

SONDA PRĘTOWA TDR Z EFEKTEM STUDNI IMPEDANCJI

J. Kotliński

Instytut Agrofizyki PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-280 Lublin.
e-mail: jotkot@demeter.ipan.lublin.pl

S t r e s z c z e n i e. Specjalnie zaprojektowana sonda pomiarowa aparatu TDR, przeznaczona do pomiaru wilgotności w glebach, pozwala na otrzymanie reflektogramu charakterystycznego dla efektu studni impedancji oraz stwarza możliwość przeprowadzenia procesu automatycznej kalibracji aparatu pomiarowego. W pracy dokonano oszacowania przydatności kilku wybranych układów prętów równoległych do konstrukcji sondy generującej sygnał odbiciowy, charakterystyczny dla efektu studni impedancji. Dokonano optymalnego wyboru układu geometrycznego prętów sondy dla przypadku elementów rozwartych i zwartych. Dla każdego z omawianych przypadków stwierdzono fakt automatycznego tworzenia się wzorcowej linii transmisyjnej, niezbędnej do przeprowadzenia procesu kalibracji.

S ł o w a k l u c z o w e: wilgotność, TDR, efekt studni impedancji.

1. WSTĘP

Standardowo wykonana sonda pomiarowa, która przeznaczona jest do współpracy z aparatem pomiarowym TDR mierzącym wilgotność gleby, składa się z dwu elementów: części czujnikowej sondy i kabla służącego do połączenia tej części z aparatem TDR. Część czujnikowa sondy najczęściej wykonywana jest w postaci kilku równolegle położonych względem siebie i odpowiednio połączonych ze sobą prętów metalowych. Z punktu widzenia aparatu pomiarowego TDR, generującego impuls testujący, wszystkie elementy sondy stanowią linię transmisyjną w.c.z. Pręty części czujnikowej sondy TDR, umieszczone w glebie, stanowią dla impulsu testującego linię o zmiennych parametrach elektrycznych. W zależności od stopnia nawilgocenia gleby, zmieniają się zarówno długość elektryczna układu prętów jak i wartość impedancji tego układu prętów. Prowadzi to bezpośrednio do zmiany amplitud każdego z odbić od nieciągłości impedancji w linii

transmisyjnej, a w szczególności zmiany amplitudy pierwszego odbicia od miejsca połączenia kabla koncentrycznego z prętami sondy oraz drugiego, od końców prętów sondy. Dynamika zmian impedancji elementu czujnikowego sondy pomiarowej, wywołana różnorodnym stanem nawilgocenia badanego ośrodka, może być przyczyną tego, że reflektogram, charakterystyczny dla bieżącego rozkładu impedancji w sondzie, stanie się obrazem trudnym do interpretacji przez układy logiczne miernika wilgotności. Przy odpowiednio dobranym stosunku wartości impedancji falowej kabla do impedancji falowej części czujnikowej sondy, traktowanej jako przedział impedancji możliwych do uzyskania w tym elemencie, uzyskuje się linię transmisyjną z tzw. efektem studni impedancji [2]. Echo odbiciowe impulsu testującego TDR, uzyskane z linii i zarejestrowane w formie reflektogramu, jest niezmiennie w swoim charakterze, co bardzo ułatwia proces automatycznego określenia wilgotności badanego ośrodka.

2. IMPEDANCJA FALOWA UKŁADU PRĘTÓW

Część czujnikowa sondy, wykonana w postaci układu równoległych do siebie prętów metalowych i długości elektrycznej, kwalifikującej ten układ do tzw. linii transmisyjnej dłuższej [7], wykazuje różną wartość impedancji falowej, uzależnioną od sposobu ułożenia prętów, ich ilości i średnic poszczególnych elementów. Po weryfikacji eksperymentalnej za pomocą oscyloskopu cyfrowego HP54120B z kanałem TDR: HP54121A, z grupy znanych wzorów analitycznych [1], które pozwalają wyznaczyć wartość impedancji falowej różnego rodzaju linii, wybrano wzór definiujący impedancję linii symetrycznej, dwuprzewodowej. Wzór dobrze opisuje impedancję układu dwóch, trzech i czterech prętów o jednakowej średnicy, ułożonych równoległych względem siebie, wg wzoru rozkładu, pokazanego na rys.1a. Zweryfikowana wartość impedancji, dla różnych układów prętów ma postać:

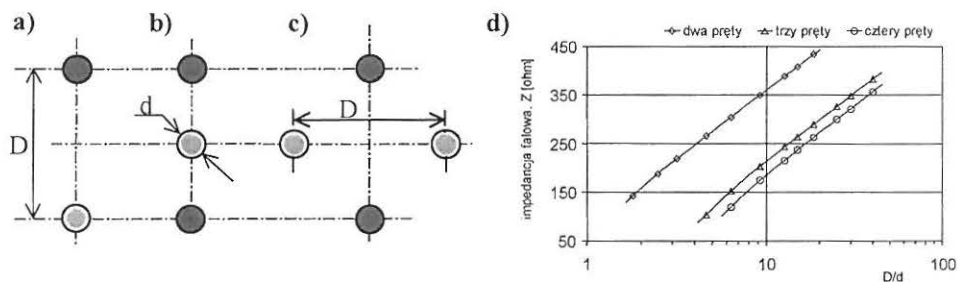
$$\text{dla dwu prętów:} \quad Z_1 = \varepsilon^{-0,5} * 120 * \operatorname{arccosh} [D/d] \quad (1)$$

$$\text{dla trzech prętów:} \quad Z_1 = \varepsilon^{-0,5} * 120 * \operatorname{arccosh} [D/(d + 2,3)] \quad (2)$$

$$\text{dla czterech prętów:} \quad Z_1 = \varepsilon^{-0,5} * 120 * \operatorname{arccosh} [D/(d + 3,1)] \quad (3)$$

gdzie: D – największa odległość pomiędzy prętami (w mm); d – średnica pręta (w mm), ε - stała dielektryczna ośrodka, w którym umieszczone są pręty.

Wzory (2) i (3) określają zależność przybliżoną, ale wystarczająco dobrą do oszacowania impedancji układu 2 i 3 prętowego. Kilka sposobów rozmieszczenia prętów sondy względem siebie oraz wyniki obliczeń impedancji dla tych rozmieszczeń, przedstawiono na rys.1. Pręty, które powinny być dołączone do masy układu pomiarowego, a później do oplotu kabla koncentrycznego w sondzie pomiarowej TDR, oznaczono na rysunku linią kreskową pogrubioną. Pręty sondy, uznawane za tzw. „pręty gorące”, oznaczono linią kreskową cienką i są one dołączane do przewodu centralnego w kablu koncentrycznym.



Rys. 1. Część czujnikowa sondy: a) – sonda dwuprętowa, b) – sonda trójprętowa, c) – sonda czteroprętowa; (d) – zależność impedancji falowej układów prętów w funkcji D/d , wyznaczonych w powietrzu.

Fig. 1. A sensor part of the probe: a) – 2 rods sensor, b) – 3 rods sensor, c) – 4 rods sensor, d) – plot of wave impedance vs. D/d factor, calculated for air.

Regulując średnice prętów, ich liczbę i wzajemny rozstaw, można stosunkowo swobodnie dobrać układ prętów, których impedancja w powietrzu zawiera się w przedziale 80R – 260R, a rozstaw prętów i wielkość proporcji D/d nie odbiega wyraźnie od powszechnie stosowanych.

3. SONDA PRĘTOWA Z EFEKTEM STUDNI IMPEDANCJI

Sonda prętowa o konstrukcji umożliwiającej wytworzenie reflektogramu charakterystycznego dla efektu studni impedancji [2,3] może być wytworzona, jeżeli spełnia następujące warunki:

- pręty sondy są rozwarte na swoim zakończeniu, a impedancja falowa prętów sondy, zmierzona w powietrzu, jest mniejsza lub równa impedancji kabla doprowadzającego impuls testujący;

- pręty sondy są zwarte na swoim zakończeniu, a impedancja falowa prętów sondy, zmierzona w wodzie, jest większa od impedancji kabla doprowadzającego impuls testujący.

