

パワートランスの簡単な設計及び製作法

1. ラジオ用電源変圧器の概念

一般にラジオに使用せられている変圧器は、ラジオ全体に電力を供給するもので、いわばラジオの心臓を為すものであるが、材料の劣悪な為と設計の不適に依って、最近の製造に掛るラジオの電源変圧器が熱くなったり、甚しい物は焼損するものが多いことは残念なことである。

之はラジオ用変圧器の様な小型のものはいい加減の腰だめ設計でよいという安易な気持と技術に忠実でない製作者のために起る障害に外ならない。いくら小型変圧器でもはっきりした理論と細心の注意を以って、設計製造をしなければ、その製作者は技術者とは云われぬ。

ここに述べ様とする変圧器の設計、製作法は大体 160W 迄の単相ラジオ用変圧器についてであって、この変圧器から高圧直流電源と^{フィラメント} 織條電源を供給するためである。しかし余り複雑な計算は、煩雑であるばかりでなく、理論倒れで実際に使用するには、何にも役に立たないという滑稽なことになるから、主に実験式を元にして進んで行きたいと思う。

今から記述する変圧器は、次の三つの条件を持っていると考えて進むと設計の方針がはっきりする。

1. ラジオ用電源変圧器は能率を余りやかましく云わないこと。先ず 80% 能率位に考えて、入力 60W のものでは、出力 48W 位は許し得るものと考えること。
2. 変圧器の負荷は一定であると考えること。
3. 二次側負荷は或一定の力率をもっていると考えること。織條は殆んど抵抗と看做してよい。高圧側は織條より力率は低いが、この場合矢張一定力率と考えてよい。

最も経済的な変圧器は、鉄心断面積が大きく電線量が少ない場合で、しかも磁路が出来るだけ短いものである。もちろん鉄心の結び合わせの部分がきっちり合っていないものは鉄心量だけを増した処で何んの価値もない。

鉄心の構造は色々のもがあるが、ラジオ用は殆んど E 型が使用せられている。電線の捲枠はエボナイト、フェノールレジン又はパラフィンで煮込んだ絶縁枠で出来ている。両端の^{つば} 錨はターミナルを付けるときに便利であるが、最近のものは錨が無く遊動線のリード線で端子が出されているものが多い。しかし捲線機を持たない人達には錨付を推奨する。それは捲線が^{コイル} 線輪の端からずり落ちない為である。

2. 設計法

【1】各二次線輪に必要な電圧，電流の決定

① 全最大二次電力の決定

$$W_s = E_1 I_1 + E_2 I_2 + \dots \quad (1)$$

$\left. \begin{array}{l} E_1, I_1 \\ E_2, I_2 \end{array} \right\}$ 各必要な二次線輪の電圧電流を示す。

② 一次側側に必要な全電力の決定

能率を 90% と仮定すれば

$$W_p = \frac{W_s}{0.9} \quad (2)$$

③ 力率を 90% と仮定して一次電流の決定

$$I_p = \frac{W_p}{E_p \times 0.9^2} = \frac{W_s}{0.81 E_p} \quad (3)$$

但 E_p = 一次電圧， E_p は一般に 100V であるから

$$I_p = \frac{W_s}{81} \text{ AMP}$$

である。

【2】電線の大きさ

各線輪の電流を知り，これに必要な電線の大きさをきめる。一般に 50W 以下の変圧器では 1A 当り 0.8mm の電線を，50W 以上の変圧器では 1A 当り 1mm 直径の電線を使用する。この数値は開放された空間における電線の安全電流値より太くなっているのは，変圧器の線輪は密閉された処にあるから，それだけ放熱の条件が悪いからである。

