

# デジタル磁気記録におけるダブルステップ形 記録波形補正方式の検討

土井 幸浩\*・西川 正明\*\*・桐原 昭雄\*\*

## An Examination of Read Pulse Slimming, in Digital Magnetic Recording Using Double Step Write Current Shaping

Yukihiro DOI, Masaaki NISHIKAWA and Akio KIRIHARA

### Abstract

The effectiveness of read pulse slimming method by double step write current shaping, reported by Jacoby, is examined in detail. In this method, each transition of write current,  $I_w$  is preceded and followed by a minor transition,  $I_e$  of oppsite polarity. AC bias current,  $I_b$  is added to linearize the write process of a medium. The half width  $W_{50}$  and amplitude  $E$  of isolated read signal are observed over a wide range of  $I_w$ ,  $I_e$  and  $I_b$ . Flux reversal density characteristics of read amplitude for all 1's pattern, and overwrite erase rate are also examined. The results can be summarized as follows:

- 1) The value of  $W_{50}$  can be reduced to be about 60 % of non-shaped read pulse, by setting  $I_w = 0.5 I_s$  ( $I_s$ : medium saturation current)  $I_b = 0.75 I_s$  and  $K_i = I_e/I_w = 0.8$
- 2) For the range of above setting value of  $I_w$ ,  $I_s$  and  $K_i$ , the flat portion of density characteristics is widened to be about twice the value for non-shaped saturation recording.
- 3) Overwrite erase rate becomes worse to be about  $-20$  dB or less and this is a weakness included in this method.

### 1. まえがき

デジタル磁気記録においては、アナログ記録に要求されるような入出力信号の波形的一致が問題とならない。このため従来飽和記録方式が多く採用されている。この方式は再生出力波形が安定し、また振幅も大きいことからSN比が優れている。またデータ更新時に重ね書きによるオーバーライト消去の特性など多くの点で優れた特性を持っている。だが現在、デジタル磁気記録は不揮発性の外部記憶用メモリとして更に高密度の記録を要求されており、その点においては自由度の少ない方式だと言わざるを得ない。

記録密度を向上させる方法は、装置、記録媒体、信号処理など種々の角度からの検討がされている。その中に入出力信号に適当な補正を加えて記録密度を向上させようとする試みがある。そのうち再生出力波形を波形等化器によって補正する方式はすでに多くの報告

がなされている。しかしながら再生出力を補正することでは、一般に出力に含まれる高域雑音をも同時に強調する結果となり、SN比の点で問題を生じる場合がある。

一方、記録信号を補正する方式は磁気記録の本質的特性である非線形性を無視できない。また未飽和記録を行うことになるため再生出力の低下や不安定さなどの欠点も多いが、媒体の磁化過程に手を加えることでより効果的な補正が可能となる。

本報告では記録時補正の中でJacobyによって報告された、ダブルステップ形波形補正<sup>1)</sup>を補正効果を中心に検討し、設計条件を明らかにするとともに実用化の際の問題点を論じる。

### 2. 実験方法

#### 2.1 ダブルステップ形波形補正方式

Fig. 1にJacobyの報告したダブルステップ形波形補正方式の概念図を示す。記録電流の主反転の前後に補正反転を設定し、再生時にこの補正反転による補正パ

\*大学院 電気工学専攻

\*\*電気工学科

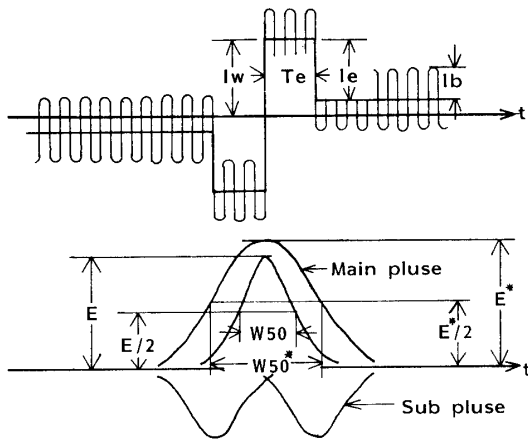


Fig. 1 Double step equalization.

