

新幹線用 240kVA 吸上変圧器

240 kVA Boosting Transformers for JNR's New Tōkaidō Line Service

小林 明*
Akira Kobayashi

内 容 梗 概

最近の電気鉄道においては交流送電が著しく発達した。交流電化された線路には、通信誘導障害を軽減するため、吸上変圧器が設置されるが、日立製作所では国鉄の東海道新幹線用として、わが国最大容量の 240 kVA 吸上変圧器を完成納入した。

本器は、国鉄規格により設計、製作されたものであって、規格値に対して良好な成績を取めた。本文はその特長および試験結果について述べる。

1. 緒 言

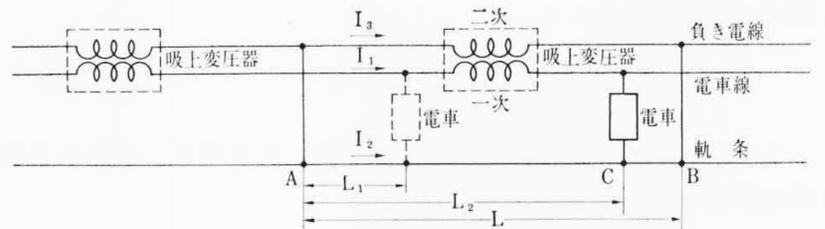
電気鉄道において、従来から行なわれている直流送電では、最近の輸送力増大に伴う運転電流の増加に、追いつかなくなった。このため日本国有鉄道では、仙台線に試験区間を設けて商用周波数による交流電化方式を種々検討、調査し、その技術的成果を確認した⁽¹⁾。

その後、北陸線をはじめとして、東北・常磐・鹿児島各線の各線が相ついで交流電化され、幾多の経験と実績が得られたので、今回、東海道新幹線に、この交流電化方式が実施されることとなった。

ところで、交流電化方式は運転および変電設備において、大幅な経済性が期待される反面、き電回路において送電線の 1 線地絡状態が常時存在するため、近接並行する通信線に与える誘導障害対策が問題となる。以下、この誘導障害を軽減するため、線路に設置される吸上変圧器の簡単な動作理論、国鉄規格により設計、製作された東海道新幹線用 240 kVA 吸上変圧器の特長と試験結果について述べる。

2. 通信誘導障害とその対策

通信線に及ぼす誘導障害には静電誘導障害と電磁誘導障害とがあり、これらが複雑に入り組んで存在する。静電誘導が原因となる障害には、人体に電撃を与えるおそれのある危険電圧の発生が考えられ、電磁誘導障害には、危険電圧や通信を妨害する雑音電圧の発生、



第 1 図 吸上変圧器の接続回路

軌道継電器、自動交換機、受電器などの通信、保安設置の誤動作があげられる。これら誘導障害の対策は、現在第 1 表のように行なわれ、線路のある地域条件によりそれぞれの方式が適用される。

3. 吸上変圧器の動作理論

吸上変圧器および単巻変圧器を含むき電回路の理論的な解析はすでに発表⁽²⁾されている。第 1 図のように電車線に I_1 、負き電線に I_3 、軌条に I_2 なる電流が流れた場合、軌条の対地電圧は

$$-\frac{dv_2}{dl} = Z_{22} I_2 + Z_{12} I_1 + Z_{23} I_3 \dots\dots\dots (1)$$

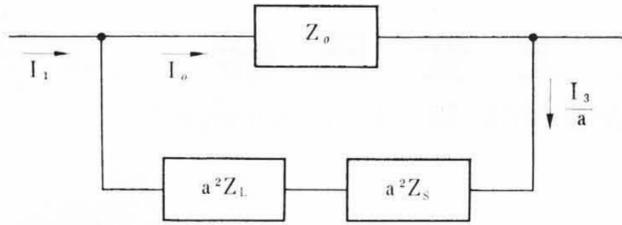
ここに Z_{22} : 軌条の対地自己インピーダンス
 Z_{12} : 電車線と軌条間の相互インピーダンス
 Z_{23} : 軌条と負き電線間の相互インピーダンス

