

REFLEKTOMETRYCZNY MIERNIK WILGOTNOŚCI GLEBY Z PASYWNYM
REGULATOREM OPÓŹNIENIA IMPULSU STROBUJĄCEGO

M. A. Malicki, J. Kotliński

Instytut Agrofizyki PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-280 Lublin

S t r e s z c z e n i e: W pracy opisano konstrukcję miernika wilgotności gleby z zastosowaniem techniki reflektometrycznej TDR (Time Domain Reflectometry) z pasywną linią opóźniającą fazę impulsu strobulującego. Opóźnienie impulsu jest regulowane mechanicznie. Omawiany układ miernika jest wolny od błędów wywołanych długo- i krótkoterminowym dryftem aktywnych, elektronicznych komponentów aparatu.

S ł o w a k l u c z o w e: wilgotność gleby, TDR, linia opóźniająca.

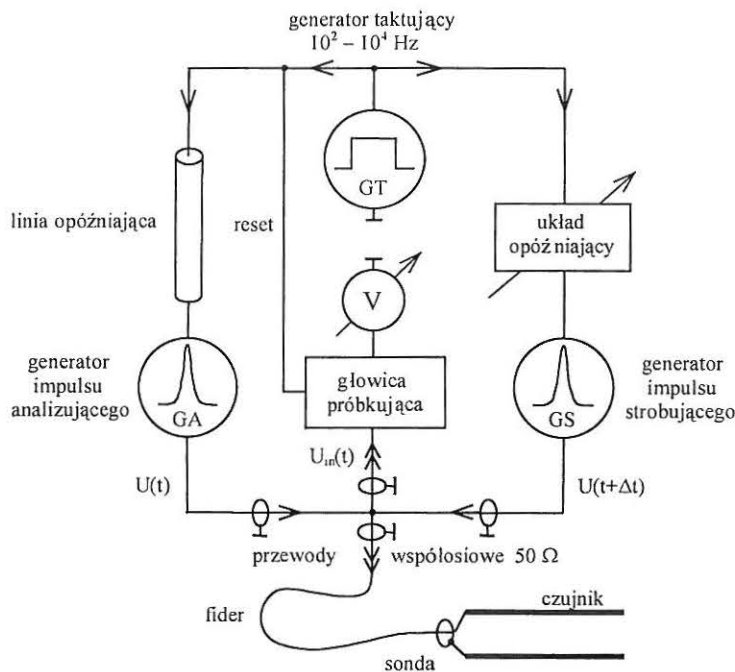
1. WSTĘP

Technika TDR (Time Domain Reflectometry) pomiaru wilgotności gleb i innych materiałów rolniczych, realizowana na podstawie pomiaru prędkości propagacji impulsu elektromagnetycznego (EM) w tych materiałach, sprawdziła się merytorycznie [1, 2, 3, 4], ale nie jest jeszcze rozpowszechniona ze względu na wysoki koszt spowodowany koniecznością rejestracji impulsów o czasie narastania rzędu 10^{-10} s [5].

Podjęto próbę skonstruowania taniej wersji wilgotnościomierza TDR, wychodząc z założenia, że prędkość propagacji impulsu EM w glebie można wyznaczyć metodą porównawczą, z zastosowaniem biernego elementu regulującego fazę impulsu strobulującego, jakim jest linia paskowa.

2. ZASADA DZIAŁANIA REFLEKTOMETRYCZNEGO (TDR) MIERNIKA WILGOTNOŚCI GLEBY Z CZYNNYM ELEMENTEM REGULUJĄCYM FAZĘ IMPULSU STROBUJĄCEGO

Zasadę działania miernika [6] ilustruje rys.1. Impulsy z generatora taktującego, GT, o częstotliwości około 1kHz, synchronizują działanie głowicy próbkującej oraz dwu identycznych generatorów impulsu, analizującego, GA, oraz strobojującego, GS. Generują one impulsy szpilkowe o czasie narastania, jak też szerokości połówkowej, rzędu 100 ps, których przebieg (kształt) jest dla $0 < t < 300$ ps zbliżony do funkcji $\sin^2 t$.



Rys. 1. Zasada działania reflektometrycznego miernika wilgotności gleby wg Malickiego, Skieruchy [6].

Fig. 1. Principle of operation of the TDR soil moisture meter, according to Malicki and Skierucha [6].

