

リッツ線を使用したハニカム・コイルのQ特性

Q Characteristics of Litzed Wire Wound Honey-Comb Coil

平 岩 久 夫* 山 本 光 男*
Hisao Hiraiwa Mitsuo Yamamoto

内 容 梗 概

従来よりある周波数域においてはリッツ線を使用してコイルのQの上昇を図っているが、どのような素線構成のリッツ線が、要求のQを実現するために最も適するかを事前に算定することは、インダクタンスによっても異なりむづかしい問題である。

この問題に対する解決の第一歩として、まずリッツ線を吟味し、高周波コイルとして使用頻度の高い小形ハニカムコイルに限定して、約100種類の試料により検討を行った。その結果実効Qが最大となる周波数(f_{Qm}), f_{Qm} におけるQの最大値(Q_m), および比帯域 $\frac{(f_2-f_1)}{f_{Qm}}$ などについて、コイル設計上有用な実験式を算定した。

1. 緒 言

数十ないし数百キロサイクルにおける、高周波コイルの設計にあたり、どのようなリッツ線を使用すれば、所要のQが最適に得られるかは、常に頭を悩ますところである。常にリッツ線を使用することが必ずしも最良ではなく、Rogowski⁽¹⁾氏も指摘しているように、ある限界周波数以上では同一断面積の単線のほうが高いQが得られる。しからばリッツ線のほうが有利な周波数領域で、素線数、素線径のいかなる組合せのリッツ線を選ぶのが最適か、ということが問題になる。

古くより Rogowski, Butterworth⁽²⁾, A.Weis⁽³⁾の諸氏により、主として実効抵抗、使用限界周波数、最適周波数などの計算式が提示されているが、これらはいずれも複雑であり、リッツ線の作り方が必ずしも同一でないためか、計算と実測値と合わない場合が多い。

そこでわれわれは、リッツ線を一定規準でつくり、素線径、素線数、インダクタンスの各種組合せの広範な実験を行い、第一段階として、高周波コイルとして使用頻度の高いリッツ線を使用した小形ハニカムコイルに範囲を限定して、実用的な実験式を求めた。

2. 実験の内容

2.1 リッツ線について

リッツ線の規格は国内にJCS 196号があるが、ただ単に“素線を集合するか、集合撚りに撚り合わせる”と規定しているのみで撚り方に関してはあいまいである。

ために一般市販のものは第1図に示すように、コイルのQのばらつきが大きく、かつQの絶対値が低いものが多い。またBritish Standard⁽⁴⁾で素線径、素線数の各種組合せについて1¼(インチ)以下、2(インチ)以下、2½

第1表 試料としたコイルの概略仕様

インダクタンス (μ H)	ハニカム巻		測定周波数 (kc)	第2表の 記号	ボビン
	巻幅mm	ギヤ比			
1,400	11	20:41	200~750	◎	外径8φ のPTM
400	8	20:41	375~1,400	○	
100	6	52:56	750~2,900	△	
40	6	52:56	1,200~4,500	●	
10	3.5	34:35	2,400~9,000	×	

第2表 試料としたコイルに使用したリッツ線の素線構成

n \ d	3	5	7	9	15	21	27	35	49
0.04	×	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	△
0.05	×	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	△	
0.06	×	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	△	
0.08		◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△		
0.12		◎△	◎△	◎△					

n = 素線数 d = 素線径

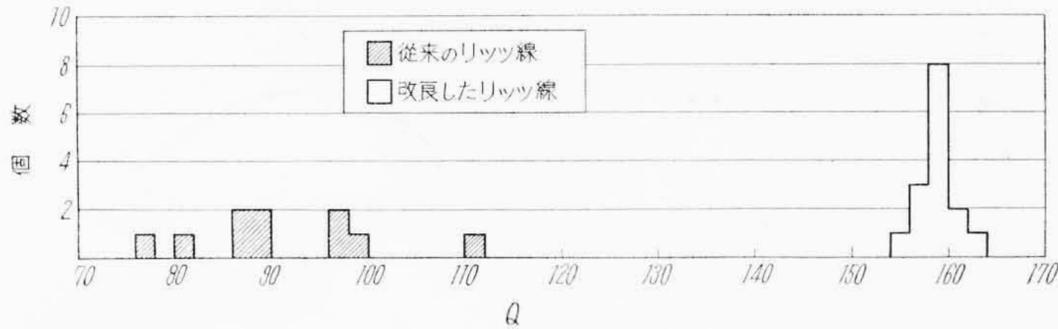
(インチ)以下、3(インチ)以下の撚りピッチ (Length of Lay) を規定している。DIN⁽⁵⁾規格では素線の構成は指定しているが撚り方については特にふれていない。

