

巻線抵抗自動測定システム

Automatic Winding Resistance Measuring System

星野 芳彦^{※1}
Yoshihiko Hoshino
佐藤 英夫^{※1}
Hideo Satō

A stringent quality control system and reliable test equipment are required for inspection and guarantee of quality of transformers. Accordingly, automatic high-speed measuring systems using personal computers and high-precision digital measuring instruments are being used as test equipment. The following is a description of one such system—an automatic winding resistance measuring system combined with an optical fiber cable.

1 まえがき

当社では、各電力会社をはじめとし一般市場にも多くの変圧器を送り出しており、今日の高い信頼を築いてきた。

変圧器の試験は規格に準拠して厳格に行い、わずかな不備も見逃さない管理体制と、信頼ある試験設備で敏速に対応しながら、品質の保証に万全を期している。

そのため、パーソナルコンピュータと高精度デジタル計測器を使用した自動計測システムを開発し、より正確に、より速く計測することにより多大な成果を上げている。このほど、このシステムの一環として機器のコントロール及びデータの転送にノイズの影響を受けず、長距離・高速転送可能な光ファイバーケーブルを採用し、今日まで蓄積された巻線抵抗測定技術のノウハウを生かした巻線抵抗自動測定システムを開発したのでここに紹介する。

2 特性試験システム

巻線抵抗自動測定システムを紹介する前に、現在当社の大形変圧器に採用している特性試験システムの概要を説明する。

大形変圧器の試験場で運用している特性試験システムは、パーソナルコンピュータとデジタル計測器などをGP-IB インタフェースで結び、変圧器の特性を正確に、且つ短時間に測定するものであり、本技報No. 2で紹介した小形試験場用の特性試験システムを更にグレードアップしたものとなっている(図1)。

本システムは、無負荷試験、インピーダンス試験、変圧比試験、角変位試験が自動測定できるものであり、更に温度試験時の損失測定、補機類の損失測定、零相インピーダンス試験などにも対応している。試験に必要な情

報は、外部記憶装置であるフロッピーディスク、あるいはキーボードから入力し、オペレーションスイッチを押すことにより各計測器から自動的に測定値を読み込み、ディスプレイに表示するとともに、フロッピーディスクに書き込む。更に、必要に応じてデータをプリンタに打ち出すこともできるようになっている。

2.1 パーソナルコンピュータ

自動計測化を目的としたパーソナルコンピュータの導入にあたっては機種を選定に十分配慮し、GP-IBのサポート状況(「使用可」と書かれていて、実際には「使用できないことはない」ものも多い)、及び当社のメインコンピ

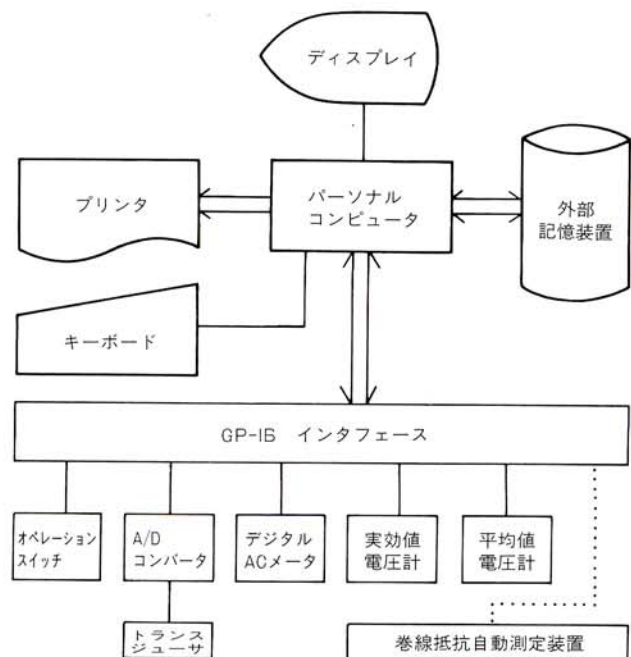


図1/特性試験システムブロック図

Fig. 1/Block diagram of measuring system

ュータへのデータ転送などを調査し、並列処理、サブプログラム処理が可能で構造化の概念を取り入れた16ビットマシンを採用した。

本パーソナルコンピュータはプログラム及びデータを記憶する5インチフロッピーディスク、720×480ドットの解像度を持ち、情報をすばやく表示するディスプレイ、試験結果を高速に印字するプリンタを備えている。

