

(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
2015 年 1 月 8 日(08.01.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/002153 A1

- (51) 国際特許分類:
H02K 11/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/067453
- (22) 国際出願日: 2014 年 6 月 30 日(30.06.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-139912 2013 年 7 月 3 日(03.07.2013) JP
- (71) 出願人: 日産自動車株式会社(NISSAN MOTOR CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2210023 神奈川県横浜市神奈川区宝町 2 番地 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 加藤 崇(KATO, Takashi); 〒2430123 神奈川県厚木市森の里青山 1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 後藤 政喜, 外(GOTO, Masaki et al.); 〒1000013 東京都千代田区霞が関三丁目 3 番 1 号 尚友会館 後藤特許事務所 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, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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.

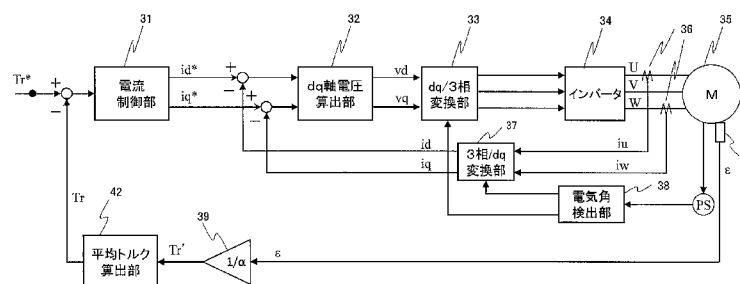
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, 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: TORQUE ESTIMATION DEVICE AND TORQUE ESTIMATION METHOD FOR ELECTRIC MOTOR

(54) 発明の名称: 電動機のトルク推定装置およびトルク推定方法



- 31 Current control unit
32 D-q-axis voltage computation unit
33 D-q/three-phase conversion unit
34 Inverter
37 Three-phase/d-q conversion unit
38 Electrical-angle detection unit
42 Average-torque computation unit

(57) Abstract: This torque estimation device for an electric motor detects a quantity that depends on deformation that occurs in stator teeth when the electric motor is being driven, said stator teeth being constituent elements of a stator. On the basis of the detected quantity that depends on deformation that occurs in the stator teeth, the torque estimation device estimates the amount of torque being produced by the electric motor.

(57) 要約: 電動機のトルク推定装置は、電動機の駆動時に、ステータの構成要素であるステータティースに生じる変形に依存する量を検出し、検出したステータティースに生じる変形に依存する量に基づいて、電動機のトルクを推定する。



WO 2015/002153 A1

明 細 書

発明の名称：電動機のトルク推定装置およびトルク推定方法

技術分野

[0001] 本発明は、電動機のトルクを推定する技術に関する。

背景技術

[0002] 電動機に流れる電流に基づいて、電動機のトルクを推定する方法が知られている（JP2009-261182A参照）。

発明の概要

[0003] しかしながら、電動機に流れる電流に基づいて電動機のトルクを推定するためには、正確な電動機モデルが必要となり、電動機モデルが正確でなければ、電動機のトルク推定精度が低下する。

[0004] 本発明は、電動機のトルクを精度良く推定することを目的とする。

[0005] 本発明の一態様における電動機のトルク推定装置は、電動機の駆動時に、ステータの構成要素であるステータティースに生じる変形に依存する量を検出し、検出したステータティースに生じる変形に依存する量に基づいて、電動機のトルクを推定する。

[0006] 本発明の実施形態については、添付された図面とともに以下に詳細に説明される。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は、電動機の回転軸方向における端面を示す図である。

[図2]図2は、電動機の制御ブロック図である。

[図3]図3は、電動機のトルクとステータティースの変形量との関係を示す図である。

[図4A]図4Aは、歪ゲージで検出されたステータティースの変形量 ε の時間変化を示す図である。

[図4B]図4Bは、図4Aに示すステータティースの変形量 ε に基づいて算出されたトルクの時間変化を示す図である。

[図5]図5は、電動機の駆動時に各ステータティースに作用する曲げ応力の時間変化を示す図である。

[図6]図6は、各ステータティースに作用する曲げ応力（変形量）に基づいて算出された電動機の推定トルクと、実際のトルクとを示す図である。

[図7]図7は、歪ゲージをステータティースの周方向端面に取り付けた状態を示す図である。

[図8A]図8Aは、歪ゲージをステータティースの幅方向中心線から所定量オフセットした位置に設けた状態を示す図である。

[図8B]図8Bは、図8Aのうち、歪ゲージが設けられている位置の拡大図である。

[図9]図9は、歪ゲージをステータティースの幅方向中心線上に配置した状態を示す図である。

[図10A]図10Aは、歪ゲージを用いて構成したホイートストンブリッジ回路を示す図である。

[図10B]図10Bは、歪ゲージおよび温度センサの配置位置の一例を示す図である。

[図11]図11は、温度センサによって検出された温度に基づいて歪信号 Δe を補正して、補正後の歪信号 Δe を出力する回路構成を示す図である。

[図12]図12は、歪ゲージおよび温度補償用ダミーゲージを用いて構成したホイートストンブリッジ回路を示す図である。

[図13]図13は、歪ゲージおよび温度補償用ダミーゲージの配置位置を示す図である。

[図14]図14は、温度補償用ダミーゲージを、歪ゲージの取り付け方向と略直交方向に取り付けた状態を示す図である。

[図15]図15は、歪ゲージおよびループコイルを用いて構成したホイートストンブリッジ回路を示す図である。

[図16A]図16Aは、ループコイルの設置場所の一例を示す図である。

[図16B]図16Bは、ループコイルの設置場所の別の例を示す図である。

[図17]図17は、ノイズキャンセル回路の設置場所のさらに別の例を示す図である。

[図18]図18は、第5の実施形態における電動機のトルク推定装置において、歪ゲージを含むホイーストンプリッジ回路を示す図である。

[図19]図19は、歪ゲージ3および歪ゲージ181～183の設置場所の一例を示す図である。

[図20]図20は、渦電流式ギャップセンサの設置場所の一例を示す図である。

[図21]図21は、ギャップセンサの設置場所の一例を示す図であり、電動機の回転軸と平行な面で切断した場合の断面図である。

[図22]図22は、ギャップセンサの設置場所の一例を示す図であり、ステータの回転軸方向端面を示す図である。

[図23]図23は、電動機が停止状態であって、かつ無励磁状態のときの歪ゲージの出力が0となるように補正する回路ブロック図である。

[図24]図24は、第8の実施形態における電動機のトルク推定装置が適用される電動機の制御ブロック図である。

[図25]図25は、電動機のトルク T_r と、2つのステータティースの相対変形によって生じる荷重 P との関係を示す図である。

[図26]図26は、推定トルクの別の算出方法を説明するためのブロック図である。

[図27]図27は、高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出する構成を説明するためのブロック図である。

[図28]図28は、1つのロードセルによって検出された荷重に基づいて電動機全体での推定トルク波形を求めてから、高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出する構成を説明するためのブロック図である。

[図29]図29は、ロードセルの配置場所の一例を示す図である。

[図30]図30は、ステータティースの温度が標準温度 T_0 から T_1 に変化した場合に、ステータコア内径が変化し、それにより、ロードセルによって検

出される荷重も変化する様子を説明するための図である。

[図31]図31は、温度センサによって検出されたステータティースの温度に基づいて、ロードセルによって検出される荷重を補正する回路ブロック図である。

[図32]図32は、上述したステータティースの温度変化の影響の無い推定トルクの算出方法を説明するためのブロック図である。

[図33]図33は、電動機が停止状態であって、かつ無励磁状態のときのロードセルの出力が0となるように補正する回路ブロック図である。

[図34]図34は、第9の実施形態における電動機のトルク推定装置が適用される電動機の制御ブロック図である。

[図35]図35は、加速度センサの取り付け位置を示す図である。

[図36]図36は、加速度センサによって検出される加速度に基づいて、電動機の推定トルクを算出する方法を説明するための図である。

[図37]図37は、電動機の回転数またはその倍数に同期した加速度成分のみを抽出する構成を示すブロック図である。

[図38]図38は、加速度センサによって検出された加速度を積分することによって、ステータティースの変位量を求め、求めた変位量から電動機のトルクを算出する構成を示すブロック図である。

[図39]図39は、高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出する構成を説明するためのブロック図である。

[図40]図40は、1つの加速度センサによって検出された加速度に基づいて、1つのステータティースの変位量を求め、求めた変位量に基づいて電動機全体での推定トルク波形を求めてから、高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出する構成を説明するためのブロック図である。

[図41]図41は、2つの加速度センサの検出値に基づいて、外乱を検出する構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0008] <第1の実施形態>

図 1 は、電動機の回転軸方向における端面を示す図である。この電動機（モータ）は、円環形のステータ 1 と、このステータ 1 と同軸的に配置された円柱形のロータ 2 とを備える。

[0009] ステータ 1 は、ステータコア 1 1 と、図示しない複数のコイルとを備える。複数のコイルは、ステータコア 1 1 に軸心 O を中心とした同一円周上に等角度間隔で形成されるスロット 1 2 に収設される。

[0010] ロータ 2 のロータコア 2 1 には、軸心 O を中心とした同一円周上に等角度間隔で複数の永久磁石 2 2 が埋め込まれている。

[0011] 図 1 の右側の拡大図に示すように、ステータコア 1 1 の回転軸方向における端面には、ステータティース 1 3 に生じる変形量（歪量）を検出するための歪ゲージ 3 が設けられている。

[0012] 電動機が力行または回生駆動している時には、ロータ 2 に磁気力 F が発生し、同時に、ステータ 1 には、ロータ 2 の磁気力 F の反力（径方向成分 F_1 、周方向成分 F_2 ）が作用する。この反力 F_1 、 F_2 により、ステータティース 1 3 には、径方向や周方向に曲げ変形や、圧縮・引っ張りに伴う変形が生じる。歪ゲージ 3 は、ステータティース 1 3 に生じるこれらの変形の変形量を検出する。

[0013] 図 2 は、電動機の制御ブロック図である。

[0014] 電流制御部 3 1 は、図示しないコントローラによって算出される電動機のトルク指令値 T_r^* と、後述する方法により求められるトルク推定値 T_r との差に基づいて、より具体的には、トルク指令値 T_r^* とトルク推定値 T_r との差が 0 となるように、d 軸電流指令値 i_d^* と q 軸電流指令値 i_q^* とを算出する。

[0015] d q 軸電圧算出部 3 2 は、d 軸電流指令値 i_d^* と d 軸電流 i_d との差に基づいて、d 軸電圧指令値 v_d を算出するとともに、q 軸電流指令値 i_q^* と q 軸電流 i_q との差に基づいて、q 軸電圧指令値 v_q を算出する。

[0016] d q / 3 相変換部 3 3 は、電気角検出部 3 8 によって検出されたロータの電気角に基づいて、d 軸電圧指令値 v_d および q 軸電圧指令値 v_q を、三相

電圧指令値 v_u 、 v_v 、 v_w に変換する。

- [0017] インバータ 34 は、三相電圧指令値 v_u 、 v_v 、 v_w に基づいて、図示しない直流電源の直流電圧を交流電圧 V_u 、 V_v 、 V_w に変換し、電動機 35 に供給する。
- [0018] 3 相／d q 変換部 37 は、電気角検出部 38 によって検出されたロータの電気角に基づいて、U 相電流 i_u 、V 相電流 i_v 、W 相電流 i_w を、d 軸電流 i_d および q 軸電流 i_q に変換する。U 相電流 i_u 、V 相電流 i_v 、W 相電流 i_w のうち、2 相の電流は、電流センサ 36 によって検出し、残り一相の電流は、電流センサ 36 によって検出された 2 相の電流から演算により求めることができる。
- [0019] トルク推定器 39 は、歪ゲージ 3 で検出されたステータティース 13 の変形量 ε に基づいて、電動機 35 のトルク T_r' を推定する。
- [0020] 図 3 は、電動機 35 のトルクとステータティース 13 の変形量との関係を示す図である。図 3 に示すように、電動機 35 のトルクとステータティース 13 の変形量とは比例関係にあり、その勾配は α である。従って、トルク推定器 39 は、歪ゲージ 3 で検出されたステータティース 13 の変形量 ε に、 $1/\alpha$ を乗算することにより、電動機 35 のトルクを推定する。
- [0021] ただし、一定値のトルクが出力されている場合でも、ステータティース 13 の変形量 ε に基づいて算出されるトルクは時間に応じて変化する。図 4 A は、歪ゲージ 3 で検出されたステータティース 13 の変形量 ε の時間変化を示す図である。図 4 B は、図 4 A に示すステータティース 13 の変形量 ε に基づいて算出されたトルクの時間変化を示す図である。
- [0022] このため、図 2 に示す平均トルク算出部 42 は、所定時間内にトルク推定器 39 によって推定された複数のトルク T_r' の平均値 T_r を算出し、算出したトルク平均値 T_r を電動機 35 の推定トルクとする。なお、平均値 T_r を算出する際に用いられる所定時間内の複数のトルク T_r' とは、例えば、図 4 B に示す周期的に変化するトルクのうち、1 周期の範囲内のトルクである。

- [0023] 平均トルク算出部42で算出された推定トルク T_r は、トルクフィードバック制御に用いられる。トルクフィードバック制御は、磁石の温度変化やその他の要因によって、トルク指令値と実トルクとの間に生じるずれを補正するために行われる。
- [0024] なお、平均トルク算出部42で算出された推定トルク T_r を、電動機の出力トルクを監視するために用いることもできる。例えば、平均トルク算出部42で算出された推定トルク T_r がトルク指令値 T_r^* に対して大きく乖離した場合には、電動機に故障が生じたと判定することができる。
- [0025] 図5は、電動機の駆動時に各ステータティースに作用する曲げ応力の時間変化を示す図である。図5において、系列1～系列12と記載されているのは、1番～12番目までのティースに作用する曲げ応力を示している。図5から分かるように、各ティースに作用する曲げ応力は同じような形状の波形を示し、 $(1 / 1 \text{ 電気角あたりのスロット数}) \times 360 \text{ 度}$ ずつ位相がずれていることが分かる。
- [0026] 図6は、各ステータティースに作用する曲げ応力（変形量）に基づいて算出された電動機35の推定トルクと、実際のトルクとを示す図である。図6に示すように、ステータティース13の変形量から求めた推定トルクは、実際のトルクと、実用上問題ないレベルで一致している。
- [0027] ここで、歪ゲージ3の取り付け位置について説明する。図7は、歪ゲージ3をステータティース13の周方向端面に取り付けた状態を示す図である。モータ駆動時には、ステータティース13は、周方向（図7の矢印の方向）に変形する。この周方向の変形を精度良く検出するために、歪ゲージ3を、ステータティース13の周方向端面であって、ステータティース13とバックヨーク14との境界付近（ステータティース13の付け根付近）に配置する。この位置は、ステータティース13を梁と見立てたときに、曲げ発生時の歪が最も大きくなる位置であるため、この位置に歪ゲージ3を配置することにより、SN比を大きくとることができ、歪量を精度良く検出することができる。なお、図7に示す位置に歪ゲージ3を取り付ける場合には、ステー

タティース 13 にコイルを巻き付ける前に配置する必要がある。

[0028] ステータティース 13 の周方向の変形を検出するために、歪ゲージ 3 を、ステータコア 11 の回転軸方向における端面であって、ステータティース 13 とバックヨーク 14 との境界付近（ステータティース 13 の付け根付近）に配置してもよい。図 8 A は、歪ゲージ 3 を、ステータコア 11 の回転軸方向における端面であって、ステータティース 13 とバックヨーク 14 との境界付近に配置した状態を示す図である。図 8 B は、図 8 A のうち、歪ゲージ 3 が設けられている位置の拡大図である。

[0029] ここで、図 8 B の矢印 80 の方向にステータティース 13 が変形した場合に、ステータティース 13 の幅方向中心線 81 に対する応力分布を、点線 82 で囲った部分に模式的に示す。点線 82 で囲った部分のうち、左側は圧縮応力、右側は引っ張り応力をそれぞれ示している。この応力分布から明らかのように、歪ゲージ 3 をステータティース 13 の幅方向中心線 81 上に配置すると、曲げ歪を精度良く検出できなくなる。従って、歪ゲージ 3 は、図 8 B に示すように、ステータティース 13 の幅方向中心線 81 から所定量オフセットした位置に設ける。

[0030] ステータティース 13 に電磁力が作用する時、一般に周方向の電磁力 91 より径方向の電磁力 92 の方が大きいので、歪ゲージ 3 は、周方向の歪より径方向の歪を検出することが重要となる。この場合、歪ゲージ 3 は、ステータティース 13 の幅方向中心線から所定範囲内、特に、幅方向中心線上に配置することが好ましい。図 9 は、歪ゲージ 3 をステータティース 13 の幅方向中心線 93 上に配置した状態を示す図である。

[0031] 歪ゲージ 3 の配置位置は、ステータスロットの最外径の位置 94 と略同等の位置、または、最外径の位置 94 よりも所定の距離範囲内で、ロータ 2 とのギャップ側寄り（図 9 の矢印 95 の方向）の位置とする（図 9 参照）。最外径の位置 94 よりも大幅に外径側に歪ゲージ 3 を配置すると、ステータティース 13 の歪を正確に検出できない可能性がある。逆に、ロータ 2 とのギャップ側に近すぎる位置は、ステータティース 13 の歪量が小さいため、S

N比が低下する可能性がある。従って、歪ゲージ3は、ステータスロットの最外径の位置94と略同等の位置か、もしくは、最外径の位置94よりも所定の距離範囲内で、ロータ2とのギャップ側寄りの位置とするのが望ましい。

[0032] 以上、第1の実施形態における電動機のトルク推定装置によれば、電動機の駆動時に、ステータの構成要素であるステータティース13に生じる変形に依存する量を検出し、検出したステータティース13に生じる変形に依存する量に基づいて、電動機35のトルクを推定する。これにより、正確な電動機モデルを必要とせずに、電動機のトルクを精度良く推定することができる。

[0033] ステータティース13の変形量は、歪ゲージ3を用いて検出し、特に、ステータティースの径方向および周方向のうちの少なくとも一方向の変形量を検出する。これにより、ステータティース13の変形量を求めるために、歪ゲージ3をステータ1に設ければよいので、ロータ側にセンサを設ける構成に比べて小型化、低コスト化が可能となる。

[0034] 歪ゲージ3をステータ1の周方向におけるステータティース13の側面に配置することにより、電動機の駆動時におけるステータティース3の曲げによる歪を精度良く検出することができる。

[0035] 歪ゲージ3は、ステータ1の回転軸方向におけるステータティース13の端面であって、ステータティース13の幅方向中心線からオフセットした位置に配置してもよい。この方法によれば、歪ゲージ3の取り付けが容易であり、コイル巻線スペースも阻害しない。また、ステータティース13の曲げ歪を精度良く検出することができる。

[0036] 歪ゲージ3は、ステータ1の回転軸方向におけるステータティース13の端面であって、ステータティース13の幅方向中心線から所定範囲内に配置してもよい。この方法によれば、歪ゲージ3の取り付けが容易であり、コイル巻線スペースも阻害しない。また、トルク成分となる周方向の力に対して数倍～数十倍大きい径方向の力による歪を検出することができるので、ステ

ータティース 13 の歪を精度良く検出することによって、電動機 35 のトルクを精度良く推定することができる。

[0037] 歪ゲージ 3 は、ステータ 1 のスロットの最外径の位置、またはステータのスロットの最外径よりも所定の距離範囲内であってかつロータ 2 とのギャップ側寄りの位置に配置してもよい。最外径の位置よりも大幅に外径側に歪ゲージ 3 を配置すると、ステータティース 13 の歪を正確に検出できない可能性があり、逆に、ロータ 2 とのギャップ側に近すぎる位置は、ステータティース 13 の歪量が小さいため、S/N 比が低下する可能性がある。しかし、上述した位置に歪ゲージ 3 を配置することにより、ステータティース 13 の歪量を精度良く検出することができる。

[0038] 図 4 A、図 4 B や図 5 では、ステータティースの変形量や、ステータティースに作用する応力を時間との関係で示したが、モータの回転数が変わると周期も変化するため、回転角度との関係で示してもよい。すなわち、縦軸を、ステータティースの変形量やステータティースに作用する応力とし、横軸を回転角度としてもよい。

[0039] <第 2 の実施形態>

モータの駆動状態では、ステータコア 11 の温度が変化することにより、歪ゲージ 3 の温度が変化するため、歪ゲージ 3 によって検出されるステータティース 13 の変形量も、歪ゲージ 3 の温度に応じて変化してしまう。従って、第 2 の実施形態における電動機のトルク推定装置では、歪ゲージ 3 を用いて、ホイートストンブリッジ回路を構成するとともに、歪ゲージ 3 の温度に基づいて、歪ゲージ 3 で検出される変形量を補正する。

[0040] 図 10 A は、歪ゲージ 3 を用いて構成したホイートストンブリッジ回路を示す図である。ホイートストンブリッジ回路は、歪ゲージ 3 と、歪ゲージ 3 と同一種類の歪ゲージ 101 ~ 103 と、電源 104 により構成される。ただし、歪ゲージ 3 と同一種類の歪ゲージ 101 ~ 103 の代わりに、歪ゲージ 3 と抵抗値が同じ抵抗器を用いてもよい。

[0041] 歪ゲージ 3 および歪ゲージ 101 ~ 103 の抵抗値が全て等しく、電源 1

04の電圧値をEとすると、ホイートストンブリッジ回路の出力電圧 Δe は、次式(1)により表される。ただし、式(1)中の K_s はゲージ率であり、 ε は、歪ゲージ3で検出される変形量である。

[数1]

$$\Delta e = 1/4 \cdot K_s \cdot \varepsilon \cdot E \quad \dots (1)$$

[0042] 式(1)に示すように、ホイートストンブリッジ回路の出力電圧 Δe は、ステータティース13の変形量に比例した電圧となる。なお、以下では、ステータティース13の変形量に比例した電圧である出力電圧 Δe を歪信号と呼ぶ。

[0043] 温度センサ105は、歪ゲージ3の近傍に設けられ、歪ゲージ3の温度を検出する。図10Bは、歪ゲージ3および温度センサ105の配置位置の一例を示す図である。歪ゲージ3および温度センサ105は、ステータ1およびロータ2の外周を覆うモータケース（不図示）内に設けられ、3つの歪ゲージ101～103は、モータケースの外に設けられる。

[0044] 図11は、温度センサ105によって検出された温度に基づいて歪信号 Δe を補正して、補正後の歪信号 Δe を出力する回路構成を示す図である。

[0045] 増幅器111によって増幅された歪信号 Δe は、ローパスフィルタ112によって、高周波ノイズ成分がカットされる。温度センサ105によって検出される歪ゲージ3の温度信号は、ローパスフィルタ113によって高周波ノイズ成分がカットされる。

[0046] 温度補正部114は、ローパスフィルタ112から入力される歪信号 Δe を、ローパスフィルタ113から入力される温度信号に基づいて補正し、補正後の歪信号 Δe を出力する。この温度補正後の歪信号 Δe に基づいて、ステータティース13の変形量および電動機35のトルクを精度良く推定することができる。

