

電子交換機用固定記憶装置

Permanent Memory for Electronic Switching System

二見二郎*
Jirō Futami

森山寛美*
Hiromi Moriyama

荒井雄二*
Yūji Arai

近藤晋*
Susumu Kondō

木村勇*
Isamu Kimura

小林英二*
Eiji Kobayashi

要 旨

本論文のメタルカード記憶装置は容量 200 万ビット、サイクルタイム $2 \mu\text{s}$ で内容は装置、モジュール、ロードに大別されている。装置としては 40 年間割当ダウンタイム 0.1 時間以内という信頼度を確保しかつ経済性も考慮し、レベルダイヤグラム、タイムダイヤグラムの設計に統計設計法を導入し、電子回路設計に最悪値設計を適用してある。モジュールは素子の線形性に着目して拡大モデル実験によるモジュール構成要因の実験式を作成し、励振板、読取ケーブル、組立寸法などの公差配分が適切に可能になったことを設計と実測を比較して示した。これは適用に汎用性があり今後の改良設計にじゅうぶん活用できるものである。情報書替えはメタルカードの差し替えによるため、取り扱いが簡便で、低コストなカードそう入具を開発した。

1. 緒 言

DEX-2 電子交換機は日本電信電話公社電気通信研究所を中心として日本電気株式会社、沖電気工業株式会社、富士通株式会社および株式会社日立製作所の共同研究により開発された。

DEX-2 電子交換機では、変更ひん度が低く、記憶内容の保存性が確実で、しかも高速アクセスを必要とする呼処理プログラム、障害処理プログラム、実行管理プログラム、運用管理プログラムなどを記憶させる固定記憶装置として、メタルカード記憶装置⁽¹⁾⁽²⁾が採用された。本装置はメタルカードを差し替えることで記憶内容を変更することができるが、電気的構成上は読取専用記憶装置である。本装置は日本電信電話公社電気通信研究所で発明されて以来、約 10 年間にわたり研究、改良が加えられてきた。今回、現場試験が行なわれる半込局納め 200 万ビットの装置の設計、製造を担当したので、その概要を述べる。

2. 設 計 方 針

DEX-2 電子交換機システムからの要求値は、サイクルタイムが $2 \mu\text{s}$ 、装置内アクセスタイムが $1.34 \mu\text{s}$ 、容量が 64 K 語 (1 K 語 = 1,024 語)、予備語が 4,096 語、語構成が 33 ビット、したがって、ビット容量が $2,162,688 + \text{予備 } 135,168$ ビットである。並列同時運転形式におけるダウンタイムが 40 年間に 0.1 時間以内である。

外部条件として温度が $0 \sim 50^\circ\text{C}$ 、架内温度が $0 \sim 65^\circ\text{C}$ 、電源電圧の直流変動が $\pm 6\%$ 、交流雑音が $\pm 4\%$ である。

装置設計に際し、時間配分とレベル配分を行ない、モジュール、電子回路などの構成要素に対する要求値を決定したのち、各要素の内容を検討したところ、最悪値設計法では経済性から見て不相当であることが判明したので、装置の時間配分、レベル配分、それにモジュールのレベル配分にはモンテカルロ法による統計設計を採用した。なお、電子回路は原則的に最悪値設計法によった。この結果、3、4 で述べるような設計値を得て、製造後の試験結果から本設計法の妥当性が確認された。

3. 装 置 の 概 要

3.1 装置の外観

図 1 は装置の外観写真で 1 装置が 4 架構成である。

3.2 装置の電気的構成と動作概要

構成図を図 2 に示す。本装置の動作には正常動作と保守制御動作

* 日立製作所戸塚工場

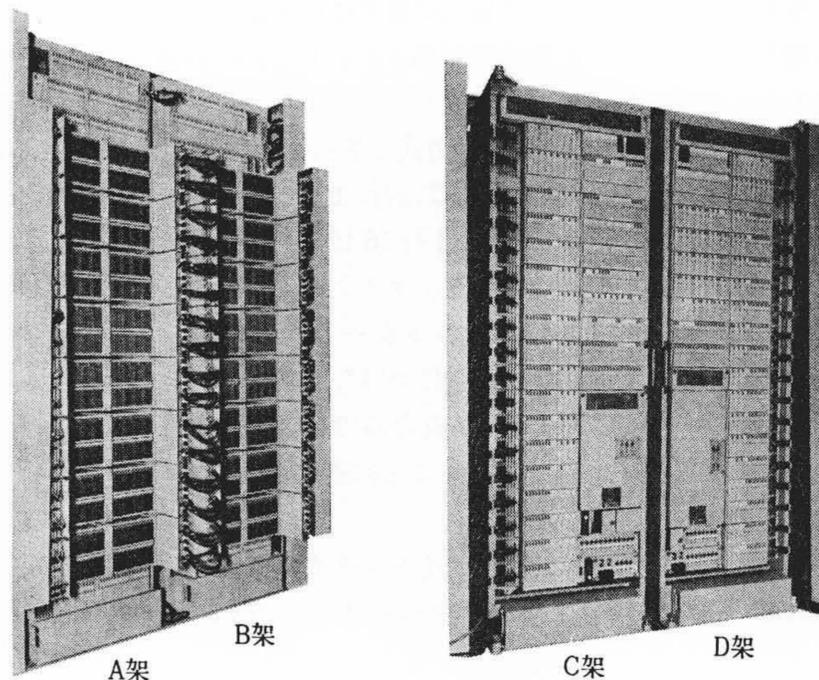


図 1 DEX-2 固定記憶装置外観

があり、正常動作にはメモリアドレスバスからの番地情報に対応した番地の記憶内容を読み取り、メモリアンサバスに返送する正常モードと、あらかじめ保守制御動作で指定された診断点の状態をアンサバスに返送する診断モードがある。保守制御動作では内部フリップフロップを制御し、入出力ルートを選択、装置ネームの書替え、診断モードの指定、マージナル試験のためのレベル設定などを行なう。各動作では主要動作点の状態をモニタし、それらの動作がすべて正常の場合にのみ装置動作が指定どおりらしいことを確認する ASW (All Seems Well) を返送情報に付加する。診断プログラムの完備によって、本装置の自動診断はパッケージ単位まで識別されることを前提としている。

