室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

磁気増幅器に用いられる三脚型鉄心の窓形状と特性の関係について

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 室蘭工業大学
	公開日: 2014-05-21
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 小斯波, 脩
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3028

磁気増幅器に用いられる三脚型鉄心の窓形状と特性の関係について

小 斯 波　脩

On the Relation between the window-form of Three-legged Core and Magnetic Amplifier Performance

Osamu Koshiba

Abstract

The analysis on the variation of series connected magnetic amplifier performance due to the window-form of three-legged core considered in this paper is based on an approximation of the magnetization curve of the core by linear segments. The window-forms of three-legged core are represented by means of the parameters λ, q, and p, for expedient of comparison, that is, the width of center leg is $W=\lambda.\sqrt{H\cdot D}$, where H and D are the lengthwise and crosswise dimensions of the window, the winding space $H\cdot D$ is constant and $H/D=q^2$, and the width of outer leg is $W/2p$.

The current gains at the load resistance $R_L=O$ are varied by the values of H/D of the varying window-forms, accordingly the ratio $\alpha/\alpha'=p/K_1\cdot K_2$ at the operating point of the same flux density and $\alpha/\alpha'=1/K_1$ at the same signal d.c. current are calculated with above mentioned method.

I 緒　　言

磁気増幅器の三脚型鉄心として，外鉄型変圧器の鉄心を用いる場合普通両脚の幅は中央脚の幅の$\frac{1}{2}$であるから内鉄型又はtoroidal型鉄心を二個組合せたものと同様である。特性の解析に関する多くの文献にみられる斯かる鉄心構成に対して，筆者はさきに三脚型鉄心の両脚断面積を変化した場合の特性の変化について考察し，両脚断面積を中央脚の$\frac{1}{2}$より細くした場合特性が改善されることを，計算例ならびに珪素鋼板鉄心の場合の実験結果について報告したが[1] さらに鉄心寸法の基準を一般化し，鉄心窓の形状を変化した場合について，考察した結果について述べる。

II 基 礎 的 假 定

特性の近似的解析を進めるに当り，次の如く仮定する。

---

1 小 斯 波：昭和27年，電気三学会連合大会講演論文集 (2) 4.55 (1952)

（イ）　三脚型鉄心の寸法を第1図の如く定め，平均磁路長は磁路の中心線をとり

交流磁路　　$l_{ac} = 2\,(H+2D+2W)$

直流磁路　　$l_{dc} = 2\,(H+D+W)$

とし漏洩磁束を無視する

（ロ）　鉄心材料の磁化曲線を，簡単に第2図の如き折線特性[2~5]と仮定し，Hysteresisを無視する

（ハ）　積厚及び中央脚断面積を一定に保ち且つ窓面積即ち巻線spaceを一定とし，交流負荷巻線及び直流信号巻線の巻回数を同一とする

斯くして鉄心窓の縦横比H/Dを変えた場について直列可飽和reactorの特性の変化を考察する。

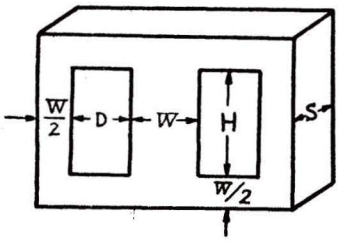
Ⅲ　特性の近似解析

交流負荷巻線回路の関係式を求めるに，磁気増幅器としての通常の働作特性上，印加交流電圧を pulstance，ωの正弦波とし，その振幅が比較的小さく直流信号電流が零の時第3図に示す如く磁束密度が飽和屈曲点 B_k以下の場合について考える。負荷巻線の inductance は巻回数をN_{ac}とすれば

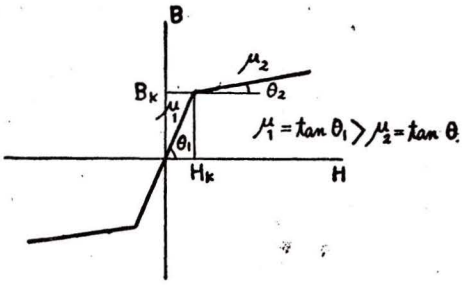
$$L_1 = \frac{0.4\pi \cdot N^2_{ac} \times 10^{-8}}{\dfrac{2(H+2D+2W)}{\mu_1 \cdot \dfrac{W}{2} \cdot S \cdot \sigma}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