ところで軌条が連続接地されていれば、軌条電流は

第 1 表 誘 導 障 害 対 策

対 象	対 策 内 容			おもな実施図
	方 法	効 果	回 路	
線 路 側	電車線と軌条との間に、吸上変圧器を設置して、大地に漏えいする電流を軽減する。	軽減効果は少ないが簡易で、設備費が安い。		スウェーデン ノルウェー
	負き電線を用いて、これと電車線との間に吸上変圧器を設置して軌条電流をも吸上げる。	効果大、軌条の左右が絶縁される場合は効果がいっそう大きい。		日 本 イギリス インド スウェーデン
	電車線とき電線に単巻変圧器の一次巻線をつなぎ、その中性点を軌条に、接続して大地漏えい電流を軽減する。	変圧器の容量を大きくすれば、効果は大であって、一次電流の大きさに影響されない。		アメリカ
通 信 側	裸通信回線をケーブル化して、地中埋設する。			各 国
	通信線を分割して、線間に絶縁変圧器(中継コイル)を入れる。直流符号伝送回路では、ろ波排流コイルを入れる。			フ ラ ン ス
	自動交換機回線においては、通信回路の平衡度を向上させるため中和変圧器を入れる。			各 国
車 両 側	整流器から発生する高調波電流をフィルタで吸収する。			各 国

* 日立製作所亀戸工場



a : 巻数比
 I_0 : 無負荷電流
 Z_0 : 励磁インピーダンス
 Z_S : 吸上Trの二次側からみた漏えいインピーダンス
 Z_L : 吸上Trの二次側からみた負荷インピーダンス

第2図 吸上変圧器の等価回路

$$I_2 = - \frac{Z_{12} I_1 + Z_{23} I_3}{Z_{22}} \dots\dots\dots (2)$$

今、この回路のA点から近接並行して通信線が存在すると、 V_m なる電圧が電磁誘導される。

$$- \frac{dv_m}{dl} = Z_{14} I_1 + Z_{24} I_2 + Z_{34} I_3 \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 Z_{14} 、 Z_{24} 、 Z_{34} はそれぞれ電車線、負き電線、軌条と通信線間の相互インピーダンスである。

さてAB間の中央に設置された吸上変圧器の二次側からみた負荷インピーダンスを Z_L とすれば、吸上変圧器の等価回路は第2図のように表わされる。したがって

$$I_0 Z_0 = - \frac{I_3}{a} \cdot a^2 (Z_S + Z_L) \dots\dots\dots (4)$$

$a=1$ とすれば

$$I_3 = - \frac{Z_0 I_1}{Z_0 + Z_S + Z_L} \dots\dots\dots (5)$$

第1図において、実際に起こりうる電車の位置は、Aから L_1 、 L_2 および L の三通りが考えられる。

電車が L_1 にある場合は、吸上変圧器が作用しないので

$$I_2 = - \frac{Z_{12}}{Z_{22}} I_1 = - \mu Z_1$$

$$-v_m = \int^{L_1} (Z_{14} I_1 - \mu Z_{24} Z_1) dl$$

$$\therefore V_m = I_1 L_1 (Z_{14} - \mu Z_{24}) \dots\dots\dots (6)$$

電車が L にある場合は、吸上変圧器が完全に動作するので $Z_{12} \doteq Z_{23}$ と考えてもさしつかえない。したがって

$$I_2 = - \mu (I_1 + I_3)$$

$$\therefore V_m = I_1 L \left\{ Z_{14} - \mu Z_{24} \left(1 - \frac{Z_0}{Z_0 + Z_S + Z_L} \right) - Z_{34} \cdot \frac{Z_0}{Z_0 + Z_S + Z_L} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

電車が L_2 にある場合、AC間は上述と同様であり、C点に流入しB点から負き電線に流れ出る電流は

$$I_2 = - \mu I_3$$

$$\therefore V_m = I_1 L_2 \left\{ Z_{14} - \mu Z_{24} \left(1 - \frac{Z_0}{Z_0 + Z_S + Z_L} \right) - Z_{34} \cdot \frac{Z_0}{Z_0 + Z_S + Z_L} \right\} - I_1 (L - L_2) (Z_{34} - \mu Z_{24}) \frac{Z_0}{Z_0 + Z_S + Z_L} \dots\dots\dots (8)$$

