

## TD-CDMAによる輻輳制御を用いたRFIDシステム向け トランスポンダのIC設計と評価

大野 修治<sup>†</sup> 福水 洋平<sup>†</sup> 永田 真<sup>††</sup> 瀧 和男<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 神戸大学大学院自然科学研究科

<sup>††</sup> 神戸大学工学部情報知能工学科

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: †{ohno,fukumizu}@cs26.scitec.kobe-u.ac.jp, ††{nagata,taki}@cs.kobe-u.ac.jp

あらまし 非接触での個体識別を行う RFID システムに対して、近年大規模流通に適用可能な通信を実現するシステムが求められている。本稿では CDMA ならびに TDMA を併用する TD-CDMA を通信方式の核として、確率的な手法でシステムパラメータを決定することにより、同時に 1000 以上の個体識別を可能とする輻輳制御方式を提案する。さらにこの輻輳制御方式を実現するトランスポンダ用 LSI を試作し、実測結果の報告を行う。

キーワード RFID システム, TD-CDMA, CDMA, TDMA, 輻輳制御

## Design of Transponder IC for RFID System with TD-CDMA-based Collision Resistance

Shuji OHNO<sup>†</sup>, Yohei FUKUMIZU<sup>†</sup>, Makoto NAGATA<sup>††</sup>, and Kazuo TAKI<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Technology, Kobe University

<sup>††</sup> Department of Computer and Systems Engineering, Kobe University

Rokkodai-cho 1-1, Nada-ku, Kobe, 671-8501 Japan

E-mail: †{ohno,fukumizu}@cs26.scitec.kobe-u.ac.jp, ††{nagata,taki}@cs.kobe-u.ac.jp

**Abstract** In recent years, an RFID system for physical distribution which realized a large-scaled identification with a communication scheme providing high collision resistance is required. In this paper, we propose a collision resistive communication scheme that enables identification of items over 1000 simultaneously. The scheme is based upon TD-CDMA which multiplexes communication channels in combination of CDMA and TDMA. The parameter of system derived by probabilistic analysis. We implemented the transponder on LSI for experimental, and measured implemented circuits for subsystem level analysis.

**Key words** RFID system, TD-CDMA, CDMA, TDMA, anti-collision

### 1. はじめに

半導体プロセスの微細化や RFID の発展に伴い、無線を用いた非接触式の個体識別を行う RFID システム [1] が急速に普及しつつある。現在個人決済や物品単体の識別管理といった分野での実用化が進む一方で、大量の物品を自動識別管理可能なシステムとして期待されている。

大規模流通業の自動識別システムを構築するためには、大量のタグを誤りなく識別できる通信手段を持ち、外部供給される限られた電力で駆動する低消費電力性、コストを抑制するための簡素なタグの構造といった特長を備えた RFID システムが必要となる。しかし、現在の RFID システムは個体の同時識別数

が大規模流通に適用できる程多くはない。また、従来タグの同時通信に用いられてきた多重化手法で同時通信数を上げていくと、タグの構造が複雑化することで実装面積と消費電力が増加するという問題があった。

そこで本稿では、複数タグの同時識別に特化した通信方式の提案を行い、さらに仕様に基づく IC タグの設計、測定評価によって本通信システムを用いた RFID システムの実現性について考察する。

以下、2 節では超多重 RFID システムを実現するための通信方式を提案し、適切な通信仕様の導出を行う。続く 3 節にて仕様に基づく RFID システムの回路構成を説明する。4 節でシミュレーションによる動作検証を行い、5 節で回路の実測に基