ルスを主反転による主パルスに重畳させることで合成再生波形の波形幅を減少させ、記録密度の非干渉領域を広げる方式である。この方式は波形記録を重視するため未飽和領域における磁化の非線形性が大きな問題となる。そのため十分な線形性を保証する目的で、アナログ記録に使用される AC バイアスを重畳させることにした。

記録波形は記録電流  $I_w$ 、バイアス電流  $I_b$ 、補正電流  $I_e$ 、補正パルス間隔  $T_e$ 、の 4 つのパラメータにより決定される。測定の対象はある記録電流波形での再生パルスの出力  $E$ 、パルス半値幅  $W_{50}$  (Fig. 1) である。本報告では規格化のため次の二次パラメータを使用する。

$$\text{補正率} \quad K_i : K_i = I_e / I_w$$

$$\text{補正パルス幅} \quad K_t : K_t = 2 \times T_e / W_{50}^*$$

Fig. 1 の  $E^*$ 、 $W_{50}^*$  は  $I_w$  と  $I_b$  を一定とした無補正時再生出力波形の振幅、およびパルス半値幅である。

本報告では、これらのパラメータの補正に対する最適設定値を考察する。ところで補正効果の判断基準は明確に定まてはいない。このため再生出力振幅の過度の減少、また波形の乱れを伴わない範囲で波形幅を出来るだけ狭めることを条件とした。また孤立波のみにとどまらず、記録密度、オーバーライト消去特性についても考察する。

## 2.2 装置

本実験においてダブルステップ波形を発生する特別なデータ発生器を使用した。Fig. 2 にブロック図を示す。正弦波発振器の出力から必要なパルス列を発生させ、これを合成してダブルステップ形の補正データ信号を出力する。補正反転と主反転の間隔  $T_e$  はパルススイッチによって可変できる。 $T_e$  は簡単のため前後とも等しくした。また出力には AC バイアスを重畳で

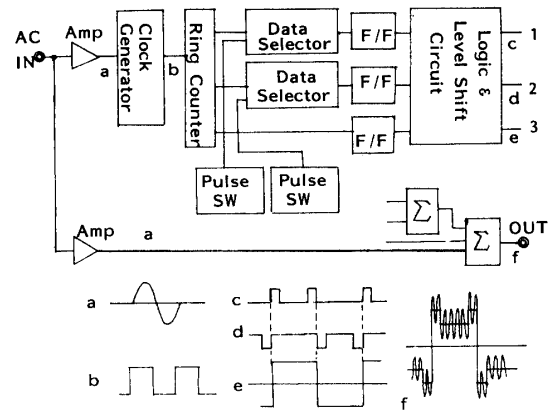


Fig. 2 Block diagram of Data generator.

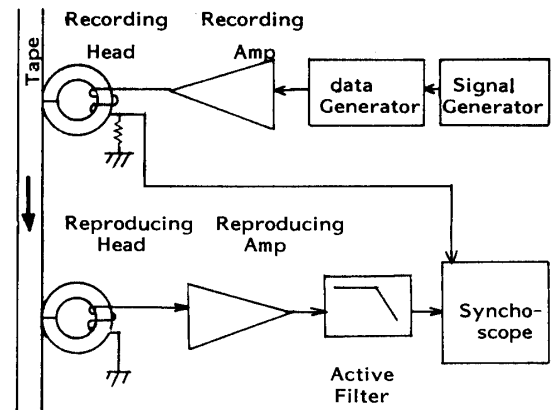


Fig. 3 Block diagram of experimental circuit.

きる。

補正用のデータ発生器を組み込んだ測定回路を Fig. 3 に示す。データ発生器出力は直線ドライバーで増幅され記録ヘッドに供給される。再生回路は再生アンプとアクティブフィルタで構成され、再生アンプはヘッド接続状態で約 50 kHz まで平坦な周波数特性を持ち、実験範囲に十分な特性である。フィルタは記録同時再生の時に伴うクロスフィールドノイズなど測定ノイズ軽減のため利用している。

テープ走行機構には市販 1/4 インチオープンリールデッキをテープ速度 9.5 cm/s で用いた。記録媒体とヘッドの諸元を Table. 1 に示す。再生は巻戻し再生減磁の影響を避けるため記録同時再生方式で行い、供試

Table 1

型名	全厚 ( $\mu\text{m}$ )	塗布厚 ( $\mu\text{m}$ )	Br (Gauss)	Hc (Oe)
3M-S800	46	8.1	985	285
Write Head gap Length		10 $\mu\text{m}$		
Read Head gap Length		2 $\mu\text{m}$		

媒体は記録に先立ちバルク消磁している。ACバイアス周波数は記録ギャップ長を考慮し予備実験を行った結果 100 kHz としてすべての実験について用いている。

### 3. 実験結果

実験は孤立波特性、記録密度特性、オーバーライト消去特性について行っている。まず ( $I_w$ ,  $I_b$ ) の設定について実験範囲を定めるため無補正時の特性を測定し各種磁化モード領域を判断した。等しい再生出力  $E$ , パルス半値幅  $W_{50}$  を結んだ図を Fig. 4, Fig. 5 に示す。

