U.D.C. 621.314.222

66kV 7,500kVA ケーブル直結形変圧器

66 kV 7,500 kVA Transformer Directly Connected to Cable

秋丸舜二* 奥山賢一** 橋本博治***
Shunji Akimaru Kenichi Okuyama Hiroji Hashimoto

内 容 梗 概

ケーブル終端部を直接変圧器にそう入するいわゆる変圧器直結方式は，充電部分が露出しないため種々の利点を有し，最近国内においても相ついで製作されている。

日立製作所は日立電線株式会社と協力してその試作研究をすすめ，さきに電線工場受電用 66 kV 4,300 kVA 変圧器ほか数台の変圧器を製作したが，今回北海道電力株式会社滝川火力発電所起動用 66 kV 7,500 kVA 変圧器を完成し，運転にはいったので衝撃電圧特性をサージ計算盤で検討した結果を含めて，その概要を紹介する。

1. 緒 言

ケーブル直結形変圧器は，すでに紹介されているように，充電部分が露出しないため種々の利点を有する。すなわち

1. 絶縁に要する空間を必要としないため，敷地ならびに空間の利用率が向上する。
2. 煙害，塩害などの影響をまったくうけない。
3. 高電圧露出部がないため保守上安全である。

しかしながら一方，直結形変圧器の採用にあたっては

1. 変圧器ブッシングと，ケーブルヘッドの相互配置を絶縁の面から合理的に行わなければならない。
2. 変圧器の振動による鉛被の疲労がないように取付箇所ならびに方法を考慮する必要がある。
3. ケーブルヘッド付近は変圧器油温の影響をうけるから，温度上昇に留意しなければならない。
4. 保護装置(避雷器など)が変圧器に近接して設置できないので衝撃電圧に対して特に考慮する必要がある。