2.2 GP-IB

GP-IBはIEEE-488規格に準拠したインターフェースであり、コンピュータと計測器を結ぶものとして広く用いられており、最近の計測器の大半がGP-IB対応となっている。

このインターフェースはバスライン上に15台までの機器を結ぶことができるが、全長20m以内、装置間距離4m以内の制限がある。しかし、近年の光技術の進歩とともに低価格のGP-IBバスエクステンダが現われ、電気信号を光に変換し、光ケーブルで長距離を高速に伝送できるようになった。後述の巻線抵抗自動測定装置にも、このGP-IBバスエクステンダを使用している(図2、図3)。

2.3 特性試験装置の概要

本装置はデジタルACメータ、3相平均値電圧計、3相実効値電圧計、オペレーションスイッチ、A/Dコンバー

タなどを可搬式のラックに納めたもので(図4、図5)、各計測器間はGP-IBケーブルで結ばれている。

システムの操作性向上とキーボード負担の軽減のために、オペレーションスイッチを採用し、各計測器からの入力指示及びプログラム進行指図などに用いている。

A/Dコンバータはアナログ信号をデジタル信号に変換するもので、GP-IBインターフェースを備えていない機器からの出力をコンピュータに入力することができる。

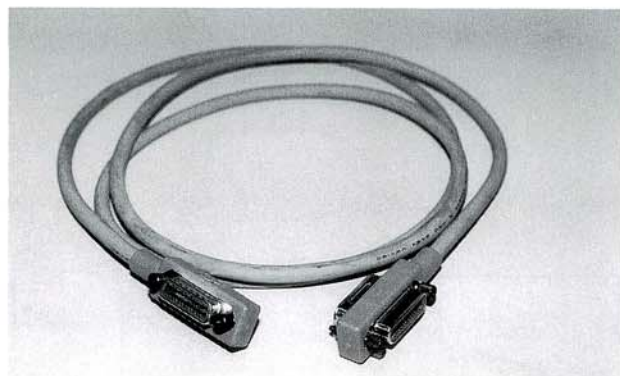


図2/GP-IBケーブル
Fig. 2/GP-IB cable

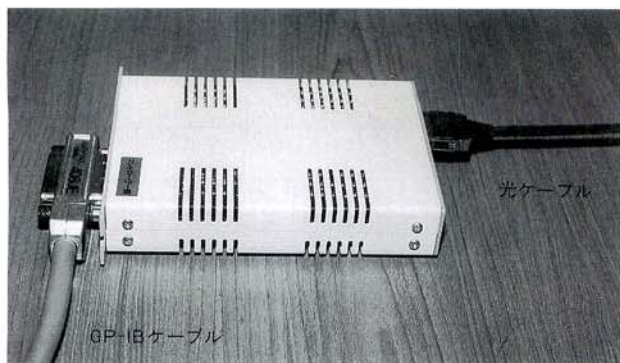


図3/光バスエクステンダ
Fig. 3/Optical fiber GP-IB extender

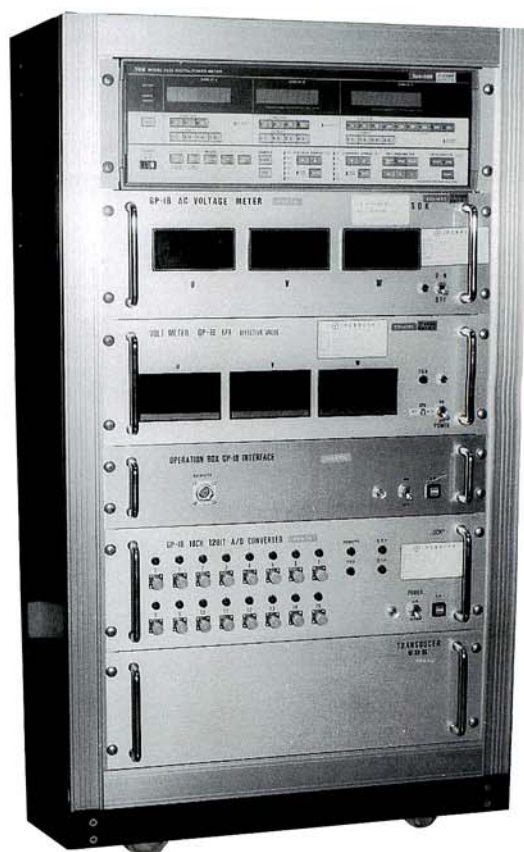


図4/特性試験装置の外観
Fig. 4/Test equipment for general characteristics of transformers