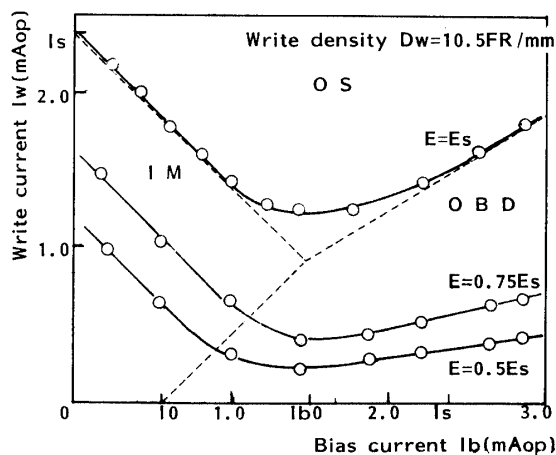


Fig. 4 Write current  $I_w$  giving the same relative read amplitude versus bias current  $I_b$ .

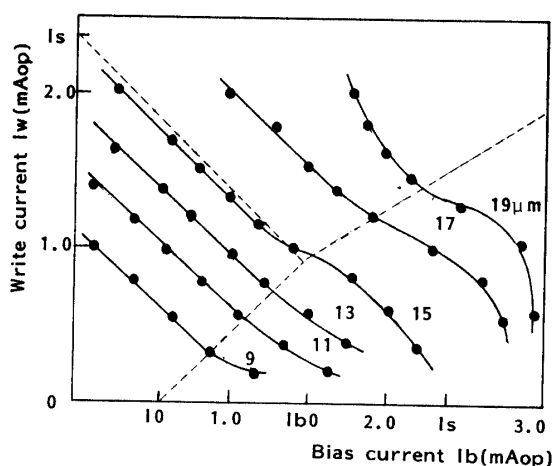


Fig. 5 Write current  $I_w$  giving the same half width of read signal versus bias current  $I_b$ .

これにより  $I_b$ - $I_w$  の平面は各々 IM (初期磁化), OS (過飽和), および OBD (過バイアス減磁領域) に分けることができる<sup>2)</sup>。ここで IM と OBD の各領域が媒体の

未飽和域に対応する。また OBD 領域において媒体の磁化が  $I_w$  のある範囲において線形化される。

孤立波特性は記録波形の 4 つのパラメータを設計し記録密度が十分低い ( $D = 10.5 \text{ FR/mm}$ ) 状態で再生出力波形の  $E$ ,  $W_{50}$  を測定した。記録密度特性、オーバーライト消去特性は孤立波特性の結果より適当なパラメータを選び検討した。記録密度特性は All 1's 連続パターンに対する再生出力, 消去特性は消去信号を簡単のため直流信号とし, 残留信号と再生出力振幅を各々測定し無補正時の特性と比較した。

### 3.1 孤立波特性

#### 3.1.1 補正パルス幅 $K_i$

各磁化領域における  $K_i$ - $E$  特性の代表例を Fig. 6 に示す。(a)は IM, (b)は OS, (c)は OBD 領域に対するものである。同じ磁化領域内での特性はこれに準じている。 $E$ ,  $W_{50}$  は無補正時を 100% として規格化している。 $K_i$  は前述のとおり  $K_i = 1$  の場合, 補正パルスのピークが主パルスの半値幅の両端に位置する。また図中の (U.S) はアンダーシュートによる波形の乱れの生ずる領域の境界を示す。IM, OS の両領域では図の(a), (b)でみるように  $K_i$  を狭めるに従い,  $E$ ,  $W_{50}$  は単調に減少する。 $K_i$  を定めると減少率は  $E$  に比べ  $W_{50}$  が大きく, 補正効果がみられる。しかしアンダーシュートによる波形の乱れ (Fig. 8 参照) がある。またアンダーシュートも補正パルス間隔を前後とも等しくしたにもかかわらず後側のアンダーシュートが大きく, これを除くことが難しい。これは記録ギャップ効果によるものと考えられ, Fig. 7 に示すように後縁の補正反転位置がほぼギャップ長分だけ後方にずれる現象であり, 記録ヘッドギャップを  $W_{50}^*$  に比べ十分小さくすることでかなり改善できる。以上のように IM, OS の領域では補正効果は認められるが波形の乱れが大きく, 補正の効果を有効に使うことはできない。Fig. 8 にアンダーシュートにより乱れた波形を示す。OBD 領域では予想に一致する補正効果が認められる。この領域においても  $K_i$  を大きくしすぎると, 当然のことながら補正パルスが主パルスと独立して生じるためアンダーシュートがみられるが, これは  $K_i$  が 1.1 以上の場合である。また  $K_i$  を小さくしすぎると補正パルスの主パルスに対する干渉が過大になり振幅が急速に低下し, またそのためパルス半値幅である  $W_{50}$  は相対的に増加している。 $K_i$  の設定を 0.5~0.8 程度にすることで補正効果がみられる。OBD 領域で良い補正効果が得られることはこの領域で磁化過程が線形化される