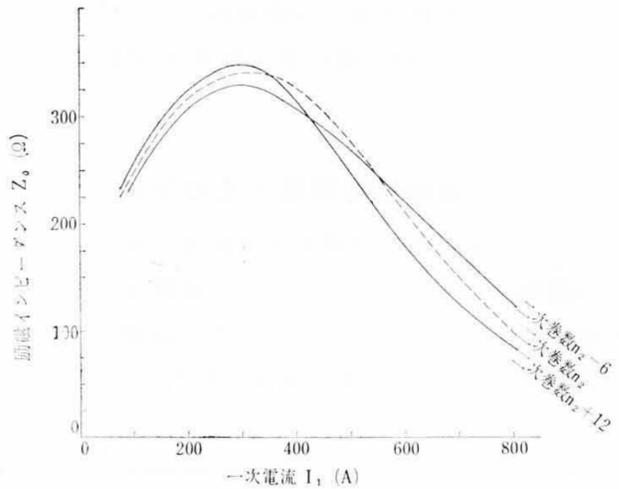
誘導障害を及ぼす電磁誘起電圧は、基本的には以上の式で表わされるが実際には、ケーブルや接地線の遮へい係数、他軌道、トンネル、高架橋、建築物などの誘導軽減係数が考慮される。雑音電圧に対しては、さらに通信回路の平衡度、電話妨害係数などが関係してくる。

4. 吸上変圧器に要求される性能

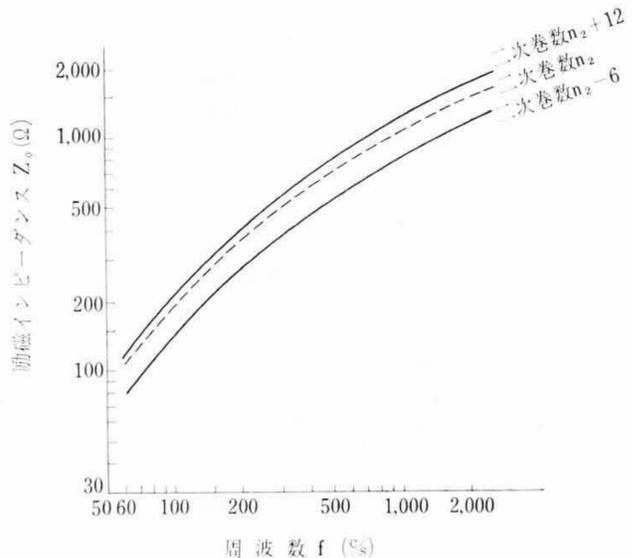
通信線に及ぼす誘導電圧は、理想的には零であればよいが、経済的に不可能であり、また実用上は必ずしも零である必要はない。現在、許されている制限電圧は、静電誘導電圧が300V以下、電磁誘導電圧においては平常時60V以下、異常時の危険電圧は300V以下(国鉄専用通信線では430V以下)となっており、また車両の整流器から発生する高調波電流に基因する雑音電圧は、通信線がケーブル回線の場合2.5mV以下、架空裸回線の場合5mV以下に制限されている。吸上変圧器の励磁インピーダンスは、電磁誘導電圧が上述の許容値を越えないような値となっている。