などの問題点があげられるが，これらの点を十分考慮検討した結果，本変圧器を設計製作した。

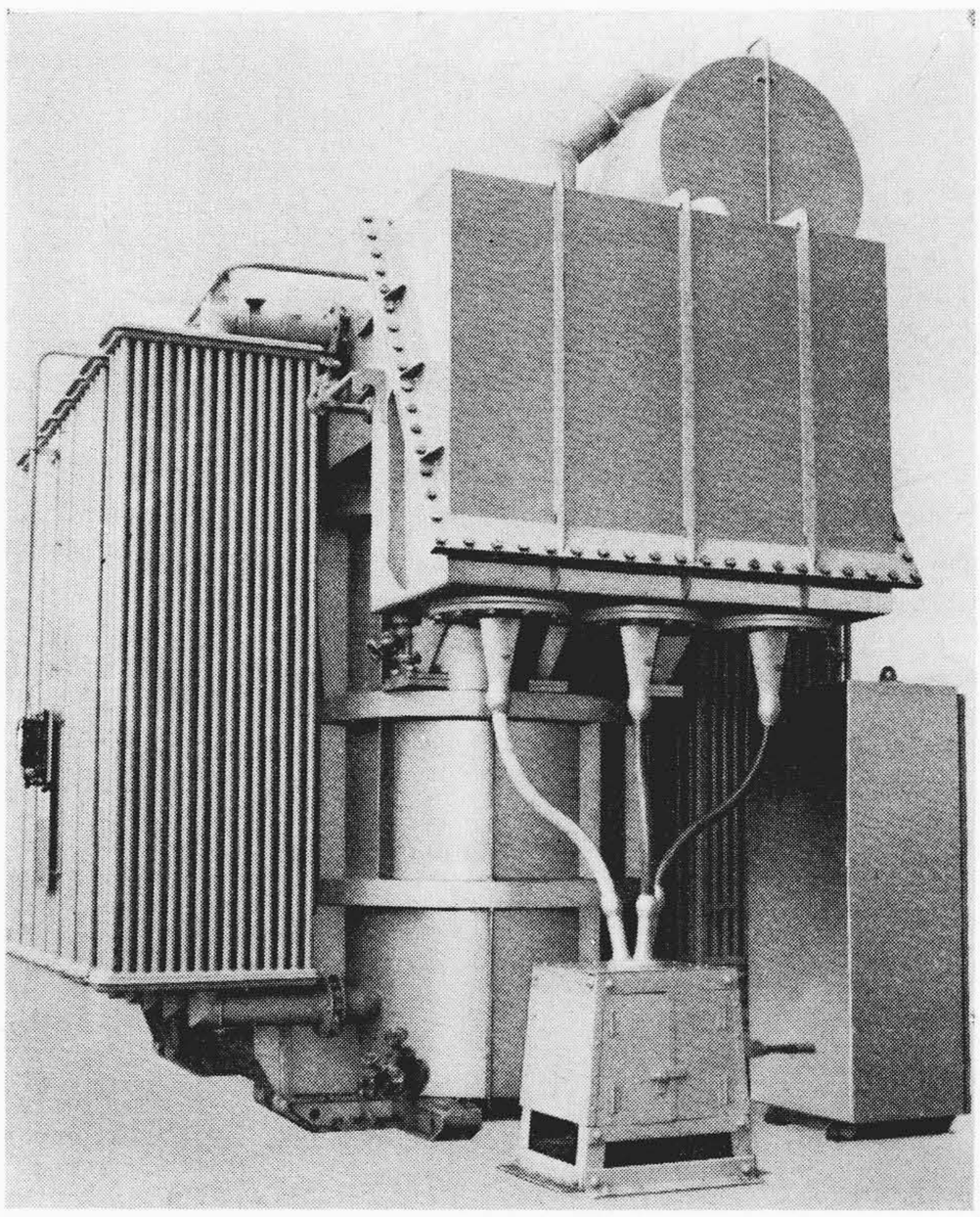
2. 変 圧 器

北海道電力株式会社滝川火力発電所に起動用として納入した66 kV 7,500 kVA 変圧器のおもな仕様は次のとおりである。

形　　式	屋外用油入自冷式三相内鉄形窒素封入コンサベータ付
出　　力	7,500 kVA
周 波 数	50∿
電　　圧	一次：$^{R}66$—$^{F}63$—$^{F}60$ kV
	二次：3.45 kV
結　　線	一次：三角形結線
	二次：千鳥形結線
絶縁階級	一次：70号(BIL 400 kV)
	二次：6号(BIL 60 kV)

その外観を**第1**および**2図**に示す。図に示すとおり，高圧，低圧ともにケーブル直結とし，高圧側は油中，低圧側は気中で，変圧器ブッシングと，ケーブルヘッドとを接続している。接続箱はケーブル取付けに便利なようにカバーが分割されている。

高圧側をケーブル直結とするために次のような構造とした。



第1図 66 kV 7,500 kVA ケーブル直結形変圧器

(1) 現地ケーブル布設の面や，変圧器設計ならびに輸送上の面から変圧器ブッシングは水平，ケーブルヘッドは垂直とし，**第3図**に示すとおり，三相一括して接続箱に収納した。

(2) 接続箱は本体と隔離しており，かつ定格負荷電流はケーブル許容電流の30%程度で，ケーブル自身の温度上昇もほとんど問題ないので，接続箱内の油は自然冷却とした。

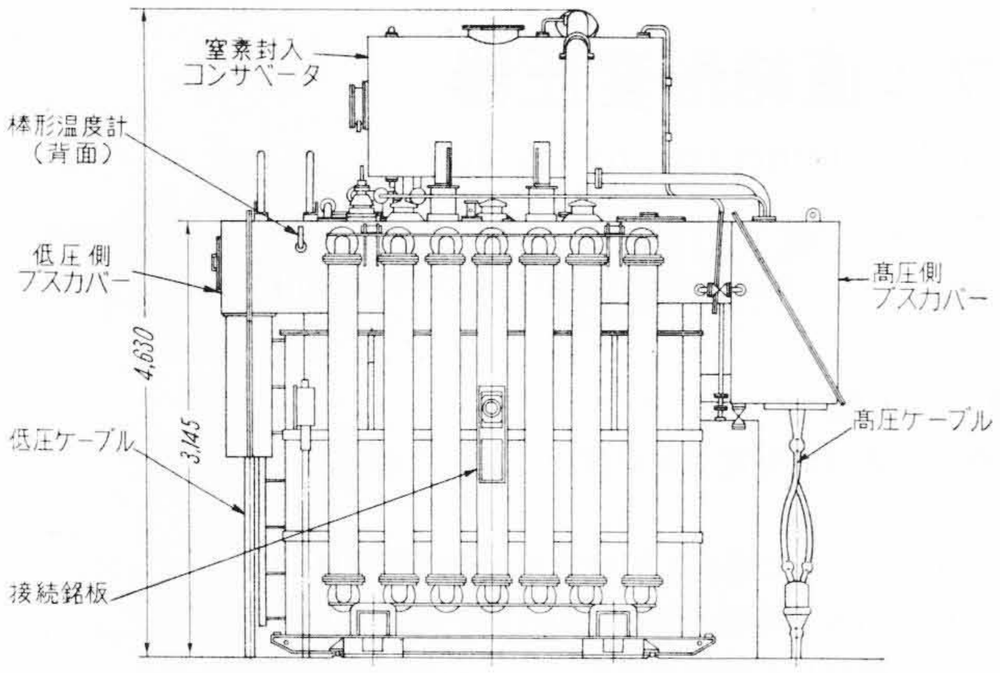
(3) 変圧器の振動は接続箱においては相当低減され，かつ適切な補強により数μにおさえられ，かつ3心ケーブルのため分岐箱より変圧器側は銅管でケーブル外部が保護されているので，変圧器とケーブルの接続をたわみ導体で行うだけとした。

