

FEDERÁLNÍ ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

270 000

(11)

(13) B2

(51) Int. Cl.⁴

G 01 N 33/24

(21) PV 4552-88.X

(22) Přihlášeno 28 06 88

(30) Právo přednosti od 03 07 87 (P 266617)
03 07 87 (P 266616)
28 04 88 PL (P 272128)

(40) Zveřejněno 12 09 89

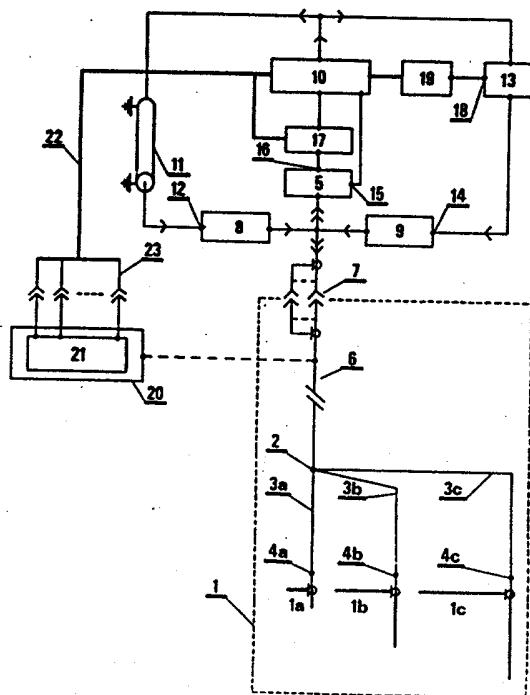
(45) Vydáno 19 02 91

(72) Autor vynálezu MALICKI MAREK dr.,
SKIERUCHA WOJCIECH ing., LUBLIN (PL)

(73) Majitel patentu POLSKA AKADEMIA NAUK, INSTYTUT AGROFIZYKI,
LUBLIN (PL)

(54) Reflektometrický měřič vlhkosti pro kapilárně porézní materiály, zejména pro zeminu

(57) Sonda měřicího zařízení napájená je-hlovitým elektrickým impulsem sestává ze soustavy vlnovodů zapojených paralelně do rozbočovacího uzlu s mikroprocesorovým regulátorem elektronických sestav měřicího zařízení. Vlnovody sondy měřiče jsou instalovány ve zvolených vrstvách studovaného materiálu. Přímé měření množství je sledem časových úseků oddělujících následné odrazy elektromagnetické vlny šířící se v sondě měřiče od dané nespojitelnosti impedance sondy měřiče. Na tomto základě se vypočítává rychlost šíření elektromagnetické vlny ve zvolené vrstvě média, odtud se vypočítává dielektrická konstanta média a konečně obsah vlhkosti v médiu, na němž záleží dielektrická konstanta média. Měřicí zařízení může být využíváno buď pro měření, nebo jako prvek řídicího systému pro všechny kapilárně porézní média, do nichž může být sonda vložena, jako jsou: zemina, zemědělské výrobky, například zrna, chmelové šišky, tabák, seno, polotovary a finální výrobky potravinářského průmyslu, jako je mouka a pekařské výrobky, dřevo, sypané písky, podlahy, základy budov apod.



Vynález se týká reflektometrického měřiče vlhkosti pro kapilárně porézní materiály, zvláště pro zeminu, který měří volumetrický obsah vody, to jest obsah vody v krychlovém centimetru materiálu, na základě vztahu mezi dielektrickou konstantou materiálu a jeho vlhkostí.

Jsou známy takové elektrokapacitní typy měřičů vlhkosti pro kapilárně porézní materiály, založené na vztahu mezi dielektrickou konstantou materiálu a jeho vlhkostí, jejichž aplikace umožňují výpočet vlhkosti na základě relativních změn kapacity kondenzátorové sondy, poté, co byla naplněna testovým materiálem. Poněvadž dielektrická konstanta čisté vody v pokojové teplotě je 81 a poněvadž dielektrická konstanta pevných látek, zvláště zeminy, nepřesahuje 5, proto každá variace ve vlhkosti materiálu je doprovázena značnou změnou v jeho výsledné dielektrické konstantě. Technický aspekt měření vlhkosti odvozený od dielektrické konstanty kapilárně porézního materiálu, zvláště zeminy, se takto redukuje na určení dielektrické konstanty materiálu.