5. 設計条件と性能の関係

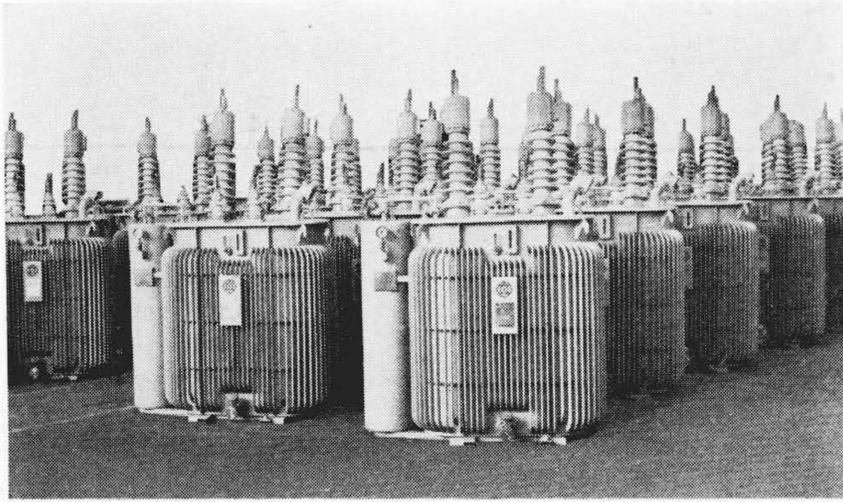
吸上変圧器の一次巻線は第1図から明らかなように、回路に直列に接続される。したがって電車線に異常な過電流が流れても、鉄心が飽和しないよう高励磁インピーダンスとなっている。一般の変圧器に比して定格時の無負荷電流は1/10程度である。そのため、鉄心の磁束密度は相当低い値となるが、低すぎた場合、機器の小形軽量化において不利であり、また高周波弱電流に対する吸上げ効果が減少する。第3図は、定格時励磁電流が一定になるように鉄心断面積と二次巻数をかえたときの一次電流と励磁インピーダンスの関係を示し、第4図は、上記電流の1/10を一次側に流したときの周波数と励磁インピーダンスの関係を示している。所要の励磁インピーダンスをうるためには、鉄心断面積と巻数を最適な値にする必要がある。



第3図 二次巻数を変えた場合の強電流励磁インピーダンス特性の一例



第4図 二次巻数を変えた場合の弱電流高周波特性の一例



第5図 東海道新幹線用 240 kVA 吸上変圧器

6. 製品の外観、構造および試験結果

6.1 定格および諸元

形 式	SOBV-C
容 量	240 kVA
定格周波数	60 c/s
定格電圧	(一次, 二次とも) 600V
定格電流	(一次, 二次とも) 400A
絶縁階級	(一次) 30号 (二次) 6号
総重量	2,700 kg

6.2 外観および構造

変圧器の外観を第5図に示す。構造は絶縁油を半永久的に保護する窒素封入密封形である。ケース側面に取り付けられた窒素室は、絶縁油と窒素ガスの膨張による内圧の上昇を全負荷時において0.3 kg/cm²以下に押える十分な容積を有している。全周をとりまく冷却管は日立独特のだ円パイプで、合理的に配列され冷却効率の増大と床面積の縮小に役だっている。大部分が、トンネル内に設置されるため、耐湿性塗装が施こされている。高圧側プッシングは保守の楽な油入密封形であり、がい管の沿面距離は1,040 mm以上、有効高さは480 mm以上となっている。

鉄心は内鉄形で、高インダクションの熱間圧延ケイ素鋼板が用いられている。両脚は締付リベットでがんじょうに組み立てられてい

るため過電流が流れたときの機械力に強い。鉄心締金具は強じんなスタットで上下連結されているので、過電流による軸方向機械力や変圧器運搬に際して無理な力が鉄心に作用しない。鉄心断面積は吸上変圧器として有効な磁束密度を与え、良好な無負荷特性をうるよう設計され、さらに材料および作業上のバラツキが減少するよう考慮されている。

巻線は一次、二次とも、両脚並列接続になっているため、冷却効率がよい、巻線の過電流発生機械力が小さい、漏えいインピーダンスが小さい、巻線の対地キャパシタンスが小さくできるなどの利点をもっている。低圧コイルは強力な日立筒上に巻かれ、完全円形の円筒コイルであるため、半径方向機械力に強く、また冷却効果が大きい。高圧コイルは連続デスクコイルで、機械力や異常電圧に対し非常に信頼性がある。