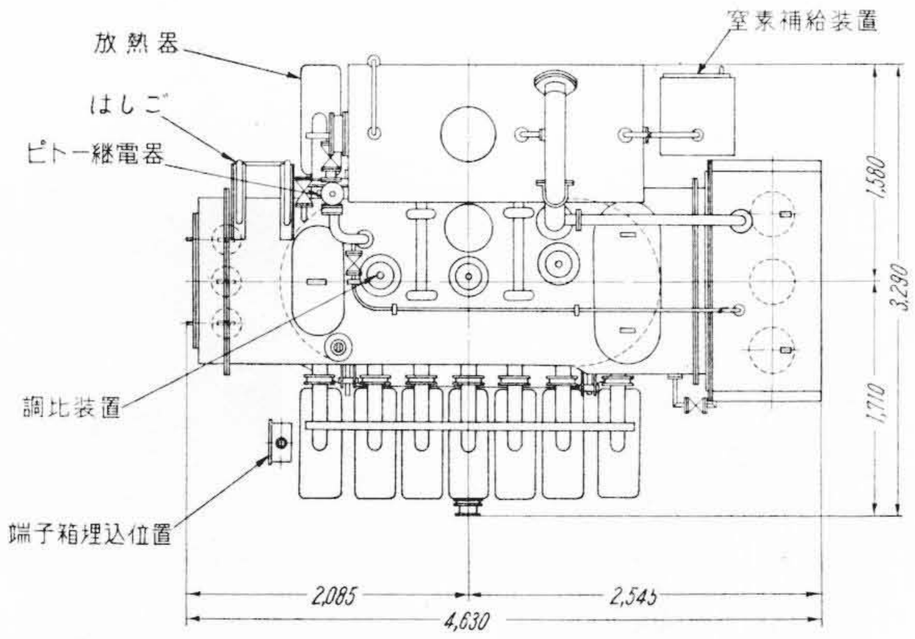
(4) 衝撃電圧特性については**第4章**にのべるように，現地の60 kV 回路につきサージ計算盤を使用して種々の条件で検討した結果十分余裕のあることを確認した。

