

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 11 月 1 日(01.11.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/147162 A1

- (51) 国際特許分類:
G01R 31/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/060166
- (22) 国際出願日: 2011 年 4 月 26 日(26.04.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日立オートモティブシステムズ株式会社 (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番地 Ibaraki (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 尾畑 功治 (OBATA, Koji) [JP/JP]; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株式会社日立製作所日立研究所内 Ibaraki (JP).
- (74) 代理人: 永井 冬紀 (NAGAI, Fuyuki); 〒1000011 東京都千代田区内幸町 2 丁目 2 番 2 号 富国生命ビル 永井特許事務所 Tokyo (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

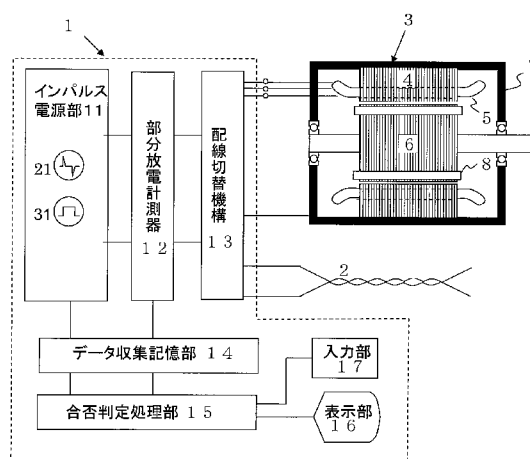
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: INVERTER-DRIVEN ROTATING ELECTRICAL MACHINE, INSULATION INSPECTION METHOD, AND INSULATION INSPECTION DEVICE

(54) 発明の名称: インバータ駆動回転電機、絶縁検査方法および絶縁検査装置

【図 1】



- 11 Impulse power source
12 Partial discharge measurement device
13 Wire switching mechanism
14 Data collection storage unit
15 Acceptable/unacceptable determination processing unit
16 Display unit
17 Input unit

(57) Abstract: This insulation inspection method for an inverter-driven rotating electrical machine involves: a step for applying to an insulation material (2) a first impulse voltage simulating the voltage generated between winding turns of the rotating electrical machine upon application of inverter surge voltage, and measuring the number of times N_{t-1} that an impulse voltage is applied until insulation material (2) suffers an insulation breakdown; a step for applying a first impulse voltage to the insulation material (2) and measuring the frequency n_{pd} of partial discharges generated for each application; a step for applying to a rotating electrical machine (3) a second impulse voltage simulating an inverter surge voltage and measuring the frequency $n_{pd(motor)}$ of partial discharges between the winding turns generated for one said voltage application; and a step for determining the insulation performance of the rotating electrical machine (3) to be acceptable when, given a required number of times $N_{required}$ that impulse voltage is applied to the rotating electrical machine (3), the partial discharge frequency $n_{pd(motor)}$ fulfills the expression $n_{pd(motor)} \leq N_{t-1} \cdot n_{pd} / N_{required}$.

(57) 要約:

[続葉有]



インバータ駆動回転電機用絶縁検査方法では、絶縁試料(2)にインバータサージ電圧印加時に回転電機巻線ターン間に発生する電圧を模擬した第1のインパルス電圧を印加して、絶縁試料(2)が絶縁破壊するまでのインパルス電圧課電回数 N_{t-t} を計測する工程と、絶縁試料(2)に第1のインパルス電圧を印加して、1回の印加あたりに発生する部分放電の発生頻度 n_{pd} を計測する工程と、インバータサージ電圧を模擬した第2のインパルス電圧を回転電機(3)に印加して、1回の印加あたりに発生する巻線ターン間の部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ を計測する工程と、回転電機(3)に要求されるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ に対して、部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ が式「 $n_{pd(motor)} \leq N_{t-t} \cdot n_{pd} / N_{required}$ 」を満足するときに、回転電機(3)の絶縁性能を合格と判定する。

明 細 書

発明の名称：

インバータ駆動回転電機、絶縁検査方法および絶縁検査装置

技術分野

[0001] 本発明は、インバータ駆動される回転電機（特に、定格電圧 700 Vrms 以下のインバータ駆動回転電機）と、その回転電機の絶縁検査方法および絶縁検査装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、省エネルギー化の観点からインバータを用いた回転電機の可変速運転が盛んに行われている。しかし、インバータで回転電機を駆動した場合、回転電機の絶縁部で様々な問題が発生する事が報告されている（非特許文献 1）。例えば、インバータ内部のスイッチング素子が ON/OFF することで発生する急峻電圧（インバータサージ電圧）がケーブルを伝播し回転電機端に到達すると、ケーブルと回転電機のサージインピーダンスの不整合が原因となり、回転電機端でインバータ出力電圧の 2 倍の大きさまで電圧が跳ね上がることが報告されている。

[0003] また、急峻なインバータサージ電圧が回転電機内部に侵入すると、回転電機巻線の口出し側のコイルやその内部の巻線ターン間に大きな電圧が分担されることなどが報告されている。このため、インバータ駆動される回転電機では、これらのインバータサージ電圧に耐えられるように回転電機を絶縁設計するとともに、製作した回転電機が所定の絶縁耐力を有するかを検査する必要がある。

[0004] ところで、一般に、700 Vrms 以下の低圧回転電機では、有機系の絶縁材料が使用されている。これらの有機系絶縁材料は部分放電（Partial Discharge (PD)）への耐性が乏しいことから、部分放電が発生する条件下で回転電機を使用した場合には比較的短時間で絶縁破壊に至る恐れがあった。このため、従来 700 Vrms 以下の低圧回転電機では、運転中に部分放電が発生しない

ような絶縁設計が採用されてきた。

- [0005] 具体的には、回転電機の巻線ターン間、相間、対地間の各絶縁部の部分放電開始電圧（Partial Discharge Inception Voltage (PDIV)）が運転時に回転電機の各絶縁部に加わる電圧よりも高くなるように絶縁厚さを厚くし、部分放電が発生しないように回転電機を絶縁設計してきた。また、そのように製作された回転電機に対する検査では、正弦波電圧あるいはインパルス電圧を印加し、巻線ターン間、相間、対地間絶縁のいずれの絶縁箇所でも部分放電が発生しないことを確認してきた。このような絶縁設計および検査試験方法としては、例えば非特許文献2が公開されている。また、この際使用する部分放電計測法には例えば特許文献1などが公開されている。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開2009-115505号公報

非特許文献

- [0007] 非特許文献1：電気学会技術報告第739号，p. 12～20
非特許文献2：IEC 60034-18-41

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] 近年、インバータのスイッチング素子の高速化とともに、インバータ出力電圧の立ち上がり時間 t_r が短くなりつつある。そのため、インバータ駆動回転電機の巻線ターン間への電圧分担が大きくなり、巻線ターン間で部分放電が発生する可能性が生じている。しかしながら、上述のように低圧回転電機では部分放電が発生しないことを前提としてきたため、このような部分放電が発生する条件での絶縁設計や検査方法が存在しなかった。

課題を解決するための手段

- [0009] 本発明の第1の態様によると、インバータ駆動回転電機は、回転電機巻線と同一の絶縁電線で形成され、電圧波高値 V において絶縁破壊までのインパ

ルス電圧課電回数が N の $N-V$ 特性を示す絶縁試料において、インバータサージ電圧印加時に回転電機巻線ターン間に発生する電圧を模擬した第1のインパルス電圧を印加したときの絶縁破壊までのインパルス電圧課電回数を N_{t-t} 、および1回の印加あたりに発生する部分放電の発生頻度を n_{pd} としたとき、要求されるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ に対して、巻線ターン間の部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ が次式(A1)を満足するように設定されているインバータ駆動回転電機。

$$n_{pd(motor)} \leq N_{t-t} \cdot n_{pd} / N_{required} \quad \cdots (A1)$$

本発明の第2の態様によると、第1の態様のインバータ駆動回転電機において、インパルス電圧課電回数 $N_{required}$ は、インバータサージ電圧の単位時間当たりの発生頻度を n_{inv} とし、回転電機に要求される運転時間を t_{inv} としたときに、次式(A2)を満足するように設定されることが好ましい。

$$N_{required} \geq n_{inv} \cdot t_{inv} \quad \cdots (A2)$$

本発明の第3の態様によると、第1または2の態様のインバータ駆動回転電機において、定格電圧が700Vrms以下に設定されている。

本発明の第4の態様によると、インバータ駆動回転電機用絶縁検査方法は、回転電機巻線と同一の絶縁電線で形成され、電圧波高値 V において絶縁破壊までのインパルス電圧課電回数が N の $N-V$ 特性を示す絶縁試料に、インバータサージ電圧印加時に回転電機巻線ターン間に発生する電圧を模擬した第1のインパルス電圧を印加して、該絶縁試料が絶縁破壊するまでのインパルス電圧課電回数 N_{t-t} を計測する工程と、絶縁試料に第1のインパルス電圧を印加して、1回の印加あたりに発生する部分放電の発生頻度 n_{pd} を計測する工程と、インバータサージ電圧を模擬した第2のインパルス電圧を回転電機に印加して、1回の印加あたりに発生する巻線ターン間の部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ を計測する工程と、回転電機に要求されるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ に対して、部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ が次式(A1)を満足するときに、回転電機の絶縁性能を合格と判定する。

$$n_{pd(motor)} \leq N_{t-t} \cdot n_{pd} / N_{required} \quad \cdots (A1)$$

本発明の第5の態様によると、第4の態様のインバータ駆動回転電機用絶縁検査方法において、インパルス電圧課電回数 N_{required} は、インバータサージ電圧の単位時間当たりの発生頻度を n_{inv} とし、回転電機に要求される運転時間を t_{inv} としたときに、次式 (A2) を満足するように設定されるのが好ましい。

$$N_{\text{required}} \geq n_{\text{inv}} \cdot t_{\text{inv}} \quad \cdots (A2)$$