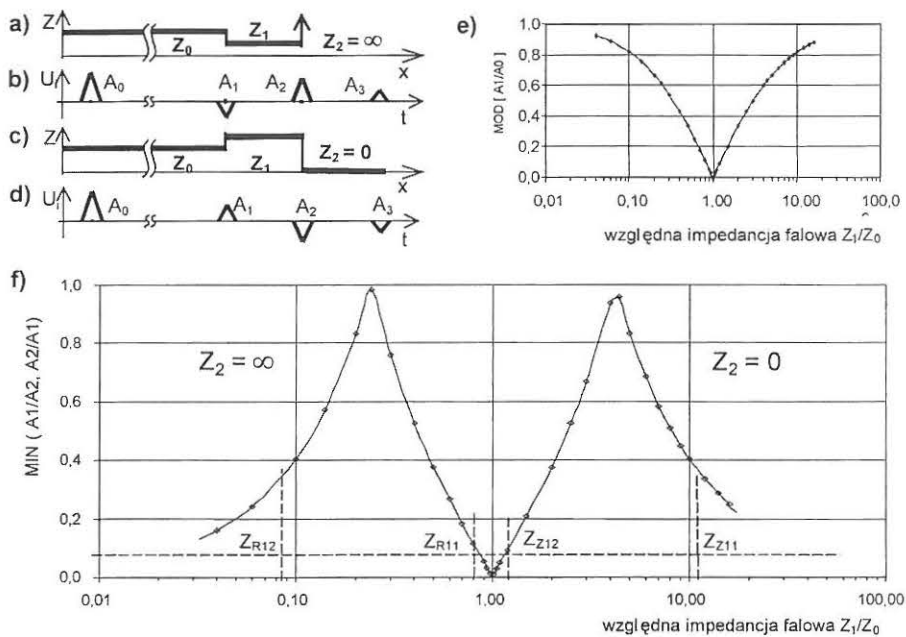
Warunek wystarczający w przypadku prętów rozwartych, by impedancja prętów sondy, zmierzona w powietrzu, była równa impedancji linii transmisyjnej doprowadzającej energię impulsu testującego do części czujnikowej sondy, nie jest sprzeczny z ideą studni impedancji. Wprowadzenie prętów sondy do gleby, której stała dielektryczna jest zawsze większa od stałej dielektrycznej powietrza i silnie zależy od stanu nawilgocenia gleby powoduje zmniejszenie impedancji elementu czujnikowego sondy, a tym samym, warunki charakterystyczne dla efektu studni impedancji pozostają automatycznie spełnione.

Warunek konieczny, by impedancja prętów sondy zwartej na swoim końcu i zanurzonej w wodzie była większa od impedancji linii transmisyjnej prowadzi do spełnienia warunków charakterystycznych dla efektu studni impedancji dla każdej wartości wilgotności gleby.

Schematyczny rysunek, przedstawiający ideę studni impedancji, pokazano na rys.2a, 2b, 2c i 2d, a wnioski z niego wypływające przedstawiono na rys.2e i 2f. Krzywe łączące punkty z obliczeń (rys.2c i 2f), wykazują symetrię względem impedancji Z_0 ($Z_1/Z_0=1$), będącej impedancją kabla koncentrycznego, dostarczającego energię do części czujnikowej sondy. Obliczenia amplitud elementów echa dokonano na podstawie ogólnie znanych wzorów, dotyczących propagacji sygnału w liniach niejednorodnych i bez strat [7].

Układ kolejnych impedancji, charakterystyczny dla efektu studni impedancji (rys.2a, 2b, 2c i 2d) powoduje, że impuls testujący szpilkowy, A_0 , odbija się od nieciągłości impedancji $Z_0 \neq Z_1$ oraz $Z_1 \neq Z_2$, generując ciąg impulsów echa odbiciowego: A_1, A_2, A_3 itd., przy czym, elementy A_1 i A_2 mają zawsze przeciwną polaryzację, a pozostałe elementy, A_3, A_4 , itd., mają zawsze polaryzację zgodną z A_2 i amplitudy mniejsze od amplitudy elementu A_2 . Utworzony w ten sposób zestaw elementów echa odbiciowego jest łatwo rozróżnialny i w prosty sposób można wyznaczyć odstęp czasowy pomiędzy elementami A_1 i A_2 , a tym samym określić nawilgocenie gleby [3, 4]. Zmieniająca się pod wpływem zmiennego nawilgocenia gleby impedancja elementu czujnikowego sondy powoduje zmianę amplitud pierwszego, A_1 , i dalszych, A_2, A_3 ., elementów odbiciowych echa. Ponieważ detektor, który określa położenie czasowe elementów A_1 i A_2 , wymaga pewnego minimalnego poziomu amplitudy tych elementów, w celu wyznaczenia parametrów optymalnych konstrukcji sondy, zależność z rys.2f

