

# 変圧器巻線定数の周波数依存特性

Variation of Winding Constant with Frequency

高橋 誠<sup>※1</sup>

Makoto Takahashi

小松 巖<sup>※1</sup>

Iwao Komatsu

佐藤 徹<sup>※2</sup>

Toru Satoh

The surge analysis of transformer windings has been implemented by simulating the winding constants, such as inductance and resistance, by fixed constants based on commercial frequency.

However, a winding constant applicable in the high frequency region considering the influence by existence of core is actually needed.

So, an experimental investigation on the frequency dependence of the winding inductance and resistance was performed through the use of a model winding as well as an actual transformer winding.

As the result, it was ascertained that the winding constant varies widely with frequency through commercial to high frequency range affected with the core.

## 1 まえがき

変圧器巻線のサージ解析は、通常は固定定数を組み合わせた等価回路を用いて、近似計算によって行われている。より精度の高いサージ解析には、鉄心や巻線の周波数特性を考慮した高周波数領域でも適用できる巻線定数が必要である。今回、モデル巻線及び70kV級実変圧器巻線を用いて、巻線のインダクタンス及び抵抗の周波数依存性を測定調査した。その値は鉄心の影響を受けて、商用周波数領域から高周波数領域にわたって大きく変化することがわかった。周波数の増大と共に、インダクタンス値は低下し、抵抗値は増大する特性のあることが明確になった。

また、実変圧器では、結線方式、高圧・低圧・安定巻線相互間の結合度合、タンクなどの影響を受けて、巻線のインダクタンスと抵抗の周波数依存性が異なるなど興味ある結果が得られた。

本稿では、変圧器巻線周波数依存定数の背景と現状、モデル巻線による変圧器巻線定数の周波数依存基礎特性、実変圧器巻線定数の周波数依存特性、これらの周波数依存性を考慮した変圧器巻線定数の適用例について、その概要を紹介する。

## 2 変圧器巻線周波数依存定数の背景と現状

変圧器巻線のサージ解析に関する研究は、初期の段階

では、進行波理論などを活用して巻線内の電位や、電位の傾きを求めていた。巻線構造が複雑になると理論解析が困難になってきたので、実変圧器と類似の縮小モデルによる実験解析が行われた。

その後、計算機の進歩により、巻線の空心インダクタンス、静電容量、抵抗を組み合わせた等価回路を用いて、数値的にサージ解析を行う手法が一般的になっている<sup>(1)~(6)</sup>。

この背景には、実際のサージ解析の周波数は高い領域にありながら、巻線定数自体の周波数依存性が理論的に明らかにされていないからである。

一方、通常使用されているEMTP (Electro Magnetic Transient Program)解析のような時間応答の過度現象解析では周波数依存効果の導入が困難である。この周波数依存性を考慮した解析手法は、周波数変換法が最も有効な数値計算手法で<sup>(7)</sup>、筆者らを含め方々で検討が進められている<sup>(8)(9)(10)</sup>。

これらの解析手法を今後発展させるためには、周波数依存性を考慮した巻線定数や解析手法の問題のほかに、鉄心の周波数依存性、変圧器巻線の結線方式、高圧・低圧・安定巻線相互間の結合度合、タンクの影響を受けて、巻線定数の周波数依存性が異なるなどの課題を解決する必要がある。

現在、筆者らは変圧器巻線のインダクタンス、静電容量、抵抗の周波数依存性を調査している。この変圧器巻線定数のインダクタンスと、抵抗の周波数依存性について、モデル巻線及び実変圧器を用いて、実験的に検討を

※1 電力機器事業本部 変圧器事業部 技術部  
※2 システム開発本部 開発部

進めている。また、周波数応答倍率から固有振動周波数に着目した変圧器巻線定数の算定法についても検討している。

### 3 変圧器巻線定数の周波数依存基礎特性

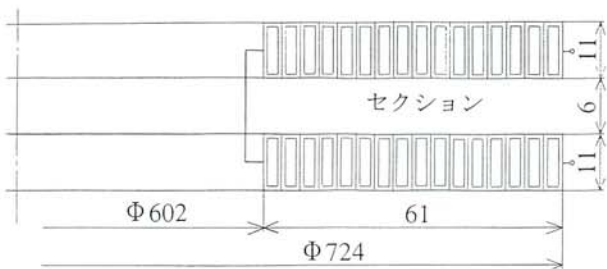
#### 3.1 モデル巻線定数の測定方法

配電用77kV実変圧器の高圧巻線2セクション分を直列接続した単相ブロック巻線2個をモデル巻線として、モデル鉄心中央脚に取り付ける。

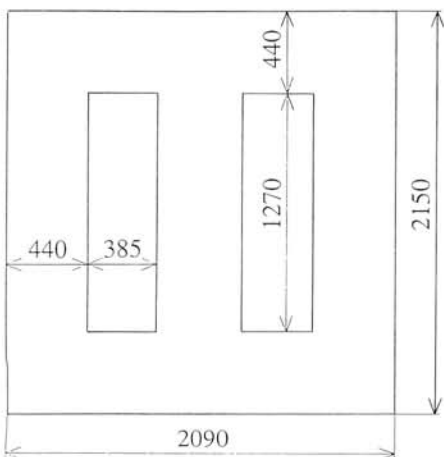
図1にモデル巻線と鉄心を示す。図2にモデル巻線を鉄心に取り付けた状態を示す。上側のブロック巻線をL<sub>1</sub>、下側のブロック巻線をL<sub>2</sub>としている。

