磁気テープの最適写磁界について

磁気テープの最適転写磁界について

河　合　茂　治

1 はしがき

信号を記録した磁気テープをマスターとし，これに完全消磁された磁気テープをコピーとして，互いに密着しつつ転写磁界中に入れると，コピーテープにはマスターテープの残留磁化を信号とし，転写磁界をバイアスとする記録，所謂磁気転写効果の得られることは既に知られている[1]。しかし乍ら磁気シートの磁性膜形成時の不均一性により，高域周波数の感度低下，変調雑音等の問題が起こり，記録走査機構，テープ走査によるヘッドタッチの良否等実用化の段階としては未だ問題点多く，磁気転写による多数の原音複製可能な点より，特に印刷関係方面より注目され，その研究が望まれている。現在は主として磁気シートとしての磁性材料に関する報告がなされているが，磁気転写に関する理論的解析にはまだ不明な点多く，未だその報告を見ない。

ここにおいて筆者は磁気転写効果の動作機構を明らかにするため，磁気テープの厚み方向に対する磁化を一様とするため，広間隙記録ヘッドを用いて，磁気転写における最適転写磁界の測定を行なつた。

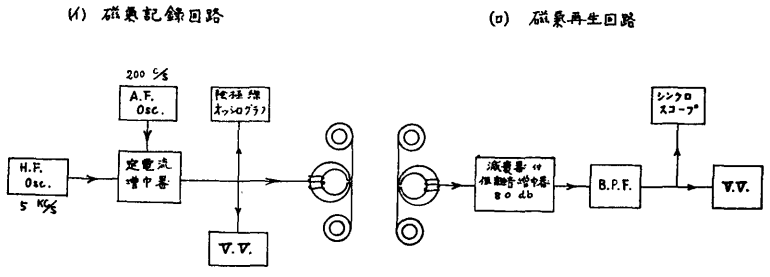
動作機構の解析に当つては，F. Preisach[2]氏の磁気ヒステリシス特性を角形ヒステリシスループの集合であるとする等価的表現方法を用うれば，磁気記録過程の等価的取扱いが可能となるので，ここに単位磁化の強さをもつ角形ヒステリシスループをループ素子とする考えを導入して導びかれた磁界と磁気テープの残留磁化との関係式[3]を用いて，その解析を試みた。なお本論文では磁気テープのヒステリシス損，渦電流損及びループ素子間の相互作用等はすべて無視したが，本解析の範囲でも最適転写磁界の値は実測結果とほぼ一致していることが確かめられた。

2 実験装置について

（1） 磁気記録回路

磁気記録回路は Fig. 1 (イ)に示す如くで，高周波発振器は磁気テープに高周波バイアスを与えるためのものであるが，本実験では広間隙の記録ヘッド (78μ) を使用しているので，そのバイアス周波数を 5 KC/S とした。低周波発振器は 200C S の一定信号を記録するためのもので，磁気テープの最高感度バイアスの測定及びマスタテープの信号記録用である。以上の高周波電流及び低周波信号電流を重畳して定電流増幅を行ない，その記録信号波形を陰極線オツシログラフにより監視し，また記録ヘッドと磁気

Fig. 1.　Block diagram

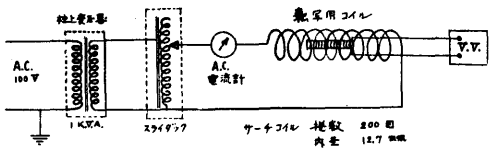


テープとの間には 80μ のスペーサーを挿入してテープの表面と裏面とで記録磁界の強さを一定ならしめるよう考慮が払われている。これらの理由については前号においてその精細を述べた[4]。

（2） 磁気転写回路

磁気転写回路は Fig. 2. に示す如くで，転写コイルは中空の長さ約 20cm，内径 20mm のものを使用，これに 60C/S の交流電源を用いて平等磁界を作る。柱上変圧器は二次側が接地されているため，これを絶縁する意味で1K.V.A. 変圧器の 1:1 の二次端子を用いて交流 100V を

Fig. 2. 磁気転写回路



得られるようにしてある。なお転写磁界の強さは捲数200回，直径 12.7mm のサーチコイルを用いて，その実効値を真空管電圧計により測定した。転写磁界はその最大値により動作するから，次の如き計算により磁界の強さを求めている。

サーチコイルに誘起せられる起電力は

$$e=n\frac{d\Phi}{dt}=Em\ \sin wt \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

$$\therefore \Phi=\frac{Em}{n}\int \sin\ wt\cdot dt$$

$$=\frac{Em}{wn}\sin\ (wt-\frac{\pi}{2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ②$$

磁束の最大値を Φ_m とすれば

$$\Phi_m=\frac{Em}{wn}$$

$$\therefore Em=wn\Phi_m=2\pi fn\Phi_m \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ③$$

故にその実効値をEとすれば

$$E=\frac{Em}{\sqrt{2}}=4.44f\cdot n\cdot\Phi_m \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ④$$

ここに　$\Phi_m=B\cdot S=\mu_0 HS$

B：磁束密度，S：サーチコイルの断面積

μ_0：真空透磁率，H：転写磁界の強さ

上式において $\mu_0=1$，H：エルステッド

S：cm^2 とし，$S=1.27cm^2$，n=200 のサーチコイルを用いて測定し，（4）式より磁界を求めた結果は第1表の如くである。

第 1 表　転 写 磁 界

ソレノイド電流 (A)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
サーチコイル誘起電圧 (mV)	50	75	100	125	150	175	200	225	250
ソレノイド中心磁界 (Öersted)	73.9	110.9	147.8	184.8	221.7	258.7	295.6	332.6	369.5

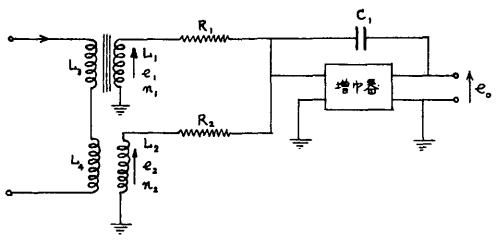
（3） 再生回路

再生回路は Fig. 1（ロ）の如くで，再生ヘッドは通常用いられている狭間隙（5μ）のものを使用し，50db の減衰器付低雑音増幅器[4]を用い，更に 60C/S による誘導障害及び第3高調波による歪みを除くため Band pass filter を用いて，100C/S 以下及び 500C/S 以上をカットしている。出力指示計には高感度真空管電圧計を用い波形をシンクロスコープにより監視している。