[0047] 以上、第2の実施形態における電動機のトルク推定装置によれば、ステータティースの変形量を検出するための歪ゲージ3と3つの抵抗器101～1

03を用いてホイートストンブリッジ回路を構成し、歪ゲージ3の温度に基づいて、ホイートストンブリッジ回路の出力を補正する。これにより、歪ゲージ3の温度変化に起因してステータティース13の変形量の検出値が変化してしまうのを防いで、ステータティース13の変形量および電動機35のトルクを精度良く求めることができる。

[0048] <第3の実施形態>

第2の実施形態における電動機のトルク推定装置では、歪ゲージ3の温度に基づいて、歪ゲージ3の検出変形量を補正した。第3の実施形態における電動機のトルク推定装置では、歪ゲージ3の近傍に、温度補償用のダミーゲージを設けることによって、歪ゲージ3の温度変化に伴う歪ゲージ3の検出変形量の変化を補償する。

[0049] 図12は、歪ゲージ3および温度補償用ダミーゲージ121を用いて構成したホイートストンブリッジ回路を示す図である。歪ゲージ3および温度補償用ダミーゲージ121は直列に接続され、歪ゲージ122および歪ゲージ123は直列に接続されている。歪ゲージ3および温度補償用ダミーゲージ121は、略同一の温度環境となる位置に配置し、歪ゲージ122および歪ゲージ123は、略同一の温度環境となる位置に配置する。歪ゲージ3、温度補償用ダミーゲージ121、および、歪ゲージ122、123の抵抗値は全て等しいものとする。ただし、歪ゲージ122、123の代わりに、歪ゲージ3および温度補償用ダミーゲージ121と抵抗値が同じ抵抗器を用いてもよい。

[0050] 図13は、歪ゲージ3および温度補償用ダミーゲージ121の配置位置を示す図である。図13に示すように、温度補償用ダミーゲージ121は、歪ゲージ3の近傍であって、かつ、歪ゲージ3が設けられている位置に比べて歪が小さい位置に配置する。歪ゲージ3が設けられている位置に比べて歪が小さい位置とは、例えば、ステータコア11のバックヨーク14の位置や、ステータティース13の幅方向中心線近傍の位置である。

[0051] ここで、歪の影響を小さくするために、温度補償用ダミーゲージ121を

、熱抵抗が小さく、かつ剛性が低い弾性の接着剤を用いて、ステータコア 11に取り付けるようにしてもよい。

[0052] 温度補償用ダミーゲージ 121 が受ける歪の影響を小さくするために、温度補償用ダミーゲージ 121 の取り付け方向を、歪ゲージ 3 の取り付け方向と略直交方向としてもよい。図 14 は、温度補償用ダミーゲージ 121 を、歪ゲージ 3 の取り付け方向と略直交方向に取り付けた状態を示す図である。図 14 に示す例では、歪ゲージ 3 をステータティース 13 の幅方向中心線からオフセットさせた位置に配置し、温度補償用ダミーゲージ 121 をステータティース 13 の幅方向中心線近傍に配置している。ティース幅方向の圧縮・引っ張り歪は、曲げ歪に対して相当小さいので、温度補償用ダミーゲージ 121 を歪ゲージ 3 に対して略直交に取り付けることにより、より外乱歪の影響を受けにくくなる。

[0053] 以上、第 3 の実施形態における電動機のトルク推定装置によれば、ステータティースの変形量を検出するための歪ゲージ 3、温度補償用ダミーゲージ 121、および、2つの抵抗器 122、123 を用いてホイートストンブリッジ回路を構成し、歪ゲージ 3 および温度補償用ダミーゲージ 121 はそれぞれ、同一の温度環境下に配置され、2つの抵抗器 122、123 はそれぞれ同一の温度環境下に配置されている。温度補償用ダミーゲージ 121 によって、温度変化による歪ゲージ 3 の抵抗率変化の影響を相殺できるので、歪ゲージ 3 の温度変化に起因してステータティース 13 の変形量の検出値が変化してしまうのを防いで、ステータティース 13 の変形量および電動機 35 のトルクを精度良く求めることができる。

[0054] 温度補償用ダミーゲージ 121 は、ステータコア 11 のバックヨークの位置、または、ステータティース 13 の幅方向中心線から所定範囲内の位置に設けることによって、温度補償用ダミーゲージ 121 が歪の影響を受けにくくすることができる。

[0055] また、温度補償用ダミーゲージ 121 を、歪ゲージ 3 に対して略直交方向に配置することによっても、歪の影響を受けにくくすることができる。

[0056] <第4の実施形態>

第4の実施形態における電動機のトルク推定装置では、歪ゲージ3に交番磁界が作用した際に生じる誘起起電力と略同等の誘導起電力が発生し得るノイズキャンセル回路を設け、歪ゲージ3とノイズキャンセル回路で生じる誘導起電力の向きが逆となるように結線して、誘導起電力によるノイズをキャンセルする。

[0057] 図15は、歪ゲージ3およびループコイル151を用いて構成したホイートストンブリッジ回路を示す図である。ノイズキャンセル回路を構成するループコイル151には、歪ゲージ3に生じる誘導起電力と略同等の誘導起電力が発生し得る。上述したように、ループコイル151は、歪ゲージ3に生じる誘導起電力とループコイル151に生じる誘導起電力の向きとが逆になるように結線する。他の3つの歪ゲート（もしくは抵抗器）152～154の抵抗値はそれぞれ、歪ゲート3の抵抗値とループコイル151の抵抗値とを加算した値とする。

[0058] なお、ノイズキャンセル回路として、ループコイル151の代わりに、歪ゲート3と同じ歪ゲートを設けてもよい。

[0059] 図16Aは、ループコイル151の設置場所の一例を示す図である。図16Aでは、歪ゲート3をステータティース13の幅方向中心線から所定量オフセットした位置に設け、ループコイル151を、ステータティース13の幅方向中心線に対して、歪ゲート3と対称な位置に設ける例を示している。

[0060] 図16Bは、ループコイル151の設置場所の別の例を示す図である。図16Bに示す例では、ステータティース13に取り付けられた歪ゲート3の上に重ねてループコイル151が設けられている。ループコイル151は、歪ゲート3との間で歪が伝わらないように、歪ゲート3との間に空隙を設けた状態で設置するか、または、剛性の小さい部材を歪ゲート3との間に挟んで設置する。ループコイル151の大きさは、歪ゲート3の大きさ以下であることが望ましい。図16Bに示すように、ループコイル151を歪ゲート3に対して磁界ノイズ方向（回転軸の軸方向）に重ねて配置することにより

、一つの歪ゲージ取り付け面積で、ノイズキャンセル回路も配置することができる。

[0061] 図17は、ノイズキャンセル回路の設置場所のさらに別の例を示す図である。この例では、歪ゲージ171がノイズキャンセル回路を構成する。図17において、ステータティース13Aとステータティース13Bは、モータ回転駆動時の歪状態および電磁環境が略同等であり、歪ゲージ3はステータティース13Aに、歪ゲージ171はステータティース13Bに配置する。歪ゲージ3と歪ゲージ171で生じる誘導起電力の向きが逆となるように結線するのは同じである。

[0062] なお、コイルピッチの異なるステータであっても、モータ回転駆動時の歪状態および電磁環境が略同等なステータティースに、歪ゲージ3と、ノイズキャンセル回路を構成する歪ゲージ171を配置すればよい。

[0063] 以上、第4の実施形態における電動機のトルク推定装置によれば、ステータティースの変形量を検出するための歪ゲージ3と3つの抵抗器を用いてホイートストンブリッジ回路を構成するとともに、歪ゲージ3と直列に接続され、歪ゲージ3に作用する交番磁界と略同等の交番磁界が作用した際に、歪ゲージ3に発生する誘導起電力と略同一の誘導起電力が発生するノイズキャンセル回路（ループ回路151）を備える。ノイズキャンセル回路に生じる誘導起電力と歪ゲージ3に生じる誘導起電力とが逆相になるように、ノイズキャンセル回路と歪ゲージ3とを接続する。これにより、歪ゲージ3に発生する誘導起電力をキャンセルすることができるので、電磁ノイズ環境下においても、精度良く歪を検出し、電動機35のトルクを精度良く推定することができる。

[0064] ノイズキャンセル回路（ループ回路151）を歪ゲージ3と重ねて配置することにより、一つの歪ゲージ取り付け面積で、ノイズキャンセル回路も配置することができ、省スペース化を実現することができる。

[0065] ノイズキャンセル回路（歪ゲージ171）を、歪ゲージ3が設けられているステータティース13Aと異なるステータティース13Bであって、歪ゲ

ージ3が設けられているステータティース13Aと電磁環境が同じステータティース13Bに配置すれば、図16Bのような積層構造にする必要がなく、汎用の歪ゲージを利用可能であり、コストを低減することができる。

[0066] <第5の実施形態>

図18は、第5の実施形態における電動機のトルク推定装置において、歪ゲージ3を含むホイートストンブリッジ回路を示す図である。歪ゲージ3と歪ゲージ181とは直列に接続されており、歪ゲージ182と歪ゲージ183とは直列に接続されている。歪ゲージ3および歪ゲージ181～183の抵抗値は同じである。

[0067] 図19は、歪ゲージ3および歪ゲージ181～183の設置場所の一例を示す図である。歪ゲージ3、および歪ゲージ3と直列に接続される歪ゲージ181は、同一のステータティースに配置され、歪ゲージ182、および歪ゲージ182と直列に接続される歪ゲージ183は、歪ゲージ3および歪ゲージ181が設置されるステータティースと、モータ回転駆動時の歪状態および電磁環境が略同等のステータティースに配置される。

[0068] 図19に示す例では、極対数が3、ステータティース数が36なので、1極分で6ティース離れた位置のステータティースがモータ回転駆動時の歪状態および電磁環境が略同等となる。従って、ステータティース13Cとステータティース13Dは、モータ回転駆動時の歪状態および電磁環境が略同等であり、歪ゲージ3、および歪ゲージ181は、ステータティース13Cに配置され、歪ゲージ182、および歪ゲージ183は、ステータティース13Dに配置される。

[0069] より具体的には、ステータティース13Cの幅方向中心線に対して対称に、歪ゲージ3および歪ゲージ181を配置し、ステータティース13Dの幅方向中心線に対して対称に、歪ゲージ182および歪ゲージ183を配置する。これにより、歪ゲージ3に生じる歪と、歪ゲージ181に生じる歪とは、大きさが同じで向きが逆になり、歪ゲージ182に生じる歪と、歪ゲージ183に生じる歪とは、大きさが同じで向きが逆になる。

[0070] このような構成により、1つのステータティースで逆相の歪を検出することができ、2つのティースに設けられた4つの歪ゲージによりホイートストンブリッジ回路を構成するので、歪出力が単一の歪ゲージの場合に比べて、4倍の出力を得ることができ、S/N比を高くとることができる。また、歪ゲージ3および歪ゲージ181をステータティース13Cの幅方向中心線に対して対称に配置するとともに、歪ゲージ182および歪ゲージ183をステータティース13Dの幅方向中心線に対して対称に配置するので、温度補償を行うこともできる。

[0071] <第6の実施形態>

第6の実施形態における電動機のトルク推定装置では、ステータティース13に生じる変形量（歪量）を検出するためのセンサとして、渦電流式ギャップセンサを設ける。

[0072] 図20は、渦電流式ギャップセンサ201の設置場所の一例を示す図である。図20に示すように、渦電流式ギャップセンサ201は、ステータティース13が伸びている軸方向におけるステータティース13の先端付近であって、ステータティース13と空隙を有して対向するように設置されている。図20では、ステータティース13に重ねて渦電流式ギャップセンサ201が示されているが、実際には、ステータティース13と渦電流式ギャップセンサ201との間には、空隙が設けられている。ステータティース13が変形すると、ステータティース13と渦電流式ギャップセンサ201との対向面積が変化して、渦電流式ギャップセンサ201の出力が変化する。これにより、ステータティース13の変形量（歪量）を検出することができる。

[0073] 渦電流式ギャップセンサの代わりに、ステータティース13との距離に応じて出力が変化するギャップセンサを用いてもよい。この場合には、ステータティース13の変形を直接検出できる位置にギャップセンサを配置する。

[0074] 図21および図22は、ギャップセンサ211の設置場所の一例を示す図である。図21は、電動機の回転軸と平行な面で切断した場合の断面図であり、図22は、ステータの回転軸方向端面を示す図である。図21中の電動

機は、インホイールモータ車両に搭載される電動機である。モータユニット 212 は、電動機と減速機 213 を含む。減速機 213 は、遊星歯車機構で構成される。遊星歯車機構は、減速機ケース 214 に固定されたリングギア 215 と、電動モータのロータ軸 216 に固定されたサンギア 217 と、リングギア 215 とサンギア 217 の間に介在する 3 個のプラネットギア 218 を支持するプラネットキャリア 219 とを備える。プラネットキャリア 219 の回転が出力軸 220 を介して後輪へ伝達される。

[0075] プラネットギア 218 は、同一のプラネットギア軸 221 上に構成された小径ピニオン 222 と大径ピニオン 223 とからなる。小径ピニオン 222 はリングギア 215 と噛み合い、大径ピニオン 223 がサンギア 217 と噛み合うことにより、減速機 213 は大きな減速比を実現する。プラネットキャリア 219 は、3 個のプラネットギア 218 をそれぞれ回転自由に等しい角度間隔で保持する。

[0076] 図 21 に示すように、ギャップセンサ 211 は、ステータハウジング 224 からブラケット 225 を介して、回転軸方向におけるステータ 1 の端部外側から配置される。また、図 22 に示すように、ギャップセンサ 211 は、ステータティース 13 の周方向の変形を検出できるように、隣接するステータティース間に配置される。ステータティースが周方向に変形すると、ギャップセンサ 211 とステータティース 13 との間の距離が変化して、ギャップセンサ 211 の出力も変化するので、ステータティース 13 の変形をダイレクトに検出することができる。

[0077] 以上、第 6 の実施形態における電動機のトルク推定装置によれば、渦電流式ギャップセンサ 201 を用いてステータティース 13 の変形量を検出するので、ステータティース 13 の変形量を検出するためのセンサをスロット内に挿入する必要がなく、耐ノイズ性に優れる。

[0078] また、ステータティース 13 との間の距離の変化に応じて出力が変化するギャップセンサ 211 を用いてステータティース 13 の変形量を検出する方法によれば、ステータティース 13 の曲げ方向変形をダイレクトに検出可能

なので、より精度良くステータティース 13 の変形量を検出することができる。

[0079] <第 7 の実施形態>

第 7 の実施形態における電動機のトルク推定装置では、電動機が停止状態であって、かつ無励磁状態のときの歪ゲージ 3 の出力が 0 となるように補正する。以下では特に、電動機を駆動源とする電気自動車に適用した場合について説明する。

[0080] 図 23 は、電動機が停止状態であって、かつ無励磁状態のときの歪ゲージ 3 の出力が 0 となるように補正する回路ブロック図である。停止・無励磁状態検出部 241 は、例えば、電動機に流れる電流を検出する電流センサ、車速を検出する車速センサ、パーキングブレーキの作動状態を検出するセンサ、車両位置を検出する GPS センサ、および、エンジン回転数を検出するエンジン回転数センサのうちの少なくとも一つのセンサであり、電動機の停止、かつ無励磁状態を検出する。

[0081] 補正部 242 は、電動機が停止状態であって、かつ無励磁状態のときに、歪ゲージ 3 の出力が 0 となるように補正する。

[0082] なお、上述した説明では、歪ゲージ 3 の出力を補正するものとしたが、ステータティース 13 の変形量を検出するセンサとして、渦電流式ギャップセンサ 201 や、ギャップセンサ 211 を用いた場合には、電動機が停止状態であって、かつ無励磁状態のときの出力が基準値となるように補正すればよい。

[0083] 以上、第 7 の実施形態における電動機のトルク推定装置によれば、電動機の停止状態であって、かつ無励磁状態を検出し、電動機が停止状態であって、かつ無励磁状態のときに、ステータティースに生じる変形に依存する量の検出値が 0 となるように補正するので、残留歪やセンサの取り付けバラツキ等による誤差要因を排除して、ステータティース 13 に生じる変形量を精度良く検出することができる。これにより、電動機 35 のトルクをより精度良く推定することができる。

[0084] <第8の実施形態>

第8の実施形態における電動機のトルク推定装置では、電動機35の駆動時に、隣接する2つのステータティース13の相対変形によって生じる荷重を検出し、検出した荷重に基づいて、電動機35のトルクを推定する。

[0085] 2つのステータティース13の相対変形によって生じる荷重の信号に、電動機35のトルクの情報が含まれていることを以下で説明する。 n (n は自然数) 番目のステータティース13の歪量を δ_n 、隣接する $n+1$ 番目のステータティース13の歪量を δ_{n+1} とすると、 δ_n 、 δ_{n+1} はそれぞれ次式(2)、(3)で表される。ただし、式中の A は、トルクの変数である。

[数2]

$$\delta_n = A \sin \theta \quad \dots (2)$$

[数3]

$$\delta_{n+1} = A \sin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) \quad \dots (3)$$

[0086] $n+1$ 番目のステータティース13の歪量 δ_{n+1} と、 n 番目のステータティース13の歪量 δ_n との差 $\Delta\delta$ は、次式(4)で表される。

[数4]

$$\begin{aligned} \Delta\delta &= \delta_{n+1} - \delta_n \\ &= A \left\{ \sin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) - \sin \theta \right\} \\ &= 2A \left\{ \cos \frac{2\theta + \frac{\pi}{6}}{2} \sin \frac{\frac{\pi}{6}}{2} \right\} \\ &= A' \cos\left(\theta + \frac{\pi}{12}\right) \quad \dots (4) \end{aligned}$$

ただし、 A' は次式(5)で表される。

[数5]

$$A' = 2A \sin \frac{\pi}{12} \quad \dots (5)$$

[0087] 式(4)、(5)で示すように、 $n+1$ 番目のステータティース13の歪量 δ_{n+1} と、 n 番目のステータティース13の歪量 δ_n との差 $\Delta\delta$ には、電動機35のトルクの情報が含まれている。

[0088] 図24は、第8の実施形態における電動機のトルク推定装置が適用される電動機の制御ブロック図である。図2に示す制御ブロック図と同じ構成部分については、同一の符号を付して詳しい説明は省略する。

[0089] 上述したように、電動機35が力行または回生駆動している時には、ステータティース13には、径方向や周方向に曲げ変形や、圧縮・引っ張りに伴う変形が生じる。ロードセル(荷重センサ)250は、隣り合う2つのステータティース13の間に設けられ、電動機35の駆動時に2つのステータティース13の相対変形によって生じる荷重 P を検出する。

[0090] なお、ロードセル250に作用する荷重は、圧縮と引っ張りの両方向に生じるので、ロードセル250をステータティース13に接着剤等で接合して両方向の荷重を検出するか、または予めプリロードをかけておいて、ロードセル250に常に一方向の荷重が作用するようにしてもよい。

[0091] トルク推定部251は、ロードセル250によって検出された荷重 P に基づいて、電動機35の推定トルク T_{r1} を算出する。

[0092] 図25は、電動機35のトルク T_r と、2つのステータティース13の相対変形によって生じる荷重 P との関係を示す図である。トルク推定部251は、電動機35のトルク T_r と、2つのステータティース13の相対変形によって生じる荷重 P との関係を定めたテーブルデータを有しており、ロードセル250によって検出された荷重 P に基づいて、テーブルデータを参照することにより、電動機35の推定トルク T_{r1} を算出する。

[0093] なお、平均トルク算出部42は、所定時間内にトルク推定部251によって算出された複数の推定トルク T_{r1} の平均値 T_r を算出する。

[0094] 図26は、推定トルク T_{r1} の別の算出方法を説明するためのブロック図である。荷重平均値算出部281は、所定時間内にロードセル250によって検出された複数の荷重 P に基づいて、荷重平均値 P_{ave} を算出する。トルク推定部251は、荷重平均値算出部281によって算出された荷重平均値 P_{ave} に基づいて、上述した電動機35のトルク T_r と荷重 P との関係を定めたテーブルデータ（図25参照）を参照することにより、推定トルク T_{r1} を算出する。

[0095] 1つのロードセル250によって検出された荷重に基づいて、上述した方法により電動機35の推定トルクの瞬時値を算出することができるため、所定の時間内にロードセル250によって検出された複数の荷重に基づいて、電動機35の推定トルクの時間変化の波形を求めることができる。少なくとも磁極1つ分に対応する複数のステータティース間に複数のロードセル250を配置すれば、同様に、複数のロードセルが配置された複数のステータティース13に対応して、電動機35の推定トルクの時間変化の波形を複数求めることができる。この推定トルクの時間変化の波形を加算することにより、電動機全体での荷重波形を求めることができる。この電動機全体での荷重波形の周波数成分を検出し、検出した周波数成分に基づいて、電流の高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出することもできる。

[0096] 図27は、高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出する構成を説明するためのブロック図である。複数のロードセル250は、少なくとも磁極1つ分に対応する複数のステータティース間に配置されている。複数のトルク推定部251は、複数のロードセル250に対応して設けられ、各ロードセル250によって検出された荷重に基づいて、推定トルクを算出する。上述したように、所定時間内に複数回、推定トルクの算出処理を行うことにより、推定トルクの時間変化の波形を求めることができる。

[0097] 加算部272は、複数のトルク推定部251によって求められた複数の推定トルクの時間変化の波形を加算し、全磁極分の波形、すなわち、電動機全体での推定トルク波形を求める。周波数成分検出部273は、電動機全体で

の推定トルク波形の周波数成分を検出し、電流制御部 31 に出力する。電流制御部 31 は、トルク指令値 T_r^* と電動機全体での推定トルク波形の周波数成分とに基づいて、電流の高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出する。

[0098] 隣り合うステータティース 13 の変位は、電動機 35 の電気角の位相差に相当する。従って、少なくとも 1 つのロードセル 250 によって検出された荷重を基準として、位相を考慮して他のステータティース間の荷重を求めることができる。この場合も、求めた複数のステータティース間の荷重から、電動機全体での推定トルク波形を求めることができる。

[0099] 図 28 は、1 つのロードセル 250 によって検出された荷重に基づいて電動機全体での推定トルク波形を求めてから、高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出する構成を説明するためのブロック図である。図 28 において、図 27 に示す構成と同一の構成部分については、同一の符号を付して詳しい説明は省略する。

[0100] 荷重演算部 275 は、1 つのロードセル 250 によって検出された荷重を基準として、ステータティース間の位相を考慮して全てのステータティース間の荷重を求める。トルク推定部 251 は、求められた全てのステータティース間の荷重に基づいて、それぞれの荷重に対応する推定トルクを複数算出する。上述したように、所定時間内に複数回、推定トルクの算出処理を行うことにより、推定トルクの時間変化の波形を求めることができる。加算部 272 は、全てのステータティース間の推定トルクの時間変化の波形を加算することによって、電動機全体での推定トルク波形を求める。周波数成分検出部 273 および電流制御部 31 の処理は、図 27 に示す周波数成分検出部 273 および電流制御部 31 の処理と同じである。

[0101] ここで、ロードセル 250 の配置場所について説明する。図 29 は、ロードセル 250 の配置場所の一例を示す図である。ロードセル 250 は、隣り合う 2 つのステータティース 13 の先端の間に、弾性体 290 を介して挟まれた状態で配置される。すなわち、ロードセル 250 は、2 つの弾性体 29