以上のような考慮を払って設計製作された本変圧器はいずれの点も十分満足する良好な結果を得た。

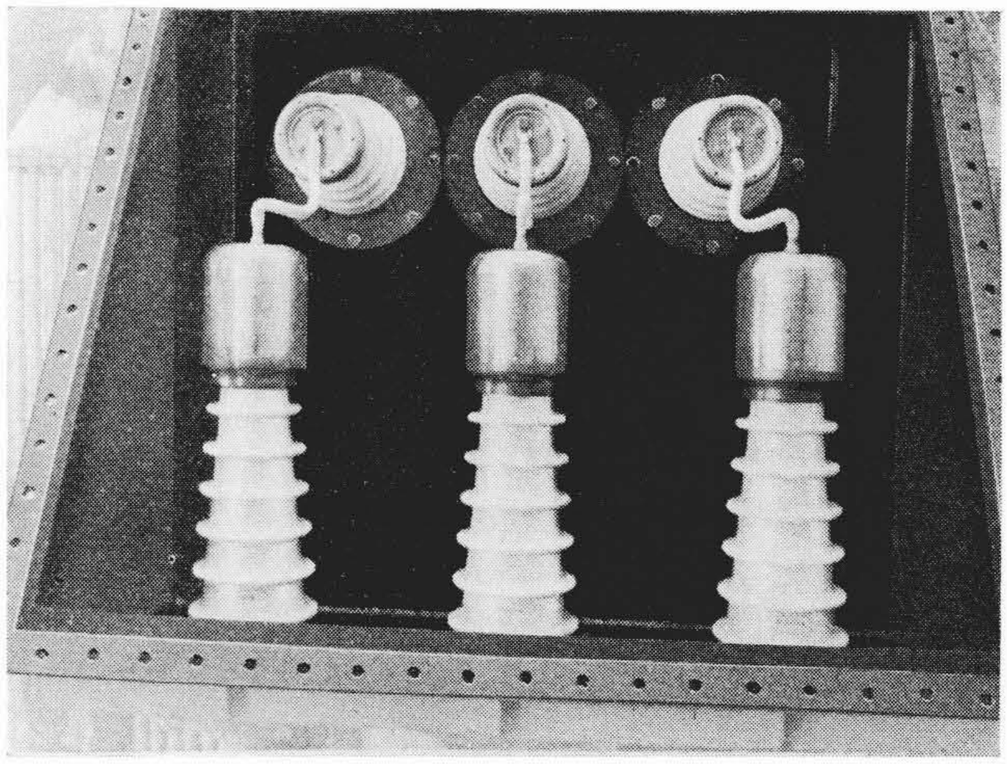
変圧器の工場試験は，ケーブル取付作業の検討もかねて，短尺ケ

* 日立製作所国分工場
** 日立製作所日立研究所
*** 日立電線株式会社電線工場

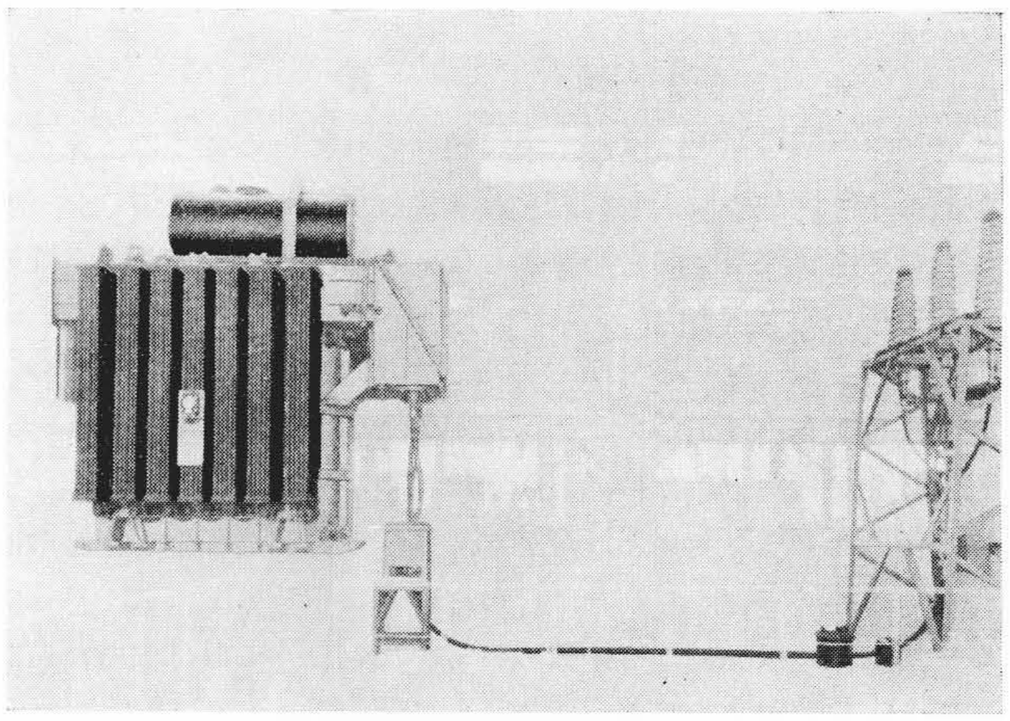




第2図　66 kV，7,500 kVA ケーブル直結形変圧器寸法図



第3図　高圧側ケーブル終端部



第4図　工場試験の状況

ーブルを実際に取付け，変圧器の規定試験電圧により行った。第4図にその模様を示す。

3. ケーブルおよび付属品

3.1 ケーブル

本発電所内受電側開閉所と起動変圧器は，約150 m の 60 kV 三心 OF ケーブルで連絡され，この種ケーブルとしては，80 mm² が標準断面積の最小であるので，相当余裕があるがこれを使用した。

ケーブルの仕様は現在60 kV地中送電線として一般的に使用されているものであるが，その主要な定数を第1表に示す。

第4章にのべるように，架空線，ケーブル，変圧器の系統において雷サージ往復反射による異常電圧を考慮して絶縁をきめねばならないが，ケーブルの場合は60 kV系統の BIL 350 kV に対して20%増しの 420 kV のインパルス耐圧試験値が採用されており，また実際のケーブルの破壊電圧値も第1表に示すとおり，さらにこれより約40%高い値が確認されているのでケーブルは従来の60 kV級の絶縁設計とした。