3.3 レベルダイヤグラム

モンテカルロ法によるシミュレーションによって装置の動作 S/N を設計した。その際の要因図と特性は図 3 に示すとおりである。励振波形は図 4 に示すパルスサイン波である。図 4 から最悪値設計のレベルダイヤを作ると図 5 となる。"1" の平均値は当然ながらモジュールの結合減衰量で、偏差は同減衰量とゲートの影響が大きい。"0" の平均値は弁別幅、カード 0/1 比、読取線隣接結合の順で、偏差は ROG の開閉雑音 (図 3 ではパルス性雑音)、隣接結合、DG の漏えい ("閉" の値) の順に影響を受ける。

3.4 タイムダイヤグラム

同じくモンテカルロ法によるシミュレーションによって設計し

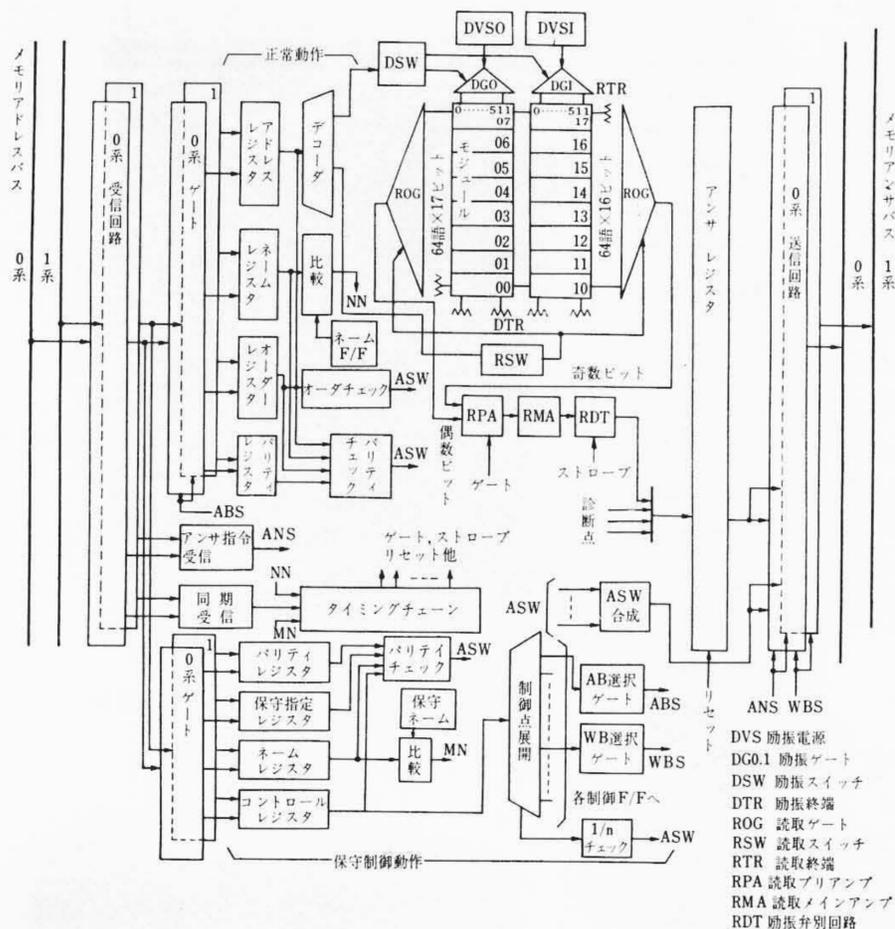


図2 ブロックダイアグラム

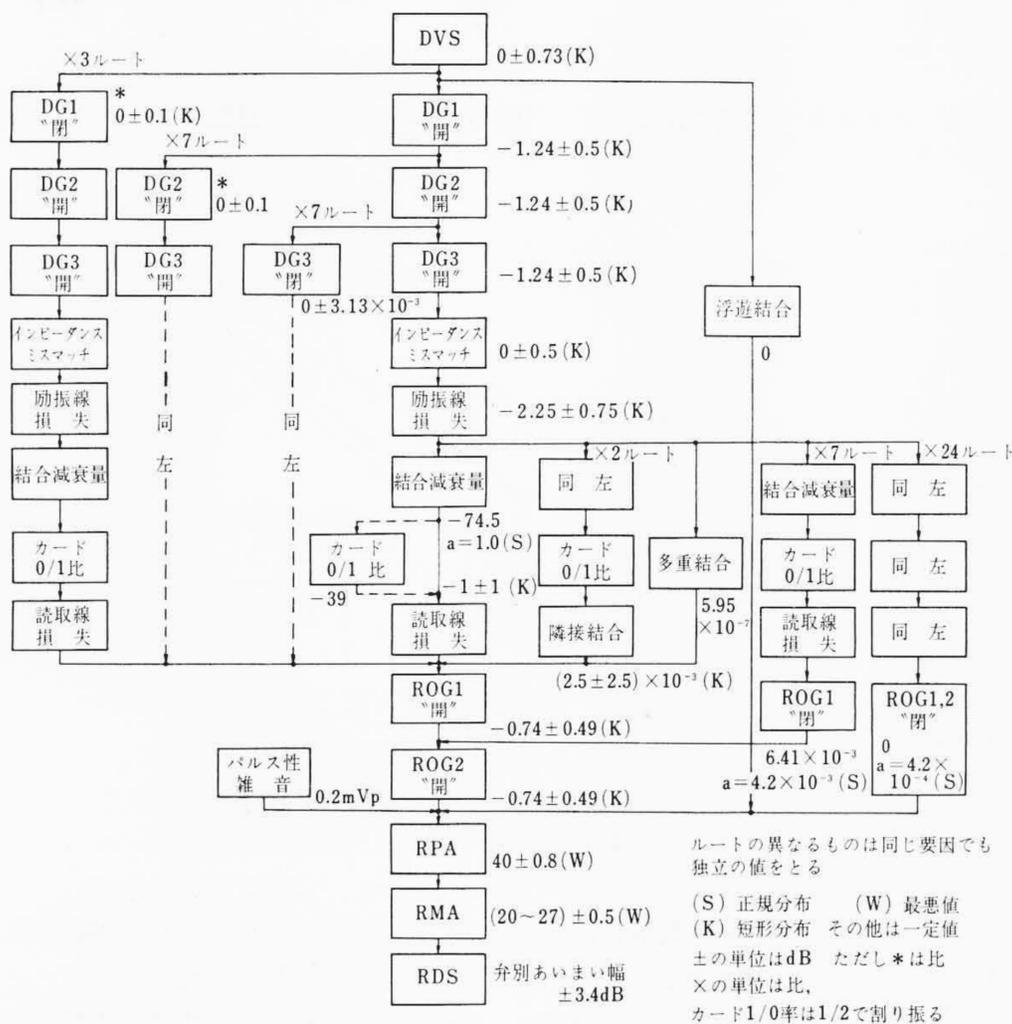


図3 レベル要因図

た。図6は要因図、図7はタイムダイアグラムである。各ルートの交点で確率的に動作を保証するようにタイミングを合わせるように試行錯誤で設計する。この結果、装置内アクセスタイムが $1.24 \pm 0.1 \mu s$ 、で要求仕様を最終的に満たさなくなる装置が2%である。

4. メタルカード記憶モジュール

4.1 メタルカード記憶の原理

図8に示すように、励振線対と読取線対を平行に置き、励振線

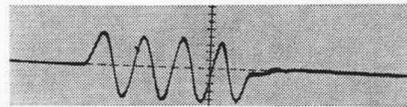


図4 励振波形

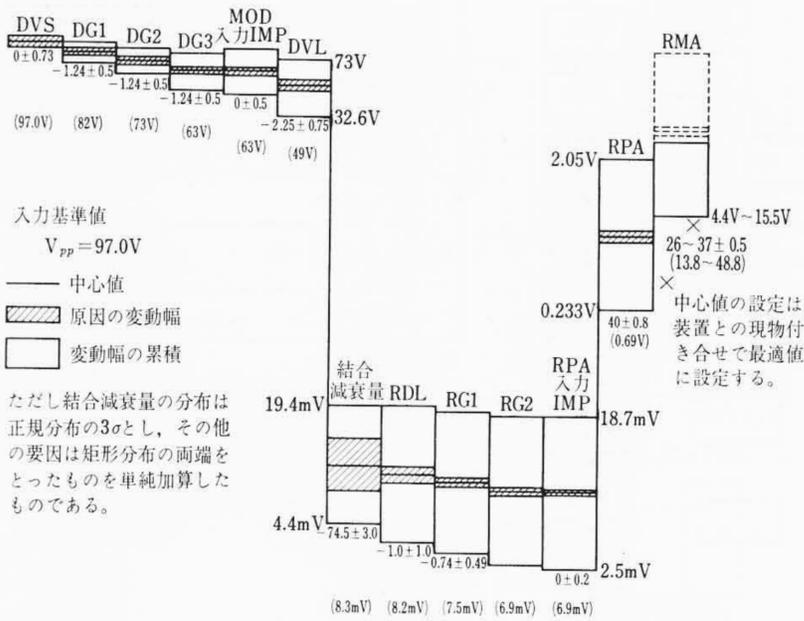


図5 レベルダイアグラム

