

タイムディジタイザ(TDC)を用いた時間領域透過法(TDT)の低コストな実装 A low cost implementation of Time Domain Transmissiometry(TDT) using Time-to-Digital Converter(TDC) IC.

村岸 秋生¹

¹同志社大学 理工学部

要旨(Abstract) :

時間領域透過法(TDT)は、土壌水分量・電気伝導度の計測に有効な手法であるが、これによるセンサーは、多数を用いるには高価であった。本稿では、Lidar等に用いられる安価なタイムディジタイザ IC を活用した簡便な TDT の実現回路を提案する。また、提案回路に基づいたセンサーの概要と誘電率に関する簡易的な評価について述べる。

キーワード： 時間領域透過法, 土壌水分, 誘電率, センサー

Key words: Time domain transmissiometry (TDT), Soil Moisture, Dielectric Constant, Sensor

1. はじめに

土壌の水分量および電気伝導度を絶対読み取りで測定する方法として、時間領域透過法(TDT)が検討されている。しかし、そのセンサーは数万円程度と多数を用いるには高価である。TDTでは、プローブへ入力した信号の透過波形を用い、その伝播遅延時間から誘電率を、強度から電気伝導度を求める。(比)誘電率からは、Toppの式等により水分量が得られる。

土壌水分量計測の低コスト化のため、TDTの簡便な実現手法の開発に取り組んだ。その成果である回路と、この回路による誘電率センサーの実現、および簡易的な評価を述べる。

2. 提案する回路と測定手順

(1) 提案する回路

提案する回路のブロック図を図1に示す。

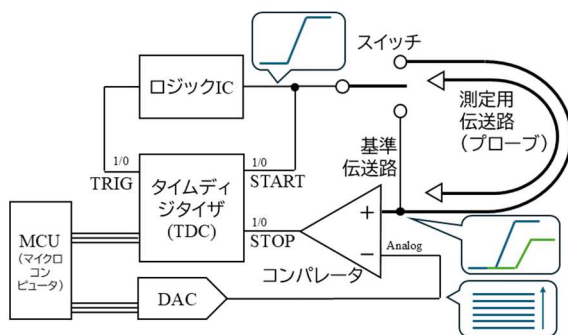


図1 提案する回路のブロック図

宮本ら(2008)によれば、TDTは、パルスジェネレータおよびオシロスコープにより実現される。この回路では、汎用ロジック IC がパルスジェネレータの役割を担う。また、タイムディジタイザ(TDC)、コンパレータ、DACからなる回路で、数十 ps 分解能を持つ、制約付きの等価時間サンプリングオシロスコープの機能を実現する。

(2) 測定手順

測定は次のステップで行う。

- スイッチを基準伝送路側に切替える。
- DACの電圧レベルを0にする。
- TDCに測定開始を指令する。

TDCがトリガ信号(TRIG)を発し、ロジック ICによりステップパルス波が発生する。TDCの時間計測が始まる。

- DACの電圧よりも透過信号の電圧が高くなると、コンパレータがHighレベルを出力する。この時点で、TDCの時間計測が終了する。このときのDACの電圧レベルと時間を入力する。
- DACの電圧レベルを1増加させ、最大電圧レベルまで(b)~(c)を繰り返す。
- スイッチを測定用伝送路に切り替え、(b)~(e)を行う。

以上の手続きにより、基準伝送路および測定用伝送路の透過波が、初めてその電圧に達した時間の電圧と時間の組を得る。得たデータ系列を転置すれば、TDCの分解能で立ち上がり波形を得られる。また、基準伝送路と測定用伝送路それぞれの透過波形の差分から、測定用伝送路の伝播時間から定数を引いた波形を得る。

3. 評価

提案回路を電源回路等の周辺回路と併せてパターン設計し、回路基板を製作した。TDC ICにはTI社のTDC7200を用いた。

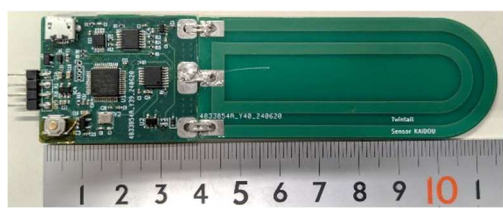


図2 回路基板の外観

(1) 誘電率の測定例

提案回路により測定した基準、測定用伝送路の立ち上がり波形を図3に、これらの差分を図4に示す。凡例のうち、refが基準伝送路、probeが測定用伝送路、diffがその差分を示す。