Základní nevýhodou elektrokapacitních měřičů je podstatný vliv elektrochemické polarizace na vztah mezi elektrickou kapacitou sondy a vlhkostí testovaného materiálu, zvláště zeminy.

Tato polarizace způsobuje, že obsah solí v materiálu, zvláště v zemině, její teplota, chemické vlastnosti svlhoucího roztoku, jako jsou jeho kyselost a kompozice, stejně jako stav elektrod, jako jsou nečistoty na jejich površích, mechanické pnutí, značně ovlivňují výsledky. Použití vysokofrekvenčního napětí u proudu napájecího elektrodu vede ke snížení vlivu polarizace, na druhé straně však se zvyšující se kmitočtem se současně zvyšují technické obtíže, vyplývající z nárůstu parazitního vlivu rozptylové indukčnosti a kapacity sondy. Proto je střídavé napětí přiváděné pro vybuzení elektrokapacitní sondy ve většině případů omezeno do 0,1 až 100 MHz kmitočtového rozsahu, což nezajišťuje, aby měření bylo zcela zbaveno vlivu elektrochemické polarizace. Odtud aplikace elektrokapacitních měřičů vlhkosti, zvláště pro zeminu vyžaduje častou kalibraci měřiče, individuální pro každou sondu, pro každý typ zeminy, stejně jako pro každé oddělené umístění sondy v profilu zeminy.

Existuje i jiná metoda určení dielektrických vlastností materiálu, kdy dielektrická konstanta je odvozena z měření rychlosti šíření elektromagnetické vlny v testovaném materiálu. Tato metoda, poněvadž dává výsledky zbavené chybami způsobené elektrochemickou polarizací, je vhodnější pro aplikaci pro vlhké kapilárně porézní materiály, zvláště pro zeminu. Jedna z těchto metod je reflektometrická metoda.

Reflektometrická metoda určení dielektrické konstanty je založena na měření rychlosti šíření elektromagnetické vlny v materiálu v závislosti na jeho dielektrické konstantě. Příslušný vztah pro nemagnetické materiály, které mají nízké dielektrické ztráty, může být zjednodušen na rovnici

$$u = \frac{c}{\sqrt{k}}$$

kde u je rychlost šíření elektromagnetické vlny v materiálu, c je rychlost šíření elektromagnetické vlny, jako je světelná vlna, ve vakuu a k je relativní dielektrická konstanta materiálu.

Část vlnovodu je vložena do zeminy pro měření její vlhkosti. Vlnovod může být jakéhokoliv typu a tvaru. Měl by mít vzduch jako dielektrikum a může být na svém konci otevřen nebo zkratován. Vstup vlnovodu je připojen k impulsnímu generátoru přenosovým vedením, jako je koaxiální nebo plochý vyvážený kabel, o kterém bude dále řeč jako o napájecí. Napěťový impuls zavedený z generátoru k napájecí způsobuje, že se v napájecí vytvoří elektromagnetická vlna. Tato vlna se šíří podél napájecí směrem k vlnovodu vloženému do zeminy, dosáhne jeho vstupu a pokračuje v šíření v zemině ke konci vlnovodu a částečně vyžáří svou energii do zeminy. Na styku napájecí a vlnovodu je nespojitost v impedanci,

poněvadž impedance napáječe se liší od impedance vlnovodu. To způsobuje částečný odraz energie impulsu, která se vrací směrem k impulsnímu generátoru. Zbývající energie impulsu se šíří v zemině, opět se odráží od konce vlnovodu a vrací se stejně tak k impulsnímu generátoru. Měřením času, který odděluje tyto odrazy a zohledněním délky vlnovodu je možné odvodit rychlost šíření vln v materiálu, to jest v zemině, a pak podle zmíněného vzorce je možno vypočítat dielektrickou konstantu a konečně této dielektrické konstantě odpovídající vlhkost zeminy.

Je třeba zdůraznit, že jednotlivé měření vlhkosti zeminy, to jest měření týkající se jednotlivé vrstvy zeminy, jejíž tloušťka je určena délkou vlnovodu, je obecně neuzitečná. Měření vlhkosti zeminy jsou ve většině případů potřebná pro určení distribuce obsahu vody v půdním profilu. Vlhkostní profil se získá určením vertikální distribuce vody v půdě na základě kvazisimultánního měření vlhkosti půdy v různých zvolených hloubkách od povrchu půdy směrem dolů k podloží, avšak ne hlouběji než 1,5 m.