przedstawiono w formie funkcji MINIMUM dla wartości bezwzględnych: $(A1/A2)$ i $(A2/A1)$.



Rys. 2. Efekt studni impedancji: a) i c) – układy połączonych impedancji; b) i d) – schematyczne reflektogramy układów impedancji uzyskane za pomocą impulsu testującego szpilkowego A_0 . Wykresy: e) - względna amplituda elementu odbiciowego A_1 reflektogramu w funkcji względnej impedancji Z_1/Z_0 , f) - względna amplituda elementów odbiciowych A_1 i A_2 w funkcji względnej impedancji Z_1/Z_0 .

Fig. 2. Effect of the impedance well: a) and c) – set of connected impedances; b) and d) – schematic reflectograms of set of impedances obtained by using a needle test pulse A_0 . Plots of: e) – relative amplitude of the reflection element A_1 vs. relative impedance of Z_1/Z_0 , f) - relative amplitude of the reflection elements A_1 and A_2 vs. relative impedance of Z_1/Z_0 .

Na rys.2f zaznaczono poziom, dla którego minimalna wartość $A1/A2$ lub $A2/A1$ wynosi 10% skali maksymalnej, co jest równoważne określeniu poziomu, dla którego stosunek wzajemny amplitud A_1 i A_2 nie jest mniejszy niż 1:10. Tak określona wartość stosunku amplitud jest wartością wystarczającą dla zapewnienia poprawnej pracy detektora w aparacie TDR [3]. Pionowe osie, Z_{R11} i Z_{Z11} , wyznaczają po swoich lewych stronach obszary, dla których minimalna wartość

$A1/A2$ lub $A2/A1$ jest większa od poziomu 10%. Osie Z_{R11} i Z_{Z11} określają impedancje prętów sondy umieszczonych w powietrzu. Ponieważ stała dielektryczna wody, ϵ , wynosi 81, zanurzenie części czujnikowej sondy w wodzie spowoduje dziewięciokrotne zmniejszenie się jej impedancji. Wynika to bezpośrednio z zależności: $Z = K * \epsilon^{-0,5}$, gdzie K jest stałą, którą można uzyskać z przekształcenia wzorów, dotyczących propagacji sygnału w liniach jednorodnych [7]. Wartości impedancji prętów sondy zanurzonych w wodzie i odniesione do skali Z_1/Z_0 przedstawiono na rys.2f za pomocą prostych Z_{R12} i Z_{Z12} . Obszary wyznaczone przedziałami $\langle Z_{R11}, Z_{R12} \rangle$ i $\langle Z_{Z11}, Z_{Z12} \rangle$ są obszarami dynamiki zmian impedancji prętów sondy i dotyczą odpowiednio przypadku sond rozwartych i zwartych na swoich końcach. Duża wartość nadmiaru stosunku wzajemnych amplitud $A1$ i $A2$ (35%) w pobliżu krańców obszaru dynamiki, wyznaczonych na rys.2f prostymi Z_{R12} i Z_{Z11} , jest korzystna w przypadku, gdy badane środowisko wykazuje przewodnictwo elektryczne. W takim przypadku, sygnał echa $A2$ zanika szybciej niż w przypadku braku przewodnictwa gleby, a wartość minimalna stosunku wzajemnego amplitud, $A1$ i $A2$, zmniejsza się szybciej, niż to jest pokazane na rys. 2f. Szczegółowe omówienie wpływu zasolenia na relacje pomiędzy amplitudami echa odbiciowego zostaną podane w innej publikacji.

