

一般論文

インバータサージ電圧用 部分放電測定器の開発

Development of Partial Discharge Measurement
Detector for Inverter Surge Voltage

三浦 昭夫* 田中 圭*
A.Miura K.Tanaka
佐藤 尚登*
H.Sato

概要

ハイブリッドカー、電気自動車などに使用されているインバータ駆動モータの普及に伴い、部分放電の発生に起因する絶縁劣化の課題が生じている。インバータサージ電圧は、商用周波電圧の正弦波に比較すると波形に含まれる高調波成分が数十MHzの広帯域に亘るため、従来の部分放電測定器では測定が困難である。そこで当社（日新パルス電子）は、VHF帯（30MHz～300MHz）による部分放電測定器（Partial Discharge Measurement Detector : NPD-1）を開発したので、その概要を報告する。併せて、当社が製品化したインバータサージ電圧発生装置の概要を紹介する。

Synopsis

With the growth of the inverter drive motors used for such as hybrid or electric vehicles, some problems of the insulation degradation due to the generation of the partial discharge is caused.

The inverter surge voltage has the harmonic component up to a broadband of number 10MHz included in the wave pattern in comparison with the sine wave voltage of commercial power supply frequency (50Hz/60Hz).

Therefore the measurement is difficult by using the existing conventional partial discharge measuring instrument.

We have developed a new partial discharge measuring instrument which is able to detect VHF band. In addition, we introduce the summary of the inverter surge voltage generator which we already commercialized.

1. はじめに

従来の部分放電測定⁽¹⁾では、50Hz、60Hzの電力機器などを対象としてIEC⁽²⁾、JEC⁽³⁾などの規格が適用されている。これらの試験電圧は400Hz以下の正弦波交流あるいは直流電圧である。

インバータサージ電圧（INV）における部分放電測定では、正弦波交流と異なり、パルス波のため印加電圧に直流から数十MHzに亘る広範囲な高調波成分が含まれている。この広範囲の周波数成分は高レベルの雑音信号として部分放電測定器に入力される。一方、部分放電によって生じた電圧信号は、試験電圧により生じた雑音信号に比較すると極めて小さい値であり測定は困難となる。本開発ではこの問題を解決し、実用上十分な測定感度を得ることができた。開発した測定器により、巻線材料（ポリアミドイミド

*日新パルス電子(株)

電線など）や、インバータ駆動モータの絶縁診断の一助に供したい。以下にその詳細を報告する。

併せて、製品化したINV装置を紹介する。

2. 開発のコンセプト

2.1 印加電圧と部分放電信号の周波数分布とレベル

INV装置から発生する印加電圧の立上り、立下り時間は50ns程度の高速な場合があり、高レベル、広帯域の高周波信号（雑音、N）が検出される。

一方、部分放電によって生じる信号は数百Hz～数GHzの広範囲に分布している。前述のように、この信号は印加電圧による雑音信号Nと比較して極めて小さい値（信号、S）である。従って、この信号Sは雑音N

に埋もれた状態で検出されることになる。

2. 2 目標仕様の設定

前述の状況下、予備実験でINV装置からツイストペア線に電圧を印加し部分放電を測定した。その結果、S/N比1/100程度の悪状況下で部分放電開始時の放電電荷量が50 pC~200 pC程度であることが分かった。そこで、部分放電信号Sが明瞭に検出できるよう、以下の目標仕様を設定した。

- ・S/N比 1/2 以上で200 pC以下の電荷が測定できること。
- ・電荷校正器も開発すること。

3. 仕様

INV装置から試料に試験電圧を印加した時、S/N比の大きい明瞭な部分放電信号を得るために、取扱う周波数を広範囲に調査・実験した。同時に雑音Nの低減のためのフィルタの種類と特性についても検討し、さらに、ここで得られた周波数の信号を取扱うための半導体を選定し、試作・実験を種々実施した。

その結果、S/N比 1/1.23 で65 pC~200 pC程度の感度で測定できる試作器を完成できた。図1、表1に試作器の回路構成、仕様を示す。

表1 仕様

(1) 測定器 (NPD-1)	
① 品名	Partial Discharge Detector
② 検出方式	C 結合方式
③ 減衰器	H,L 2段切換
④ 増幅器	通過帯域:VHF帯、最大出力2Vp
⑤ 検出感度	200pC
⑥ 発生頻度計	100/1000/10000pps、3range
⑦ Q レベルメータ	LED Bar Graph 10段表示
⑧ 電源	AC100V 50/60Hz 2A
⑨ 寸法・質量	430mmW,100mmH,310mmD, 8kg
(2) 検出器 (NCP-1)	
① 定格電圧	± 10kVp
② 寸法・質量	45mmW,286mmH,45mmD, 1kg
(3) 電荷校正器 (NPG-1)	
① 発生電荷	100pC (10V,10pF)
② パルスRise time	7ns
③ 電源	DC6V 単3形乾電池4本
④ 寸法・質量	80mmW,30mmH,170mmD, 0.4kg