Je znám kabelový tester pro reflektometrická měření vlhkosti, zvláště pro měření vlhkosti půdy, pracující s obdélníkovým impulsem, vyznačujícím se rychlou změnou napětí od 0 do své maximální hodnoty, který má dobu náběhu 145 psek. Tento tester je navržen pro chyby v umístění přenosových vedení, stejně jako pro určení typu chyby impedance, to jest přerušování, svod s impedancí s převládající aktivní nebo pasivní složkou a podobně.

Dále je znám i jiný tester, navržený výlučně pro měření vlhkosti půdy.

Skutečně použitá sonda používaná v kombinaci s oběma známými druhy testerů pro měření vlhkosti kapilárně porézních materiálů je vytvořena z části napáječe ukončeného vlnovodem s otevřeným koncem, který sestává ze dvou paralelních kovových tyčí o kruhovém průřezu a který je vložen do půdního profilu. Použitím takové sondy je možné provádět měření týkající se jednotlivé vrstvy půdy. Jsou známy pokusy o měření vlhkosti v několika vrstvách půdy současně. Přitom se používá jediná sonda, vyrobená vlnovodem podobným tomu, který zde byl popsán, přičemž tato sonda je sestavena z tyček, jejichž průměr se skokově mění v sekcích, kde každá sekce, dále nazývaná sedlo, má délku několika centimetrů. Podél vlnovodu je několik sedel oddělených určitou vzdáleností, která je stejná pro obě tyčky. Vzhledem k nespojitosti impedance na sedlech impulsy energie se částečně odrážejí od každého z nich, čímž jsou rozlišeny následné vrstvy půdy, kterou se elektromagnetické vlny šíří. Měření časových úseků mezi následnými odrazy umožňuje určit profil vlhkosti půdy podle popsaného postupu.

Nevýhoda kabelového testeru v jeho aplikacích pro měření vlhkosti kapilárně porézních materiálů, zvláště zeminy, je skokový tvar pracovního impulsu, stejně jako způsob, kterým je monitorována odezva sondy na tento impuls. Odezva sondy na tento impuls je snímána ze stínítka synchroskopu či vzorkovacího osciloskopu nebo ze zapisovače x-y, kterým je tento tester vybaven, což jest obtížné interpretovat a může vést ke značným chybám. Fakt, že přístroj nebyl původně zamýšlen pro měření vlhkosti, stejně jako jeho značná spotřeba elektrické energie ho činí nevhodným pro aplikaci bateriových, automaticky data zaznamenávajících systémů.

Nevýhodou druhého známého reflektometrického měřiče vlhkosti však je, že měřič není vzhledem ke svému ručnímu ovládání aplikovatelný pro automatické řízení irigačních systémů, stejně jako pro záznam vlhkosti půdy. Uživatel musí přepínat sondy následnými ručními operacemi, které sestávají z rozpojení jedné a připojení druhé sondy ke vstupu přístroje, přičemž pokaždé je třeba zapsat jednotlivou délku daného zkušebního vlnovodu do přístroje.

Jsou známy pokusy na přepínání sond za použití mikrovlnných přepínačů, majících impedanci přizpůsobenou impedanci napáječe, což zvyšuje cenu systému na měření vlhkosti a komplikuje jeho instalaci. V některých případech bývá k dispozici speciální přepínací krabice. Pro sondy typu vlnovodu nejsou nabízeny žádné přepínače.

Nevýhoda sondy sestavené ze sedel spočívá v relativně velké energetické ztrátě impulsů na sedlech, což v mnoha případech způsobuje, že impuls odražený z hlubší části vlnovodu není snímátný. Jinou nevýhodou je velmi malá mechanická pevnost sondy.

Cílem vynálezu bylo zkonstruovat měřič vlhkosti pro kapilárně porézní média, který je schopný pracovat automaticky v různých uživatelem programovatelných režimech, zvláště v režimu automatického řízení irigačních systémů, stejně jako v režimu registrace dynamiky vlhkosti půdy, kde měření vlhkosti půdy by bylo prováděno v mnoha zvolených hloubkách půdního profilu bez nutnosti přepínání jednotlivých sond instalovaných v těchto hloubkách, přičemž v průběhu každého měření by kompenzace driftu měřiče, stejně jako zápis parametrů skutečně aktivní sondy byly prováděny automaticky. Účelu tohoto vynálezu bylo dosaženo tak, jak je popsáno níže.