本発明の第6の態様によると、インバータ駆動回転電機用絶縁検査装置は、回転電機巻線と同一の絶縁電線を用いた絶縁試料に、インバータサージ電圧印加時に回転電機巻線ターン間に発生する電圧を模擬した第1のインパルス電圧を印加したときに計測される、絶縁試料が絶縁破壊までのインパルス電圧課電回数を $N_{\text{t-t}}$ と、1回の印加あたりに発生する部分放電の発生頻度 n_{pd} とが記憶されている記憶部と、インバータサージ電圧を模擬した第2のインパルス電圧を回転電機に印加するインパルス電源と、第2のインパルス電圧が印加された回転電機の巻線ターン間の部分放電発生頻度 $n_{\text{pd(motor)}}$ を計測する計測部と、回転電機に要求されるインパルス電圧課電回数 N_{required} に対して、部分放電発生頻度 $n_{\text{pd(motor)}}$ が次式 (A1) を満足するときに、回転電機の絶縁性能を合格と判定する合否判定処理部と、を備える。

$$n_{\text{pd(motor)}} \leq N_{\text{t-t}} \cdot n_{\text{pd}} / N_{\text{required}} \quad \cdots (A1)$$

本発明の第7の態様によると、インバータ駆動回転電機用絶縁検査装置は、インバータサージ電圧印加時に回転電機巻線ターン間に発生する電圧を模擬した第1のインパルス電圧、およびインバータサージ電圧を模擬した第2のインパルス電圧のいずれかを選択的に出力することができるインパルス電源と、回転電機巻線と同一の絶縁電線で形成され、電圧波高値 V において絶縁破壊までのインパルス電圧課電回数が N の $N-V$ 特性を示す絶縁試料、または回転電機のいずれか一方を、インパルス電源に切り替え接続する切り替え機構と、第1のインパルス電圧を絶縁試料に印加して得られる、インパルス電圧課電回数 $N_{\text{t-t}}$ および1回の印加あたりに発生する部分放電の発生頻度 n_{pd} を計測する絶縁試料特性計測部と、第2のインパルス電圧を前記回転電機に

印加して得られる部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ を計測する回転電機特性計測部と、回転電機に要求されるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ に対して、部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ が次式 (A 1) を満足するときに、回転電機の絶縁性能を合格と判定する合否判定処理部と、を備える。

$$n_{pd(motor)} \leq N_{t-t} \cdot n_{pd} / N_{required} \quad \cdots (A 1)$$

本発明の第 8 の態様によると、第 6 または 7 の態様のインバータ駆動回転電機用絶縁検査装置において、インパルス電圧課電回数 $N_{required}$ は、インバータサージ電圧の単位時間当たりの発生頻度を n_{inv} とし、回転電機に要求される運転時間を t_{inv} としたときに、次式 (A 2) を満足するように設定されるのが好ましい。

$$N_{required} \geq n_{inv} \cdot t_{inv} \quad \cdots (A 2)$$

発明の効果

- [0010] 本発明によれば、適切な絶縁性能を有し、部分放電の発生を許容するインバータ駆動回転電機を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1] 本発明による絶縁検査装置の一実施の形態を示す図である。
 [図2] ツイストペア電線試料 2 を試験する際の試験回路を示す図である。
 [図3] モータ 3 を試験する際の試験回路を示す図である。
 [図4] モータ 3 の絶縁検査フローを示すフローチャートである。
 [図5] ツイストペア電線試料 2 の $V-N$ 特性を示す図である。
 [図6] ツイストペア電線試料 2 の $n_{pd}-V$ 特性を示す図である。
 [図7] ツイストペア電線試料 2 の $N \cdot n_{pd}-V$ 特性を示す図である。
 [図8] モータ 3 の $n_{pd}-\Delta V$ 特性を示す図である。
 [図9] モータ 3 の $n_{pd}-V$ 特性を示す図である。
 [図10] ステップ S 0 1 1 の詳細処理を示すフローチャートである。
 [図11] モータ端子電圧波形シミュレーションを説明する図である。
 [図12] モータ端子電圧波形測定を説明する図である。
 [図13] 急峻電圧変化量 $\Delta V_{(motor)}$ を説明する図である。

[図14]インバータサージ $n-\Delta V$ 特性を示す図である。

[図15]インバータサージ $n \cdot t_{inv}-V$ 特性を示す図である。

[図16]絶縁検査フローで行われる検査内容をまとめた図である。

[図17]本実施の形態の絶縁検査方法を使って絶縁検査したモータ寿命を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0012] 上述したように、近年、インバータのスイッチング素子の高速化とともに、インバータ出力電圧の立ち上がり時間 t_r が短くなりつつあり、そのため、インバータ駆動回転電機の巻線ターン間への電圧分担が大きくなり、巻線ターン間で部分放電が発生する可能性が生じている。

[0013] このような問題に対し、部分放電に対して一定の耐性を有し絶縁寿命の延命効果がある耐部分放電エナメル電線（一般に、耐コロナエナメル電線、耐インバータサージ電線などと称されている）が開発され、部分放電の発生を許容できる可能性が出てきている。また、耐部分放電エナメル電線を使用していない場合であっても、従来の一般産業用低圧モータに比べて比較的短時間しか運転されない電気自動車（EV）、ハイブリッド自動車（HEV）などに用いられる自動車用モータでは、所定の要求寿命を満足すれば部分放電の発生を許容できる可能性がある。

[0014] このように、近年、低圧回転電機であっても、部分放電の発生条件下で運転するような状況が出てきた。しかしながら、これまで低圧回転電機では部分放電が発生しないことを前提としてきたため、このような部分放電が発生する条件での絶縁設計や検査方法が存在しなかった。

[0015] 一方、定格電圧700Vrms以上の高圧回転電機では、従来から部分放電が発生する環境下で使用されてきた。高圧回転電機では古くから部分放電に対する耐性が高いマイカ（無機絶縁物）が絶縁材料に使用されてきた。一般に、マイカを使った高圧回転電機絶縁システムは、部分放電発生下でも極めて長い寿命を有する。また、 $V-t$ 特性の傾きが大きいことから、大きな尤度を持たせた絶縁寿命設計が可能であった。さらに尤度を大きく取れることから

、温度、湿度、圧力などの製造プロセス管理を適切に行えば、製品に寿命特性のばらつきがあったとしても十分に要求寿命を満足することができた。

[0016] これに対し、低圧回転電機ではマイカを使用していないためこのような尤度設計ができず、製作した個々の製品の寿命特性を的確に把握し、所定の寿命特性を満足しない不良品は除去しなければならない。しかし、実際の製品を使って寿命試験（破壊試験）を行うことはできない。また、以上のように、これまで部分放電の発生を許容してきた高圧回転電機の絶縁設計や検査試験を考慮しても、部分放電の発生を許容する低圧回転電機の絶縁設計や検査ができなかった。

[0017] 以下、図を参照して本発明を実施するための形態について説明する。図 1 は、本発明による絶縁検査装置の一実施の形態を示す図である。絶縁検査装置 1 は、インパルス電源部 11、部分放電計測器 12、配線切り替え機構 13、データ収集記憶部 14、合否判定処理部 15、表示部 16、入力部 17 を備えている。2 はツイストペア電線試料である。3 は検査対象であるインバータ駆動用の低圧回転電機であり、以下では単にモータと呼ぶことにする。

[0018] モータ 3 は、回転磁界を作る固定子コイル 5、固定子コイル 5 を収めた固定子 4 および回転磁界で回転する回転子 6 を備えている。なお、モータが誘導電動機の場合には回転子 6 には二次巻線が、モータが永久磁石同期電動機の場合には磁石が 8 の位置に挿入されている。モータ 3 の回転子 6 と固定子 4 はフレーム 7 に収められている。なお、図 1 では回転子 6 が挿入された状態のモータ 3 を示したが、検査する対象は固定子コイル 5 であることから、回転子 6 が挿入されていない状態でも試験することができる。

[0019] インパルス電源 11 は、両極性の交互インパルス電圧 21 とインバータサージ電圧を模擬したインパルス電圧 31 を選択的に出力することができる。インパルス電源 11 は、部分放電計測器 12 を介して配線切り替え機構 13 に接続されている。ツイストペア電線試料 2 およびモータ 3 は、この配線切り替え機構 13 に接続されている。配線切り替え機構 13 は、部分放電計測

器 1 2 の出力配線をツイストペア電線試料 2 あるいはモータ 3 に振り分けるものであって、配線切り替え機構 1 3 によって接続が切り替えられる。

[0020] ツイストペア電線試料 2 はモータ 3 の巻線ターン間絶縁部を模擬した要素モデル（絶縁試料）であって、図 1 に示す例では、モータ巻線に用いられるエナメル電線を 2 本撚り合わせたものが使用されている。また、平行巻電線試料などを使用しても良い。

[0021] インパルス電源 1 1 で試料（ツイストペア電線試料 2 あるいはモータ 3）に印加した試験電圧の大きさや、試験電圧を印加した際に部分放電計測器 1 2 で計測される部分放電信号は、データ収集記憶部 1 4 に記憶される。なお、部分放電計測器 1 2 による部分放電の計測方法については説明を省略するが、例えば、非特許文献 1, 2 や特開 2 0 0 7 - 2 3 2 5 1 7 号公報等に記載されている周知の方法が用いられる。合否判定処理部 1 5 は、データ収集記憶部 1 4 に記憶された上記データに基づいて、モータ 3 の絶縁検査の合否判定を行う。合否判定方法については後述する。表示部 1 6 には液晶ディスプレイや C R T 等が用いられ、モータ 3 の絶縁検査の合否判定結果が表示される。

[0022] 上述したように、絶縁検査装置 1 では、配線切り替え機構 1 3 を切り替えることによりツイストペア電線試料 2 の試験またはモータ 3 の試験を行うことができる。図 2 はツイストペア電線試料 2 を試験する際の試験回路を示し、図 3 はモータ 3 を試験する際の試験回路を示す。ツイストペア電線試料 2 の試験では、図 2 のように 2 本の電線の一方に両極性の交互インパルス電圧 2 1 が印加され、他方は接地される。インバータサージ電圧がモータ巻線に印加されると、パルス幅の狭い両極性の交互インパルス電圧が巻線ターン間に発生することが知られている。一方、モータ 3 の試験では、固定子コイル 5 の U, V, W の 3 相のうち、被試験相にインバータサージ電圧を模擬したインパルス電圧 3 1 が印加され、他相およびフレーム 7 は接地される。