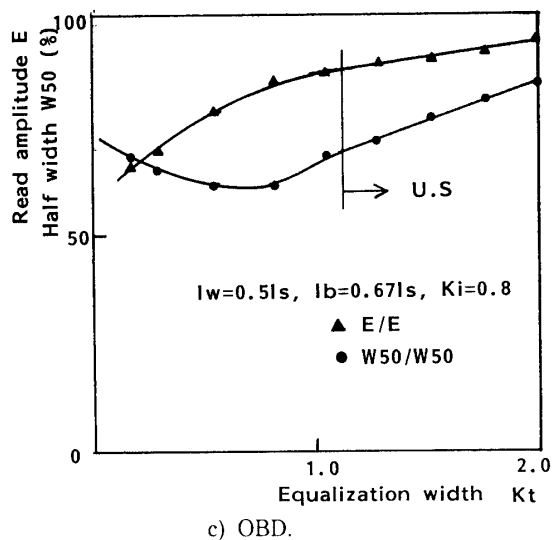
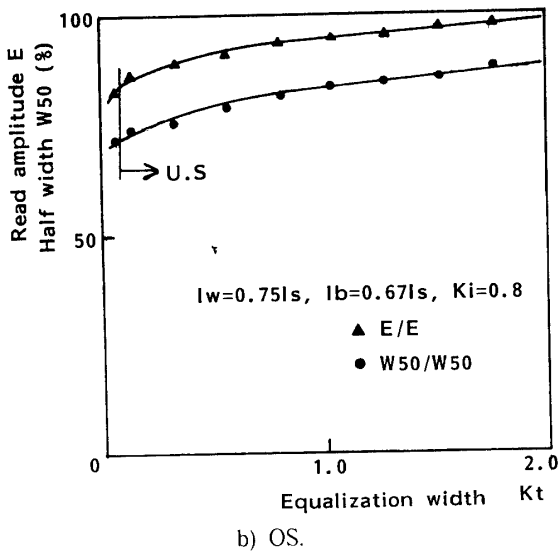
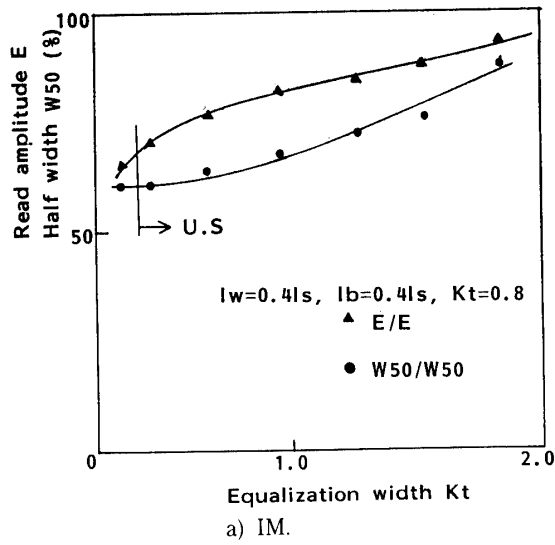


Fig. 6 Read amplitude E and half width of read signal  $W_{50}$  versus equalization width  $K_t$ .

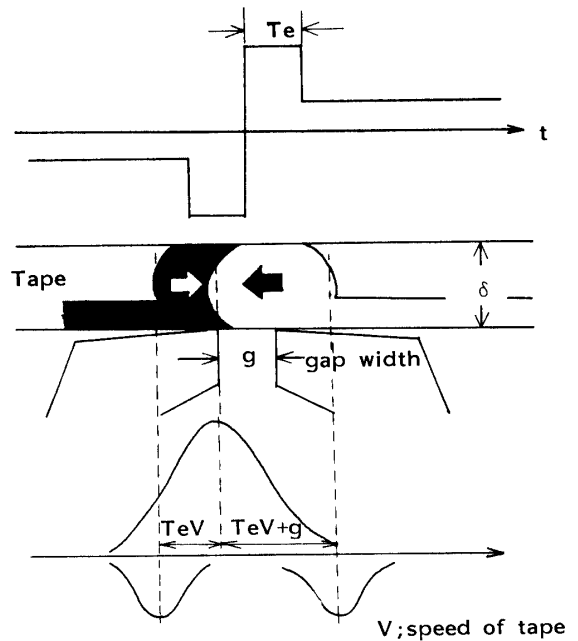


Fig. 7 Umbalance of equalization by cylindrical magnetization model.

