

低騒音変圧器

Low-Noise-Level Transformers

小沢 実*
Minoru Ozawa

内容梗概

日立製作所では、昨年東京電力板橋変電所用 30MVA 変圧器 1 台を、また最近東京電力高輪変電所用 45MVA 変圧器 2 台を低騒音変圧器として製作納入し、好成績を得た。

低騒音変圧器の遮音壁の特性は変圧器との間隔によつて大いに異り遮音壁単独に考えることはできない。これら低騒音変圧器の製作にあつては、振動の等価電気回路による解析を応用して諸現象の把握に成果をおさめた。本稿ではその概要と、低騒音変圧器の構造について述べた。

第 1 表 油入変圧器の騒音レベル (JEM 1118)

二巻線等価容量 (kVA)									基準 騒音 レベル (ホン)
絶縁階級 70 号以下			絶縁階級 100 号			絶縁階級 140 号以上			
A	B	C	A	B	C	A	B	C	
300	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	56
500	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	58
700	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	60
1,000	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	62
1,500	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	63
2,000	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	64
3,000	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	65
4,000	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	66
5,000	.....	.....	1,000	.....	.....	.....	.....	.....	67
6,000	.....	.....	1,500	.....	.....	.....	.....	.....	68
7,500	.....	.....	2,000	.....	.....	.....	.....	.....	69
10,000	2,667	.....	3,000	.....	.....	.....	.....	.....	70
12,500	5,333	.....	4,000	.....	.....	.....	.....	.....	71
15,000	6,667	.....	6,000	1,333	.....	3,000	.....	.....	72
.....	10,000	.....	10,000	2,667	.....	4,000	.....	.....	73
20,000	13,333	.....	12,500	4,000	.....	6,000	.....	.....	74
25,000	16,667	12,500	15,000	5,333	.....	10,000	.....	.....	75
30,000	20,000	16,667	20,000	13,333	.....	12,500	5,333	.....	76
40,000	26,667	20,800	25,000	16,667	6,667	15,000	8,000	.....	77
50,000	33,333	25,000	30,000	20,000	16,667	20,000	13,333	6,667	78
60,000	40,000	41,667	40,000	26,667	25,000	25,000	16,667	16,667	79
80,000	53,333	50,000	50,000	33,333	33,333	30,000	20,000	20,800	80
100,000	66,667	66,667	60,000	40,000	41,667	40,000	26,667	25,000	81
.....	80,000	83,333	80,000	53,333	50,000	50,000	33,333	33,333	82
.....	106,667	100,000	100,000	66,667	66,667	60,000	40,000	41,667	83
.....	.....	.....	.....	80,000	83,333	80,000	53,333	50,000	84
.....	.....	.....	.....	106,667	100,000	100,000	66,667	66,667	85
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	80,000	83,333	86
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	106,667	100,000	87
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	133,333	88
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	166,667	89
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	183,333	90
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	200,000	91
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	(233,333)	92
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	(266,667)	93
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	(300,000)	94
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	(333,333)	95
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	(375,000)	96

A: 油入自冷, 油入水冷, 送油水冷, 送油自冷変圧器
 B: 油入風冷変圧器
 C: 送油風冷変圧器
 注: 中間の容量のものには 1 段上の基準値を適用する。
 () 内は NEMA 規格による概当値

〔I〕 緒言

ここ数年来、市街騒音に対する関心がたかまり、1954年東京都が騒音防止に関する条例⁽¹⁾を制定したのをはじめ、他の府県においても市街騒音の規制が行われる傾向にある。

他方、都市の電力需要の増大に伴つて大容量の変電施設が市街地に設けられ、また、郊外の変電所もその用地に制約をうけることが多くなつたため、変電所計画に際して変電施設、ことに変圧器の騒音低減が看過することのできない問題となつている。

日立製作所では機器の騒音現象の解明のために研究を続けてきたが、騒音レベルの著しく低い、いわゆる低騒音変圧器として、昨年東京電力板橋変電所に三相 30 MVA 変圧器 1 台を納入したのをはじめ、今年には東京電力高輪変電所用三相 45 MVA 変圧器 2 台を納入した。これは、変圧器騒音低減方法の実用的な一つの方向を示すものと思われるので、これを中心に変圧器騒音の低減について触れてみたい。

