



辺新田 1 番 1 号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 砂坂 祐太(SUNASAKA Yuta); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 山田 忠則(YAMADA Tadanori); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 荒木 龍(ARAKI Ryu); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). ヒューバオチョン(HIU Baocong); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 龍華国際特許業務法人(RYUKA IP LAW FIRM); 〒1631522 東京都新宿区西新宿 1 - 6 - 1 新宿エルタワー 2 2 階 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, ST, 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))

conductor device on the basis of the change of voltage. In the step for outputting an evaluation index, the change of voltage in the semiconductor device may be calculated for every frequency component as the evaluation index.

(57) 要約: 半導体デバイスの放射ノイズを簡便に評価し、半導体デバイスが搭載された装置の放射ノイズを推定する。半導体デバイスにスイッチング動作させる段階と、スイッチング動作中の半導体デバイスの主端子間に生じる電圧変化を測定する段階と、電圧変化に基づき、半導体デバイスの放射ノイズの評価指標を出力する段階とを備える、評価方法および評価装置を提供する。評価指標を出力する段階は、評価指標として、半導体デバイスの電圧変化を周波数成分ごとに算出してよい。

明 細 書

発明の名称：

評価方法、推定方法、評価装置、および複合評価装置

技術分野

[0001] 本発明は、評価方法、推定方法、評価装置、および複合評価装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、インバータおよびPWM整流器等の電力変換装置をはじめとする電気電子機器が発生する電磁ノイズ（伝導・放射）には、EMC（Electro-Magnetic Compatibility）規格によって限度値が定められており、十分に電磁ノイズを低減することが求められている。このような電力変換装置の動作時に発生する電磁ノイズを、シミュレーションまたは簡易的な測定によって評価する方法が提案されていた（例えば、特許文献1から3参照）。

特許文献1 特開平6-309420号

特許文献2 特開2014-135095号

特許文献3 特開2005-233833号

解決しようとする課題

[0003] このようなシミュレーションは、解析モデルを用いる。しかしながら、当該解析モデルは、電力変換装置の回路基板や筐体構造の詳細が決まった後でなければ作成できない。また、簡易な測定による電磁ノイズ評価も、電力変換装置が完成した後でなければ評価することができない。したがって、電力変換装置が完成した後に電磁ノイズの評価結果が「規格不適合」となることもあり、この場合、EMCフィルタ設計、部品選定、基板アートワーク、および構造検討等を再度実施しなければならなかった。

一般的開示

[0004] （項目1）

評価方法は、半導体デバイスにスイッチング動作させる段階を備えてよい

。

評価方法は、スイッチング動作中の半導体デバイスの主端子間に生じる電圧変化を測定する段階を備えてよい。

評価方法は、電圧変化に基づき、半導体デバイスの放射ノイズの評価指標を出力する段階を備えてよい。

(項目 2)

評価指標を出力する段階は、評価指標として、半導体デバイスの電圧変化を周波数成分ごとに算出してよい。

(項目 3)

スイッチング動作は、半導体デバイスのターンオン動作、ターンオフ動作、逆回復動作、および順回復動作のうち、少なくとも 2 つの動作を含んでよい。

(項目 4)

半導体デバイスは、直列に接続された第 1 デバイスおよび第 2 デバイスを含んでよい。

測定する段階は、第 1 デバイスおよび第 2 デバイスの間の電圧変化を測定してよい。

(項目 5)

半導体デバイスは、直列に接続された第 1 デバイスおよび第 2 デバイスを含んでよい。

測定する段階は、第 1 デバイスおよび第 2 デバイスの電圧変化を測定してよい。

(項目 6)

測定する段階は、半導体デバイスが絶縁材を介して取り付けられた導電性部材の電位を基準電位として、半導体デバイスとの間の電圧変化を測定してよい。

(項目 7)

評価方法は、半導体デバイスに対して出力した評価指標と、半導体デバイ

スとは異なる基準デバイスに対して出力した評価指標と、を比較する段階を備えてよい。

評価方法は、比較結果に応じて、基準デバイスに対する半導体デバイスの放射ノイズの強度を評価する段階を備えてよい。

(項目 8)