このような現状よりわれわれは、コイルの実効Qのばらつきの面よりもう一度リッツ線を見直し、種々、実験、検討の結果、最適の撚り方法を見出し、これを自社製二重絹巻ポリウレタン、リッツ線に応用し第1図に示すように好結果を得た。このリッツ線を使用して次の実験を計画した。

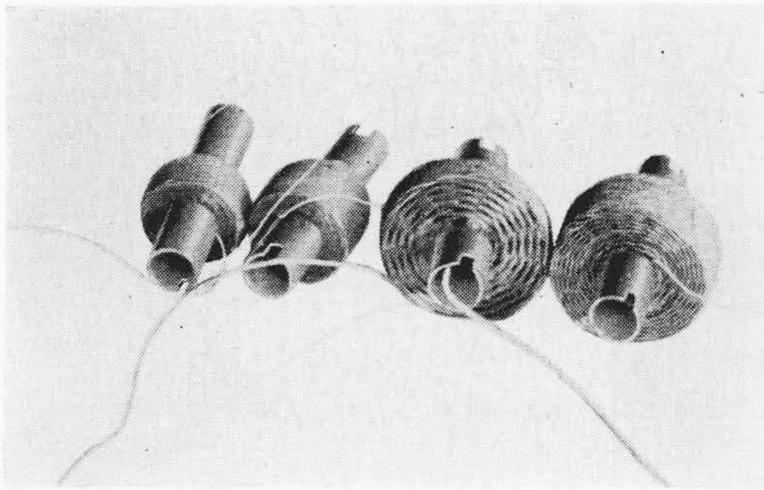
2.2 試 料

第1,2表に示す組合せの約100種類のコイル(第1表, 第2表および第2図参照)について周波数対Q特性, 直流抵抗, インダクタンス, 浮遊容量などの実験を行った。

* 日立製作所戸塚工場



第1図 従来のリッツ線と改善したリッツ線のQについての比較



第2図 実験に使用したハニカムコイルの一例

3. 実験式の算定

以上の実験結果を整理し、コイル設計上の手段として実効Qが最大となる周波数 (f_{Qm}), Q特性の比帯域, および f_{Qm} における実効 Q (Q_m) を求める実験式を導いた。

3.1 実効Qが最大になる周波数 f_{Qm}

一般的に高周波コイルは、周波数が高くなるほどリアクタンス (XL), および実効抵抗, とともに増大するのが普通であるが、そのふえかたに差があるため、ある周波数で、実効Qに最大値を生ずる。この f_{Qm} を算定する式を与えている文献は、ほとんど発表されておらず、わずかに Rogowski⁽¹⁾氏が

$$f_{Qm} = \frac{6.71}{d^2 P B \sqrt{n}} \dots \dots \dots (1)$$

ここにおいて f = 周波数 (kc)

n = 素線数

$$B = \sqrt{\frac{\pi}{4}} \cdot \frac{d \sqrt{n}}{P}$$

P = コイル巻線のピッチ

d = 素線径 (cm)