測定条件は、鉄心ありと空心との関係を明確にするため、

- (1) 鉄心ありのブロック巻線L<sub>2</sub>開放
- (2) 鉄心ありのブロック巻線L<sub>2</sub>短絡



(a)モデル巻線（2セクション直列接続）



(b)モデル鉄心（77kV 10MVA用）

図1 / モデル巻線・鉄心

Fig.1/Model winding and core

- (3) 空心のブロック巻線L<sub>2</sub>開放
- (4) 空心のブロック巻線L<sub>2</sub>短絡

とした。また、巻線の密・粗結合の影響を明らかにするため、図3に示す密結合及び粗結合の巻線配置2種類について、測定の容易なLCZメーターを用いて、ブロック巻線L<sub>1</sub>から見た等価インダクタンス（以下、インダクタンスと呼ぶ）と、等価抵抗（以下、抵抗と呼ぶ）の周波数依存特性を測定する。

#### 3.2 インダクタンスの周波数依存特性

前項3.1の条件で測定したインダクタンスの周波数依存性を図4、図5に示す。鉄心ありでは、周波数増大と共にインダクタンス値は低下し、周波数依存性のあることがわかる。空心では周波数依存性がない。

- (1) 鉄心ありのブロック巻線L<sub>2</sub>開放

鉄心ありのブロック巻線L<sub>2</sub>が開放の場合は、周波数増大と共にインダクタンス値が大きく低下し、周波数依存

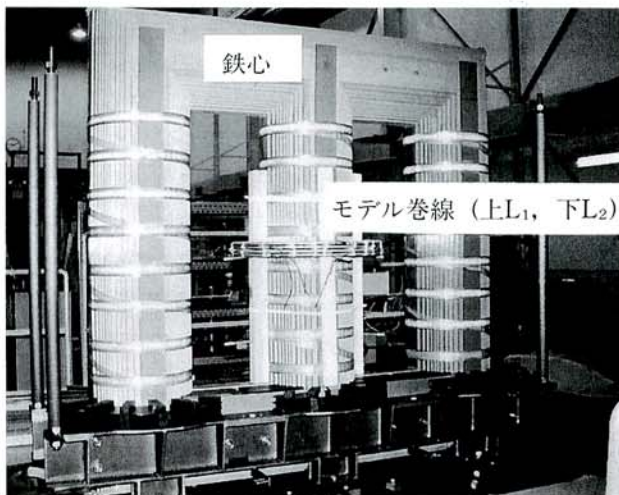


図2 / モデル巻線の取り付け状態

Fig.2/Setting aspect of model winding

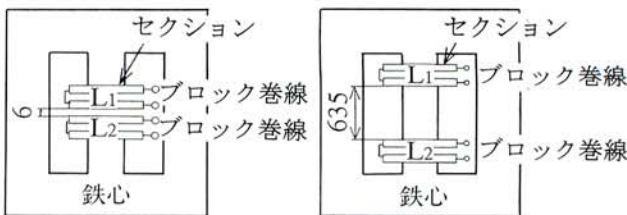


図3 / 巻線配置

Fig.3/Coil arrangement

性が最も大きい。これはこの時のインダクタンスが励磁インダクタンスであるため、その値が鉄心の透磁率に大きく依存しており、これが周波数増大と共に低下するからである。

#### (2) 鉄心ありのブロック巻線 $L_2$ 短絡

鉄心ありのブロック巻線 $L_2$ が短絡の場合は、鉄心ありのブロック巻線 $L_2$ が開放の場合と比べて周波数依存性が少ない。この時のインダクタンスは、リーケージインダクタンスと励磁インダクタンスが並列になった値であり、リーケージ分は鉄心に依存せず、励磁分のみがインダクタンスの減少に影響を与えるためである。

#### (3) 空心のブロック巻線 $L_2$ 開放・短絡

空心のインダクタンス値は、ブロック巻線 $L_2$ が開放及び短絡いずれの場合とも、周波数依存性はなく、一定の値を示している。

#### (4) 2つのブロック巻線密・粗結合の影響

空心の場合は、密結合、粗結合共に、周波数依存性がない。鉄心ありの場合で、密結合と粗結合のインダクタンス周波数依存特性を比較をすると、密結合の場合は、粗結合の場合より周波数依存性が少なくなる。