推定方法は、半導体デバイスを備える装置の放射ノイズを推定してよい。

推定方法は、項目 1 から 7 のいずれか一項に記載の評価方法によって、複数の条件におけるスイッチング動作に対応して出力された半導体デバイスの複数の評価指標を取得する段階を備えてよい。

推定方法は、複数の評価指標を組み合わせて装置の放射ノイズを推定する段階を備えてよい。

(項目 9)

評価指標の組み合わせは、半導体デバイスの複数の評価指標の最大値または和でよい。

(項目 10)

評価指標の組み合わせは、半導体デバイスの複数の評価指標の平均値でよい。

(項目 11)

評価指標の組み合わせは、複数の条件に対するそれぞれの重みを、半導体デバイスの複数の評価指標のうち対応する評価指標にそれぞれ乗じてから算出する平均値でよい。

[0005] (項目 12)

評価装置は、評価対象の半導体デバイスに予め定められたスイッチング信号を供給する信号供給部を備えてよい。

評価装置は、半導体デバイスの電圧変化を検出する検出部を備えてよい。

評価装置は、検出部の検出結果に基づき、半導体デバイスの放射ノイズの評価指標を出力する評価指標出力部を備えてよい。

(項目 13)

評価指標出力部は、電圧変化の周波数成分に基づき、半導体デバイスの放射ノイズに対応する電界強度を算出してよい。

(項目 1 4)

信号供給部は、半導体デバイスのターンオン動作、ターンオフ動作、逆回復動作、および順回復動作のうち、少なくとも 2 つの動作を実行させるスイッチング信号を供給してよい。

(項目 1 5)

半導体デバイスは、直列に接続された第 1 デバイスおよび第 2 デバイスを含んでよい。

検出部は、第 1 デバイスおよび第 2 デバイスの間の電圧変化を測定してよい。

(項目 1 6)

半導体デバイスは、直列に接続された第 1 デバイスおよび第 2 デバイスを含んでよい。

検出部は、第 1 デバイスおよび第 2 デバイスの主端子間に生じる電圧変化を測定してよい。

(項目 1 7)

評価装置は、評価指標出力部が出力する評価指標を記憶する記憶部を備えてよい。

評価装置は、評価指標出力部が出力した評価指標と、記憶部に記憶された半導体デバイスとは異なる基準デバイスに対する評価指標と、を比較する比較部を備えてよい。

評価装置は、比較結果に応じて、半導体デバイスの放射ノイズの評価指標の相対的な強度変化を評価する評価部を備えてよい。

(項目 1 8)

検出部は、半導体デバイスが絶縁材を介して取り付けられた導電性部材の電位を基準電位として、半導体デバイスとの間の電圧変化を測定してよい。

(項目 1 9)

複合評価装置は、項目 1 2 から 1 8 のいずれか一項に記載の評価装置によって、複数の条件におけるスイッチング信号に対応して出力された半導体デバイスの複数の評価指標を取得する取得部を備えてよい。

複合評価装置は、複数の評価指標を組み合わせて半導体デバイスを備える装置の放射ノイズを推定する複合評価部を備えてよい。

[0006] なお、上記の発明の概要は、本発明の必要な特徴の全てを列挙したものではない。また、これらの特徴群のサブコンビネーションもまた、発明となりうる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]半導体デバイス 1 0 のスイッチング特性を評価する評価回路 1 0 0 の構成例を示す。