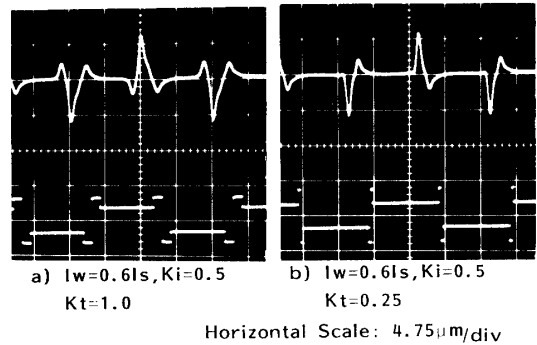


Fig. 8 Examples of read signal waveform and write signal(under).

ためである。なお記録密度特性において問題となるが、干渉領域では後続ビットの補正反転と先行ビットのそれが相互干渉して補正効果を失うため  $K_i$  の値は上記設定条件の範囲のうちできるだけ小さい値を選ぶことが望ましい。

### 3.1.2 補正率 $K_i$

( $l_w, l_b$ ) の各動作点に対して  $K_i$  を変化させて  $E, W_{50}$  の変化を測定した。一例を Fig. 9 に示す。これから補正の効果を評価することは容易ではないため  $l_w$  を定め  $l_b-K_i$  平面に等  $E$  線及び等  $W_{50}$  線を描いたものが Fig. 10 である。  $W_{50}$  と  $E$  はともに  $K_i$  の増加とともに減少している。破線はアンダーシュートの生ずる領域の境界を示しており、破線より  $K_i$  の大きい領域は再生出力波形が乱れている。波形が乱れず  $W_{50}$

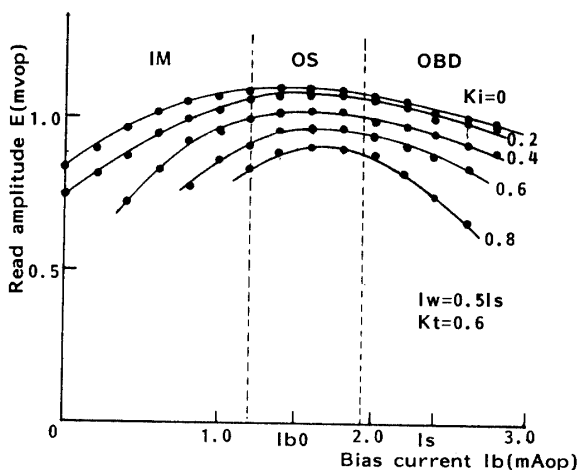
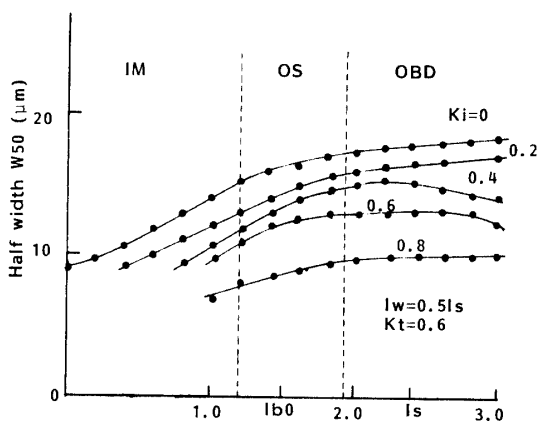


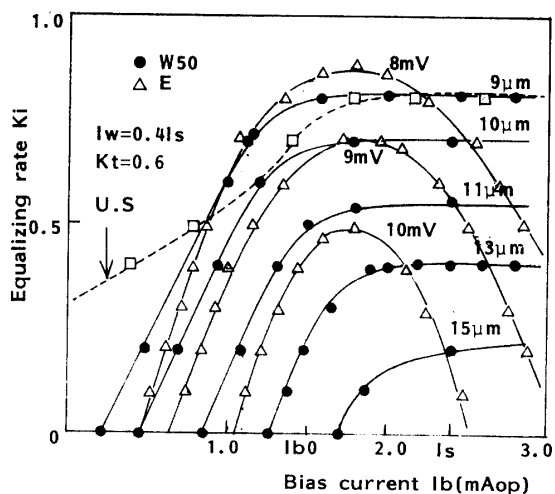
Fig. 9 a) Read amplitude  $E$  versus bias current  $I_b$  with equalizing rate  $K_i$  as a parameter.