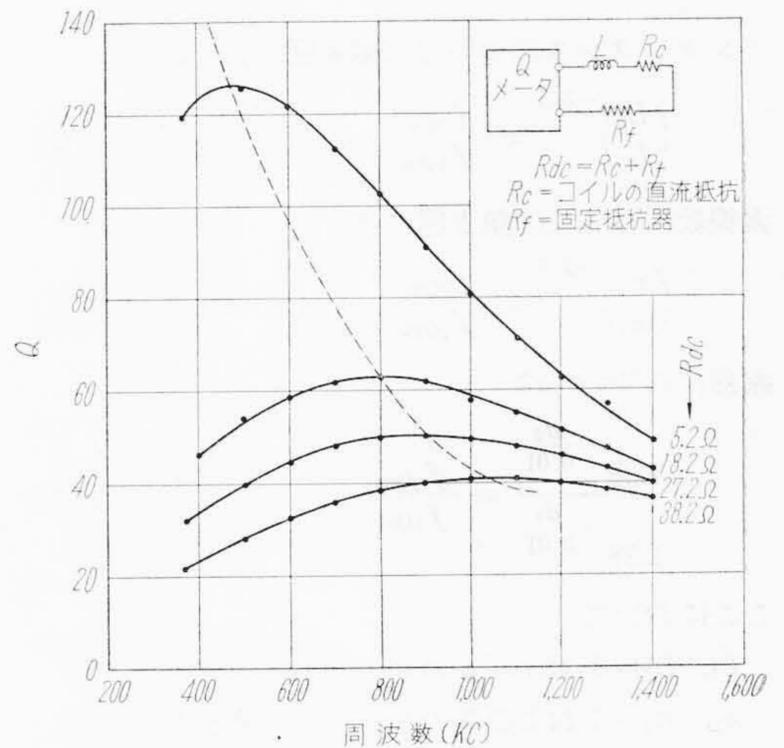
P = 比抵抗で銅の場合は通常60

なる式を与えている。この式にはコイルのインダクタンスによって、 f_{Qm} が変化する項目が含まれていないので、コイル設計上多くの場合必要な、 L, f, Q を与えて線種を決定する場合には不便である。

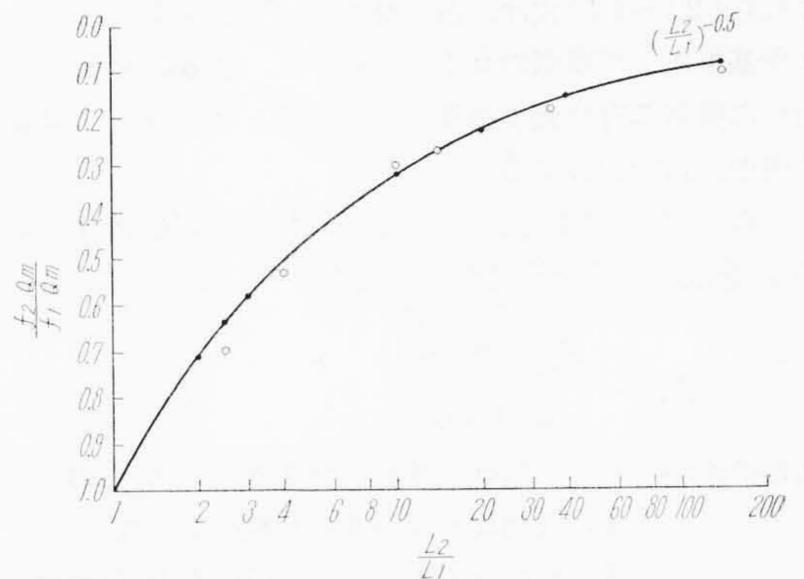
f_{Qm} を決定づける要因は種々あるが、素線構成(リッツ線の素線数, および素線径の組合せ), とインダクタン

スに着目し傾向を把握することにした。また、素線構成の中で f_{Qm} を決定づける要素を分離すると、第3図に具体例を示すように、実験の範囲においては直流抵抗によるものが主で素線数, 素線径による要素, すなわち表皮効果, あるいは近接効果に関係ある要素は割合に少ないことがわかった。これはきわめて興味あることである。第3図については、 f_{Qm} は大略直流抵抗の0.4乗に比例することが推定される。しかし直流抵抗を分離して考えると相当複雑になるので、今回は素線構成の中に入れて考えることにする。これらのことを考慮し実験結果について、インダクタンス, 素線数, 素線径, に対する f_{Qm} の変化を分類し、それぞれの比をとると次のとおりになる。