〔II〕 変圧器の騒音

変圧器騒音の基準としては、アメリカ NEMA 規格⁽²⁾がもつともよく知られている。わが国においても、JEM規格として、これとほとんど同一のものが制定されている。⁽³⁾

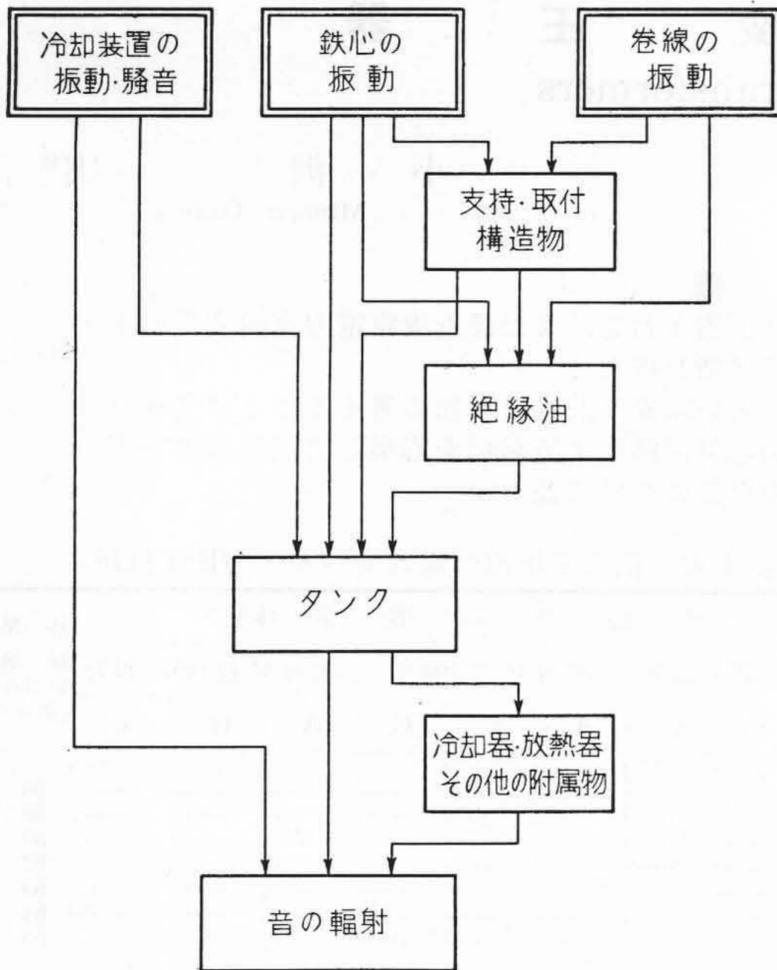
JEM規格による油入変圧器の騒音レベル基準値を第 1 表に示すが、実際の変圧器ではこれより 3 ホン位低いようである。

30~45MVA 変圧器を暗騒音 35~40 ホンの住宅地に設置して、変圧器より発する騒音の影響を無視しうる程に距離をとらうとするならば、半径 40m にもおよぶ敷地を要することになる。市街地においてこのような用地を求めることは困難であつて、騒音レベルの低い変圧器を採用するか、変圧器を屋内に設置するか、変圧器の周囲に遮音壁を設けるか、あるいは、変圧器を遮音構造の箱に

収めるか⁽⁴⁾などの方法を講ぜねばならない。どの方法がもつとも経済的であるかは、個々の条件によつて非常に異なるから、変電所の計画にあつて総合的に検討せねばならない。

変圧器騒音の発生伝達の主要な経路を第 1 図に示した。発生原因としては鉄心の磁歪振動が主なものであるから、その低減および伝達の防止が騒音低減の根本をなすものである。