[図2]評価回路 1 0 0 を用いて半導体デバイス 1 0 のスイッチング特性を測定した結果の一例を示す。

[図3]本実施形態における評価装置 2 0 0 の構成例を、評価対象の半導体デバイス 1 0 と共に示す。

[図4]本実施形態に係る評価装置 2 0 0 の動作フローを示す。

[図5A]本実施形態に係る評価指標出力部 2 3 0 が出力する評価指標の一例を示す

[図5B]本実施形態に係る評価指標出力部 2 3 0 が出力する評価指標の一例を示す

[図6]本実施形態に係る半導体デバイス 1 0 を搭載したモータ駆動装置 6 0 0 の、放射ノイズを測定する構成例を示す。

[図7A]図 6 に示す測定系によって測定された放射ノイズの一例を示す。

[図7B]図 6 に示す測定系によって測定された放射ノイズの一例を示す。

[図8]本実施形態に係る半導体デバイス 1 0 を搭載したモータ駆動装置 6 0 0 の、モータを駆動する電気信号を測定する測定系の構成例を示す。

[図9A]図 8 に示す測定系によって測定された電圧波形の一例を示す。

[図9B]図 8 に示す測定系によって測定された電圧波形の一例を示す。

[図10]本実施形態に係る評価装置200の変形例を示す。

[図11A]本実施形態に係る評価指標出力部230が半導体デバイス10のターンオン特性を評価指標として出力した例を示す。

[図11B]本実施形態に係る評価指標出力部230が半導体デバイス10のターンオン特性を評価指標として出力した例を示す。

[図12]本実施形態における複合評価装置300の構成例を、データベース410と共に示す。

[図13]本実施形態に係る複合評価装置300の動作フローを示す。

[図14A]本実施形態に係る複合評価装置300が、図11Aおよび図11Bに示す複数の評価指標を組み合わせて放射ノイズを複合評価した結果の一例を示す。

[図14B]本実施形態に係る複合評価装置300が、図11Aおよび図11Bに示す複数の評価指標を組み合わせて放射ノイズを複合評価した結果の一例を示す。

[図15]本実施形態に係る評価対象の半導体デバイス10が出力する電流波形の一例を示す。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

[0009] 図1は、半導体デバイス10のスイッチング特性を評価する評価回路100の構成例を示す。評価対象の半導体デバイス10は、直列に接続された第1デバイス12および第2デバイス14を含む例を示す。図1は、第1デバイス12がダイオードであり、第2デバイス14がIGBTと逆並列接続されたダイオードの組み合わせである例を示す。図1に示す評価回路100を用いて、第2デバイス14のターンオン動作およびターンオフ動作等を実行することにより、半導体デバイス10のスイッチング損失およびサージ電圧

等を評価することができる。評価回路100は、電源110と、第1容量部120と、第2容量部130と、負荷リアクトル140と、信号供給部150と、を備える。

[0010] 電源110は、直流電圧 V_{DC} を出力する直流電源である。電源110は、半導体デバイス10の両端に接続される。電源110は、例えば、第1デバイス12の一端（カソード端子）と第2デバイス14の他端（エミッタ端子）に接続され、第1デバイス12および第2デバイス14に直流電圧を供給する。この場合、第1デバイス12の他端（アノード端子）が第2デバイス14の一端（コレクタ端子）に接続される。

[0011] 第1容量部120は、半導体デバイス10と並列に接続され、電源110から出力される直流電圧 V_{DC} を平滑化する。第1容量部120は、例えば、容量 C_{DC} のコンデンサである。第1容量部120は、一例として、電解コンデンサである。第2容量部130は、半導体デバイス10と並列に接続され、サージ電圧を抑制する。第2容量部130は、例えば、容量 C_s のコンデンサである。第1容量部120および第2容量部130は、異なる容量のコンデンサであることが望ましく、例えば、容量 C_{DC} は、容量 C_s よりも大きい容量である。

[0012] 負荷リアクトル140は、第1デバイス12の両端に接続される。負荷リアクトル140は、一例として、インダクタンス L を有している。

[0013] 信号供給部150は、半導体デバイス10に予め定められたスイッチング信号を供給する。信号供給部150は、例えば、パルス発生装置および増幅回路等を有し、第2デバイス14のゲート端子にパルス状のスイッチング信号 V_s を供給する。第2デバイス14は、当該スイッチング信号 V_s がゲート端子に供給されることにより、コレクタ端子およびエミッタ端子間の電気的な接続状態（オン状態）および切断状態（オフ状態）を切り換える。

[0014] 以上の評価回路100は、スイッチング信号を第2デバイス14に供給して、半導体デバイス10をスイッチング動作させることができる。したがって、例えば、スイッチング動作中のコレクタ端子に流れるコレクタ電流 i_c を

外部の測定装置等で測定することで、第2デバイス14のスイッチング特性を取得することができる。

[0015] また、スイッチング動作中において、第1デバイス12に流れる順方向電流 i_f を外部の測定装置等で測定することで、第1デバイス12のスイッチング特性を評価することができる。なお、第2デバイス14のコレクタおよびエミッタの端子間電圧を V_{ce2} とし、第1デバイス12の両端電圧を V_r とする。評価回路100を用いたスイッチング特性の測定について次に説明する。