（4） 磁化過程直視装置[5]

磁気転写を行なうに当つてはマスター及びコピーテープの初期磁化曲線（磁気飽和の曲り目の値）が問題となるので各種磁気テープの特性

Fig. 3. 原 理 図



を測定するために，特に試作せられた磁気テープの磁化過程直視装置についてその概略を述べる。

Fig. 3 及び第4図はその原理図及び Block diagram である。L_3, L_4 は一つのコイルを形成し，試料テープに漸増～漸減磁界を与えるためのもので，2mmφ の二重綿巻線6000回，最大許容電流15A，1A当り 127 Örsted の磁界が得られる。L_1 は 0.05mmφ のエナメル線 40,000 回のサーチコイルで，これを L_3, L_4 のコイルに入れるだけでは L_1 の両端に電圧が誘起せられるので，L_1 と同じコイル L_2 を補償線輪として同軸上に逆巻きとし，この L_1, L_2 のコイルを L_3, L_4 に挿入しただけでは L_1 に電圧が誘起しないように R_2 を調整する。そこで試料のテープ長さ 10cm, 200枚束ねたものを L_1 のサーチコイル中へ挿入した時，始めて磁化の強さ J に比例した電圧 $-K\cdot dJ/dt$ が L_1 の両端に誘起することになるが，これは J を微分した形であるから積分器を通してもとにもどせば，その出力側には磁化の強さ J に比例した電圧が発生するわけである。これをオツシロスコープに導けば，試料テープが漸増～漸減磁界を受けて，記録されて行く過程が分かり磁気テープ中の磁化状態を知ることができる。

Fig. 3 において増幅器の増幅度 μ が充分に大きい場合には増巾器の入力電圧は0と見做し得るから

$$\frac{e_1}{R_1}+\frac{e_2}{R_2}=-C\frac{de_0}{dt} \quad \cdots\cdots ⑤$$

となる。上式より

$$e_0=-\frac{1}{C_1}\int_0^t\left(\frac{e_1}{R_1}+\frac{e_2}{R_2}\right)dt \quad \cdots\cdots ⑥$$

ここに $e_1=-n_1\frac{d\phi_1}{dt}$　$e_2=-n_2\frac{d\phi_2}{dt}$ ……⑦

ϕ_1, ϕ_2 ： L_1, L_2 内の磁束

n_1, n_2 ： L_1, L_2 の巻数

更に　$\phi_1=A\mu_0H+A_1J$ ……⑧

A：L_1 の断面積　　A_1：試料の断面積

μ_0：真空透磁率　　J：試料の磁化の強さの密度

今試料を入れないとき，即ち $A_1J=0$ のときの e_1 を e_1' とすれば⑥式は⑦⑧式の関係を用いて計算すれば

$$e_0=-\frac{1}{C}\int_0^t\left[\frac{e_1'}{R_1}+\frac{e_2}{R_2}-\frac{1}{R_1}n_1A_1\frac{dJ}{dt}\right]dt \cdots\cdots ⑨$$

となる。そこで試料を挿入する前に

$$\frac{e_1'}{R_1}+\frac{e_2}{R_2}=0 \quad \cdots\cdots ⑩$$

となるように R_2 を調整しておけば

$$e_0=\frac{1}{C_1R_1}n_1A_1\int_{J_0}^{J_t}dJ=\frac{1}{C_1R_1}n_1A_1J_t \quad \cdots\cdots ⑪$$

但し　$|J|_{t=0}=J_0=0$　　$|J|_{t=t}=J_t$

で与えられる。即ち $t=0$ において $J=0$ なる資料を L_1 に挿入して磁界Hを変化させれば磁化の強さの密度 J に比例した電圧 e_0 が得られることになる。

磁界の強さは

$$H=Ki \quad \cdots\cdots ⑫$$

であり，比例定数Kは測定或いは次式により計算できる[6]。

$$H=\frac{2\pi Ni}{10(a_2-a_1)}\log_e\frac{a_2+\sqrt{a_2^2+\ell^2/4}}{a_1+\sqrt{a_1^2+\ell^2/4}} \text{(Oersted)} \cdots ⑬$$

但し

N：全巻数　a_1：内半径(cm)　a_2：外半径(cm)

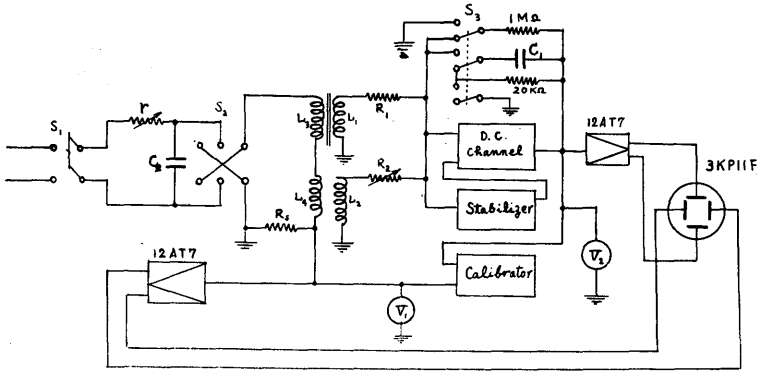
ℓ：全長(cm)　i：励磁電流（Ampere）

なお磁界Hを任意の大きさに変化させるため Fig. 4 の抵抗 r を手動で変化させ，切換えスイッチ S_2 によりHの向きを変えている。

C_2 は励磁電流の変化を緩慢にし且つ高周波成分をなくするためのものである。励磁電流の値は Rs の電圧を電圧計 V_1 によつて Oersted 目盛を施こし直読できるようにしてある。この電圧は更に水平軸増幅器に入る。

また積分器の出力は Maxwell 目盛を施こした電圧計により磁化の強さが直読できるように工夫され，この電圧は更に垂直軸増幅器に入る。本実験の試料は磁気テープが主で，低透磁率のものであるから捜索線輪の誘起起電力は低く且つ積分器の入力には直流成分が含まれているので積分器用増幅器[3]は高利得直結増幅器とし，ドリフトを少なくするためチョッパによる