故に，0.1A の電線の大きさは，
50W 以上の変圧器の場合

$$D_1 = \sqrt{0.1} = 0.316 \text{ mm(直径)} \quad (4)$$

50W 以下の場合

$$D_2 = 0.8\sqrt{0.1} = 0.253 \text{ mm(直径)}$$

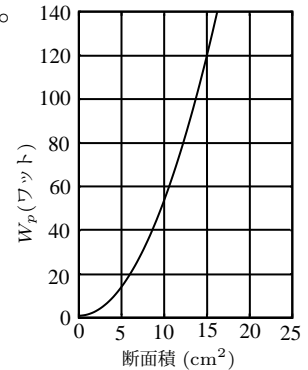
【3】鉄心の構造

鉄心断面積と電力との関係は、第1図に示す通りである。第1図で60Wでは断面積約10平方^{センチ}糎，120Wは約15平方糎である。この曲線は大体実験式として次式で与えられる。

断面積を A 平方糎とすれば

$$A = 1.35\sqrt{W_p} \quad (5)$$

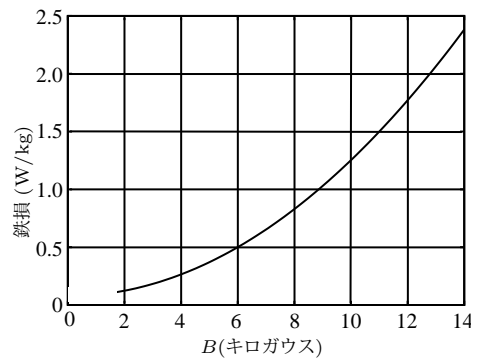
この鉄心の大きさから巻棒の大きさがわかる。巻棒は大体鉄心断面積の10%プラス位になる。例えば60Wの鉄心断面積は10平方糎で、巻棒断面積は12平方糎位に採るとよい。この鉄心の大きさは、後で出て来る1V当りの線輪巻数を決定するのに必要な条件になつて来る。



第1図

【4】鉄損

使用する鉄心の磁束密度によって、鉄損が決定せられる。第2図は一般に使用せられる鉄損を示している。只磁束密度は、10,000 ガウスと考えるとよい。この鉄損は周波数の増加と共に増して行く。この状況を第3図に示している。鉄損の計算は使用する鉄心の重さと、磁束密度で決定せられる。一般にラジオ用電源変圧器に使用せられる硅素鋼板は、大体1立方糎当り重量7.8gである。此処では鉄損を L_2 と置くこととする。



第2図

【5】1V当りの巻数

1秒間に 10^8 回磁束が線輪を切る時に、1Vを誘起する。故に鉄心の廻りに巻かれた線輪に誘起する電圧 E は、次の式で表わされる。

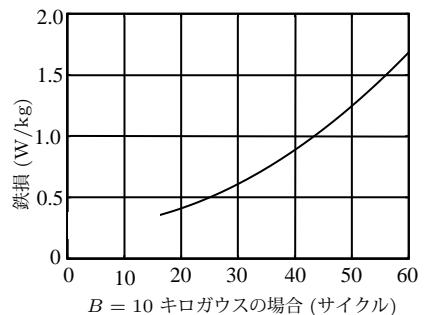
$$E = \frac{B \cdot A \cdot N \cdot f}{10^8} \times 4.44V \quad (6)$$

A = 鉄心断面積

B = A 中の単一面積内の磁束密度

f = 周波数

N = 巻線数



第3図

小型変圧器は一般に使用せられる方式として、1V 当りの巻数を N/E として置くことに依り得られる。

$$\frac{N}{E} = \frac{10^8}{B \cdot A \cdot f \times 4.44} \text{ ターン/V} \quad (7)$$

第4図は上式を現した図表である。

但し

$$B = 10,000 \text{ ガウス}$$

$$f = 50 \text{ サイクル}$$

例えば断面積 8cm^2 の鉄心は、1V 当り 6 ターンであることがわかる。

然し実際には、織條電源に就いて云えば、線輪の中の電線の電圧降下と、変圧器から真空管ソケット迄のリード線の電圧降下を考えて、無負荷の時の電圧は、それだけ高くしなくてはならない。大体 10% 位余計見込んで置きたい。