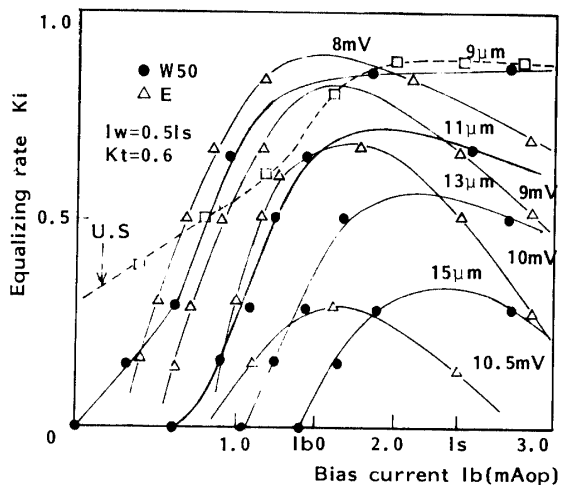
b) Half width  $W_{50}$  versus bias current  $I_b$  with equalizing rate  $K_i$  as a parameter.

を小さくする条件を求めると  $I_w = 0.5 I_s$  の場合  $I_b = 0.75 I_s$ ,  $K_i = 0.8 \sim 0.9$  であり, この時  $W_{50}$  は  $9 \mu\text{m}$  と飽和記録時の56%まで狭めることができる. ここで  $K_i$  を選ぶには  $W_{50}$  だけでなく  $E$  の変化にも着目しなければならない. 例えば,  $E$  を一定値に定め, その時  $W_{50}$  を最小とするような設定点を決定する. 等  $E$  線上の  $W_{50}$  を調べてみると  $I_w = 0.4 I_s$  において  $E = 9 \text{ mV}$  (飽和時の83%) とすると  $I_b = 0.75 I_s$ ,  $K_i = 0.7$ ,  $W_{50}$  は  $10 \mu\text{m}$  である. これをアンダーシュート領域の境界近くに考えると  $E = 8.5 \text{ mV}$ ,  $I_b = 0.75 I_s$ ,  $K_i = 0.8$  において  $W_{50} = 9 \mu\text{m}$  という結果を得る. また  $I_w = 0.5 I_s$  において同様な考察を加えると,  $E = 9 \text{ mV}$  として  $I_b = 0.75 I_s$ ,  $K_i = 0.7$  で  $W_{50} = 10 \mu\text{m}$  となる

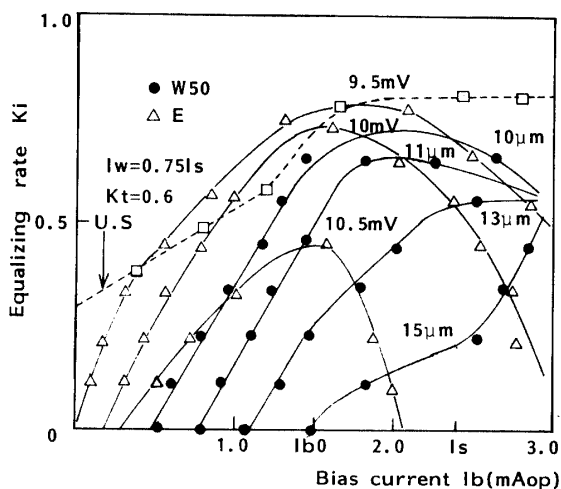
以上  $(I_w, I_b)$  の動作点と  $K_i$  の選定について検討したが, これにはかなりの自由度があり一義的には最適点を定めることはできない. しかし最初に定義した補正効果の判断条件から考えると  $(I_w, I_b)$  は Fig. 4 の等  $E_s$



a)  $I_w = 0.4 I_s$



b)  $I_w = 0.5 I_s$



c)  $I_w = 0.75 I_s$

Fig. 10 Equalizing rate  $K_i$  giving the same read amplitude and half width versus bias current  $I_b$ .

線の谷に相当する点, つまり  $I_w = 0.5 I_s$ ,  $I_b = 0.75 I_s$ ,

$K_i = 0.8$  に設定するのが妥当である。このとき  $W_{50}$  は無バイアスの飽和レベル記録の値の60%弱まで狭めることができる。また  $E$  の低下を許すならば、上記の設定のうち  $I_w$  をさらに小さくして  $W_{50}$  を狭めることができる。例えば  $I_w = 0.25 I_s$  に設定すると  $W_{50}$  は  $5.5 \mu\text{m}$  (34%) を得る。このとき  $E = 6.6 \text{mV}$  (60%) に減少しているが、後述するパルス相互の干渉による補正効果の減少やオーバーライト消去特性が悪化するためメリットは少なくなる。Fig. 11 に上記設定条件において補正された孤立再生波形、同じ ( $I_w, I_b$ ) 動作点での無補正における再生波形及び無補正無バイアスの飽和レベル再生波形を示す。