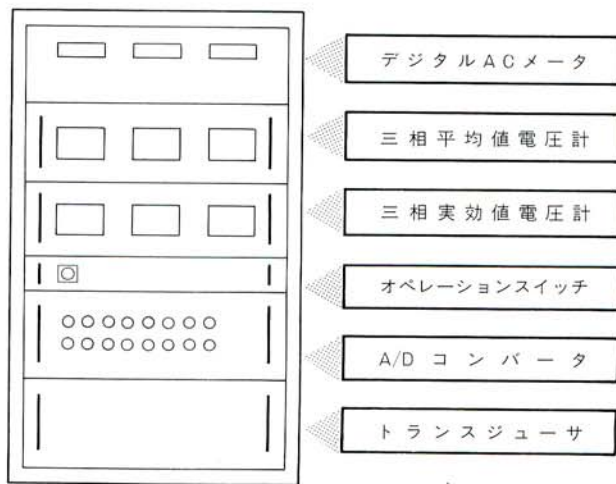


図5/特性試験装置の前面外形図
Fig. 5/Front arrangement

3 巻線抵抗自動測定システム

3.1 巻線抵抗測定の原理

一般に変圧器の巻線抵抗測定法には、ダブルブリッジなどで測定する「ブリッジ法」と、電圧計・電流計により測定する「電圧降下法」(図6)がある。

本装置は後者の「電圧降下法」の原理を応用し、電圧・電流を測定する計測器にはコンピュータ制御可能なGP-IBインタフェース内蔵のデジタルマルチメータを採用した。

なお、測定した電圧・電流はコンピュータに転送され、オームの法則により抵抗値に換算される。

3.2 装置の概要

本装置は、コントロールユニット、デジタルマルチメータ(3台)、標準抵抗器、光バスエクステンダ、各種リレーなどを可搬式のラックに納めたものでAC100Vで動作

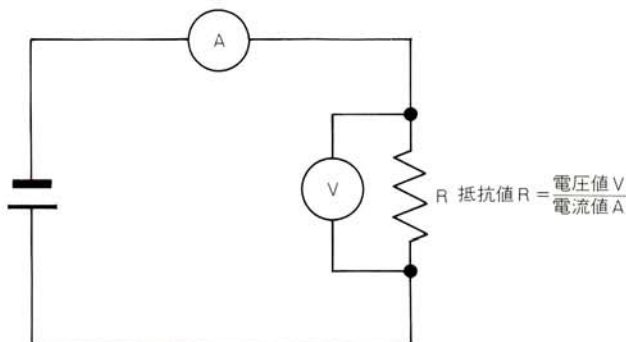


図6/電圧降下法の基本回路図
Fig. 6/Basic circuit of drop-of-potential method



図7/巻線抵抗測定装置の外観
Fig. 7/Measuring equipment for winding resistance

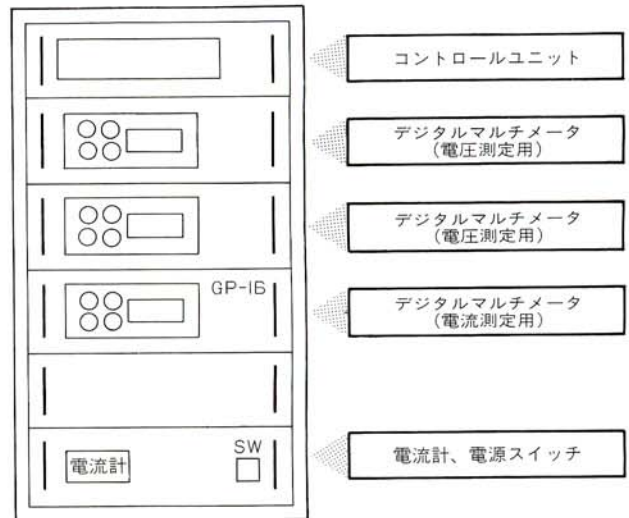


図8/巻線抵抗測定装置の前面外形図
Fig. 8/Front arrangement

する(図7、図8)。

コントロールユニットは、本装置内の各種リレーをコンピュータ制御するためのGP-IBインタフェースを備えた装置であり、前面パネルの模擬盤で各種リレーの動作状態を表示させるLEDを付属している。

本装置とパーソナルコンピュータは光ケーブルで接続されており、DC電源のON、OFF、デジタルマルチメータの接続などを1バイトのデータ出力でコントロールできるようにしている。