仕様は変更することがあります。

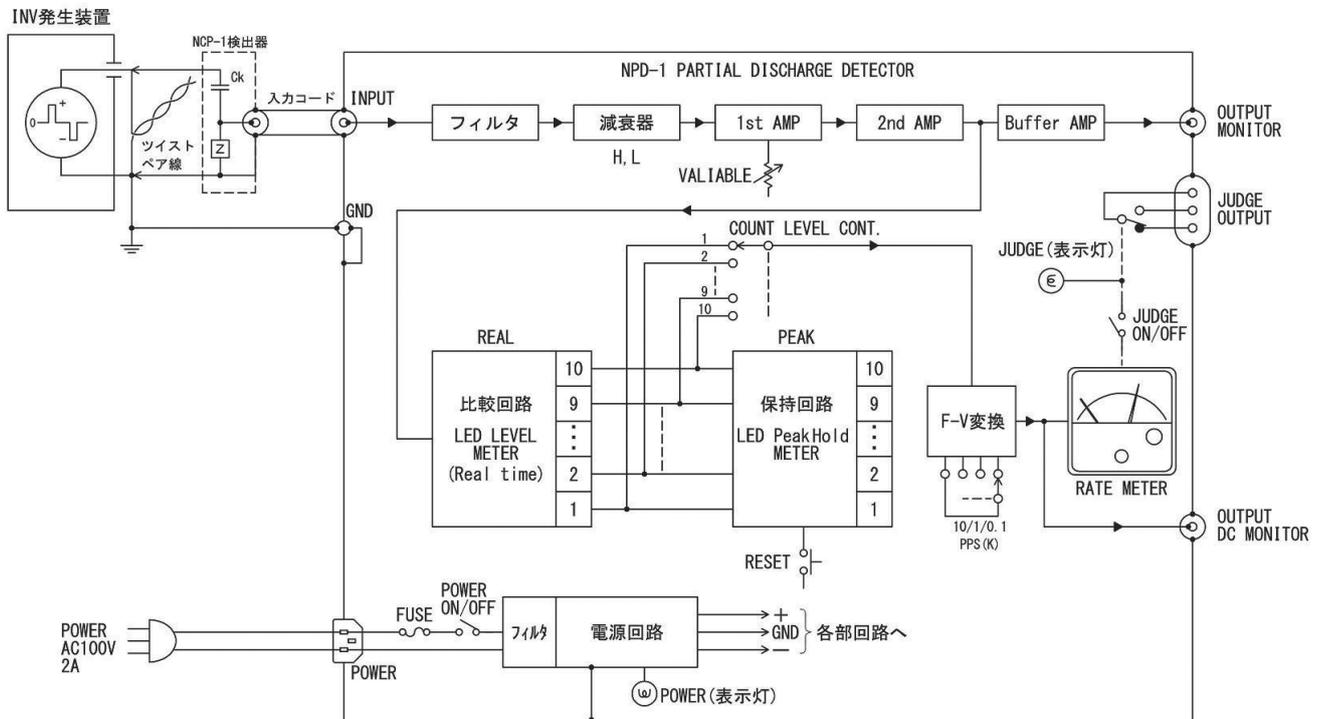


図1 回路構成

3. 1 増幅器

図1において、INV装置の出力端に試験試料としてツイストペア線が接続され、これに並列に検出器が接続されている。INV装置からの印加電圧によってツイストペア線から部分放電が発生した場合、検出器のインピーダンスZの両端に印加電圧の周波数成分Nと部分放電による周波数成分Sとの合成電圧が生じる。この信号S、Nは入力コードを経て測定器へ入力される。

検出された信号は、始めに信号Nを減衰させるためのフィルタ、部分放電が大きく、信号Sが大き過ぎる場合のための減衰器を通り、次いで1st AMPへ入力される。ここでは増幅度をVALIABLEツマミにより可変でき、放電電荷量の検出感度調整ができる。

次に2nd AMP、Buffer AMPを経てMONITOR端子により波形観測が可能である。

測定器のINPUT端子とMONITOR端子間のGAIN、VALIABLE可変範囲およびダイナミックレンジは、それぞれ約、40 dB、20 dB、60 dBである。