Reflektometrický měřič vlhkosti podle vynálezu zahrnuje sondu sestavenou z n vlnovodů, kde n je 1 až N . Tyto vlnovody mohou být jakéhokoli druhu a tvaru a měly by mít jako dielektrikum vzduch. Vlnovody mohou být o stejné nebo odlišné délce a jejich konce mohou být otevřené nebo zkratované. Vlnovody jsou paralelně připojeny k rozbočovacímu uzlu přes sekce přenosových vedení, které tvoří napaječe. Každý jednotlivý napájecí systém vlnovodu je připojen vstupním konektorem k vzorkovací hlavě měřiče sekcí společného napaječe. Každý z napaječů připojujících jednotlivé vlnovody k rozbočovacímu uzlu je opatřen časovou značkou, vytvořenou místní skokovou nespojitostí impedance napaječe. Časová značka, vložená do napaječe, je tedy účelně vložená porucha jeho vlastností.

Generátor jehlovitých impulsů a generátor zpožděných jehlovitých impulsů jsou připojeny ke vstupnímu konektoru a ke vzorkovací hlavě. Jeden z výstupů regulátoru je vhodně připojen ke vstupu generátoru jehlovitých impulsů a pomocí nastavitelné zpožďovací jednotky ke vstupu generátoru zpožděných jehlovitých impulsů. Další výstup regulátoru je přiveden k nulovacímu vstupu vzorkovací hlavy. Výstup vzorkovací hlavy je pak přiveden ke vstupu zařízení pro snímání napětí.

Jako tento regulátor je použita typická mikroprocesorem řízená řídicí jednotka. Sestává z mikroprocesorového regulačního číselu, programovatelné permanentní paměti, paměti s libovolným výběrem, zobrazovače a klávesnice pro programování zařízení v různých režimech činnosti jako jsou režim automatického záznamu vlhkosti, režim přenosu dat mezi měřičem a periferními zařízeními, jako je magnetofon, diskový pohon a počítač, nebo režim automatického řízení irigačního systému. Mikroprocesorem řízená řídicí jednotka neboli regulátor je určen pro koordinaci vzorkovací hlavy a interakce obou generátorů jehlovitých impulsů podle programu uloženého v programovatelné permanentní paměti a při práci v režimu záznamu vlhkosti pro ukládání hodnoty změřené vlhkosti do této permanentní paměti a přiřazení příslušné hloubky, stejně jako dne a hodiny každé hodnotě.

Spouštěcí vstup generátoru jehlovitých impulsů je spojen s regulátorem úsekem zpožďovacího vedení, zatímco spouštěcí vstup generátoru zpožděných jehlových impulsů je připojen k regulátoru napěťově řízenou zpožďovací jednotkou. Zpoždění řídicí vstup zpožďovací jednotky je spojen s regulátorem přes číselnicově analogový převodník. Výstup vzorkovací hlavy je připojen k regulátoru přístrojem pro snímání napětí, vytvářejícím analogově číselnicový převodník.

K sondě je pevně připojen vícekolíkový terminál, a to zástrčka nebo zásuvka, který obsahuje integrovaný obvod programovatelné permanentní paměti typu PROM, EPROM, EEPROM nebo podobně. Jeho kolíky jsou elektricky připojeny ke kolíkům terminálu. Kolíky terminálu jsou připojeny ke sběrnici regulátoru dalším terminálem, a to zástrčkou nebo zásuvkou, který je komplementární s mnohakolíkovým terminálem.

Vlnovody, které vytvářejí sondu, mohou mít stejnou délku nebo odlišné délky. Časové úseky, v jejichž průběhu se objevují odrazy vztažené k danému napaječi - vlnovodu, které budou dále nazývány časová okénka, se mohou vzájemně překrývat. Proto délka napaječů připojujících dané vlnovody k rozbočovacímu uzlu, se liší, aby se zajistilo vhodné časové

oddělení časových okének, zavedené zbytkovými zpožděními napáječů. Tyto délky jsou určeny dobami šíření impulsů mezi rozbočovací uzlem a časovými značkami, což je vyjádřeno vztahy:

$$t_{(L_{n+1})} \geq t_{(L_n)} + t_d + 18 \frac{l_n}{c}$$

$$a \quad t_{(L_N)} + t_d + 18 \frac{l_N}{c} \leq 2t_{(L_1)}$$

kde $t_{(L_{n+1})}$ je čas, v průběhu něhož impuls překoná dvojnásobnou vzdálenost od rozbočovacího uzlu k časové značce v napáječi, do do délky následujícím,