以上の結果から、鉄心ありのインダクタンスは周波数依存性があり、その周波数が1MHz近傍から高い領域で空心のインダクタンスになることが明らかになった。

また、鉄心ありのブロック巻線 $L_2$ が開放の場合のインダクタンスは、鉄心だけに依存しているため、2つのブロック巻線の密・粗結合の影響を受けない。このようにインダクタンスの周波数依存性には鉄心の影響が大であることが明らかとなった。その値は、従来の考え方による商用周波数ベースから換算したものや空心インダクタンスとは異なっている。また、巻線の密・粗結合度合や、短絡巻線の有無により、インダクタンスの周波数依存性が異なることもわかった。

したがって、空心インダクタンスによる電位振動解析

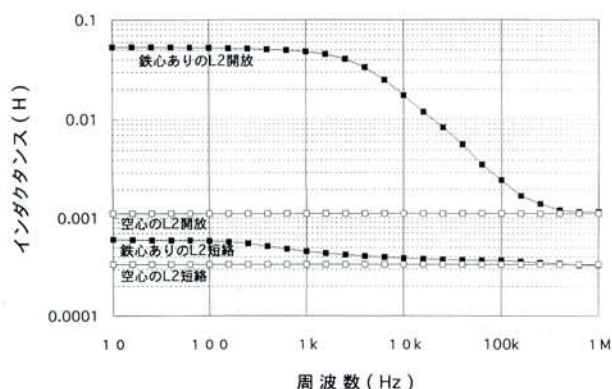


図4/密結合におけるインダクタンスの周波数依存特性

Fig.4/Frequency characteristics of inductance on tight coupling coil

は、高い周波数領域(数100kHz以上)に限定されることがわかる。

### 3.3抵抗の周波数依存特性

前項3.1の条件で測定した抵抗の周波数依存特性を図6、図7に示す。ブロック巻線相互の密・粗結合別、鉄心・空心別、ブロック巻線 $L_2$ 短絡・開放別、いずれの条件においても、周波数増大と共に抵抗値は増大し、周波数に依存することがわかる。

#### (1) 鉄心ありのブロック巻線 $L_2$ 開放

鉄心ありのブロック巻線 $L_2$ が開放の場合の抵抗は、鉄心の影響を受けて、周波数依存効果が最も大きく抵抗値が高くなっている。

#### (2) 鉄心ありのブロック巻線 $L_2$ 短絡

鉄心ありのブロック巻線 $L_2$ が短絡の場合の抵抗は、空心の場合より抵抗値が高い傾向を示している。

#### (3) 空心のブロック巻線 $L_2$ 開放・短絡

空心のブロック巻線 $L_2$ が開放及び短絡いずれの場合の抵抗値も、鉄心の影響を受けないので、両者には殆ど差がないことがわかった。また、周波数依存性については、鉄心ありのブロック巻線 $L_2$ 開放の場合と比べて著しく小さいこともわかった。

#### (4) 2つのブロック巻線密・粗結合の影響

$L_2$ 短絡・密結合で空心の場合と鉄心ありの場合とでは、両者の周波数依存性の差が少ない。 $L_2$ 短絡・粗結合では、空心の場合と比較して、鉄心ありの場合の方が周波数依存性が大きく、抵抗の値も高くなっている。また、鉄心ありのブロック巻線 $L_2$ が開放の場合は、 $L_1$ 単独の特性であるため、粗密には無関係であり、抵抗の周波数依存性は鉄心に大きく依存している。

このように抵抗の周波数依存性には、インダクタンスと同様に鉄心の影響を大きく受けることがわかった。

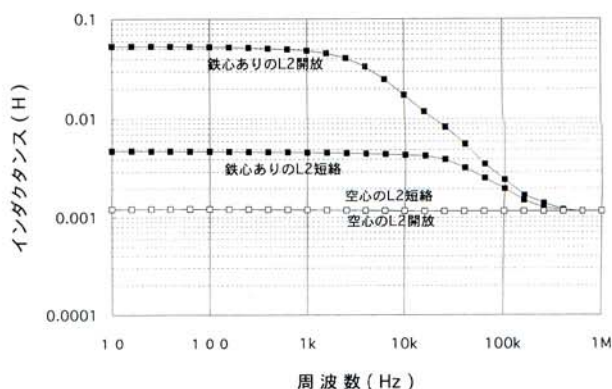


図5/粗結合におけるインダクタンスの周波数依存特性

Fig.5/Frequency characteristics of inductance on loose coupling coil

また、巻線の密・粗結合度合や、短絡巻線の有無により抵抗の周波数依存特性が異なることもわかった。

## 4 変圧器巻線定数の周波数依存特性

### 4.1 変圧器巻線定数の測定方法

変圧器巻線定数の測定回路は、図8に示すように、周波数特性解析装置 (Frequency Response Analyzer, FRAと呼ぶ) を用いて、入力電圧 $E(f)$ の周波数 $f$ を変え、電圧 $V(f)$ /電流 $I(f)$ より高压巻線側から見たインピーダンスの絶対値 $Z(f)$ と、位相 $\theta(f)$ を測定する。図9にインピーダンス周波数依存特性を示す。