各真空管の織條電圧に対する無負荷電圧は第1表の様採る。

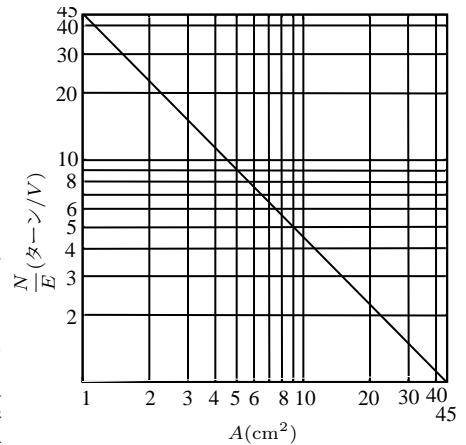
【6】各線輪巻数

本文では電線は全部エナメル被覆銅線使用とする。【1】に於いて各線輪の電圧 E_1 及 E_2 等が【5】に於いて 1V 当りの巻数が得られる。そして各線輪の総巻数が与えられる。例えば【5】の例で 1V 当り 6 ターンは、一次側は 100V であるから、600 ターンとなる。

【7】線輪の大きさ

線輪の総巻数と電線の太さがきめられると線輪全体が占める体積が計算出来る。一次線が 600 ターンであれば、その断面は 600 本の電線が現われるから、電線の太さが直径 0.4mm であれば、大体一次線の断面積は

$$0.4^2 \times 600 = 96\text{mm}^2 \quad (8)$$



第4図

第1表

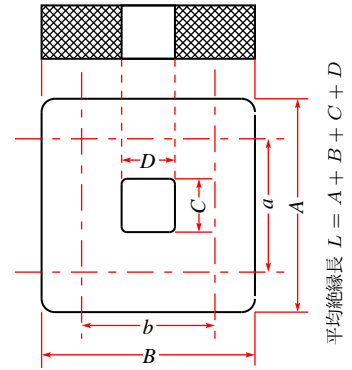
真空管名	規定織條電圧 (V)	変圧器無負荷電圧 (V)
UZ-58A	2.5	2.8
UY-56	2.5	2.8
UX-26B	1.5	1.7
UX-12A	5	5.5
KX-12F	5	5.5
KX-80	5	5.5

である。然し絶縁物が入り、又手巻きの時は、それより余計の断面積を必要とする、

【8】銅 損

銅損の計算は次の様な順序に行う。

- ① 平均巻数の長さを米で現わす。
但、平均巻数の長さは第5図の様にして見出す。
- ② ①に巻線数を掛ける。
- ③ 電線表から米当りの抵抗値を出し、②の長さの抵抗を出す。
- ④ 各線輪の電流の自乗と③の抵抗を掛け合わせる。
- ⑤ 各線輪の④の値の総和を出す。之を L_1 とする。



第5図

【9】能 率

$$\text{能率 } \eta = \frac{W_s \times 100}{W_s + L_1 + L_2} \% \quad (9)$$

註 能率 η が 90 以上であれば設計は上々である。

3. 設計例題

UZ-58A—UZ-57—UY-47B—KX-12F の配列のラジオの電源変圧器の設計法。

第2表

管 名	織 條		プレート		スクリーン グリッド	
	電圧 (V)	電流 (A)	電圧 (V)	電流 (mA)	電圧 (V)	電流 (mA)
UZ-58A	2.5	1	250	8	100	2
UZ-57	2.5	1	250	0.65	100	—
UY-47B	2.5	0.5	250	20	250	5
UX-12F	5	0.5	—	—	—	—

【1】各真空管定格値

第2表の定格を有するものとする。但高圧側の電圧、電流は実際に使用するものより多少大い目に見てある。

- a. 二次全電力 フィラメント 織條 供給電力は第2表から

$$W_1 = 2.5 + 2.5 + 1.25 + 2.5 = 8.75W$$

高圧側電力は第2表から

$$W_2 = (250 \times 8 + 100 \times 2 + 250 \times 0.65 + 250 \times 20 + 250 \times 5) \times 10^{-3} = 8.61W$$