* 日立製作所国分工場



第1図 変圧器騒音の伝達経路

磁歪振動の低減の方法としては、磁束密度の低下が考えられるが、これは重量のいちじるしい増加を招ききわめて不経済であるので、低磁歪量の鉄心材料が要求されて、方向性珪素鋼板の特長の一つがここに応用される。

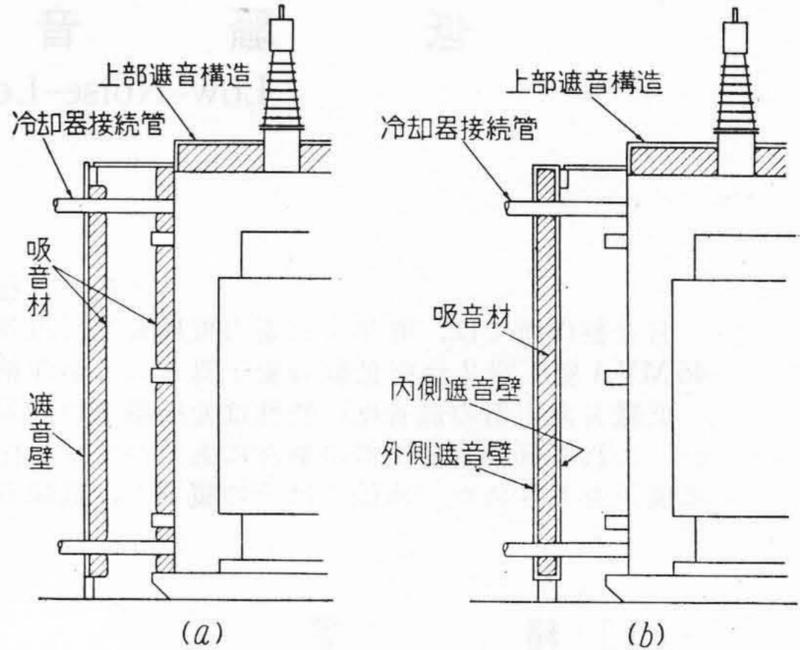
このほか低減方法は、ほとんどすべてが振動、騒音の伝達を阻止することを目的とし、その中もつともしばしば実用されているものは変圧器タンクの外表に遮音構造を設けるものである。

後述のようにわれわれは、30MVA変圧器には遮音構造と方向性珪素鋼板を、45MVA変圧器には遮音構造を採用して成果をおさめた。

〔III〕 遮音構造

タンク外表に取付ける遮音構造には、強度上、工作上から鋼板と吸音材を組合せたものが多い。その構造の概要を第2図に示す。同図(a)は遮音壁に単一の鋼板を用い吸音材を組合せたもの(b)は遮音壁を二重としてその中間に吸音材を配したものである。同図では遮音壁の重量は本体と別の基礎により支持されているが、変圧器ベースに支持台を設けて遮音壁を支持する場合もある。冷却器接続管などが遮音壁を貫通する部分は、ゴム板によつて漏音を防ぐのが普通である。また、本体からの振動が遮音壁に伝達されぬように防振せねばならない。

変圧器上部には、ブッシング、タップ切換装置などが設けられるが、完全な遮音構造とするためにはこれらの構造配置などについても考慮を払わねばならない。図に



第2図 変圧器の遮音構造

は、本体のカバーを二重とし、吸音材を充填した構造を示しておいた。カバーの補強を効果的に行えば、このような簡単な構造でも十分な効果が得られる。

遮音構造の効果の推定には、音響インピーダンスの異なる境界面における反射として考える方法、単一壁による遮音効果、ビルドアップ現象および遮音壁とタンク間の空気の圧縮による伝達に分けて考える方法などがあるが、筆者は、これを集中定数から成る等価電気回路として取扱う方法によつて、複雑な変圧器騒音現象の把握をかなり容易にすることができた。

無限に広がる平面構造を考える。単位面積当の質量 m なる単一壁に垂直に音波が入射する場合には、音波は壁を押し動かそうとし、壁とその後方の空気とがこれに反抗する。これを等価電気回路に表わせば第3図のようになり、入力電圧 E_i 、出力電圧 E_o はそれぞれ入射音波、通過音波の音圧に相当し、これによつて、いわゆる Mass-Law による伝達損がつぎのように求められる。

$$D = 20 \log_{10} \frac{\omega m}{\rho_0 c_0} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 D = 伝達損 (db)