[0023] 図 4 に、絶縁検査装置 1 を使ったモータ 3 の絶縁検査フローを示す。ステップ S 0 0 1 では、供試モータ 3 の巻線ターン間絶縁を部分放電開始電圧（P

artial Discharge Inception Voltage (PDIV)) 以上で使用するかどうかを判断する。モータ 3 を PDIV 未満で使用する場合にはステップ S 0 0 2 へ進んで、従来通りのモータ部分放電試験と PD (部分放電) フリーチェックを行い、部分放電の発生が無いことを確認する。ステップ S 0 0 2 の検査については従来の方法であるため詳細は記載しない。

[0024] 一方、モータ 3 の巻線ターン間絶縁を PDIV 以上で使用する場合には、ステップ S 0 0 3 に進む。ステップ S 0 0 3 では、モータ 3 の巻線ターン間絶縁部を模擬した試料であるツイストペア電線試料 2 を用いて、絶縁電線の絶縁特性を示す $V-N$ 特性および $n_{pd}-V$ 特性の測定を行う。

[0025] 図 5 は $V-N$ 特性を示す図であり、この $V-N$ 特性は次のようにして得られる。ツイストペア電線試料 2 に印加電圧 V の両極性の交互インパルス電圧 2 1 を繰り返し印加し、試料 (ツイストペア電線試料 2) が絶縁破壊するまでのインパルス電圧課電回数 N を計測する。このような計測を複数の印加電圧 V ($V \geq \text{PDIV}$) に関して行うことで、図 5 に示すような $V-N$ 特性曲線が得られる。図 5 の黒丸は計測されたデータを示している。

[0026] なお、後述する合否判定においては (後述する式 (1) を参照)、印加電圧 V_{t-t} (インバータサージ電圧を模擬したインパルス電圧 ΔV が印加されたときの電圧波高値) における部分放電総数 $N_{t-t} \cdot n_{pd(\text{twist-pair})}$ を用いて判定を行っているので、必要なデータは印加電圧 V_{t-t} に関するデータ (N_{t-t} 、 $n_{pd(\text{twist-pair})}$) だけである。しかし、一つの計測値だけでは、その計測値が適切な $V-N$ 特性を表しているか否か分からないので、複数点のデータを計測して適切であることを確認するようにしている。

[0027] なお、図 5 に示す V_{t-t} は、モータ 3 にインバータサージ電圧を模擬したインパルス電圧 ΔV が印加されたときに巻線ターン間に発生する電圧波高値である。また、 N_{t-t} は、ツイストペア電線試料 2 に電圧 V_{t-t} を印加したときに、絶縁破壊が発生するまでのインパルス電圧課電回数を示している。

[0028] 図 6 は $n_{pd}-V$ 特性を示す図である。 $n_{pd}-V$ 特性は、印加電圧 V の両極性の交互インパルス電圧 2 1 をツイストペア電線試料 2 に印加したときに、1

回のインパルス電圧当たりに発生する部分放電の回数 $n_{pd(twist-pair)}$ を計測することで得られる。以下では、 $n_{pd(twist-pair)}$ を部分放電発生頻度と呼ぶことにする。例えば、両極性の交互インパルス電圧 V_{t-t} を繰り返し印加しつつ印加電圧 V を $0V$ から V_{t-t} よりも大きな所定の電圧まで昇圧し、その際に発生する部分放電発生頻度 $n_{pd(twist-pair)}$ を測定する。図 6 に示すように印加電圧 V が部分放電開始電圧 $PDIV$ を下回っているときは部分放電は発生しないが、 $PDIV$ を超えると部分放電が発生しだし、印加電圧が増加するにつれて部分放電発生頻度 $n_{pd(twist-pair)}$ も増加する。

[0029] 印加電圧 V_{t-t} におけるツイストペア電線試料 2 の絶縁破壊は、単純にインパルス電圧課電回数 N_{t-t} だけに依存しているわけではなく、印加電圧 V_{t-t} における部分放電発生頻度 $n_{pd(twist-pair)}$ も影響している。すなわち、絶縁破壊は、絶縁破壊するまでの部分放電の総数に依存していると考えられる。そのため、印加電圧 V_{t-t} における部分放電発生頻度 $n_{pd(twist-pair)}$ がより小さな絶縁試料を用いれば、印加電圧 V_{t-t} におけるインパルス電圧課電回数 N_{t-t} はより大きくなる。

[0030] そこで、ステップ S004 では、絶縁破壊するまでのインパルス電圧課電回数 N と、部分放電発生頻度 n_{pd} とを同じ電圧で掛け合わせて、 $N \cdot n_{pd} - V$ 特性を求める。図 7 に示す $N \cdot n_{pd} - V$ 特性曲線上の点 (V_{t-t} 、 $N_{t-t} \cdot n_{pd(twist-pair)}$) は、絶縁破壊したときのインパルス電圧 V_{t-t} と、絶縁破壊するまでの部分放電の総数 $N_{t-t} \cdot n_{pd(twist-pair)}$ を表している。点 (V_{t-t} 、 $N_{t-t} \cdot n_{pd(twist-pair)}$) より下側の点は部分放電の総数が $N_{t-t} \cdot n_{pd(twist-pair)}$ よりも小さい。すなわち、 $N \cdot n_{pd} - V$ 特性曲線よりも下側のハッチングを施した領域は絶縁破壊が発生しない領域、言い換えれば、ツイストペア電線試料 2 の絶縁材料使用可能領域を表している。そして、本実施の形態では、この $N \cdot n_{pd} - V$ 特性を利用してモータ 3 の検査を行うようにした。

[0031] ステップ S005 では、モータ 3 の試験を行うために、配線切り替え機構 3 を切り替えて図 3 に示すような接続状態とする。次いでステップ S006 では、インバータサージ電圧を模擬したインパルス電圧 ΔV をモータ 3 に印

加して、モータ 3 に関する $n_{pd} - \Delta V$ 特性を測定する。例えば、インパルス電圧 ΔV の大きさを変化させながら、1 回のインパルス電圧あたりの部分放電の回数をモータ 3 の部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ として測定する。この測定するときには、インバータでモータ 3 を運転する際にモータ 3 に印加されると予測されるインバータサージ電圧 $\Delta V_{(motor)}$ 付近において、特に電圧の刻みを細かくして発生頻度を測定する。

[0032] インバータサージ電圧 $\Delta V_{(motor)}$ がモータ 3 に印加されたときにモータ巻線ターン間に分担される電圧 V は、電圧分担率 $\alpha (tr)$ を用いて $V = \alpha (tr) \cdot \Delta V_{(motor)}$ のように表される。そこで、ステップ S 0 0 7 では、この電圧分担率 $\alpha (tr)$ を使って、図 8 の横軸を巻線ターン間分担電圧 V に換算したモータ $n_{pd} - V$ 特性（図 9 参照）を計算する。なお、電圧分担率 $\alpha (tr)$ はモータ巻線に固有の値であり、その大きさはインバータサージ電圧 $\Delta V_{(motor)}$ の電圧立ち上がり時間 tr で変化し、 $1 < \alpha (tr) \leq 1$ の値となる。

[0033] ステップ S 0 0 8 では、絶縁検査装置 1 は、モータ 3 に必要とされるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ またはモータ寿命 t_{inv} の入力をオペレータに促す表示を、表示部 1 6 に表示する。ステップ S 0 0 9 では、オペレータによってインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ またはモータ寿命 t_{inv} のいずれが入力されたかを判定する。そして、インパルス電圧課電回数 $N_{required}$ が入力された場合にはステップ S 0 1 0 へ進み、モータ寿命 t_{inv} が入力された場合にはステップ S 0 1 1 へ進む。

[0034] 先ず、インパルス電圧課電回数 $N_{required}$ が入力された場合について説明する。ステップ S 0 1 0 では、絶縁検査装置 1 は、図 9 に示すモータ $n_{pd} - V$ 特性と、予測されるインバータサージ電圧 $\Delta V_{(motor)}$ をモータ 3 に印加したときに発生する巻線ターン間の電圧波高値 V_{t-t} とから、その V_{t-t} 時における部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ を求める。そして、入力されたインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ とモータ 3 の部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ とが、次式 (1) に示す合否判定条件式を満足するか否かを判定する。

$$n_{pd(motor)} \leq N_{t-t} \cdot n_{pd(twist-pair)} / N_{required} \quad \cdots (1)$$

- [0035] 上述したように、ツイストペア電線試料 2 の絶縁破壊の条件は絶縁破壊するまでの部分放電総数 $N \cdot n_{pd(twist-pair)}$ であり、モータ 3 の巻線ターン間絶縁部の絶縁破壊も同様に、部分放電総数 $N \cdot n_{pd(motor)}$ で決まるものと考えられる。モータ 3 の巻線ターン間に電圧波高値 V_{t-t} が発生するインバータサージ電圧 $\Delta V_{(motor)}$ において、部分放電総数 $N_{t-t} \cdot n_{pd(motor)}$ が $N_{t-t} \cdot n_{pd(twist-pair)}$ と等しくなると巻線ターン間絶縁部に絶縁破壊が発生し始める。そのため、モータ 3 にインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ が要求される場合には、部分放電総数に関する条件「 $N_{required} \cdot n_{pd(motor)} \leq N_{t-t} \cdot n_{pd(twist-pair)}$ 」を（すなわち式（1）を）満足する必要がある。
- [0036] このように、そして、図 7 に示す $n_{pd}-V$ 特性と、モータ 3 の $n_{pd}-V$ 特性と、要求されるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ とから、モータ 3 の絶縁性能（合格・不合格）を評価することができる。
- [0037] モータ 3 の部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ が条件式（1）を満足する場合には、ステップ S010 で *yes* と判定される。この場合、ツイストペア電線試料 2 の絶縁材料使用可能領域内（ハッチング部分）にインパルス電圧課電数 $N_{required}$ と部分放電発生頻度 n_{pd} の積（ $N_{required} \cdot n_{pd}$ ）が含まれる。そのため、ステップ S012 に進んでモータ 3 が合格であることを、例えば表示部 16 に表示する。
- [0038] 一方、条件式（1）を満足しない場合には、インパルス電圧課電数 N と部分放電発生頻度 n_{pd} の積（ $N_{required} \cdot n_{pd}$ ）がツイストペア電線試料 2 の絶縁材料使用可能領域内（ハッチング部分）を超える。この場合には、ステップ S013 に進んでモータ 3 が不合格であることを表示部 16 に表示する。
- [0039] ところで、モータ 3 に必要とされるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ が予め実績で得られている場合には、インパルス電圧課電回数 $N_{required}$ をユーザが入力することで、上述のようにモータ 3 の絶縁検査を行うことができる。しかし、インバータ駆動モータシステムでは、インバータ、ケーブル、モータの組み合わせやシステムの敷設条件に応じて、インバータサージ電圧の大きさやその発生頻度が変わることが知られている。