対に高周波電流を流せば、電磁誘導により読取線に高周波電流が流れる。励振線対と読取線対との間に金属板をそう入し、これに穴があいていると結合があり出力が得られるので"1"信号、穴がないと結合がなく出力がなくなるので"0"信号とすれば、金属板により2値の記憶が可能となる。この金属板を情報カード(メタルカード)と称し、記憶はこの情報カードに穴の有無、無しという形で記憶される。

4.2 メタルカード記憶モジュールの構成

実際のモジュールでは、図9に示すように励振線対はプリント配線技術により励振板とし、読取線対は補強板で裏打ちされたテープケーブル状にし、これらをスペーサを介して積み上げることにより組み立てる。情報カードは、スペーサでへだてられた励振板と読取ケーブルとの間にそう入される。

メタルカード記憶において最も重要な特性である読取減衰量に対しては、寸法精度が支配的なので、記憶細胞を形成する部品材料には長期安定性にすぐれたものが要求され、励振板にはアルミ心入り紙エポキシ積層板を、読取ケーブルには 0.2ϕ 銅線をポリエチレンコーテッドポリエステルフィルムにラミネートしたものにガラスエポキシ積層板を裏打ちしたものをを用いた。スペーサはガラスエポキシ積層板である。

また、励振板は印刷配線技術により作られるが、励振線とメタルカードとの電気的接触を断つため、アイオノマ樹脂サーリンAフィルムを加熱圧着した。

図10は完成したモジュールであるが、このモジュールには264ビットを記憶する情報カードが512枚そう入でき、135,168ビットの記憶容量をもっている。

4.3 記憶細胞の寸法精度と読取減衰量⁽³⁾

4.3.1 拡大モデル実験

メタルカード記憶モジュールの最も重要な特性は、読取減衰量とそのばらつきであるが、これに対しては記憶細胞の寸法精度が支配的である。そこで、メタルカード記憶が線形結合を基本と