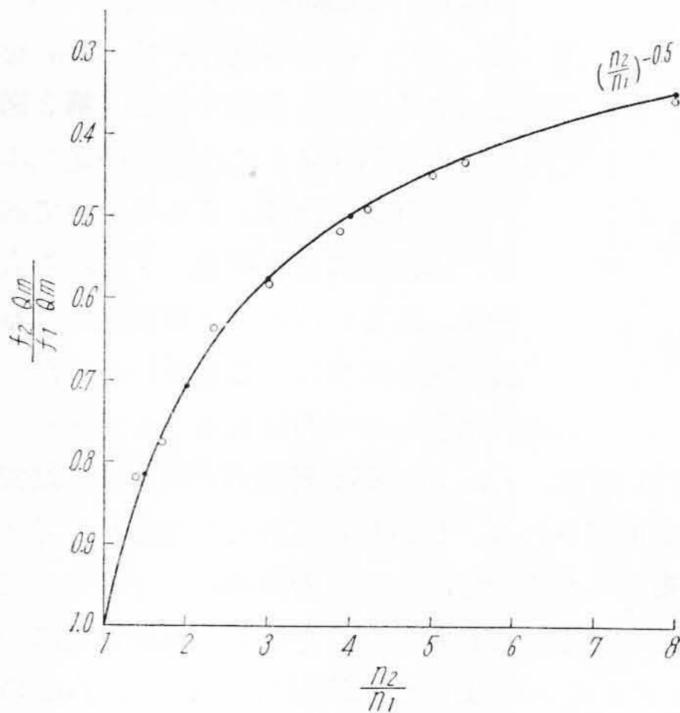
第3図については、 f_{Qm} は大略直流抵抗の0.4乗に比例することが推定される。しかし直流抵抗を分離して考えると相当複雑になるので、今回は素線構成の中に入れて考えることにする。これらのことを考慮し実験結果について、インダクタンス, 素線数, 素線径, に対する f_{Qm} の変化を分類し、それぞれの比をとると次のとおりになる。



第3図 直流抵抗がコイルの周波数対Q特性に及ぼす影響の一例



第4図 インダクタンスの比と f_{Qm} の比との関係



第5図 素線数の比と f_{2Qm} の比との関係

インダクタンスについては第4図のように

$$\left(\frac{L_2}{L_1}\right)^{-0.5} = \frac{f_{2Qm}}{f_{1Qm}} \dots\dots\dots(2)$$

素線数については第5図のように

$$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{-0.5} = \frac{f_{2Qm}}{f_{1Qm}} \dots\dots\dots(3)$$

素線径については

$$\frac{1.28 \frac{d_2}{0.01}}{1.28 \frac{d_1}{0.01}} = \frac{f_{2Qm}}{f_{1Qm}} \dots\dots\dots(4)$$

ここにおいて

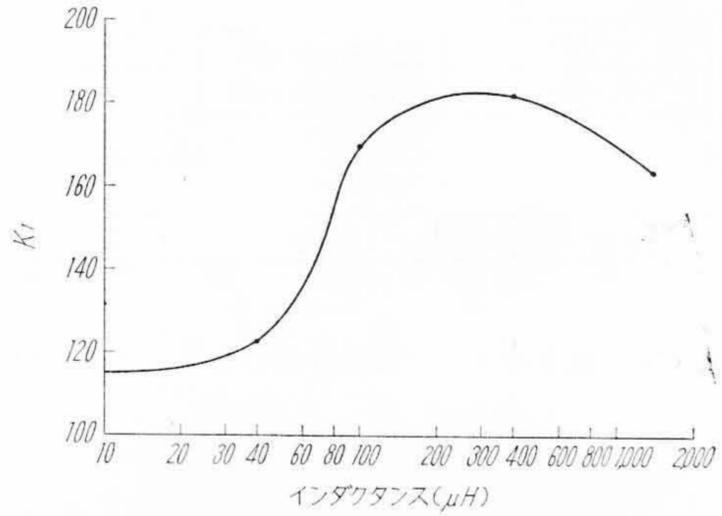
- $L_1, L_2 = 1$ および 2 のコイルのインダクタンス
- $n_1, n_2 = 1$ および 2 のリツ線の素線数
- $d_1, d_2 = 1$ および 2 のリツ線の素線径
- $f_{1Qm}, f_{2Qm} = 1$ および 2 のコイルに対する Q が最大になる周波数

これら(2)~(4)式は、ある既知の f_{1Qm} をもったコイルを基準にして類似のコイルに対する、 f_{2Qm} を求める場合に非常に有意義であり大体計算値と実測値は、10%以内の誤差で合致する。