全所要電力は

$$W_1 + W_2 = 17.36W = W_s$$

b. 一次電力 (2)式から

$$W_p = \frac{W_s}{0.9} = 19.3W$$

c. 一次電流 (3)式から

$$I_p = \frac{W_s}{E_p \times 0.81} = \frac{19.8}{81} = 0.238 \text{ AMP}$$

【2】電線の大きさ

この変圧器は50W以下であるから電線は0.8^{ミリ}耗/AMPによると各線輪の電線を決定することが出来る。但しUZ-58A, UZ-57とUY-47Bは同じ線輪から^{フィラメント} 緋條電源を供給するものとして、この線輪をC₁とする。KX-12Fの緋條電源を与える線輪をC₂とする。高圧の線輪をC₃とする。

各線輪の電流は、C₁が2.5A, C₂が0.5A, C₃が0.036A, 一次線輪が0.238Aであるから、各線輪の電線の太さは(4)式により次の様に与えられる。

C₁の電線の太さは、 $0.8 \times \sqrt{2.5} = 1.265\text{mm}$, C₂の電線の太さは $0.8 \times \sqrt{0.5} = 0.566\text{mm}$, C₃の電線の太さは $0.8 \times \sqrt{0.036} = 0.152\text{mm}$, 一次線輪の電線の太さは $0.8 \times \sqrt{0.238} = 0.39\text{mm}$ 。

以上の計算より得られたC₁, C₂, C₃及一次線輪の電線の太さに近くて少し太目の電線を選ぶとS.W.Gで表わし、C₁ = 17番, C₂ = 23番, C₃ = 37番, 一次 = 27番となる。

【3】鉄心断面積

$$(5) \text{式から断面積 } A = 1.35 \times \sqrt{19.3} = 5.9\text{cm}^2$$

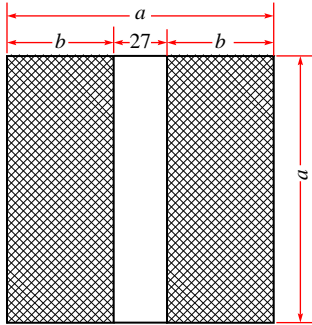
大体2.45 × 2.45cmになるから一枚の硅素鋼板の厚さが0.38mmであれば65枚を重ねる必要がある。

【4】1V当りの捲数

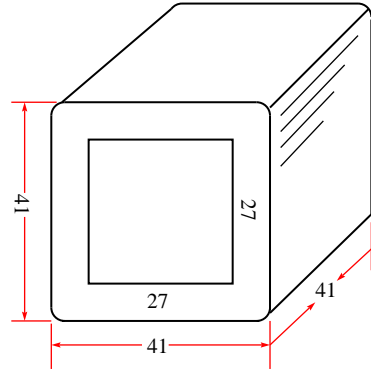
第4図から8ターン/Vであることがわかる。

【5】各線輪捲数

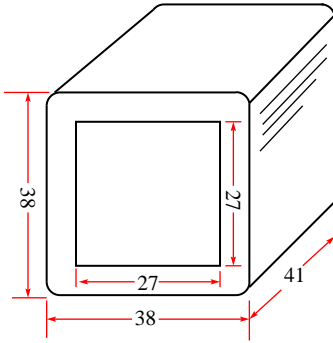
C₁ = 22.5回, C₂ = 46.5回, C₃ = 1600回, 一次 = 800回