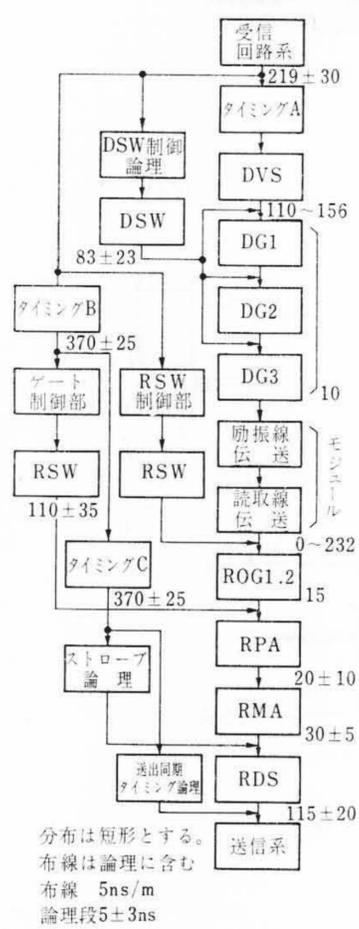


図6 タイム要因図

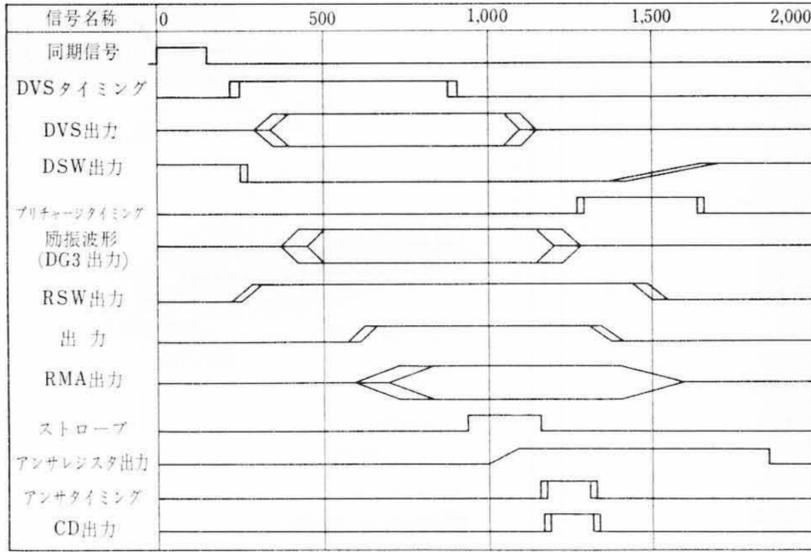


図7 タイムダイアグラム

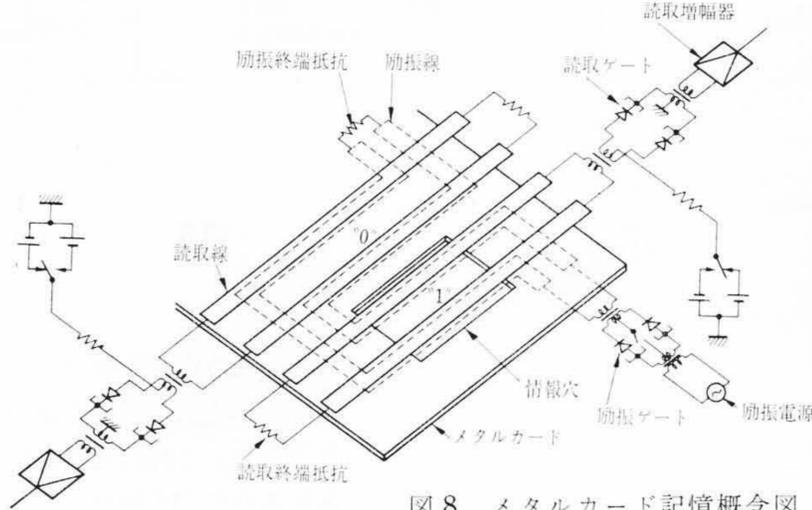


図8 メタルカード記憶概念図

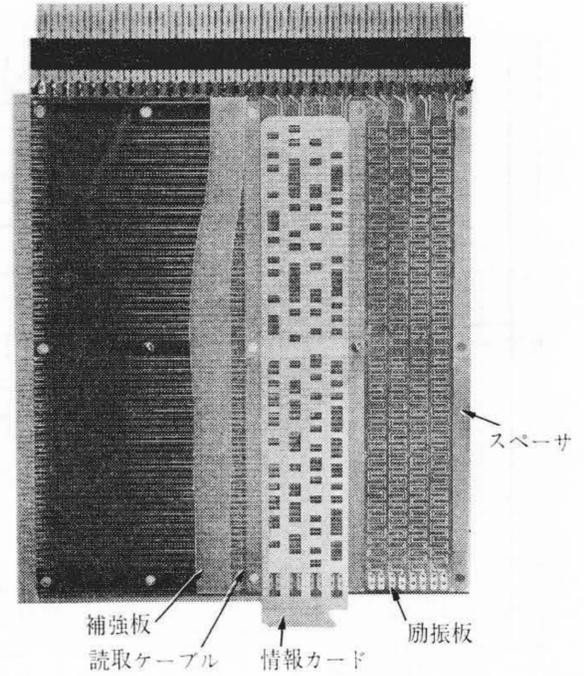
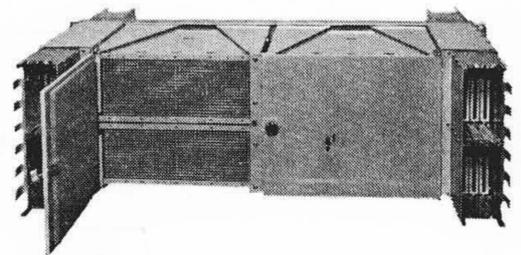