FRAで得られたインピーダンスの絶対値 $Z(f)$ と、位相 $\theta(f)$ から抵抗 $R(f)$ と、インダクタンス $L(f)$ の周波数依存特性が得られる。

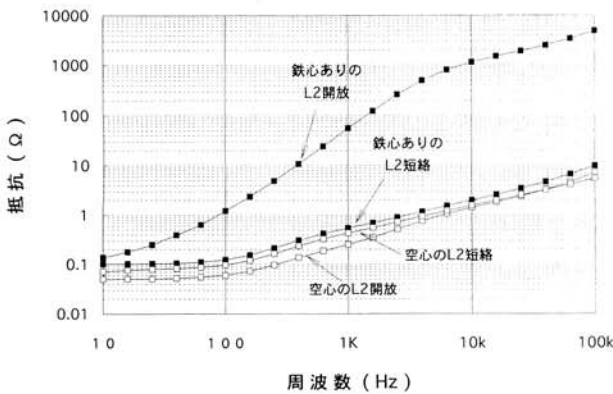


図6/密結合における抵抗の周波数依存特性  
Fig.6/Frequency characteristics of resistance on tight coupling coil

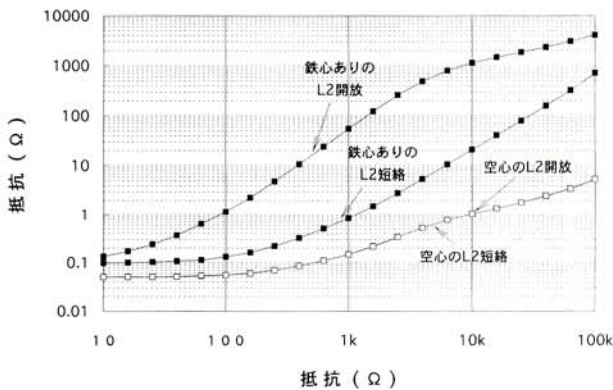


図7/粗結合における抵抗の周波数依存特性  
Fig.7/Frequency characteristics of resistance on loose coupling coil

### 4.2 インダクタンスの周波数依存特性

(1) 結線方式別のインダクタンスの周波数依存特性

内鉄形変圧器における人-人結線3台 (20MVA 2台, 10MVA 1台), 人-人-△結線2台 (20MVA 2台), 人-△結線4台 (20MVA 3台, 10MVA 1台) 計9台の高压巻線側から見たインダクタンスの周波数依存性を測定した。その結果は、図10に示すようにいずれの結線においても周波数増大と共にインダクタンス値は低下することがわかる。その値は、△結線の無い人-人結線の場合が最も大きく、人-△結線の場合が最も小さくなっていることがわかる。

インダクタンスの測定値を最小二乗法で一次近似し、周波数依存性について比較してみると、人-人結線では対数周波数の-0.1乗に、人-人-△結線は-0.055に、人-△結線は-0.035乗にそれぞれ比例してインダクタンスの値が

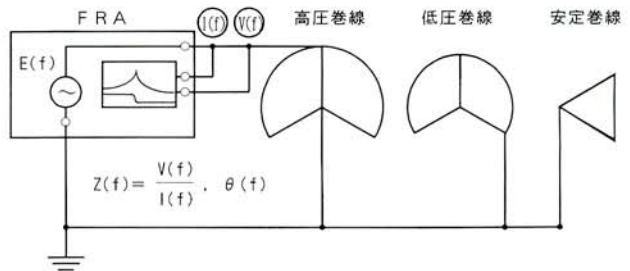


図8/インピーダンス周波数特性の測定回路 (人-人-△結線の場合)

Fig.8/Measurement circuit

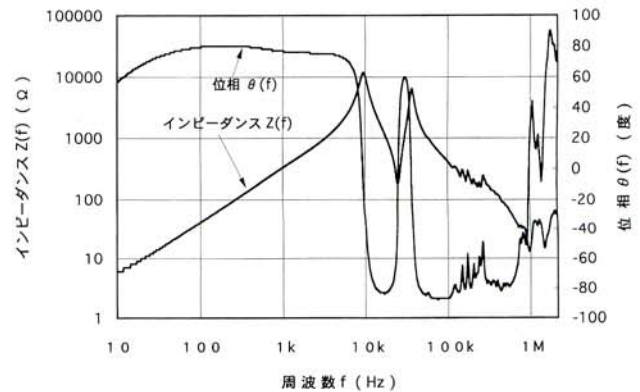


図9/インピーダンス周波数依存特性  
Fig.9/Frequency characteristics of impedance

低下することがわかる。このべき乗定数を周波数依存定数 $\alpha$ とする。 $\alpha$ は図11の最小二乗法一次近似インダクタンス曲線での傾きを示している。傾きの式は下式でも表現できる。

$$\alpha = \frac{\ln L(f) - \ln L(f_r)}{\ln f - \ln f_r} = \frac{\ln\left(\frac{L(f)}{L(f_r)}\right)}{\ln\left(\frac{f}{f_r}\right)} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、