0に挟まれた状態で、隣り合う2つのステータティース13の先端の間に挟まれて設置されている。

[0102] 電動機35の駆動によってステータティース13が変形する際、隣り合う2つのステータティース13の相対距離が最大になる場合と、最小になる場合がある。弾性体290は、隣り合う2つのステータティース13の相対距離が最大になる場合でも、ロードセル250に荷重が加わるように設けられている。これにより、隣り合う2つのステータティース13の相対距離が最大になった場合でも、2つのステータティース13の間からロードセル250が落ちるのを防ぐとともに、2つのステータティース13の相対変形によって生じる荷重Pを確実に検出することができる。

[0103] 電動機35の駆動状態では、ステータティース13の温度が初期値（標準温度）から変化することによりステータコア内径が変化し、それに伴いステータティース間の距離も変化する。これにより、ロードセル250によって検出される荷重も変化する。

[0104] 図30は、ステータティース13の温度が標準温度 T_0 から T_1 に変化した場合に、ステータコア内径が変化し、これにより、ロードセル250によって検出される荷重も変化する様子を説明するための図である。ただし、図30では、弾性体290を省略している。このように、ステータティース13の温度が変化すると、ロードセル250によって検出される荷重も変化するが、この変化は、電動機35のトルクとは相関の無い変化である。

[0105] 従って、本実施形態では、ステータティース13の温度を検出し、検出した温度に基づいて、ロードセル250によって検出される荷重を補正することにより、ステータティース13の温度変化に起因する荷重の影響をキャンセルする。

[0106] ステータティース13の温度は、ステータティース13に設けた温度センサ300により検出する（図30参照）。温度センサ300は、ロードセル250の近傍に配置することが好ましい。

[0107] 図31は、温度センサ300によって検出されたステータティース13の

温度に基づいて、ロードセル 250 によって検出される荷重を補正する回路ブロック図である。温度補正部 310 は、ステータティース 13 の温度と、ロードセル 250 によって検出される荷重の補正量との関係を定めたテーブルデータを有しており、温度センサ 300 によって検出されたステータティース 13 の温度に基づいて、テーブルデータを参照することにより、荷重の補正量を求める。そして、求めた補正量に基づいて、ロードセル 250 によって検出された荷重を補正し、補正後の荷重を出力する。なお、ステータティース 13 の温度と、荷重の補正量との関係を定めたテーブルデータは、例えば、予め実験等を行うことにより作成することができる。

[0108] 上述したステータティース 13 の温度変化によってロードセル 250 の荷重が変化する場合、この荷重の変化は、電動機 35 の回転数には同期しない。従って、電動機 35 の回転数またはその倍数に同期した荷重成分のみを抽出し、抽出した荷重に基づいて、電動機 35 のトルクを推定するようにすれば、ステータティース 13 の温度変化の影響の無い推定トルクを算出することができる。

[0109] 図 32 は、上述したステータティース 13 の温度変化の影響の無い推定トルクの算出方法を説明するためのブロック図である。回転数成分抽出部 320 は、ロードセル 250 によって検出された荷重と、回転数センサ 321 によって検出された電動機 35 の回転数とを入力し、ロードセル 250 によって検出された荷重から、電動機 35 の回転数またはその倍数に同期した荷重成分のみを抽出する。

[0110] トルク推定部 251 は、電動機 35 の回転数またはその倍数成分に同期した荷重と、電動機 35 のトルクとの関係を定めたテーブルデータを有しており、回転数成分抽出部 320 によって抽出された、電動機 35 の回転数またはその倍数に同期した荷重成分に基づいて、テーブルデータを参照することにより、電動機 35 の推定トルク T_r1 を算出する。

[0111] 上述した第 7 の実施形態における電動機のトルク推定装置では、電動機 35 が停止状態であって、かつ無励磁状態のときの歪ゲージ 3 の出力が 0 とな

るように補正した。本実施形態では、電動機 35 が停止状態であって、かつ無励磁状態のときのロードセル 250 の出力が 0 となるように補正する。以下では特に、電動機を駆動源とする電気自動車に適用した場合について説明する。

[0112] 図 33 は、電動機 35 が停止状態であって、かつ無励磁状態のときのロードセル 250 の出力が 0 となるように補正する回路ブロック図である。停止・無励磁状態検出部 331 は、例えば、電動機 35 に流れる電流を検出する電流センサ、車速を検出する車速センサ、パーキングブレーキの作動状態を検出するセンサ、車両位置を検出する GPS センサ、および、エンジン回転数を検出するエンジン回転数センサのうちの少なくとも一つのセンサであり、電動機 35 の停止、かつ無励磁状態を検出する。

[0113] 補正部 332 は、電動機 35 が停止状態であって、かつ無励磁状態のときに、ロードセル 250 の出力が 0 となるように補正する。これにより、残留歪やロードセル 250 の取り付けバラツキ等による誤差要因を排除して、ステータティース 13 の相対変形によって生じる荷重を精度良く検出することができる。

[0114] 以上、第 8 の実施形態における電動機のトルク推定装置によれば、隣接する二つのステータティース 13 の間に配置されたロードセル 250 によって、電動機の駆動時に隣接する二つのステータティース 13 の相対変形によって生じる荷重を検出し、検出した荷重に基づいて、電動機 35 のトルクを推定する。これにより、電動機 35 のトルクを精度良く推定することができる。また、ロードセル 250 をステータ側に設置するため、スリップリングやテレメータが不要であり、小型化・低コスト化が可能となる。さらに、ステータティース 13 に歪ゲージを貼り付ける構成と比べると、貼り付けバラツキの影響がないので、信頼性も高い。

[0115] ロードセル 250 は、隣接する 2 つのステータティース 13 にそれぞれ生じる変位量の差分を荷重として検出するので、固定部（例えばハウジング）とステータティース 13 との間の相対変位を検出する必要がなく、構造を簡

素化することができる。

[0116] 隣接する2つのステータティース13の間の相対距離が最大となる場合でもロードセル250に荷重が加わるように、ロードセル250は、弾性体290を介して隣接する2つのステータティースの間に配置されている。これにより、隣接する2つのステータティース13の相対距離が最大になった場合でも、2つのステータティース13の間からロードセル250が落ちるのを防ぐとともに、2つのステータティース13の相対変形によって生じる荷重を確実に検出することができる。

[0117] 所定時間内にロードセル250によって検出された複数の荷重に基づいて、荷重平均値 P_{ave} を算出し、算出した荷重平均値 P_{ave} に基づいて電動機35の推定トルク T_r1 を算出することもできる。この場合、簡素な演算装置で推定トルク T_r1 を算出することができる。

[0118] また、第8の実施形態における電動機のトルク推定装置によれば、ロードセル250は、少なくとも磁極1つ分に相当する複数のステータティース13の間に複数設けられ、各トルク推定部251は、各ロードセル250によって検出された荷重に基づいて、電動機のトルクを推定する。この推定された複数のトルクに基づいて、電動機全体でのトルクの時間波形を求め、求めた電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分を検出する。そして、電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分に基づいて、電流の高調波成分をキャンセルするための電流指令値を算出する。このような構成により、電流の高調波成分をキャンセルすることができるので、トルクリップルを抑制することも可能となる。

[0119] ステータティース13間の位相差を考慮することにより、少なくとも1つのロードセル250によって検出された荷重に基づいて、全てのステータティース間の荷重を算出することができる。この場合、トルク推定部251は、算出された全てのステータティース間の荷重に応じて、電動機のトルクを複数推定する。この推定された複数のトルクに基づいて、電動機全体でのトルクの時間波形を求め、求めた電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成

分を検出する。そして、電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分に基づいて、電流の高調波成分をキャンセルするための電流指令値を算出する。このような構成により、電流の高調波成分をキャンセルすることができるので、トルクリップルを抑制することも可能となる。また、ロードセル250を、少なくとも磁極1つ分に相当する複数のステータティース13の間に複数設ける必要がないので、コストを低減することができる。

[0120] また、第8の実施形態における電動機のトルク推定装置によれば、ロードセル250に隣接するステータティース13の温度を検出し、検出したステータティース13の温度に基づいて、荷重の補正量を算出し、算出した荷重の補正量に基づいて、ロードセル250によって検出された荷重を補正する。これにより、ステータティース13の温度変化に起因する荷重の変化の影響を抑制することができるので、電動機35の推定トルク T_{r1} を精度良く算出することができる。

[0121] ロードセル250によって検出された荷重から、回転数センサ321によって検出された回転数またはその倍数に同期した荷重成分を抽出し、抽出した荷重成分に基づいて、電動機35の推定トルクを算出するようにしてもよい。ステータティース13の温度変化によってロードセル250の荷重が変化する場合、この荷重の変化は、電動機35の回転数には同期しないので、上述した方法により電動機35の推定トルク T_{r1} を算出するようにすれば、ステータティース13の温度変化の影響の無い推定トルク T_{r1} を算出することができる。

[0122] また、電動機35の停止状態であって、かつ無励磁状態を検出し、電動機35が停止状態であって、かつ無励磁状態のときに、ロードセル250の出力が0となるように補正するので、残留歪やロードセル250の取り付けバラツキ等による誤差要因を排除して、ステータティース13の相対変形によって生じる荷重を精度良く検出することができる。これにより、電動機35の推定トルク T_{r1} をより精度良く求めることができる。

[0123] <第9の実施形態>

第9の実施形態における電動機のトルク推定装置では、ステータティース13の変形量の時間変化を加速度信号として検出し、検出した加速度に基づいて、電動機35のトルクを推定する。

[0124] 図34は、第9の実施形態における電動機のトルク推定装置が適用される電動機の制御ブロック図である。図24に示す制御ブロック図と同じ構成部分については、同一の符号を付して詳しい説明は省略する。

[0125] 加速度センサ340は、電動機35の駆動時にステータティース13に作用するトルク反力により生じるステータティース13の変形量の時間変化を加速度信号として検出する。

[0126] 図35は、加速度センサ340の取り付け位置を示す図である。加速度センサ340は、ステータティース13の先端に取り付けられ、図の矢印で示す周方向の加速度を検出する。

[0127] 図36は、加速度センサ340によって検出される加速度に基づいて、電動機35の推定トルクを算出する方法を説明するための図である。トルク成分抽出部350は、加速度センサ340によって検出された加速度に対してフーリエ変換（FFT）を施し、電動機のトルクに関する周波数成分を抽出する。トルク推定部341は、加速度と電動機のトルク相当量との関係を定めたテーブルデータを有しており、抽出した周波数成分の加速度に基づいて、テーブルデータを参照することにより、電動機のトルク相当量を求める。なお、電動機35のトルクは電動機35の回転数によって変化するが、テーブルデータで定義しているトルク相当量は、電動機35の回転数を考慮していない値であり、実際のトルクとは異なるため、「トルク相当量」と呼んでいる。

[0128] トルク推定部341は、求めたトルク相当量と、回転数センサ321によって検出された電動機35の回転数とに基づいて、電動機35の推定トルク T_r1 を算出する。

[0129] 第8の実施形態では、電動機35の回転数またはその倍数に同期した荷重成分のみを抽出し、抽出した荷重に基づいて推定トルク T_r1 を算出する例

について説明した。本実施形態でも、電動機 35 の回転数またはその倍数に同期した加速度成分のみを抽出し、抽出した加速度に基づいて、推定トルク T_{r1} を算出することができる。ステータティース 13 には、トルク反力に起因する周方向加速度の他に、径方向吸引力による成分や、電動機 35 の全体に作用した外力の影響も受けるが、トルク反力に起因する成分は、回転数及び回転数の倍数成分に同期しているので、電動機 35 の回転数またはその倍数に同期した加速度成分のみを抽出することにより、トルク反力に起因する成分と外乱成分とを分離することができ、推定トルク T_{r1} を精度良く算出することができる。

[0130] 図 37 は、電動機 35 の回転数またはその倍数に同期した加速度成分のみを抽出する構成を示すブロック図である。上述したように、トルク成分抽出部 350 は、加速度センサ 340 によって検出された加速度に対してフーリエ変換 (FFT) を施し、電動機のトルクに関する周波数成分を抽出する。回転数成分抽出部 3501 は、抽出された電動機のトルクに関する周波数成分から、回転数センサ 321 によって検出された電動機 35 の回転数またはその倍数に同期した加速度成分のみを抽出し、トルク推定部 341 に出力する。トルク推定部 341 は、抽出された加速度成分に基づいて、上述した方法により、電動機 35 の推定トルク T_{r1} を算出する。

[0131] 上述した説明では、トルク成分抽出部 350 は、加速度センサ 340 によって検出された加速度に基づいて、電動機のトルク相当量を求め、トルク推定部 341 は、トルク相当量と、回転数センサ 321 によって検出された電動機 35 の回転数とに基づいて、電動機 35 の推定トルク T_{r1} を算出した。しかし、加速度センサ 340 によって検出された加速度を積分することによって、ステータティース 13 の変位量を求め、求めた変位量から電動機 35 のトルクを推定することもできる。

[0132] 図 38 は、加速度センサ 340 によって検出された加速度を積分することによって、ステータティース 13 の変位量を求め、求めた変位量から電動機 35 のトルクを推定する構成を示すブロック図である。積分器 381 は、加

速度センサ 340 によって検出された加速度の信号を積分し、速度の信号を算出する。積分器 382 は、積分器 381 から出力される速度の信号を積分し、ステータティース 13 の変位量の信号を算出する。

[0133] 平均値演算部 383 は、積分器 382 から出力される変位量の信号に基づいて、ステータティース 13 の変位量の平均値を求める。具体的には、加速度センサ 340 が設けられているステータティース 13 を基準として、位相を考慮して他のステータティース 13 の変位量を求め、求めた複数のステータティース 13 の変位量に基づいて、変位量の平均値を求める。なお、複数のステータティース 13 に加速度センサ 340 を設け、複数の加速度センサ 340 によって検出される複数の加速度をそれぞれ積分することによって、複数のステータティース 13 の変位量を求め、求めた複数のステータティース 13 の変位量に基づいて、変位量の平均値を求めることもできる。

[0134] この場合、トルク推定部 341 は、ステータティース 13 の変位量と電動機のトルクとの関係を定めたテーブルデータを有しており、算出された変位量の平均値に基づいて、テーブルデータを参照することにより、電動機 35 の推定トルク T_r1 を算出する。

[0135] 1 つの加速度センサ 340 によって検出された加速度に基づいて、ステータティース 13 の変位量を求め、上述した方法により電動機 35 の推定トルクの瞬時値を算出することができるため、所定の時間内に求めた複数のステータティース 13 の変位量に基づいて、電動機 35 の推定トルクの時間変化の波形を求めることができる。少なくとも磁極 1 つ分に対応する複数のステータティースに複数の加速度センサ 340 を配置すれば、同様に、複数の加速度センサ 340 が配置された複数のステータティース 13 に対応して、電動機 35 の推定トルクの時間変化の波形を複数求めることができる。この推定トルクの時間変化の波形を加算することにより、電動機全体での荷重波形を求めることができる。この電動機全体での荷重波形の周波数成分を検出し、検出した周波数成分に基づいて、電流の高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出することもできる。

[0136] 図39は、高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出する構成を説明するためのブロック図である。複数の加速度センサ340は、少なくとも磁極1つ分に対応する複数のステータティース13に配置されている。複数の積分器381、複数の積分器382、および複数のトルク推定部341は、複数の加速度センサ340に対応して設けられている。各トルク推定部341は、各積分器382によって算出されるステータティース13の変位量に基づいて、推定トルクを算出する。上述したように、所定時間内に複数回、推定トルクの算出処理を行うことにより、推定トルクの時間変化の波形を求めることができる。

[0137] 加算部386は、複数のトルク推定部341によって求められた複数の推定トルクの時間変化の波形を加算し、全磁極分の波形、すなわち、電動機全体での推定トルク波形を求める。周波数成分検出部387は、電動機全体での推定トルク波形の周波数成分を検出し、電流制御部31に出力する。電流制御部31は、トルク指令値 T_r^* と電動機全体での推定トルク波形の周波数成分とに基づいて、電流の高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出する。

[0138] 隣り合うステータティース13の変位は、電動機35の電気角の位相差に相当する。従って、少なくとも1つの加速度センサ340によって検出された加速度から算出されるステータティース13の変位量を基準として、位相を考慮して他のステータティースの変位量を求めることができる。この場合も、求めた複数のステータティースの変位量から、電動機全体での推定トルク波形を求めることができる。

[0139] 図40は、1つの加速度センサ340によって検出された加速度に基づいて、1つのステータティース13の変位量を求め、求めた変位量に基づいて電動機全体での推定トルク波形を求めてから、高調波成分をキャンセルする電流指令値を算出する構成を説明するためのブロック図である。図39と同じ構成部分については、同一の符号を付して詳しい説明は省略する。

[0140] 変位量演算部400は、加速度センサ340が設けられたステータティース

ス 1 3 の変位量を基準として、ステータティース間の位相を考慮して全てのステータティースの変位量を求める。トルク推定部 3 4 1 は、求められた全てのステータティースの変位量に基づいて、複数の推定トルクを算出する。上述したように、所定時間内に複数回、推定トルクの算出処理を行うことにより、推定トルクの時間変化の波形を求めることができる。加算部 3 8 6 は、全てのステータティース間の推定トルクの時間変化の波形を加算することによって、電動機全体での推定トルク波形を求める。

[0141] 複数の加速度センサ 3 4 0 を、電磁環境が略同等の複数のステータティース 1 3 に配置し、複数の加速度センサ 3 4 0 の検出値に基づいて、外乱成分を検出することもできる。すなわち、電動機 3 5 の駆動時に、電磁環境が略同等の複数のステータティース 1 3 に設けられた複数の加速度センサ 3 4 0 の検出値は、同じ値になるはずであるが、例えば、電動機 3 5 に衝撃入力（外乱）が作用した場合には、外乱の入力方向にのみ、外乱入力に対応する加速度が検出されるため、加速度センサ 3 4 0 の配置位置に応じて、検出値が異なる値となる。

[0142] 図 4 1 は、2つの加速度センサ 3 4 0 の検出値に基づいて、外乱を検出する構成を示すブロック図である。2つの加速度センサ 3 4 0 は、電磁環境が略同等の異なるステータティース 1 3 に配置されている。外乱検出部 4 1 0 は、二つの加速度センサ 3 4 0 の検出値を比較し、両者の値が異なる値であれば、外乱が入力されたと判断する。ただし、二つの加速度センサ 3 4 0 の検出値を比較して、両者の値が所定の閾値以上の場合に、外乱が入力されたと判断するようにしてもよい。なお、図 4 1 では、2つの加速度センサ 3 4 0 の検出値に基づいて外乱を検出する例を示したが、3つ以上の加速度センサ 3 4 0 の検出値に基づいて外乱を検出するようにしてもよい。

[0143] 以上、第 9 の実施形態における電動機のトルク推定装置によれば、電動機 3 5 の駆動時に生じるステータティース 1 3 の変形量の時間変化を加速度として検出し、検出した加速度に基づいて、電動機 3 5 のトルクを推定する。これにより、電動機 3 5 のトルクを精度良く推定することができる。また、

加速度センサ 340 をステータ側に設置するため、スリップリングやテレメータが不要であり、小型化・低コスト化が可能となる。さらに、ステータティース 13 に歪ゲージを貼り付ける構成と比べると、貼り付けバラツキの影響がないので、信頼性も高い。

[0144] 加速度センサ 340 は、ステータティース 13 の周方向の加速度を検出する。ステータティース 13 には、トルク反力に起因する周方向加速度の他に、径方向吸引力による成分や、電動機 35 の全体に作用する外力の影響も作用するが、ステータティース 13 の周方向の加速度を検出し、検出した周方向の加速度に基づいて、電動機 35 の推定トルク T_{r1} を算出することにより、外乱の影響を除いて、精度良く推定トルク T_{r1} を算出することができる。

[0145] また、加速度センサ 340 によって検出された加速度から、回転数センサ 321 によって検出された回転数またはその倍数に同期した加速度成分を抽出し、抽出した加速度成分に基づいて、電動機 35 のトルクを推定することもできる。ステータティース 13 には、トルク反力に起因する周方向加速度の他に、径方向吸引力による成分や、電動機 35 の全体に作用した外力の影響も受けるが、トルク反力に起因する成分は、回転数及び回転数の倍数成分に同期しているので、電動機 35 の回転数またはその倍数に同期した加速度成分のみを抽出することにより、トルク反力に起因する成分と外乱成分とを分離することができる。これにより、推定トルク T_{r1} を精度良く算出することができる。

[0146] 加速度センサ 340 によって検出された加速度を積分することによってステータティース 13 の変形量を算出し、算出したステータティース 13 の変位量に基づいて、電動機 35 の推定トルク T_{r1} を算出することもできる。この方法によれば、加速度センサ 340 によって検出された 1 周期分の加速度をフーリエ変換して、電動機のトルクに関する周波数成分を抽出する方法に比べて、変位量の瞬時値に基づいて推定トルク T_{r1} を算出できるので、応答性が向上する。

[0147] また、第9の実施形態における電動機のトルク推定装置によれば、加速度センサ340は、少なくとも磁極1つ分に相当する複数のステータティース13に複数設けられ、積分器381、382は、複数の加速度センサ340によって検出された加速度に応じて、ステータティース13の変位量を複数算出し、複数のトルク推定部341は、複数のステータティース13の変位量に基づいて、電動機のトルクを複数推定する。この推定された複数のトルクに基づいて、電動機全体でのトルクの時間波形を求め、求めた電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分を検出する。そして、電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分に基づいて、電流の高調波成分をキャンセルするための電流指令値を算出する。このような構成により、電流の高調波成分をキャンセルすることができるので、トルクリップルを抑制することも可能となる。

[0148] ステータティース13間の位相差を考慮することにより、少なくとも1つの加速度センサ340に対応した積分器381、382によって算出されたステータティースの変位量に基づいて、全てのステータティースの変位量を算出することができる。この場合、トルク推定部341は、算出された全てのステータティースの変位量に応じて、電動機のトルクを複数推定する。この推定された複数のトルクに基づいて、電動機全体でのトルクの時間波形を求め、求めた電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分を検出する。そして、電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分に基づいて、電流の高調波成分をキャンセルするための電流指令値を算出する。このような構成により、電流の高調波成分をキャンセルすることができるので、トルクリップルを抑制することも可能となる。また、加速度センサ340を、少なくとも磁極1つ分に相当する複数のステータティース13に複数設ける必要がないので、コストを低減することができる。

[0149] 複数の加速度センサ340を、電磁環境は同じであるが、異なるステータティース13に配置し、複数の加速度センサ340によって検出された加速度を比較することによって、外乱を検出するようにしてもよい。この方法に

よれば、外乱成分を検出することができるので、例えば、外乱が検出された場合には、加速度センサ 340 によって検出された加速度に基づいて、電動機 35 の推定トルク T_{r1} を算出するのを中止して、推定トルク T_{r1} の算出精度が低下するのを防ぐことができる。

[0150] 本発明は、上述した実施形態に限定されることはない。例えば、電動機の駆動時におけるステータティースの変形量を検出するセンサは、上述した歪センサ 3、渦電流式ギャップセンサ 201、ギャップセンサ 211、ロードセル 250、加速度センサ 340 に限定されることはない。また、これらのセンサの取り付け位置も、上述した位置に限定されることはない。