第1表　60 kV 3×80 mm² OF ケーブル主要定数

導体	80 mm² 圧縮	
絶縁厚さ	8 mm（カーボン紙 0.45 mm を含む）	
鉛被厚さ	3 mm	
補強層（真中テープ）	0.2 mm×2枚	
クロロプレン防食層厚さ	3.5 mm	
ケーブル外径	76.8 mm	
ケーブル重量	1.55 kg/m	
導体抵抗	0.21 Ω/km at 20°C	
静電容量	0.26 μF/km at 20°C	
インダクタンス	0.175 μH/km	
絶縁抵抗	10,000 MΩ/km	
サージインピーダンス	28.2Ω	
サージ伝播速度	161 m/μs	
耐電圧試験	100 kV 10分	
試料耐電圧	160 kV 3時間	破壊値は 265 kV
試料インパルス耐電圧	420 kV(−) 3回	破壊値は 620 kV

3.2 ケーブル終端部およびその他の付属機器

ケーブルと変圧器との接続は，両者ともにブッシングを有する，いわゆる2ブッシング方式であるが，その接続部分については，電界解析などの結果より電界条件を検討した上で寸法を決定した。

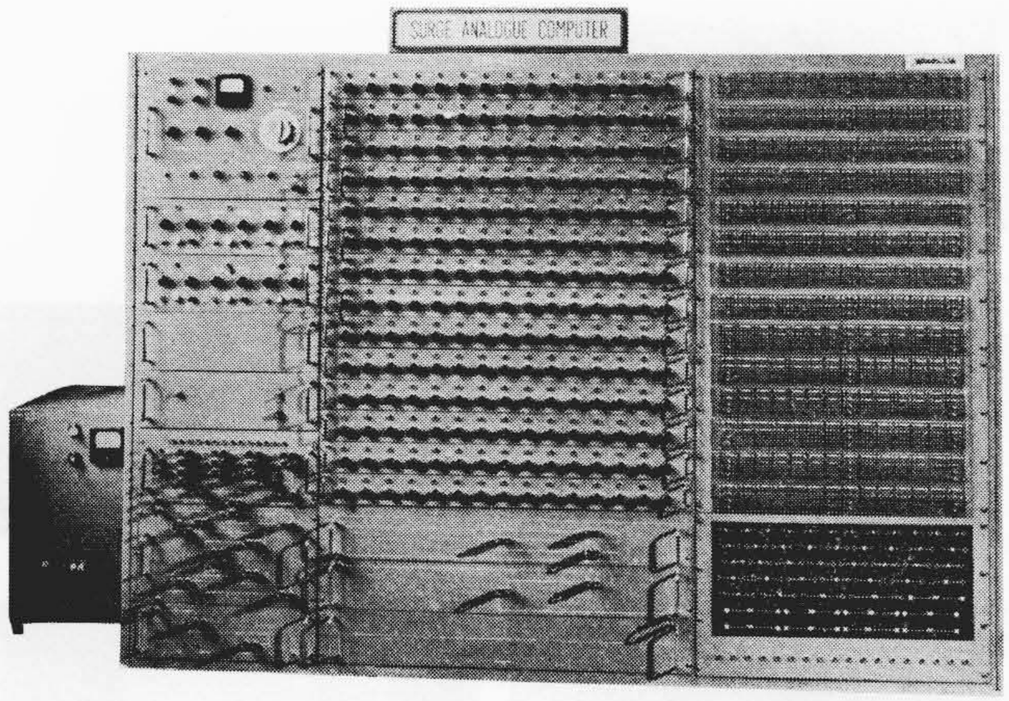
三心ケーブルから各心分離のための分岐箱および分岐部分の構造としては支持方法を適正に行うことにより鉛工部の振動ひずみを十分疲労限以下に抑制した。この方式の採用によって終端分岐部分の施工は従来形と同様に行うことができた。また分岐箱自体は変圧器と同一基礎に固定され，さらにその上を防雪カバーでおおっている。