図9 メタルカード記憶細胞を構成する主要部品



(前から見たところ)

図10 メタルカード記憶モジュール

表1 拡大モデル実験 割付けと結果

項#	要因	記号	水準			判定と寄与率
			1	2	3	
1	励振線と読取線間の距離	A	0.5 (10)	0.7 (14)	0.9 (18)	**83.0
2	励振線と読取線y方向のずれ	B	0	0.15 (3)	0.3 (6)	** 8.8
3	項# 1, 2 の交互作用	A×B	—	—	—	** 0.5
4	カードの穴y寸法	C	3.2 (64)	3.3 (66)	3.4 (68)	* 0.1
5	励振線のx方向の距離	D	5.25 (105)	5.5 (110)	5.75 (115)	* 0.1
6	励振線間の距離	E	0.9 (18)	1.0 (20)	1.1 (22)	** 1.4
7	励振線の厚さ	F	0.05 (1)	0.075 (1.5)	0.1 (20)	* 0.1
8	読取線とアース板間の距離	G	0.43 (8.6)	0.58 (11.6)	0.73 (14.6)	** 1.4
9	カードと励振線のずれy方向	H	0	0.25 (5)	0.5 (10)	** 0.6
10	励振線とアース板間の距離	I	0.3 (6)	0.45 (9)	0.6 (12)	** 1.0
11	カードと励振線のずれx方向	J	0	0.5 (10)	1.0 (20)	** 0.2
12	読取線間の距離	K	0.9 (18)	1.0 (20)	1.1 (22)	** 0.4
13	カードの穴x方向	L	4.8 (96)	5.0 (100)	5.2 (104)	** 0.6
14	カードの位置	M	0.125 (2.5)	0.1625 (3.25)	0.2 (4.0)	—
15	励振線の幅	N	0.4 (8)	0.5 (10)	0.6 (12)	—

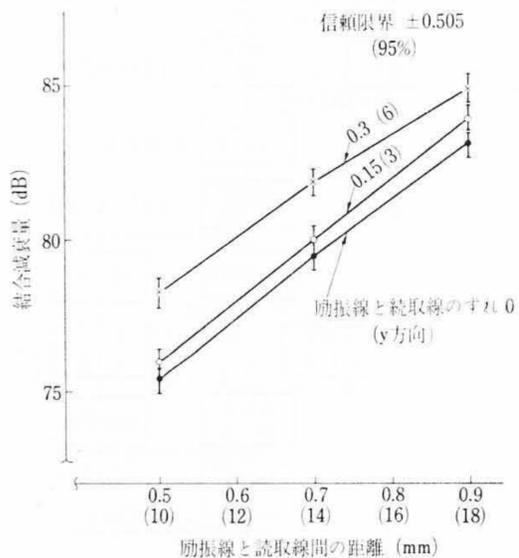


図12 拡大モデル実験 要因A, Bに関する効果

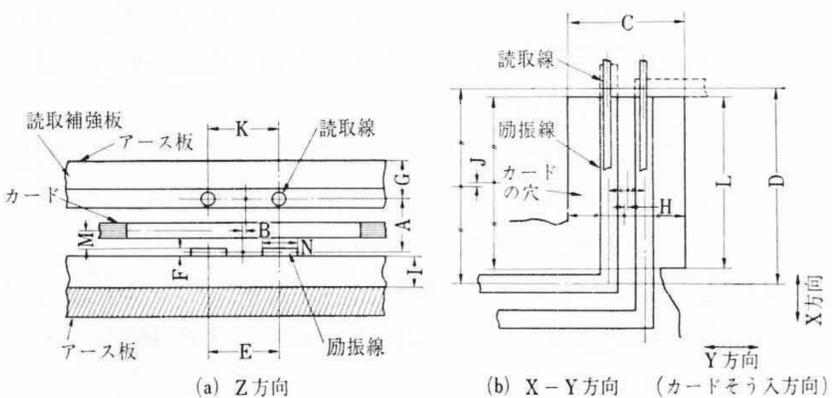


図11 拡大モデル実験 要因記号説明図

していることを利用して、記憶細胞を構成する各部品の寸法精度と読取減衰量との関係を拡大モデル実験により求め、読取減衰量に関する観測方程式を作成し、組合せ確率を前提とした統計的

法により、現状技術で経済的に達成できる精度の部品を用いて組み立てたモジュールの読取減衰量の分布を推定した。

拡大モデルの拡大率は、原寸における精度が実現できる最小の大きさで、しかも取り扱いやすいという観点から20倍を選定した。励振周波数としては、実際に使用する5MHzの1/20の250kHzを用いた。

拡大モデル実験の割付表および分散分析の結果の一部は表1に示すとおりである。表中の記号は、図11に示してあるので参照されたい。

表1からわかるように、励振線と読取線間の距離A、励振線と読取線のy方向のずれB、およびそれらの交互作用A×Bで寄与率92.3%を占めており、これらが支配的である。

