

パワーデバイス用静特性・動特性一体型テストの開発

Development of a Static Characteristic and Dynamic Characteristic Integrated Tester for Power Devices

山田 務* 滝浪 正義* 瀧田 伸幸*
Tsutomu Yamada Masayoshi Takinami Nobuyuki Takita

Automotive electrification technologies such as EV / HEV have come to be a source of added value of new vehicles such as quietness, power performance and etc. It is not only environmental awareness. Therefore, electrification is further accelerating. We have been working on inverter inspection equipment, not only EV / HEV but also key devices of electric cars such as FCV, PHEV, since the 1990s.

In this article, we will discuss outline of the technical issue that perform the High-Measurement accuracy and High-Productivity of a certain company IGBT module production line, which is our first mass production process of Sinto.

KEY WORDS: Power device, ATE, Auto test equipment

1. はじめに

現在、地球規模での気候変動への対策として、化石燃料使用量の削減が至上課題となりつつある。CO₂排出量削減の有効な手段としては、ハイブリッド自動車（HV）と電気自動車（EV）比率の引き上げが進んでいる。HV/EVはバッテリー、インバータ、モータを中心に構成されており、中でもインバータはエンジンと並ぶ重要ユニットとして位置づけられ、研究・開発・製造のそれぞれのフェーズで様々な測定や試験が行われている。

インバータの中核部品にはパワーデバイスと呼ばれる電流電圧のON/OFFを高速に切り替えることができるものがあり、中でも高耐圧と大電流の扱いに適しているIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）が広く使われている。

検査装置チームでは、従来からパワーデバイステストシステムを提供しており、近年のパワーデバイスの生産個数の増加に伴い、トラブル時の早期の原因特定と設備復旧、性能向上はもちろん、システム全体でも低インダクタンス化の要求が高まっている。

本稿では、このような市場のニーズに応える為に、前報で報告した車載パワーデバイスの最大容

量（1600A、1200V）まで測定できるパワーデバイステストシステムを中核とし、当社単独で搬送から測定までを一貫して実現できる、新東パワーデバイステストシステム（SPTX）を紹介する。

2. パワーデバイステストシステム

Fig. 1 にパワーデバイステストシステム 3 大要素の概略を、Table 1 に目的、要件、製品、構成と技術を示す。なお、D.U.Tとは被測定素子（Device Under Test）の略である。

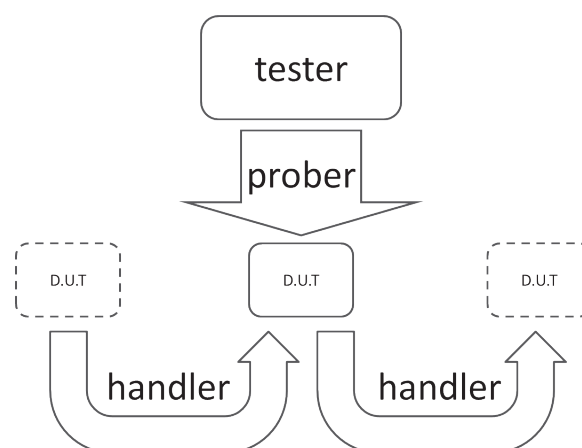


Fig. 1 Power Device Test System

*新事業本部特機事業部技術開発グループ

Table 1 Test system three major elements

	Purpose	Requirement	Product	Constitution	Technique
Carry	Be loading and unloading into position the D.U.T	No contamination No scratches	Handler	Controller Motor	Mechatronics
Contact	Be electrically connected to the D.U.T	Contact reliability No effect to the chip	Prober	Wire Probe Spring contact	Contact Technology
Measure	By measuring the characteris of D.U.T	High precision	Tester	Sensor Converter	Power Electronics

3. D.U.Tに求められる諸特性

D.U.Tの動作点は、大きくFig. 2に示す導通領域、遮断領域、及び飽和領域に分けられる。インバータなどのスイッチング用途では、導通（ON）領域と遮断（OFF）領域及び、その間の遷移中に通過する飽和領域で動作する。