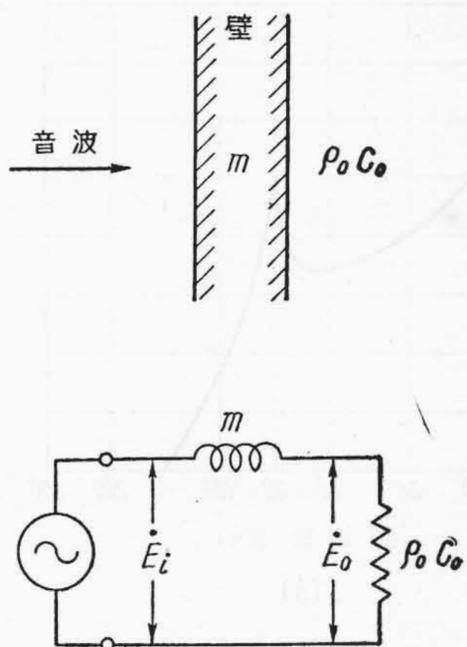
$\omega = 2\pi f$ = 音波の角周波数

m = 壁の表面密度

$\rho_0 c_0$ = 平面波に対する空気の特性インピーダンス (平面波に対しては純抵抗的である)

この場合、壁の前後における音圧を比較したが、この遮音壁を有限の距離をおいて変圧器に取付けた場合には壁によつて反射された音波はこの空間に閉じ込められる結果、音圧のビルドアップを生じ、第3図の E_i が増大して(1)式による低減効果はそれだけ減殺される。すなわち、第3図のごとき定電圧(定音圧)回路は変圧器の実際を表わしていない。

変圧器の外表を遮音構造で囲んだ場合に、変圧器表面



第3図 単一壁の遮音

の振動振幅，振動速度はほとんど変化しない。これは変圧器の振動源をなす鉄心の磁歪振動自体が，非常に大きな内力を持つものであつて，これを伝達する絶縁油やタンクの持つ音響定数ことにその圧縮性や特性抵抗が空気のそれとは桁違いに異つていることによる。これは電源の内部インピーダンスがきわめて大きく，電源電流が出力インピーダンスによつて変化をうけない場合に相当する。すなわち，変圧器騒音は定電流源によつて表現される。

また，有限の空間はコンプライアンスを持つ。波長に比して十分に小さな d なる厚さを持つ空間は，

$$C = \frac{d}{\rho_0 c_0^2}$$

ここに， C = 空間のコンプライアンス

ρ_0 = 空気の密度

c_0 = 空気中の音速

なるキャパシタンスに相当する。

このような考慮にもとづいて，遮音構造の振動を表わす等価電気回路を作れば第4図のようになる。同図 (a) は遮音壁のない変圧器，(b) は第2図 (a) の単一壁構造 (c) は第2図 (b) の二重壁構造の遮音壁を持つ変圧器の振動を表わす等価電気回路である。