Fig. 4. 磁化過程直視装置 Block diagram



スタビライザーを付してある。C_1は積分用コンデンサーで漏洩抵抗による誤差を極力少なくするため特に吟味されたスチロールコンデンサーを用いている。

積分素子の時定数は捜索線輪の抵抗も含めて測定した結果は 2.26×10^{-2} 秒である。

Fig. 5 及び Fig. 6 は主要部分の実際の回路図である。

3 実験結果

（1） 磁気テープの磁化特性

各種テープを長さ 10cm, 200枚を束ねて試料とし，磁化過程直視装置の中へ挿入してその磁気特性を測定した結果を Fig. 7 に示す。各試料テープの磁界対残留磁化曲線の立ち上がり Hp 及び飽和磁界の曲り目の値 Hq は第2表の如く定めた。

（2） 各テープの最高感度バイアス測定

試料を再びテープ状とし，信号 200C/S を一定とし，これに高周波バイアス電流 5KC/S を 2～32mA まで変化させて磁気記録を行ない，その再生出力を測定した結果を Fig 8 (イ),

Fig. 5. 積 分 増 幅 器

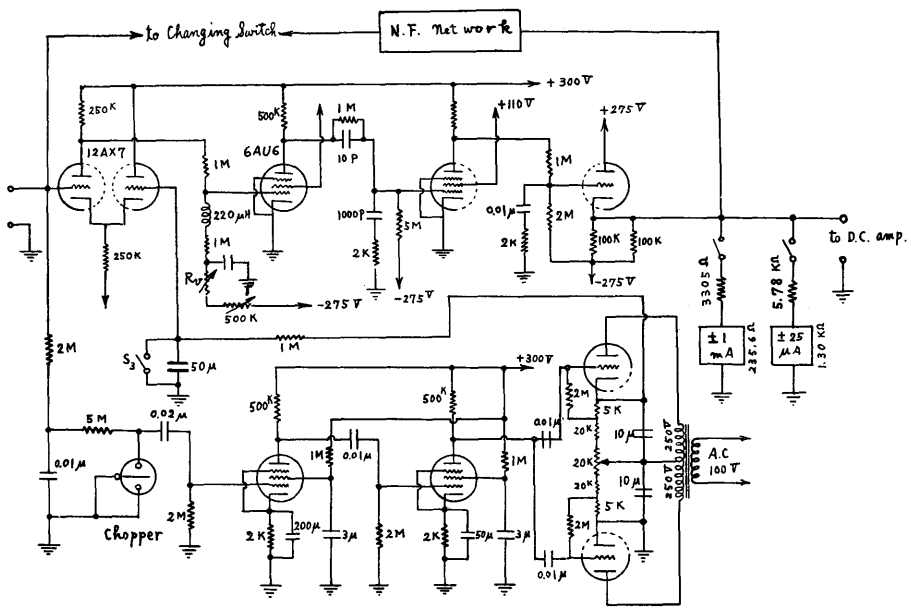


Fig. 6. 校正器及びオッシロ回路

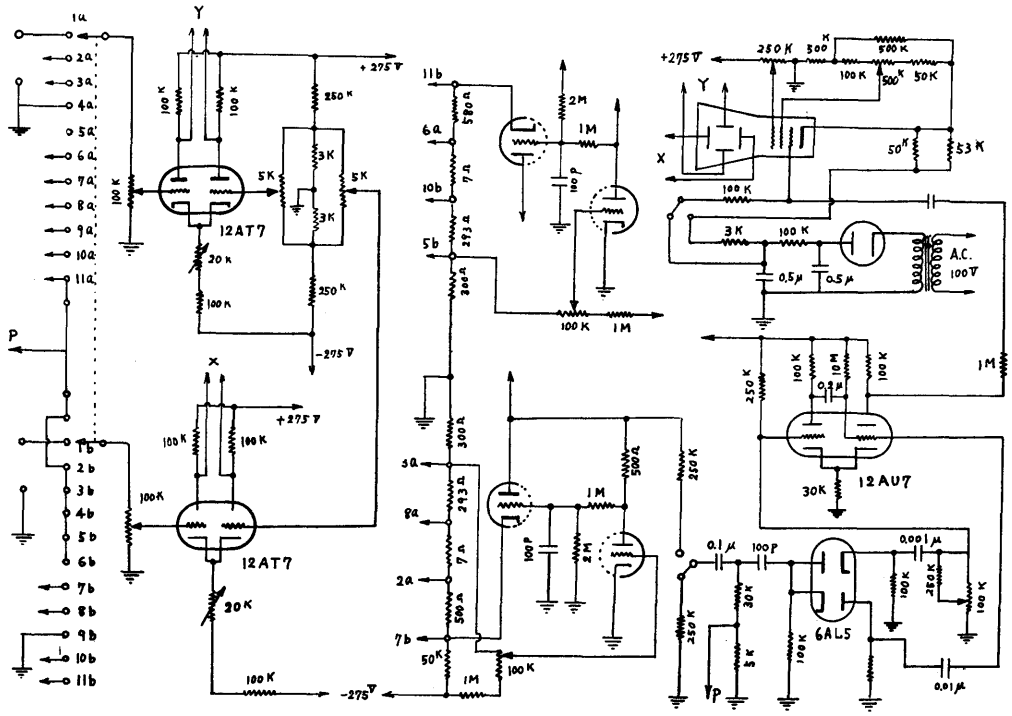
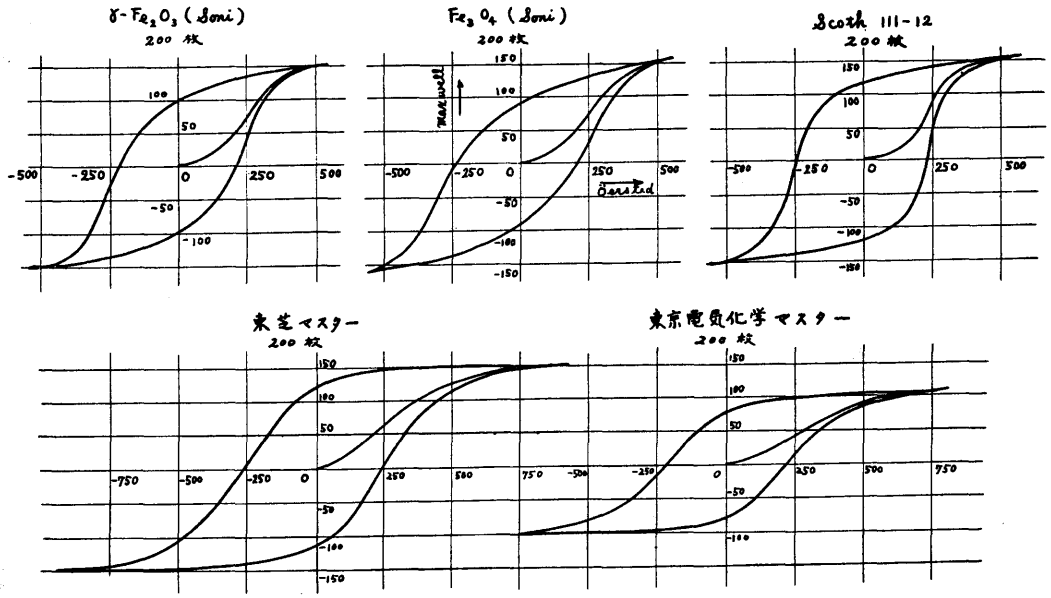