で表わされ，これが巻線抵抗 r_{ac}に比し甚だ大きく$\omega L_1 \gg r_{ac}$ならば，交流電流は

$$I_1 = \frac{E_{ac}}{\omega L_1} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$



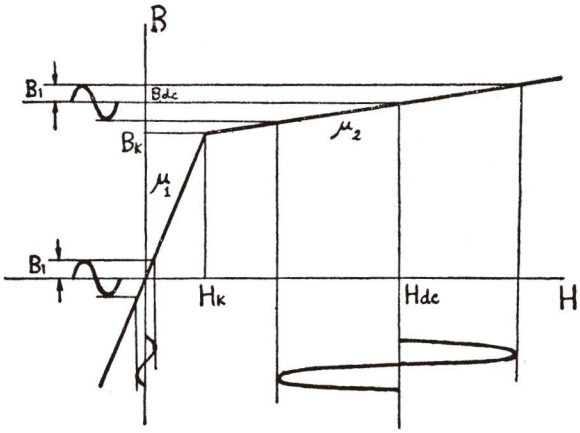
第1図　三脚型鉄心寸法



第2図　折線磁化特性

直流信号巻線に電流 I_{dc} が流れた場合，それによる起磁力が相当大きく，充分飽和の範囲に働作点を決定すること第3図の如くであるとすれば，交流負荷巻線の inductance は

2　R. Feinberg：Wireless Eng.　27,　118～24　(1950)
3　出川，山本：信学誌　38,　437～42　(1950)
4　L. A. Finzi & G. F. Pittman, Jr; E. E.　72,　690～94　(1953)
5　L. J. Craig：Proc. I. R. E.　41,　1,477～82　(1953)



第3図　働　作　説　明　図

$$L_2=\frac{0.4\pi\cdot N^2ac\times10^{-8}}{\dfrac{2(H+2D+2W)}{\mu_2\cdot\dfrac{W}{2}\cdot S\cdot\sigma}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

に減少するので，負荷抵抗 $R_L=0$，又は$\omega L_1\gg R_L$とすれば交流電流は

$$I_2=\frac{Eac}{\omega L_2}=\frac{L_1}{L_2}I_1=\frac{\mu_1}{\mu_2}I_1\cdots\cdots(4)$$

で表わされる。

従つて電流増幅率は次式で表わされる

$$\alpha=\frac{I_2-I_1}{Idc}=\frac{\mu_1-\mu_2}{\mu_2}\frac{I_1}{Idc}\cdots\cdots(5)$$

若しこの際屈曲点 Bk の極く近傍まで直流biasを与えておけば，Idc が小さくて済むからαの値が増大する。

負荷抵抗 R_L を考慮した場合には電流増幅率は

$$\beta=\left\{\sqrt{\frac{(\omega L_1)^2+R^2_L}{\left(\dfrac{\mu_2}{\mu_1}\right)^2(\omega L_1)^2+R^2_L}}-1\right\}\cdot\frac{I_1}{Idc}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

又電力増幅率 $G=\dfrac{(I_2{}^2-I_1{}^2)R_L}{I^2dc.r}=\dfrac{\left\{1-\left(\dfrac{\mu_2}{\mu_1}\right)^2\right\}(\omega L_1)^2}{\left(\dfrac{\mu_2}{\mu_1}\right)^2(\omega L_1)^2+R^2_L}\cdot\dfrac{I_1{}^2\cdot R_L}{I^2dc.r}\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$

但し rは 直流信号巻線の抵抗とする。

直流信号電流を通ずる際の時定数は，

$$\tau=\frac{L}{r}+\frac{L_1}{rac}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

ここに L は直流信号巻線のinductanceにして

$$L=\frac{0.4\pi\cdot N^2dc\times10^{-8}}{\dfrac{2(H+D+W)}{\mu_1\cdot\dfrac{W}{2}\cdot S\cdot\sigma}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