同図 (a) において，

ρ_0 = 空気の密度

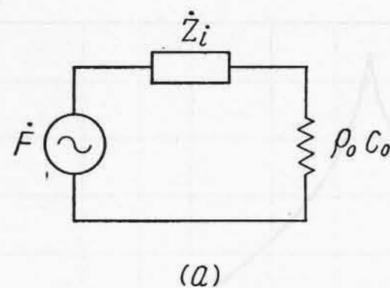
c_0 = 空気中の音速

$\rho_0 c_0$ = 空気の輻射抵抗

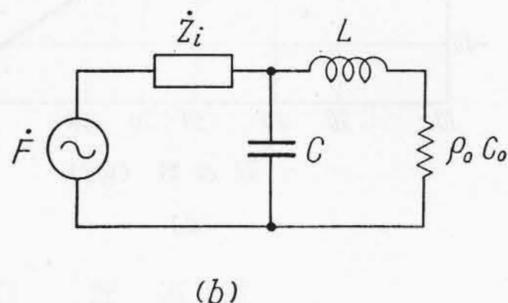
\dot{F} = 起振力

\dot{Z}_i = 鉄心からタンク表面に至る等価インピーダンス

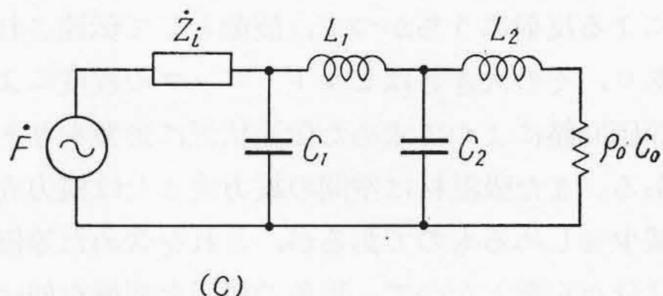
であつて輻射抵抗 $\rho_0 c_0$ に与えられる電力が単位時間に輻射される音のエネルギーに，その端子電圧が音圧に相当する。



(a)



(b)



(c)

第4図 変圧器遮音構造の振動等価回路

同図 (b) において，

L = 遮音壁の表面密度

C = 遮音壁とタンク間の空間のコンプライアンス

同図 (c) において，

L_1 = 内側遮音壁の表面密度

L_2 = 外側遮音壁の表面密度

C_1 = 内側遮音壁とタンク間の空間のコンプライアンス

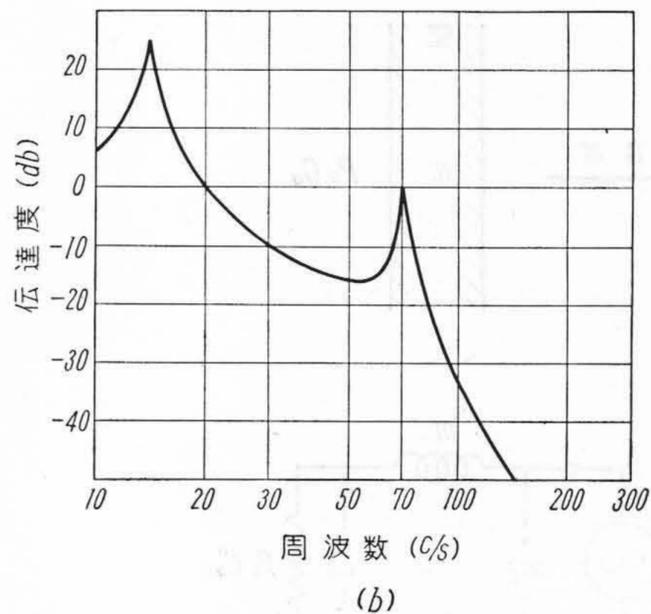
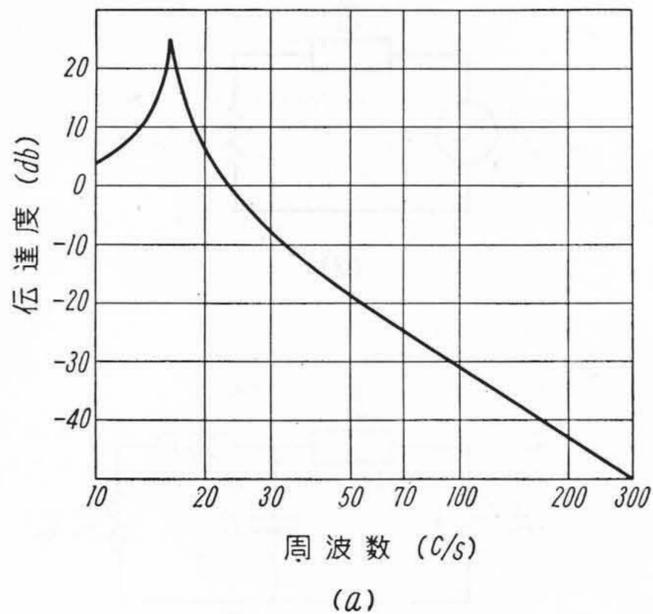
C_2 = 遮音壁相互間の空間のコンプライアンス