変圧器終端部の工場内試験では交流長時間加電時 195 kV で3時間，およびインパルス電圧印加時 560 kV まで異常ないことが確認された。

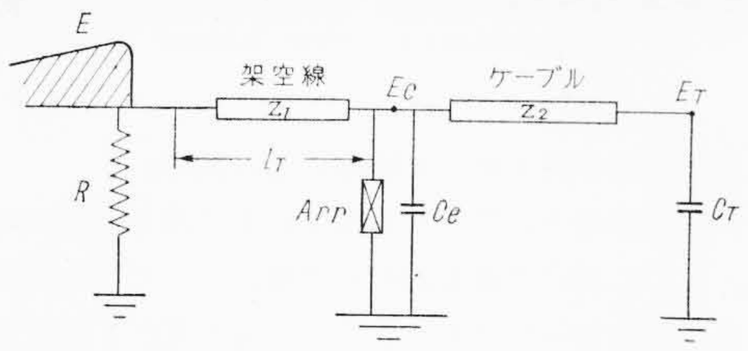
以上のほかに本ケーブル系統には給油装置として圧力油槽，バルブ，パネルなどを付属させ，圧力油槽の圧力は所内配電盤に設けられた 110mm 角形油圧遠隔指示装置により監視できるようになっている。

4. 衝撃特性の解析

架空線を通しての外雷の侵入は当然考慮しなければならないが，架空線，ケーブル，変圧器の特性，さらに避雷器，雷撃点の位置，そのほか複雑な要素をもったこれらの衝撃電圧特性の解析を計算の



第5図 サージ計算盤



第6図 模擬回路

みで行うのは容易ではない。それを簡便に行うために製作されたのがサージ計算盤である。

4.1 サージ計算盤

サージ計算盤は次の部分から構成されている。

（1） 繰返し形サージ発生器
（2） 模擬避雷器
（3） 架空線模擬用遅延線
（4） ケーブル模擬用遅延線
（5） 同軸ケーブル

これらのものをパネルに組込み，操作に便利なように配置した。その外観を第5図に示す。

4.2 実験条件

前節にのべた回路常数を実際の系統に合わせて第6図の模擬回路に組立て次のような定数を整定した。

すなわち，模擬回路定数は実系統と1対1の対応ができないので，この解析しようとしている問題に最も影響の大きい架空線とケーブルのサージインピーダンスの比をできるだけ合わせるようにした。