$f_r$ ：基準周波数 [Hz]

$f$ ：任意周波数 [Hz]

$L(f_r)$ ：基準周波数のときのインダクタンス [mH]

$L(f)$ ：任意周波数 $f$ のときのインダクタンス [mH]

以上の結果から、結線方式別の周波数依存性は、人-人結線、人-人-△結線、人-△結線の順に少なくなっている。

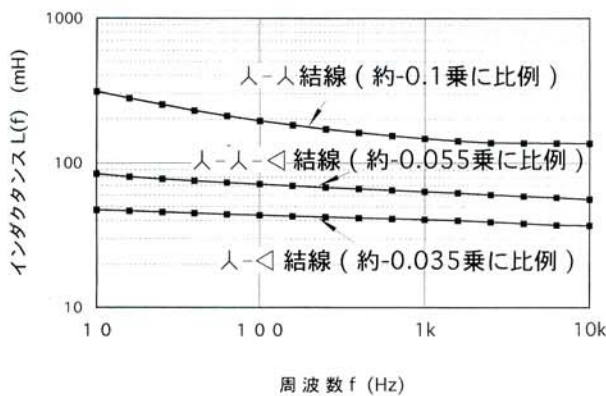


図10/結線別、インダクタンスの周波数依存特性  
Fig.10/Variation of inductance with frequency for each connection

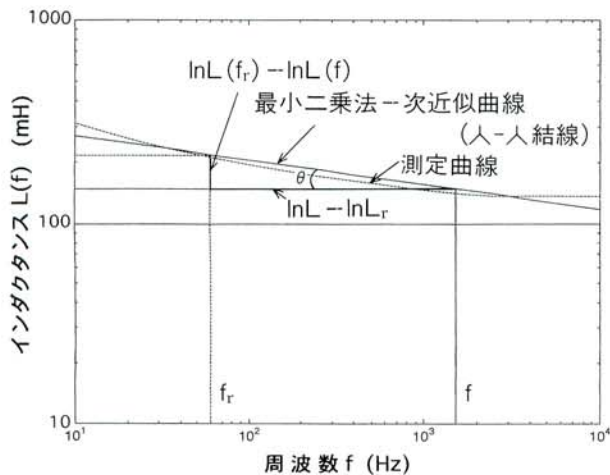


図11/インダクタンスの周波数依存定数  
Fig.11/Variation of inductance with frequency

巻線の結合度については、1次巻線が△巻線と良く結合している結線ほど周波数依存性が少なくなることがわかる。

インダクタンス値が周波数増大と共に低下することや、△巻線との結合が良いほど周波数依存性が少なくなことは、モデル巻線試験の結果と同じである。

(2)タンクのインダクタンスへの影響

図12に示すように、変圧器のタンクがインダクタンスに与える影響について、タンクありの気中・油中及びタンクなしの気中の条件で測定を行った。

① タンクあり・なしの影響

タンクありの状態での巻線インダクタンス値を気中の場合と、油中の場合とを比較すると、両者は変化しないことから、当然ではあるが油はインダクタンスに影響を与えないことがわかる。また、タンクなしで気中状態にある巻線をタンクに入れると、このタンクが漏洩磁束の短絡回路を形成するためインダクタンス値は小さくなる。

② 結線方式の影響

表1に示すように、タンクの影響が最も大きい結線は人-人結線で、人-人-△結線、人-△結線の順に小さくなっている。人-人結線は、巻線に短絡回路がないため、タンク短絡回路との結合の影響を大きく受けて、インダクタンス値の低下が著しく、タンクなしの場合の69%となっている。