3. 2 表示と出力回路

2nd AMPの出力は、Buffer AMPの他に、表示回路の比較回路に入力されている。ここで信号は閾値と比較され、LEDバーグラフにより信号レベルをリアルタイムで10段階表示する。このリアルタイムの10段階信号は次の保持回路に入力され、ここで最も高いレベルがLEDバーグラフに保持される。この保持はRESETスイッチにより解除できる。

比較回路の出力はCOUNT LEVEL CONT.スイッチにより10段階の任意の位置（部分放電発生レベル）を選択できる。レベル選択された信号は次のF-V変換器に入力され、選択されたレベル以上の発生頻度に相当する電圧でRATE METER（アナログメータ）を起動する。同時に外部にDC MONITORとして出力している。また、RATE METERにはメータリレー機能があり、接点出力されている。

メータリレーの接点は、COUNT LEVEL CONT.で設定した値以上の部分放電レベルで、かつ発生頻度がメータリレーの設定指針で設定した値以上で閉じる（または開く）ので、試験試料の良否判定（外付判定装置用）に使用できる。

3. 3 測定結果

図1の測定回路による測定波形を図2～図5に示す。図2は電荷校正波形であり、100 pCの電荷量で200 mVのMONITOR出力波形Sが観測されている。図3は部分放電の発生直前である±575 V（平坦部）の電圧印加時の波形である。INV装置からの雑音Nが160 mV、電荷量換算80 pCであり目標仕様である200 pC以下の測定が充分可能なが分かる。

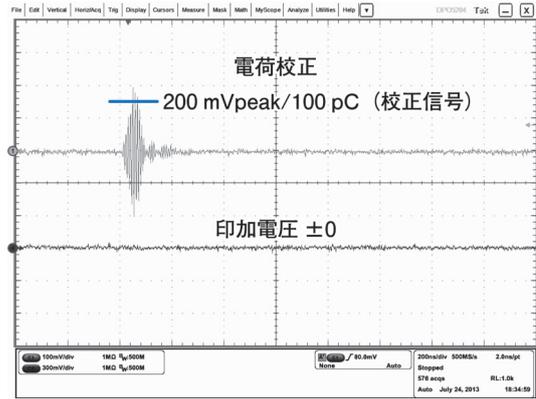


図2 電荷校正波形

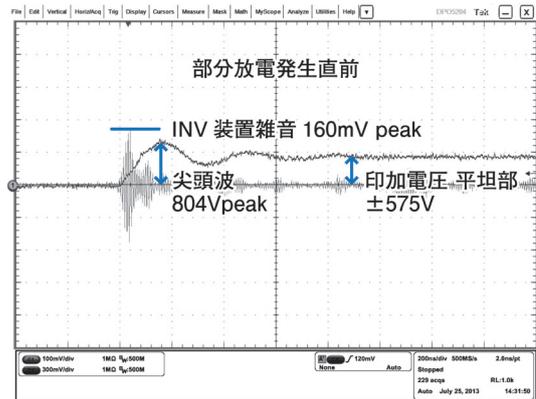


図3 部分放電発生直前波形

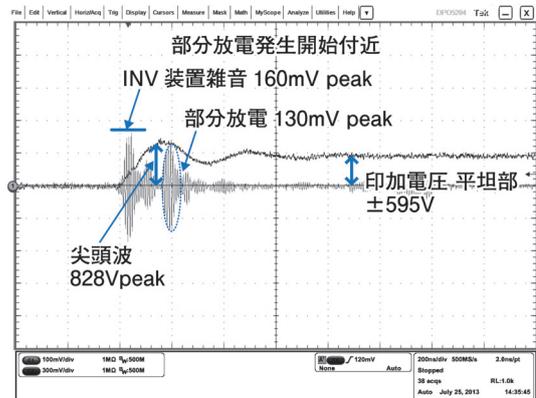


図4 部分放電発生開始電圧付近の波形

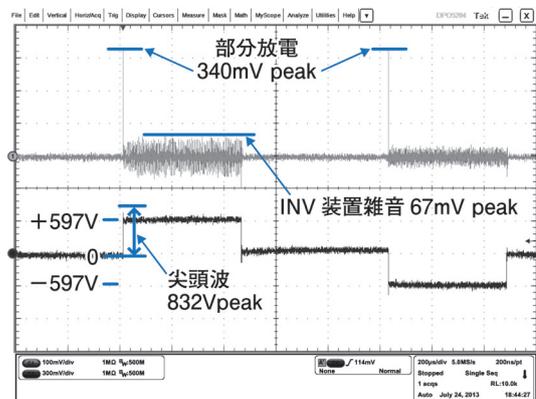


図5 印加電圧波形と過電圧による部分放電

図4は部分放電の発生開始電圧付近の波形である。部分放電は間欠的に不安定な発生であるが開始電圧は±595 V（平坦部）で、INV装置からの雑音（N）が160 mV（80 pC相当）、部分放電信号Sは130 mV（65 pC相当）である。これはS/N 1/1.23、検出感度65 pCであり目標仕様を満足している。