3.3 装置の特長

本装置は次のような特長を備えている。

- (1) 光バスエクステンダの採用により長距離転送が可能
- (2) DCしゃ断回路に限流抵抗切換方式を採用し、しゃ断時の開閉サージを抑制
- (3) 一次及び二次巻線の同時測定が可能
- (4) 自動タップ切換システムの採用により、LRT(負荷時タップ切換変圧器)のタップ切換を自動化

3.4 測定回路

本装置の入力端子⊕⊖をDC電源に、出力端子⊕⊖及び電圧測定用端子をそれぞれ変圧器の測定相ブッシング端子に接続する(図9)。更に、本装置とパーソナルコンピュータを光ケーブルにより接続する。

コンピュータ指令により電磁接触器(X1、X2、X3)が自動的に投入され、変圧器の巻線に直流電圧が印加される。続いて、補助継電器(Ax、Hx)が投入され、デジタルマルチメータ(DMM)により電流・電圧を測定し、このデータは、コンピュータへ転送される。直流電流は巻線のインダクタンスと抵抗分の時定数で増加し、すぐには飽和しないため、コンピュータは電流・電圧値を取り込んで、その変化状態を観測し、定常状態になっ

た時点を手動で判断し、抵抗値を計算し、フロッピーディスクに記録する。また、この抵抗値データは必要に応じてプリンタに打ち出すこともできる (図10)。

測定が終了すると各補助継電器、電磁接触器は自動的に開路され、DC電源がシャ断されて巻線抵抗測定を完了する。

なお、負荷時タップ切換変圧器については本装置に設けた自動タップ切換システムにより、全タップの巻線抵抗が自動的に測定される。

また、温度試験時の巻線抵抗測定については、通電時の巻線温度を算出するため、シャ断後の巻線抵抗を時間経過とともに測定する必要がある。そのため、本装置の出力端子⊕⊖及び電圧測定用端子を一次、二次同時測定回路 (温度試験時回路) になるよう接続することにより、両巻線の抵抗が一定時間間隔で自動測定される (図11)。