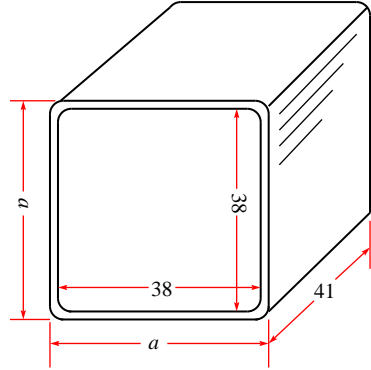
第 6 图



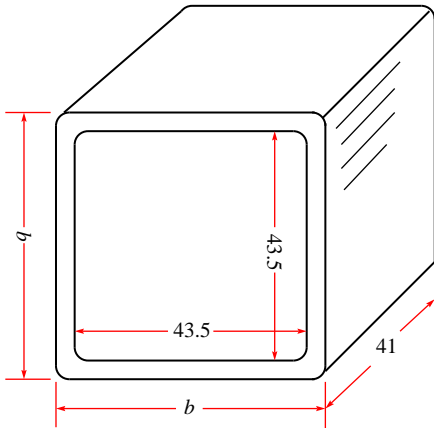
第 7 图



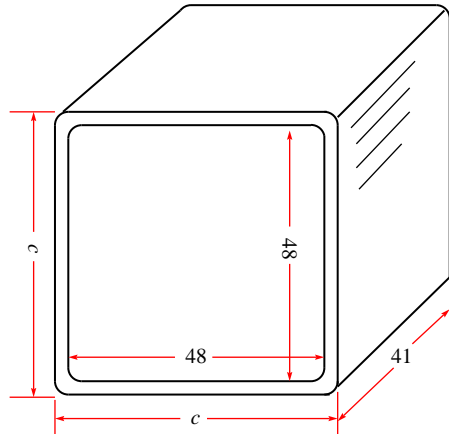
第 8 图



第 9 图



第 10 图



第 11 图

【6】各線輪の大きさ

一次線輪を一番下に巻きその上に C_3 を巻き、その上に夫々 C_1 , C_2 を巻き、出来上った一つの線輪が大体縦, 横, 高さ同じ寸法になる様にするとよい。その為には, 各線輪の断面積は【2】の 17, 23, 37, 27 番線の直径は夫々 ^{それぞれ} 1.42, 0.61, 0.17, 0.42mm であるから, この直径の自乗に巻数を乗ずればよい。即ち

$$C_1 \text{ は } (1.42)^2 \times 22.5 \doteq 44.5\text{mm}^2$$

$$C_2 \text{ は } (0.61)^2 \times 46.5 \doteq 17.3\text{mm}^2$$

$$C_3 \text{ は } (0.17)^2 \times 1600 \doteq 48\text{mm}^2$$

$$\text{一次は } (0.42)^2 \times 800 \doteq 139\text{mm}^2$$

$$\text{総面積は } 45.5 + 17.3 + 48 + 139 \doteq 250\text{mm}^2$$

絶縁物等の余裕を見て 10% を掛けると,

$$250 \times 1.1 = 275\text{mm}^2$$

第 6 図より

$$a \times b = 275 \quad (10)$$

$$a = 2b + 27 \quad (11)$$

を得て,

$$a \doteq 41\text{mm}$$

$$b \doteq 7\text{mm}$$

となる。

故に全体の線輪の大きさは大体第 7 図の様になる。

一次線輪は 41mm の幅に 97 回巻き, 層数は 9 層になる。故に一次線輪の大きさは線輪の上を絶縁紙で包むから, 第 8 図の様になる。従って平均巻線長は,

$$\ell_1 = (38 + 27) \times 2 = 0.13\text{m}$$

線輪 C_3 は第 9 図の様な寸法になる。 a の出し方は一次線輪と同じ様に計算すると, 一層に 236 回, 層数は 7 層, a は約 43.5mm (絶縁紙で包んだ大きさである。) となる。