Tak krótkotrwałe impulsy elektryczne (w czasie 100 ps światło przebywa w próżni drogę 3 cm) nie mogą być przetwarzane w czasie realnym, ponieważ obecnie nie istnieją jeszcze odpowiednie, dostatecznie szybkie aktywne urządzenia elektroniczne. Z tej przyczyny techniczne rozwiązanie miernika oparto

o zasadę stroboskopu, stosowaną w oscyloskopach próbkujących do obserwacji szybkich periodycznych impulsów elektrycznych. Polega ona na pobieraniu i zapamiętywaniu próbek napięcia badanego przebiegu w różnych jego fazach, przy czym ten sam przebieg jest powtarzany tyle razy, ile ma być pobranych próbek. Próbki te, odtwarzane w tym samym następstwie w jakim zostały pobrane, ale już w odpowiednio dłuższym czasie (rozciągnięte w czasie), odwzorowują przebieg pojedynczego impulsu.

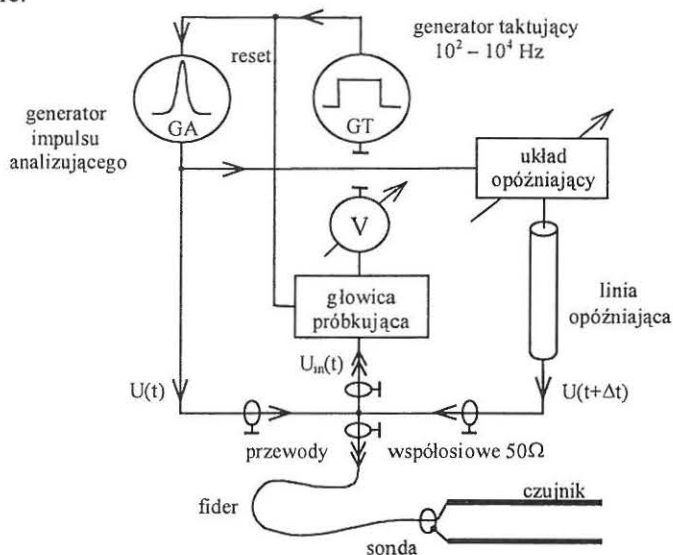
Impuls z generatora taktującego kasuje pamięć głowicy próbkującej i wyzwala obydwie generatory impulsów szpilkowych, przy czym wyzwalenie generatora impulsu strobowego może być, w stosunku do analizującego, w sposób kontrolowany opóźniane przy pomocy układu opóźniającego. Obydwa impulsy napięcia elektrycznego zasilają sondę. Każdy z nich, niezależnie jeden od drugiego, powoduje rozwinięcie się w fiderze impulsu elektromagnetycznego, które to impulsy biegną ku końcowi czujnika (falowodu) i ulegają kolejnym odbiciom, jak wyjaśniono wcześniej.

Zarówno impulsy inicjalne, jak i odbite, występują na wejściu głowicy próbkującej. Głowica ta nie reaguje na napięcia mniejsze od szczytowej wartości napięcia impulsu strobowego. Impuls strobowy (próbkujący) jest, w stosunku do analizującego, stopniowo przesuwany w czasie (w fazie) za pośrednictwem układu opóźniającego. Jego opóźnienie, Δt , jest sterowane napięciem elektrycznym, które może być regulowane ręcznie lub automatycznie [5, 6] przez sterownik mikroprocesorowy. Kiedy impuls strobowy i którekolwiek z odbić impulsu analizującego zbiegają się w czasie (nakładają się na siebie) próbka impulsu analizującego zostaje pobrana, ponieważ wypadkowe napięcie na wejściu głowicy próbkującej przekracza wtedy szczytową wartość impulsu strobowego. Wyjściowe napięcie głowicy próbkującej, równe napięciu tej próbki, jest podtrzymywane na niezmiennym poziomie (pamiętane) aż do kolejnego skasowania, otwierającego nowy cykl próbkowania. Wychylenie wskazówki woltomierza, V , dołączonego do wyjścia tej głowicy, jest proporcjonalne do wartości pobranej próbki i jest największe, gdy maksimum impulsu strobowego zbiega się w czasie z maksimum odbitego impulsu analizującego. Pomiar czasu podróży impulsu analizującego w glebie na drodze równej podwójnej długości czujnika (tzn. czasu $t = t_2 - t_1$ dzielącego momenty odbić impulsu analizującego od początku i od końca czujnika) sprowadza się zatem do odczytania napięć sterujących układem opóźniającym w momentach zgodności fazy impulsu strobowego z fazą odbitego od początku oraz od końca czujnika impulsu analizującego, które to momenty są sygnalizowane przez woltomierz, V , maksymalnym wychyleniem wskazówki. Ponieważ

opóźnienie impulsu strobującego jest proporcjonalne do wartości tego napięcia, poszukiwany czas podróży impulsu wzdłuż prętów czujnika może być odczytywany wprost z odpowiednio wykalibrowanej podziałki ręcznego regulatora napięcia, sterującego opóźnieniem albo przeliczany przez integralny komputer na prędkość propagacji impulsu EM w glebie (albo przenikalność elektryczną gleby), a następnie na jej wilgotność objętościową.