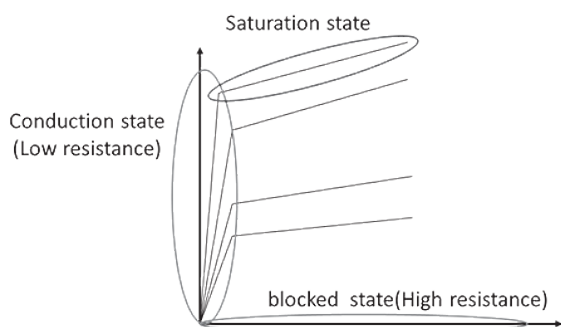


Fig. 2 Operating region of the D.U.T

Table 2に示すように、主に導通領域と遮断領域の特性を静特性、導通領域と遮断領域との遷移特性を動特性と呼ぶ（ON状態からOFF状態に変化させることをターンOFF、OFF状態からON状態に変化させることをターンONという）。

Table 2 characteristics required to the D.U.T

Characteristics	Indicatoes to measure	Symbol	Unit	
Blocked State	Leakage current	I_s	A	Static characteristics measurement
Conduction state	Voltage drop	$V_{ce} (sat)$	V	
Heat dissipation	Temperature rise	θ	$^{\circ}\text{C} / \text{W}$	
Switching	Time to switch	$t_r \cdot t_f \cdot t_d$	nsec	Dynamic characteristics measurement
Short-circuit capability	Short circuit energy	E_{sc}	J	
Avalanche capability	Breakdown Energy	E_{ava}	J	

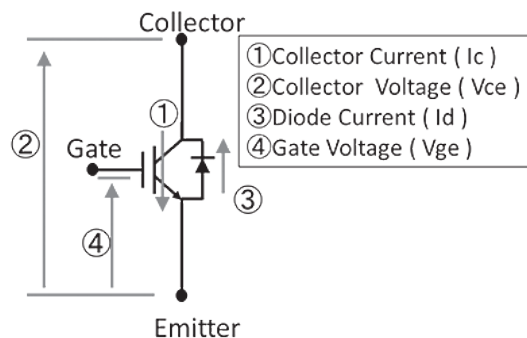


Fig. 3 Circuit symbol of the D.U.T

4. 設備インダクタンスの削減

4. 1 設備インダクタンスの問題

D.U.Tの遷移特性を測定する動特性試験を行う上で、遷移の妨げとなるテストシステムのインダクタンスを、できる限り小さくすることが正確な測定をする為に望まれる。インダクタンスは配線の長さに比例して大きくなる為、試験機の縮小化はインダクタンスの削減に大きな効果をもたらす。そこで、測定対象のターゲットを絞ることにより、動特性試験機を小型化し、平行平板状に配線を行うことでインダクタンスの軽減に成功した¹⁾。

4. 2 静動試験の切り替え方法の新開発

静特性試験と動特性試験には、回路の切り替えが必要となる。試験の切り替えにはFig. 4のようにリレーを用いるのが一般的だが、400Aもの大電流を流す為、巨大なリレーが必要となる。その為、リレー自体が持っているインダクタンスが大きくなり、リレーを経由することで経路も長くなることから、全体のインダクタンスの増加にもつながる。

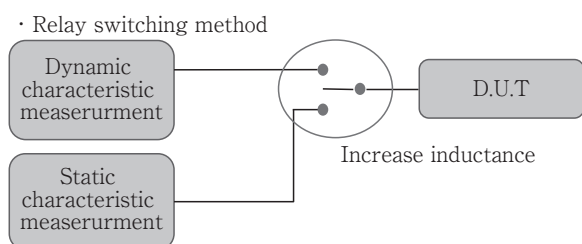


Fig. 4 Relay switching method

この問題を解決する為、Fig. 5のように動特性部を直結させる方法がある。この方法では、動特性の試験ラインには余分な機構がない為、インダクタンスを増加させずに静特性、動特性試験への切り替えが可能となる。しかし、微小電流の測定をする静特性試験で、D.U.T以外に動特性試験機側にも電流が流れてしまい、正確な測定をしにくくなる。その他にも動特性試験機側を充電することとなり、電流の値が安定するまでに時間がかかり、試験時間が延びてしまうという問題点もある。