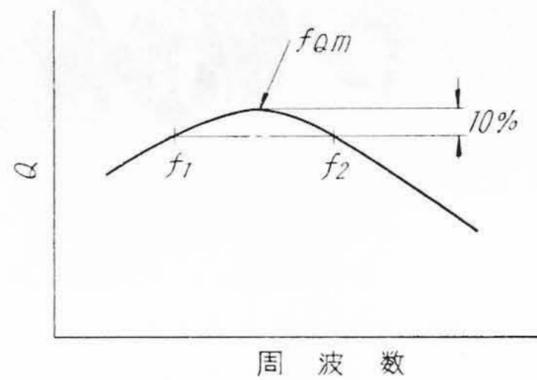
さらに(2)~(4)式を基にして、実用性に重点をおき、 f_{Qm} を求める式を算定すると次のようになる。

$$f_{Qm} = \frac{K_1 \left(1.28 \frac{d}{0.01}\right)}{\sqrt{L \cdot n}} \dots\dots\dots(5)$$

- ここにおいて $L =$ 未知コイルのインダクタンス (μH)
- $n =$ 未知コイルのリツ線の素線数
- $d =$ 未知コイルのリツ線の素線径 (mm)
- $K_1 =$ 第6図に示す定数



第6図 f_{Qm} 算定に使用する定数 K_1



第7図 周波数対 Q 特性における比帯域

3.2 実効 Q が最大値よりある値に低下する点の比帯域 $\frac{f_2 - f_1}{f_{Qm}}$

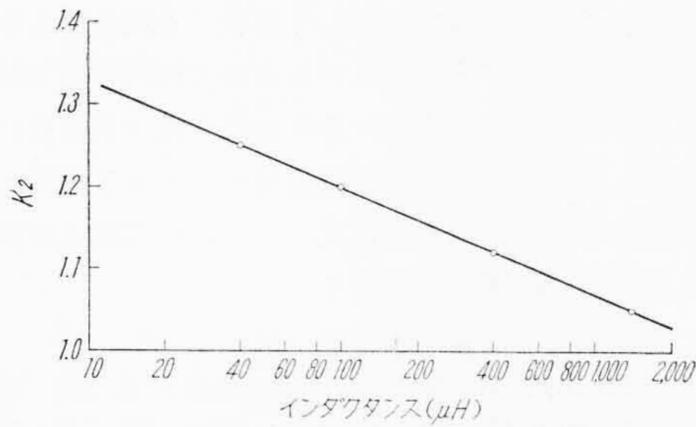
この種コイルの実効 Q 対周波数特性において、比帯域(第7図参照)すなわち $\frac{f_2 - f_1}{f_{Qm}}$ について調査した結果、インダクタンス、素線構成、形状などにあまり関係なく比帯域はほぼ一定であると推定できる。しかし詳細に考えるならばきわめて少しずつであるが、素線数、および素線径が増加するほど比帯域は大きくなる傾向をもっているが、素線径の影響はほとんど無視できる程度であるから、実効 Q が f_{Qm} より10%低下する点の比帯域は、次のようになる。

$$\frac{f_2 - f_1}{f_{Qm}} = 0.75 \left(1 + \frac{n}{350}\right) \dots\dots\dots(6)$$

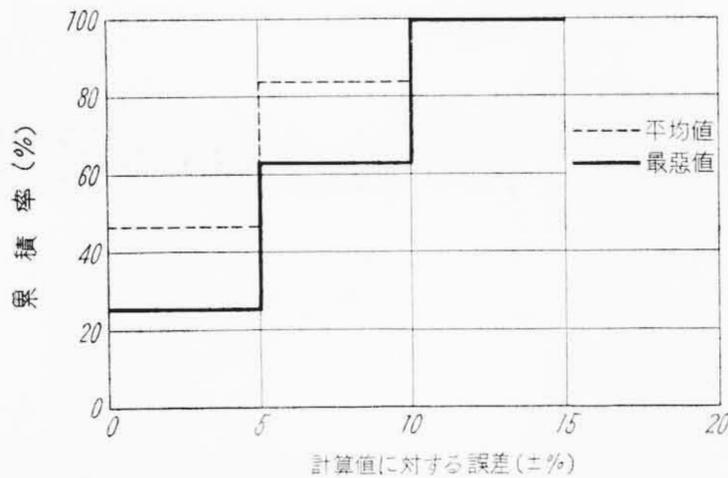
さらにおおざっぱに言えば既知のコイルの周波数対 Q 特性よりほかのコイルのそれを推定する場合は、 f_{Qm} より実効 Q が大略30%くらい低下する点までは比帯域一定と考えて大きな支障はないと考えられる。