[0151] 図 3 に示す電動機 35 のトルクとステータティース 13 の変形量との関係は、電動機 35 のトルクとステータティース 13 の周方向の変形量との関係を示している。電動機 35 のトルクとステータティース 13 の径方向の変形量との関係は、比例関係にはならないが、電動機 35 のトルクとステータティース 13 の径方向の変形量との関係を予め求めておけば、この関係に基づいて、ステータティース 13 の径方向の変形量から、電動機 35 のトルクを推定することができる。同様に、電動機 35 のトルク指令値から、ステータティース 13 の周方向の変形量を求めることができる。

[0152] 各実施形態は、矛盾が生じない範囲で適宜組み合わせることができる。

[0153] 本願は、2013 年 7 月 3 日に日本国特許庁に出願された特願 2013-139912 に基づく優先権を主張し、この出願の全ての内容は参照により本明細書に組み込まれる。

請求の範囲

- [請求項1] 電動機の駆動時に、ステータの構成要素であるステータティースに生じる変形に依存する量を検出する変形依存量検出手段と、
前記ステータティースに生じる変形に依存する量に基づいて、前記電動機のトルクを推定するトルク推定手段と、
を備える電動機のトルク推定装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の電動機のトルク推定装置において、
前記変形依存量検出手段は、歪ゲージであって、前記ステータティースの径方向および周方向のうちの少なくとも一方向の変形量を検出する、
電動機のトルク推定装置。
- [請求項3] 請求項2に記載の電動機のトルク推定装置において、
前記変形依存量検出手段は、前記ステータの周方向におけるステータティースの側面に配置されている、
電動機のトルク推定装置。
- [請求項4] 請求項2に記載の電動機のトルク推定装置において、
前記変形依存量検出手段は、前記ステータの回転軸方向におけるステータティースの端面であって、前記ステータティースの幅方向中心線からオフセットした位置に配置されている、
電動機のトルク推定装置。
- [請求項5] 請求項2に記載の電動機のトルク推定装置において、
前記変形依存量検出手段は、前記ステータの回転軸方向におけるステータティースの端面であって、前記ステータティースの幅方向中心線から所定範囲内に配置されている、
電動機のトルク推定装置。
- [請求項6] 請求項5に記載の電動機のトルク推定装置において、
前記変形依存量検出手段は、前記ステータのスロットの最外径の位置、または前記ステータのスロットの最外径よりも所定の距離範囲内

であってかつ前記ロータとのギャップ側寄りの位置に配置されている、
電動機のトルク推定装置。

[請求項7] 請求項2から請求項6のいずれか一項に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記変形依存量検出手段は、前記ステータティースの変形量を検出するための歪ゲージと3つの抵抗器を用いて構成されるホイートストンブリッジ回路であって、

前記ステータティースの変形量を検出するための歪ゲージの温度を検出する温度検出手段と、

前記歪ゲージの温度に基づいて、前記ホイートストンブリッジ回路の出力を補正する温度補正手段と、
をさらに備える電動機のトルク推定装置。

[請求項8] 請求項2から請求項6のいずれか一項に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記変形依存量検出手段は、前記ステータティースの変形量を検出するための歪ゲージ、温度補償用ダミーゲージ、および、2つの抵抗器を用いて構成されるホイートストンブリッジ回路であって、

前記歪ゲージおよび前記温度補償用ダミーゲージはそれぞれ、同一の温度環境下に配置され、前記2つの抵抗器はそれぞれ同一の温度環境下に配置されている、
電動機のトルク推定装置。

[請求項9] 請求項8に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記温度補償用ダミーゲージは、ステータコアのバックヨークの位置、または、ステータティースの幅方向中心線から所定範囲内の位置に設けられている、
電動機のトルク推定装置。

[請求項10] 請求項8に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記温度補償用ダミーゲージは、前記歪ゲージに対して略直交方向に配置されている、

電動機のトルク推定装置。

[請求項11] 請求項2から請求項6のいずれか一項に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記変形依存量検出手段は、前記ステータティースの変形量を検出するための歪ゲージと3つの抵抗器を用いて構成されるホイートストンブリッジ回路であって、

前記歪ゲージと直列に接続され、前記歪ゲージに作用する交番磁界と略同等の交番磁界が作用した際に、前記歪ゲージに発生する誘導起電力と略同一の誘導起電力が発生するノイズキャンセル回路をさらに備え、

前記ノイズキャンセル回路に生じる誘導起電力と前記歪ゲージに生じる誘導起電力とが逆相になるように、前記ノイズキャンセル回路と前記歪ゲージとを接続する、

電動機のトルク推定装置。

[請求項12] 請求項11に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記ノイズキャンセル回路は、前記歪ゲージと重ねて配置されている、

電動機のトルク推定装置。

[請求項13] 請求項11または請求項12に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記ノイズキャンセル回路は、前記歪ゲージが設けられているステータティースと異なるステータティースであって、前記歪ゲージが設けられているステータティースと電磁環境が同じステータティースに配置されている、

電動機のトルク推定装置。

[請求項14] 請求項2から請求項4のいずれか一項に記載の電動機のトルク推定

装置において、

前記変形依存量検出手段は、前記ステータティースの変形量を検出するための歪ゲージR 1 と、他の3つの歪ゲージR 2 ～R 4 とを用いて構成されるホイートストンブリッジ回路であって、印加電圧をEとしたときに、電位がEの側の歪ゲージをR 1 およびR 4、電位が0の側の歪ゲージをR 2 およびR 3 とし、歪ゲージR 1 およびR 2 に共通の電流が流れ、歪ゲージR 3 およびR 4 に共通の電流が流れるように構成し、歪ゲージR 1 およびR 2 は、同一のステータティースであって、かつステータティースの幅方向中心に対して対称となる位置に配置し、歪ゲージR 3 およびR 4 は、前記歪ゲージR 1 およびR 2 が配置されているステータティースとは異なるが、電磁環境が同じステータティースであって、かつステータティースの幅方向中心に対して対称となる位置に配置されている、
電動機のトルク推定装置。

[請求項15] 請求項1に記載の電動機のトルク推定装置において、
前記変形依存量検出手段は、渦電流式ギャップセンサである、
電動機のトルク推定装置。

[請求項16] 請求項1に記載の電動機のトルク推定装置において、
前記変形依存量検出手段は、前記ステータティースとの間の距離の変化に応じて出力が変化するギャップセンサである、
電動機のトルク推定装置。

[請求項17] 請求項1から請求項16のいずれか一項に記載の電動機のトルク推定装置において、
前記電動機の停止状態であって、かつ無励磁状態を検出する停止・無励磁状態検出手段と、
前記電動機が停止状態であって、かつ無励磁状態のときに、前記変形依存量検出手段によって検出される、前記ステータティースに生じる変形に依存する量が0となるように補正する補正手段と、

をさらに備える電動機のトルク推定装置。

[請求項18]

請求項1に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記変形依存量検出手段は、隣接する二つのステータティースの間に配置され、前記電動機の駆動時に前記隣接する二つのステータティースの相対変形によって生じる荷重を検出する荷重検出手段であって、

前記トルク推定手段は、前記荷重検出手段によって検出された荷重に基づいて、前記電動機のトルクを推定する、
電動機のトルク推定装置。

[請求項19]

請求項18に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記荷重検出手段は、前記隣接する二つのステータティースにそれぞれ生じる変位量の差分を前記荷重として検出する、
電動機のトルク推定装置。

[請求項20]

請求項18または請求項19に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記隣接する二つのステータティース間の相対距離が最大となる場合でも、前記荷重検出手段に荷重が加わるように、前記荷重検出手段は弾性体を介して前記隣接する二つのステータティースの間に配置されている、
電動機のトルク推定装置。

[請求項21]

請求項18から請求項20のいずれか一項に記載の電動機のトルク推定装置において、

所定時間内に前記荷重検出手段によって検出された複数の荷重に基づいて、荷重平均値を算出する荷重平均値算出手段をさらに備え、

前記トルク推定手段は、前記荷重平均値に基づいて前記電動機のトルクを推定する、
電動機のトルク推定装置。

[請求項22]

請求項18から請求項21のいずれか一項に記載の電動機のトルク

推定装置において、

前記荷重検出手段は、少なくとも磁極 1 つ分に相当する複数のステータティースの間に複数設けられ、

前記トルク推定手段は、前記複数の荷重検出手段によって検出された複数の荷重に基づいて、前記電動機のトルクを複数推定し、

前記推定された複数のトルクに基づいて、電動機全体でのトルクの時間波形を求めるトルク時間波形算出手段と、

前記電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分を検出する周波数成分検出手段と、

前記電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分に基づいて、電流の高調波成分をキャンセルするための電流指令値を算出する電流指令値算出手段と、

をさらに備える電動機のトルク推定装置。

[請求項23]

請求項 18 から請求項 21 のいずれか一項に記載の電動機のトルク推定装置において、

ステータティース間の位相差を考慮することにより、少なくとも 1 つの荷重検出手段によって検出された荷重に基づいて、全てのステータティース間の荷重を算出する荷重算出手段をさらに備え、

前記トルク推定手段は、前記荷重算出手段によって算出された全てのステータティース間の荷重に基づいて、前記電動機のトルクを複数推定し、

前記推定された複数のトルクに基づいて、電動機全体でのトルクの時間波形を求めるトルク時間波形算出手段と、

前記電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分を検出する周波数成分検出手段と、

前記電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分に基づいて、電流の高調波成分をキャンセルするための電流指令値を算出する電流指令値算出手段と、

をさらに備える電動機のトルク推定装置。

[請求項24] 請求項18から請求項23のいずれか一項に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記荷重検出手段に隣接するステータティースの温度を検出するステータティース温度検出手段と、

前記ステータティースの温度に基づいて、荷重の補正量を算出する補正量算出手段と、

前記荷重の補正量に基づいて、前記荷重検出手段によって検出された荷重を補正する荷重補正手段と、

をさらに備える電動機のトルク推定装置。

[請求項25] 請求項18から請求項20のいずれか一項に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記電動機の回転数を検出する回転数検出手段と、

前記荷重検出手段によって検出された荷重から、前記回転数検出手段によって検出された回転数またはその倍数に同期した荷重成分を抽出する抽出手段と、

をさらに備え、

前記トルク推定手段は、前記抽出手段によって抽出された荷重成分に基づいて、前記電動機のトルクを推定する、
電動機のトルク推定装置。

[請求項26] 請求項18から請求項25のいずれか一項に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記電動機の停止状態であって、かつ無励磁状態を検出する停止・無励磁状態検出手段と、

前記電動機が停止状態であって、かつ無励磁状態のときに、前記荷重検出手段の出力が0となるように補正する零補正手段と、

をさらに備える電動機のトルク推定装置。

[請求項27] 請求項1に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記変形依存量検出手段は、前記電動機の駆動時に生じるステータティースの変形量の時間変化を加速度として検出する加速度検出手段であって、

前記トルク推定手段は、前記加速度検出手段によって検出された加速度に基づいて、前記電動機のトルクを推定する、
電動機のトルク推定装置。

[請求項28] 請求項27に記載の電動機のトルク推定装置において、
前記加速度検出手段は、前記ステータティースの周方向の加速度を検出する、
電動機のトルク推定装置。

[請求項29] 請求項27または請求項28に記載の電動機のトルク推定装置において、
前記電動機の回転数を検出する回転数検出手段と、
前記加速度検出手段によって検出された加速度から、前記回転数検出手段によって検出された回転数またはその倍数に同期した加速度成分を抽出する抽出手段と、
をさらに備え、
前記トルク推定手段は、前記抽出手段によって抽出された加速度成分に基づいて、前記電動機のトルクを推定する、
電動機のトルク推定装置。

[請求項30] 請求項27または請求項28に記載の電動機のトルク推定装置において、
前記加速度検出手段によって検出された加速度を積分することによって前記ステータティースの変位量を算出する積分手段を備え、
前記トルク推定手段は、前記積分手段によって算出されたステータティースの変位量に基づいて、前記電動機のトルクを推定する、
電動機のトルク推定装置。

[請求項31] 請求項30に記載の電動機のトルク推定装置において、

前記加速度検出手段は、少なくとも磁極1つ分に相当する複数のステータティースに設けられ、

前記積分手段は、前記複数の加速度検出手段によって検出された加速度に応じて、前記ステータティースの変位量を複数算出し、

前記トルク推定手段は、前記複数のステータティースの変位量に基づいて、前記電動機のトルクを複数推定し、

前記推定された複数のトルクに基づいて、電動機全体でのトルクの時間波形を求めるトルク時間波形算出手段と、

前記電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分を検出する周波数成分検出手段と、

前記電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分に基づいて、電流の高調波成分をキャンセルするための電流指令値を算出する電流指令値算出手段と、

をさらに備える電動機のトルク推定装置。

[請求項32]

請求項30に記載の電動機のトルク推定装置において、

ステータティース間の位相差を考慮することにより、少なくとも1つの加速度検出手段に対応した積分手段によって算出されたステータティースの変位量に基づいて、全てのステータティースの変位量を算出する変位量算出手段をさらに備え、

前記トルク推定手段は、前記変位量算出手段によって算出された全てのステータティースの変位量に基づいて、前記電動機のトルクを複数推定し、

前記推定された複数のトルクに基づいて、電動機全体でのトルクの時間波形を求めるトルク時間波形算出手段と、

前記電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分を検出する周波数成分検出手段と、

前記電動機全体でのトルクの時間波形の周波数成分に基づいて、電流の高調波成分をキャンセルするための電流指令値を算出する電流指

令値算出手段と、
をさらに備える電動機のトルク推定装置。

[請求項33] 請求項27から請求項32のいずれか一項に記載の電動機のトルク推定装置において、

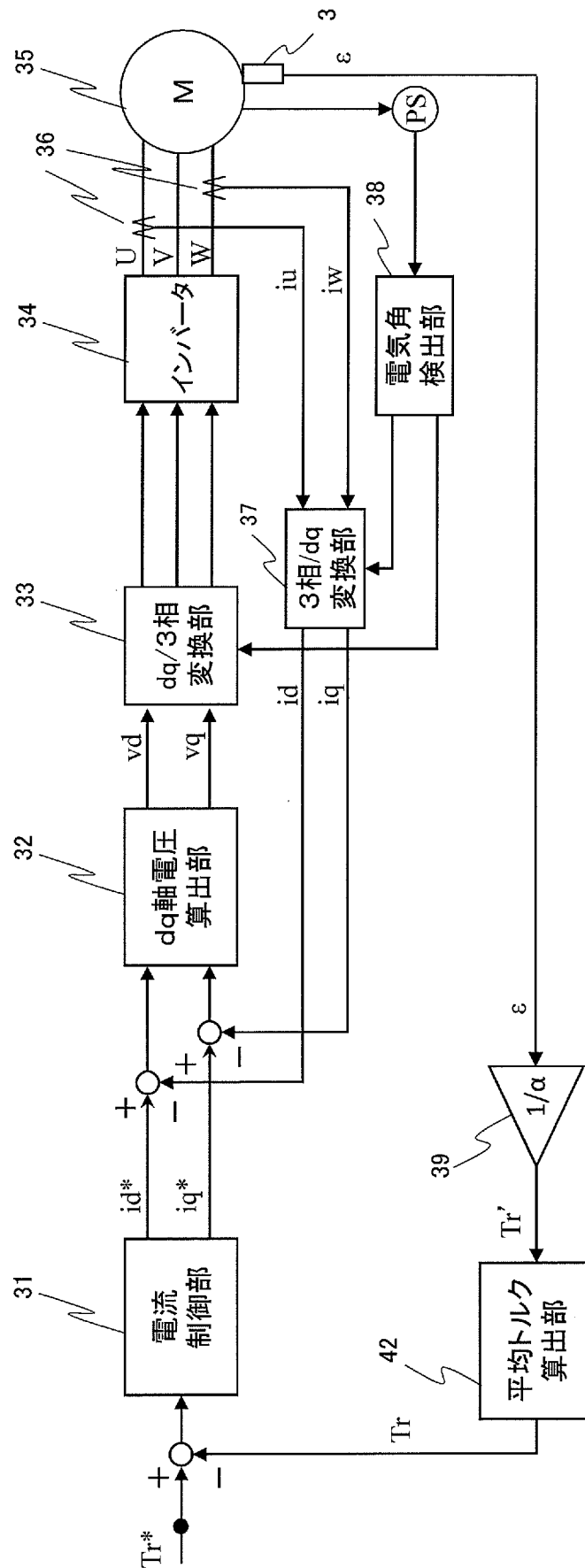
前記加速度検出手段には、第1の加速度検出手段と第2の加速度検出手段が含まれ、前記第1の加速度検出手段と前記第2の加速度検出手段は、電磁環境は同じであるが、異なるステータティースに配置されており、

前記第1の加速度検出手段によって検出された加速度と、前記第2の加速度検出手段によって検出された加速度とを比較することによって、外乱を検出する外乱検出手段をさらに備える、
電動機のトルク推定装置。

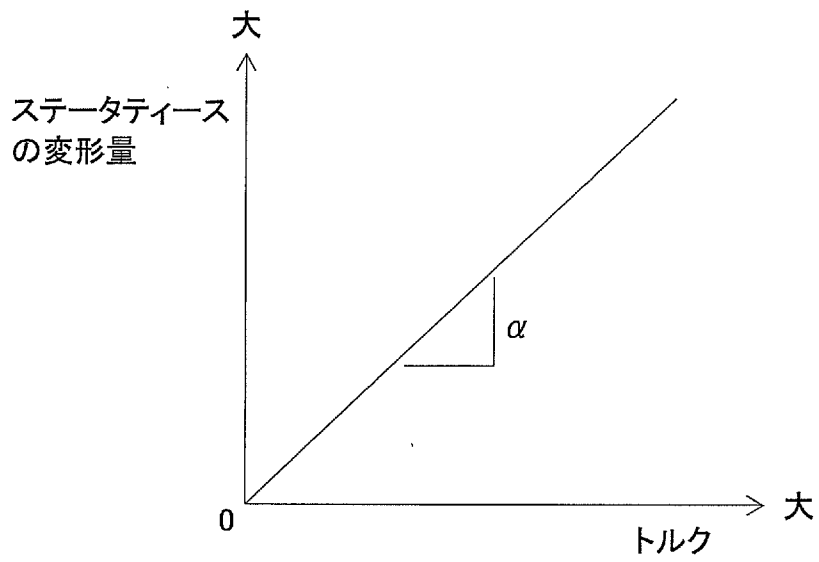
[請求項34] 電動機の駆動時に、ステータの構成要素であるステータティースに生じる変形に依存する量を検出し、

検出したステータティースに生じる変形に依存する量に基づいて、
前記電動機のトルクを推定する、
電動機のトルク推定方法。

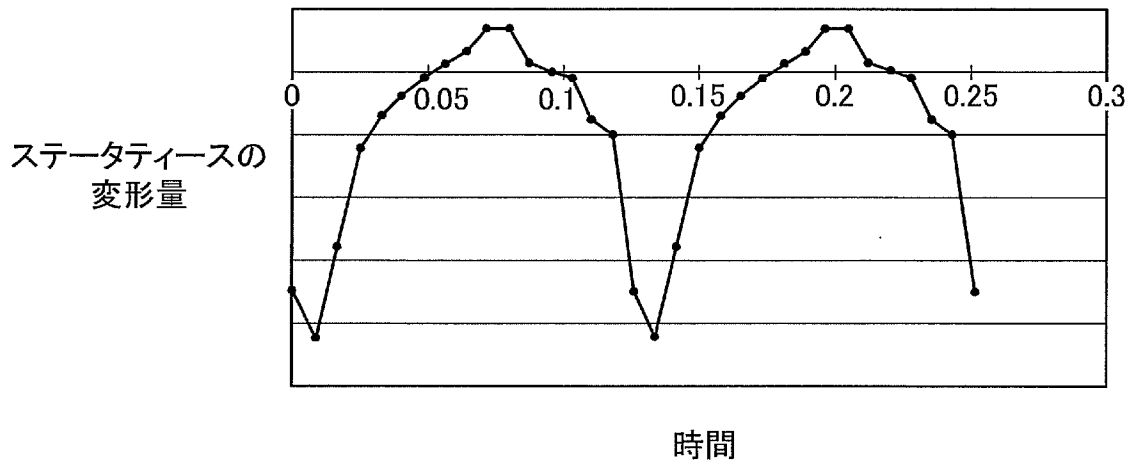
[図2]



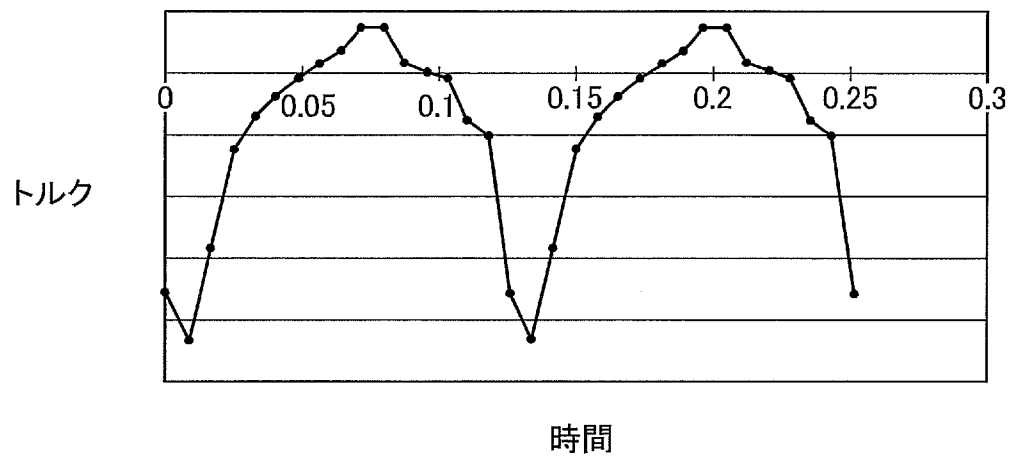
[図3]