平均巻線長は,

$$\ell_2 = 0.163\text{m}$$

線輪 C_1 は第 10 図の様になる。上記の方法と同様に一層に 29 回巻けるが、22.5 回しか巻かないから 1 層で間に合う。

第 10 図の b は

$$b = 48\text{mm}$$

平均巻線長

$$\ell_3 = 0.183\text{m}$$

となる。

線輪 C_2 は第 11 図の様になり、465 回だから、1 層でよい。第 11 図の C は

$$C = 52\text{mm}$$

平均巻線長

$$\ell_4 = 0.2\text{m}$$

となる。

以上の様にすると、第 7 図の計算より、全体の大きさが第 12 図の様に大きくなる。

この際、長さの方も 41mm より 47mm に大きくしたのは、巻枠の端まで線を巻くと、電線がずり落ちる為、巻線の両端 3mm 宛大きくした巻枠を使用した為である。

【7】銅 損

【6】の平均巻線長と銅線の抵抗（表省略）から全銅損 L_1 は

$$L_1 = 1.4W$$

となる。

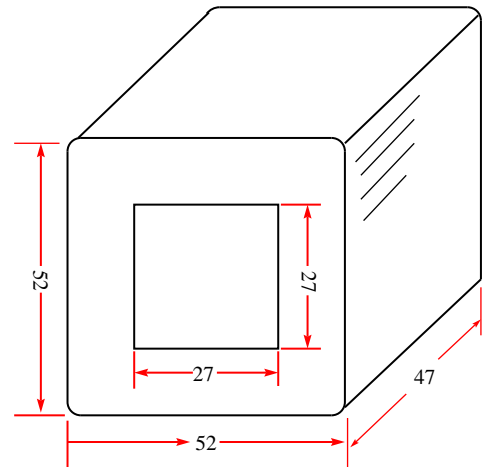
【8】鉄 損

線輪の大きさより鉄心の大きさが第 13 図の様に決まる。

図より鉄心の体積 V は 104cm^3 となり、これに珪素鋼板の重量 $7.8\text{gr}/\text{cm}^3$ より全重量 0.81Kg を得。

従って鉄損 L_2 は第 2 図より $B = 10,000$ ガウス、50 サイクルの時 $1.25W/\text{Kg}$ であるから

$$L_2 = 1.25 \times 0.81 = 1.02W$$



第 12 図

【9】能率

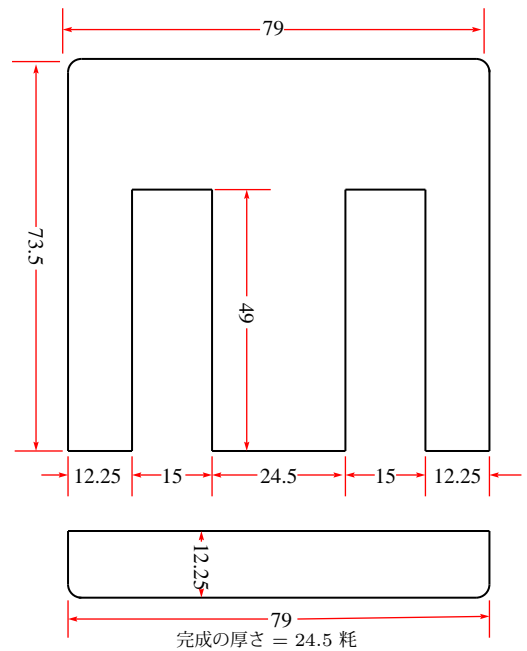
(9) 式から

$$\eta = \frac{W_s \times 100}{W_s + L_1 + L_2} = \frac{17.4 \times 100}{17.4 + 1.4 + 1.0} = 88\%$$

4. 製作法

【1】組立

線輪の大きがわかればプレスパン等で作った四角の捲枠を作り，その上にパラフィン紙を二三回巻いた上に一次線輪をよく並べて捲く。捲き初めは遊動線とハンダ付して遊動線を線輪外に出して置く。電線は2層に1回パラフィン紙で絶縁する。巻き終りは捲き初めと同じ様に遊動線で取り出す。一次線を捲いた上に又プレスパンで絶縁して，一次線輪と同様に高压の二次線輪を捲く。二次線輪の上を又プレスパンで覆い線輪 C_1 , C_2 を捲く。 C_1 , C_2 は捲数が少ないから，なるべく捲いた線が線輪の中央部に集まる様にする。出来上った線輪は上をプレスパンで包みパラフィン煮込みをする。この際パラフィンの温度は余り高くしない様にする。