3.3 f_{Qm} における実効 Q

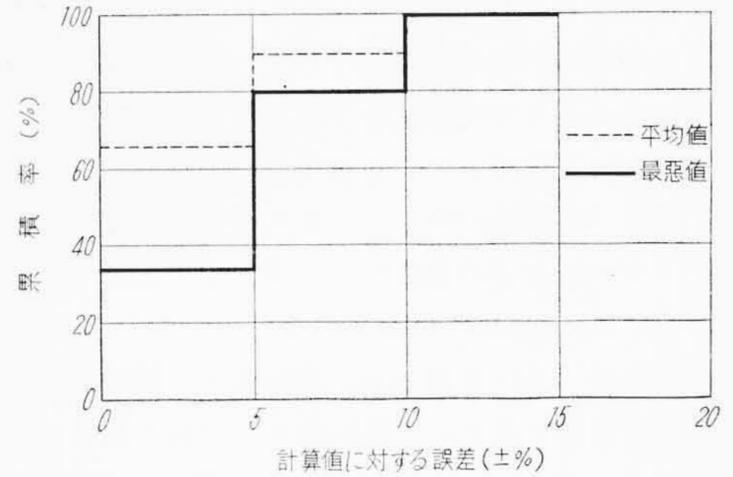
3.1 および 3.2 項において、 f_{Qm} と比帯域の算定式を得たので、次に f_{Qm} における実効 Q の絶対値を知れば、要求周波数近辺の、 Q の様相はすべて推定できる。また所望の周波数における実効 Q の値を知るため、比較的計算の容易な直流抵抗を基準にすることは、一つの有力な手段である。その直流抵抗値を基準にして素線数による変化を $\left(1 + \frac{n}{350}\right)$ 、素線径による変化を $\left(\frac{d}{0.04}\right)^{0.2}$ 、



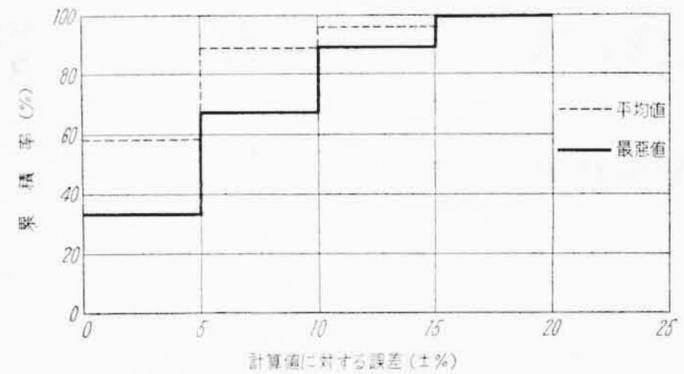
第8図 実効抵抗 (r_e) の算定に使用する定数 K_2



第9図 f_{Qm} 算定式の累積誤差分布



第10図 周波数対Q特性における比帯域算定式の累積誤差分布



第11図 実効抵抗 (r_e) 算定式の累積誤差分布

およびインダクタンスによるものを K_2 として、 f_{Qm} における実効抵抗 (r_e) の算定式を求めると

$$r_e = R_{rf} + R_{dc} = 1.5 R_{dc} \left(1 + \frac{n}{350} \right) \left(\frac{d}{0.04} \right)^{0.2} \cdot K_2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここにおいて R_{rf} = 高周波抵抗 (Ω)

R_{dc} = 直流抵抗 (Ω)

n = リッツ線の素線数

d = リッツ線の素線径 (mm)

K_2 = インダクタンスの関数で第8図に示す。

したがって f_{Qm} における実効 Q (Q_m) は(8)式によりきまる。

$$Q_m = \frac{\omega L}{r_e} \quad \dots\dots\dots (8)$$

4. 検 討

3項において述べた各種算定式の信頼限界について、累積誤差分布図により示すと、第9~11図のようになる。

図において横軸の“計算値に対する誤差”とはそれぞれの式により計算した計算値を中心にとった偏差を、百分率で示したもので $\pm 5\%$ ごとに設定した。縦軸の“累積率”とは、試料総数を100%とした場合、横軸の計算値に対するそれぞれの偏差内に含まれる試料数の割合を、百分率で示したもので、第9図に例をとると、ある条件を与えて(5)式により f_{Qm} を計算し、その計算値と