図12は要因A, Bに関する効果をグラフで示したものである。

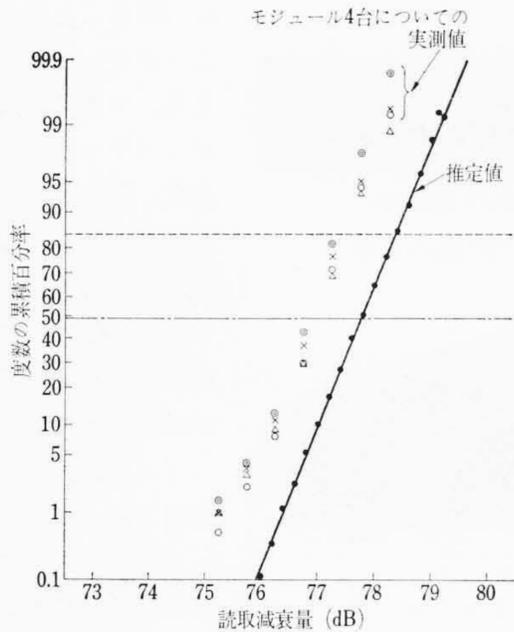


図13 メタルカード記憶モジュールにおける読取減衰量と度数の累積百分率

表2 主要な電気特性の代表例

項#	項目	カード条件	測定値			単位	
			平均	最大	最小		
1	特性インピーダンス	励振線	all 1	96.6	99	94	Ω
			all 0	80.8	83	79	
		読取線	all 1	137.8	139	136	
			all 0	123.7	126	121	
2	伝送損失	励振線	all 1	0.110	0.111	0.108	dB/m
			all 0	0.115	0.120	0.111	
		読取線	all 1	0.092	0.094	0.090	
			all 0	0.098	0.102	0.094	
3	伝送時間	励振線	all 1	5.73	5.77	5.68	ns/m
			all 0	5.77	5.91	5.68	
		読取線	all 1	5.80	5.97	5.87	
			all 0	5.87	5.87	5.87	
4	隣接線間結合減衰量	励振線	all 1	遠端	61~63		dB
				近端	58.8~60.5		
			all 0	遠端	61.2~63.2		
				近端	58.6~61.1		
		読取線	all 1	遠端	54.9~61.9		
				近端	42.7~48.5		
			all 0	遠端	52.9~59.7		
				近端	42.8~48.5		

4.3.2 観測方程式の作成

拡大モデル実験の分散分析の結果、危険率1%で有意となった要因について回帰分散分析を行ない、さらに危険率1%で有意な要因について直交多項式を用いて次に示す観測方程式を作成した。

$$\begin{aligned}
 \text{結合減衰量} = & 80.35 + 18.44(A - 0.7) + 7.72(B - 0.15) \\
 & + 24.77\{(B - 0.15)^2 - 0.015\} \\
 & + 2.57(A - 0.7)(B - 0.15) - 4.69(E - 1.0) \\
 & - 3.17(G - 0.58) + 1.19(H - 0.25) \\
 & - 2.57(I - 0.45) + 41.85\{(K - 1.0)^2 - 0.007\} \\
 & - 1.58(L - 5.0) \pm 0.44 \text{ (dB)} \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

4.3.3 読取減衰量の分布の推定

(1)式は記憶細胞に関する結合減衰量の式なので、この式に伝送損失として1モジュールについて励振線は0~0.3dB、読取線は0~0.9dBの間に均等に分布するとして(1)式に加え、読取減衰量に関する式とした。この式を用いモンテカルロ法により読取