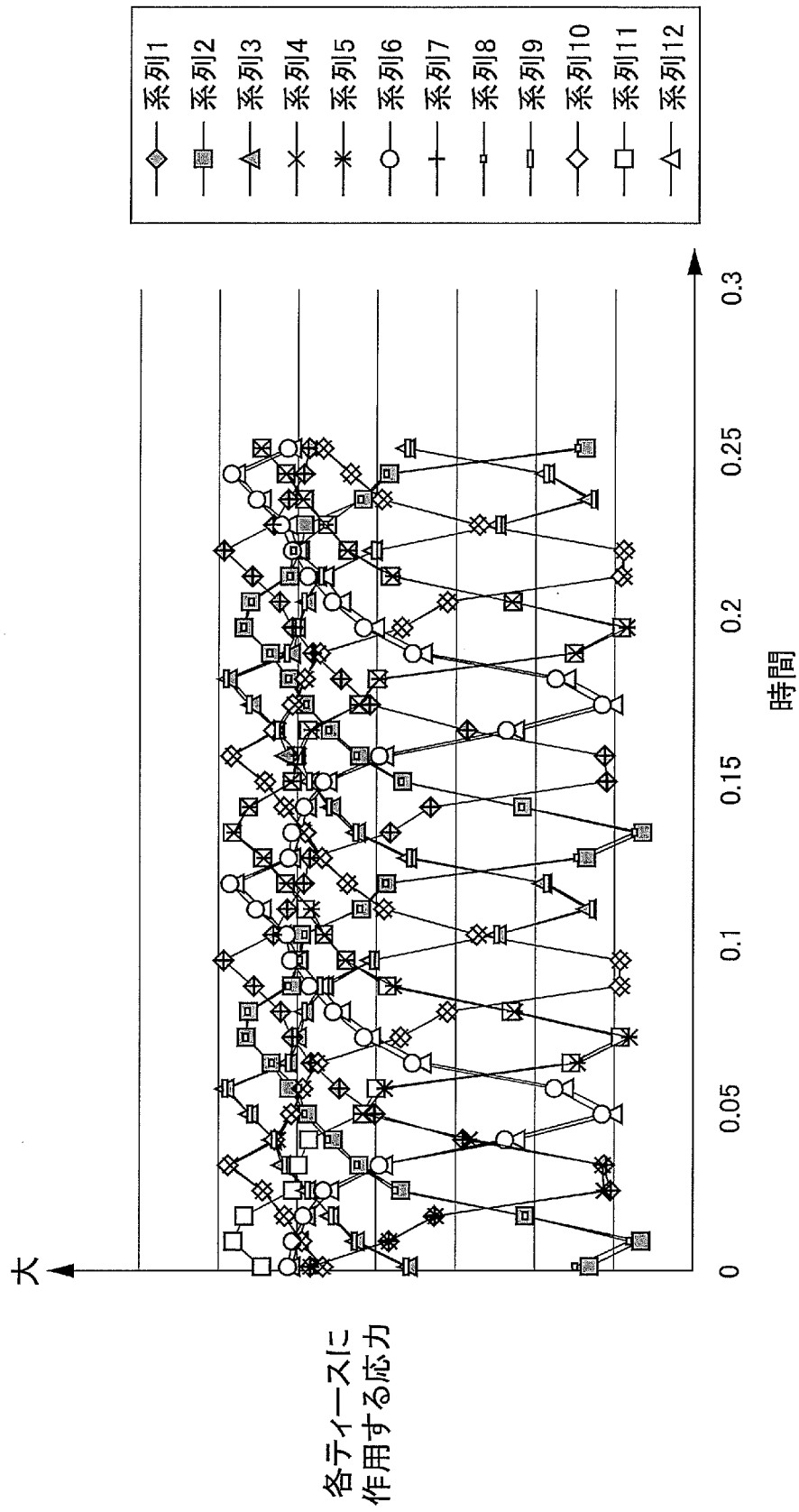
[図4A]



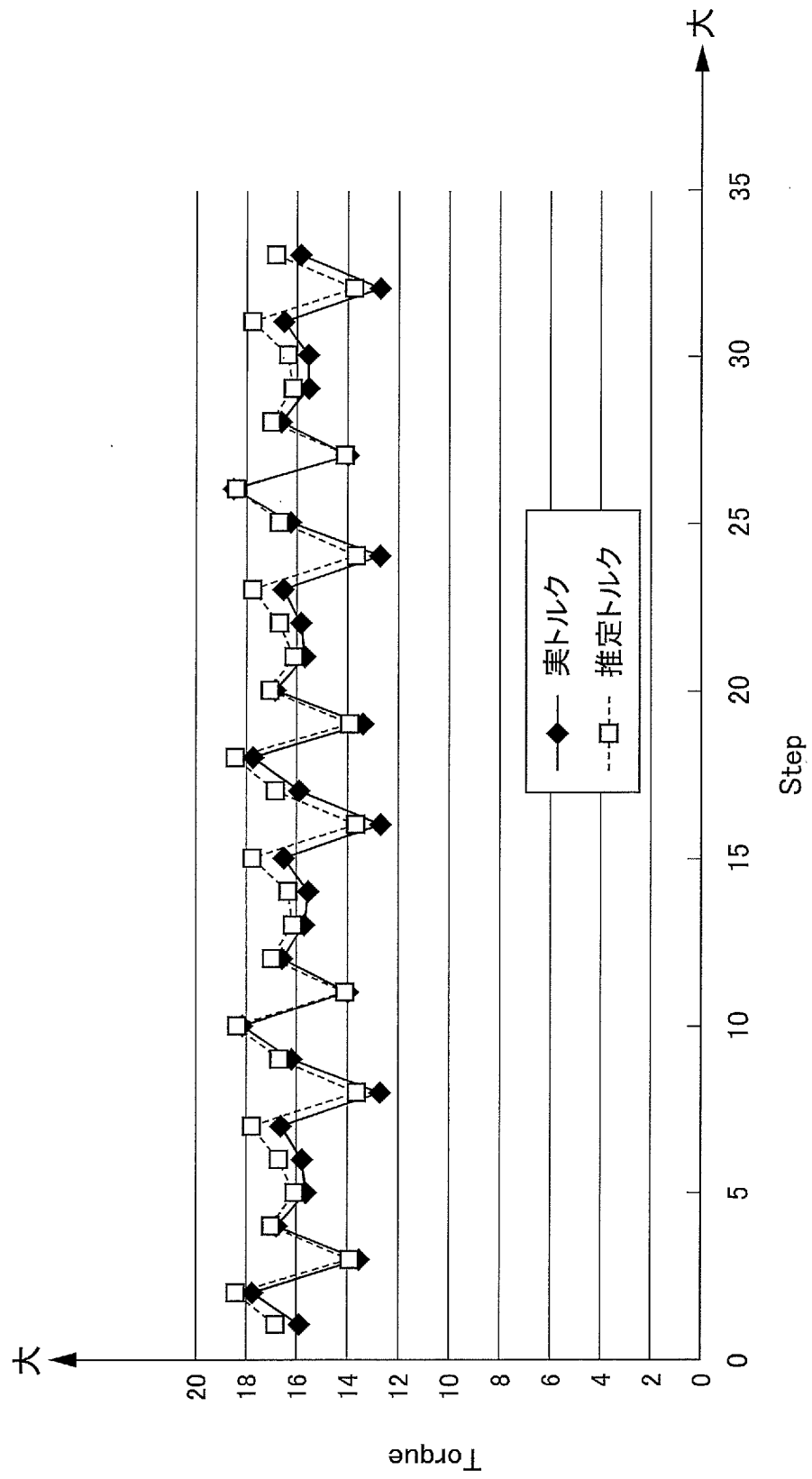
[図4B]



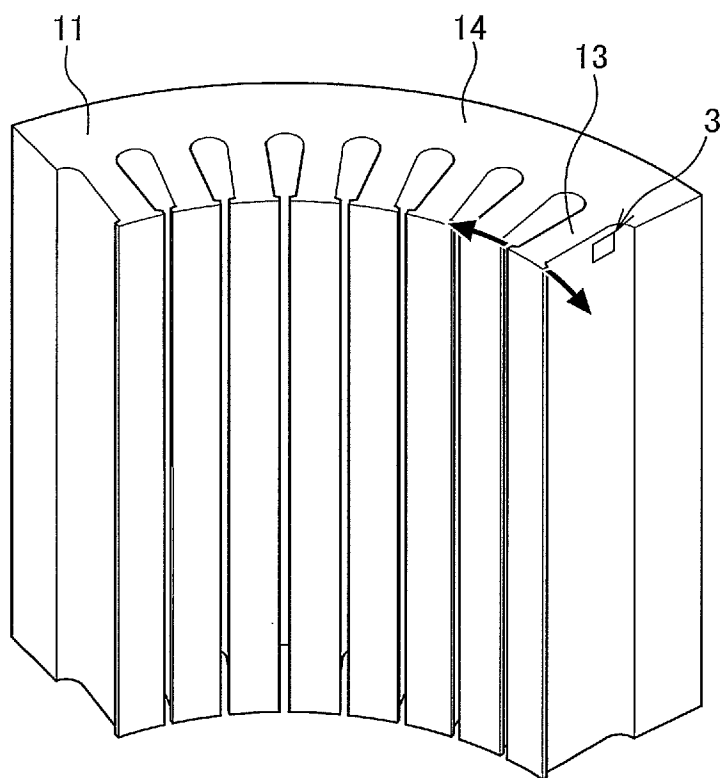
[図5]



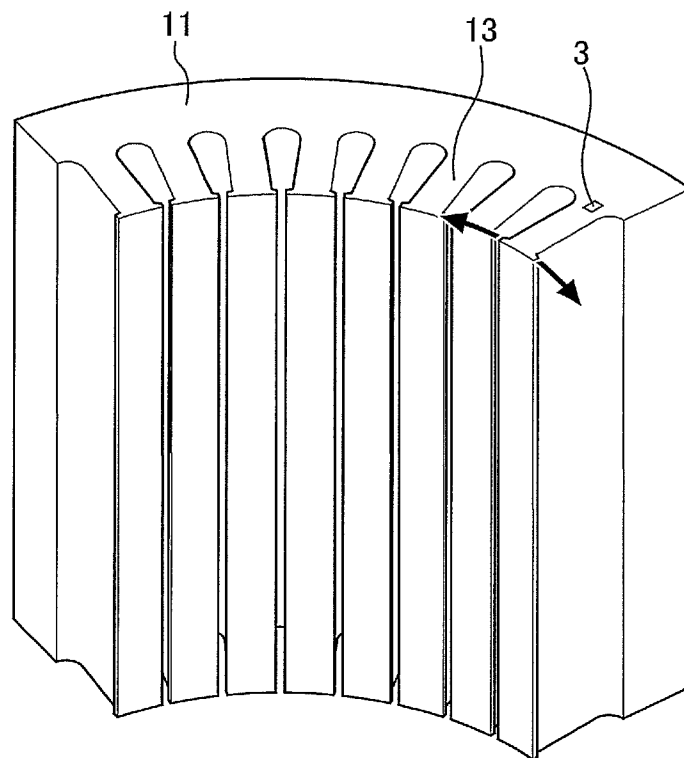
[図6]



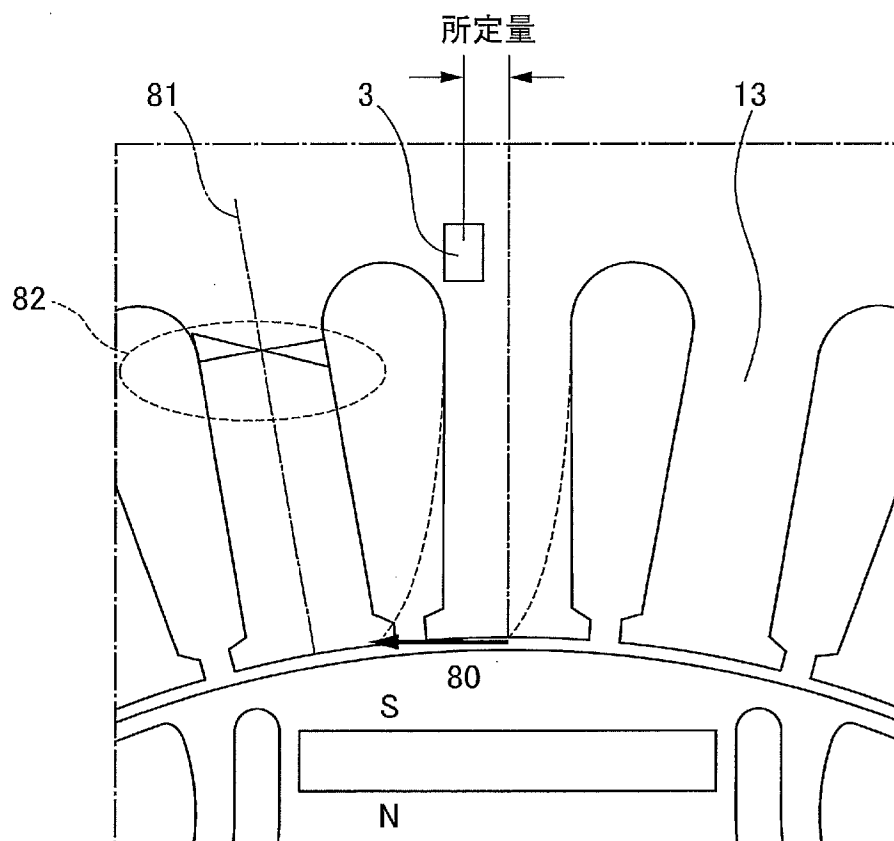
[図7]



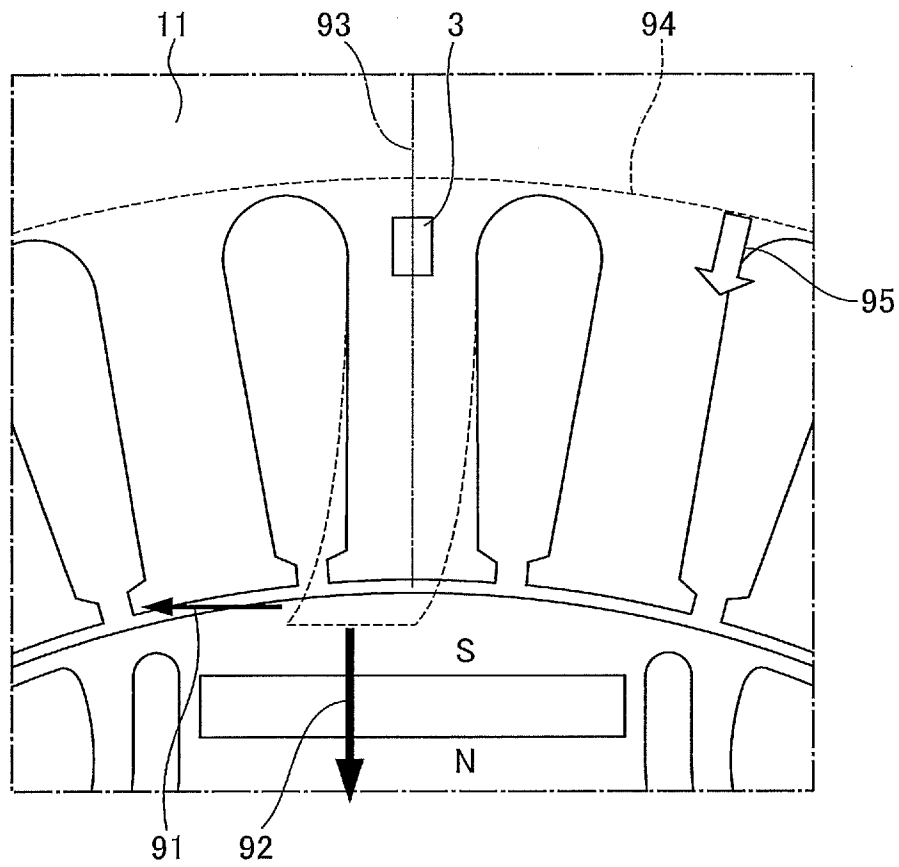
[図8A]



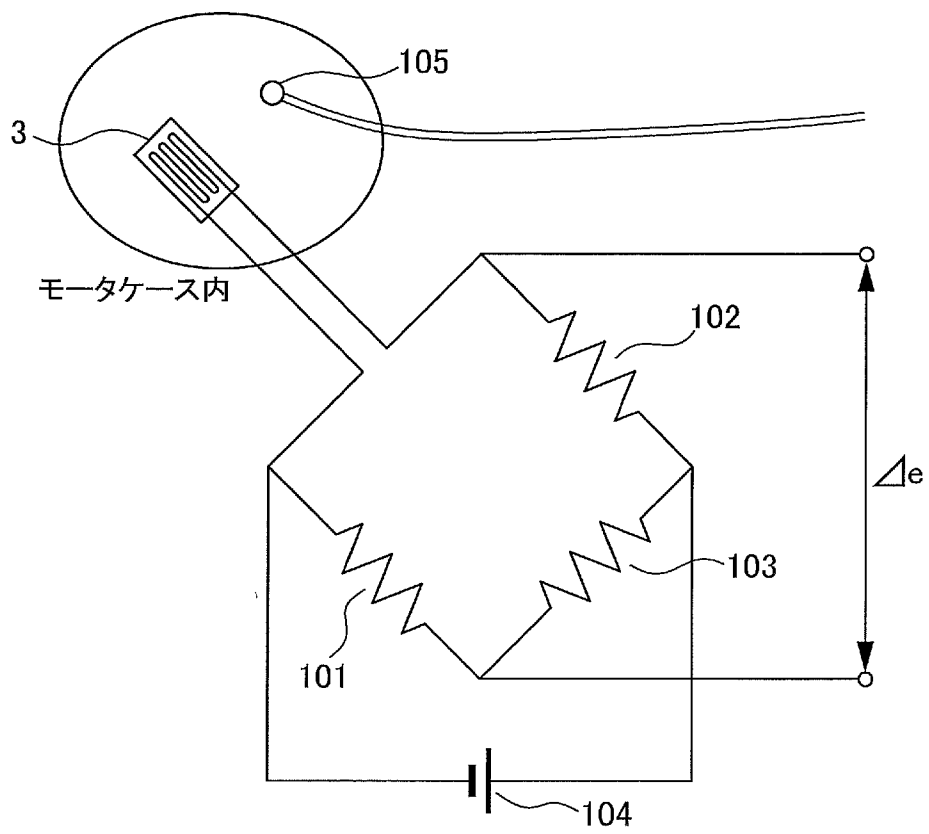
[図8B]



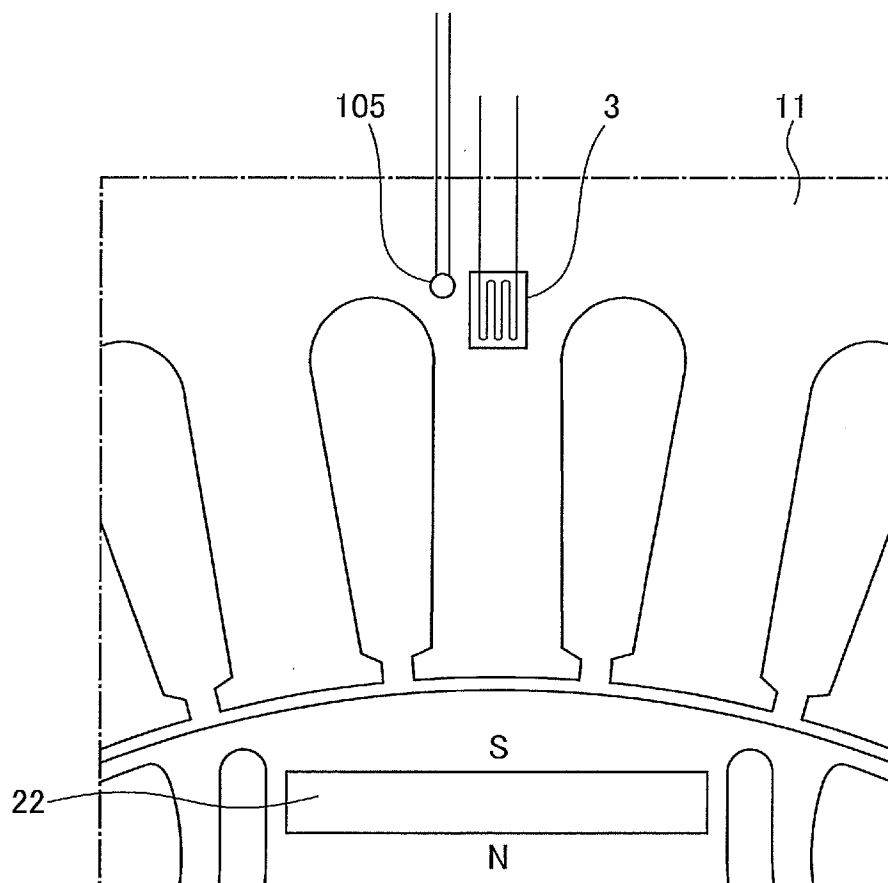
[図9]



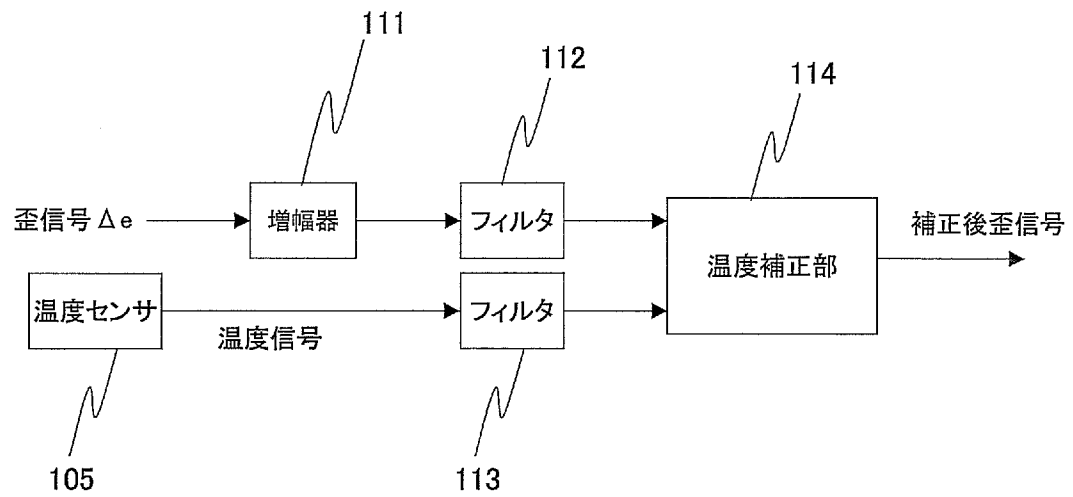
[図10A]



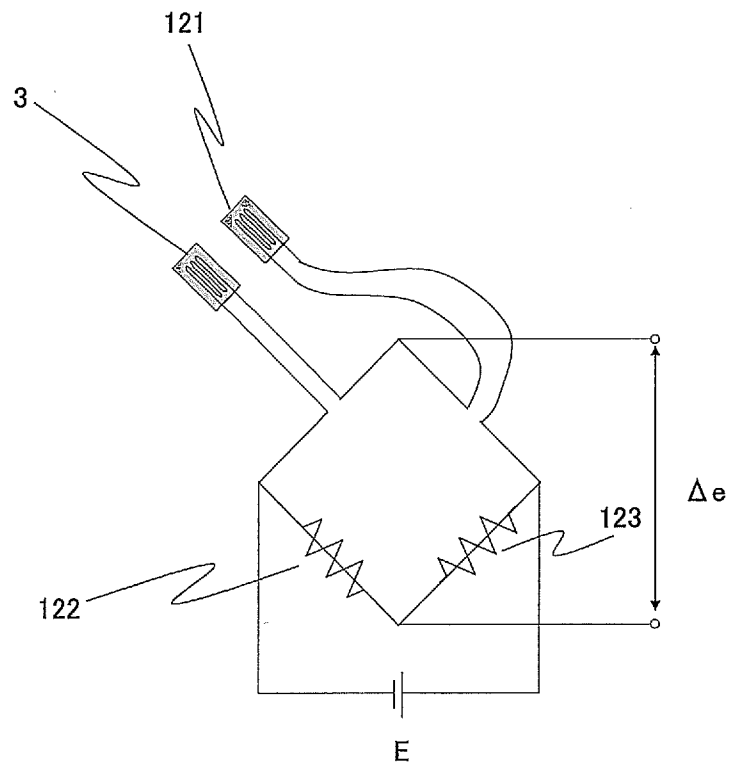
[図10B]