但しNdcは直流信号巻線の巻回数である。

Ⅳ　窓形状の変化の影響

両脚断面積を中央脚の$\dfrac{1}{2p}$とし且つ鉄心窓の形状を，今Hを q倍，Dを$\dfrac{1}{q}$倍(縦横比$H/D=q^2$倍）となすものと考えると，負荷巻線の inductance は（1）式に対応して

$$L_1'=\frac{0.4\pi\cdot N^2ac\times10^{-8}}{\dfrac{2\left\{p\cdot qH+\dfrac{2}{q}D+\dfrac{(p+1)^2}{2p}W\right\}}{\mu_1\cdot\dfrac{W}{2}\cdot S\cdot\sigma}}\cdots\cdots(10)$$

従つて (1), (10) 両式より

$$\frac{L_1}{L'_1}=\frac{p\cdot qH+\dfrac{2}{q}D+\dfrac{(p+1)^2}{2p}W}{H+2D+2W}\equiv K_1\cdots\cdots(11)$$

即ち L_1'が L_1の $\frac{1}{K_1}$ になる。これは等価的に導磁率が $\frac{1}{K_1}$ になつたと考えてよい。従つて交流電流は印加交流電圧を同一とすれば，式に対応して

$$I_1'=\frac{E\,ac}{\omega L_1'}\cdots\cdots(12)$$

故に

$$\frac{I_1}{I_1'}=\frac{L_1'}{L_1}=\frac{1}{K_1}\cdots\cdots(13)$$

即ち電流ははじめの K_1倍になる。両脚部分における磁束密度を等しからしむれば

$$\frac{I_1}{I_1'}=\frac{p}{K_1}\cdots\cdots(14)$$

直流信号巻線回路について考えると，働作点における直流磁束密度は，第3図から明らかに，

$$Bdc=Bk+\mu_2\ (Hdc-Hk),$$

$$=\frac{0.4\pi\left(\dfrac{Ndc}{2}\right)}{2(H+D+W)}\{(\mu_1-\mu_2)Idck+\mu_2Idc\}\cdots\cdots(15)$$

但し$Idck$は磁化力Hkを与える直流電流，で表わされるから窓形状を変化すると，

$$Bdc'=\frac{0.4\pi\left(\dfrac{Ndc}{2}\right)}{2\left\{qH+\dfrac{1}{p\cdot q}D+\dfrac{(p+1)^2}{2p^2}W\right\}}\{(\mu_1-\mu_2)Idck'+\mu_2Idc'\}\cdots(16)$$

従つて $Bdc=Bdc'$ ならしむれば

$$\frac{Idc}{Idc'}=\frac{2(H+D+W)}{\dfrac{p+1}{p}\cdot qH+\dfrac{2}{p\cdot q}D+\dfrac{(p+1)^2}{2p^2}W}\equiv K_2\cdots\cdots(17)$$

故に直流信号電流Idc'は始めの $\frac{1}{K_2}$ になる。以上により（5）式に対応して電流増幅率は

$$\alpha'=\frac{I_2'-I_1'}{Idc'}=\frac{\mu_1-\mu_2}{\mu_2}\cdot\frac{K_1}{p}\cdot K_2\cdot\frac{I_1}{Idc}\cdots\cdots(18)$$

故に

$$\frac{\alpha}{\alpha'}=\frac{p}{K_1K_2}\cdots\cdots(19)$$

印加交流電圧のみならず直流信号電流も同一とすれば

$$\alpha''=\frac{\mu_1-\mu_2}{\mu_2}\cdot K_1\cdot\frac{I_1}{Idc}\cdots\cdots(20)$$

故に

$$\frac{\alpha}{\alpha''}=\frac{1}{K_1}\cdots\cdots(21)$$

次に時定数の変化を求めると（8）式に対応して

$$\tau'=\frac{L}{r}\cdot\frac{K_2}{p}+\frac{L_1}{rac}\cdot\frac{1}{K_1}\cdots\cdots(22)$$

三脚型鉄心の中央脚の幅と窓の幅の関係を，いま $W=\lambda\cdot\sqrt{H\cdot D}$ とおき且つ窓形状が正方形のとき即ち$H=D$の場合を基準にして(11), (17) 両式に定義せる定数 K_1 及び K_2 を書直すと

第 1 表　特性定数の計算値　(p=1の場合)