[0040] そのため、実績がないインバータ駆動モータシステムに対しては、上述のようにインパルス電圧課電回数 N_{required} に従来の実績値を使用して、モータ 3 の絶縁検査を行うことは妥当ではない。例えば、インバータスイッチング素子を高速化した場合には、従来の低速スイッチング素子を使ったインバータで得られているインパルス電圧課電回数 N_{required} の実績値を、そのまま使用することはできない。

[0041] そこで、インパルス電圧課電回数 N_{required} の実績値が無い場合には、ステップ S 0 0 8 で入力を促す表示が表示部 1 6 に表示されたならば、オペレータはモータ 3 に必要とされるモータ寿命 t_{inv} を入力する。モータ寿命 t_{inv} が入力されると、ステップ S 0 0 9 からステップ S 0 1 1 へと進み、モータ 3 に要求されるインパルス電圧課電回数 N_{required} を求める計算処理を行う。

[0042] 図 1 0 は、ステップ S 0 1 1 の詳細処理の一例を示したものであり、ここでは、モータ端子電圧波形シミュレーションを用いてインパルス電圧課電回数 N_{required} を計算する。モータ端子電圧波形をシミュレーションによって求める場合には、例えば、図 1 1 に示すようにインバータモデルをスイッチング素子で模擬し、ケーブルモデルを分布定数回路やはしご型等価回路でそれぞれ模擬し、モータをはしご型等価回路で模擬する。

[0043] ステップ S 0 1 1 1 では、モータ端子電圧波形シミュレーションを用いてモータ端子電圧波形を計算することにより、モータ端子の対地電圧波形の急峻電圧変化量 $\Delta V_{(\text{motor})}$ の大きさ（図 1 3 参照）と発生頻度 n_{inv} との関係（インバータサージ $n-\Delta V$ 特性：図 1 4 参照）を求める。この発生頻度 n_{inv} は単位時間（1 秒）あたりに $\Delta V_{(\text{motor})}$ が取得される回数を表す。計算結果は、図 1 のデータ収集記憶部 1 4 に記憶される。

[0044] なお、ここでは、インバータサージ $n-\Delta V$ 特性をモータ端子電圧波形シミュレーションにより求めるようにしたが、モータ端子電圧波形を実測することによって取得するようにしても良い。モータ端子電圧波形を実測で求める場合には、図 1 2 に示すように、試作したインバータ、ケーブル、モータを組み合わせモータ端子電圧波形を測定する。そして、その測定結果に

基づいて、図 14 に示すようなインバータサージ $n-\Delta V$ 特性を求める。

- [0045] 図 10 のステップ S0112 では、データ収集記憶部 14 に記憶されたインバータサージ $n-\Delta V$ 特性と、ユーザによって入力されたモータ寿命 t_{inv} とに基づいて、図 15 に示すようなインバータサージ $n \cdot t_{inv}-V$ 特性を計算する。モータ 3 としては、ステップ S0111 で計算された $n \cdot t_{inv}$ よりも多くの回数のインバータサージに耐える必要がある。そのため、モータ 3 に必要とされるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ は、次式 (2) を満たす必要がある。これは、図 15 のハッチングを施した領域に対応している。

$$N_{required} \geq n_{inv} \cdot t_{inv} \quad \cdots (2)$$

- [0046] ステップ S0113 では、式 (2) を満たす $N_{required}$ をモータ 3 に対して要求されるインパルス電圧課電回数として設定する。例えば、 $N_{required} = n_{inv} \cdot t_{inv}$ のように設定する。ステップ S0113 の処理が終了したならば、図 4 のステップ S010 へと進む。

- [0047] 図 16 は、図 4 に示した絶縁検査フローで行われる検査内容をまとめたものである。模擬試料であるツイストペア電線試料 2 に関しては、絶縁破壊を起こすまでインパルス電圧 21 を繰り返し印加する破壊試験と、非破壊試験である部分放電試験 ($n_{pd(twist-pair)}-V$ 特性の測定) を行い、モータ 3 に対しては、非破壊試験である部分放電試験 ($n_{pd(motor)}-V$ 特性の測定) のみを行うようにした。そして、これらの部分放電試験の相関関係を利用し、モータ 3 に関する積 $N_{required} \cdot n_{pd(motor)}$ がツイストペア電線試料 2 の絶縁材料使用可能領域 (ハッチング部分) に収まるかどうかを判断することで、製品であるモータ 3 を用いた課電寿命試験 (破壊試験) を実施しなくても、モータ 3 の寿命を担保することが可能となった。

- [0048] さらに、ステップ S011 で説明したように、本実施の形態の絶縁検査装置では、従来実績が無いインバータ駆動回転電機システムにおいてもインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ を適切に求めることができるため、さまざまなインバータ駆動回転電機システムに適用することができる。

- [0049] 本実施の形態の絶縁検査方法を使って絶縁検査したモータの寿命を、図 1

7の実施例に示す。また、本発明のインバータ駆動低圧回転電機の絶縁検査方法を使わずに、エナメル電線のV-N特性のみに基づいてモータを設計、製作した場合の寿命を比較例1に示す。さらに、部分放電の発生を許容しない絶縁設計、製作、検査を行ったモータの寿命を比較例2に示す。

[0050] 実施例に示すように、本発明の検査方法を使用した場合には、予定した寿命よりも短時間で破壊した試料は無かった。

[0051] 一方、比較例1ではエナメル電線のV-N特性のみに基づき、 N_{t-t} が予定した寿命 ($N_{required}$) よりも大きくなるように設計しているので、「 $n_{pd(motor)} > N_{t-t} \cdot n_{pd(twist-pair)} / N_{required}$ 」となるようなモータも存在することになる。しかし、本発明の検査方法を使用していないので、「 $n_{pd(motor)} > N_{t-t} \cdot n_{pd(twist-pair)} / N_{required}$ 」となるようなモータも検査を合格してしまい、不良品を見つけることができない。その結果、予定寿命よりも短時間で破壊する試料が発生した。

[0052] また、比較例2に示すように、従来の部分放電の発生を許容しない低圧回転電機の絶縁設計、検査方法を使ったモータでは予定寿命より短時間で破壊する試料は発生しなかった。しかし、部分放電の発生を許容しないために、モータに印加できる電圧を実施例に対し40%抑制して0.6Vo-pにしなければならず、インバータの急峻高電圧サージ電圧に対応することができなかった。

[0053] なお、図4に示した絶縁検査においては、ツイストペア電線試料2に関する図5～図7に示す特性を絶縁検査装置1で取得するような構成としたが、これらの特性を別個に取得しておいて予め記憶部4に記憶させておくようにしても良い。この場合、絶縁検査装置1にはモータ3のみが接続され、計測機能としては少なくともモータ3の $n_{pd}-V$ 特性が計測できれば良いことになる。また、複数の印加電圧Vに対して取得されたデータ (N_{t-t} 、 $n_{pd(twist-pair)}$)、すなわち図5～7に示すような特性曲線を記憶部4に記憶させておくことで、電圧仕様の異なる複数種類のモータを検査することができる。

[0054] また、上述した絶縁検査方法で説明した考え方は、インバータ駆動低圧回

転電機的设计方法にも適用することができる。すなわち、回転電機巻線と同一の絶縁電線を用いたツイストペア電線試料2に、インバータサージ電圧印加時に回転電機巻線ターン間に発生する電圧を模擬したインパルス電圧を印加して、ツイストペア電線試料2が絶縁破壊するまでのインパルス電圧課電回数 N_{t-t} を計測し、図5に示すようなV-N特性を求める。同様に、前記インパルス電圧を印加して、1回の印加あたりに発生する部分放電発生頻度 $n_{pd(twist-pair)}$ を計測し、図6に示すような n_{pd} -V特性を求める。そして、モータ3に要求されるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ に対して、巻線ターン間の部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ が式「 $n_{pd(motor)} \leq N_{t-t} \cdot n_{pd(twist-pair)} / N_{required}$ 」を満足するように設定する。

[0055] これにより、巻線ターン間で部分放電の発生を許容するインバータ駆動の回転電機を、特に700Vrms以下の低圧回転電機を提供することができる。また、例えば、部分放電に対して一定の耐性を有する耐部分放電エナメル電線を用いたモータの場合、従来は検査方法は適用できないので、ある程度余裕を持った絶縁設計をする傾向となりやすい。しかしながら、本実施の形態の絶縁検査方法を用いれば、過剰な絶縁性能を避けつつ要求寿命を満足するモータを設計することができる。それによって、モータの小型化を図ることも可能となる。

[0056] 上記では、種々の実施の形態および変形例を説明したが、各実施形態はそれぞれ単独に、あるいは組み合わせて用いても良い。それぞれの実施形態での効果を単独あるいは相乗して奏することができるからである。また、本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施の形態に何ら限定されるものではない。本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の態様も本発明の範囲内に含まれる。

請求の範囲

[請求項1] 回転電機巻線と同一の絶縁電線で形成され、電圧波高値Vにおいて絶縁破壊までのインパルス電圧課電回数がNのN－V特性を示す絶縁試料において、インバータサージ電圧印加時に回転電機巻線ターン間に発生する電圧を模擬した第1のインパルス電圧を印加したときの絶縁破壊までのインパルス電圧課電回数を N_{t-t} 、および1回の印加あたりに発生する部分放電の発生頻度を n_{pd} としたとき、

要求されるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ に対して、巻線ターン間の部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ が次式（A1）を満足するように設定されているインバータ駆動回転電機。

$$n_{pd(motor)} \leq N_{t-t} \cdot n_{pd} / N_{required} \quad \cdots (A1)$$

[請求項2] 請求項1に記載のインバータ駆動回転電機において、前記インパルス電圧課電回数 $N_{required}$ は、前記インバータサージ電圧の単位時間当たりの発生頻度を n_{inv} とし、前記回転電機に要求される運転時間を t_{inv} としたときに、次式（A2）を満足するように設定されることを特徴とするインバータ駆動回転電機。

$$N_{required} \geq n_{inv} \cdot t_{inv} \quad \cdots (A2)$$

[請求項3] 請求項1または2に記載のインバータ駆動回転電機において、定格電圧が700Vrms以下に設定されていることを特徴とするインバータ駆動回転電機。

[請求項4] 回転電機巻線と同一の絶縁電線で形成され、電圧波高値Vにおいて絶縁破壊までのインパルス電圧課電回数がNのN－V特性を示す絶縁試料に、インバータサージ電圧印加時に回転電機巻線ターン間に発生する電圧を模擬した第1のインパルス電圧を印加して、該絶縁試料が絶縁破壊するまでのインパルス電圧課電回数 N_{t-t} を計測する工程と、前記絶縁試料に前記第1のインパルス電圧を印加して、1回の印加あたりに発生する部分放電の発生頻度 n_{pd} を計測する工程と、