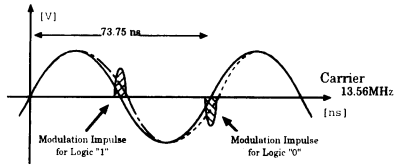


図1 一次変調

づく変復調方式を確認する。最後に6節で本報告のまとめを行う。

## 2. 超多重 RFID システム

### 2.1 RFID システムの構成

RFID システムは識別対象に取り付けるトランスポンダと、トランスポンダが発する識別信号を読み取るリーダーとで構成される。トランスポンダは ID を格納した ROM と、信号の送信に必要なデジタル・アナログ回路を実装した IC にアンテナを接続したものである。本システムのトランスポンダは電力の供給をリーダーから非接触で行うパッシブ方式を用いるため、設計に際して回路規模や消費電力といった低消費電力性への配慮が求められる。

### 2.2 基本仕様

本稿で提案するシステムでは、電波帯域は法令に基づき RFID システムで一般的に用いられる 13.56 MHz 帯を使い、電波出力の上限は  $42 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  とする。ただしトランスポンダ側の上限は次節で述べる通り、スペクトラム拡散によって帯域が規定範囲外まで広がるため、微弱電波の法廷範囲を適用して上限を  $500 \mu\text{V}/\text{m}$  とする。

識別対象の個体にはそれぞれ異なる ID を持つタグを付加することとし、リーダーで受信した ID 情報をデータベースでの管理に用いる。またタグの識別に用いる ID 長は、多くの標準規格で採用されている 128 bit とする。規格によって ID bit の使われ方は様々だが、いずれの場合も 128 bit あれば実用上必要十分といえる。

### 2.3 多重通信方式

#### 2.3.1 一次変調

RFID システムを含む無線通信において、送信する情報信号を伝達媒体の電波を加工して伝えることを一次変調と呼び、受信機で元の信号に復元することを一次復調と呼ぶ。

提案システムでは電力供給波によって誘起された電荷をコンデンサに蓄積し、回路の駆動と信号の送信に用いる。信号の伝送は、回路規模と消費電力を低減するために PSK (Phase Shift Keying) に準ずる変調方法を採用する。電力供給波はリーダーから発信される正弦波であり、この波の振幅がゼロとなる付近のタイミングでトランスポンダ側から信号パルスを送信する。この信号の重畳の様子を図 1 に示す。

#### 2.3.2 二次変調

複数の情報を混信を避けて正しく送受信するためには、輻射制御を用いた多重通信技術が必要となる。従来 RFID システムの多重通信における二次変調には FDMA (Frequency Division

Multiple Access) や TDMA (Time Division Multiple Access) が用いられ、これらの方式では信号の衝突を避けるために周波数や時間スロットを分割し、タグごとに割り当てていた。その際リーダーとトランスポンダ間の相互協調動作が必要となるため、多重数が増加するにつれシステムが複雑化し、超多重 RFID システムに採用する輻射制御方式としては適切でなくなりつつあった。

そこで本システムでは、スペクトラム拡散 [2] による DS-CDMA (Direct Sequence Code Division Multiple Access) を識別情報の変調に用いて多重化を行う。

#### 2.3.3 DS-CDMA

DS-CDMA は高速でデータ列と無関係な拡散符号系列を伝送情報に乗算し、信号のスペクトルを非常に広い周波数帯域に拡散させる多重通信方式である。送信者ごとに異なる拡散符号を割り当てることで個体を識別する方式で、信号の電力密度が下がるため周波数効率の高い [3] 多重通信を行うことができる。

CDMA では信号の拡散に用いる拡散符号の重畳を避ける必要がある。通常送信者への拡散符号の割り当てを送受信間の相互協調で行っている。しかし多重数を増やすほど必要となる符号数が増え、結果符号長が長くなるため、通信時間と必要電力が増加するという問題が生じる。