[0016] 図2は、評価回路100を用いて半導体デバイス10のスイッチング特性を測定した結果の一例を示す。図2は、横軸を時間、縦軸を電圧値または電流値とする。図2は、評価回路100がスイッチング信号 V_s により、第2デバイス14のオン状態およびオフ状態を切り換えて、第2デバイス14にターンオン動作およびターンオフ動作させた例を示す。

[0017] スwitchング信号 V_s は、時刻 t_1 においてハイ電圧となり、第2デバイス14をオン状態にする。第2デバイス14のコレクタ端子およびエミッタ端子の間が導通になることにより、電源110から負荷リアクトル140を介して第2デバイス14へと電流が流れる。第2デバイス14へと流れる電流は、コレクタ電流 i_c として観測され、時刻 t_1 から略一定の変化率 di/dt で上昇する。ここで、変化率 di/dt は、次式で示される。

(数1)

$$di/dt = V_{DC}/L$$

[0018] また、スイッチング信号 V_s は、時刻 t_2 においてロー電圧となり、第2デバイス14をオフ状態にする。ここで、評価回路100は、予め定められたコレクタ電流 i_c が流れた時点で、第2デバイス14をオフ状態に切り換えるように、時刻 t_1 から時刻 t_2 までの時間を設定してよい。これにより、評価回路100は、予め定められたコレクタ電流 i_c の条件における、第2デバイス14のターンオフ動作を実行することができる。即ち、予め定められたコレクタ電流 i_c の条件で第2デバイス14をターンオフ動作させた場合の、過

渡応答を測定することができる。

[0019] なお、コレクタおよびエミッタの端子間電圧 V_{ce2} は、第2デバイス14がオフ状態の時刻 t_1 までの時間において、直流電圧 V_{DC} と略同一の電圧となる。そして、時刻 t_1 から時刻 t_2 までの時間において、第2デバイス14がオン状態となるので、端子間電圧 V_{ce2} は略0Vとなる。また、第1デバイス12は、時刻 t_2 までの時間は電流を流さないで、順方向電流 i_f は略0Aとなる。また、第1デバイス12の両端電圧 V_r は、時刻 t_1 までは略0Vであり、時刻 t_1 から時刻 t_2 までの時間において、直流電圧 V_{DC} と略同一の電圧となる。

[0020] 時刻 t_2 において、第2デバイス14がオフ状態になると、負荷リアクトル140は、流れていた電流を継続させて流すように働くので、当該負荷リアクトル140から第1デバイス12の経路に電流が環流する。したがって、第1デバイス12の順方向電流 i_f は、時刻 t_2 において立ち上がり、時間と共に電流値が徐々に減少する。なお、第1デバイス12の時刻 t_2 における順方向電流 i_f の立ち上がりを、順回復動作とする。そして、第1デバイス12に順方向電流 i_f が流れているうちに、第2デバイス14をオン状態とすることで、当該第1デバイス12の逆回復動作と、第2デバイス14のターンオン動作を実行することができる。

[0021] ここで、評価回路100は、予め定められた順方向電流 i_f が流れた時点で、第2デバイス14をオン状態に切り換えるように、時刻 t_2 から時刻 t_3 までの時間を設定してよい。これにより、評価回路100は、予め定められた順方向電流 i_f の条件における、第1デバイス12の逆回復動作および第2デバイス14のターンオン動作を実行することができる。即ち、予め定められた順方向電流 i_f の条件で第2デバイス14をターンオン動作させた場合の、第2デバイス14および第1デバイス12の過渡応答を測定することができる。

[0022] このように、スイッチング信号 V_s は、時刻 t_3 において再びハイ電圧となり、第2デバイス14をオン状態にする。第2デバイス14の端子間電圧 V 。

v_{e2} は、第2デバイス14がオフ状態の時刻 t_2 から時刻 t_3 までの時間において、直流電圧 V_{DC} と略同一の電圧となり、時刻 t_3 から再び略0Vとなる。また、第1デバイス12の両端電圧 V_r は、時刻 t_2 から時刻 t_3 までの時間において、略0Vとなり、時刻 t_3 から再び直流電圧 V_{DC} と略同一の電圧となる。