Fig. 7. 磁気テープの初期磁化曲線とヒステリシスループ



(ロ)に示す。

出力指示計は真空管電圧計を用い，その実効値指示より換算してヘッド磁界の強さを求めた。

第 2 表

磁界 / 試料 Öersted	γ-Fe_2O_3	Fe_3O_4	Scotch	東芝マスター	東電化マスター
Hp	140	130	120	180	180
Hq	350	480	330	500	490

Fig. 8.（イ） 最高感度バイアス磁界の測定
Signal 200 c/s const
H. Bias 5 kc/s variable

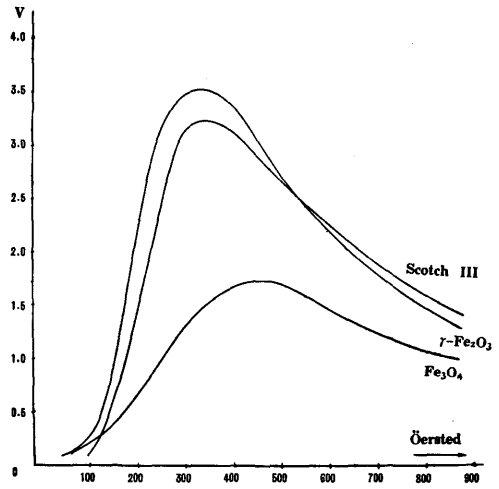
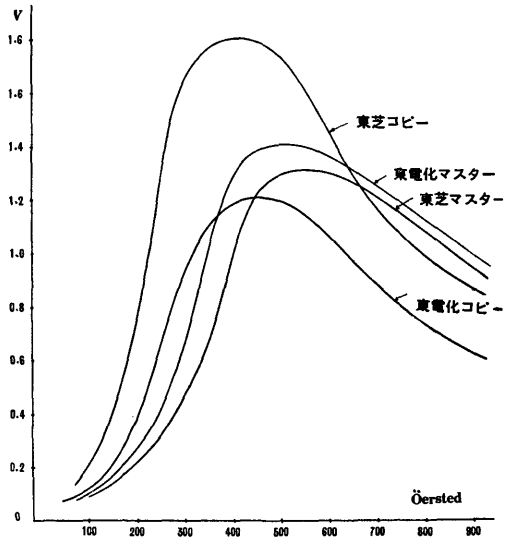


Fig. 8.（ロ） 最高感度バイアス磁界の測定
Signal 200 c/s const
H. Bias 5 kc/s variable



（出力インピーダンス：2.5 KΩ 1 mA
ヘッド損失：3.8db (1/1.55) at 5KC/S)

以上の結果より各テープの最高感度バイアス磁界の値を第3表の如く定めた。

第 3 表

テープの種類	最高感度バイアス磁界	
	Öersted	mA
γ-Fe_2O_3	320～380	12～14
Fe_3O_4	490	18
Scotch	320～380	12～14
東芝マスター	540～580	20～21
東電化マスター	600	22
東芝コピー	380～490	14～18
東電化コピー	490	18

（3） 磁気転写特性

実験(1)及び(2)の結果より磁気飽和値の大なるもの程最高感度バイアス磁界の値も大きくなることが分かる。一般にマスターシートはコピーシートより高保磁力の磁性材料が用いられており磁気転写磁界をかけても，マスターシートの減磁の少ないもの程よいわけであるが，本回の実験では最適転写磁界がどのような条件によつて定まるものかを調べる目的で，次の各場合について実験を行なつた。

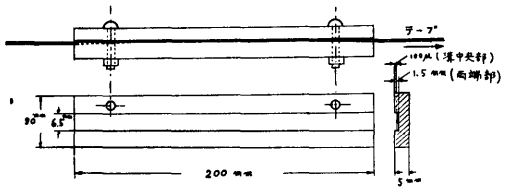
	マスターテープ	コピーテープ
①	Scotch	①′ Scotch
②	東電化マスター	②′ γ-Fe_2O_3 (Soni)
③	東芝マスター	③′ γ-Fe_2O_3 (Soni)
④	Fe_3O_4 (Soni)	④′ Scotch

2及び3の場合コピーテープとして γ-Fe_2O_3 を

用いたのは，東電化コピー及び東芝コピー双方共殆んど磁気特性が γ-Fe_2O_3 と同様である結果が得られたので磁気転写実験上の難易の点より，これを選んだ。

磁気転写の方法としてはマスター及びコピーテープの磁性粉末塗布部を積ね合わせ，Fig 9 の如き圧着板を用いて，手動により，およそ 10cm/s 程度の速度でマスター及びコピーテープの磁性鉄粉の塗布部を密着しつつ走査を行なつている。

Fig. 9. テープ圧着板



各試料テープのマスターには，夫々最高感度バイアス磁界の下に，200C/S (0.8mA) を記録し，これにコピーテープを密着しつつ 0～350 Öersted の転写磁界中に通し，磁気転写の再生出力が転写磁界の強さによつてどのように変化するかを測定した。その結果は Fig 10 (イ)，(ロ)の如くである。

この結果よりマスター及びコピーテープが同種類のものでも磁気転写は行なわれ，その転写磁界の強さは，マスター及びコピーテープの最高感度バイアス磁界とほぼ等しい転写磁界において転写の最大再生出力を有することが分かるが，その最大転写出力は極めて少なく約－20db 程度である。