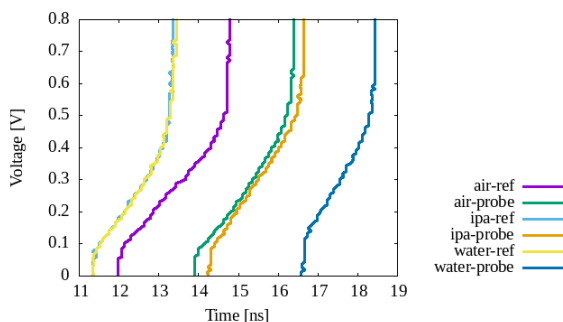


図3 取得した立ち上がり波形

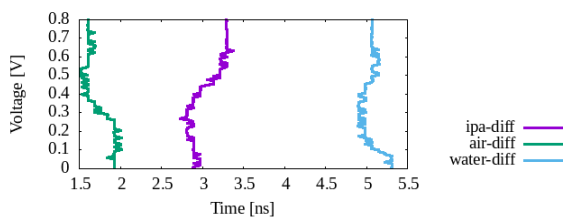


図4 基準、測定用伝送路の波形の差分
差分の平均を代表値とし、一次補間により補正した誘電率およびその誤差を表1に示す。

表1 測定例

媒質	伝播時間[ns]	測定誘電率	真の誘電率	誤差[%]
空気(FR-4)	1.63	4.68	4.60	1.7
IPA	3.03	19.93	19.92	0.1
水	4.96	75.38	77.58	-2.9

(2) 消費電力

測定時・待機時の消費電力は5V 20mA (100mW)であった。広く用いられるAcclima(2021)は、待機時には6V 60uA (360uW)、測定時6V 110mA(660mW)である。

(3) コスト

比較対象にAnderson(2003)の回路を用いて測定部の主要部品の費用を表2に示した。

表2 コスト比較表

Anderson(2003)		(USD)		提案手法		(USD)	
部品	個数	単価	費用	部品	個数	単価	費用
PPSコンデンサ	1	0.27	0.27	TDC IC	1	1.34	1.34
RFトランジスタ	4	0.04	0.14	スイッチIC	1	0.11	0.11
コンパレータ	3	2.8	8.4	ロジックIC1	1	0.28	0.28
ロジックIC	1	0.09	0.09	ロジックIC2	1	0.11	0.11
ADC	2	0.8	1.6	コンパレータ	1	0.27	0.27
MCU	1	1.1	1.1	MCU(DAC)	1	1.1	1.1
計			11.6	計			3.21

4. 考察

前節(1)の結果から、少なくとも定性的には、誘電率の計測が行えている。また、(2)から、測定時の消費電力が比較的小さいことが確認できる。待機時の消費電力は、MCUの低電力モード等により改善しうる。加えて、(3)から、既存手法の3割ほどの費用で実現可能である。

5. おわりに

本稿では、TDTの新たな実現回路を提案し、簡易的な評価を行った。今後の課題として、詳細な評価、電気伝導度測定への応用や誘電率の温度依存性等を考慮した校正が挙げられる。

参考文献

Scott Knudson Anderson(2003): Absolute-reading soil moisture and conductivity sensor. U.S. Patent 6,657,443 B.
宮本英揮, 伊藤直樹, 安永円理子, 高市信也, 間瀬淳, 筑紫二郎, 広帯域インパルス信号を用いた時間領域透過法(TDT)による誘電特性の計測. 土壤の物理性, 110:3-12.
John Rumble(2023): Handbook of Chemistry and Physics 105th Edition, CRC Press.
Acclima(2021): Datasheet Digital TDT SDI-12. <https://a.cclima.com/sdi-tdt-soil-moisture-sensor-data-sheet/> (2023/9/30)