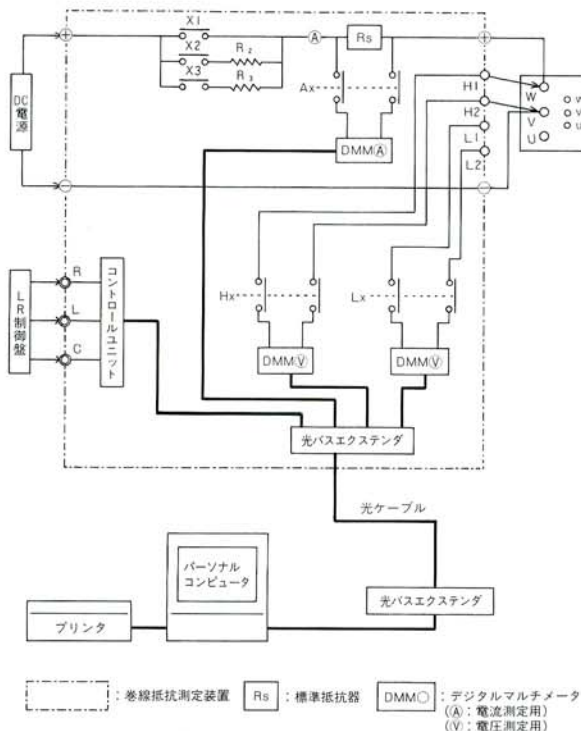


図9/巻線抵抗自動測定システム回路図
Fig. 9/Circuit of automatic winding resistance measuring system

	U	V	U
H.V. side			
1	6.507 E^-1	6.509 E^-1	6.515 E^-1
2	6.450 E^-1	6.463 E^-1	6.452 E^-1
3	6.366 E^-1	6.367 E^-1	6.373 E^-1
4	6.304 E^-1	6.298 E^-1	6.306 E^-1
5	6.225 E^-1	6.223 E^-1	6.229 E^-1
6	6.149 E^-1	6.140 E^-1	6.149 E^-1
7	6.086 E^-1	6.073 E^-1	6.087 E^-1
8	6.008 E^-1	5.998 E^-1	6.006 E^-1
9	5.944 E^-1	5.933 E^-1	5.943 E^-1
10	5.838 E^-1	5.835 E^-1	5.841 E^-1
11	5.719 E^-1	5.706 E^-1	5.719 E^-1
12	5.652 E^-1	5.640 E^-1	5.648 E^-1
13	5.571 E^-1	5.560 E^-1	5.570 E^-1
14	5.507 E^-1	5.495 E^-1	5.502 E^-1
15	5.426 E^-1	5.416 E^-1	5.426 E^-1
16	5.350 E^-1	5.337 E^-1	5.345 E^-1
17	5.283 E^-1	5.273 E^-1	5.282 E^-1
L.V. side			
	7.971 E^-2	7.969 E^-2	7.986 E^-2

図10/ プリント出力結果 (一般測定時)
Fig. 10/Example of output at general measurement

タイミン グ	II.V. (オーム)	L.V. (オーム)
0min	- <START> -	*** HR off ***
1min	45sec 0.6744	0.09560
2min	00sec 0.6735	0.09553
	15sec 0.6726	0.09541
	30sec 0.6715	0.09530
	45sec 0.6708	0.09520
3min	00sec 0.6699	0.09510
	15sec 0.6691	0.09499
	30sec 0.6683	0.09489
	45sec 0.6675	0.09479
4min	00sec 0.6667	0.09469
	15sec 0.6660	0.09458
	30sec 0.6653	0.09447
	45sec 0.6646	0.09436
5min	00sec 0.6638	0.09425
	15sec 0.6632	0.09415
	30sec 0.6625	0.09405
	45sec 0.6619	0.09396
6min	00sec 0.6613	0.09386
	15sec 0.6606	0.09376
	30sec 0.6601	0.09368
	45sec 0.6595	0.09359
7min	00sec 0.6590	0.09350

図11/プリント出力結果 (温度試験時)
Fig. 11/Example of output at temperature test

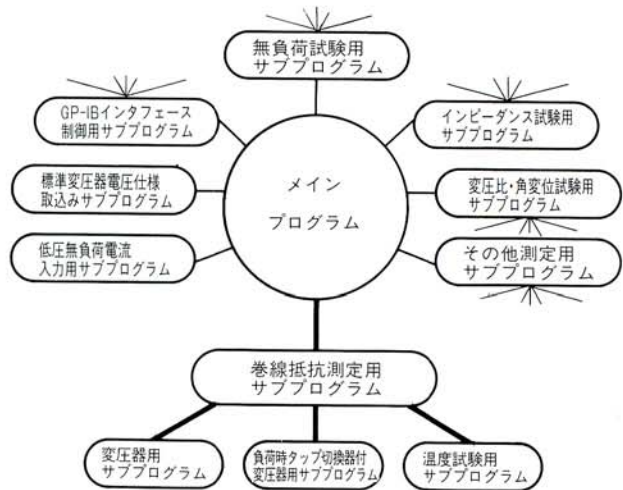


図12/プログラム配置図
Fig. 12/Interconnection of computing programs

3.5 ソフトウェア

本装置のコントロールは、GP-IBバスエクステンダを通じコンピュータにより行われるが、プログラムはBASIC言語で書かれており、将来の機能拡張及びシステムの変更にも即座に対応できるようにすべて自社開発している。