$t_{(L_n)}$ je tentýž čas pro co do délky předcházející napáječ,

$L_{(N)}$ je čas, v jehož průběhu impuls překoná dvojnásobnou vzdálenost mezi rozbočovacím uzlem a časovou značkou v posledním napáječi v délkovém sledu,

$t_{(L_1)}$ je podobný čas pro první napáječ v délkovém sledu,

l_n je délka předcházejícího vlnovodu v délkovém sledu,

l_N je délka posledního vlnovodu v délkovém sledu,

t_d je mrtvá nebo rovná ($t_{in} - t_1$), kde t_{in} je okamžik, v němž je impuls odražen od styku napáječe a vlnovodu a

t_1 je okamžik, v němž je impuls odražen od časové značky,

c je rychlost světla ve vakuu a

$18 \frac{l_n}{c}$ je čas, v jehož průběhu impuls překoná dvojnásobnou délku napáječe l_n , když je zcela ponořen ve vodě.

Pokud se nezávisle určí nejkratší délka napáječe a vypočte se příslušný čas šíření impulsů

$$t_{(L_1)} = \frac{2L_1}{c} \sqrt{K}$$

kde K = přibližně 2,5; je relativně dielektrická konstanta izolační hmoty napáječe, lze odvodit délku druhého napáječe v délkovém sledu podle vzorce, určujícího $t_{(L_{n+1})}$.

Analogicky, je-li známa délka druhého napáječe, je možné odvodit délku třetího atd. Vzorec pro určení $t_{(L_N)}$ zavádí omezení vycházející z existence mnohonásobných odrazů v systému napáječ-vlnovod. První odraz druhého řádu, mající původ v nejkratším systému, se nesmí objevit dříve, než poslední odraz prvního řádu.

Reflektometrický měřič vlhkosti podle vynálezu nemá nevýhody, kterými se vyznačuje kabelový tester a které mají svůj původ v použití stupňovitého impulsu a v monitorování odezvy sondy stínítka obrazovky osciloskopu nebo záznamového zařízení X-Y. Měřič vlhkosti podle vynálezu pracuje s jehlovitými impulsy podobnými $\sin^2$ a monitoruje odezvu sondy použitím typického mikroprocesorem řízeného regulátoru, který řídí spolupráci podsestav měřiče, a současně zpracovává data včetně ukládání výsledků do paměti. Takové řešení konstrukce měřiče umožňuje použít jej v různých uživatelských programovatelných režimech, zvláště v režimu řízení irigačního systému a v režimu automatického zaznamenávání dynamiky vlhkosti, zvláště v půdě.

Vhodné rozlišení délek napáječe umožňuje současné snímání vlhkosti v mnoha vrstvách půdy bez použití elektrických přepínačů. Počet vrstev, které je možno měřit, se rovná počtu vlnovodů, kterými je vybavena sonda. Každá ze zmíněných časových značek je umístěna mezi napáječ ukončující vlnovod a daný rozbočovací uzel. Existence rozbočovacího uzlu představuje rovněž vloženou nespojitost impedance, která vytváří další časovou značku, společnou pro všechny napáječe vytvářející sondu. Sekce jakéhokoliv zvoleného

napaječe, uložená mezi dvěma časovými značkami, vytváří časový standard, poněvadž vlastností vedení, z nichž jsou vytvořeny napaječe, jsou dostatečně stabilní. Tento časový standard se používá v průběhu měření pro autokalibraci měřiče podle vynálezu. Takové řešení činí zbytečnou péči o značný drift ve zpožďovací jednotce, jehož eliminace představuje mnoho obtíží a nákladů.

Pokud sonda obsahuje pouze jeden vlnovod, to jest $n=1$, pak je zde jako druhá časová značka zavedena nespojitost impedancí na místě rozbočovacího uzlu.