4. SONDA PRĘTOWA Z LINIĄ KALIBRACYJNĄ

W pracy [3] pokazano, że wprowadzając niewielkie uszkodzenie w kablu koncentrycznym, w miejscu poprzedzającym jego dołączenie do prętów sondy, wywołuje się powstanie zaburzenia w impedancji linii, a tym samym umożliwia wygenerowanie dodatkowego echa odbiciowego impulsu testującego. Ze względu na możliwość koincydencji różnych elementów echa, miejsce uszkodzenia powinno być odsunięte od połączenia linii transmisyjnej z prętami sondy o taki odcinek, by jego długość elektryczna była większa od maksymalnej długości elektrycznej prętów sondy, co ma miejsce w przypadku umieszczenia sondy w wodzie. Zakładając 20% różnicę w długości elektrycznej pomiędzy miejscem uszkodzenia kabla koncentrycznego a długością prętów sondy umieszczonych w wodzie, pozycję uszkodzenia można określić ze wzoru:

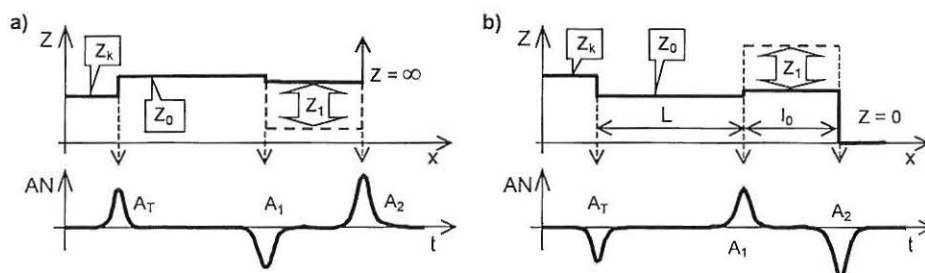
$$L = 1,2 * l_0 * (\epsilon_w / \epsilon_k)^{0,5} \quad (4)$$

gdzie: L - pozycja uszkodzenia liczona od miejsca połączenia kabla z prętami;

l_0 - długość fizyczna prętów sondy; ϵ_w - stała dielektryczna wody;

ϵ_k - stała dielektryczna wypełnienia kabla koncentrycznego.

Z rozważań przeprowadzonych w poprzednich rozdziałach wynika, że efekt studni impedancji może być zaobserwowany w sondzie prętowej ze zwartymi i rozwartymi zakończeniami prętów. Duża różnica wartości impedancji falowej prętów sondy umieszczonej naprzemiennie w powietrzu, glebie i wodzie powoduje, że dobór impedancji kabla i prętów sondy nie może być wyborem dowolnym. W przypadku sondy rozwartej należy stosować kable koncentryczne z górną dostępną wartością impedancji, np. 95R. W przypadku sondy zwartej powinno stosować się kable z dolną wartością impedancji, np. 25R lub niższą.



Rys. 3. Kalibracja sondy: a) w przypadku prętów rozwartych, b) w przypadku prętów zwartych.

Fig. 3. A calibration of probe: a) in case of disconnected rods, b) in case of connected rods.

Z informacji przytoczonych powyżej można zauważyć, że po wykonaniu następnego połączenia, tym razem pomiędzy kablami koncentrycznymi i w ten sposób, że pierwszy z nich jest dołączony do prętów elementu czujnikowego sondy i charakteryzuje się impedancją 95R lub 25R a drugi jest kablem o impedancji 50R, do kabla sondy traktowanego jako całość, zostaje wprowadzona następna nieciągłość impedancji. Rozkład impedancji w sondzie i reflektogram generowany na tym rozkładzie pokazane są na rys.3. Można zauważyć, że reflektogram, który w opisywanym układzie linii tworzą elementy odbiciowe impulsu testującego, szpilkowego, jest identyczny z tym, który powstaje w wyniku umyślnego uszkodzenia linii transmisyjnej [3]. Uszkodzenie linii transmisyjnej powinno generować element odbiciowy, A_T , o polaryzacji zgodnej z polaryzacją elementu A_2 . W omawianym przypadku, w którym łączy się odcinki linii o różnych impedancjach, skok impedancji w połączeniu pomiędzy kablami jest taki, że element echa odbiciowego, A_T , posiada zawsze wymagany rodzaj polaryzacji.