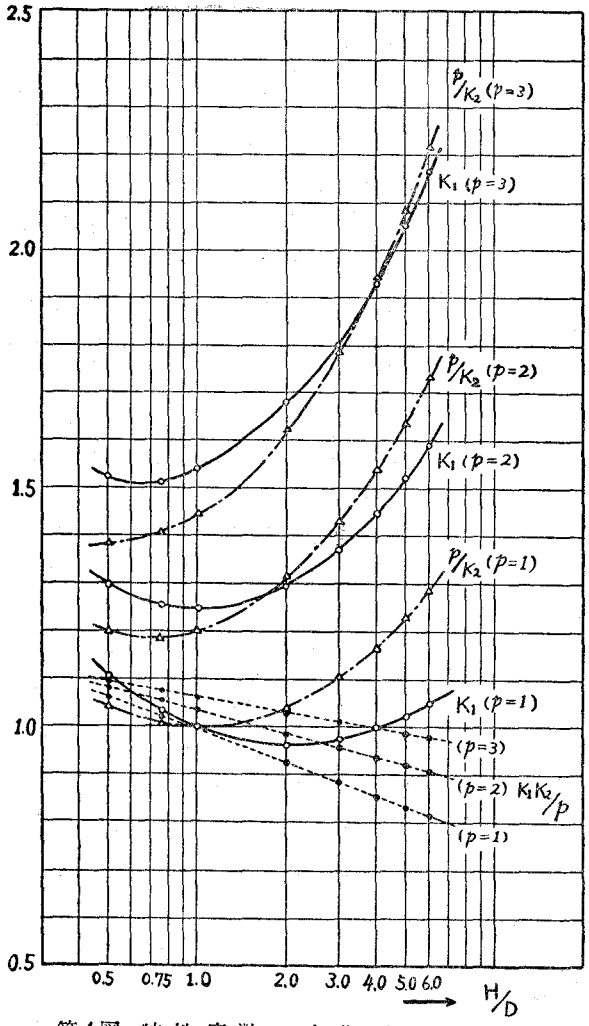
H/D	λ = 0.5			λ = 0.75			λ = 1.0			λ = 1.25		
	K_1	p/K_2	K_1K_2/p	K_1	p/K_2	K_1K_2/p	K_1	p/K_2	K_1K_2/p	K_1	p/K_2	K_1K_2/p
0.5	1.134	1.049	1.081	1.119	1.044	1.070	1.106	1.040	1.062	1.099	1.037	1.060
0.75	1.044	1.008	1.035	1.040	1.008	1.031	1.032	1.006	1.026	1.031	1.005	1.026
1	1,000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.957	1.166	0.821	0.962	1.042	0.923	0.966	1.040	0.929	0.970	1.037	0.940
3	0.972	1.176	0.827	0.975	1.111	0.877	0.976	1.103	0.885	0.979	1.095	0.894
4	1.000	1.200	0.833	1.000	1.181	0.846	1.000	1.165	0.858	1.000	1.154	0.865
5	1.032	1.273	0.811	1.030	1.249	0.825	1.025	1.228	0.835	1.024	1.210	0.847
6	1.066	1.343	0.793	1.060	1.312	0.808	1.053	1.286	0.819	1.049	1.263	0.830

第 2 表　特性定数の計算値　(p=2の場合)

H/D	λ = 0.5			λ = 0.75			λ = 1.0			λ = 1.25		
	K_1	p/K_2	K_1K_2/p	K_1	p/K_2	K_1K_2/p	K_1	p/K_2	K_1K_2/p	K_1	p/K_2	K_1K_2/p
0.5	1.342	1.215	1.105	1.318	1.205	1.095	1.299	1.200	1.082	1.284	1.193	1.076
0.75	1.292	1.207	1.070	1.273	1.200	1.061	1.258	1.193	1.054	1.246	1.188	1.048
1	1.281	1,225	1.046	1.262	1.215	1.038	1.250	1.208	1.034	1.239	1.200	1.031
2	1.342	1.356	0.990	1.318	1.334	0.987	1.299	1.318	0.987	1.282	1.301	0.986
3	1.433	1.495	0.958	1.400	1.461	0.957	1.374	1.433	0.960	1.351	1.410	0.958
4	1.531	1.625	0.942	1.484	1.579	0.941	1.450	1.541	0.941	1.420	1.510	0.940
5	1.623	1.745	0.930	1.568	1.689	0.928	1.523	1.642	0.927	1,488	1.604	0.927
6	1.710	1.857	0.921	1.644	1.790	0.919	1.593	1.735	0.918	1.550	1.688	0.918