測定用のプログラムは一つのメインプログラムと多数のサブプログラムから構成されており (図12)、それぞれのサブプログラムは必要に応じてコンピュータのメモリ上に配置させたり、メモリから削除させて効率よく運用できるようにしている。

巻線抵抗測定用サブプログラムは、更に三つのサブプログラムがディスクから呼び込まれ実行される。

4 データ処理システム

変圧器の試験場は大形試験場、中形第1試験場、中形第2試験場、小形試験場の4箇所あり、すべてコンピュータによる特性試験システムが導入されている。また、事務所には、データ処理用16ビットパーソナルコンピュータが2台設置され、それぞれに8インチフロッピーディスクドライブが増設されている。各試験場からのデータは、5インチフロッピーディスクで事務所へ持ち込まれ、事務処理用の8インチフロッピーディスクに転送される(図13)。

8インチフロッピーディスクに記録されたデータは、変圧器の製造番号をキーとした索引順編成ファイル構造をしており、キーコード(製造番号)の入力により直ちにデータが検索される。検索されたデータは、多目的高速プリンタにより印刷され客先へと提出される(図14(a)、(b))。

5 あとがき

今回開発したシステムは、当社の巻線抵抗測定技術のノウハウをハードウェアとソフトウェアの両面から生かしたものであり、このシステム導入後の巻線抵抗測定にかかる時間は大幅に短縮され、さらに測定精度をより向上させることができた。

また、光ケーブルの測定システムへの導入は今回初めての試みであったが、ノイズの影響を受けず高速転送が可能であることから、遠隔計測システムへの応用は今後ますます増加することであろう。