である。

(a) と (b) または (c) について $\rho_0 c_0$ に与えられる電力を比較すれば低減効果が求められる。また，(a) における $\rho_0 c_0$ の端子電圧と，(b) または (c) における C または C_1 の端子電圧を比較すれば，ビルドアップの状況が判明する。

この等価電気回路によつて遮音壁の効果を算定した結果の例を第5図に示す。同図 (a) は単一壁構造，同図 (b) は二重壁構造の場合であるが，二重壁構造は高い周波数における低減効果はすぐれているが，諸定数の選び方によつては比較的高い周波数に共振点が現われることがあり，実際構造も多少複雑にすぎるといえる。

以上に述べた取扱いにおいては，音波は壁面を揺り動かすことによつて伝達されると考えたが，壁全体が振動



第5図 遮音構造の特性

しなくても鋼板と空気との著しい音響インピーダンスの相違による反射にうちかちて、波動として伝達されるものがあり、その大きさはビルドアップの程度によつては、等価回路によつて求めた伝達状況に影響を与えることがある。また吸音材は空間の縦方向または横方向の共鳴を減少せしめるものであるが、これを含めた等価電気回路は分布定数となつて、現象の簡明な把握を妨げることが多い。また、無限大の平面によるモデルと実際の有限かつ複雑な構造との相違についても考慮しておかねばならない。タンクや遮音壁の補強ステーなども重要な役割を持つ。

〔IV〕 低騒音変圧器の実例

低騒音変圧器の例として、日立製作所が昨年東京電力板橋変電所に納入した三相30MVA変圧器1台と、本年完成した東京電力高輪変電所用三相45MVA変圧器2台について述べる。

これら変圧器の仕様はつぎのようである。

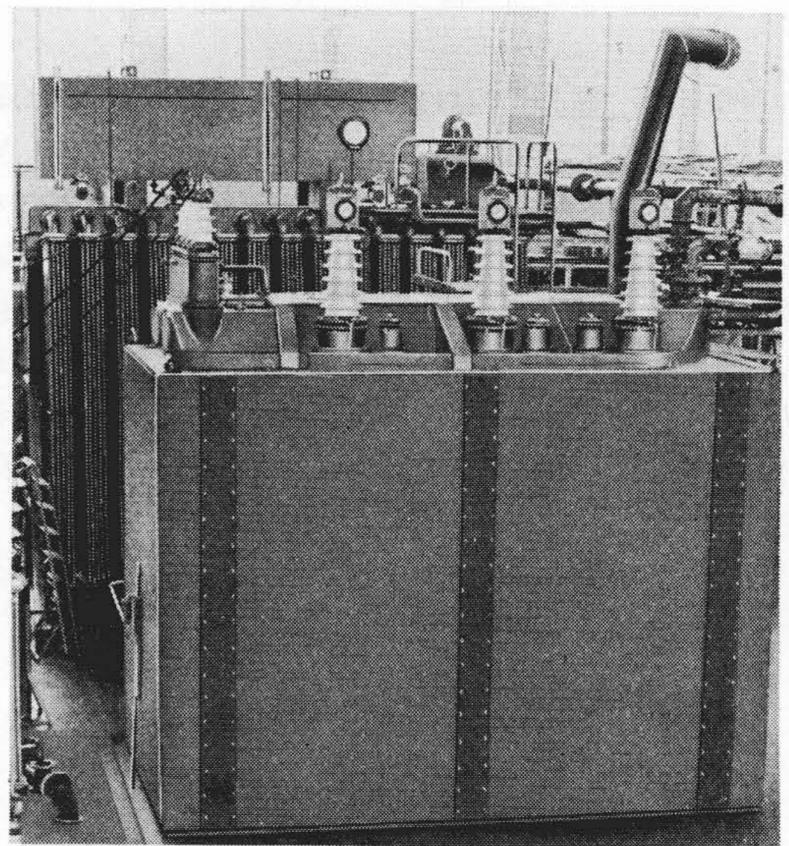
(1) 板橋変電所用30MVA変圧器1台

一次巻線	F66—F63—R60—F57 kV	30MVA
二次巻線	22kV	30MVA
三次巻線 (内蔵, 外部端子なし)	3.3 kV	6.35MVA
結線	Y/Y/(Δ)	
三相	50～油入自冷式	