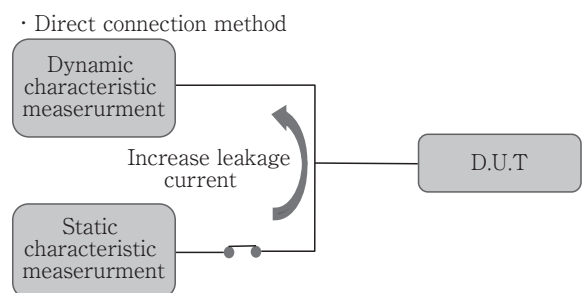


Fig. 5 Direct connection method

これらの課題を解決する為に、ソレノイド機構などを用い、Fig. 6のようにプローブを移動させることで試験回路を切り替える方式を開発した(特願 2015-091957)。

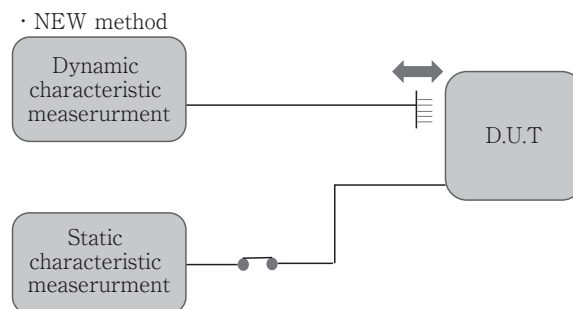


Fig. 6 New method

この方法は、巨大なリレーを設置する必要がなく、配線長も伸びない為、インダクタンスは増加しない。更に、動特性試験機側に電流を漏らすこともなく、静特性と動特性の試験の切り替えを行えるようになった。Fig. 7は静特性試験時の状態、Fig. 8は動特性試験時の様子である。

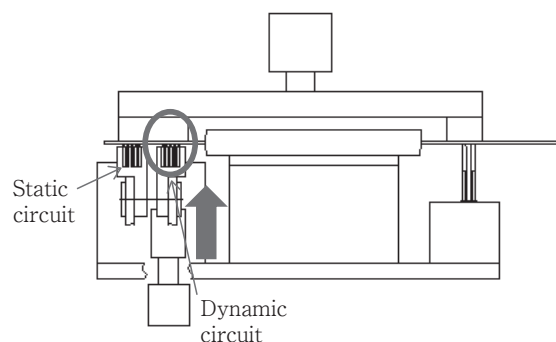


Fig. 7 Dynamic characteristics test circuit

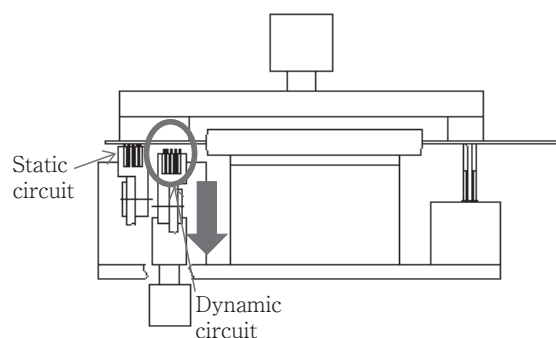


Fig. 8 Static characteristic test circuit

従来一般的な動特性試験機は、試験機のみで100nHとなっていることが多いが、この方法を用いることで、本機は試験機からD.U.Tまでの経路を含めた合計で100nHという低いインダクタンス値を実現できた。

4.3 シンメトリカル形状

現在、測定対象となっているものに、IGPBチップと、そのチップ2つをパッケージングしたIGBTモジュールの2種類がある。4.1、4.2の機構はIGBTモジュールを想定した構造となっている。チップを測定する場合、サイズが小さすぎて4.2の切り替え機構の使用が難しい。また、2枚のIGBTが入った状態を最適に測定するような構造となっている為、そのままチップを測定することも難しい。その為、グループ会社の(株)TOPが開発したシンメトリカル配置構造により、4.1、4.2の機構を用いず、インダクタンスの軽減を実現した。