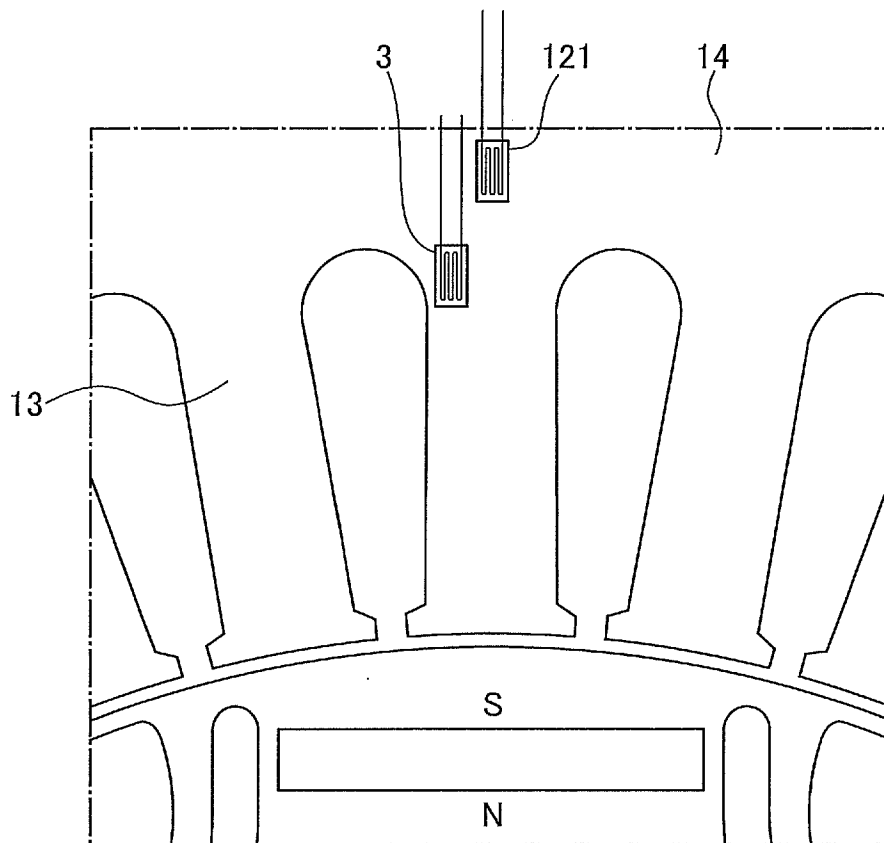
[図11]



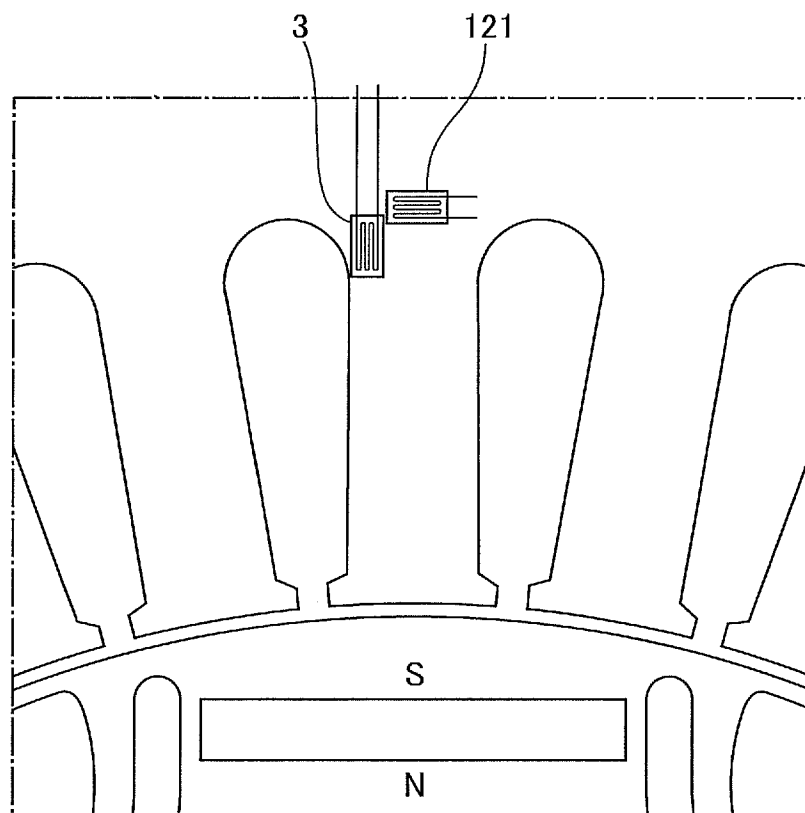
[図12]



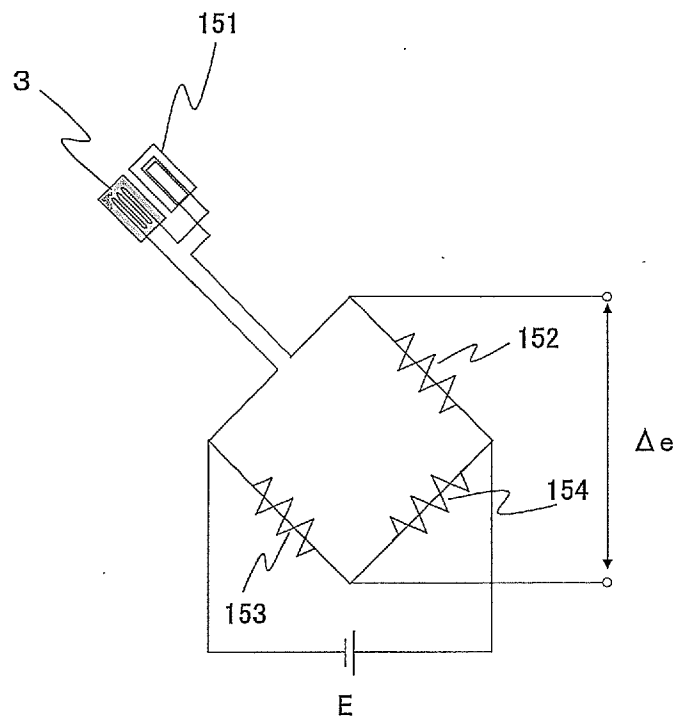
[図13]



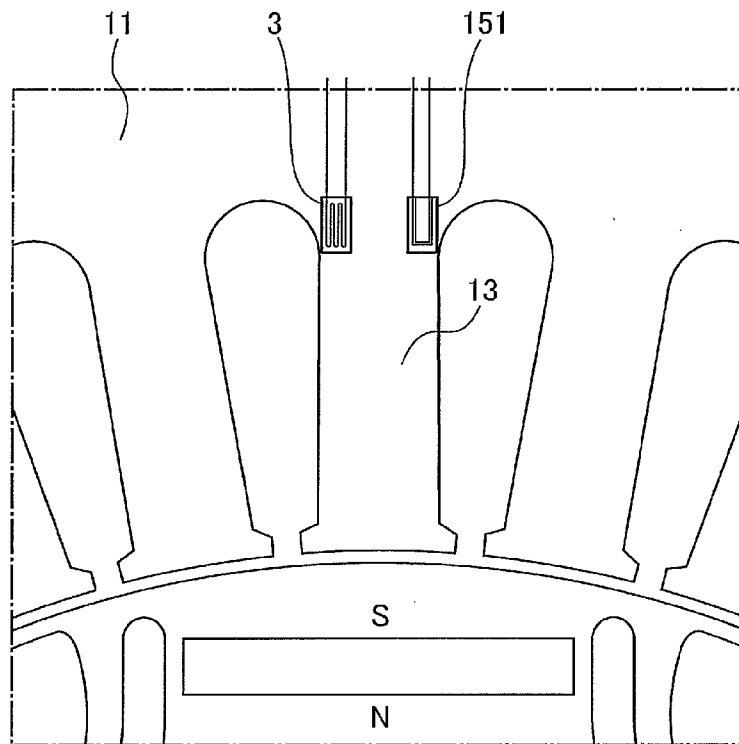
[図14]



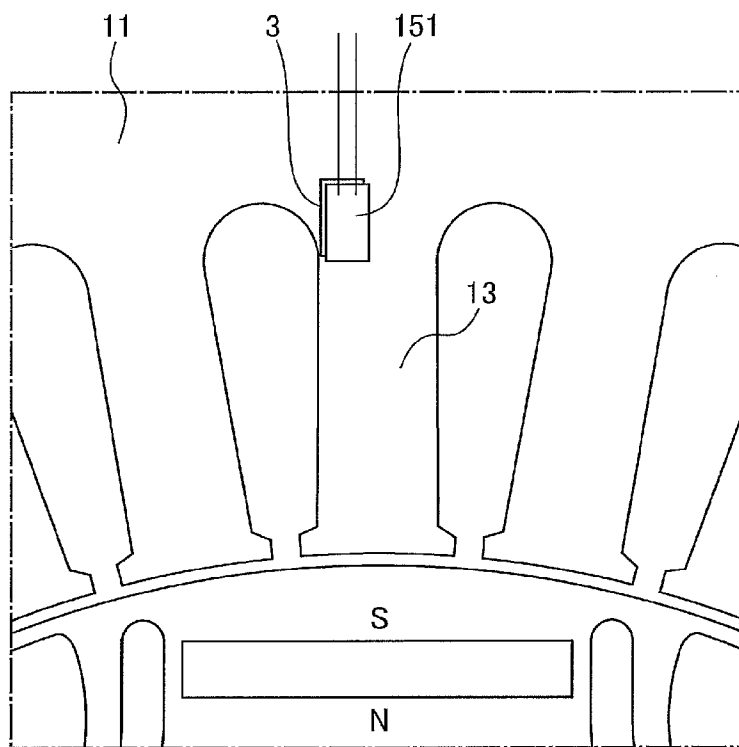
[図15]



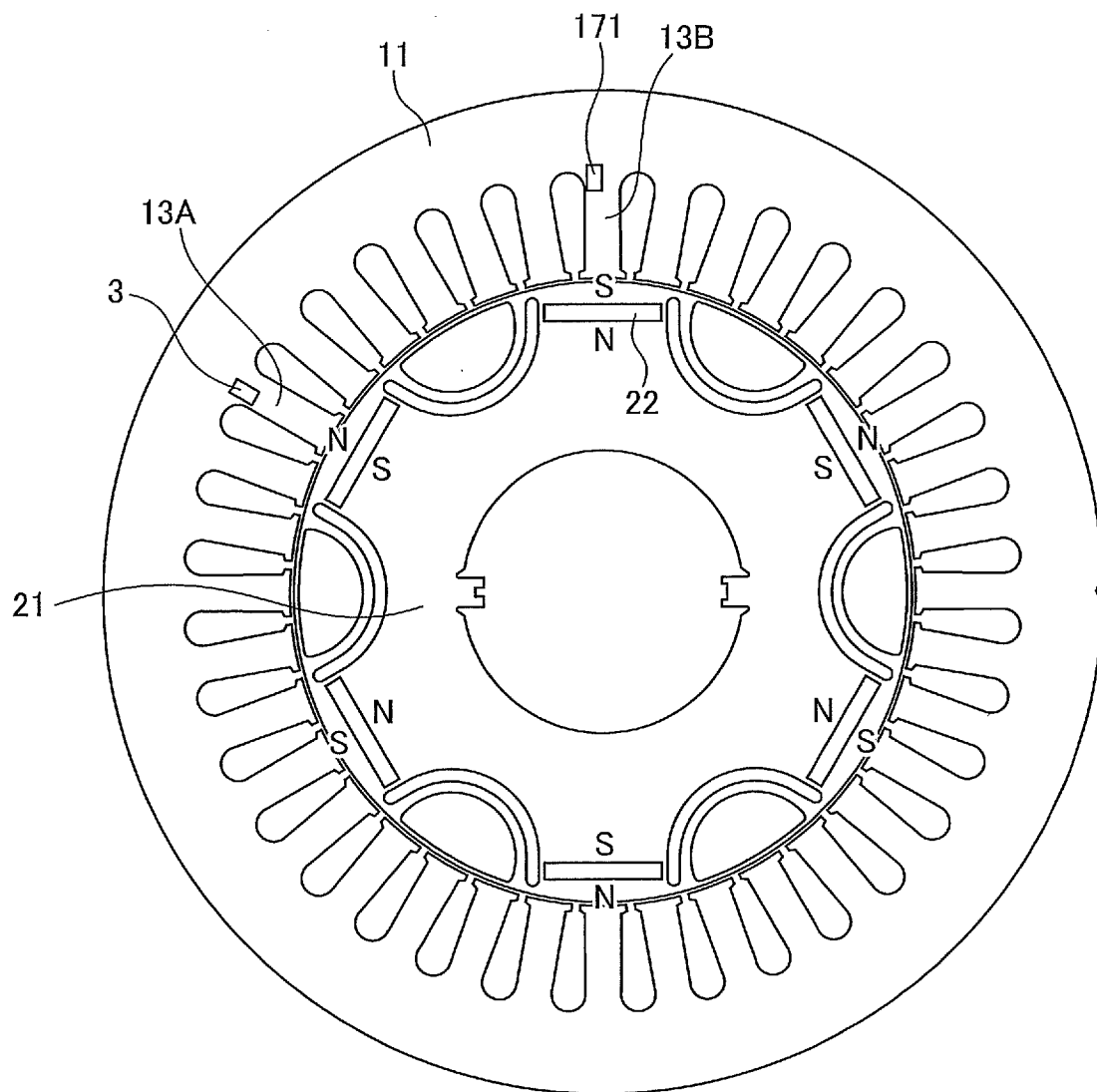
[図16A]



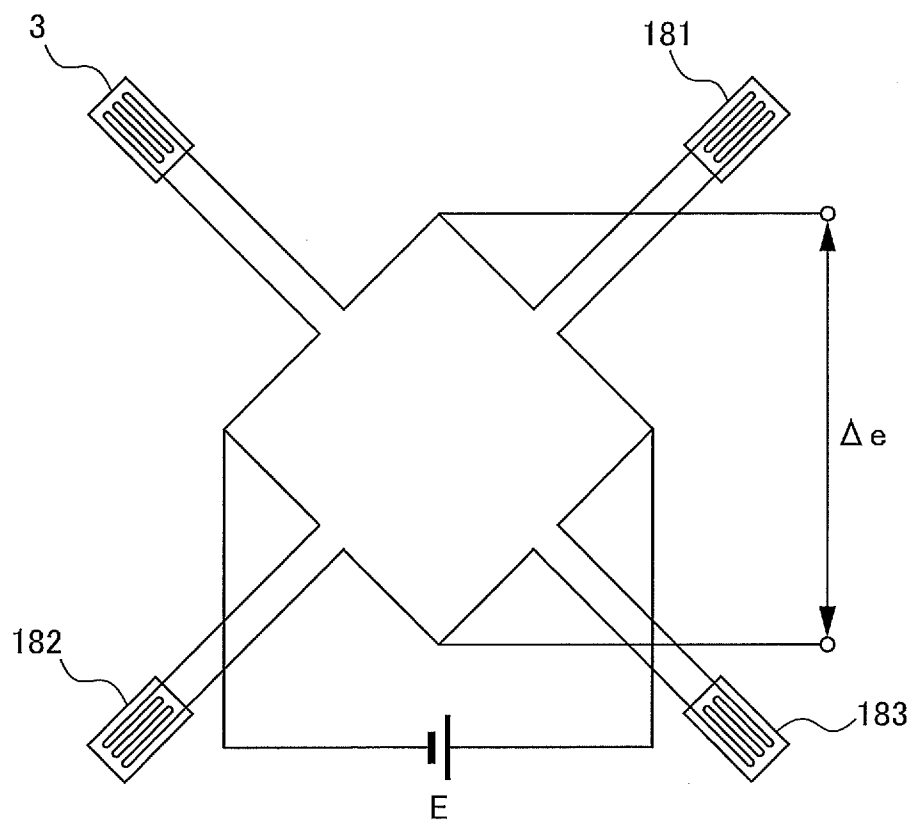
[図16B]



[図17]

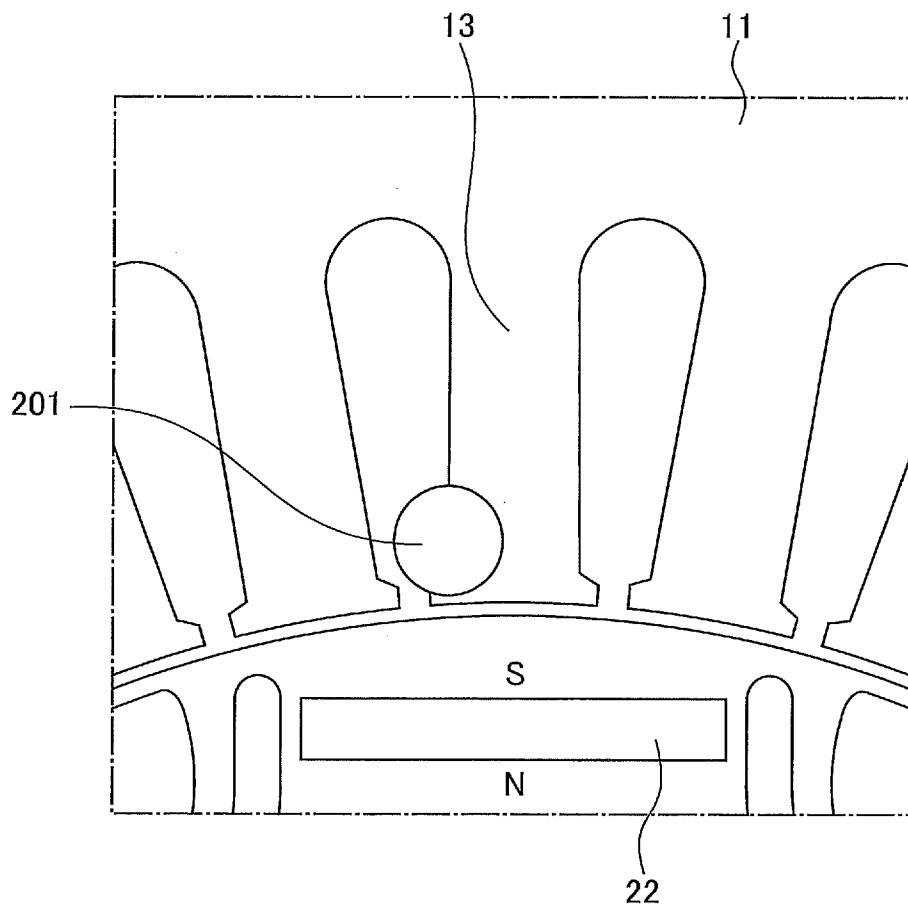


[図18]

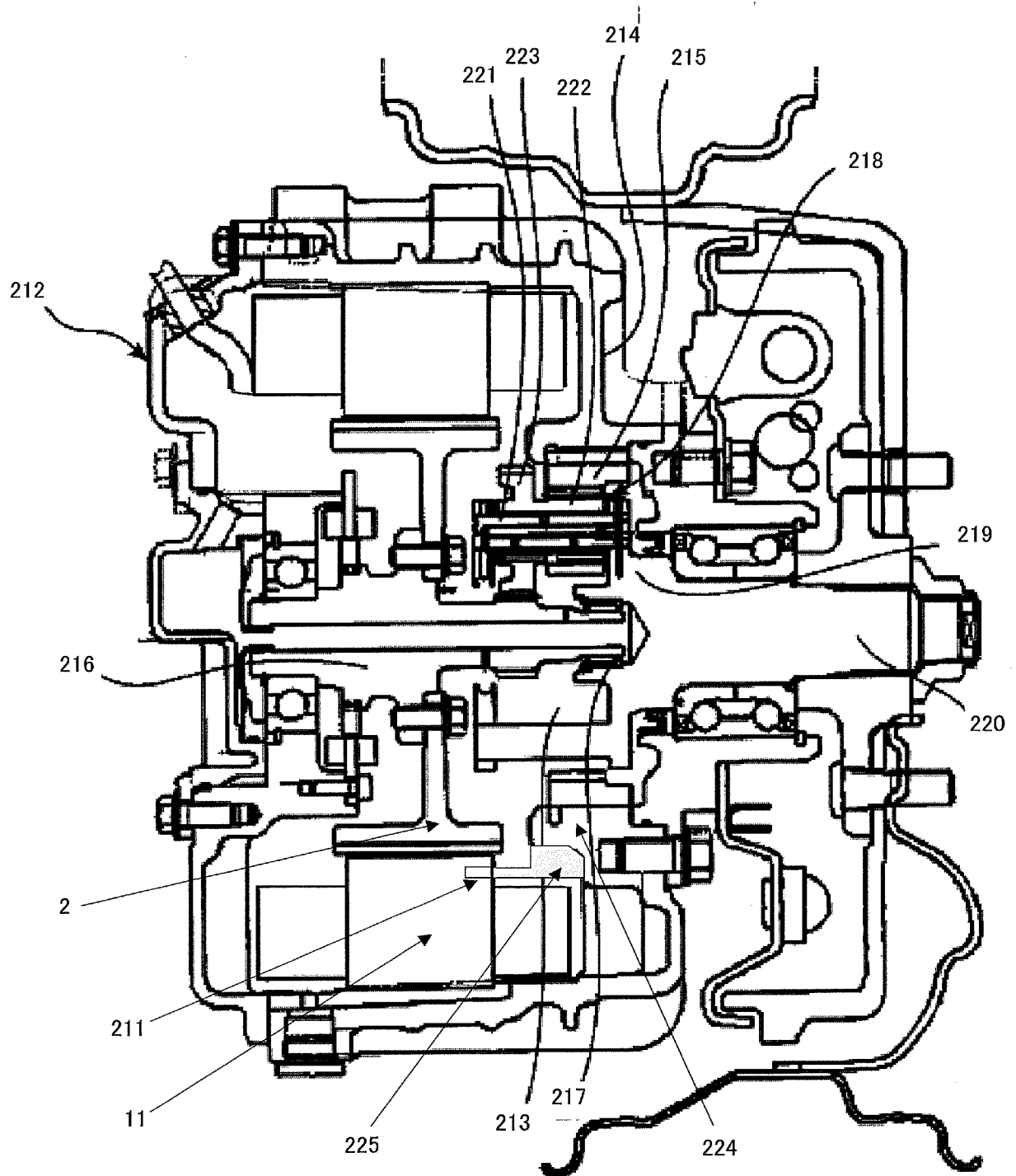


[illegible]