そこで本提案システムでは拡散符号を各トランスポンダがランダムに選択することとする。 $n$  種の拡散符号がある時に  $r$  個のタグが一つずつ符号を選んだ場合、選んだ符号が重複する確率は

$$P_r(n, r) = 1 - \frac{n C_r}{n H_r} = 1 - \frac{n C_r}{n+r-1 C_r}$$

である。この時  $r \leq n$  であり、例えばこの確率が 0.1 以下となる  $n$  と  $r$  の関係は

$$n \geq 2^{2(\log_2 r + 1)}$$

と表される。CDMA のみを用いて 1000 多重通信を実現し、かつ符号の衝突確率を 0.1 以下にするための拡散符号数は、 $r = 1024$  として

$$n \geq 2^{2(\log_2 r + 1)} \simeq 2^{22} \simeq 4.19 \times 10^6$$

と求められる。この結果、CDMA 単体による多重化は拡散符号数の長さから実現が困難であるということが分かる。

#### 2.3.4 TD-CDMA

上記の問題を回避するために、我々の提案方式 [5] では CDMA と併せて TDMA を二次変調に用いた TD-CDMA (Time Domain-Code Division Multiple Access) 方式を輻射制御に用いる。拡散した信号の送信タイミングを時間スロットに振り分けることで、同じ符号が選択される確率を引き下げることができる。

時間スロット数を  $x$  用意した時に、同じ拡散符号を用いた信号が同時に送信される確率は

$$P_c(n, r, x) = \frac{1}{x} P_r(n, r) = \frac{1}{x} \left( 1 - \frac{n C_r}{n+r-1 C_r} \right)$$

となる。TDMA の時間チャンネルの割当ては、CDMA の符号割り当てと同様の理由でリーダからの制御信号で決定せずに、タグそれぞれが自発的に行うものとする。

トランスポンダは当該スロット以外では待機状態になるため、通信時間はスロットを増やすほど長くなる。しかし同じ多重数で比較した場合の拡散符号数を下げることができるため、タグの複雑化が抑えられ実現可能なシステムの設計が可能になると考えられる。

## 2.4 再送制御

RFID システムの信号伝送では無線を用いるため、ノイズ等の外乱の影響で正しく信号を受信できない場合の対処が必要である。また本システムでは各タグがランダムに拡散符号と時間チャンネルを選択するため、2つ以上のタグの信号が重複することで識別誤りが生じることから、一度の信号送信で全てのタグを識別することは難しい。

従って、タグは ID 情報を変調して一通りの信号送信が完了した時、リーダから動作可能な電力供給が行われていれば、ID の 1bit 目から拡散演算を行い送信し直すこととする。これを信号の再送と呼び、信号が重複したタグが同じ相手と再び衝突することを防ぐため、再送ごとにタグは新たに乱数を生成し、拡散符号と時間スロットを選択し直すことで信号の重畳を避ける。このとき、再送が少なくとも  $k$  回行われるとすると、衝突確率は  $P(n, r, x, k) \leq P_c(n, r, x, k)$  となる。

## 2.5 誤り検出

外乱の影響や符号の重複による伝送誤りを検出するために、本システムでは CRC (Cyclic Redundancy Check) 符号を用いて誤り検出を行う。符号の生成には国際規格の一つである CRC-ANSI 多項式 ( $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ ) を使い、ID を多項式で除算した際の剰余をタグ固有の CRC 符号とする。CRC 符号はタグ内に単純な構成で実装可能で、かつバースト誤りに強い等の高い誤り検出機能を有するという利点がある。

$n$  bit の CRC 符号で誤認識が検出できない確率は  $P_e = 2^{-n}$  となり、符号長が長いほど確実に誤りの検出が可能である。しかし CRC 符号も ID 同様に TD-CDMA を用いて変調するため、通信時間が長くなり消費電力も高くなる。

そこで仮に 16 bitCRC を用いた場合の誤認識率を求めると

$$\begin{aligned} P_n(16) &= 2^{-16} \cdot P_c(n, r, x) \\ &= 1.526 \times 10^{-5} \cdot \frac{1}{x} \cdot P_r(n, r) \end{aligned}$$

となる。 $P_r(n, r) \leq 0.1$  を満たす通信仕様の場合  $10^{-6}$  以下となり、実用面では大きな問題とならない。従って本方式では 16 bitCRC を誤り検出符号として採用する。