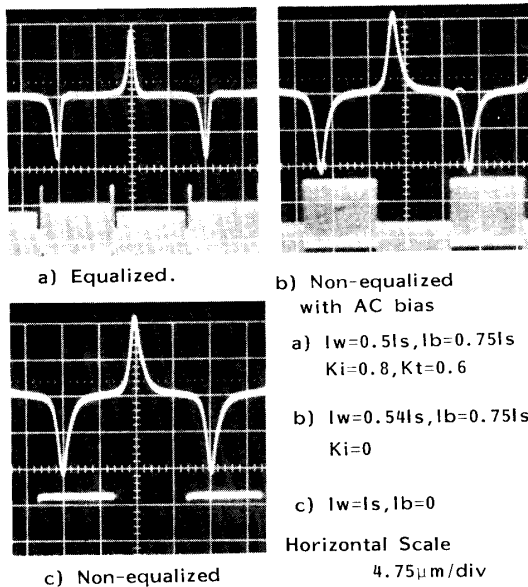


Fig. 11 Examples of read waveform.

### 3.2 記録密度特性

孤立波特性から得た設定条件を用いて、記録信号反転密度  $D$  を変化させ  $E$  を測定した。Fig. 12 はそれを示したものである。比較データとして同じ孤立波振幅を与える無補正無バイアス時の特性、飽和記録時の特性を示す。孤立波特性から予想されたように補正を行った場合、記録密度特性は平坦な領域がかなり広がっている。飽和記録時と比べると2~3倍ほどの記録密度まで平坦になる。しかしある記録密度に達すると振幅が急速に低下する。これは補正パルス相互の干渉が生ずる領域であり、ある限界を越えると補正効果を失ってしまう。対策として  $K_i$  を小さくすることで補正パルス相互の干渉を遅らせることも考えられるが、孤立波の時に考察した  $K_i$  の設定条件によりその範囲は限られる。

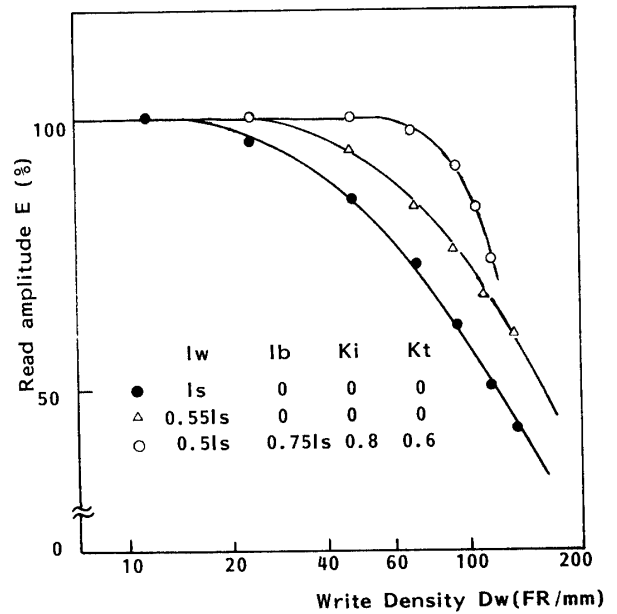


Fig. 12 Read amplitude versus write density.

### 3.3 オーバーライト消去特性

デジタル磁気記録では書き込まれているデータの从上から直接新しいデータを重ね書きをするオーバーライト消去方式が用いられている。ここでは本補正方式のオーバーライト消去特性を検討する。まず測定方法として簡単のため直流データを重ね書きし残留信号の振幅を測定した。ダブルステップ形波形補正においてオーバーライト消去の最悪パターンは Fig. 13 に示すようになる。そのため消去用の直流データは  $I_w - I_e$  の

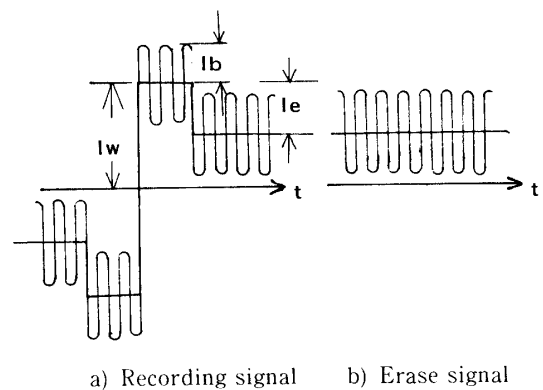


Fig. 13 Recording and Erase signal waveform.