マスター及びコピーテープ異種の場合には Fig. 10 の②②′，③③′，④④′ に示される如く，何れの場合にも，マスターテープの最高感度バイアス磁界よりも小なる転写磁界において転写の最大再生出力が得られ，その出力は約－8db～－9db 程度である。しかしこの場合には実験結果よりマスター及びコピーテープの磁性材料の種類によつて，転写の最適磁界の値が変動することが分かる。

何れの場合にせよ，これらの結果から転写の

Fig. 10. (イ)　磁気転写特性
master 記録信号　200 c/s
H. Bias　5 kc/s
① Scotch 111　①′ Scotch 111
②東電化 master　②′ γ-Fe_2O_3 (Soni)

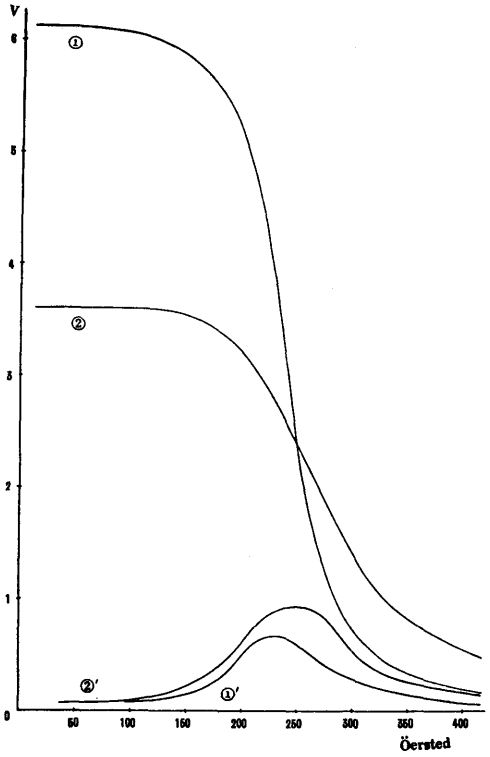
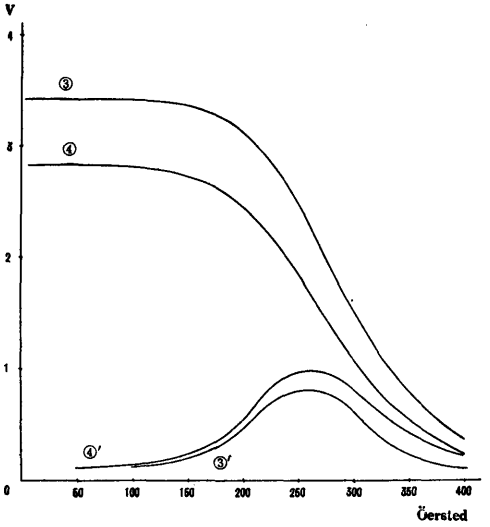


Fig. 10. (ロ)　磁気転写特性
master 記録信号　200 c/s　H. Bias 5 kc/s
③ 東芝マスター　③′ γ-Fe_2O_3 (Soni)
④ Fe_3O_4 (Soni)　④′ Scotch 111



行なわれる磁界の値は，マスターテープが転写磁界の強さの増加と共に減磁作用を受け始め，それと同時に少しずつ転写が行なわれて行き，或る適当な転写磁界に至つて初めて最大転写再生出力を示し，それ以上の磁界に対しては，マスター及びコピーテープ共に減少して行くことが分かる。

4 ループ素子分布関数について

磁気ヒステリシス特性の等価的取扱いに関して，F. Preisach 氏は強磁性体は Fig. 11 の如き角形ヒステリシスループの集合であると仮定して磁気現象を説明した。本論文ではこれを磁気記録機構の考察に適するように展開し，その結果を利用して，磁気転写機構の解析を行なつたので，次にその概要を述べる。

Fig. 11.

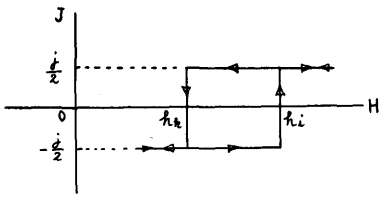


Fig. 11 において，横軸に磁界の強さH，縦軸に磁化の強さJをとる。図でH＝0ではJ＝$-\frac{j}{2}$にあり，Hを増加させた場合，H＝hi の点で磁化の強さが$-\frac{j}{2}$から$+\frac{j}{2}$転にじて，以後この状態を持続し続けるが，磁界を hi より大きな磁界から減少させた場合には，H＝h_k の点で$+\frac{j}{2}$から$-\frac{j}{2}$に転じ，以後はこの状態を持続するものとする。

Fig 11 のようなループ素子は一般に上昇に転ずる磁界 hi，下降に転ずる磁界 h_k 及び j の三つを与えればその特性を表現できるから，これを $j(h_i, h_k)$ と表わし，これをループ素子と名付ける。特にループ素子の単位磁化の強さを j＝1 と考えると，ループ素子は $1(h_i, h_k)$ と表わされる。

そこで，磁気テープの磁気ヒステリシス特性は上記 $1(h_i, h_k)$ なるループ素子の無数の集合と仮定すれば，h_i 及び h_k の値は磁界Hの$-\infty$から$+\infty$の間にわたつて分布することになるが，Hの値に対するループ素子の分布状態を表わすものとして，互いに独立な2変数 h_i, h_k よりなる分布関数 $\eta(h_i, h_k)$ を考えると，Hの値が hi＋dhi の間で磁化が $-\frac{1}{2}$ から $+\frac{1}{2}$ に反転し，h_k+dh_k の間で磁化が $+\frac{1}{2}$ から $-\frac{1}{2}$ に反転するようなループ素子の総数は，

$$\eta(h_i, h_k)\, dh_i \cdot dh_k$$

で表わされ，磁化の強さJと $\eta(h_i, h_k)$ との関係は

$$\frac{\partial^2 J}{\partial h_i \partial h_k} = \eta(h_i, h_k) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑭$$

として定めることができる。

分布関係 $\eta(h_i, h_k)$ は三次元で表わされるが，表示に便利なため，Fig. 12. のような $h_i, -h_k$ 平

Fig. 12.

