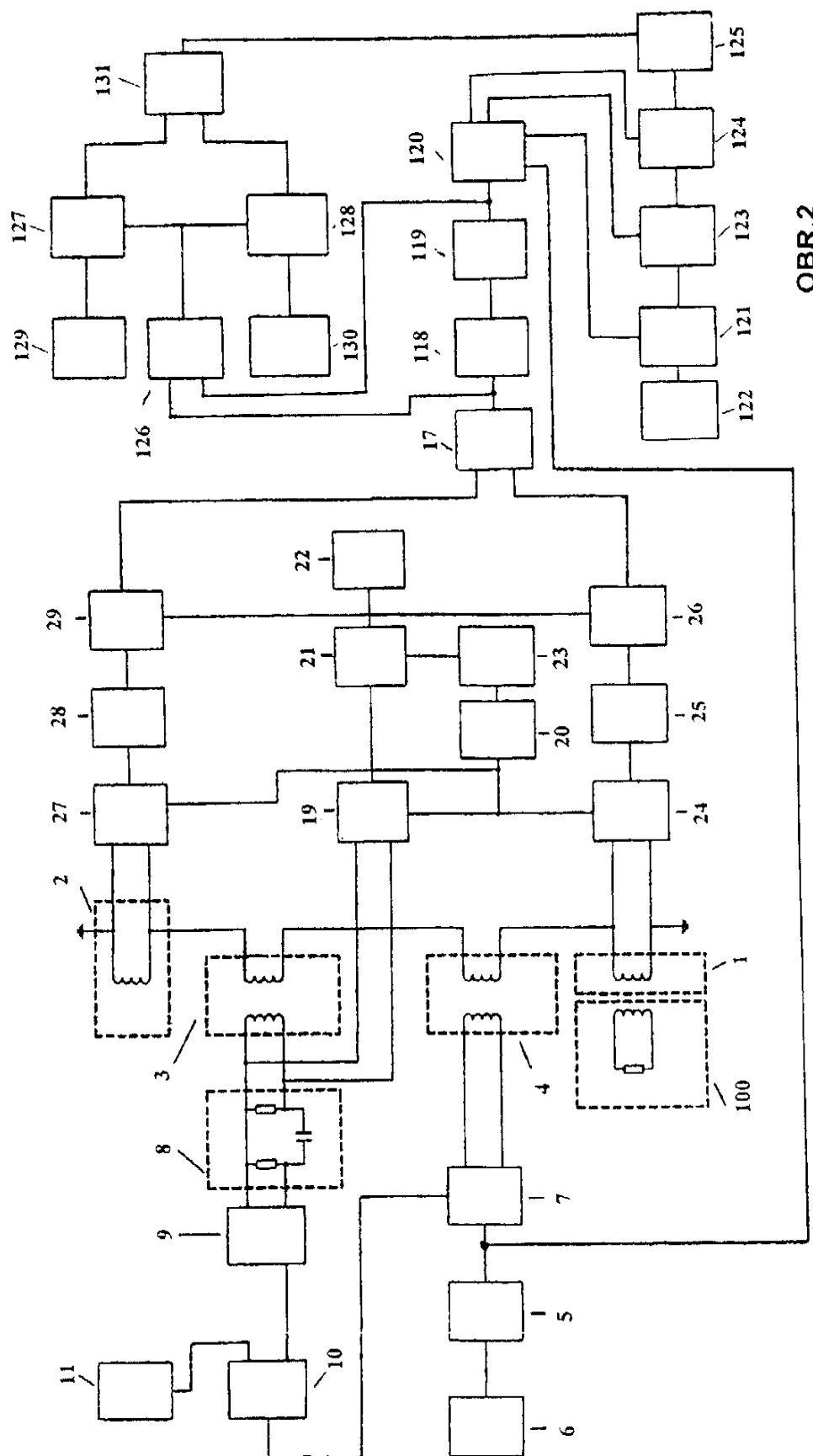
2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že mezi paměťový registr (124) a zobrazovací jednotku (125) je zařazen blok EPROM.