5. DYSKUSJA

Jak wspomniano, sonda pomiarowa składa się z dwu zasadniczych elementów: prętów sondy, stanowiących element czujnikowy i kabla łączącego element czujnikowy z aparatem TDR. Ponieważ niemożliwe jest wykonanie we własnym zakresie kabla koncentrycznego o dobrych parametrach elektrycznych, impedancja części czujnikowej sondy, wynikająca z jej konstrukcji, powinna być dostosowana do osiągalnego typu kabla.

Z przedstawionych rozważań można określić ogólny zarys oraz szczegóły budowy sondy pomiarowej, która może dostarczyć do aparatu TDR sygnał charakterystyczny dla efektu studni impedancji wraz z elementem niezbędnym do przeprowadzenia kalibracji przyrządu. Ze względu na to, że większość aparatów pomiarowych wykorzystuje standardowe kable koncentryczne o impedancji falowej 50R, zakłada się, że w proponowanych rozwiązaniach, kablem głównym sondy będzie kabel 50R.

Dla układu prętów sondy, których końce są rozwarte, wartość impedancji falowej prętów nie powinna przewyższać wartości impedancji kabla koncentrycznego w przypadku, gdy pomiar wartości impedancji prętów sondy jest przeprowadzony w powietrzu. Ponieważ mierzona w powietrzu impedancja falowa układu prętów jest stosunkowo wysoka i maleje wraz ze wzrostem liczby prętów oraz to, że maksymalna wartość impedancji dostępnego w sprzedaży kabla wynosi 95R, rozsądne wydaje się wykonanie układu czujnikowego sondy w postaci układu 3 lub 4-ro prętowego (rys.1b,c). Zakładając, że średnica prętów wyniesie 2 mm, z rys.1d można określić, że odległość D , dla układu trójprętowego wyniesie 8,4 mm, a dla układu czteroprętowego: 10,6 mm. Puste przestrzenie pomiędzy najbliższymi sobie ułożonymi prętami wyniosą odpowiednio 2,2 mm i 5,5 mm. Dla średnicy prętów 3 mm, odległość D , dla układu trójprętowego wyniesie 12,6 mm, a dla układu czteroprętowego: 15,9 mm. Puste przestrzenie pomiędzy najbliższymi sobie ułożonymi prętami wyniosą odpowiednio 3,3 mm i 8,3 mm. Ze względu na to, że powinno się dążyć do zwiększania obszaru pustych przestrzeni międzyprętowych, bo tylko tam może być rozmieszczony badany ośrodek, wybór sondy czteroprętowej, o średnicy prętów 3mm i rozstawie prętów 15,9 mm wydaje się być uzasadniony. Swobodny koniec kabla 95R, połączony ze standardowym kablem koncentrycznym 50R, stanowi nieciągłość impedancji, której fakt istnienia wykorzystuje się w procesie kalibracji przyrządu.

Dla układu prętów sondy, których końce są zwarte, wartość impedancji falowej prętów powinna przewyższać wartość impedancji kabla koncentrycznego

dla każdej wartości wilgotności. Ponieważ mierzona w wodzie impedancja falowa układu prętów jest stosunkowo niska i maleje wraz ze wzrostem liczby prętów, oraz to, że minimalna wartość impedancji dostępnego w sprzedaży kabla wynosi 25R, rozsądne wydaje się wykonanie układu czujnikowego sondy w postaci układu 2 lub 3 prętowego (rys. 1a,b). Przy założeniu, że impedancja prętów wynosi 30R, a średnica prętów wyniesie 2 mm, z rys. 1d, zmodyfikowanego o czynnik 9 ($\epsilon_w=81$), można oszacować, że odległość D, dla układu 2-prętowego wyniesie 9,3 mm, a dla układu 3-prętowego 31 mm. Puste przestrzenie pomiędzy najbliżej siebie ułożonymi prętami wyniosą odpowiednio 7,3 mm i 12,5 mm. Dla średnicy prętów 3 mm, odległość D dla układu 2-prętowego wyniesie 14 mm, a dla układu 3-prętowego 46,5 mm. Puste przestrzenie pomiędzy najbliżej siebie ułożonymi prętami wyniosą odpowiednio: 12 mm i 20,2 mm. Ze względu na zbyt dużą wartość wymiaru poprzecznego sondy 3-prętowej, wybór sondy 2-prętowej o średnicy prętów 3 mm i rozstawie prętów 14 mm wydaje się być właściwy. Swobodny koniec kabla 25R, połączony ze standardowym kablem koncentrycznym 50R, stanowi nieciągłość impedancji, której fakt istnienia wykorzystuje się w procesie kalibracji przyrządu. Zakończenia prętów powinny być zwarte za pomocą łącznika metalowego wykonanego z tego samego materiału co pręty sondy. W celu maksymalnego zmniejszenia oporów umiejscowienia sondy w glebie, łącznik powinien charakteryzować się minimalnym przekrojem poprzecznym.