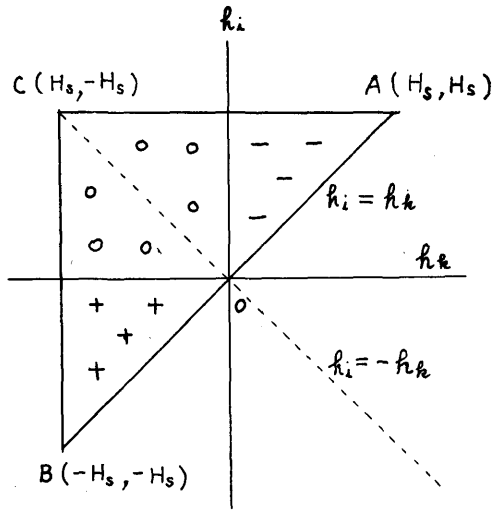
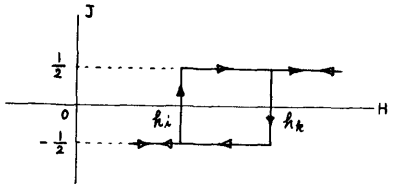


Fig. 13.



面で説明する。〔$\eta(h_i, h_k)$ は紙面に垂直な方向にとる〕。今 Fig. 13 のような逆方向に回るループ，即ち $h_i < h_k$ なる特性のループ素子は存在

しないものと仮定すれば

$$\eta\ (h_i,\ h_k) = 0 \qquad (h_i < h_k) \cdots\cdots ⑮$$

となり，また磁気飽和を与える磁界の大きさを H_s とすれば

$$\eta\ (h_i,\ h_k) = 0 \qquad (|h_i| > H_s,\ |h_k| > H_s) \cdots\cdots ⑯$$

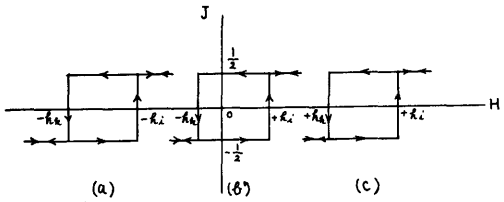
そこでループ素子の存在する範囲を

(a)　$h_i \geqq 0$,　$h_k \geqq 0$　（第一象限）

(b)　$h_i > 0$,　$h_k < 0$　（第二象限）

(c)　$h_i < 0$,　$h_k < 0$　（第三象限）

Fig. 14.



の三つの区分に分けると，磁界が零のときは過去にいかなる磁界変化があつたとしても，現在磁界が零でさえあれば，ループ素子の磁化の状態は Fig. 14. のように（a）では＋½，（c）では－½にある。（b）では過去の磁界変化により一意的には決められない。今

(i)　$+\frac{1}{2}$　にある磁化状態を(+)

(ii)　$-\frac{1}{2}$　にある磁化状態を　(−)

(iii)　$+\frac{1}{2}$　及び$-\frac{1}{2}$の二つの共存状態を　(0)

で示すことにすれば，磁界零のもとでは h_i,$-h_k$ 平面は Fig 12 のように三つの領域に分かれるが，第1及び第3象限のループ素子の磁化は互いに打ち消すので以下の解析に当つては第2象限のみに制限して取扱つて差支えない。

今微小面積 Δh_i, Δh_k で囲まれた面内では

$$\eta\ (h_i,\ h_k) = \text{const}$$

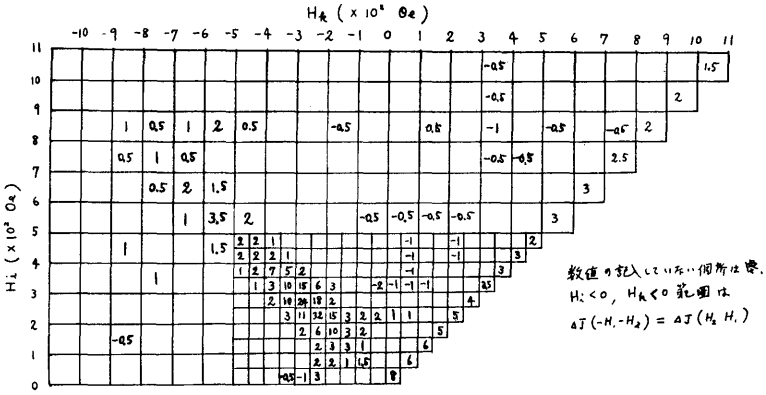
と考えれば，$\Delta h_i \cdot \Delta h_k$ 面内における ループ素子の数 ΔJ は

$$\Delta J = \eta\ (h_i,\ h_k)\ \Delta h_i \cdot \Delta h_k \cdots\cdots ⑰$$

で表わされる。

$\Delta h_i = \Delta h_k = 50$ Öersed として Fig. 12 の三角形内の各位置について，Scot-111-12 テープの ΔJ の分布を磁化過程直視装置を用いて実測した結果を第4表に示す。

第 4 表　　Scotch-111-12 テープ磁気要素表



この結果を見て明らかなように，ΔJ は第4表における $h_i = -h_k$ の直線附近に多く分布している。この分布はメジヤーループの対称性から考えれば，この直線に対称なことが予想されるが，実測値は対称からややずれている。これは実験誤差によるもののように思われる。また $h_i = h_k$ なる直線上に見られる多くの ΔJ の分布は可逆の要素であり，ΔJ が負になつている個所は等価的には反磁性要素を示す。

しかしこの表は，ヒステリシス特性が角形ループの代数和であるとした等価的なものであるから，このようになる原因については更に物性

論的な考察を要するものと思われる。

しかし乍ら，磁気記録における磁界と残留磁化の特性を問題とする本論文では，これらの部分を除いても残留磁化には影響がないので無視することとし，またループ素子の分布は $h_i=-h_k$ の直線に関して対称であるものとして考察を進めて行くことにする。