前記インバータサージ電圧を模擬した第2のインパルス電圧を回転電機に印加して、1回の印加あたりに発生する巻線ターン間の部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ を計測する工程と、

前記回転電機に要求されるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ に対して、前記部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ が次式 (A 1) を満足するときに、前記回転電機の絶縁性能を合格と判定するインバータ駆動回転電機用絶縁検査方法。

$$n_{pd(motor)} \leq N_{t-t} \cdot n_{pd} / N_{required} \quad \cdots (A 1)$$

[請求項5] 請求項4に記載のインバータ駆動回転電機用絶縁検査方法において

、

前記インパルス電圧課電回数 $N_{required}$ は、

前記インバータサージ電圧の単位時間当たりの発生頻度を n_{inv} とし、前記回転電機に要求される運転時間を t_{inv} としたときに、次式 (A 2) を満足するように設定されることを特徴とするインバータ駆動回転電機用絶縁検査方法。

$$N_{required} \geq n_{inv} \cdot t_{inv} \quad \cdots (A 2)$$

[請求項6] 回転電機巻線と同一の絶縁電線を用いた絶縁試料に、インバータサージ電圧印加時に回転電機巻線ターン間に発生する電圧を模擬した第1のインパルス電圧を印加したときに計測される、前記絶縁試料が絶縁破壊までのインパルス電圧課電回数を N_{t-t} と、1回の印加あたりに発生する部分放電の発生頻度 n_{pd} とが記憶されている記憶部と、

前記インバータサージ電圧を模擬した第2のインパルス電圧を前記回転電機に印加するインパルス電源と、

前記第2のインパルス電圧が印加された前記回転電機の巻線ターン間の部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ を計測する計測部と、

前記回転電機に要求されるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ に対して、前記部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ が次式 (A 1) を満足するときに、前記回転電機の絶縁性能を合格と判定する合否判定処理部と、を備

えたインバータ駆動回転電機用絶縁検査装置。

$$n_{pd(motor)} \leq N_{t-t} \cdot n_{pd} / N_{required} \quad \cdots (A1)$$

[請求項7]

インバータサージ電圧印加時に回転電機巻線ターン間に発生する電圧を模擬した第1のインパルス電圧、および前記インバータサージ電圧を模擬した第2のインパルス電圧のいずれかを選択的に出力することができるインパルス電源と、

回転電機巻線と同一の絶縁電線で形成され、電圧波高値Vにおいて絶縁破壊までのインパルス電圧課電回数がNのN-V特性を示す絶縁試料、または回転電機のいずれか一方を、前記インパルス電源に切り替え接続する切り替え機構と、

前記第1のインパルス電圧を前記絶縁試料に印加して得られる、前記インパルス電圧課電回数 N_{t-t} および1回の印加あたりに発生する部分放電の発生頻度 n_{pd} を計測する絶縁試料特性計測部と、

前記第2のインパルス電圧を前記回転電機に印加して得られる前記部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ を計測する回転電機特性計測部と、

前記回転電機に要求されるインパルス電圧課電回数 $N_{required}$ に対して、前記部分放電発生頻度 $n_{pd(motor)}$ が次式(A1)を満足するときに、前記回転電機の絶縁性能を合格と判定する合否判定処理部と、を備えたインバータ駆動回転電機用絶縁検査装置。

$$n_{pd(motor)} \leq N_{t-t} \cdot n_{pd} / N_{required} \quad \cdots (A1)$$

[請求項8]

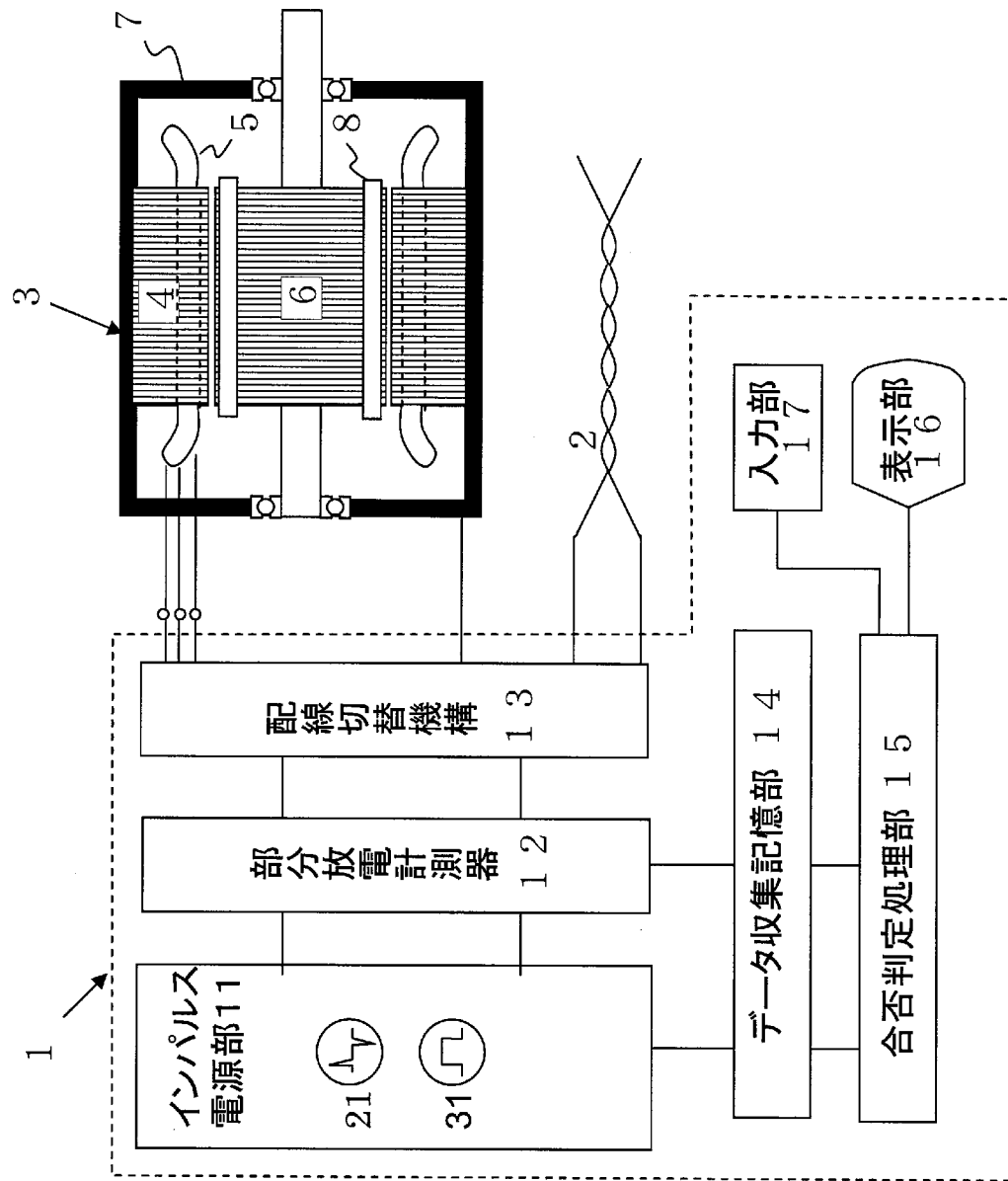
請求項6または7に記載のインバータ駆動回転電機用絶縁検査装置において、

前記インパルス電圧課電回数 $N_{required}$ は、

前記インバータサージ電圧の単位時間当たりの発生頻度を n_{inv} とし、前記回転電機に要求される運転時間を t_{inv} としたときに、次式(A2)を満足するように設定されることを特徴とするインバータ駆動回転電機用絶縁検査装置。