## 2.6 通信方式の評価

本提案システムでは、高速なベルトコンベア上でタグを確実に識別するという利用状況を想定している。ゲート間隔を 1 m とし、コンベアの速度を秒速 3.3 m とすると、300 msec 以内に全てのタグを識別する必要がある。128bit の ID と 16bit の CRC 符号を変調し、拡散符号長  $n$ 、時間の分割数を  $x$  としたときに情報を一通り送信し終えるまでの時間は、

表 1  $P_r(n, r) \leq 0.1$  を満たすパラメータ

拡散符号長 ( $n$ bit)	1024	256	64	16	4
CDMA 多重数 ( $r$ ch)	16	8	4	2	1
TDMA 多重数 ( $x$ ch)	64	128	256	512	1024
送信時間 (ms)	695	347	173	87	43
再送数 (回)	0.432	0.865	1.73	3.45	6.98

表 2 実験用トランスポンダの仕様

ID 長	16 bit
誤り検出	なし
周波数帯域	13.56 MHz
一次変調	Impulse Radio
二次変調	Time Domain Multiplexing CDMA
多重数	64
CDMA チャンネル数	4 ch
TDMA チャンネル数	16 ch
スペクトラム拡散	DS-SS, Walsh-4

$$t_{TX} = \frac{128 + 16}{13.56 \times 10^6} \cdot n \cdot x$$

と表せる。この時先述した拡散符号が衝突する確率  $P_r(n, r) \leq 0.1$  を満たす  $(n, r, x)$  について、CDMA と TDMA のチャンネル数  $(r, x)$  を  $r \cdot x = 1024$  の条件下で変化させ、それぞれの通信にかかる時間と 300msec 以下で行える再送回数を求めた結果を表 1 にまとめる。

以上より拡散符号長  $n$ 、CDMA チャンネル数  $r$ 、TDMA チャンネル数  $x$  は、それぞれ  $(n, r, x) = (16, 2, 512)$  となる組み合わせが適切であり、再送を 3 回行うことができる。この時、3 回の再送全てで別のタグと衝突するタグが存在する確率は、

$$\begin{aligned} P(n, r, x, k) &= \left\{ \frac{1}{x} (1 - P_r(n, r)) \right\}^k \\ &\approx 1.214 \times 10^{-11} \end{aligned}$$

となる。従って、TD-CDMA を用いた多重化と誤り検出、及び再送制御を組み合わせた本提案システムにおいて、信号の衝突がほとんどの場合において回避できることが示された。

## 3. システムの設計

本稿で提案する通信方式が実システムとして採用可能かどうかを確認するため、LSI チップ上にトランスポンダ回路を実装し測定評価を行った。変調方法や考案した通信回路がチップ上で正しく動作しているかという点が重要であるため、ID 長や拡散符号数等のパラメータを削減した機能評価用のチップを設計、実装し測定することで評価を行うこととする。

### 3.1 機能評価用仕様

試作したチップにおける評価用の仕様を表 2 に示す。提案した通信方式及び回路構成の妥当性を確認するため、特にアナログ部の確認が行いやすくなるような構成である。そのためデジタル演算部に関わるパラメータを削減する一方で、一次変調・二次変調の方式やアナログ回路部は 1000 多重版の仕様と同一のものを採用している。