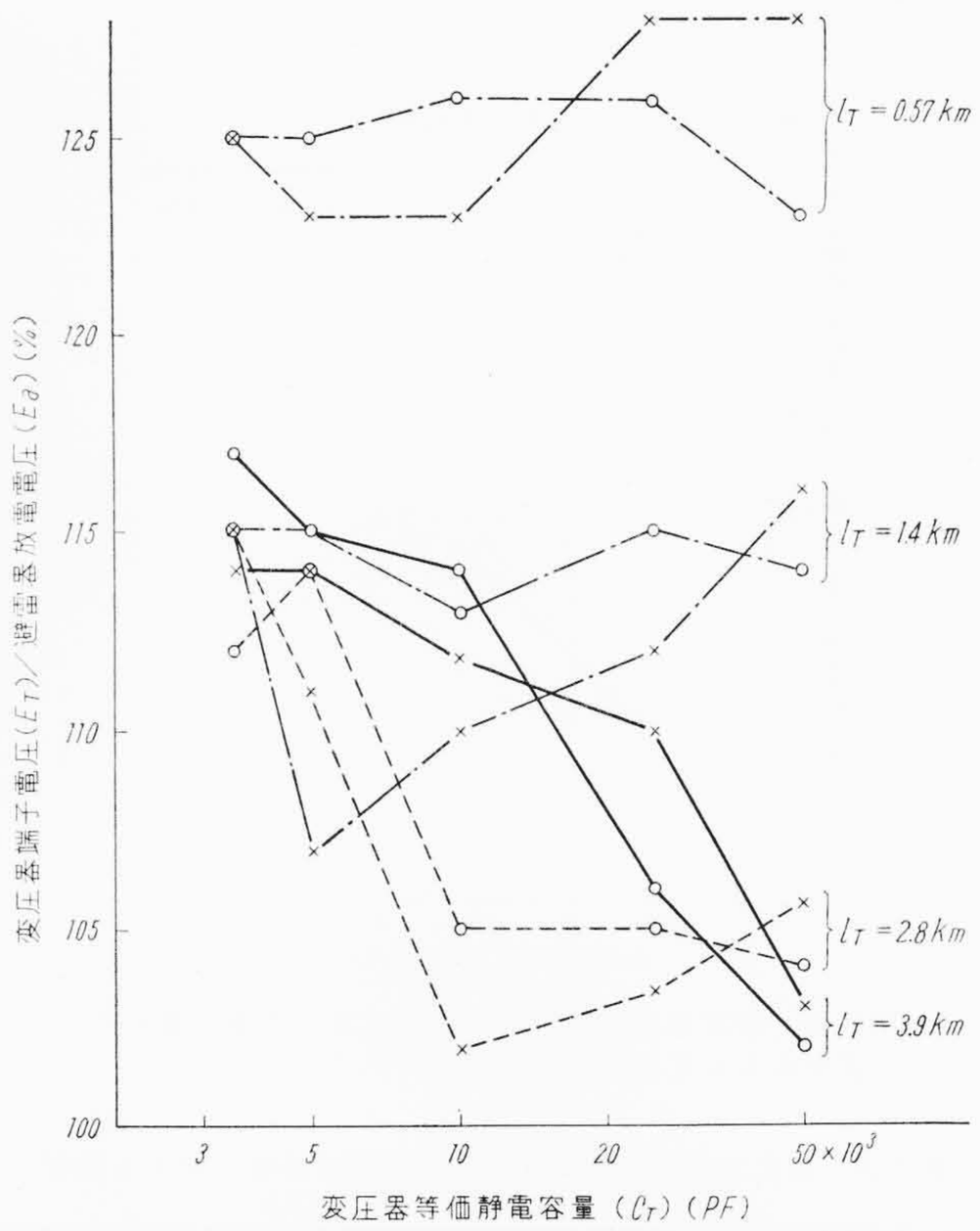
4.3 実験結果

4.3.1 避雷器が動作した場合

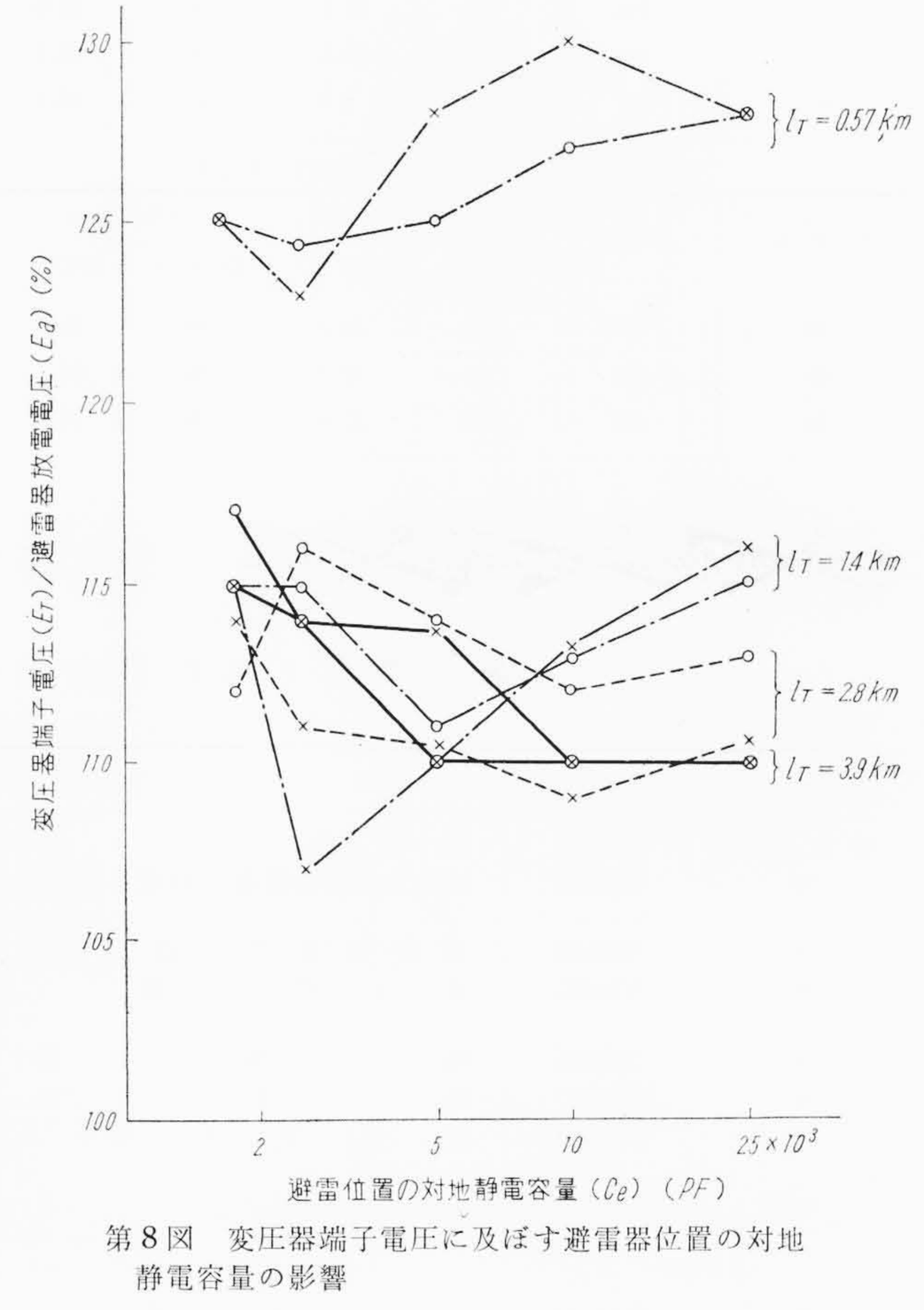
（1） 模擬避雷器の放電電圧を定めるには，次の方法によった。すなわち 60 kV 懸垂がい子の50%せん絡電圧 440 kV の10%増しの484 kV を侵入電圧と仮定し，放電電圧(E_a)を，その30, 40, 50 および60%とした。逆に放電電圧を 243 kV 一定とすれば侵入電圧が 811, 608, 486 および 406 kV の場合に相当する。