$$N_{required} \geq n_{inv} \cdot t_{inv} \quad \cdots (A2)$$

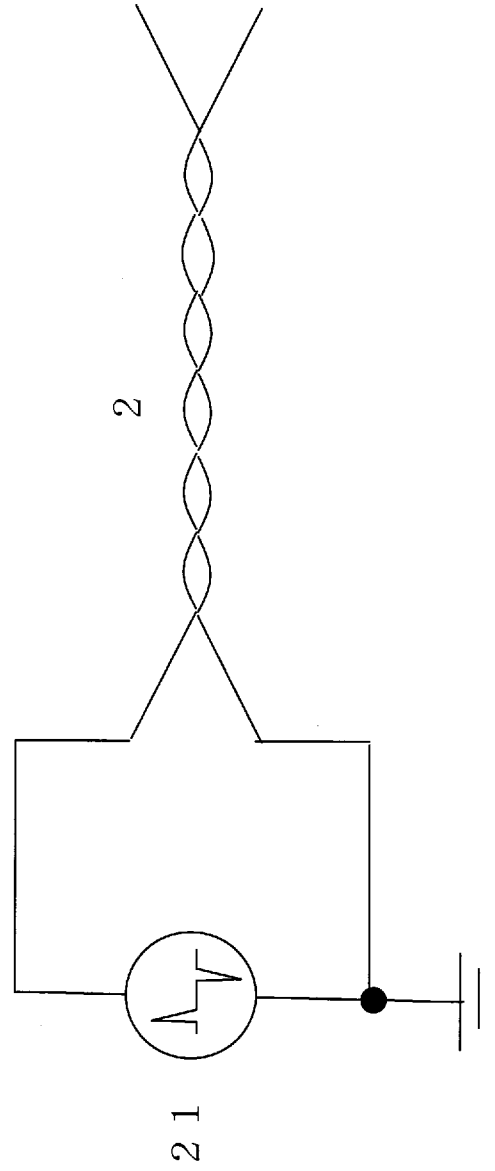
【図1】



【図1】

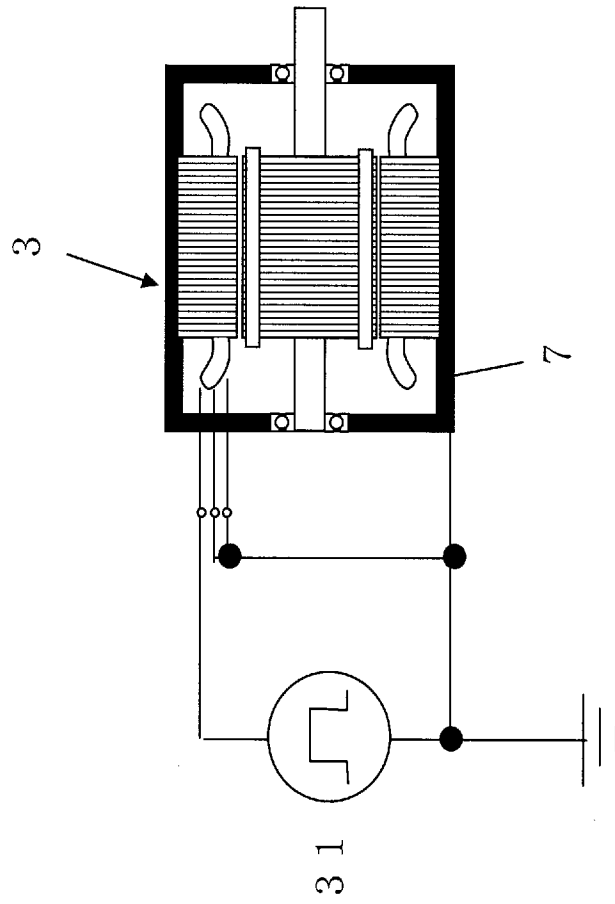
[図2]

【図2】



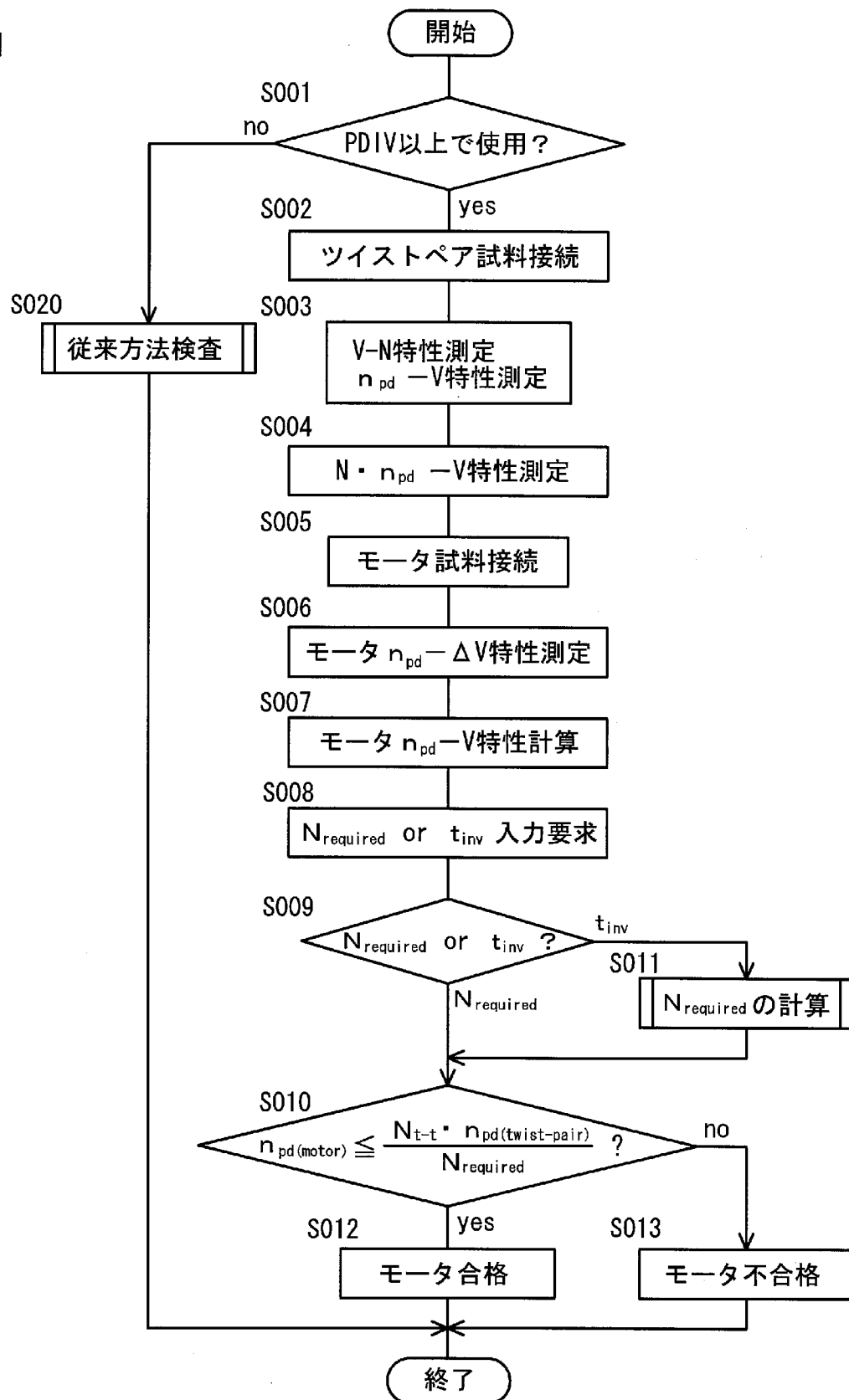
[図3]

【図3】

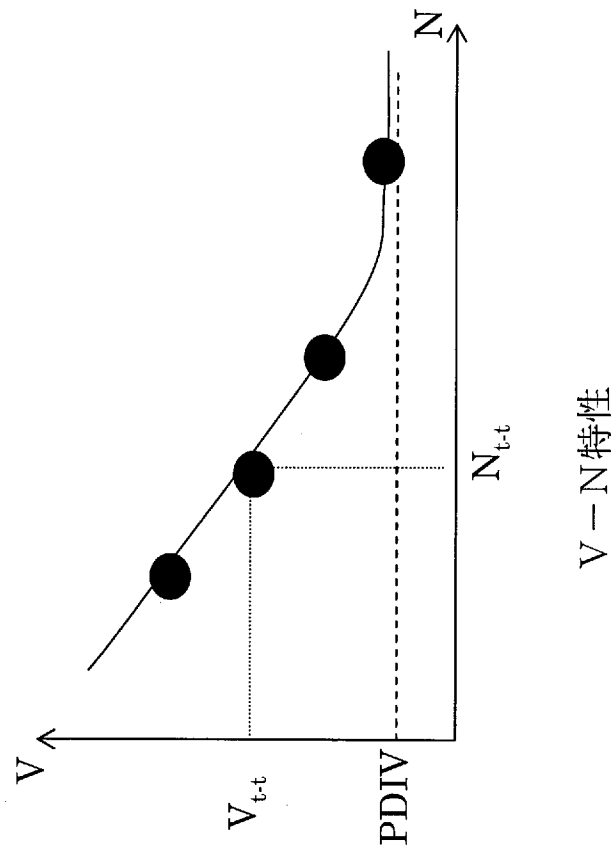


[図4]

【図4】



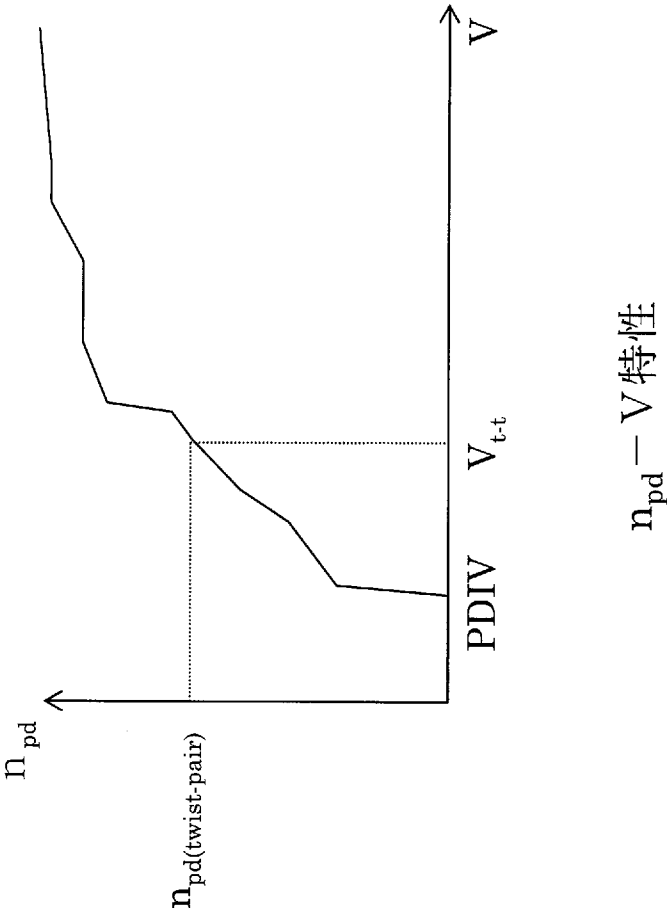
[図5]