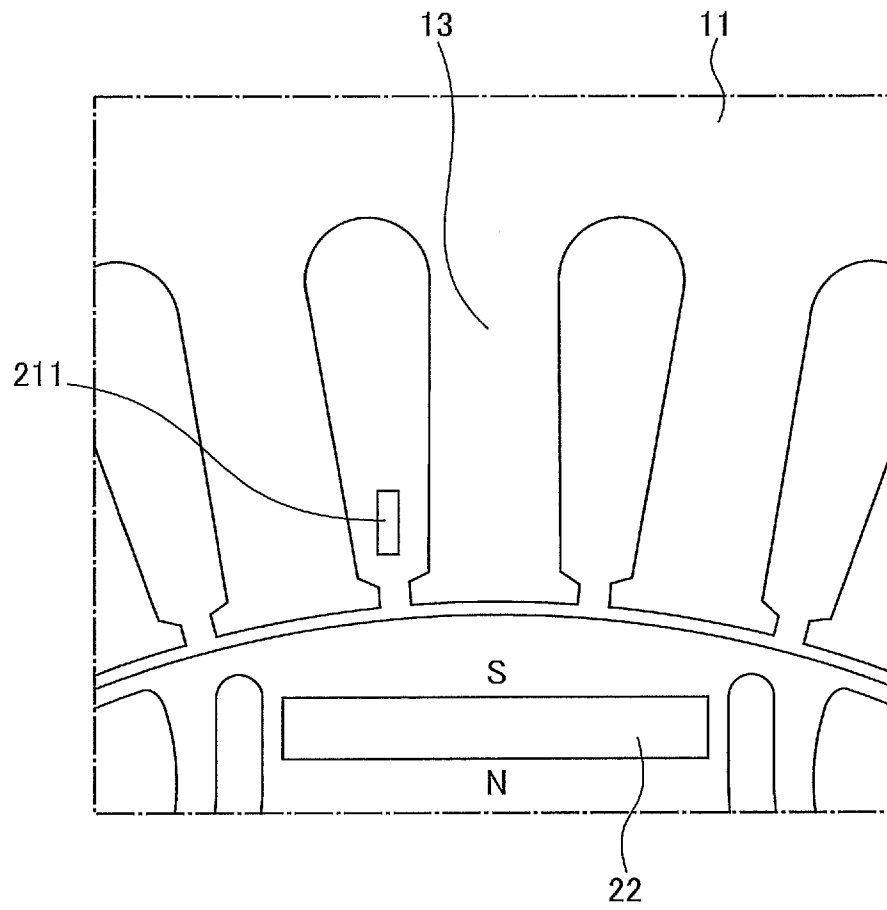
[図20]



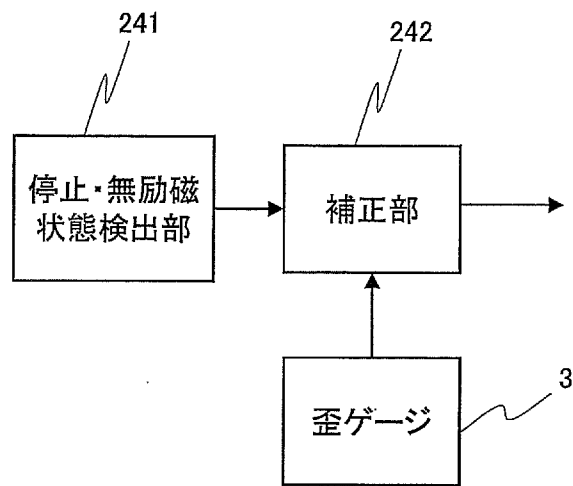
[図21]



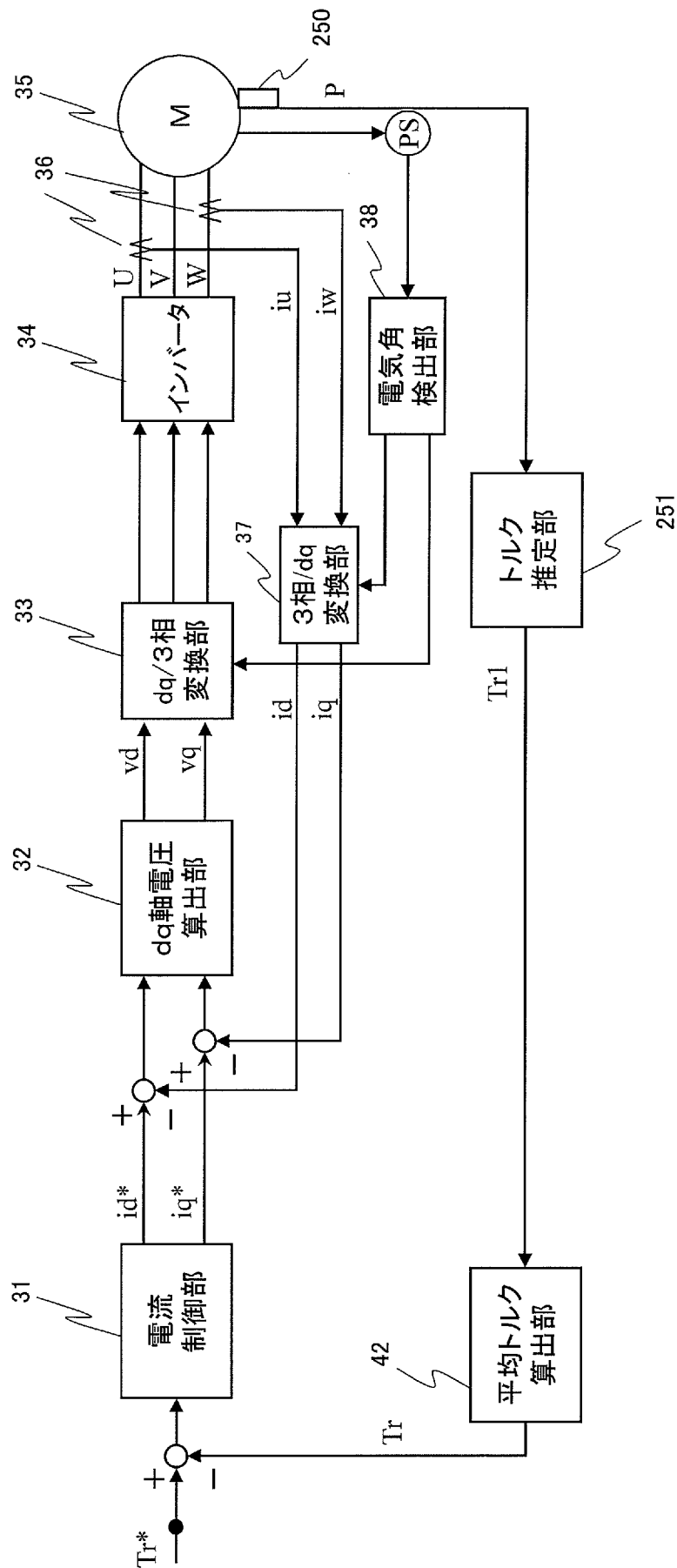
[図22]



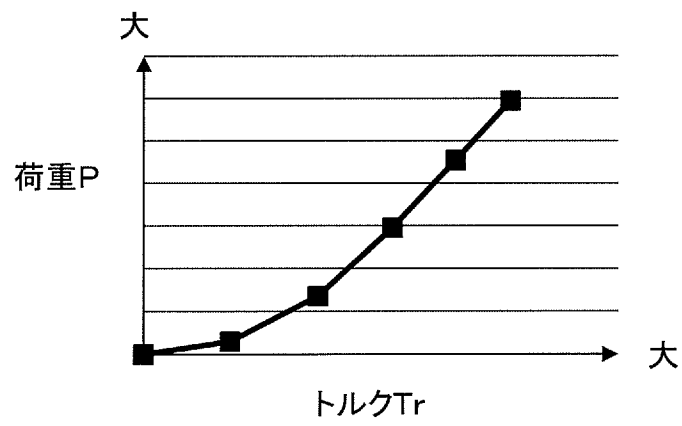
[図23]



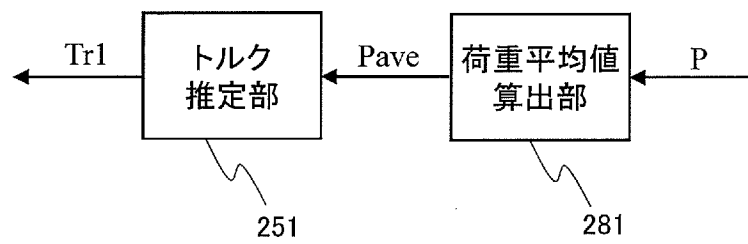
[図24]



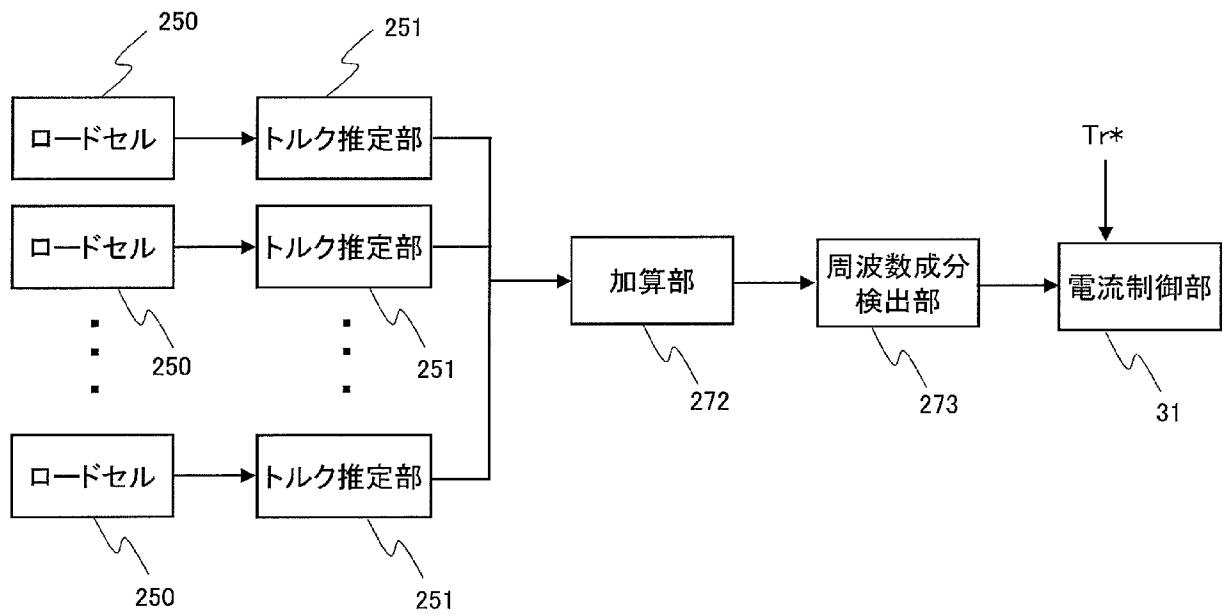
[図25]



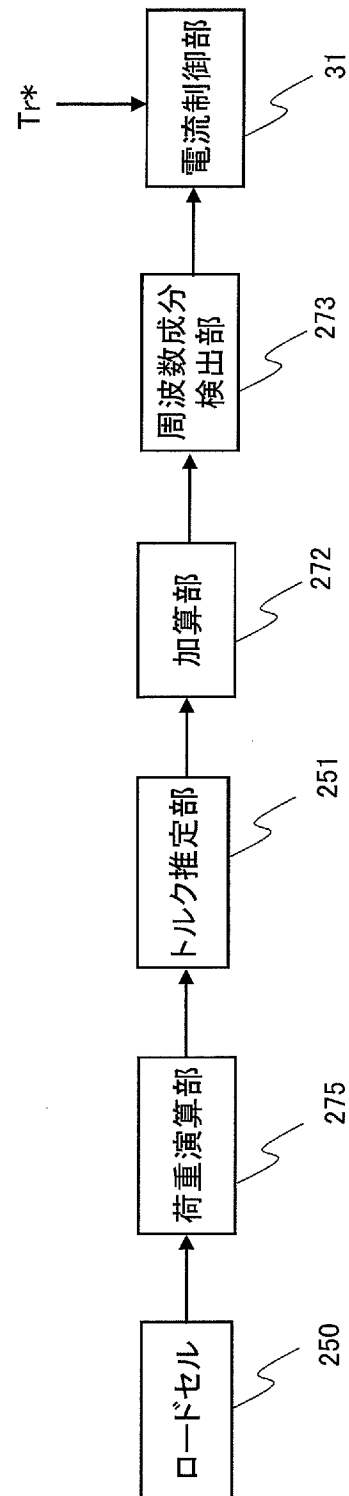
[図26]



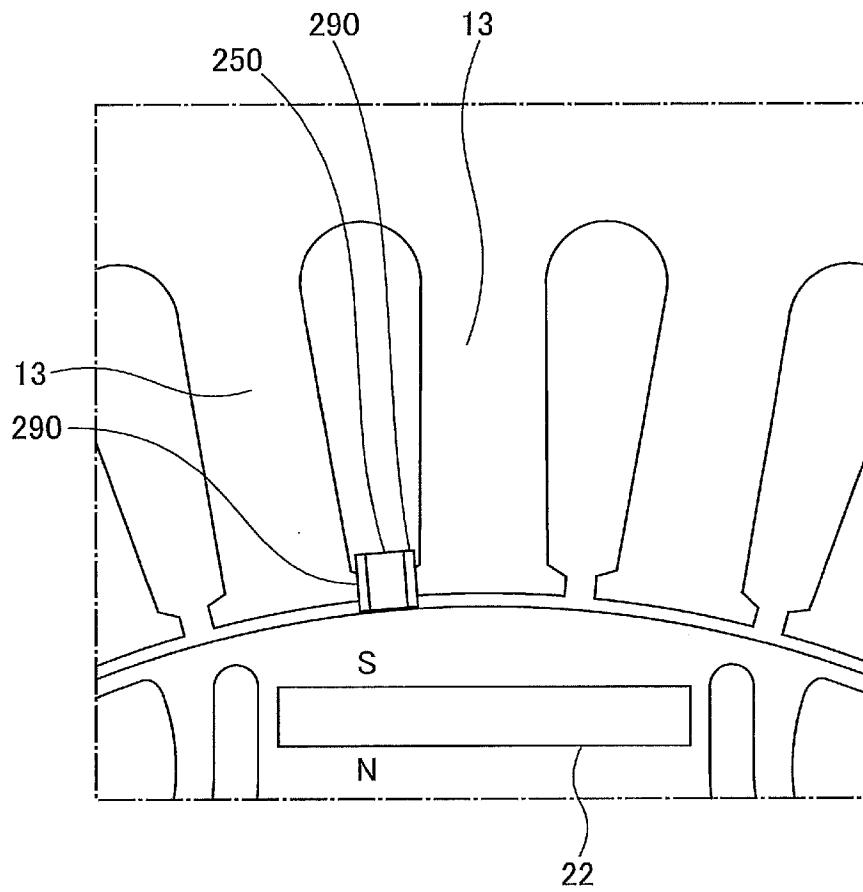
[図27]



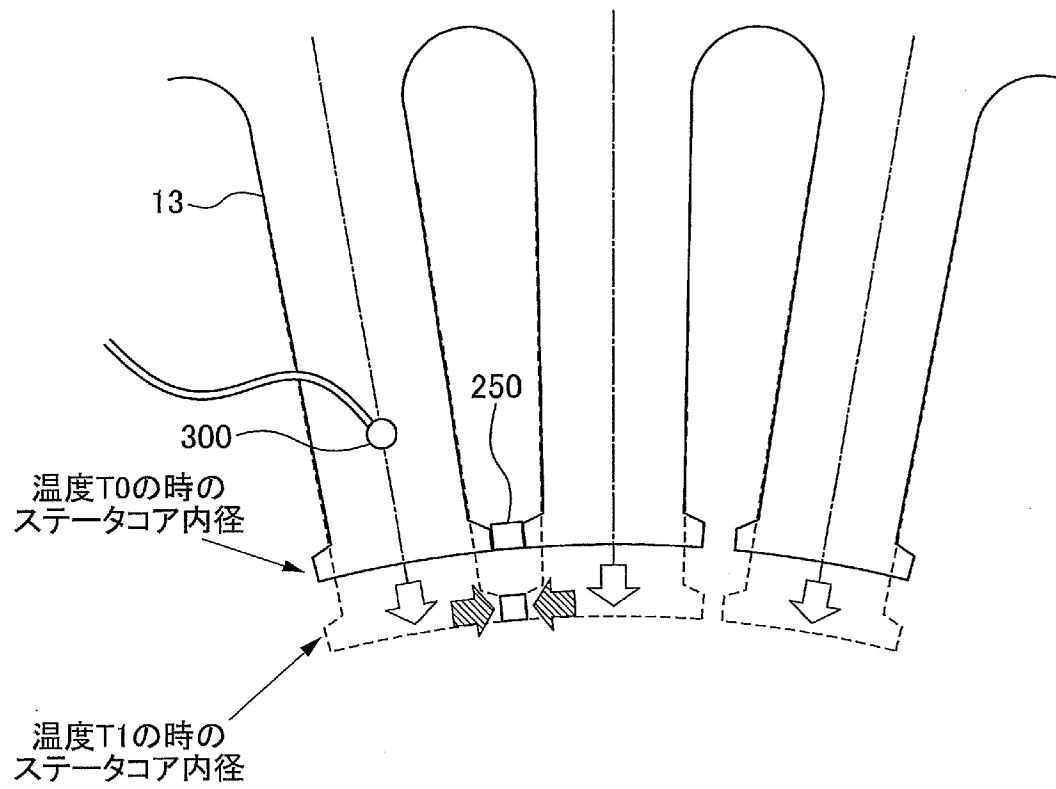
[図28]



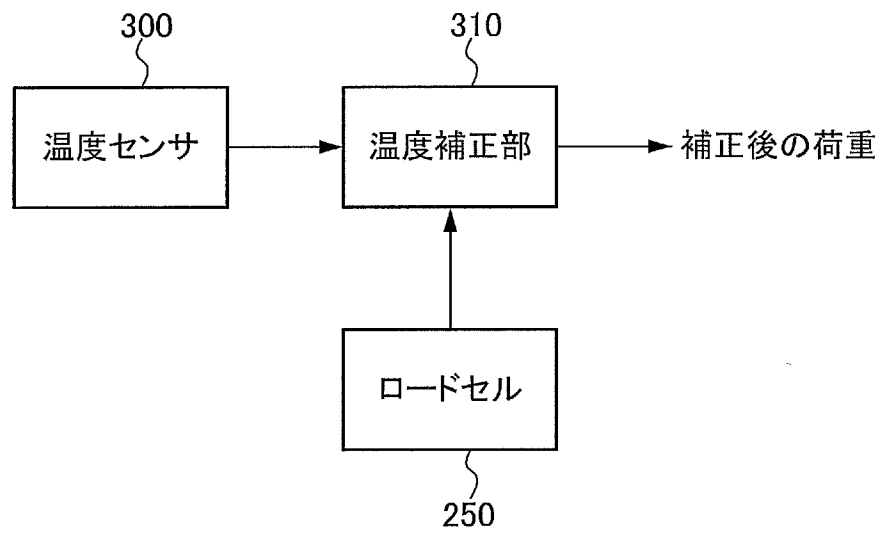
[図29]



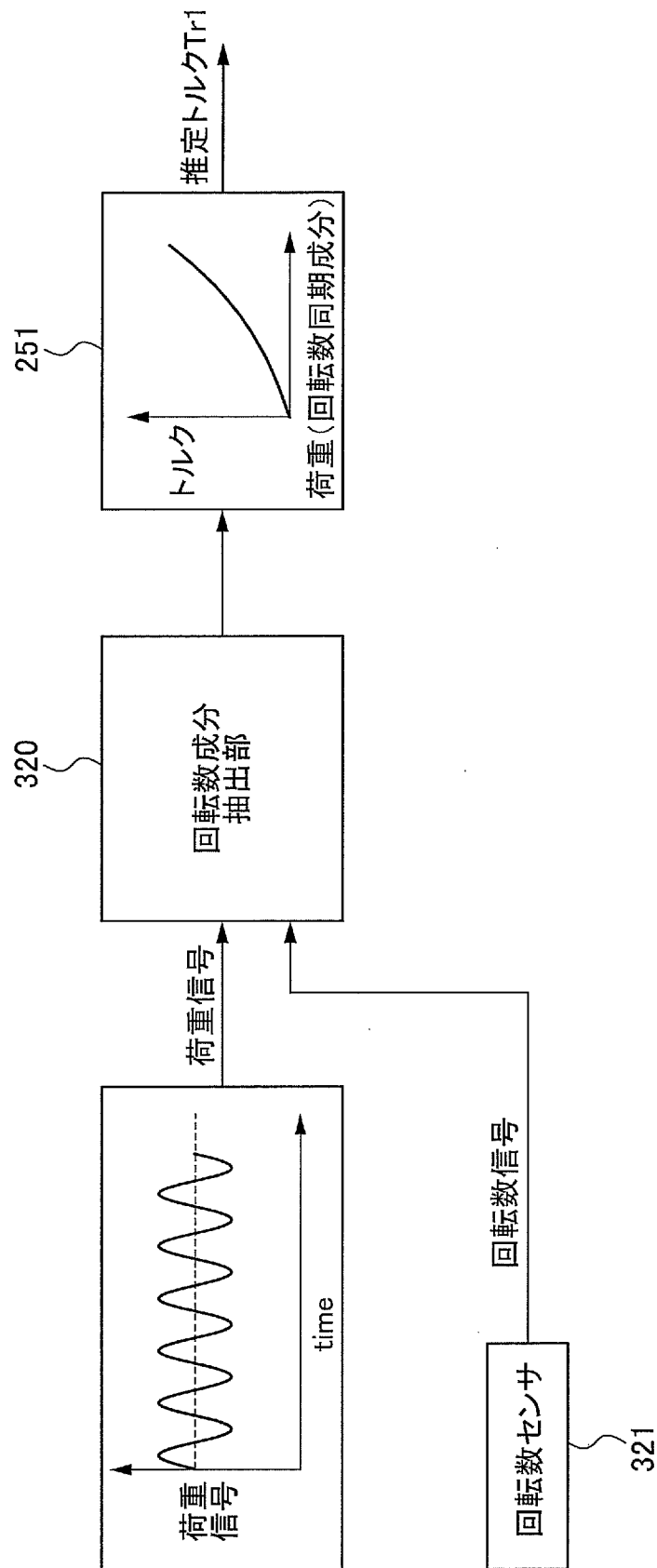
[図30]



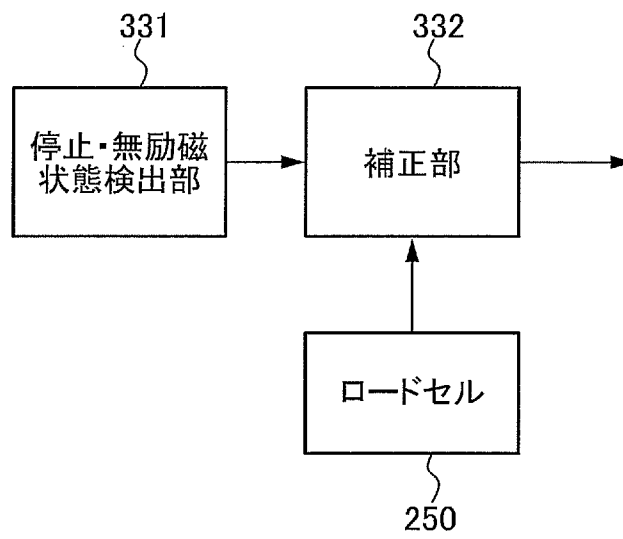
[図31]