6.3 試験結果

変圧器の性能は、国鉄規格の保証値に対して、良好な成績を取めた。インピーダンス特性においては、二次側に1.5Ωの誘導負荷を接続し、一次側に800Aを通電したとき励磁インピーダンスは40Ω以上、漏えいインピーダンスは0.2Ω以下であった。定格時における励磁電流の1/10を1,000 c/sにおいて流したとき励磁インピーダンスは700Ω以上、漏えいインピーダンスは4Ω以下であった。また1,000 c/sにおける巻線間および巻線と外箱間の静電容量は2,000 PF以下であった。

7. 結 言

以上により日立製作所製の吸上変圧器が、東海道新幹線において通信線に対する電磁誘導障害軽減の使命を無事果たすものと信じている。

最後に、本器の設計に対してご指導、ご援助いただいた鉄道技術研究所宮下室長⁽³⁾はじめ、日本国有鉄道の関係のかたがたに厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 来：信学誌 42, 7 (昭 34-1)
- (2) 竹内, 山口：電学誌 77, 1440 (昭 32-11)
- (3) Kazuo Miyashita: Elec. Traction Railw. 13, 341 (July 1962)

第 26 卷 目 次 第 5 号

- ・マンモス火力への歩み——(2) ボイラ編——
- ・石油化学の中核エチレン製造プラント——大協和石油化学株式会社四日市工場——
- ・日立エアコンで<不快条件ゼロ>の夏を
- ・強力ベビコンのおいたち
- ・世紀の祭展を新形テレビで見よう
- ・ワンタッチで呼び出す——能率的な電話秘書——
- ・みのり豊かな科学のため東京12チャンネル開局

- ・トランジスタの応用は広がる
- ・金属に代わるプラスチック——日立強化プラスチックの話題——
- ・明日への道標「大協和石油化学株式会社四日市工場」
- ・日立ハイライト「新形テレビ」
- ・電線百話「配電線のダッコちゃん—スパーケーブル—」
- ・日 立 だ よ り

発行所 日 立 評 論 社 東京 都千代田区丸の内1丁目4番地
振替 口座 東京 71824 番

取次店 株式会社 オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
振替 口座 東京 20018 番

東海道新幹線用 30 kV ブチルゴム電力ケーブル

東海道新幹線電車でパンタグラフから車両床下の高圧機器箱間のリード線として、30 kV 1×100 mm² ブチルゴム電力ケーブルを使用した。ブチルゴム電力ケーブルは、すでに知られているように、耐熱性、耐オゾン性、耐水性および電氣的諸特性がきわめてすぐれているうえに、紙ケーブルのように油もれの心配がないことと、可とう性に富んでいるため、床下配線でしかも布設ルートが複雑でかつ使用中過酷な振動を受ける場所には最適なケーブルといえる。

使用電圧は対地 30 kV であり、これを線間電圧に換算すると 52 kV に相当する。このような特高回路に対しゴム絶縁体のケーブルを使用したのは画期的であるといえる。

次にケーブルおよびケーブルヘッドの構造および特性の概要について述べる。

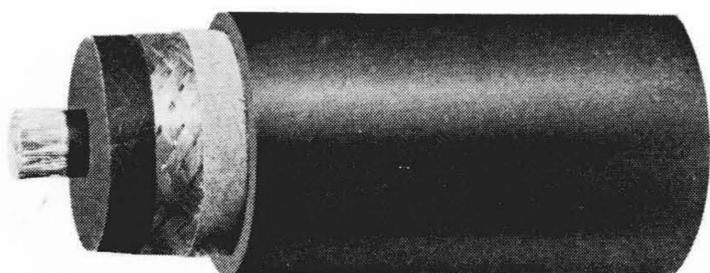
第1表にケーブルの構造および電気特性規格値を示す。ケーブルは可とう性を増すために、導体は 0.45 mm のスズメッキ軟銅線を複合より線、絶縁体遮へいには 0.2 mm のスズメッキ軟銅線を用いて編組した。絶縁体には日立電線株式会社において開発した、特別高電圧用ブチルゴムを押し出し被覆し、かつ電気特性を向上させるため、導体上に半導電性ブチルゴム混和物を被覆し導体のより線効果をなくした。そのためブチルゴム絶縁体との密着性が完全であり、電氣的特性が向上するばかりでなく、きわめて安定した特性が得られる。