### 3.2 送受信間の同期

リーダ側で復号演算を行う際、TDMA ではデータの先頭を

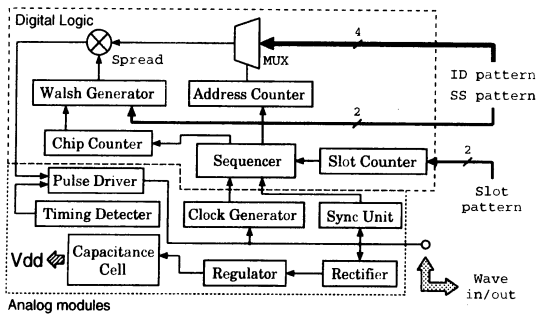


図 2 実験用トランスポンダのブロック図

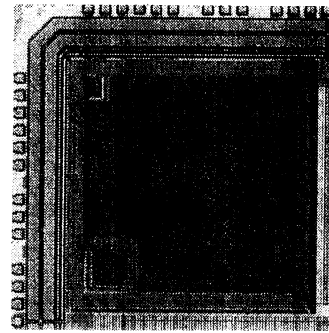


図 4 トランスポンダのチップ写真

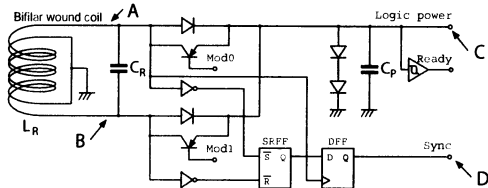


図 3 トランスポンダの RF 回路図

合わせる必要があります、また受信中も常に送信側とのタイミングの同期を行わなければならない、また CDMA でも送信側と受信側の同期補足と同期追跡が必要である。通常送受信間の同期に用いる回路は複雑で規模が大きくなるため、RFID タグには適さない。そこで本システムでは電力供給波をタイミング生成に用いる。13.56 MHz の正弦波である電力波を 1 パルス区間反転させ、それをタグの信号送信及びリーダの受信タイミングとして用いる。

この反転波による同期補足の検出は SRFF(Set Reset Flip Flop)を用いることで実現することができる。アンテナの両端を FF の S(set) 及び R(reset) に接続すると、正弦波が連続する場合 2 入力のピークが交互になるため出力は常に 0 となる。しかし反転波が来た場合、一方のピークが連続するため FF のクロックエッジが 1 となることで検出できる。

### 3.3 トランスポンダの構成

縮小した仕様を元に設計したトランスポンダの機能ブロック図を図 2 に示す。

#### 3.3.1 アナログ回路

アンテナを含めたアナログ回路の構成を図 3 に示す。本稿で扱うトランスポンダは、外部からの電波による電磁誘導によって起電力を発生させるため、共振作用によって必要以上の電圧がロジック回路にかかることを防ぐ必要がある。そのため誘導電流を整流、平滑回路によって直流電流に変換したのち、定電圧回路を経由してロジックに印加する。電源供給用の正弦波はピーク検出回路を介することでクロック信号に変換する。また信号送信のタイミングに用いるパルス生成をクロック信号から行う。

ダイオードやトランジスタ等のアナログ素子はカスタムセル設計 [4] し、シミュレーションによる動作確認の上、手動で配置配線を行った。電荷の蓄電を担うコンデンサは MOSFET の

寄生容量成分を利用し、アナログ・デジタル回路を配置した残りの部分に敷き詰めて大きな容量値を確保している。

#### 3.3.2 デジタル回路

デジタル回路の構成は図 2 のロジック部で示される。CDMA の信号拡散と TDMA の時間スロット選択を行う演算回路、及び ID を格納する ROM からなる。なお拡散符号と時間スロットは、タグの ID を初期値として生成する乱数を元を選択する。

これらのモジュールを Verilog HDL で記述したものを、最大ファンアウト 4.0、最大遅延 2.0nsec の制約条件のもとで論理合成し、0.18 $\mu\text{m}$  プロセスの汎用セルライブラリを用いて自動配置配線によるレイアウトを行い実装した。

#### 3.4 チップレイアウト

本稿で提案する RFID システムの評価用トランスポンダのチップ写真を図 4 に示す。配置配線は手動レイアウトにて行っている。0.18 $\mu\text{m}$  の CMOS プロセスを用いて設計し、チップサイズは縦横 800 $\mu\text{m}$  となっている。