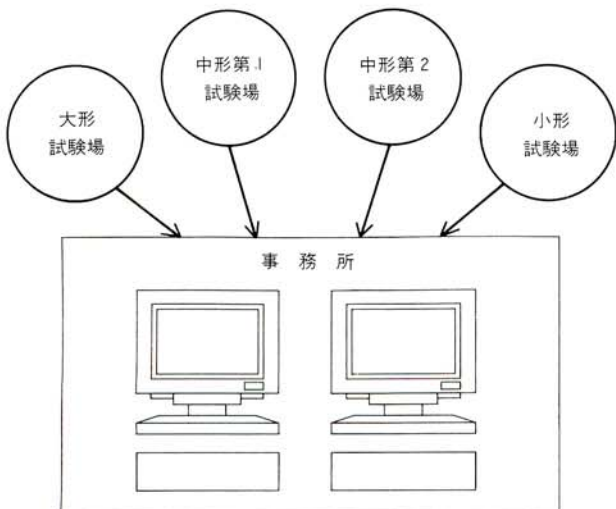


図13/データ転送関係図
Fig. 13/Data transfer

変圧比測定 判定基準: 指定変圧比の±0.5%以内 判定: 良

タイプ 位置	高圧側 電圧 (V)	低圧側 電圧 (V)	指定 変圧比	測定変圧比			
				U相 比 誤差(%)	V相 比 誤差(%)	W相 比 誤差(%)	
1	72000	6900	10.43	10.43	0.00	10.43	0.00
2	71060	6900	10.30	10.30	0.00	10.30	0.00
3	70130	6900	10.16	10.16	0.00	10.16	0.00
4	69190	6900	10.03	10.03	0.00	10.03	0.00
5	68250	6900	9.891	9.899	0.08	9.899	0.08
6	67310	6900	9.755	9.754	-0.01	9.754	-0.01
7	66380	6900	9.620	9.623	0.03	9.623	0.03
8	65440	6900	9.484	9.478	-0.06	9.478	-0.06
9	64500	6900	9.348	9.348	0.00	9.348	0.00
10	63560	6900	9.212	9.217	0.05	9.217	0.05
11	62630	6900	9.077	9.072	-0.06	9.072	-0.06
12	61690	6900	8.941	8.942	0.01	8.942	0.01
13	60750	6900	8.804	8.812	0.09	8.812	0.09
14	59810	6900	8.668	8.667	-0.01	8.667	-0.01
15	58880	6900	8.533	8.536	0.04	8.536	0.04
16	57940	6900	8.397	8.391	-0.07	8.391	-0.07
17	57000	6900	8.261	8.261	0.00	8.261	0.00

角変位試験 判定基準: 下記の合格条件を満足すること。 判定: 良

高圧側U端子と低圧側u端子を接続し、高圧側より印加して下記の端子間の誘起電圧を測定。

接続(V)	端子間電圧 測定値 (V)	合格 条件	端子間電圧 測定値 (V)	
				Yy0
64500/6900	V-u	178.5 <	U-v	200.0
印加電圧(V)	V-u	178.5 <	V-w	190.0
	V-u	178.5 =	W-w	178.5
	V-w	190.0 =	W-v	190.0

(a)

無負荷試験 判定基準: 保証値以内 判定: 良
定格周波数にて高圧側を開放し低圧側より印加して測定。

印加電圧 (kV)	無負荷 電流(A)	無負荷 損失(kW)					
(%)	u相	v相	w相	平均(A)	平均(%)	無負荷損 (kW)	
5.52	80	1.29	0.824	1.21	1.11	0.07	7.8
6.21	90	1.75	1.17	1.62	1.51	0.09	10.0
6.90	100	2.60	1.81	2.38	2.26	0.14	12.7
7.25	105	3.40	2.40	3.10	2.97	0.18	14.4
7.59	110	4.90	3.48	4.56	4.31	0.26	16.7

巻線抵抗測定およびインピーダンス試験 判定基準: 保証値以内 判定: 良
定格周波数にて低圧側を短絡し高圧側より印加して測定。

タイプ 位置	平均相抵抗		抵抗損 (kW)	負荷損		インピーダンス電圧		
	高圧側 (Ω)	低圧側 (Ω)		測定値 (kW)	換算値 (kW)	測定値 (kV)	換算値 (kV)	
1	0.6319	0.005236	92.7	135.4	141.0	11.39	11.39	15.83
2	0.6234	0.005236	93.4	134.6	140.6	11.17	11.17	15.71
3	0.6127	0.005236	93.8	133.6	139.8	10.93	10.93	15.59
4	0.6035	0.005236	94.4	132.8	139.4	10.72	10.72	15.49
5	0.5933	0.005236	94.9	132.5	139.2	10.49	10.49	15.37
6	0.5842	0.005236	95.6	131.8	138.8	10.27	10.27	15.26
7	0.5742	0.005236	96.1	131.0	138.4	10.06	10.06	15.15
8	0.5650	0.005236	96.8	130.3	137.9	9.84	9.84	15.04
9	0.5553	0.005236	97.4	130.0	137.8	9.63	9.63	14.93
10	0.5437	0.005236	97.8	129.2	137.3	9.44	9.44	14.85
11	0.5175	0.005236	96.8	139.7	145.8	9.50	9.50	15.17
12	0.5088	0.005236	97.5	138.6	145.1	9.28	9.28	15.05
13	0.4981	0.005236	98.0	137.5	144.4	9.05	9.05	14.91
14	0.4892	0.005236	98.7	136.4	143.7	8.83	8.83	14.76
15	0.4788	0.005236	99.2	135.4	142.9	8.59	8.59	14.58
16	0.4699	0.005236	100.0	133.9	141.9	8.35	8.35	14.41
17	0.4596	0.005236	100.6	132.5	140.9	8.11	8.11	14.23

(b)

図14/ 提出データ例
Fig. 14/Example of submitted data sheet