INV装置からの印加電圧の立上り部分には尖頭波を重畳しており、これら測定波形には尖頭波のレベルを記してある。部分放電の発生位相は、この尖頭波のピーク付近であることが判る。

図5は印加電圧を図4の電圧より2V上昇し、部分放電が割合安定に発生する状態の波形である。オシロスコプの時間軸を遅くし、波形繰返しの様子を分かり易くしたものである。正パルスの立上り部、負パルスの立下り部の尖頭波において部分放電が発生して

いる。

INV装置からの雑音Nは67 mV、部分放電信号Sは340mV（170 pC相当）であり、S/N5、検出感度170 pCで目標仕様を満足している。

図6,7,8に測定器、校正器および検出器の外観を示す。

■ 4. インバータサージ電圧発生装置

インバータサージ電圧（INV）発生装置は、インバータモータやこれに使用する巻線材料の絶縁診断のために必要不可欠な電源装置である。

当社が近年、ユーザ仕様に基づき製造した代表的な装置の概略仕様、外観を表2、3および図9に示す。本部分放電測定器の開発では主に表2のPG-W03KP-Aを使用した。



図6 部分放電測定器外観



図7 校正器外観



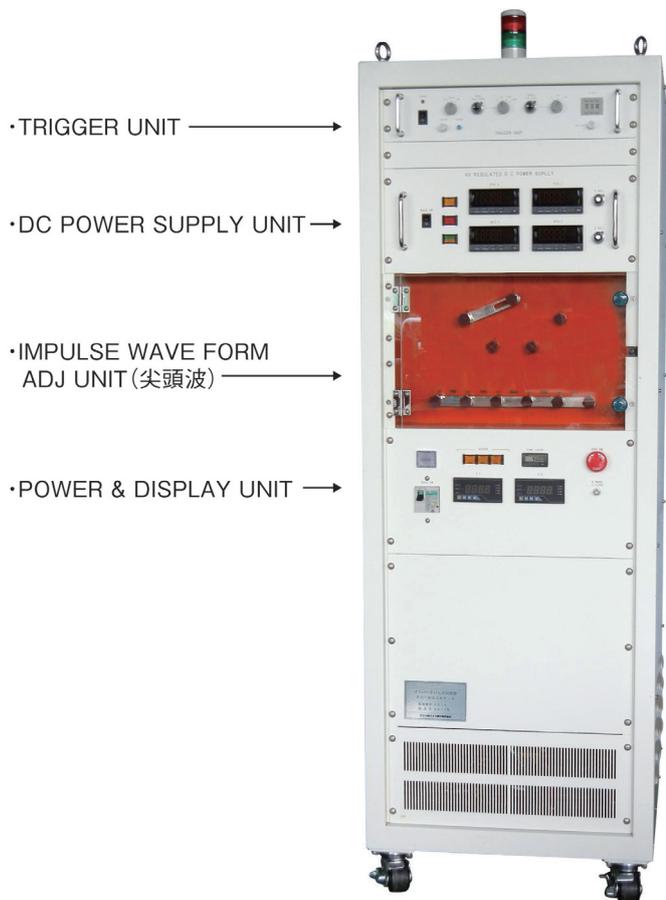
図8 検出器外観

表2 PG-W0シリーズ インバータサージ電圧発生装置概略仕様

	1	2	3	4	5
(1) 型式	PG-W02KF3	PG-W03KP-A	PG-W03KDP	PG-W03KP5	PG-W05KE
(2) 出力パルス電圧	0~±2 kVp	0~±3 kVp	0~±3 kVp	0~±3 kVp	0~±5 kVp
(3) オーバershoot（尖頭波）	×1.15 以下	×1.0~1.7 可変	×1.0~1.7 可変	×1.0~1.5 可変	×1.0 以下
(4) パルス周波数	1 k~9.9 kHz	1k~100 kHz	1 k~100 kHz	1 k~100 kHz	50 Hz~5 kHz
(5) パルス幅	1~100 μs	1 μs~1 ms	1~10 μs	1~100 μs	0.5~10 μs
(6) 出力チャンネル数	3 ch	1 ch	1 ch	5 ch	1 ch
(7) デューティ比	50%以内	50%以内	30%以内	50%以内	2%以内
(8) 立上り時間	40 ns以下	100 ns以下	100 ns以下	100 ns以下	50,100,200,500 ns
(9) 立下り時間	60 ns以下	100 ns以下	100 ns以下	100 ns以下	1 μ以下
(10) 同一極性パルス数	1~999	1~999	1~999	1~999	1~99
(11) 負荷容量	100 pF×3	100 pF×1	100 pF×1	50 pF×5	50 pF×1
(12) 積算タイマー	9999 h 59.9 min	99999.9 h			
(13) 電圧波形モニター	1/2000×1 ch	1/2000×1 ch	1/2000×1 ch	1/2000×5 ch	1/2000×1 ch
(14) 電流波形モニター	なし		0.1 V/A×1 ch	0.1 V/A×5 ch	0.1 V/A×1 ch
(15) 電源	AC100V, 50/60Hz 1φ、10A	AC200V, 50/60Hz 1φ、10A	AC200V, 50/60Hz 1φ、10A	AC200V, 50/60Hz 1φ、30A	AC100V, 50/60Hz 1φ、20A