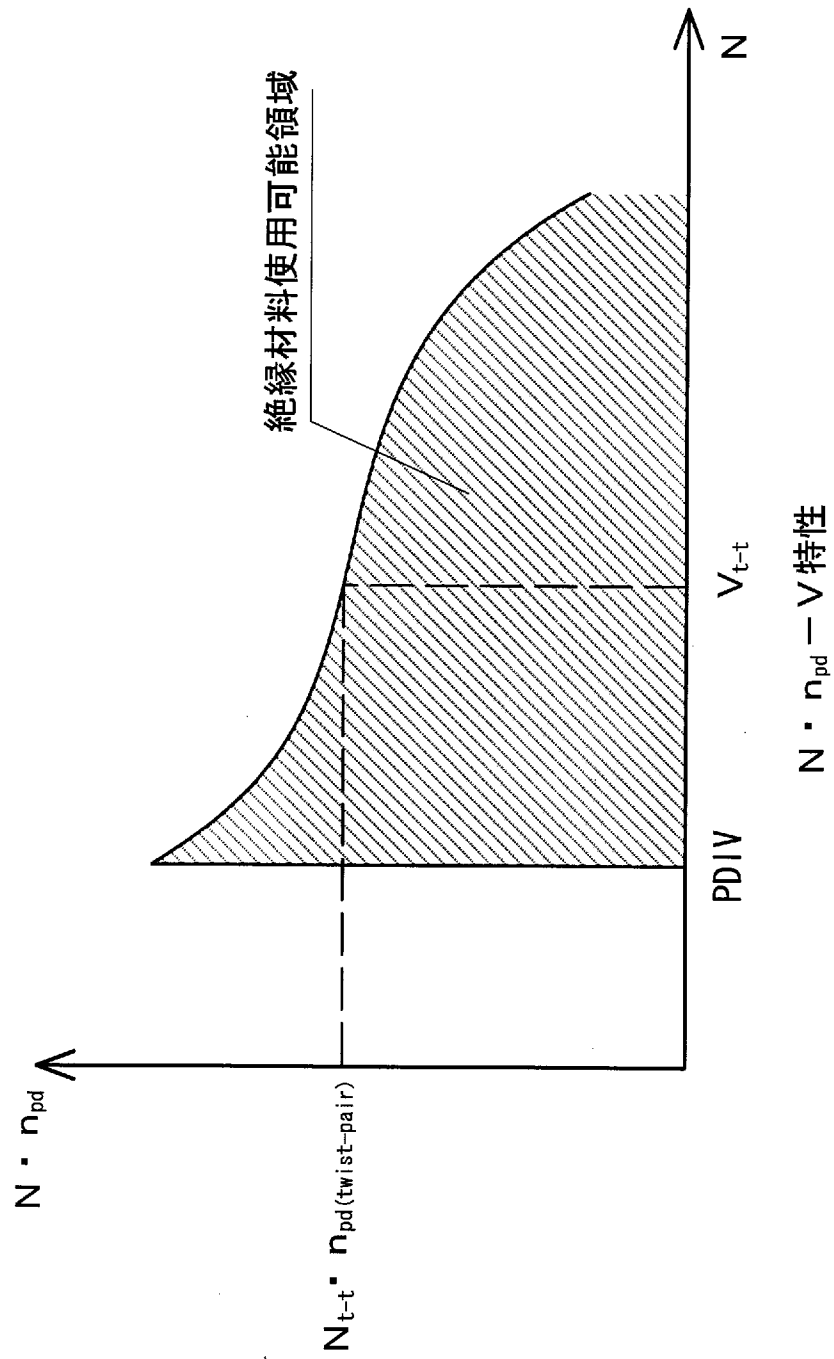
【図5】

[図6]

【図6】



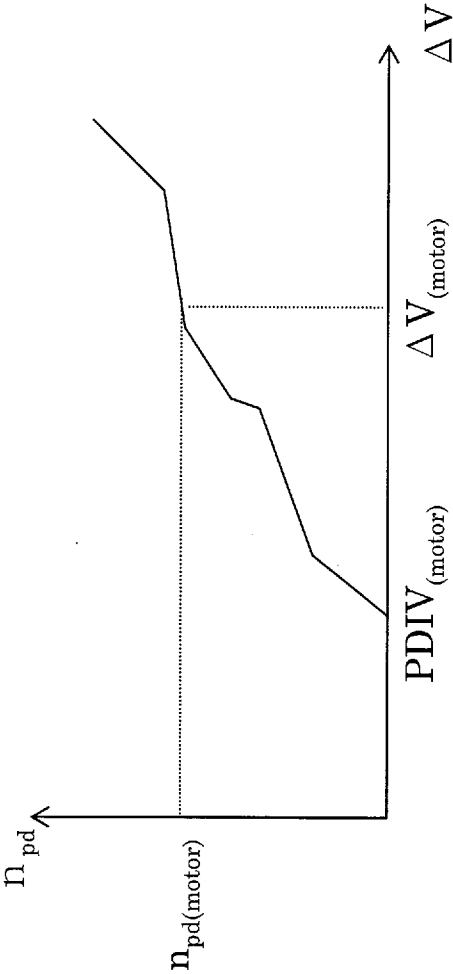
【図7】



【図7】

[図8]

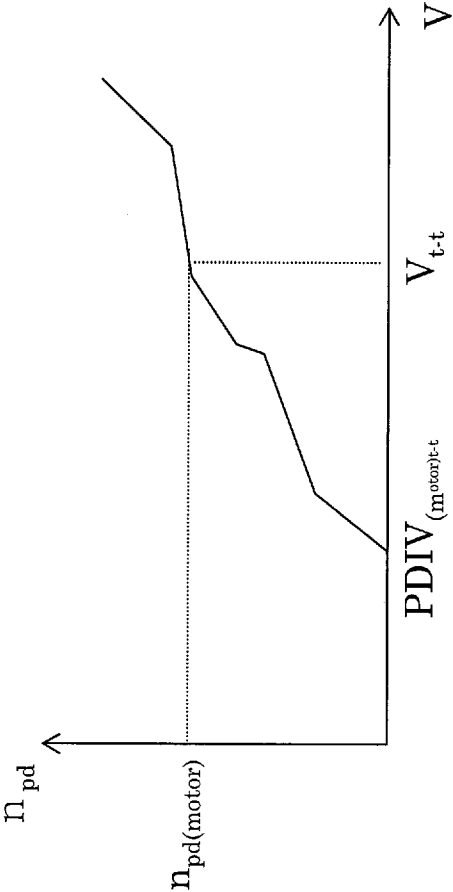
【図8】



モータ $n_{pd} - \Delta V$ 特性

[図9]

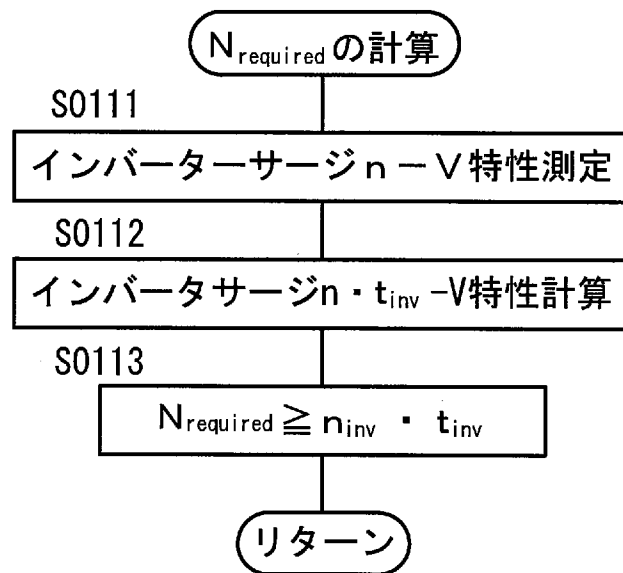
【図9】



モータ $n_{pd} - V$ 特性

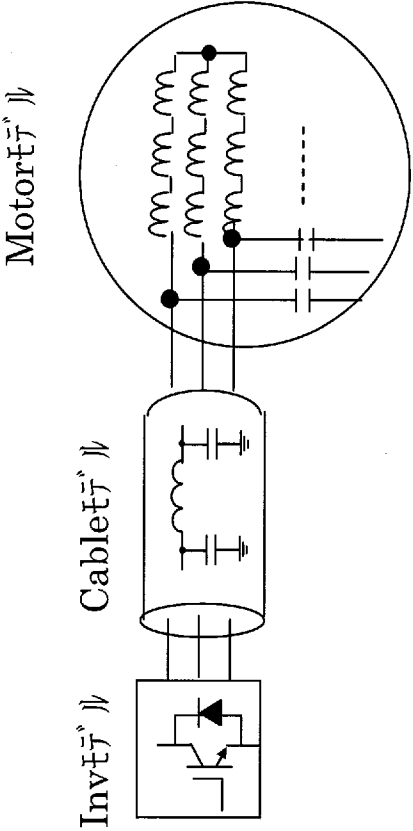
[図10]

【図 10】



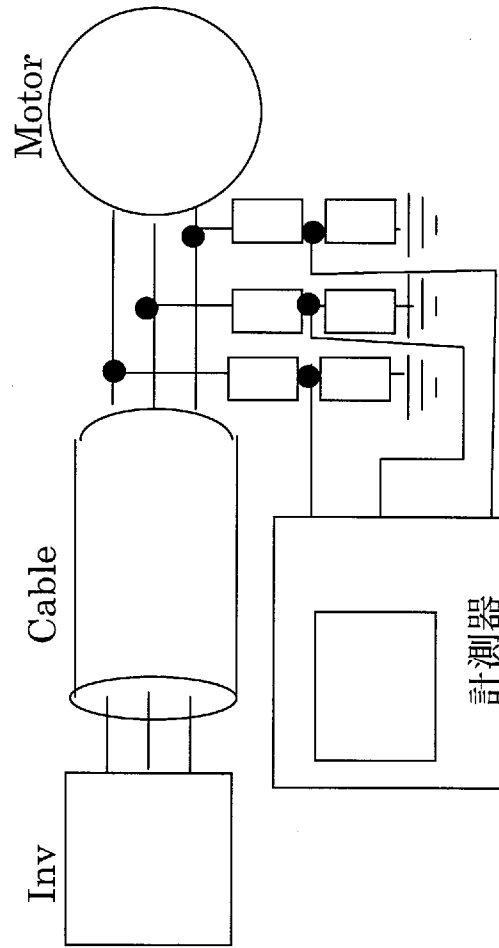
[図11]