実測値との偏差をとると、最悪条件でも全試料数の33%は $\pm 5\%$ の範囲で、全試料数の80%は $\pm 10\%$ の範囲で、さらに偏差を $\pm 15\%$ まで許せば、全試料が計算値と合致するであろうことを示している。

第9~11図において平均値とは素線径、素線数、あるいはインダクタンスなどにより、累積率にばらつきを生ずるがそのばらつきの平均をとったものであり、最悪の状態すなわち累積率の最小値をとったものが、最悪値である。

5. 結 言

以上簡略ながらリッツ線を使用したハニカム巻コイルのQを事前に設計できるよう

- (1) 実効Qが最大になる周波数

$$f_{Qm} = \frac{K_1 \left(1.28 \frac{d}{0.01} \right)}{\sqrt{L \cdot n}}$$

- (2) 実効Qが f_{Qm} より10%低下する点の比帯域

$$\frac{f_2 - f_1}{f_{Qm}} = 0.75 \left(1 + \frac{n}{350} \right)$$

- (3) f_{Qm} における実効Qは

$$Q_m = \frac{\omega L}{1.5 R_{dc} \left(1 + \frac{n}{350} \right) \left(\frac{d}{0.04} \right)^{0.2} K_2}$$

の3種類の実験式を求めた。しかし今回はコイル内径8φのものについて行ったものであり、これだけをもって

全般を類推することは危険であるから今後ほかのコイル内径のものについても類を及ぼし、ハニカムコイル全般に適用できるような実験式をうる要がある。

(2)~(7)式適用上の注意事項として

- ① 内径 8ϕ 前後の空心ハニカム巻コイルで、シールドケースなどの影響がない場合とする。
- ② コイルの巻幅は 11mm以下。
- ③ 素線径 0.04~0.12 mm, 素線数 3~49本の適当に撚り合わされた、二重絹巻リッツ線であること。
- ④ インダクタンスは、10~1,400 μH の範囲であること。

これらの条件よりはなはだしく逸脱する場合はもちろん相当の誤差を生ずるおそれがあるので運用の面で特に注意する必要がある。擧筆するにあたり種々助言をいただいた日立製作所戸塚工場岡田義男氏、および実験そのほかに協力せられた山本貞吉氏、ならびに電機大学実習生の大島一清君に深く感謝する。

参考文献

- (1) Rogowski. W. Arch: Elektrotech, 3, 264, 1914
- (2) Butterworth. S: Physic, Rev. 23. 752, 1924
- (3) A. Weis: H.F.T.E.A. May 1936
- (4) British Standard 1258: 1946
- (5) DIN 46447, Hochfrequenzlitzen (HF-Litzen)



新案の紹介



登録新案第 474621 号

寺田 進

渦巻ポンプ

構造

この考案の渦巻ポンプは、吸込管および吐出管中を流れる固形物を含んだ水を、効率よく、よどみなく送りやるようにしたもので、下記のような構造からできている。

- (1) ケーシング 1 の吸込口 1a の軸心を中心とし、かつその吸込口の内径に等しいか、あるいはそれよりも少し大きい径の吸込口を小口径 d' 側とする円錐状の孔 3c₁ を有する短管部 3c を形成する。
- (2) 短管部 3c の大口径側の円 d に外接する内端 3b₁ を有し、その内端からジスク 3a の外周方向に渦巻状に延長した一枚羽根 3b を短管部と一体に設ける。

作用、効果

インペラ 3 の回転中、短管部 3c はその内面の摩擦に

より流入流体にエネルギーを与えるので、吸込管およびそれに続くケーシングの吸込口 1a では管中心部よりも流速の遅い内壁面部流体に強い活動力を与え、固体を含んだような流れこみにくい流体をも容易にジスク 3a の中心底部 3a₁ 側に送り、一枚羽根 3b の作用を受けやすくする。

これは短管部 3c の孔が円筒状の場合でも同じであるが、この考案では短管部 3c の孔を円錐状にしてあるため、前述の作用に内径の拡大による作用が加わる結果、吸込流体に遠心力が作用して吸込作用が増進され、流体通路中心部の固体を含んだ流体を強くインペラの内部に吸引することができる効果がある。したがって、この考案の渦巻ポンプは石炭を含んだ水の輸送用、汚物処理用などに適する。(富田)