人-人-△結線及び人-△結線は、△結線で短絡回路を形成

表1/結線方式別のインダクタンスの比較

Tab.1/Comparison by winding connection to inductance

結線方式		結線方式		
		人-人結線	人-人-△結線	人-△結線
タンクあり・なし	気中	100%	100%	100%
	油中	69%	81%	86%

測定周波数10kHz

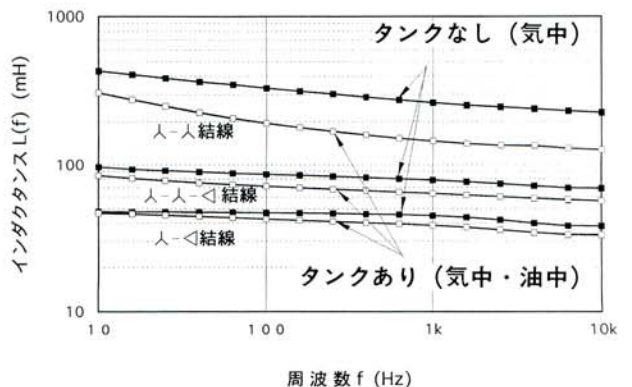


図12/タンクがインダクタンスに与える影響  
Fig.12/The effect to inductance by tank

して結合度が強くなっているため、タンクの影響を受けにくく、インダクタンス値の低下は、人-人結線の場合より小さく、タンクなしの場合と比べて、人-人-△結線で81%、人-△結線で86%となっている。また、人-人-△結線の△結線用安定巻線は、低圧巻線を介した内側に配置し、人-△結線の△結線用低圧巻線は、高圧巻線の内側に配置しているため、人-人-△結線は人-△結線より結合度が弱いため、タンクによるインダクタンスの低下は、人-人-△結線の方が大きくなっている。

このようなことから、高圧巻線と短絡回路との結合が粗である結線ほどタンクの影響が大きいといえる。

### 4.3 抵抗の周波数依存特性

#### (1) 結線方式別の抵抗の周波数依存特性

高圧巻線側から見た抵抗値は、図13に示すように、いずれの結線においても周波数の増大と共に増加し、10kHz程度で商用周波数の数百倍の大きさとなる。その抵抗値は、△結線のない人-人結線では、対数周波数の0.7乗に、人-人-△結線、人-△結線は0.5乗(10~100Hz)~1.0乗(100Hz以上)にそれぞれ比例して増加する。また、人-人結線の抵抗値が最も大きく、結合度が強くなるにつれて、人-人-△結線、人-△結線の順に抵抗値が小さくなっている。

これらの測定結果から、抵抗値は従来から考えてきた周波数の2乗に比例してはいない。

抵抗の周波数依存特性は、巻線導体自身の表皮効果や、他巻線導体からの近接効果<sup>①②③</sup>、巻線の結合度合のほかに、鉄心の影響を受けることが実験的に明らかになった。

#### (2) タンクの抵抗への影響

タンクの影響については、図14に示すように、人-人結線では商用周波数60Hz以上はタンクありの抵抗値がタンクなしの抵抗値より小さくなっている。人-人-△結線の

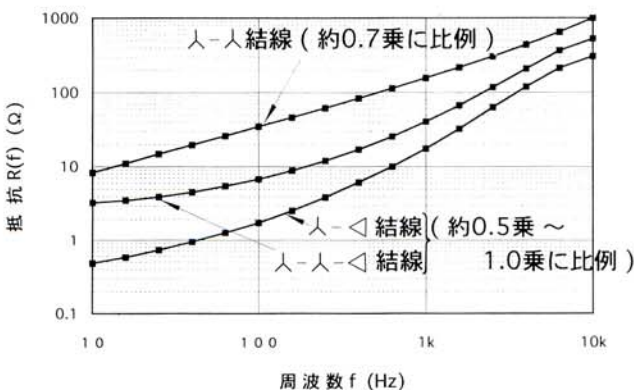


図13/結線別、抵抗の周波数依存特性  
Fig.13/Variation of resistance with frequency for each connection

場合は400Hzを境に、人-△結線の場合は1kHzを境に、タンクありの抵抗値がタンクなしの抵抗値より小さくなっている。

以上の結果から、高い周波数領域では、タンクありの場合がタンクなしの場合より抵抗値が小さくなっていることがわかる。また、タンクありの状態では、巻線を気中にした場合と油中にした場合とでは、その抵抗値に差がないので、油の影響はないことがわかった。

## 5 周波数依存性を考慮した変圧器巻線定数の適用例

### 5.1 周波数依存巻線定数と応答倍率との関係

図15に示すFRAを用いて、任意の周波数fごとに、入力電圧  $V_{in}(f)$  に対する出力電圧  $V_{out}(f)$  の比を測定する。この比  $V_{out}(f)/V_{in}(f)$  が応答倍率  $Q(f)$  となる。任意の周波数fに対応した巻線のインダクタンスを  $L(f)$ 、抵抗を  $R(f)$ 、中性点等価キャパシタンスをCとすれば、この周波数依存巻線定数と応答倍率との関係は、次の式で与えられる。

$$Q(\omega) = \left| \frac{1}{1 - \omega^2 L(f)C + j\omega R(f)C} \right| \text{ [倍] } \dots\dots (2)$$