第 3 表　特性定数の計算値　(p=3の場合)

H/D	λ = 0.5			λ = 0.75			λ = 1,0			λ = 1.25		
	K_1	p/K_2	K_1K_2/p	K_1	p/K_2	K_1K_2/p	K_1	p/K_2	K_1K_2/p	K_1	p/K_2	K_1K_2/p
0.5	1.571	1.398	1.124	1.545	1.392	1.110	1.523	1.387	1.098	1.505	1.382	1.088
0.75	1.560	1.421	1.097	1.534	1.412	1.086	1.515	1.406	1.076	1.498	1.400	1.070
1	1.583	1.467	1.078	1.556	1.454	1.070	1.533	1.444	1.060	1.514	1.435	1.054
2	1.747	1.681	1.040	1.700	1.648	1.031	1.664	1.623	1.025	1.635	1.601	1.020
3	1.921	1.883	1.020	1.855	1.830	1.013	1.803	1.791	1.005	1.760	1.756	1.001
4	2.083	2.067	1.008	2.000	2.000	1.000	1.933	1.944	0.994	1.879	1.897	0.990
5	2.234	2.234	1.000	2.135	2.152	0.992	2.054	2.084	0.984	1.990	2.026	0.981
6	2.374	2.389	0.993	2.256	2.290	0.984	2.166	2.213	0.980	2.090	2.145	0.974



第4図　特性定数の変化　(λ=1.0の場合)

$$K_1=\frac{p\cdot q+\frac{2}{q}+\frac{(p+1)^2}{2p}\cdot\lambda}{3+2\lambda}\cdots(23)$$

$$\frac{p}{K_2}=\frac{(p+1)\cdot q+\frac{2}{q}+\frac{(p+1)^2}{2p}\cdot\lambda}{4+2\lambda}\cdots(24)$$

p = 1, 2, 及び3の場合についてλをparameterとして H/D を変えた場合の計算値を第1表乃至第3表に示す。第4図はλ=1の場合について曲線に表わしたものである。

負荷抵抗 R_L を考慮した場合の電流増幅率及び電力増幅率も夫々(6), (7) 両式に対応して求める事が出来るが, $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ 及び $\frac{\omega L'}{R_L}$ の値に応じて変化するので比較的複雑になるのでここには省略する。

計算結果から明らかなる如く, p = 1 即ち両脚断面積が中央脚の $\frac{1}{2}$ の型においては $H/D>4$ とすれば良いがp>1では$H/D>1$で特性が改善され, 特に両脚断面積の減少による効果が大きい。従つて磁気増幅器用鉄心とて三脚型を用いる場合には H/D が大きい程良い然し極端に大きくする事は, 漏洩磁束と負荷impedanceのoptimum-value の点で考慮を要する。即ち交流負荷巻線のinductanceが減少すれば負荷impedanceのoptimum-valueも減少する。時定数については, 一般に直流信号巻線の巻回数が交流負荷巻線のそれに比べて大きいので(22)式から$H/D>1$において減少する傾向を示し, 従つて応動速度が速くなると考えられる。いま或る三脚型鉄心について, H, D, 及びWを知れば, $W=\lambda\sqrt{HD}$より λ を求め且つp及びq の値を求めることにより(23)ならびに(24)式の計算結果の第1表乃至第3表に照らして定数K_1, p/K_2, 及び K_1K_2/p の概略の値が解るので, (5), (19) 及び(21)式等により電流増幅率が推定出来る。

V 結　　言

磁気増幅器における三脚型鉄心の設計に当り鉄心窓の形状を決定するに，以上述べた処により予め特性との関係を推測する事が出来る。又既に作られた磁気増幅器の特性を改善しようとする場合に，両脚断面積を細くする事によつて工作も簡単に改善出来る。

負荷impedanceを考慮した場合及び，饋還を施した磁気増幅器については更に考察を進めたいと考えている。

最後に御指導御鞭撻下さつた沢教授ならびに電気工学科教官各位に謝意を表する。

附記　本研究は昭和28年度文部省科学研究助成補助金並びに北海道科学研究費補助金の交付を受けて行つたものの一部である。

（昭和29年6月19日受付）