3. ZASADA DZIAŁANIA MIERNIKA WILGOTNOŚCI GLEBY Z PASYWNYM, ELEMENTEM REGULUJĄCYM FAZĘ IMPULSU STROBUJĄCEGO

Zasadę działania miernika ilustruje rys.2. Impulsy z generatora taktującego, GT, synchronizują działanie głowicy próbkującej oraz wyzwalają generator impulsu strobującego, GS, który generuje impuls szpilkowy o czasie narastania, tak jak poprzednim przykładzie, o szerokości połówkowej rzędu 100 ps oraz podobnym kształcie.



Rys. 2. Zasada działania reflektometrycznego miernika wilgotności gleby z pasywnym, mechanicznym układem opóźniania impulsu strobującego.

Fig. 2. Principle of operation of the reflectometric soil moisture meter with the passive delay of the strobe pulse control.

Impuls z generatora taktującego kasuje pamięć głowicy próbkującej i wyzwala generator impulsów szpilkowych. Impuls szpilkowy z generatora jest

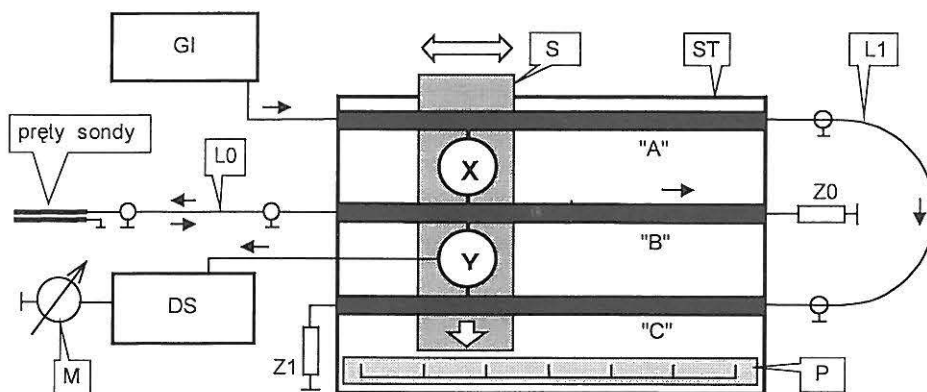
kierowany do sondy i do układu mechanicznego opóźniacza z dodatkową linią opóźniającą stając się, w końcowej fazie, impulsem strobującym. Obydwa impulsy napięcia elektrycznego zasilają sondę. Propagacja impulsów w sondzie i sposób detekcji sygnału odbitego jest taki sam jak w poprzednio opisanym układzie miernika TDR.

Procedura określenia prędkości propagacji impulsu EM (jak też przenikalności elektrycznej gleby lub wilgotności objętościowej gleby), sprowadza się do odczytania wyniku z wykalibrowanej podziałki ręcznego regulatora czasu opóźnienia, sprzężonej z pokrętkiem ręcznie regulowanej linii opóźniającej. Moment dokonania odczytu jest sygnalizowany przez woltomierz, V, maksymalnym wychyleniem wskazówki.

4. KONSTRUKCJA MIERNIKA TDR Z PASYWNYM, MECHANICZNYM ELEMENTEM REGULUJĄCYM FAZĘ IMPULSU STROBUJĄCEGO

Schemat konstrukcji przyrządu pokazany jest na rys.3. Na wspólnym stoliku "ST", umieszczono identyczne odcinki paskowych linii transmisyjnych "A", "B" i "C". Linie te są sprzężone ze sobą za pomocą węzłów "X" i "Y", które umieszczono nieruchomo względem siebie na suwaku "S". Suwak "S" może przesuwać się względem stolika wzdłuż linii "A", "B" i "C", a jego pozycja może być odczytana na przymocowanej do stolika linijki z podziałką "P". Do linii "B" dołączono typową sondę TDR, tzn. kabel "L0" zakończony igłami czujnika. Linie "A" i "C" są połączone ze sobą kablem "L1". Pozostałe końce linii "A", "B" i "C" są dołączone odpowiednio do generatora impulsów: "GI" i do terminatorów: "Z0" i "Z1".

Działanie powyżej opisanego aparatu jest następujące: szpilkowy impuls elektryczny z generatora impulsów "GI" jest wprowadzany do linii transmisyjnej "A". Łącznik "X" suwaka umożliwia przedostanie się części energii impulsu do linii "B", w której następuje rozszczepienie tego impulsu na dwie składowe. Składowa kierująca się w kierunku terminatora "Z0" jest wygaszana, a pozostały fragment impulsu przechodzi do sondy "L0" gdzie po wielokrotnym odbiciu w obszarze prętów czujnika sondy, powraca do linii "B" i jest wygaszany na terminatorze "Z0". W tym samym czasie pozostała część impulsu, która nie przedostała się łącznikiem "X" do linii "B", jest kierowana do linii "L1" oraz linii "C" stolika. Po przejściu linii "C" impuls jest wygaszany na terminatorze "Z1". Impuls szpilkowy, biegnący w linii "C" spełnia rolę impulsu strobującego klucz elektroniczny "Y", pozwalając tym samym pobrać próbkę napięcia z linii "B".