6. PODSUMOWANIE

W pracy dokonano próby zdefiniowania optymalnych wymiarów geometrycznych elementu czujnikowego sondy prętowej TDR, wykazującej cechy charakterystyczne dla efektu studni impedancji.

Dla elementu czujnikowego z prętami zwartymi na swoich końcach wybrano konstrukcję, składającą się z dwu prętów o średnicy 3 mm i rozstawie prętów wynoszącym 14 mm. Impedancję kabla koncentrycznego, użytego do połączenia układu prętów z linią transmisyjną 50R i spełniającego funkcję elementu wzorcowego w procesie kalibracji przyrządu, określono na 25R.

Dla elementu czujnikowego z prętami rozwartymi na swoich końcach wybrano konstrukcję, składającą się z czterech prętów o średnicy 3 mm i rozstawie prętów wynoszącym 16 mm. Impedancję kabla koncentrycznego, użytego do połączenia układu prętów z linią transmisyjną 50R i spełniającego funkcję elementu wzorcowego w procesie kalibracji przyrządu, określono na 95R.

W obu przypadkach, długość kabli wzorcowych, 25R i 95R, może być wyznaczona z formuły (4).

7. LITERATURA

1. **Bieńkowski Z.:** Poradnik ultrakrótkofalowca, WKŁ, Warszawa 1988.
2. **Kotliński J., Mazurek P.:** Efekt studni impedancji – szybka i tania metoda określania wilgotności gleb metodą TDR, Ogólnopolska Konferencja Naukowa PTA, str. 48-51, Lublin 1999.
3. **Kotliński J.:** Miernik TDR wilgotności gleby z wykorzystaniem efektu studni impedancji, Acta Agrophysica (w druku).
4. **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.
5. **Malicki M.A.:** Metodyczne zagadnienia monitoringu statusu wody w wybranych materiałach biologicznych, Acta Agrophysica, nr 19, Lublin 1999r.
6. **Malicki M.A.:** Wpływ fizycznych właściwości gleby na elektryczne parametry układu elektrody|gleba w aspekcie pomiaru jej wilgotności i zasolenia, Acta Agrophysica, Lublin 1993r.
7. **Praca zbiorowa:** Radioelektronika, WKiŁ, Warszawa 1971.
8. **Rusek A.:** Półprzewodnikowe generatory impulsów nanosekundowych, WNT, Warszawa 1981.
9. **TDR_MICRO**, moduł próbkujący TDR, typ: FT110/50C - produkt i materiały katalogowe f-my FORTEST, <http://www.fortest.lublin.pl/>.

TDR RODS PROBE WITH EFFECT OF THE IMPEDANCE WELL

Institute of Agrophysics PAS, ul. Doświadczalna 4, 20-280 Lublin
e-mail: jotkot@demeter.ipan.lublin.pl

S u m m a r y. Specially projected probe of the TDR apparatus, destined to measurement of moisture in soils allows on receiving a special kind of reflectogram with effect of the impedance well and creates a possibility of automatic calibration of the TDR apparatus. The change of geometrical dimensions of probe rods or the change them quantities allows on fixing of the sensor impedance. The estimate of usefulness of selected sets of the parallel rods to construction of probe was made. The optimized set of the geometrical rods with connected and gaping rods was found. For every discussed cases was ascertained fact of automatic creations of patterns, indispensable for execution of the calibrating process.

K e y w o r d s: moisture, TDR, well of impedance.