(16) 寸法 W×H×D (mm)	570×1800×700	570×1650×700	570×1800×700	590×2000×850	570×1150×700
(17) 質量	約300 kg	約200 kg	約300 kg	約400 kg	約200 kg

表3 PG-W1シリーズ インバータサージ電圧発生装置概略仕様

	1	2	3
(1) 型式	PG-W15KD	PG-W15KDA	PG-W15KE-AG
(2) 出力パルス電圧	0~±15 kVp	0~±15 kVp	・交流0~15 kVp (50 Hz) ・パルス0~±15 kVp ・重畳合成最大ピーク値±30 kVp
(3) パルス周波数	100 Hz~1 kHz	100 Hz~5 kHz	100 Hz~5 kHz
(4) パルス幅	10 μs~1 ms	10 μs~1 ms	10 μs~1 ms
(5) デューティ比	10%以内	10%以内	10%以内
(6) サグ	5%以下	5%以下	5%以下
(7) 立上り時間	3 μs以下	3 μs以下	3 μs以下
(8) 立下り時間	300 μs以下	60 μs以下	60 μs以下
(9) 同一極性パルス数	1~99	1~99	1~99
(10) 負荷容量	1000 pF以下	1000 pF以下	1000 pF以下
(11) 積算タイマー	99999.9 h	99999.9 h	99999.9 h
(12) 電圧波形モニター	1/2000	1/2000	1/5000
(13) 電流波形モニター	0.1 V/A	0.1 V/A	0.1 V/A
(14) 電源	AC100 V, 50/60 Hz 1φ、10 A	AC200 V, 50/60 Hz 1φ、20 A	AC100 V, 50/60 Hz 1φ、30 A
(15) 寸法 W×H×D (mm)	580×1550×700	800×1750×800	1100×1750×800
(16) 質量	約250 kg	約350 kg	約500 kg



PG-W0、W1シリーズの共通機能

同期切換：外部同期、内部同期、単発押釦
 電圧設定：正、負とも10回転ポテンションメータ
 直流電圧計：正、負ともデジタル計器
 直流電流計：正、負ともデジタル計器
 その他：外部インターロック端子付き
 非常停止押釦スイッチ付き

図9 インバータサージ電圧 (INV) 発生装置外観 (型式：PG-W03KP-A)

5. まとめ

当社がINV装置を製造するなかで、ユーザにおいてはインバータモータや巻線材料などの絶縁診断に部分放電測定の有効性が話題となっていた。しかし、従来の測定機器ではインバータサージ電圧による部分放電を測定できないという問題があり、我々はこの問題を解決すべく、本測定器の開発に取り組み、試作器として一定の性能を得ることができた。

2013年下期に商品化を行い、既にINV装置をご使用頂いているユーザを主体に販売を推進する予定である。

参考文献

- (1) 部分放電 Dr.F.H. KREUGER 岡田亨、内藤克彦 共訳(コロナ社)
- (2) IEC60270:2000 国際電気標準会議
- (3) JEC-0401-1990 電気学会 電気規格調査会標準規格

執筆者紹介



三浦 昭夫 Akio Miura
日新パルス電子(株)
技術部第一課



田中 圭 Kei Tanaka
日新パルス電子(株)
技術部第一課



佐藤 尚登 Hisato Sato
日新パルス電子(株)
技術部長