Rys. 3. Schemat ideowy aparatu TDR z pasywnym, mechanicznym regulatorem fazy próbkowania.

Fig. 3. Schematic diagram of the TDR apparatus with the passive, mechanical sampling control.

Próbka napięciowa jest kierowana do układu detektora szczytowego "DS", gdzie wytwarzany jest sygnał elektryczny, stałonapięciowy, kierowany do miernika "M". Wartość wskazań miernika "M" jest proporcjonalna do poziomu napięcia w linii "B" w momencie próbkowania. Zmiana położenia suwaka powoduje zmianę momentu próbkowania, co umożliwia sporządzenie wykresu chwilowych wartości napięcia w linii "B" w funkcji czasu, a tym samym wyznaczenie prędkości impulsu i następnie – wilgotności gleby.

Dołączenie układu potencjometru do suwaka przyrządu pozwala na wyrowadzenie na zewnątrz aparatu sygnału napięciowego, proporcjonalnego do położenia suwaka względem stolika. Łącząc ten sygnał z sygnałem otrzymanym z detektora szczytowego, można uzyskać pełny obraz reflektogramu za pomocą rejestratora X-Y.

5. PODSUMOWANIE

Stosowany miernik [5, 6], pokazany na rys.1, zawiera elektroniczny, aktywny regulator opóźnienia impulsu strobującego, wytwarzanego przez generator GS. Ponieważ elementy aktywne układu elektronicznego pracują z pewną dozą niestabilności, każdy z nich wnosi przyczynek do sumarycznego błędu odczytu. Przyczynki te to: dryft, wynikający z niestabilności długoterminowej parametrów statycznych i dynamicznych elementów układu elektronicznego oraz błąd niestabilności krótkoterminowej, tzw. „jitter”, objawiający się niepowtarzalnością momentu wyzwania impulsów. Jitter jest szczególnie istotnym czynnikiem

ponieważ amplituda związanego z nim błędu jest porównywalna z szerokością połówkową impulsu. W rozwiązaniu z rys.1, jitter jest generowany w czterech miejscach układu: w generatorach GA i GS podczas ich wyzwalania oraz w układzie opóźniającym, podczas jego wyzwalaniu i podczas opóźniania. W układzie z rys.2, jitter jest elementem współbieżnym dla impulsów analizującego i strobojującego, a więc jego przyczynek do całkowitego błędu pomiaru jest zerowy. Ponieważ linie pasywne są elementami o dużej stabilności i liniowości, ich zastosowanie pozwala zminimalizować wielkość błędu pomiarowego układu oraz nieliniowość procesu opóźniania.

6. LITERATURA

1. **Malicki M.A.:** A reflectometric (TDR) meter of moisture content in soils and other capillary-porous materials, Zesz. Probl. Podst. Nauk Roln., z.388, 107-114, 1990.
2. **Malicki M.A.:** Metodyczne zagadnienia monitoringu statusu wody w wybranych materiałach biologicznych. Acta Agrophysica, Nr.19, 1999r.
3. **Malicki M.A., Kotliński J.:** Dielectric determination of moisture of cereals grain using time domain reflectometry. International Agrophysics, Vol. 12, Nr. 3, 209-215, 1998.
4. **Malicki M.A., Kotliński J.:** Dielectric determination of moisture of wood using time domain reflectometry. International Agrophysics, Vol. 12, Nr. 3, 217-220, 1998.
5. **Malicki M.A., Skierucha W.M.:** A manually controlled TDR soil moisture meter operating with 300ps rise-time needle pulse. Irrigation Science, 10, 153-163, 1989.
6. **Malicki M.A., Skierucha W.M.:** Reflektometryczny miernik wilgotności ciał kapilarno-porowatych, zwłaszcza gleby. Patent nr 154440, UP PRL, Warszawa 1987.
7. **Malicki M.A.:** Wpływ fizycznych właściwości gleby na elektryczne parametry układu elektrodygleba w aspekcie pomiaru jej wilgotności i zasolenia, Acta Agrophysica, Lublin 1993r.

A REFLECTOMETRIC METER OF SOIL MOISTURE WITH PASSIVE CONTROLLER OF THE PULSE DELAY

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-280 Lublin

Summary. Principle of the TDR soil moisture meter with passive strobe delay control is described. The strobe delay is adjusted mechanically. The discussed setup is free of long- and short-time drift errors of the meter components.

K e y w o r d s : soil moisture, TDR, delay line.