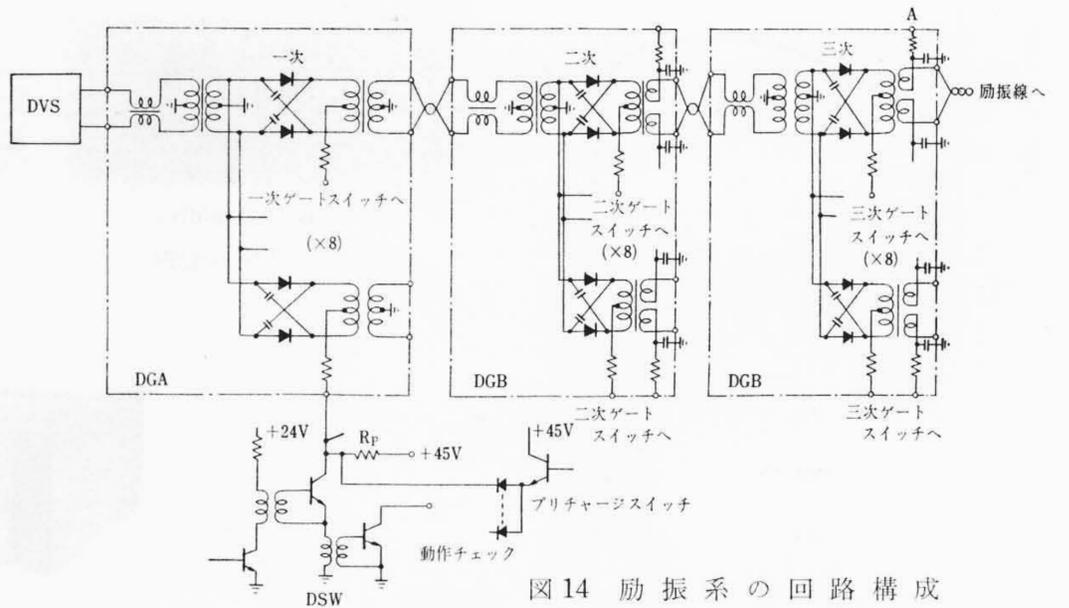


図14 励振系の回路構成

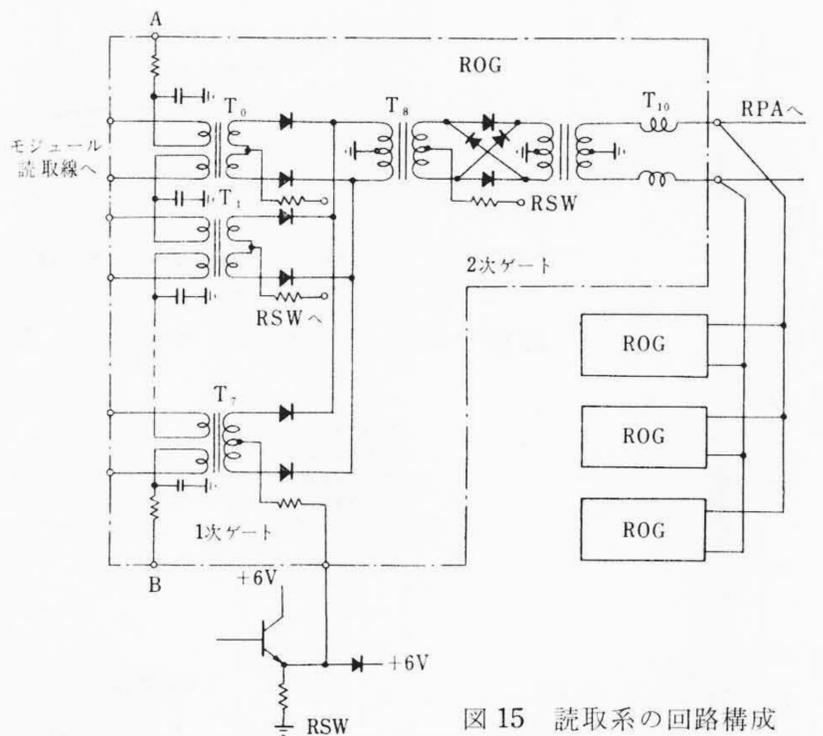


図15 読取系の回路構成

減衰量の分布を推定した。結果は図13に示すとおり、推計紙上ではほぼ直線となり、分布形は正規分布とみなし得る。

4.3.3 実測値との比較

図13には、DEX-2用に製作したモジュール4台の実測値も記入してあるが、比較的よく一致しており、このような統計的手法の有用性が実証された。平均値に約1dBの違いがあるが、これは図12からわかるように、励振線と読取線間の距離にして約50μ小さいことに相当する。実際に組み上げたモジュールの、情報カードそう入スペースの実測結果からも同じ値が観測されており、この分の修正を行なえば、推定と実測は全く一致することになる。

4.4 そのほかの主要な電気的特性

表2は、特性インピーダンス、伝送損失、伝送時間、隣接線間結合減衰量の測定結果の代表例である。

5. 周辺回路

モジュール周辺の直接周辺回路の主要部を示したのが図14である(略号は図2参照)。DGはトランスダイオードゲートで、DVSの出力で80V_{p-p}、三次ゲートの出力で約50V_{p-p}であるためゲート開で無バイアス、閉で+45Vに逆バイアスとしている。動作速度を高めるためプリチャージスイッチから200nsでチャージングしたのち抵抗Rpで+45Vのレベルを保持する。ROGも同じ形式であるが、レベルが数mV_{p-p}なので開で3mAのバイアス電流、閉で無バイアスとした。RPA、RMA(図2参照)はいずれも平衡増幅器、RDTはカレントスイッチ形式の弁別器で、基準電圧を可変す