(2) 高輪変電所用45MVA変圧器2台

一次巻線	F66—F63—R60 kV	45MVA
二次巻線	22kV	45MVA
三次巻線 (内蔵, 外部端子なし)	3.3 kV	10MVA
結線	Y/Y/(Δ)	
三相	50～送油自冷式	

30MVA変圧器は屋外に、45MVA変圧器は屋内に設置される。騒音レベルはJEMの基準値76および78ホンに対し、それぞれ55および65ホンを要求された。



第6図 45MVA低騒音変圧器

このため、30MVA変圧器では、鉄心に方向性珪素鋼板を使用して磁歪振動の低減をはかり、また、二重構造の遮音壁を採用した。45MVA変圧器では、鉄心にはT級珪素鋼板を用い、単一壁構造の遮音壁を採用した。また冷却器への騒音伝達を防ぐため、接続管には特殊の防振接手を設けた。

45MVA変圧器の外観を第6図に示す。本体は遮音壁に囲まれて特徴ある形態を有する。

両変圧器の騒音試験の結果を第2表に示したが、いずれも要求よりはるかに低い好成績をあげた。

30MVA変圧器は遮音壁の外側に放熱器を有するので、放熱器を取外した場合、遮音壁の有無による騒音レベルの差を遮音構造による低減として示した。45MVA変圧器では、冷却器別設置であつて、遮音構造の有無による差を示してある。遮音構造による低減はいずれも約

第2表 低騒音変圧器の騒音レベル (ホン)

測定場所	変 圧 器	板橋変電所	高輪変電所
		60kV30MVA	60kV45MVA
工場	冷却方式	油入自冷	送油自冷
	JEM基準騒音レベル	76	78
ピット内	完成品	53.0	59.0
	放熱器を取外したもの	50.5	.....
屋外	遮音壁放熱器を取外したもの	66.0	74.8
	完成品	48.1	.....
遮音構造による低減		15.5	15.8

16 db であり、下級珪素鋼板を使用した同型の鉄心を有する 30MVA 変圧器との比較によつて、方向性珪素鋼板の使用による低減効果は約 8 db と推定された。工場ピット内では反射音のため 4~6 db 高い騒音レベルが測定されるので、45MVA 変圧器の正しい騒音レベルは 55 ホン以下であると考えられる。

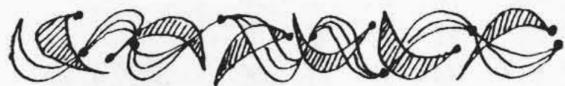
〔V〕 結 言

以上、最近製作した低騒音変圧器を中心に、変圧器騒音低減について述べた。低騒音変圧器によつて変圧器騒音問題の実用的な一つの解決法が与えられたものと考えられるが、今後はさらに総合的な対策を検討して実用化して行きたいと思う。

終りに、東京電力株式会社関係者の御厚意に深謝し、今後の御鞭撻をお願いするとともに工場関係者ことに検査部平野氏の御助言御協力に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 昭和29年 東京都条例第1号
- (2) NEMA Standard: TRI. 2042 (1955)
- (3) 日本電機工業会標準規格 1117, 1118 (1956)
- (4) C. M. Brownsey 他: CIGRÉ 1956 Session No. 108