第 13 図

次に鉄心であるが計算通りの鉄心がない時は，それに近い寸法のを求め線輪の寸法等を計算しなおせばよい。

線輪を鉄心に入れるのは E 型の鉄心を一枚宛互いちがえに入れて行って最後に短冊型の鉄心を一枚毎すき間が出来た処に挿し込む。このときリード線や線輪を鉄心で傷けない様に注意しなくてはならない。

組上った鉄心は四方を木槌で軽く叩いて各板がよく重なり合って空間のない様にきちんと整頓する。特に E 型と短冊型の鉄心の間のすき間は変圧器の性能を甚しく悪化するからよくすき間のない様にしなくてはならない。

この様にして出来上った変圧器は鉄心全体を良く締めて鉄心間の空隙を無くする。

【2】試験

出来上がった変圧器は 500V メガーで各線輪及鉄心間を測定して絶縁抵抗 20MΩ 以上あれば良い。

次に一次線に正規の 100V を与え各線輪に設計通りの無負荷電圧が出るか否かを調べる。

5. オート・トランス製作法

現在家庭に入つて来ている電灯線の電圧が低くなって、中にひどい所は 50V 以下に下がることがある。

ラジオは 100V を規定電圧として設計してあるから、90V 迄は先ず使用出来るのであるが、80V 以下になっては最早各真空管に規定電圧が与えられないで聴こえなくなってしまう。

しかしこのとき低下した電圧を又元の 100V に上げてやればラジオは使用出来る訳である。この目的の為に電圧を上げたり下げたりする変圧器をオートトランス (Auto-transformer) と云つている。

【1】型 式

電圧を変化する変圧器は第 14 図の様な二通りがあるが、現在一般に使用されている方法即ちオートトランスは B の方である。結局 A と B とは同じことであるが、B の方が変圧器として経済的である。即ち

- i 鉄心が少量で済む。
- ii 細い電線を使用することが出来る。

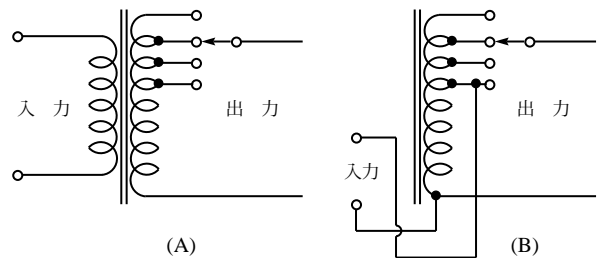
【2】設 計

第 15 図に於て入力を BC 端子、出力を AC 端子とし、BC 間の巻数を N_1 、AC 間の夫れを N_2 とすると大略

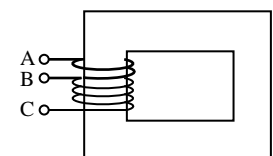
$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

となる。 E_1 は入力電圧、 E_2 は出力電圧、 I_1 は入力電流、 I_2 は出力電流である。

そして BC 間では I_1 と I_2 の電流の方向が正反対であるから、BC 間では I_1, I_2 電流の差だけの電流が流れるから BC 間の電線は細いもので間に合うことになる。併し AB 間は I_2 電流そのままが流れる。



第 14 図



第 15 図

【3】設計例題

実際には励磁電流、巻線内の電圧降下などがあって巻線比がそのまま電圧比にはならないが、オートトランスでは正確に電圧を計算しても入力がどんなに変化するかわからないから無意味になるので巻線比が電圧比と考えて設計して差支ない。