誘導電流による影響を考慮して、アナログ回路とデジタル回路を隔離して配置し、両者の間を含む残りの部分にキャパシタンスセルを隙間なく敷き詰めた。

#### 3.5 リーダの構成

リーダにおけるアナログ信号処理と復調の手順、及びフィルタ回路の回路図を図 5 に示す。リーダのアンテナは電力供給用のものと信号受信用のものを用意し、電力供給用のアンテナからは受信動作中 13.56 MHz の正弦波を送信し続け、タグに電力を供給する。この正弦波を動作クロックに用いられることもある。

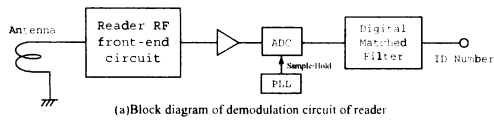
アンテナで受信した信号はフィルタリングと増幅を行い、搬送波とタグの情報信号に分離する。搬送波から分離した受信信号は A/D 変換器を通したのち、相関演算によって ID 情報を復元し、データベースへの登録及び参照を行う。

## 4. 検証実験と考察

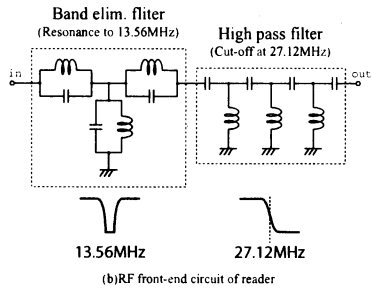
試作チップの実測に先立って、動作検証及び消費電力の評価を計算機シミュレーションにて行った。さらに回路規模とレイアウト面積について考察を行う。

#### 4.1 機能検証

アナログ回路部の機能検証を回路シミュレータ HSPICE によ



(a)Block diagram of demodulation circuit of reader



(b)RF front-end circuit of reader

図5 リーダのRF回路図

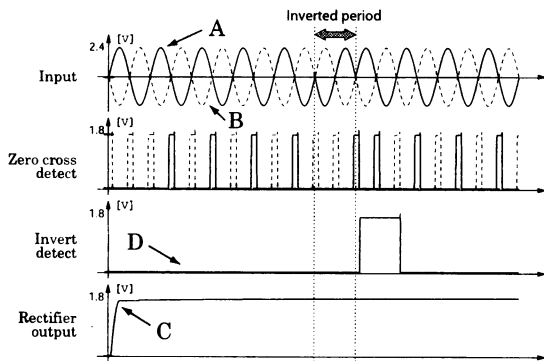


図6 シミュレーション結果の波形図

るシミュレーションで行った。アナログ回路及びインタフェース回路をネットリスト入力し、周波数 13.56MHz、振幅 2.4 V の正弦波を入力とした場合の回路動作をみる。また適当なタイミングで一区間の位相を  $\pi$  ずらし、反転波入力に対する回路の動作を調べた。この結果得られた波形を図 6 に示す。

この結果、まず正弦波による誘導起電力の発生によって、電源供給回路が十分な電圧を回路に供給していることが確認できた。次に正弦波の振幅値が 0 付近になるタイミングを回路が正しく検出し、パルスを立ち上げていることを確認した。信号の送信はこの 0 付近のタイミングに合わせて変調した情報を重畳させることで行う。また前述の SRF を用いた反転波検出回路が反転波を検出し、内部ロジックに変調の開始を伝えるためのフラグ信号を生成していることを確認した。

#### 4.2 消費電力

トランスポンダはアナログ回路、デジタル回路、及びキャパシタンスで構成されているが、電力の大半は主にデジタル回路で消費される。このため、消費電力の評価はデジタル部の電力消費量の算出によって行うこととする。ロジック部の回路パラメータを抽出し、実装回路が動作したときのロジック回路の消費電力を動作シミュレータ PowerMill にて求めたとこ

表3 トランスポンダ回路の緒元

動作周波数	13.56 MHz
最大多重数	64
プロセス	0.18 $\mu\text{m}$ CMOS
トランジスタ数	1198 tr
チップ面積	0.64 $\text{mm}^2$
アナログ回路面積	2520 $\mu\text{m}^2$
デジタル回路面積	10000 $\mu\text{m}^2$
消費電力	23.4 $\mu\text{W}$