Použití programovatelné permanentní paměti typu PROM nebo podobného typu permanentní programovatelné paměti v měřiči podle vynálezu, kde tato paměť je neoddelitelně spojena s každou jednotlivou sondou a zůstává připojena k měřiči v průběhu měření, činí zbytečným ruční zapisování charakteristik dané sondy do řídicího softwaru měřiče každé, kdy se má provádět měření. V případě měřiče podle vynálezu jsou kromě délky použitého vlnovce v programovatelné permanentní paměti uloženy ještě další specifické parametry sondy, jako je časový standard a mrtvá doba, stejně jako parametry specifikující tvar vlnovodu a software dané aplikace. Takové řešení činí měřič podle vynálezu neomezeně pružným a dává uživateli širokou paletu aplikačních polí.

Příkladné provedení měřiče podle vynálezu je znázorněno na výkrese, který ukazuje strukturu měřiče.

Sonda 1 měřiče vytváří soustavu tří vlnovodů 1a, 1b, 1c, z nichž každý je sestaven z dvojice podlouhlých nožových elektrod, které jsou navzájem kolmé. Délky těchto dvojic postupně narůstají pro každý jednotlivý vlnovod 1a, 1b, 1c. V tomto příkladném provedení jsou délky vlnovodů 1a, 1b, 1c postupně: 0,1; 0,25 a 0,50 m. Vlnovody 1a, 1b, 1c jsou vzájemně paralelně spojeny v rozbočovacím uzlu 2 přenosovými vedeními, které jsou vytvořeny jako rozbočené napaječe 3a, 3b, 3c, jejichž specifická impedancie je stejná, ale které mají rozdílnou délku. Ve znázorněném příkladném provedení jsou délky rozbočených napaječů 3a, 3b, 3c postupně 9, 10 a 12 m, přičemž impedancie každého z nich je 50 Ohmů. Každý rozbočený napaječ 3a, 3b, 3c má místní skokovou impedanci nespojitostí vytvořenou časovou značku 4a, 4b, 4c, která je vložena mezi vstup příslušného vlnovodu 1a, 1b, 1c a rozbočovací uzel 2. Rozbočovací uzel 2 je připojen ke vzorkovací hlavě 5 sekci společného napaječe 6, jehož délka v tomto příkladném provedení je 15 m.

Výstupy generátoru 8 jehlovitých impulsů a generátoru 2 zpožděných jehlových impulsů jsou připojeny ke vstupním konektorům 7 a ke vzorkovací hlavě 5. Jeden z výstupů regulátoru 10 je připojen ke spouštěcímu vstupu 12 generátoru 8 jehlových impulsů zpožďovacím vedením 11 a přes nastavitelnou zpožďovací jednotku 13 ke vstupu 14 generátoru 2 zpožděných jehlovitých impulsů. Další výstup regulátoru 10 je spojen s nulovacím vstupem 15 vzorkovací hlavy 5. Výstup 16 této vzorkovací hlavy 5 je připojen k přístroji pro snímání napětí tvořenému analogově číslicovým převodníkem 17.

Spouštěcí vstup 12 generátoru 8 jehlovitých impulsů je spojen s regulátorem 10 úsekem zpožďovacího vedení 11, pro vhodné vyrovnání zbytkového zpoždění zavedeného vedením propojujícím generátor 8 jehlovitých impulsů a generátor 2 zpožděných jehlovitých impulsů s regulátorem 10. Zpožděný řídicí vstup 18 nastavitelné zpožďovací jednotky 13 je připojen k regulátoru 10 číslicově analogovým převodníkem 19. Výstup 16 vzorkovací hlavy 5 je připojen k regulátoru 10 analogově číslicovým převodníkem 17.

K sondě 1 měřiče je pevně připojen první terminál 20, v němž sonda 1 měřiče obsahuje integrovaný obvod 21 programovatelné permanentní paměti typu PROM, EPROM, EEPROM nebo podobného typu s kolíky elektricky připojenými ke kolíkům prvního terminálu 20. Kolíky prvního terminálu 20 jsou připojeny ke sběrnici 22 regulátoru druhým terminálem 23, který je komplementární k prvnímu terminálu 20.

Hodnota, která se měří přímo, je časová perioda, v jejímž průběhu elektromagnetická vlna překoná vzdálenost rovnající se dvojnásobku vzdálenosti od rozbočovacího uzlu 2 rozbočeného napaječe 3a, 3b, 3c k sekci časové značky 4a, 4b, 4c, stejně jako od časové značky

4a, 4b, 4c ke koncové části vlnovodu 1a, 1b, 1c. Na základě těchto měření tedy vypočítá regulátor 10 pod řízením stálého programu korekce pro drift přístroje a pak dielektrickou konstantu materiálu, například půdy a konečně jeho vlhkost.