【図11】



モータ端子電圧波形シミュレーション

【図12】

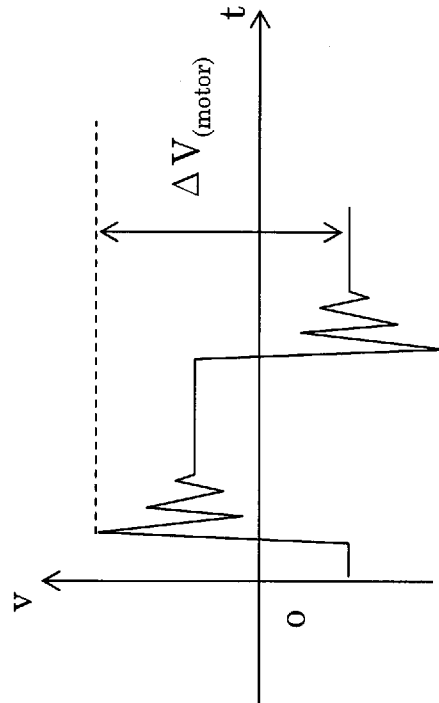


モータ端子電圧波形測定

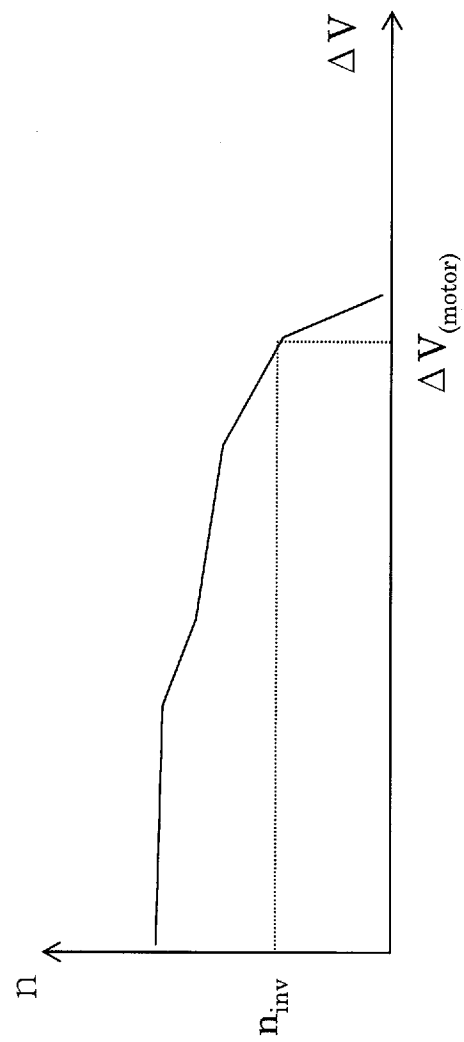
【図12】

[図13]

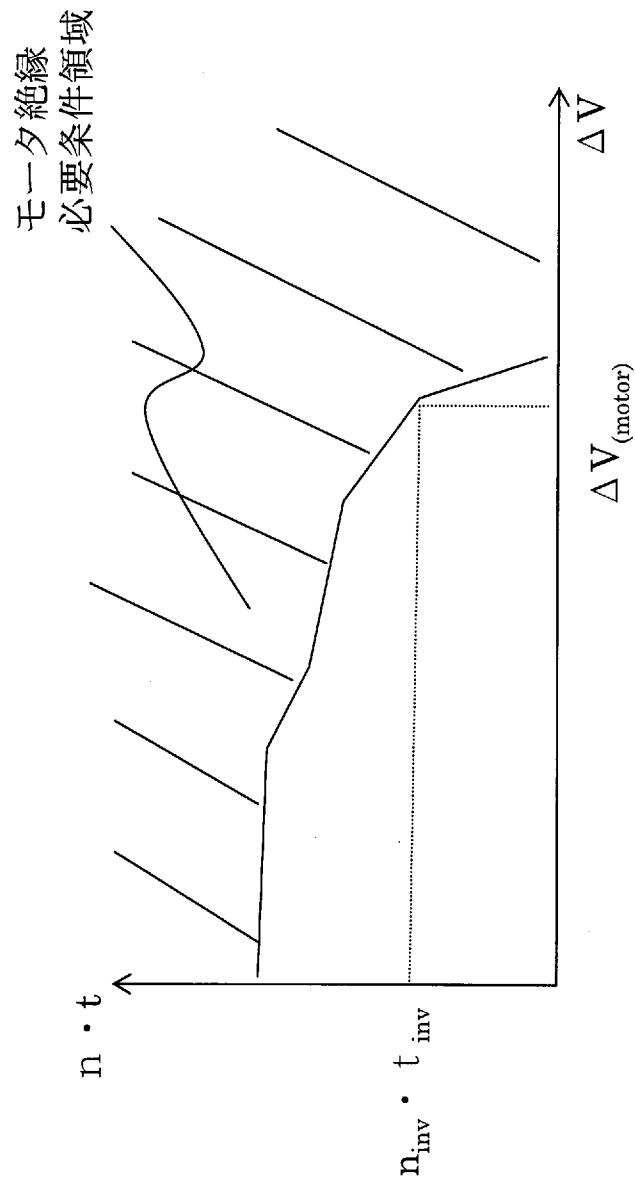
【図13】



[図14]

インバータサージ n - ΔV 特性

【図15】

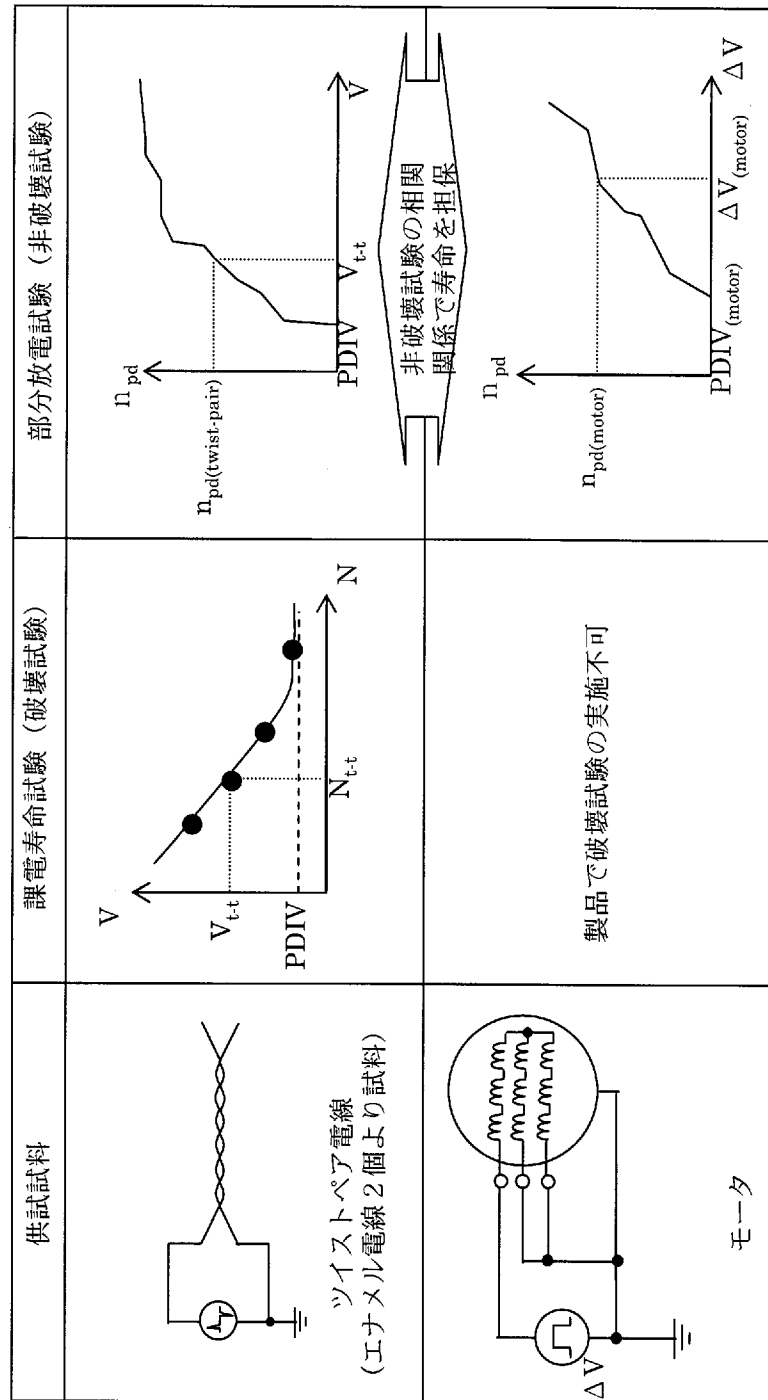


インバータサージ $n \cdot t_{inv} - \Delta V$ 特性

【図15】

【図16】

【図16】



[図17]

【図17】

	実施例	比較例 1	比較例 2
巻線ターニン間分担電圧	1.0 kVo-p	1.0 kVo-p	0.6 kVo-p
巻線ターニン間PDIV	0.75kVo-p		
予定寿命より短時間で破壊した試料数	0/10個	1/10個	0/10個

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/060166

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R31/06(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R31/02-31/06, 31/12-31/20, H02K3/00-3/28, 3/30-3/52, 15/00-15/02, 15/04-15/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2007-232517 A (Hitachi, Ltd.), 13 September 2007 (13.09.2007), paragraphs [0036] to [0038], [0048] to [0050], [0055], [0071] to [0081]; fig. 2, 7 (Family: none)	1, 2, 4, 6, 7 3, 5, 8
Y	JP 9-298853 A (Toshiba Corp.), 18 November 1997 (18.11.1997), paragraph [0031] (Family: none)	3
Y	JP 2004-45307 A (Hitachi, Ltd.), 12 February 2004 (12.02.2004), paragraph [0085] (Family: none)	5, 8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 July, 2011 (20.07.11)

Date of mailing of the international search report
02 August, 2011 (02.08.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/060166

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2-78920 A (Toshiba Corp.), 19 March 1990 (19.03.1990), page 1, lower right column, line 8 to page 2, upper left column, line 11 (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01R31/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01R31/02-31/06, 31/12-31/20
H02K 3/00- 3/28, 3/30- 3/52, 15/00-15/02, 15/04-15/16

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2007-232517 A（株式会社日立製作所）2007.09.13, 段落【0036】-【0038】、【0048】-【0050】、【0055】、【0071】-【0081】、 第2,7図（ファミリーなし）	1, 2, 4, 6, 7 3, 5, 8
Y	JP 9-298853 A（株式会社東芝）1997.11.18, 段落【0031】 （ファミリーなし）	3
Y	JP 2004-45307 A（株式会社日立製作所）2004.02.12, 段落【0085】 （ファミリーなし）	5, 8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 0 . 0 7 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

0 2 . 0 8 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

荒井 誠

2 S

4 8 4 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2-78920 A (株式会社東芝) 1990.03.19, 第1頁右下欄第8行ー第2頁左上欄第11行 (ファミリーなし)	1-8