（2） 開閉所における対地静電容量(C_e)および変圧器等価静電容量(C_T)の影響をみるために逆せん絡地点までの架空線距離(l_T)を 3.9 km 乃至 0.57 km として変圧器端子電圧(E_T)と避雷器放電電圧(E_a)との関係を検討した結果を第7, 8図に示す。これによれば l_T の影響は大きいが C_e の影響は少ない。

（3） 避雷器放電電圧と侵入電圧の比は変圧器端子に出る電圧に相当影響をを与える。E_a/E に対する E_T/E_a および E_T/E の関係を検討した結果のうち第7, 8図より最も過酷な条件とみられる $C_T=0$ $C_e=0$ の場合を第9図に示す。



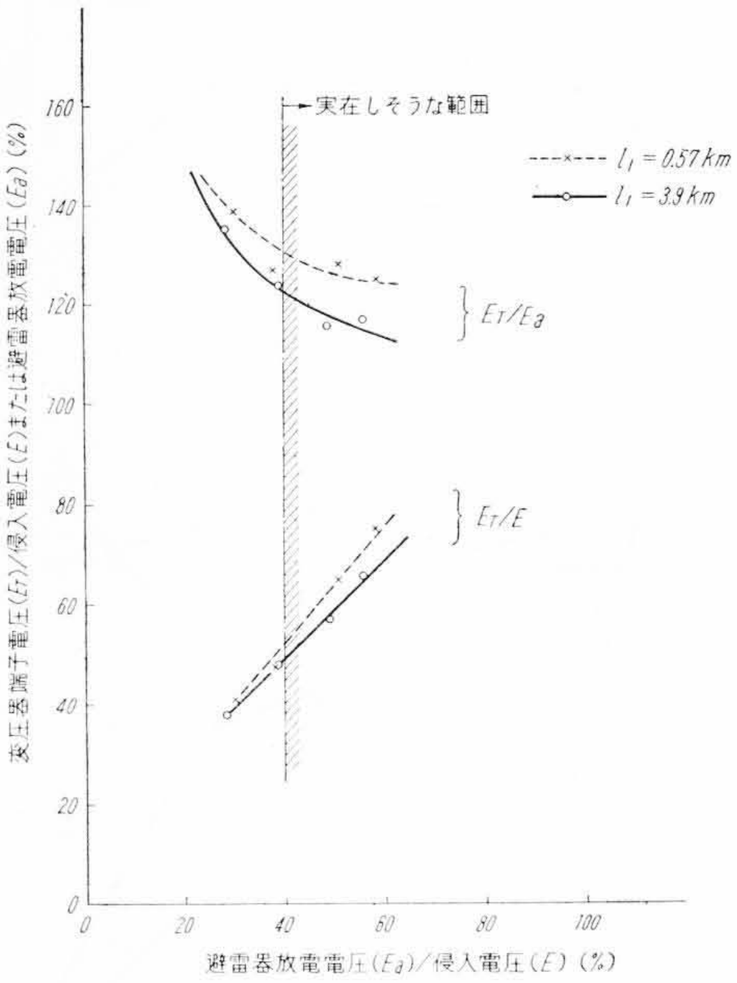
第7図 変圧器端子電圧に及ぼす変圧器等価静電容量の影響



第8図 変圧器端子電圧に及ぼす避雷器位置の対地静電容量の影響

この場合，避雷器放電電圧の低いほど変圧器端子に出る電圧の割合(E_T/E_a)は高くなるが，変圧器端子電圧の絶対値は低くなり，有効な保護ができる。

このときの電圧波形の一例を第10図に示す。



第9図　避雷器放電電圧のばらつきまたは侵入電圧の変化による変圧器端子電圧の変化

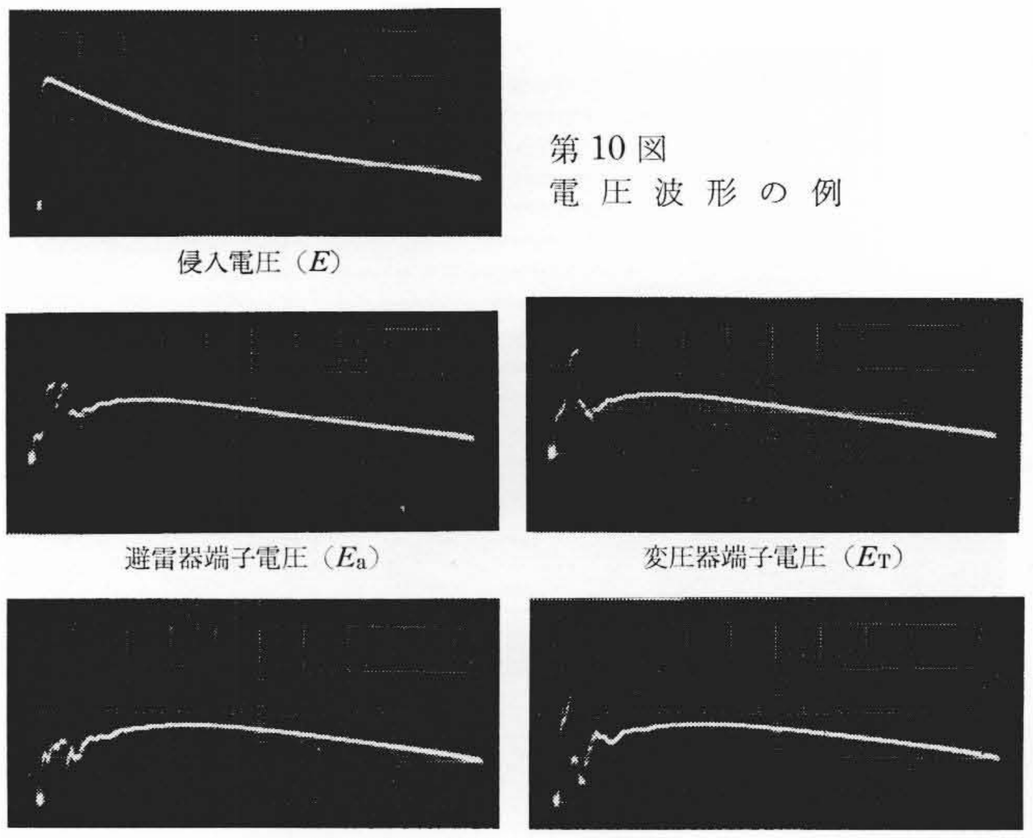
第2表　変圧器端子に発生する電圧と70号絶縁に対する裕度

（a）　侵入電圧を 484 kV 一定としたとき

E_a/E (%)	E_a(kV)	l_T = 0.57 km		l_T = 3.9 km	
		E_T(kV)	裕度(%)	E_T(kV)	裕度(%)
40	194	254	36.5	240	40.0
50	242	310	22.5	285	28.7
60	291	368	8.0	334	16.5

（b）　避雷器放電電圧を 243 kV 一定としたとき

E_a/E (%)	E(kV)	l_T = 0.57 km		l_T = 3.9 km	
		E_T(kV)	裕度(%)	E_T(kV)	裕度(%)
40	608	319	20.2	298	25.5
50	486	311	22.2	287	28.2
60	406	305	23.6	280	30.0



第10図
電圧波形の例

（4）　変圧器端子発生電圧と絶縁裕度の関係

第2表に変圧器端子に発生する電圧および70号絶縁に対する裕度を示した。ここにおいて避雷器の放電電圧としては保証値　243 kV を採用した。これでみれば実在しそうな侵入電圧と避電器放電電圧の範囲では，BIL をこえない。さらに開閉所から約 4.5 km まで架空地線が設けられているため，その範囲内で雷撃，逆せん絡が生じないと仮定すれば，30%近い裕度をもつことになり，60号絶縁でも十分であることがわかる。

5.　結　　言

関係者の協力により，製作にあたり種々検討した問題点は，製品について確認され，現地据付工事も無事完了し，運転にはいった。

終りに本変圧器の製作にあたり，計画ご指導をいただいた北海道電力株式会社の関係者各位に厚くお礼申し上げる。

参　考　文　献

（1）　秋丸：　日立評論 **40**, 800（昭 33-7）
（2）　橋本，渡辺，浜田，秋丸　日立評論別冊 **28**, 39（昭 33）

特　許　と　新　案

最近登録された日立製作所の特許および実用新案　（その2）

（第32頁より続く）

種　別	登録番号	名　称	工場別	氏　名	登録年月日
実用新案	509464	洗濯機ホース引掛装置	多賀工場	益子三郎	35. 3. 25
〃	509466	油冷変圧器巻線温度測定用加熱式サーチコイル	多賀工場	塙佐太男 斎藤正	〃
〃	509468	放射線応用計器の故障検出装置	多賀工場	鷲見哲雄	〃
〃	509483	電子顕微鏡	多賀工場	菰田孜 大沼嘉郎	〃
〃	509486	軸封装置	多賀工場	大津卓郎	〃
〃	509487	軸封装置	多賀工場	大津卓郎	〃
〃	509491	液体試料導入装置	多賀工場	野田保 滝内節夫	〃
〃	509501	テーパードリル	多賀工場	富田正夫	〃
〃	509502	フライホイールマグネトー	多賀工場	中庭淳 蓑輪勉	〃
〃	509522	点火栓	多賀工場	服部順一	〃
〃	509534	パッキング	多賀工場	田沢阜	〃
〃	509540	電子レンズの非点収差補償装置	多賀工場	木村博一	〃
〃	510673	湿度測定用サーチコイル	多賀工場	小野寺進	35. 3. 30
〃	510674	洗濯物計量装置	多賀工場	山家正道 益子三郎	〃