5　動作機構の解析

マスターテープに信号 h_s を記録した場合の残留磁化 J_s は

$$J_s=\eta f(Z, g, H)\ h_s \quad \cdots\cdots ⑱$$

但し　g：ヘッド間隙

H：高周波バイアス磁界

η：ループ素子分布函数

Z：垂直軸方向の距離

今 g に広間隙ヘッドを使用すればZ及び g の影響は無視できるから[4]

$$J_s=\eta F(H)\ hs \quad \cdots\cdots ⑲$$

とおくことができる。更にマスターテープはその最高感度バイアス磁界 H_q で記録しておくものとすれば

$$J_s=\eta F(H_q)\ h_s \quad \cdots\cdots ⑳$$

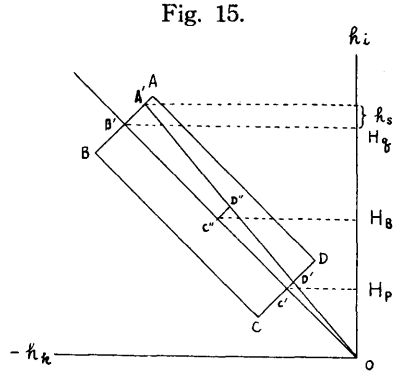
ここで転写磁界 H_B をかけるとマスターテープの残留磁化の値 J_{sm} は

$$J_{sm}=J_s-J_s' \quad \cdots\cdots ㉑$$

但し　J_s' はマスターテープが転写磁界 H_B によつて磁化を失う部分である。

今 h_i-h_k 平面で $h_i=-h_k$ の直線に関して対称な方形 ABCD 内でのみ $\eta(h_i, h_k)$ は一定で，それ以外の面上ではOなる分布について考えると Fig. 15 より

Fig. 15.



$$J_s'=\eta F(H_B)\ h_s\frac{H_B}{H_q} \quad \cdots\cdots ㉒$$

$$\therefore J_{sm}=\eta\left\{\frac{(H^2_q-H_i^2)}{H_q}-\frac{(H_B^2-H_i^2)}{H_B}\cdot\frac{H_B}{H_q}\right\}h_s$$

$$=\eta\frac{(H_i^2-H_B^2)}{H_q}\cdot h$$

$$=\eta\Psi(H_B)\ h_s \quad \cdots\cdots ㉓$$

但し　$F(H_B)=\dfrac{H_B^2-H_i^2}{H_B}$，$F(H_i)=\dfrac{H_i^2-H_i^2}{H_q}$

$$\Psi(H_B)=\frac{H_i^2-H_B^2}{H_q}\ ,\ H_B\gg h_s \quad \text{とする}$$

一方コピーテープに転写される残留磁化の値 J_{sp} は

$$J_{sp}=\eta'\phi(H_B)\cdot h_{sp} \quad \cdots\cdots ㉔$$

但し h_{sp} はコピーテープに転写される信号磁界で

$$h_{sp}=K(w_s)\ J_{sm}$$

$$=\eta K(\omega_s)\Psi(H_B)h_s \quad \cdots\cdots ㉕$$

ここに $K(\omega_s)$ は信号周波数に依存する係数であるが，本論文では特定の ω_s に対してのみ検討することとしたので $K(\omega_s)=\text{const}$ として取扱うことにする。

$$\therefore\ J_{sp}=\eta\cdot\eta' K(w_s)\ h_s\cdot\Psi(H_B)\cdot\phi(H_B) \quad \cdots\cdots ㉖$$

従つてコピーテープに最大の残留磁化を与える転写磁界の値は $\partial J_{sp}/\partial H_B=0$ より求められる。即ち

$$\Psi'(H_B)\cdot\phi(H_B)+\Psi(H_B)\cdot\phi'(H_B)=0 \quad \cdots\cdots ㉗$$

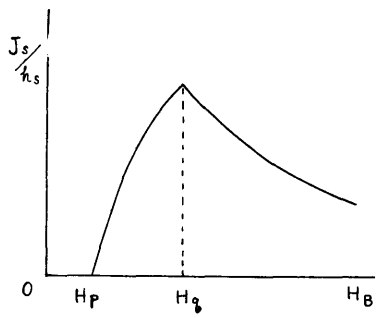
(a)　$H<H_q'$ の場合

$$\Psi(H_B)=\frac{H_i^2-H_B^2}{H_q}\ ,\ \Psi'(H_B)=-\frac{2H_B}{H_q}$$

$$\phi(H_B)=\frac{H_B^2-H_p'^2}{H_B}\ ,\ \phi'(H_B)=\frac{H_B^2+H_p'^2}{H_B^2}$$

但し H_i，H_p'，H_q，H_q' はマスター及びコピーテープの磁界対残留磁化曲線の立ち上がり及び飽和磁界の曲り目の値で，(Fig. 16)

Fig. 16.



$H_B \leqq H_q$ の場合　$J_s/h_s = \eta \cdot \dfrac{H_B^2 - H_i^2}{H_B}$

$H_B \geqq H_q$ の場合　$J_s/h_s = \eta \cdot \dfrac{H_q^2 - H_i^2}{H_B}$

なる結果が与えられているので，これらの関係を㉗式に代入して

$$-\frac{2H_B}{H_q} \cdot \frac{H_B^2 - H_p'^2}{H_B} + \frac{H_q^2 - H_B^2}{H_q} \cdot \frac{H_B^2 + H_p'^2}{H_B^2} = 0$$

$H_q \cdot H_B^2 \neq 0$

$$3H_B^4 - (H_q^2 + H_p'^2)H_B^2 - H_p'^2 \cdot H_q^2 = 0 \quad \cdots\cdots ㉘$$

$$\therefore H_B = H_{Bm} = \sqrt{\frac{H_q^2 + H_p'^2 + \sqrt{(H_q^2 + H_p'^2)^2 + 12H_p'^2 \cdot H_q^2}}{6}}$$

今 $H_p' = a \cdot H_q'$ $(1 > a > o)$ とおけば

$$H_{Bm} = \sqrt{\frac{1 + a^2 + \sqrt{(1+a^2)^2 + 12a^2}}{6}} \cdot H_q \cdots ㉙$$

但し H_{Bm} は最適転写磁界

(b)　$H_B > H_q'$ の場合

$$G(H_B) = \frac{H_q'^2 - H_p'^2}{H_B}, \quad G'(H_B) = -\frac{H_q'^2 - H_p'^2}{H_B^2}$$

となるから㉒式は

$$J_{sp} = \eta\eta' K(\omega_s) h_s \Psi(H_B) G(H_B) \quad \cdots\cdots ㉚$$

$$\therefore \Psi'(H_B) \cdot G(H_B) + \Psi(H_B) \cdot G'(H_B) = 0 \cdots ㉛$$

$$-\frac{2H_B}{H_q} \cdot \frac{H_q'^2 - H_p'^2}{H_B} + \frac{H_q^2 - H_B^2}{H_q} \cdot -\frac{H_q'^2 - H_p'^2}{H_B^2} = 0$$