四球式ラジオに使用するオート・トランスで入力電圧の 70V, 85V, 100V の変化に対応出来るものを設計して見よう。

四球式ラジオに要する電力を 20VA とすると第 16 図の様な結線になる。出力側は常に 100V に保つのであるから入力側を切り換えて電圧の変化に対応する様にする。タップ (4) の時入力が 70V であるからこの時でも変圧器に無理が掛らない様に設計しておけばよい。

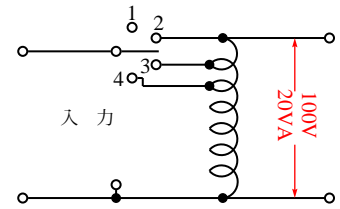
出力側は 20VA であるから出力電流は $20VA \div 100V = 0.2$ である。処で今この変圧器をオートトランスでなくて普通の変圧器だと考えて能率を 80% とすると $20VA \div 0.8 = 25VA$ の容量の変圧器が必要である。そこでタップ (4) の時は入力電圧 70V であるから、入力電流は $25VA \div 70V \approx 0.36A$ である。しかしタップ (4) とタップ (0) との間の電流は $0.36 - 0.2 = 0.16A$ しか流れないから実際はオートトランスの容量は

$$70V \times 0.16A = 11.2VA$$

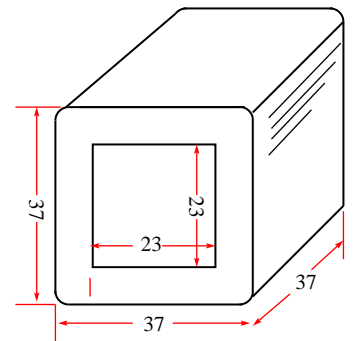
でよい訳である。それで 3 の設計に準じて計算すると、一次電流 (タップ (4) とタップ (0) の間の電流) = 0.16A, 電線の太さ = 0.32 耗, 鉄心断面積 = $1.35 \times \sqrt{11.2} = 4.5cm$, 1V 当りの巻数 = 10 ターン, 巻数 = $70 \times 10 = 700$ ターン (タップ (4) とタップ (0) の間の巻数)。

しかしタップ (4) からタップ (2) 迄は 0.2A 通る可能性があるからタップ (4) からタップ (2) 迄は、直径は $0.8 \times \sqrt{0.2} = 0.357mm$ となる。

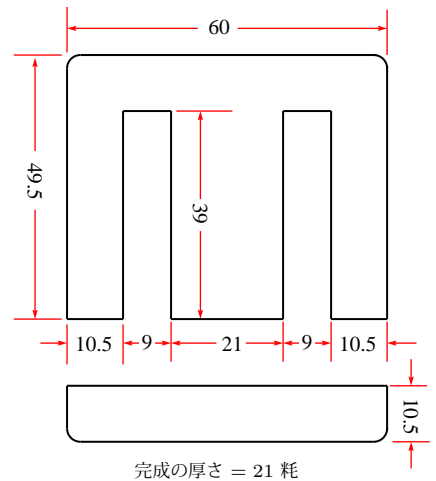
即ち 28 番線となり、(4) から (3) が 28 番線 150 回、(3) から (2) が 28 番線 150 回となる。



第 16 図



第 17 図



第 18 図

3の例題に準じて線輪の大きさを定めると第17図となり、鉄心は第18図となる。

(正木 仁)

PDF化にあたって

本PDFは、

『無線と実験』1947年2月号
を元に作成したものである。

PDF化にあたって、旧漢字は新漢字に、仮名遣いは新仮名遣いに変更した。漢字の一部には振り仮名をつけた。

ラジオ関係の古典的な書籍及び雑誌のいくつかを

ラジオ温故知新(<http://fomalhaut.web.infoseek.co.jp/index.html>)

に、

ラジオの回路図を

ラジオ回路図博物館(<http://fomalhaut.web.infoseek.co.jp/radio/radio-circuit.html>)

に収録してある。参考にしてほしい。