シースには機械的に強く耐油性や耐薬品性のよいクロロブレン混和物を使用した。ケーブルの断面を第1図に示す。

ケーブルヘッドは高速走行によって発生する振動や風圧に対する曲げなどを考慮し、機械的強度を上げ、さらに激しい塩じんに対して高い耐汚損性が要求された。そのため、がい管の取り付け部にはゴムパッキングを用いて振動の吸収をはかり、耐汚損性を向上させるため、ツバ枚数を増して閉絡パスを長くした。

ケーブルヘッドの取り付け状況を第2図に示す。

ケーブルの電気特性は第2表および第3図に示すとおり、長時間破壊電圧が使用電圧 30 kV に対し 160~180 kV であり、衝撃破壊電圧は BIL 200 kV に対し 600~640 kV の特性をもち、それぞれ非常に裕度がある。また、誘電正接の温度特性も第3図に示すとおり 80℃で 1.3% 以下でありまったく問題のない特性である。



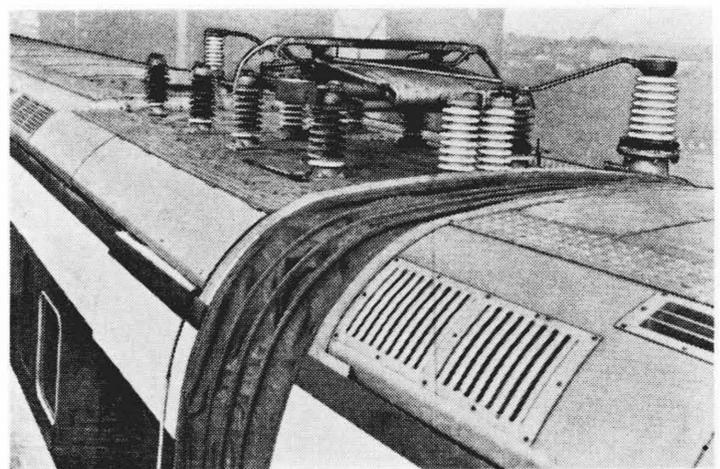
第1図 30 kV ブチルゴム電力ケーブル

第1表 ケーブルの構造

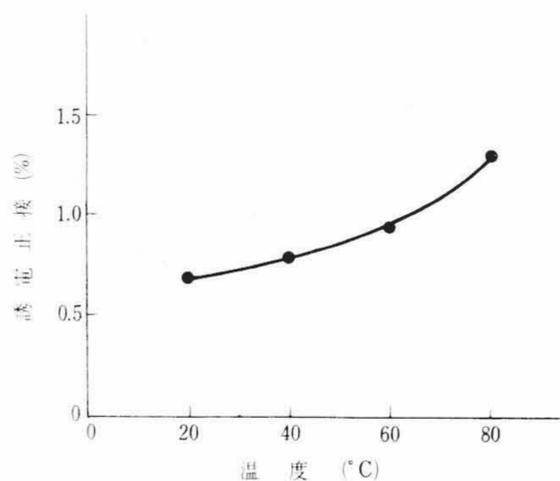
項目	仕様
電圧	30 kV
心線数	1
公称断面積	100 mm ²
	19/34/0.45 mm
構成径	15.2 mm
	ブチルゴム絶縁厚さ
外部半導電層厚さ	0.35 mm
スズメッキ軟銅線編組厚さ	0.5 mm
布テープ厚さ	0.35 mm
クロロブレンシース厚さ	3.5 mm
仕上り外径(約)	57 mm
概算重量	4.6 kg/m
導体抵抗(20℃)	0.186 Ω/km 以下
試験電圧	70 kV/10分
絶縁抵抗(20℃)	1,600 MΩ/km以上
静電容量	0.2 μF/km 以下

第2表 ケーブルの破壊電圧特性

項目	特性値	昇圧方法
長時間破壊電圧	160 kV, 180 kV	70 kV/1時間+10 kV/1時間昇圧
衝撃破壊電圧	640 kV, 600 kV	240 kV/3回+20 kV/3回昇圧



第2図 ケーブルヘッドの取り付け状況



第3図 誘電正接-温度特性