今回、中性点非接地変圧器の中性点の応答倍率特性を測定し、図16に示す結果を得た。この応答倍率特性における最大応答倍率  $Q(f_0)$  は、式(2)の任意周波数fが変圧器固有振動周波数  $f_0$  に一致したときであり、次の式で与えられる。

$$Q(f_0) = \frac{2\pi f_0 \cdot L(f_0)}{R(f_0)} \text{ [倍] } \dots\dots (3)$$

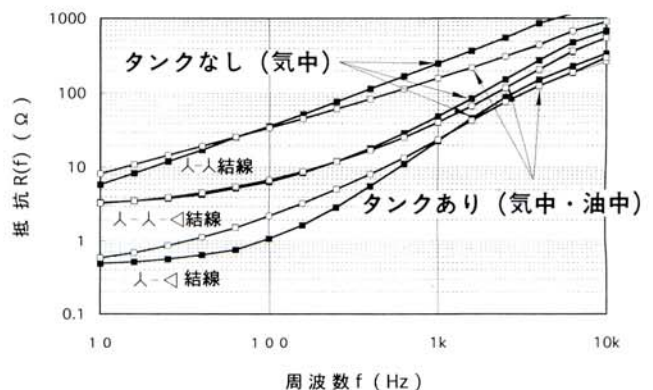


図14/タンクが抵抗に与える影響  
Fig.14/The effect to resistance by tank

ここで、

$f_0$  : 固有振動周波数 [Hz]

$R(f_0)$  : 固有振動周波数  $f_0$  のときの抵抗 [ $\Omega$ ]

$L(f_0)$  : 固有振動周波数  $f_0$  のときのインダクタンス [H]

上記の式(3)より、 $Q(f_0)$ を小さくするには、 $f_0$ 、 $L(f_0)$ を小さく、 $R(f_0)$ が大きくなるよう設計すればよいことがわかる。実際には、 $L(f_0)/R(f_0)$ 比が小さくなるよう巻線配置や、結線方式などに配慮する。

## 5.2 固有振動周波数依存集中定数による等価回路

中性点非接地変圧器の固有振動解析のための等価回路は、図17に示すように、周波数依存性を考慮した、高压巻線側から見たインダクタンス $L(f_0)$ 、抵抗 $R(f_0)$ 、静電容量 $C(f_0)$ それぞれの集中定数による直列回路で構成される。

この等価回路の周波数依存性の巻線定数は、次のように求める。

### (1) インダクタンス

インダクタンスの周波数依存特性の測定値から、固有振動周波数  $f_0$  におけるインダクタンス  $L(f_0)$  は、次の式

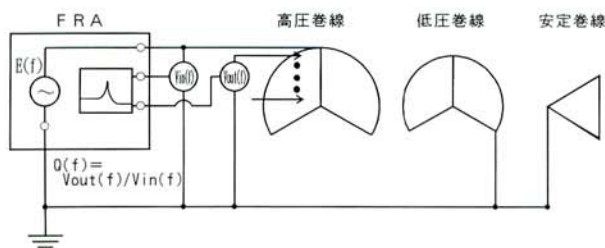


図15/周波数特性の測定回路

Fig.15/Measurement circuit of frequency response

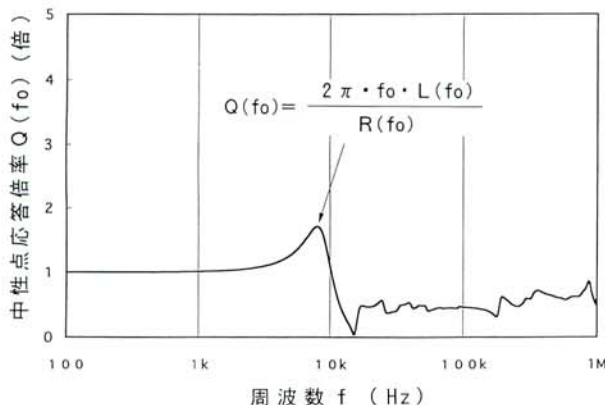


図16/中性点の周波数特性

Fig.16/Frequency characteristics at neutral point

で与えられる。

$$L(f_0) = L(60) \times \left(\frac{f_0}{60}\right)^\alpha \quad [\text{H}] \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

$f_0$  : 固有振動周波数 [Hz]

$L(60)$  : 商用周波数60Hzのときのインダクタンス [H]

$\alpha$  : 実測値から得られる周波数依存定数

### (2) 抵抗及び静電容量

上記(1)の式(4)で求めた $L(f_0)$ 、固有振動周波数  $f_0$  のときの最大応答倍率 $Q(f_0)$ の測定値より、抵抗 $R(f_0)$ は、(3)式より、次の式で与えられる。

$$R(f_0) = \frac{2 \pi f_0 \cdot L(f_0)}{Q(f_0)} \quad [\Omega] \quad \dots\dots\dots (5)$$

また、静電容量 $C(f_0)$ は、

$$f_0 = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L(f_0) \cdot C(f_0)}} \quad [\text{Hz}] \quad \dots\dots\dots (6)$$

より、次の式で与えられる。

$$C(f_0) = \frac{1}{(2 \pi f_0)^2 \cdot L(f_0)} \quad [\text{F}] \quad \dots\dots\dots (7)$$