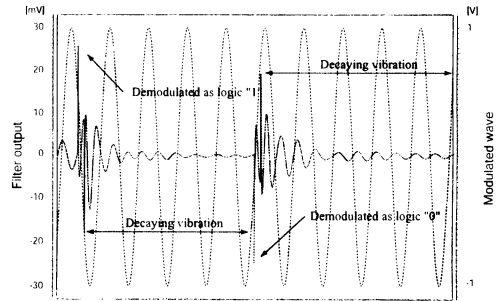


図7 一次変調のシミュレーション結果

ろ、得られた平均電力は 23.4  $\mu\text{W}$  であった。

#### 4.3 回路規模

本回路のトランジスタ数を配置配線後のレイアウト結果から抽出した MOSFET 数として算出するとともに、回路の面積を同様にレイアウトから計測した。この結果、ゲート数及びトランジスタ数は十分低く押さえられていることが分かった。またデジタル部とアナログ部を合わせた回路の面積は 12520  $\mu\text{m}^2$  となり、これは 800 $\mu\text{m}$  角のチップの 19.6% を占めるのみにとどまっている。従って提案方式を用いたトランスポンダ IC は、非常に小さい実装面積で実現できるといえる。

以上のシミュレーション結果及び計測結果をまとめ、表 3 に示す。

#### 4.4 データの復調

リーダにおける信号の復調を HSPICE でシミュレーションし、評価を行った。図 5(b) で示したフィルタ回路のモデルを作成し、同じくモデル化したトランスポンダ回路で変調した信号を入力として与えたときの出力波形をみた。

信号の変調は搬送波としての正弦波に 1/20 の信号強度を持つ情報パルスを、4 周期ごとに 0 及び 1 を表す位相の位置に重畳させて行い、シミュレーション結果を出力波形を図 7 に示す。この結果、変調時に重畳させたパルス信号が減衰波を伴うものの、約 26 mV の振幅で復調された。従って、提案システムに採用した一次変調方式によって、情報信号の変復調が正しく行われることを確認できた。

### 5. 実測と考察

#### 5.1 誘導起電力の測定

リーダアンテナからの非接触給電によって、トランスポンダに十分な電力供給が行われるかどうかを確認した。誘導起電力

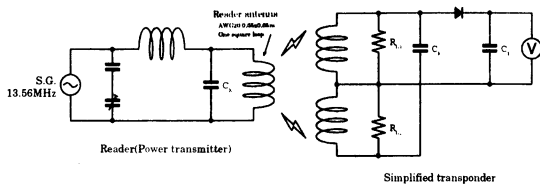


図 8 誘導起電力の測定用回路

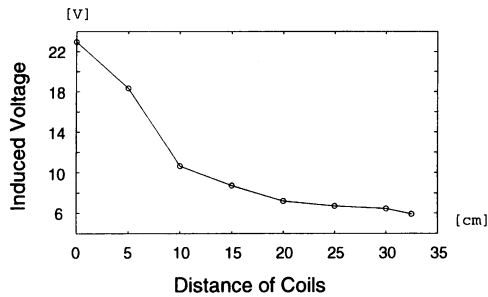


図 9 ループアンテナの誘導起電力

の測定に用いた実験システムの概要を、図 8 に示す。

リーダアンテナは一辺 0.65m の立方体のフレームに  $0.65 \times 0.65 \text{ m}^2$  のループアンテナを 2 つ対面の位置に持つ構造で、各アンテナにシグナルジェネレータを用いて周波数 13.56MHz、電力 20 dBm の正弦波を流した。トランスポンダ側は起電力測定のために LRC 回路で単純化したものを用い、ダイオードで整流した回路電圧を電圧計で測定する。