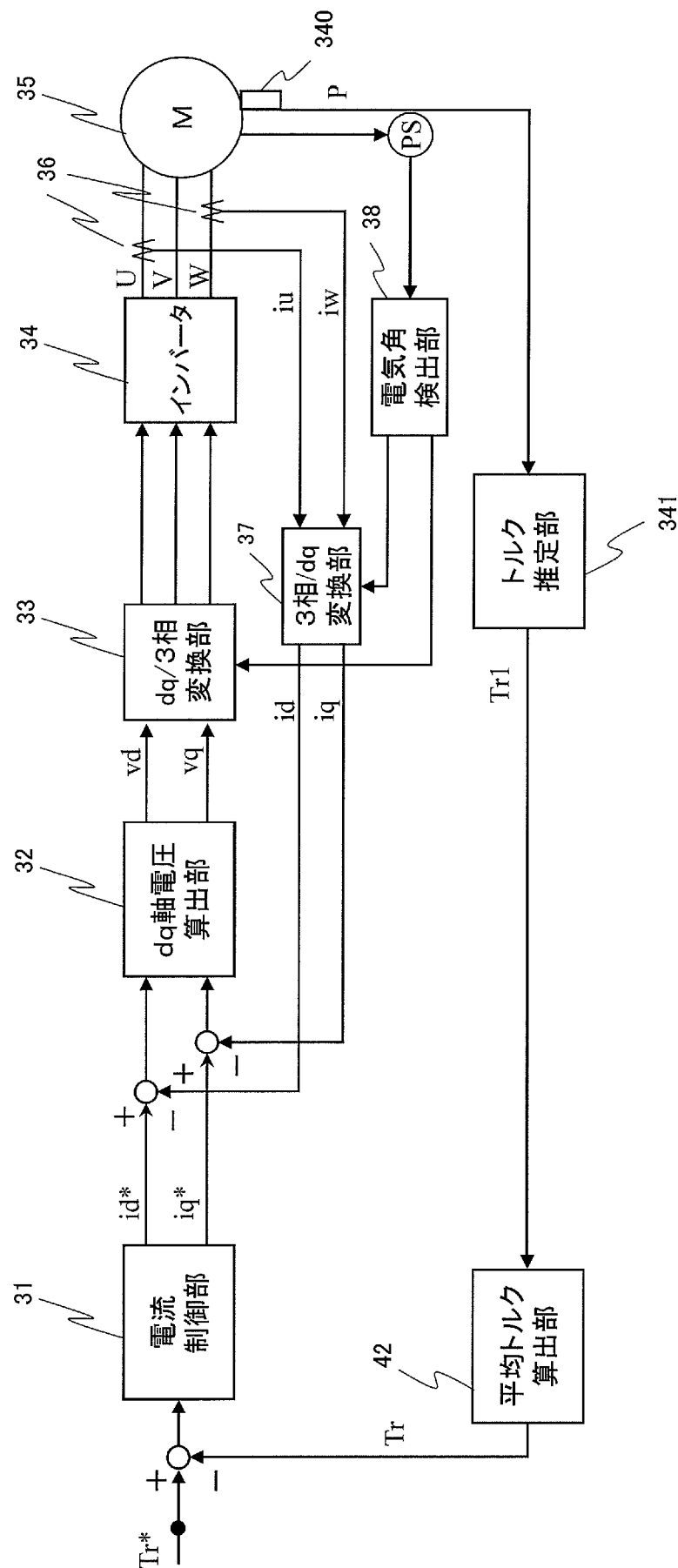
[図32]



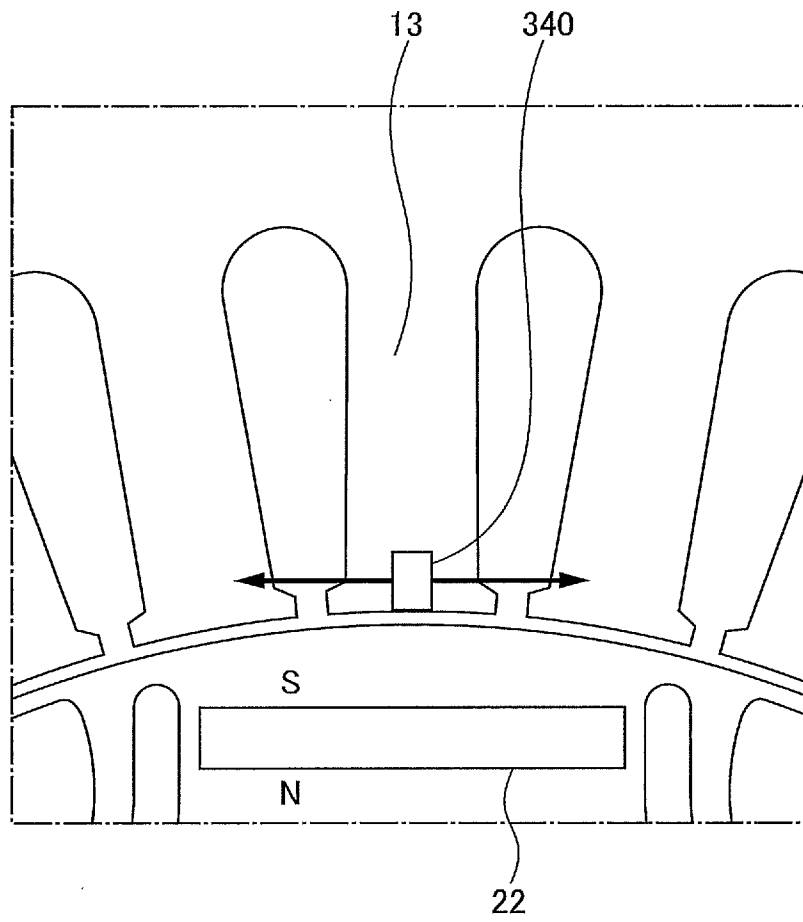
[図33]



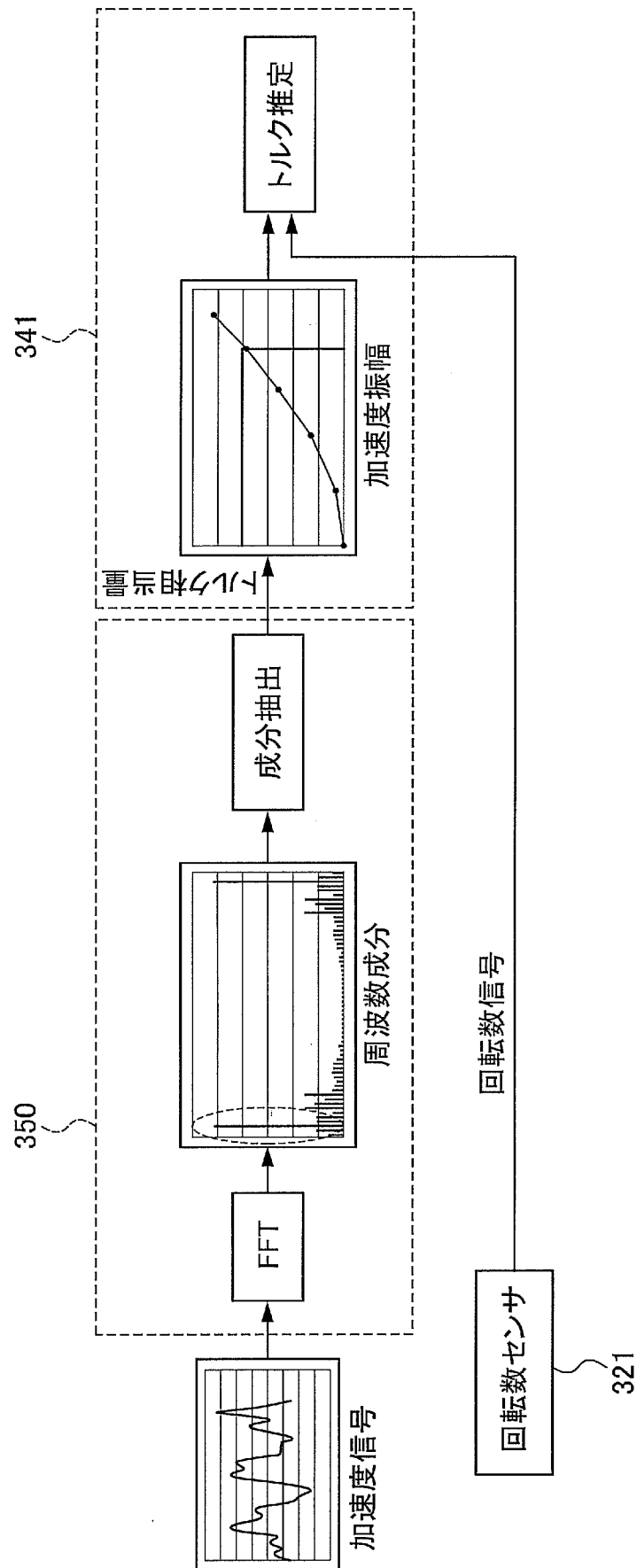
[図34]



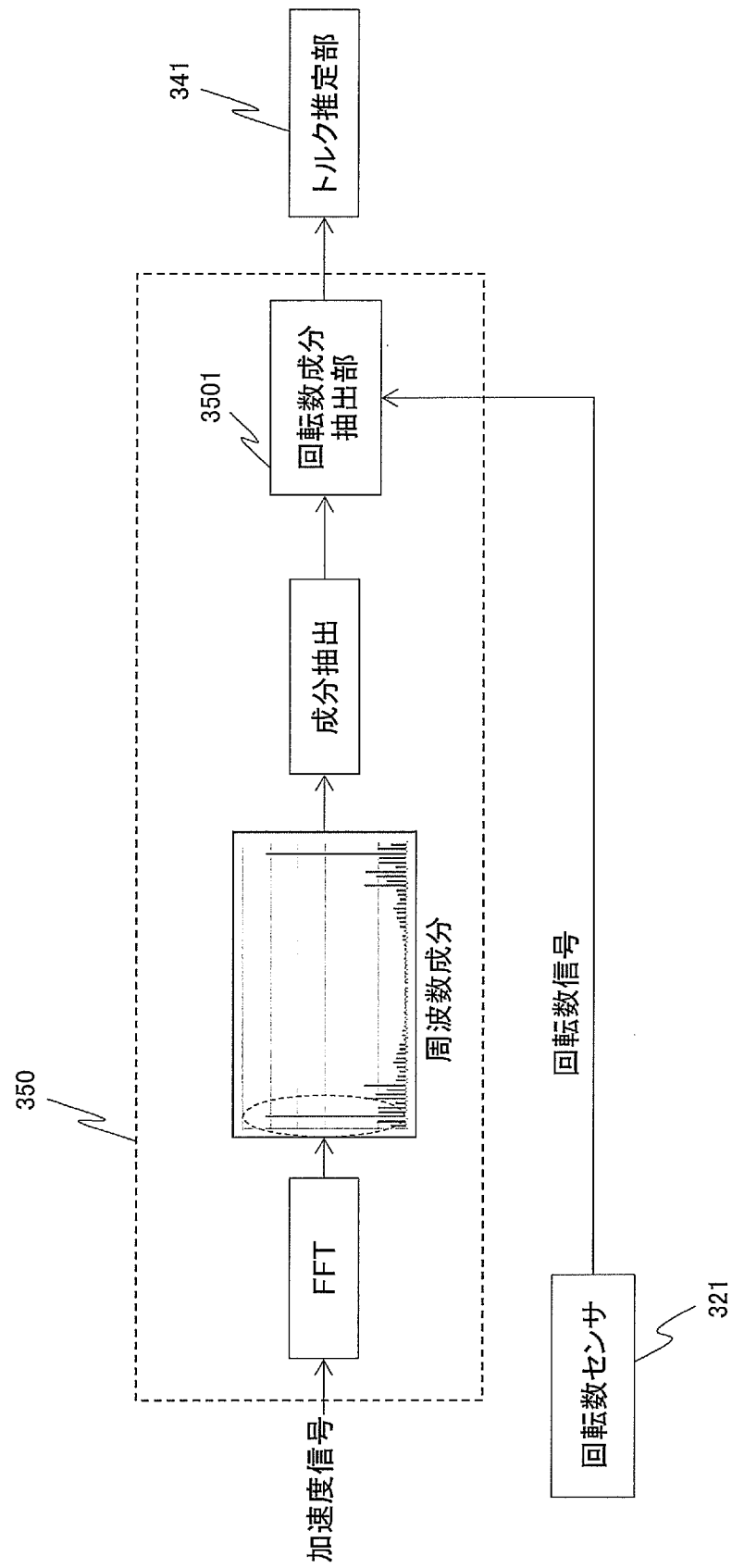
[図35]



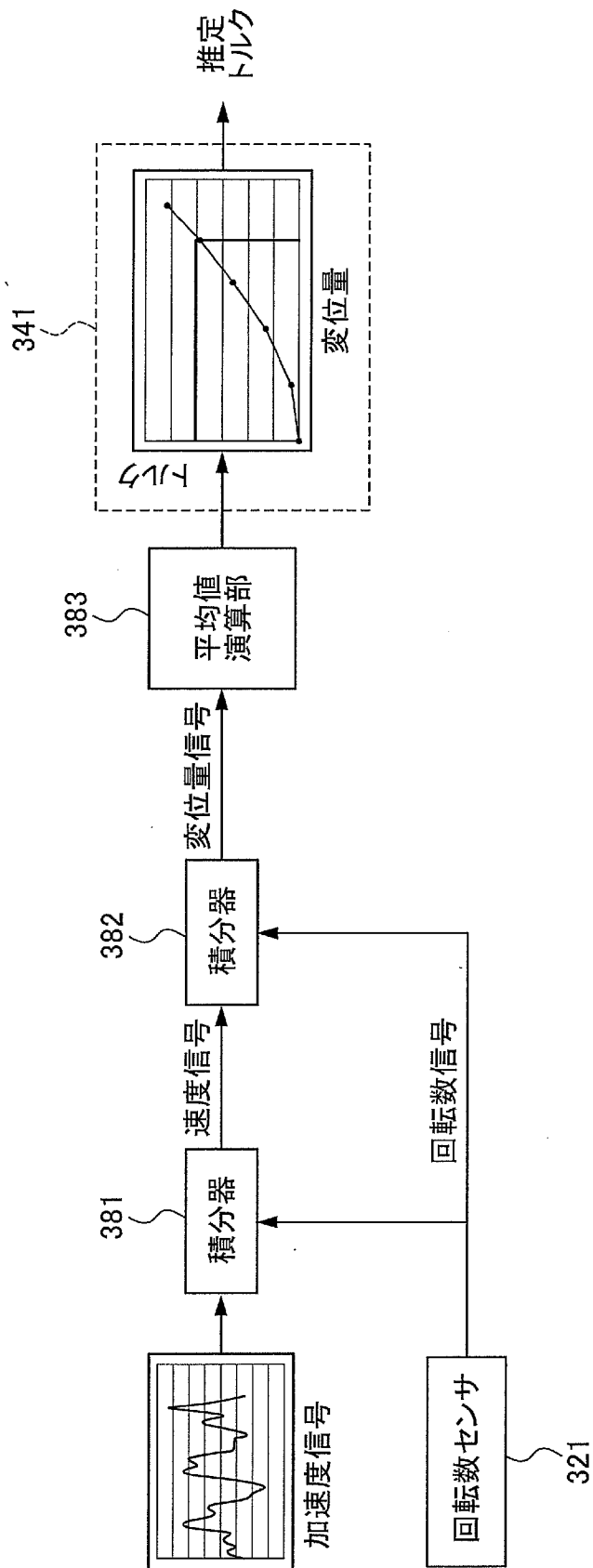
[図36]



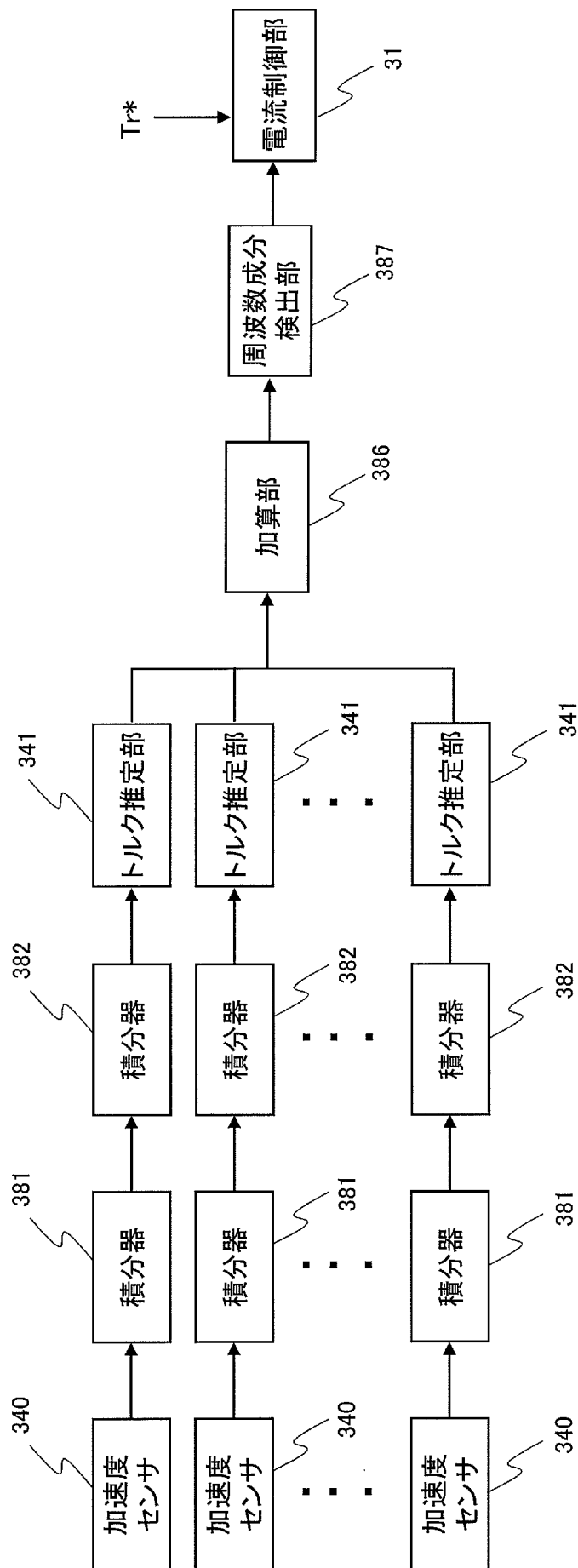
[図37]



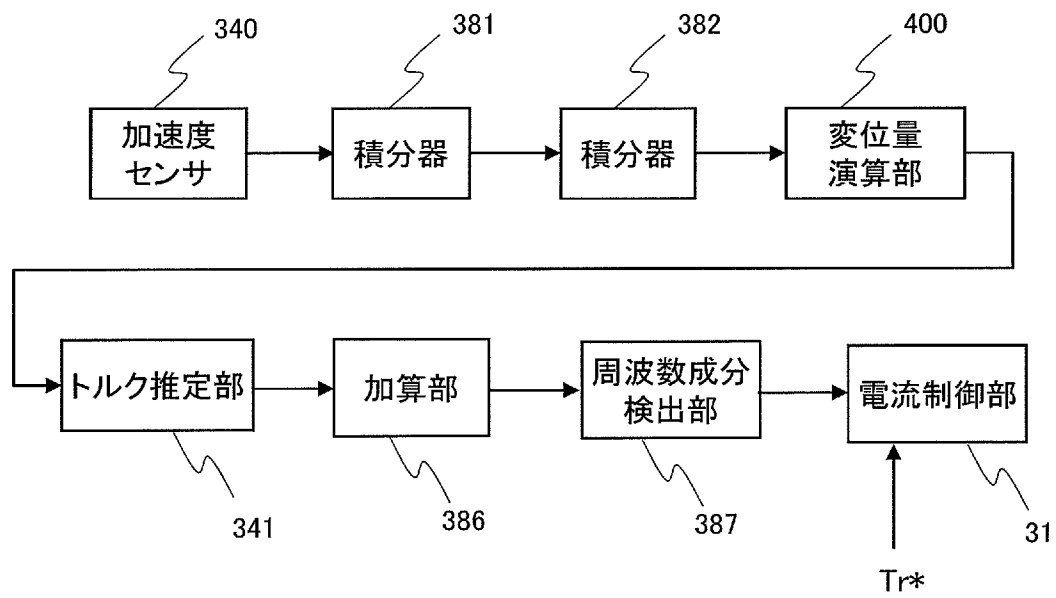
[図38]



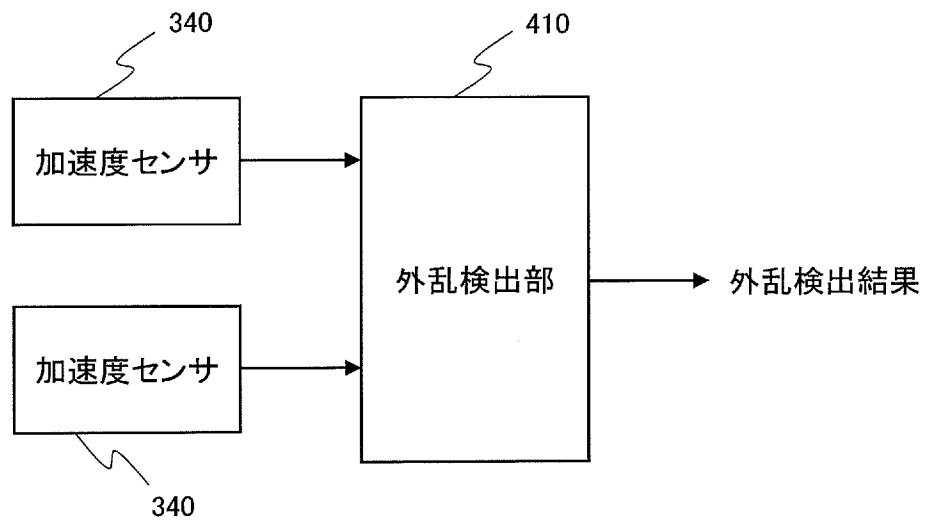
[図39]



[図40]



[図41]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/067453

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K11/00(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)

H02K11/00

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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	JP 5-316692 A (Nippon Steel Corp.), 26 November 1993 (26.11.1993), entire text; all drawings (Family: none)	1-6, 15-16, 18-21, 34 14 7-13, 17, 22-33
Y	JP 59-47945 A (Shinano Denki Kabushiki Kaisha), 17 March 1984 (17.03.1984), entire text; all drawings (Family: none)	14
A	JP 2009-526510 A (Siemens AG.), 16 July 2009 (16.07.2009), entire text; all drawings & US 2009/0007698 A1 & WO 2007/090710 A1 & DE 102006006037 A	1-34

☒ 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
19 August, 2014 (19.08.14)

Date of mailing of the international search report
02 September, 2014 (02.09.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/067453

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 2007-166771 A (Toyota Motor Corp.), 28 June 2007 (28.06.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-34
A	JP 60-98839 A (Yaskawa Electric Mfg. Co., Ltd.), 01 June 1985 (01.06.1985), entire text; all drawings (Family: none)	1-34

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02K11/00(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. H02K11/00

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 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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 A	JP 5-316692 A（新日本製鐵株式会社）1993. 11. 26, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-6, 15-16, 18-21, 34 14 7-13, 17, 22-33
Y	JP 59-47945 A（信濃電気株式会社）1984. 03. 17, 全文, 全図（ファミリーなし）	14

☒ 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

1 9 . 0 8 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 2 . 0 9 . 2 0 1 4

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

下原 浩嗣

3 V

9 1 7 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 7

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 2009-526510 A (シーメンス アクチエンゲゼルシャフト) 2009.07.16, 全文, 全図 & US 2009/0007698 A1 & WO 2007/090710 A1 & DE 102006006037 A	1-34
A	JP 2007-166771 A (トヨタ自動車株式会社) 2007.06.28, 全文, 全 図 (ファミリーなし)	1-34
A	JP 60-98839 A (株式会社安川電機製作所) 1985.06.01, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-34