特 許 の 紹 介



特許第 226638 号

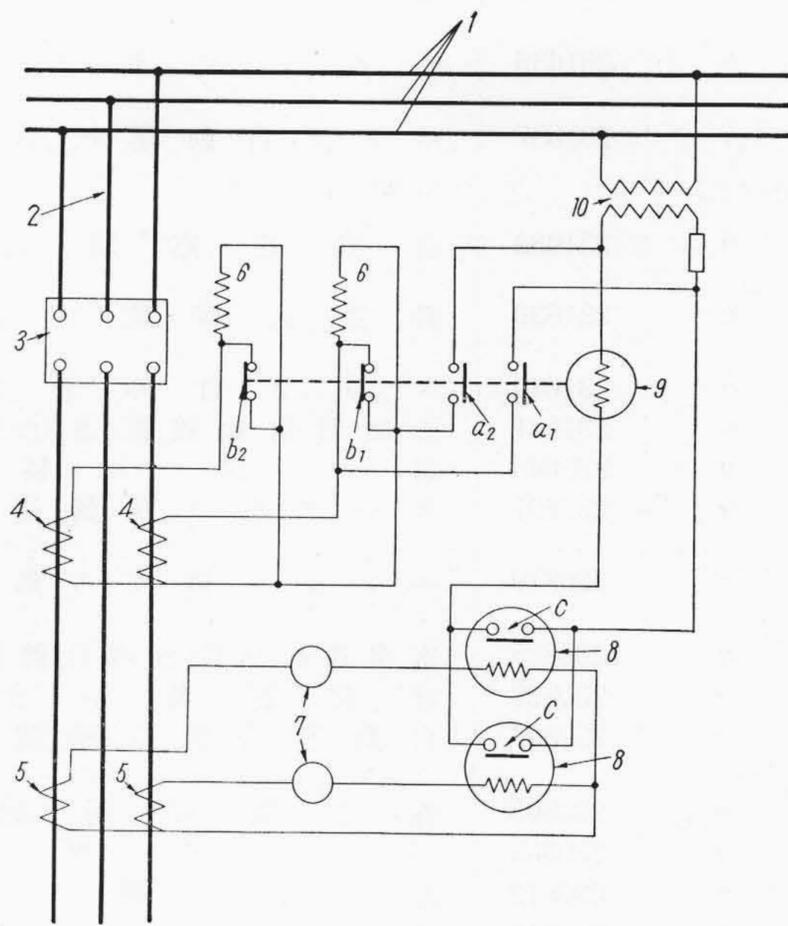
池 田 正 一 郎

遮 断 器 過 電 流 引 外 装 置

最近送配電系統の保護に用いる変流器として套管型変流器が絶縁強度や事故防止の見地から推奨される傾向にある。ところが套管型変流器で問題になるのは特性上これに大きな負担をかけられないことである。一例として套管型変流器がその一次電流 300 アンペア以下程度では従来一般に用いられた交流過電流引外線輪を十分動作せしめることが困難であり、特に引外線輪に組合わせる過電流継電器の最低タップにおいてはたとえ短絡電流が大であるとしてもその動作はまず不能と見なければならぬ。本発明はこの点にかんがみ計器および継電器用としては一個または一組の套管型変流器 (たとえばこれは 100/5A) を設け、またこれとは別に交流過電流引外線輪専用としてほかの一個または一組の套管型変流器 (たとえば 400/5A) を設けてこれに引外線輪を完全に作動せしめるに足るボルトアンペアを出させるものである。そして一方において継電器が動作すると別の単独電源に関連させた補助継電器を追動させ、これによつて常時短絡されている引外線輪を専用の変流器二次側に開通し、二次電流によつて直接引外線輪を附勢させ、遮断器の確実な遮断を行わせる。

図中 1 は配電母線、2 は配電線、3 は自動遮断器、4、4 および 5、5 は各別の一組の套管型変流器、6、6 は 4、4 に所属する交流過電流引外線輪、7 は 5、5 に所属する電流計、8、8 は小勢力型過電流継電器、9 は補助継電器、10 は母線 1 に接続した所内補助変圧器である。

常時は 9 の接点 b_1 , b_2 によつて 6, 6 を 4, 4 から短絡除外しているが、8 が働らいて 9 を 1 から附勢し作動させると b_1 , b_2 が開いて 4, 4 の電流を 6, 6 に開通する



ので確実な遮断動作が行われる。9 の a_1 , a_2 は 1 から補助附勢電流を 6 に重畳するためのもので、これを行えば動作の確実性はさらに一層向上する。(宮崎)