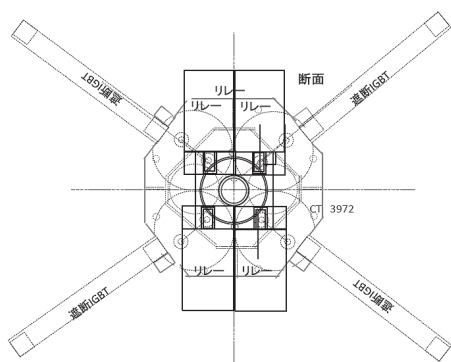
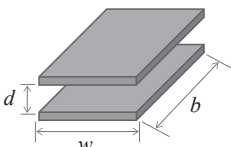
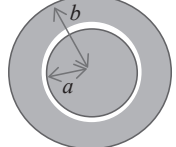


Fig. 9 Symmetrical arrangement structure

Fig. 9 の様に、動特性検査装置内のコンデンサやIGBTをシンメトリカルに配置することで、配線経路を同軸状にすることが可能となり、Table 3 のようにインダクタンスを軽減できた。この方法により、60nHと4.1、4.2の方法を使用した装置と比べ、卓越した低インダクタンス性能を実現

Table 3 Comparison of wiring

	Parallel flat wiring	Coaxial wiring
	 Inductance $L = \mu b \frac{d}{w}$	 Inductance $L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[\frac{1}{2} + \log\left(\frac{b}{a}\right) \right]$
Merit	- Effective utilization of space - Low inductance	- Low inductance - High current - Reduction of unequal transient current
Demerit	- Bad exchangeability - Low current	- Weight increase - Small mounting space

することが可能となった。

5. 試験時間の短縮

静特性試験機は、高電圧を印加できる「HVU」、中・低圧を印加できる「LVU」、大電流を印加できる「HCU」、D.U.Tのゲートを制御する「GS」の4つのユニットから構成されている。これらのユニットの切り替えをし、2秒間の間に約40種類もの試験を実行する必要がある。

従来の試験では、Fig. 10のように試験開始から各ユニットそれぞれがPCと印加電圧や試験時間、測定値などといった試験情報を通信している。また、複数ユニットが同時に動作して試験する場合、すべてのユニットがPCと通信を終えてからしか測定できなかった為、一つひとつの試験に時間がかかっていた。

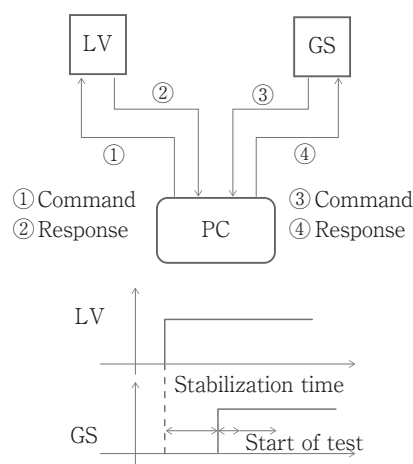


Fig. 10 Conventional communication method

そこで、Fig. 11のように通信方法を見直すことで、試験時間の短縮を図り、必要となる同期装置（TMX）を新たなユニットとして開発した。

動作手順としては、試験前に電圧などの値の「条件」を試験コマンドとして、PCからそれぞれのユニットに送信する。TMXには試験スタートなどのタイミングの情報を送信し、その情報を元にTMXはクロック信号を光通信で、それぞれのユニットへ同時に送信する。各ユニットはクロック信号に同期し、あらかじめPCから送信されている試験コマンドに従って動作する。それにより、全てのユニットが完全同期で動作することとな

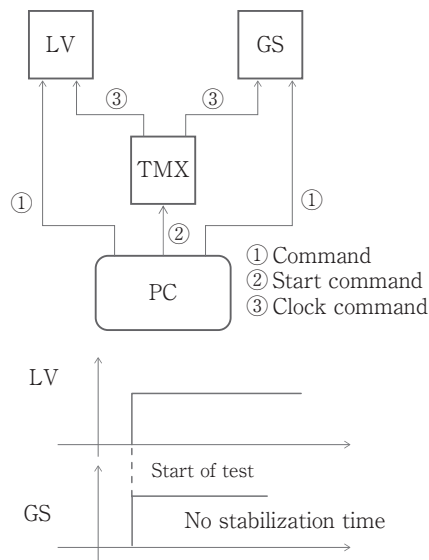


Fig. 11 Communication method by TMX

る。この方式では、ユニットの同期時間を考慮する必要がなく、msオーダの制御がusオーダでできるようになり、お客様が求める短時間での試験を実現できた。

6. 配置の最適化による省スペース化

各検査ユニットはD.U.Tの低インダクタンスの直近に配置しているほうが望ましい為、従来のテストシステムの試験部はFig. 12のように大型化していた。その結果、D.U.Tの搬送距離が長くなり、ハンドラも大きくなってしまいう問題点があった。