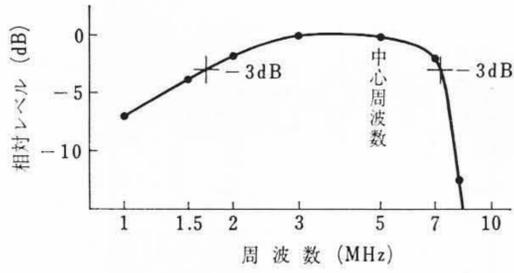


図16 読取系の周波数特性

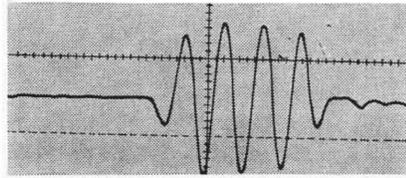


図17 "1" 出力波形

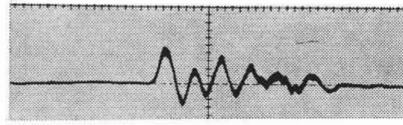


図18 "0" 出力波形

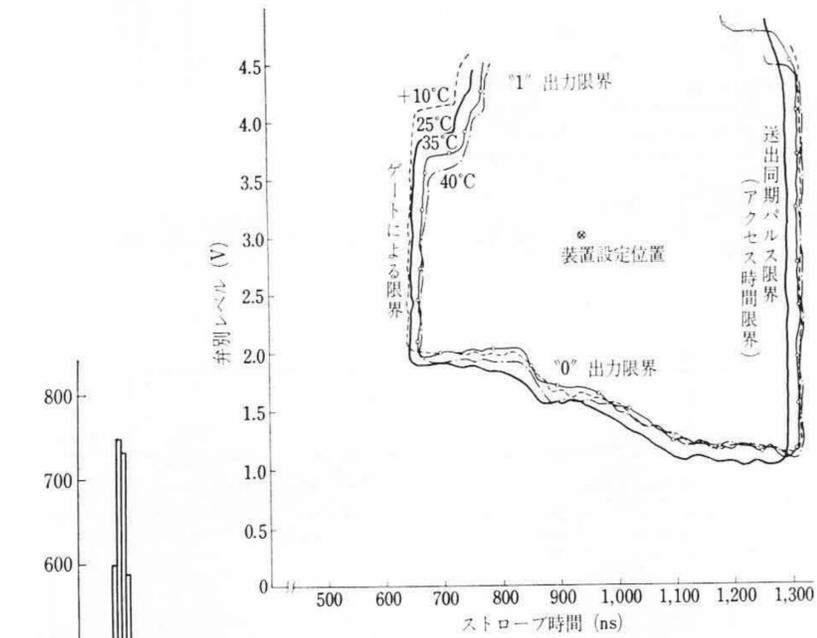


図20 ストローブ対レベルマージン

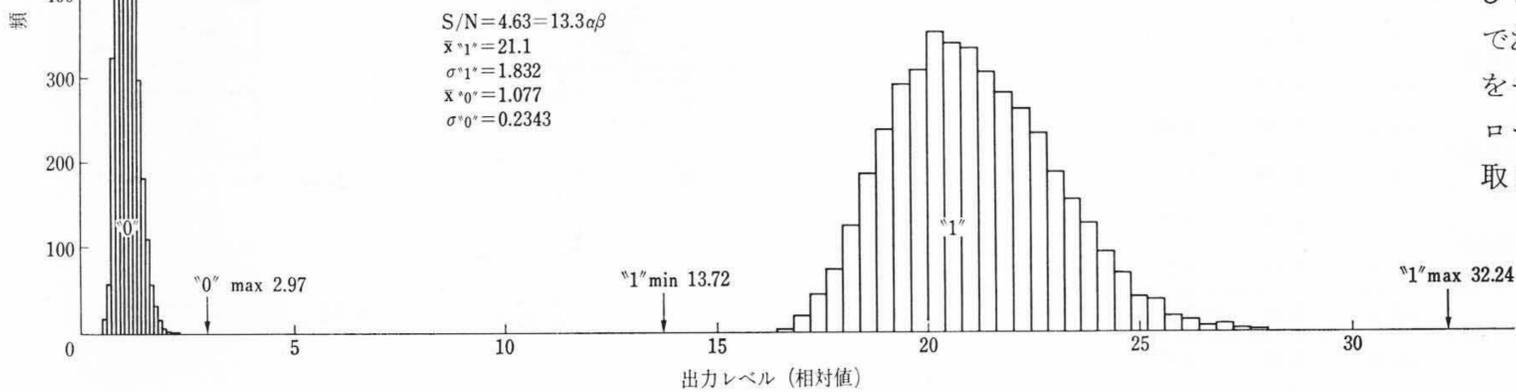


図19 出力分布

ることにより弁別レベルを制御しマージナルチェックを行なう。図4に示す波形は振幅変調波のため5 MHzを中心とする狭帯域で設計し、系の代表的周波数特性は図16である。ゲートの非線形によって生ずる第2高調波を抑圧するため10 MHzのカットオフフィルタをそう入した。

6. 総合特性

MRAの出力における"1"出力と"0"出力波形は図17,18に示すとおりである。"0"出力は第2高調波成分が優勢である。図19は出力分布を示したもので、図20は温度に対するストローブ対弁別レベルマージンを示したものである。これらの特性から初期値でじゅうぶんなマージンをもちS/N比は4であり、経年特性の実測が出ていないがほぼ設計どおりの所期の性能が得られた。時間関係は実測でサイクルタイムが1.72 μs,装置内アクセスタイムが1.18 μsであった。

7. 情報カード・ローディングシステム

DEX-2固定記憶装置1局分、2装置に収容される情報カードの数は、約17,000枚であるが、これを1枚1枚手でそう入することには問題があるので、そう入、抜去用の治具の検討を行なった。試作したカードローダ1式は図21に示すとおりである。

図22は情報カードの運用フローを示したものである。カードせん孔機でパンチされた情報カードは、サブモジュールの1コラム単

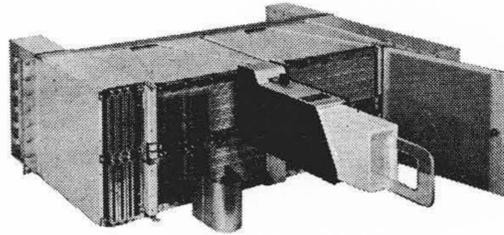


図21 情報カードローダー式

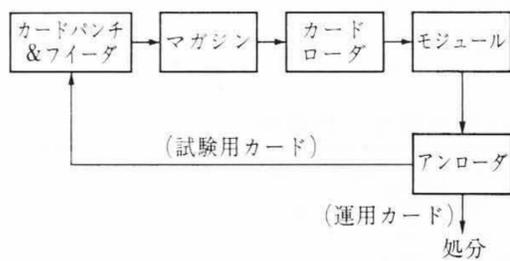


図22 カードローディングシステムにおける情報カードのフロー

位、32枚ごとに自動的にマガジンへそう入される。マガジンは発泡ポリスチレン製で、軽量化、消耗品化がはかられている。マガジンにはモジュールのカードそう入ピッチ(2 mm)に相当するみぞが設けられており、カードは2 mmピッチで保持される。

カードローダには二つの機能が持たせてある。一つは、モジュールのカードそう入部ピッチの変動を吸収するため、可変ピッチ形のラックを設けたこと、もう一つは、カードそう入位置に正しくローダを位置ぎめするためのストップ、ピンおよびフックを設けたことである。カードローダをモジュールに設けたローダ位置ぎめ金具に取り付け、カードのはいったマガジンを差しこみ、カードそう入板を用いて押しこむと、情報カードは32枚同時に

定位置へそう入される。

この方法は、ほとんど気を使うことなしにカードを扱うことができ、さしたる精神的負担なしに迅速、正確にカードのそう入が可能である。

用済みカードを抜去するには、構造簡単なアンローダを用い、32枚同時に引抜くことができる。

処理に要する時間は正味で、カードローダが128枚/分、アンローダが384枚/分であり、2装置分17,000枚については、カードローダ133分、アンローダ44分である。

8. 結 言

メタルカード記憶装置は、線形結合を基本としており動作原理が単純なため、設計と製造結果がよく一致し、また、励振系、読取系が平衡形であるため雑音に対し有利で、製造しやすいことが実証された。

終わりにのぞみ、DEX-2固定記憶装置の実用化に当たり、ご指導いただいた日本電信電話公社電気通信研究所、交換記憶装置研究室川又室長とほかのかたがた、また共同して設計に当たられた沖電気工業株式会社の関係者のかたがたに厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 大和ほか：通研研究実用化報告 Vol.15, No.7, P.707 (1966)
- (2) 小谷：通研研究実用化報告 Vol.16, No.11, P.2465 (1967)
- (3) 清水ほか：昭43信学全大 1145