Impulsy z regulátoru 10 o kmitočtu řádově 1 kHz synchronizují interakci vzorkovací hlavy 5 a generátoru 8, jehlovitých impulsů a generátoru 9 zpožděných jehlovitých impulsů, které vytvářejí jehlovité impulsy s dobami náběhu a týlu impulsu řádově 100 psek. Takové rychlé a úzké impulsy, neboť v průběhu 100 pikosekund světlo ve vakuu uběhne vzdálenost 3,3 cm, nemohou být zpracovány v reálném čase pro nedostatek dostatečně rychlých aktivních elektronických zařízení. Z tohoto důvodu se zde používá dobře známá vzorkovací technika, která se široce používá ve vzorkovacích osciloskopech pro pozorování extrémně rychlých elektrických impulsů. Sestává ze vzorkování a ukládání do paměti testovaných měřicích napěťových vzorků, vzorkovaných v různých okamžicích. Tento průběh se opakuje tolikrát, jak velký je počet vzorků, který má být snímán. Tyto vzorky jsou pak vyhledány v témže pořadí, v jakém byly snímány, avšak s volitelně nižší rychlostí a vytvářejí tímto způsobem průběh jediného impulsu.

Impuls v regulátoru 10 nuluje paměť vzorkovací hlavy 5 a spouští jak generátor 8 jehlovitých impulsů, tak generátor 9 zpožděných jehlovitých impulsů. Spouštěcí činnost generátoru 9 zpožděných jehlovitých impulsů je řízená nastavitelnou zpožďovací jednotkou 11. Oba impulsy napájí sondu 1 měřiče přes vstupní konektor 7 a nožávisle způsobují vytvoření elektromagnetické vlny ve společném napáječi 6, která se šíří směrem ke koncům vlnovodů 1a, 1b, 1c a rozděluje svou energii mezi tyto tři vlnovody 1a, 1b, 1c a rozděluje svou energii mezi tyto tři vlnovody 1a, 1b, 1c a postupuje výše zmíněnou odrazy na nespojitostech impedance sondy.

Jak dopadají, tak odražené impulsy se objevují na vstupu vzorkovací hlavy 5. Vzorkovací hlava 5 je necitlivá na impulsy, jejichž napětí je nižší než určité prahové napětí, které je nastaveno o něco výše, než je napětí přicházejícího impulsu. Jakmile se však jehlovitý impuls a zpožděný jehlovitý impuls navzájem superponují, výsledné napětí překročí prahovou hodnotu a jeho vzorek je přijat. Správným předpětím opatřená Schottkyho dioda, která má dostatečně krátký spínací čas, slouží jako hradlo, které umožňuje nebo neumožňuje přijetí vzorku. Když se hradlo otevře, napětí přijímané vzorkovací hlavou 5 je přímo úměrné příslušnému okamžitému napětí vzorkovaného průběhu.

Impuls z generátoru 9 zpožděných jehlovitých impulsů je fázově posunut či časově posunut nastavitelnou zpožďovací jednotkou 13, jejíž zpoždění je řízeno napětím číslicově analogového převodníku 12 nastaveného regulátorem 10. Zpoždění impulsu je přímo úměrné tomuto napětí.

Měřič podle vynálezu může být použit jako měřicí a/nebo řídicí zařízení ve vědě a inženýrství, všude, kde se má kontrolovat vlhkost materiálu. Může být použito pro jakýkoliv takový kapilárněporézní materiál, který umožňuje zavedení sondy nedestruktivním způsobem. Takové materiály zahrnují zeminu, zemědělské výrobky, jako je obilí, chmelové šišky, tabákové listy, seno nebo výrobky potravinářského průmyslu jako jsou mouka, výrobky pečáren, dřevo, sypké písky, podlahy, základy budov apod.