## 6 あとがき

変圧器の巻線定数には鉄心の影響があり、空心では厳密な解析ができないことが明らかになった。

巻線のインダクタンス値は周波数増大と共に低下し、1MHz近傍の高い周波数領域からは空心のインダクタンス値になること、抵抗値は周波数増大と共に増加することがわかった。

変圧器巻線結線方式により、巻線のインダクタンス及び抵抗の周波数依存性が異なることや、タンクがそのインダクタンス及び抵抗に影響を与え、厳密なサージ解析はタンク回路も考慮しなければならないこともわかった。

また、周波数依存性を考慮した変圧器巻線の適用例として中性点非接地変圧器の固有振動周波数に対する等価回路、定数算定法を示した。

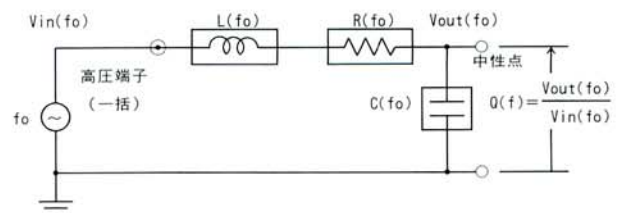


図17/中性点固有振動周波数等価回路

Fig.17/Equivalent circuit of neutral resonance

今後、これらの結果をもとに、変圧器巻線定数の周波数依存性について、更に詳細な検討を行う予定である。また、巻線静電容量の周波数依存性についても検討の予定である。

本稿に関するモデル巻線の検討、及び実変圧器測定にあたって、御協力戴いた関係各位の方々に対して深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 乾, 他: 電気学会静止器研究会 TC-74-9 (1974)
- (2) 川口: 電気学会雑誌 Vol.89-3, No.966 (1969)
- (3) 谷口, 他: 大阪変圧器技報 No.40 (1979)
- (4) 杉本, 他: 電気学会静止器研究会 TC-78-3 (1978)
- (5) 山田, 他: 電気学会静止器研究会 TC-78-2 (1978)
- (6) 渡辺, 他: 電気学会東京支部 S.5-1 (1981)
- (7) 関根, 雨谷: 分布定数回路論 (1991) コロナ社
- (8) 佐藤, 神部, 高橋, 小松: 電気学会全国大会 1372 (1994)

- (9) V.Woivre, et al: "Transient overvoltage study and model for shell-type power transformers", IEEE Trans.on Power Delivery, Vol.8, No.1, 1993, pp.212-222
- (10) 加藤: 電気学会論文誌 Vol.114-B(3) (1994)
- (11) 榊原, 他: 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J71-B No.7 pp.891-899 (1988)
- (12) E.Laveuve, et al: "Influence of induced currents in conductors on leakage and losses in a transformer", Electric Machines and Power Systems, 19: 55-68, (1991)

## 最近公開された愛知出願

### 特許

公開番号	名 称	発 明 者	共同出願人
6-326	排ガス処理装置	奥村 顕治 林 幸雄	中部電力(株) 東洋電機(株)
6-22508	電動機の固定子鉄心の製造方法	岡田太一郎 鈴木 正見	
6-36098	緊急車輛の活動状況記録装置	水野 弘一	
6-86738	シートペーパー自動供給便座	野々村勝巳	東陶機器(株)
6-91148	回転ドラムの乗載方法及びその装置	山田 直人	愛知電機商事(株)
6-104555	プリント配線基板のメッキ方法及びその装置	水谷 博	(株)マルヤ製作所
6-136806	衛生洗浄装置の制御装置	太田 久義 藤井 庄吉 佐藤 秀隆	東陶機器(株)
6-168834	巻鉄心の組立方法及び組立装置	浅井 大成 加藤 雅彦	
6-178927	回転ドラムの起立・反転装置を備えた混合装置	近藤 茂之	
6-181126	中性点接地装置	矢野 純一 佐藤 一彦 後藤 直樹	
6-202738	ポンプの駆動制御装置	森 和彦	

公開番号	名 称	発 明 者	共同出願人
6-204062	巻鉄心の巻回装置	白石 真澄 河瀬 文雄	
6-218262	粉末材料の自動投入・排出方法及びその装置	高木 康弘	
6-231986	三相巻鉄心変圧器の製造方法	矢後 克二	
6-237520	ビーム電源装置	丹羽 裕彦 桑原 祐	
6-237877	便座及び便蓋の取付け構造	伊藤 利行 林 浩二	東陶機器(株)
6-248679	温風暖房装置	山下 直治 鈴木 靖則	東陶機器(株)
6-248680	室内暖房装置	辻田 昌弘 船戸 直博	東陶機器(株)
6-284554	過電流保護装置	森 和彦	
6-290940	超伝導コイル保護システム	佐藤 徹	(株)日立製作所 日立エンジニア リングサービス(株)
6-296847	回転ドラムの起立・反転装置を備えた混合機	大嶋 昭彦	
6-299580	自己保持形ソレノイドの騒音低減装置	望月浩一郎 宮島 武秀	東陶機器(株)