リーダアンテナ内の空間において、各位置で測定した起電力の電圧値を図 9 に示す。誘導起電力はタグがアンテナから離れるほど小さくなるが、リーダアンテナを改良しアンテナから最も離れた位置でも 5.91 V の電圧が発生した。この結果、このリーダシステムで給電される電力はトランスポンダを駆動するのに十分であると言える。

## 5.2 回路動作の確認

次に信号の変復調方式の確認を実回路を用いて行った。提案システムでは正弦波の振幅の 0 付近に信号を重畳させ、リーダでフィルタ回路を介して搬送波と分離することで信号の復元を行う。そこでフロントエンド回路として図 5(b) に示したフィルタ回路を製作し、回路の出力をオシロスコープに接続して正しく復調されているか確認した。

トランスポンダ回路が出力する波形をシグナルジェネレータで模擬的に生成させて、フィルタを介した信号波形をオシロスコープで測定した。波形は 16 周期のうち 9 周期の区間に 0、残りの区間に 1 に対応する位相の位置に、搬送波の振幅に対して 20 分の 1 の大きさのパルスを重畳させたものとした。入力を印加したときの測定結果を図 10 に示す。上側の波形はフィルタ回路を通した信号の波形を表し、下側は搬送波の波形を表している。

計測結果から、フィルタ回路にトランスポンダ回路の 0、及び 1 を示すインパルス信号が重畳されていることを確認した。

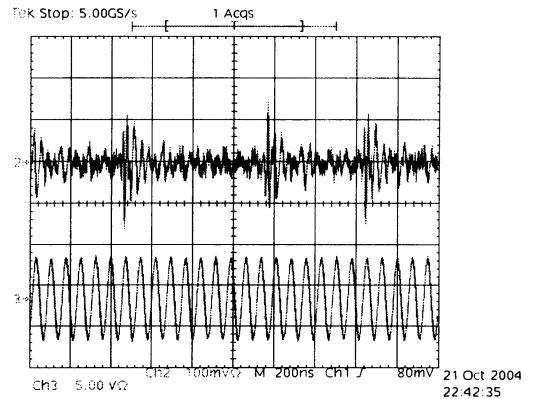


図 10 トランスポンダ回路の出力

このパルス信号は 2 節で述べた位相を用いた一次変調の仕様通り、電力供給波の振幅が 0 付近の位置に重畳されていた。従って、提案システムの仕様通りのタイミングで変調パルスを重畳させた信号が発信され、リーダのフロントエンド回路で情報信号と搬送波に分離できることが確認できた。多重通信時にはこのパルス信号が重畳された形で入力信号となり、これを AD 変換したのちに復号演算を行い ID 情報の復元を行う。

## 6. まとめ

本稿では、低消費電力で実装面積を小さく抑えた構造で実装出来るとともに、約千個のタグを欠落させることなく高速に識別するための輻輳制御方式の提案を行った。スペクトラム拡散と時分割多重方式を併用し、実用上問題の無い通信誤り率で通信可能なパラメータを確率的に導出した。また変調方式の確認を目的としたトランスポンダ IC を設計、実装し、シミュレーション結果と実測結果を合わせて評価と考察を行った。

その結果特に一次変調について、シミュレーション及び RF 回路における実測の両方で変復調が正しく行われていることを確認した。またトランスポンダ IC の実装面積と消費電力の測定結果より、両者が非常に小さく抑えられていることを確認した。

謝辞 本チップ試作は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し、株式会社日立製作所および大日本印刷株式会社との協力で行われたものである。

## 文 献

- [1] Finkenzeller, K.: RFID-Handbuch, Carl Hanser Verlag, 1998
- [2] 松尾憲一: スペクトラム拡散技術のすべて, 東京電機大学出版部, 2002
- [3] Lee, J. SS. and E. Miller, L.: CDMA Systems Engineering Handbook, Artech House Publishers, 1998
- [4] Hastings, A.: The Art of Analog Layout, Prentice Hall, 2000
- [5] Y.Fukumizu : A Highly Collision Resistive RFID System, APSITT, 2003