P R Ě D M Ě T V Y N Á L E Z U

1. Reflektometrický měřič vlhkosti pro kapilárně porézní materiály, zejména pro zeminu, se sondou vlnovodového typu, připojenou ke zdroji impulsního napětí, vyznačující se tím, že obsahuje sondu (1) měřiče, která je sestavena ze soupravy n vlnovodů (1a, 1b, 1c), kde n je 1, 2, ... N, připojených paralelně rozbočenými napáječi (3a, 3b, 3c), k rozbočovacímu uzlu (2) se společným napáječem (6), který je připojen ke vzorkovací hlavě (5) vstupním konektorem (7), kde každý z jednotlivých rozbočených napáječů (3a, 3b,

3c) je opatřen alespoň jednou časovou značkou (4a, 4b, 4c), umístěnou mezi daný vlnovod (1a, 1b, 1c) připojený k tomuto napáječi (3a, 3b, 3c) a rozbočovací uzel (2), přičemž vstupní konektor (7) stejně jako vzorkovací hlava (5) jsou připojeny k výstupu generátoru (8) jehlovitých impulsů a k výstupu generátoru (9) zpožděných jehlovitých impulsů, kde spouštěcí vstup (12) generátoru (8) jehlovitých impulsů je připojen z výstupu regulátoru (10), který je rovněž spojen se vstupem nastavitelné zpožďovací jednotky (13), jejíž výstup je připojen ke vstupu (14) generátoru (9) zpožděných jehlovitých impulsů, zatímco druhý výstup regulátoru (10) je připojen k nulovacímu vstupu (15) vzorkovací hlavy (5), jejíž výstup (16) je připojen k přístroji pro snímání napětí, například analogově číslicovému převodníku (17).

2. Reflektometrický měřič vlhkosti podle bodu 1, vyznačující se tím, že regulátor (10) obsahuje mikroprocesorový regulační člen, kde spouštěcí vstup (12) generátoru (8) jehlovitých impulsů je připojen k regulátoru (10) úsekem zpožďovacího vedení (11), přičemž vstup (18) nastavitelné zpožďovací jednotky (13) je připojen k regulátoru (10) číslicově analogovým převodníkem (19) a vzorkovací hlava (5) je připojena k regulátoru (10) přístrojem pro snímání napětí tvořeným analogově číslicovým převodníkem (17).
3. Reflektometrický měřič vlhkosti podle bodu 1 a 2, vyznačující se tím, že k sondě (1) měřiče je pevně připojen první terminál (20), přičemž sonda (1) měřiče obsahuje integrovaný obvod (21) programovatelné permanentní paměti, který má kolíky elektricky připojené ke kolíkům prvního terminálu (20), které jsou dále připojeny ke sběrnici (22) regulátoru druhým terminálem (23), který je komplementární k prvnímu terminálu (20).
4. Reflektometrický měřič vlhkosti podle bodu 1, vyznačující se tím, že délky úseků rozbočených napáječů (3a, 3b, 3c), které spojují jednotlivé vlnovody (1a, 1b, 1c) s rozbočovacím uzlem (2) jsou určeny dobami trvání šíření impulsů podél dvojité vzdálenosti mezi rozbočovacím uzlem (2) a danou časovou značkou (4a, 4b, 4c) vyjádřenými vztahy:

$$t_{(L_{n+1})} \cong t_{(L_n)} + t_d + 18 \frac{l_n}{c}$$

$$t_{(L_N)} = t_d + 18 \frac{l_N}{c} \leq 2t_{(L_1)}, \text{ kde}$$

- $t_{(L_{n+1})}$ je čas, v jehož průběhu impuls překoná dvojnásobek vzdálenosti od rozbočovacího uzlu (2) k časové značce (4a, 4b, 4c) v oo do délky následujícím rozbočeným napáječi (3a, 3b, 3c),
- $t_{(L_n)}$ je tentýž čas v oo do délky předcházejícím rozbočeným napáječi (3a, 3b, 3c),
- $L_{(N)}$ je čas, v jehož průběhu impuls překoná dvojnásobnou vzdálenost mezi rozbočovacím uzlem (2) a časovou značkou (4a, 4b, 4c) v posledním rozbočeném napáječi (3a, 3b, 3c) délkového sledu,
- $t_{(L_1)}$ je podobný čas pro první rozbočený napáječ (3a, 3b, 3c) v délkovém sledu,
- l_n je délka předcházejícího vlnovodu (1a, 1b, 1c) v délkovém sledu,
- L_N je délka posledního vlnovodu (1a, 1b, 1c) v délkovém sledu,
- t_d je mrtvý čas, v jehož průběhu impuls překoná dvojnásobek vzdálenosti mezi časovou značkou (4a, 4b, 4c) a stykem rozbočeného napáječe (3a, 3b, 3c) s vlnovodem (1a, 1b, 1c) a
- c je rychlost světla ve vakuu.