3. Zařízení pro měření odporu vodivých vrstev sestávající ze snímacího obvodu a z vyhodnocovacího obvodu, kde snímací obvod je tvořen měřicí cívkou (1) pro vložení měřeného vzorku (100), která je svým jedním koncem uzemněná a druhým koncem je spojena do série přes sekundární vinutí budicího transformátoru (4) a přes primární vinutí měřicího transformátoru (3) s jedním koncem referenční cívky (2), která je shodná s měřicí cívkou (1) a jejíž druhý konec je uzemněn a kde primární vinutí budicího transformátoru (4) je připojeno na výstup řízeného zesilovače (7), jehož vstup je připojen přes rozmlítaný generátor (5) který má řídicí vstup propojen s výstupem generátoru (6) řídicího signálu a kde na řídicí vstup řízeného zesilovače (7) je připojen výstup prvního rozdílového zesilovače (10), na jehož neinvertující vstup je připojen výstup zdroje (11) referenčního napětí a na jehož invertující vstup je připojen výstup amplitudového detektoru (9), jehož vstup je připojen na výstup kmitočtově závislého členu (8) připojeného na sekundární vinutí měřicího transformátoru (3), z něhož je zároveň vyveden výstup tohoto snímacího a porovnávacího obvodu k vyhodnocovacímu obvodu, který je pro měření na velmi vysokých frekvencích nebo pro měření v širokém frekvenčním rozsahu tvořen na vstupu prvním směšovačem (19), na jehož první vstup je připojen signál ze sekundárního vinutí měřicího transformátoru (3) a na jehož druhý vstup je připojen výstup řízeného oscilátoru (20) a jehož výstup je spojen s jedním vstupem fázového detektoru (21), jehož druhý vstup je propojen s výstupem referenčního oscilátoru (22) a jehož výstup je přes filtr (23) a řízený oscilátor (20) propojen jednak s oscilátorovým vstupem druhého směšovače (24) připojeného svým signálovým vstupem paralelně k měřicí cívkě (1) a svým výstupem spojeného přes první selektivní zesilovač (25) a přes první synchronní detektor (26) s neinvertujícím vstupem druhého rozdílového zesilovače (17) a jednak s oscilátorovým vstupem třetího směšovače (27) připojeného svým signálovým vstupem paralelně k referenční cívkě (2) a výstupem přes druhý selektivní zesilovač (28) a druhý synchronní detektor (29) s invertujícím vstupem druhého rozdílového zesilovače (17), přičemž řídicí vstupy prvního a druhého synchronního detektoru (26, 29) jsou spojeny s výstupem referenčního oscilátoru (22), **vyznačující se tím**, že výstup druhého rozdílového zesilovače (17) je propojen s analogovým vstupem vzorkovacího zesilovače (126) a s derivačním obvodem (118), jehož výstup je spojen se vstupem prvního komparátoru (119) majícího výstup spojen s klíčovacím vstupem vzorkovacího zesilovače (126) a se startovacím vstupem generátoru (120) řízení, kde frekvenční vstup generátoru (120) řízení je propojen s výstupem rozmlítaného generátoru (5), výstup hradlovacího impulsu generátoru (120) řízení je spojen s řídicím vstupem hradla (121) čítače, výstup zapisovacího impulsu je spojen se vstupem paměťového registru (124) a výstup nulovacího impulsu je spojen s nulovacím vstupem hlavního čítače (123), přičemž signálový vstup hradla (121) čítače je spojen s výstupem generátoru (122) hodinového signálu, výstup hradla (121) čítače je propojen s hodinovým vstupem hlavního čítače (123), jehož datový výstup je propojen přes paměťový registr (124) s datovým vstupem zobrazovací jednotky (125), a kde je dále výstup vzorkovacího zesilovače (126) spojen jednak se vstupem druhého komparátoru (127), jehož referenční vstup je spojen s výstupem prvního generátoru referenční úrovně (129) a jednak se vstupem třetího komparátoru (128), jehož referenční vstup je propojen s výstupem druhého generátoru referenční úrovně (130) a výstup druhého komparátoru (127) a třetího komparátoru (128) jsou spojeny se vstupy hradla (131) negovaného logického součtu, jehož výstup je spojen s aktivacním vstupem zobrazovací jednotky (125).

4. Zařízení podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že mezi paměťový registr (124) a zobrazovací jednotku (125) je zařazen blok EPROM.



OBR.1



OBR.2

Konec dokumentu