$H_p' \fallingdotseq H_q'$ として　$H_B = H_{Bm} = \pm jH_q$ ……㉜

となり極値を有しないから　$H_B > H_p'$ とはなし得ず，最大転写磁化を得るためには少なくとも

$$H_B = H_q' \quad \cdots\cdots ㉝$$

に選ぶ必要がある。

6　実験結果の検討

以上の如き結果を検討するため，数種のマスター及びコピーテープの磁気特性を考慮して，次の4種について実験を行なつた。第5表はその結果である。

第　5　表

Master tape				Coppy tape				$a = \frac{H_p'}{H_q}$	最高感度バイアス磁界 (ersted)		精　度
番号	試　料	H_p Öersted	H_q Öersted	番号	試　料	H_p'	H_q'		理論値	実測値	%
①	Scotch	120	330	①′	Scotch	120	330	0.36	224.4	220～225	98.0～100.3
②	東電化	180	490	②′	γ-Fe_2O_3	140	350	0.29	318.5	255～260	80.1～ 81.6
③	東　芝	180	500	③′	γ-Fe_2O_3	140	350	0.28	320.0	255～260	79.8～ 81.3
④	Fe_3O_4	130	480	④′	Scotch	120	330	0.25	302.4	250～265	82.7～ 87.6

①①′はマスター及びコピーテープ共に同種の Scotch tape を用いた場合であるが，理論値と実測結果とは殆んど一致している。

②②′，③③′，④④′はマスター及びコピーテープとして夫々異種のテープを用いた場合である。これらの場合では，理論値と実測結果との精度は80～87%となつたが，これは動作機構の解析を容易ならしめるため理論式を導びくに当り，ループ素子分布の状態を h_i,$-h_k$ 平面の方形 ABCD 内においてのみ均一な分布をなし，方形外においてはその分布を0と仮定したこと，及びマスターテープの信号記録時におけるスペーサーの摩滅による磁界変化等に起因するものと思われる。

7　結　論

以上の結果より，磁気テープの最適転写磁界は，マスター及びコピーテープの磁気特性によつて定まり，特にコピーテープの飽和磁界値 H_q' の大小により

(i)　$H_{Bm} < H_q'$ の時は　$H_B = H_{Bm}$　(㉙式)

(ii)　$H_{Bm} > H_q'$ の時は　$H_B = H_q'$　(㉝式)

とした時，最大転写出力が得られる。

但し本論文では前述の如く，ループ素子分布

に関し，Fig. 15 の方形 ABCD 内でのみ $\eta(h_i,h_k)$ を一定とする等価的仮定を設けたこと，また磁気テープのヒステリシス損，渦電流損及びループ素子間の相互作用等はすべて無視しているが，本解析の範囲においても，実測結果とほぼ一致していることが確かめられた。

なお本論文ではマスターテープの記録信号として，特定の信号周波数のみについて実験を行ない，これを一定として取扱つたが，信号周波数を変えた場合及びマスターテープの残留磁化と転写によるコピーテープの残留磁化との関係等については，稿を改めて検討することとする。

最後に本研究に当り，終始御懇切なる御指導を賜つた工学部田中信義教授に深謝すると共に，終始御援助戴いた山本外史助教授並びに大坪昭講師に対し，深甚の謝意を表する次第である。

（附記）
本論文は昭和37年度，電気三学会北陸支部連合大会において筆者の発表した講演内容を纏めたものである。

参 考 文 献

1) **並河**： 電気通信学会雑誌，磁気記録特集号，(1961) P. 165～P. 170.
2) **F. Preisach**： Zeit. für plys. 94. 277 (1935).
3) **田中・大坪**： 電気学会雑誌，第81巻第870号，(1961) P. 413～P. 442.
4) **河合・山本**： 金大教育学部紀要 第10号，(1962) P. 68～P. 79.
5) **田中・大坪・大谷**： 応用物理，第29巻 第4号 (1960) P. 234～P. 239.
6) **電気学会編**： 電気工学ハンドブック，P. 82.
7) **田中・大坪・高島**： 電気学会雑誌 第80巻 第867号，(1960) P. 60～P. 66.
8) **田中・河合・山本・大坪**： 昭和37年度 電気三学会北陸支部連合大会予稿，P. 1.
9) **山本・田中・河合・大坪**： 昭和37年度 電気三学会東海支部連合会予稿，

ON THE OPTIMUM MAGNETIC FIELD IN MAGNETIC PRINTING

Shigeharu KAWAI

Abstract

While two leaves of magnetic tape, one is the magnetized master tape in which signal has been recorded, and the other is the coppy tape which has been demagnetized perfectly, are runing into a certain magnetic field with each other closely to the magnetic membrance, the residual magnetization of master tape is printed in the coppy tape.

This study was designed to analyze the action structure of the magnetic printing characteristic, according to the F. Preisach's theory that the magnetic substance is a gathering of square hysterisis loops. On the one hand, as the relation between the magnetic field and the residual magnetizazion of magnetic tape has already explained by someone. I induced the experimental epuation which showed the value of optimum magnetic field in magnetic printing by putting the results shown in these relations together.

Consequently I could forsee that the value of optimum magnetic field in magnetic printing takes different value accoding to the kinds of magnetic characteristic of master tape and coppy tape, and the value of optimum magnetic field is as follaws :

(i) In the case of $H_{Bm} < H_q'$

$$H_{Bm} = \sqrt{\frac{1 + a^2 + \sqrt{(1 + a^2)^2 + 12a^2}}{6}} \quad , \quad H_i' = aH_q'$$

(ii) In the case of $H_{Bm} > H_q'$

$$H_B = H_q'$$

Where H_{Bm} in the above quations is the value of optimum magnetic field in magnetic printing, H_B is the value of magnetic field at the time when the magnetic printing is done, H_p' is the value of magnetic field in the point where the magnetization curve of coppy tape begins to rise suddenly, and H_q' is the value of saturated magnetic field in the normal saturation curve of coppy tape.

In this study, however, I experimented only as to a fixed frequency which has been recorded in the master tape as signal, and I did not refer to analysis on the relation between the residual magnetization of the master tape and the residual magnetization which is printed in the coppy tape by magnetic printing.

Next time I intend to analyze the above mentioned relation taking place when signal frequency is variously changed.