値となりこれに AC バイアスを記録信号と同じく重畳している。Fig. 14 はパルス半値幅—消去率について示したものである。  $I_w = 0.5 I_s, 0.25 I_s$  についての結果である。  $K_t$  は  $0.6$  に固定し、  $K_i$  を  $0, 0.4, 0.8$  と変化させている。各曲線は  $I_b$  を変化させた点を結んである。これから補正率を大きくすることにより消去特

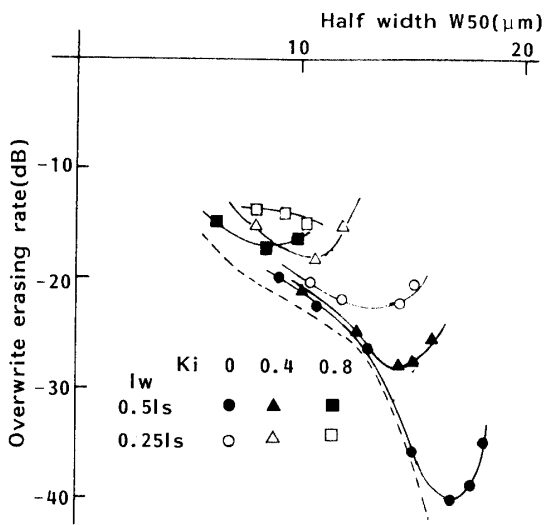


Fig. 14 Overwrite erasing rate versus Half width.

性は悪化することがわかる。このことは消去に用いる直流データ  $I_w - I_r$  が補正率を大きくすることにより小さくなることから容易に理解できる。また  $I_w$  が大きい方が消去率が良いことも同様に考えられる。破線は無補正未飽和記録の特性であるが、本補正を用いた場合はオーバーライト消去特性においては未飽和記録に劣っている。例えば  $-25$  dB の消去率を考えると  $I_w = 0.25 I_s$  で実現できない。  $I_w = 0.5 I_s$  では  $K_i$  は  $0.4$  未満にしなければならないが、この場合  $W_{50}$  は  $12 \mu\text{m}$  以上となり飽和記録時の  $16 \mu\text{m}$  に比較して十分な補正効果があるとはいえない。 Fig. 15 にパルス半値幅—再生出力特性を示す。同出力を無補正未飽和

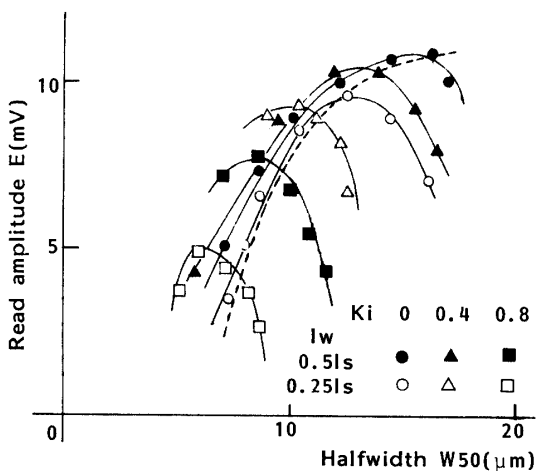


Fig. 15 Read amplitude versus Half width.

記録の場合（破線）と比較すると補正効果がみられるが前述の消去率  $-25$  dB を同様にあてはめると、  $W_{50}$  が  $12 \mu\text{m}$  以上の範囲は再生出力は飽和レベルに近い

か、あるいは過飽和領域に深く入り込んで出力が減少している。丁度  $W_{50} = 12 \mu\text{m}$  の点で比べても無補正未飽和記録に比べ約  $6\%$  の出力増が最大であり、さほど有利な条件ではない。孤立波特性で述べた設計条件の動作点はいずれも  $-20$  dB 以下の消去率であり、本補正方式においてオーバーライト消去は用いることができない。

#### 4. むすび

ダブルステップ形波形補正方式を用いて記録密度を向上させることを試みた。孤立波特性、記録密度特性オーバーライト消去特性の実験からその要点をまとめると次のようになる。

- (1) 本補正方式を用い、再生出力波形の  $W_{50}$  を  $60\%$  弱に減少させることができた。補正の条件は  $I_w = 0.5 I_s$ ,  $I_b = 0.75 I_s$ ,  $K_i = 0.8$  である。このとき過補正によるアンダーシュートに注意する必要がある。
- (2) 上記の設定を行い、記録密度を向上させることができた。前後のビットに対する補正パルスの相互干渉によりある記録密度以上で急速に振幅が減少するが、特性が平坦な領域は飽和記録に比べ  $2$  倍以上の記録密度領域まで広がる。
- (3) オーバーライト消去特性は本補正方式の最大の欠点である。十分な補正を得られる範囲では消去率は  $-20$  dB 以下である。このため本補正を用いる場合は別に消去装置を持つ必要がある。

#### 参考文献

- 1) Jacoby, G. V.: High density recording with write current Shaping, IEEE. Trans Magn. MAG-15, 1124-1130 (1979)
- 2) 西川正明, 横山昌幸, 桐原昭雄: AC バイアスデジタル磁気記録の基本特性, 電子通信学会論文誌—C. J 65—C, 409—416 (1982)

(昭和60年4月15日受理)