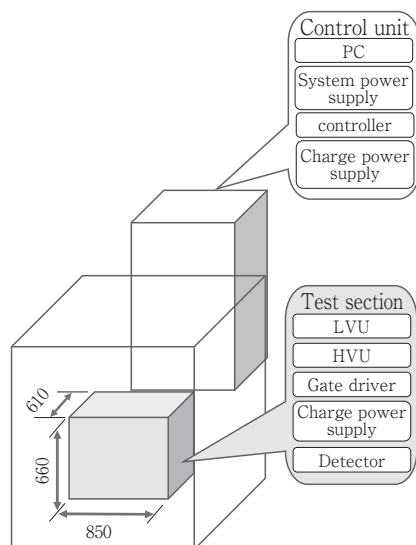


Fig. 12 Conventional arrangement

そこでテストの構成を「インダクタンス管理レベル」(DEFCON1)、「ノイズ管理レベル」(DEFCON2)、「通常管理レベル」(DEFCON3)の3つに部類し、試験部の縮小を図った。

Table 4 Classification by management level

Management level		Management point	Representative unit
DEFCON3	Regular management	Digital signal / low precision signal (10 ~ 100m)	PC
DEFCON2	Noise management	Micro analog signal (10 ~ 100cm)	Static unit
DEFCON1	Inductance management	High speed and high precision signal (10 ~ 100mm)	Dynamic unit

DEFCON1には、4章で述べたインダクタンスが試験に影響のある動特性ユニットを配置、DEFCON2には、インダクタンスの影響はないが、商用周波数などのノイズを除去できる静特性ユニットを配置し、DEFCON3には、インダクタンスの影響やノイズの影響を受けないPCやシステム電源、パワー電源を配置した。その結果、Fig. 13のように、試験部幅は850mmから300mmと65%縮小、ハンドラ幅は1500mmから1125mmと25%縮小することに成功した。

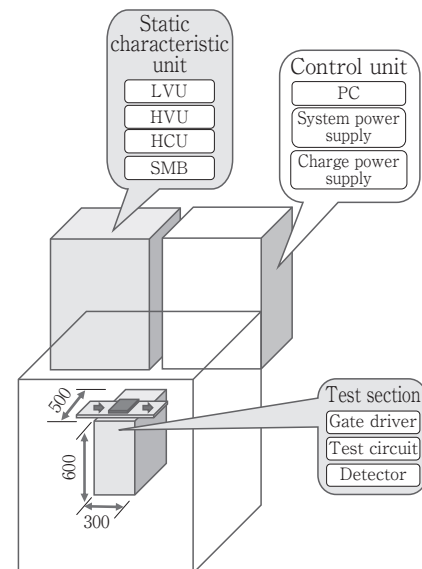


Fig. 13 Reduction of test section by unit layout optimization

検査ラインを短縮できた為、搬送距離の短縮、テストとハンドラをあわせた5秒のサイクルタイムも実現できた。

7. おわりに

量産工程採用第1号となる、IGBTモジュール製造ラインにおける静特性と動特性一体型の新東パワーデバイステストシステム（SPTX）について紹介した。搬送から測定まで、全て自社製のテストシステムで統一することにより、試験部からD.U.Tまでのインダクタンスを60nHと競合他社よりも低減することに成功した。更に、TMXの導入により、約40種類の試験を3秒といった極めて短い時間で達成できた。

また、テストの開発中には、パワーデバイスの

測定に関する多くの知見を得ることができた。今回の経験を活かし、MTTRやUserbilityなどの向上と、更にはSiCやGaNなどの次世代デバイスにも対応できる新製品の開発を進める。そして、より多くのお客様の要求に応えられるよう、パワーデバイス測定ソリューションについても提供していく。

参考文献

- 1) 坂本陽一、「パワーデバイス用複合テスターの開発」『新東技報、No32』 57-63