[0023] なお、第1デバイス12の順回復動作および第2デバイス14のターンオフ動作は、同一のスイッチング信号 V_s で、少なくとも一部が同一の時間領域で観測できる。同様に、第1デバイス12の逆回復動作および第2デバイス14のターンオン動作も、同一のスイッチング信号 V_s で、少なくとも一部が同一の時間領域で観測できる。

[0024] 例えば、信号供給部150が、第2デバイス14をターンオン動作させるスイッチング信号 V_s を第2デバイス14のゲート端子に供給した場合を考える。この場合において、第2デバイス14のコレクタ・エミッタの端子間電圧 V_{ce2} の過渡応答を検出すると、第2デバイス14のターンオン特性を観測することができる。また、第1デバイス12に流れる電流 i_f を検出すると、第1デバイス12の順回復特性を観測することができる。

[0025] 同様に、信号供給部150が、第2デバイス14をターンオフ動作させるスイッチング信号 V_s を第2デバイス14のゲート端子に供給した場合を考える。この場合において、第2デバイス14のコレクタ・エミッタの端子間電圧 V_{ce2} を検出すると、第2デバイス14のターンオフ特性を観測することができる。また、第1デバイス12に流れる電流 i_f を検出すると、第1デバイス12の逆回復特性を観測することができる。

[0026] このように、評価回路100を用いて半導体デバイス10のスイッチング特性を測定し、例えば、予め定められた基準を満たす良品と評価された半導体デバイス10が、市場等に出荷される。しかしながら、スイッチング特性が良好な半導体デバイス10を用いて電力変換装置等を製造しても、当該電力変換装置が発生する電磁ノイズがEMC規格で定められた基準値を超えてしまうことがある。この場合、電力変換装置が完成した後に、EMCフィルタ設計、半導体デバイス10を含む部品の再選定、基板アートワーク、およ

び構造検討等を再度実施しなければならず、膨大な手間とコストが発生してしまう。

[0027] そこで、本実施形態に係る評価装置 200 は、半導体デバイス 10 のスイッチング特性を評価すると共に、当該半導体デバイス 10 の放射ノイズを評価して評価指標を出力する。これにより、当該半導体デバイス 10 を搭載した電力変換装置等が発生する放射ノイズを、当該電力変換装置が完成する前に推定することができ、製造過程における手間とコストを低減させる。このような評価装置 200 について、次に説明する。

[0028] 図 3 は、本実施形態における評価装置 200 の構成例を、評価対象の半導体デバイス 10 と共に示す。評価装置 200 は、一部が図 1 に示す評価回路 100 と同様の構成である。したがって、評価装置 200 を用いることで、図 1 および図 2 で説明した半導体デバイス 10 のスイッチング特性を評価することができる。評価装置 200 は、電源 110 と、第 1 容量部 120 と、第 2 容量部 130 と、負荷リアクトル 140 と、信号供給部 150 と、検出部 220 と、評価指標出力部 230 と、記憶部 240 と、比較部 250 と、評価部 260 と、を備える。

[0029] 図 3 に示す電源 110、第 1 容量部 120、第 2 容量部 130、負荷リアクトル 140、および信号供給部 150 は、図 1 で説明した電源 110、第 1 容量部 120、第 2 容量部 130、負荷リアクトル 140、および信号供給部 150 の動作と略同一なので、同一の符号を付している。したがって、ここではこれらの説明を省略する。

[0030] なお、図 3 において、評価対象の半導体デバイス 10 は、直列に接続された第 1 デバイス 12 および第 2 デバイス 14 を含む例を示す。ここで、第 1 デバイス 12 および第 2 デバイス 14 は、例として MOSFET または IGBT 等の半導体スイッチである。図 3 は、第 1 デバイス 12 および第 2 デバイス 14 が IGBT で、それぞれにダイオードが逆並列に接続されている例を示す。即ち、負荷リアクトル 140 は、第 1 デバイス 12 の一端および他端の間に接続され、第 1 デバイス 12 の一端はコレクタ端子であり、他端は

エミッタ端子である。

[0031] 検出部 220 は、半導体デバイス 10 の電圧変化を検出する。検出部 220 は、例えば、スイッチング動作に応じて変化する半導体デバイス 10 の電圧変動を検出する。検出部 220 は、例えば、第 1 デバイス 12 および第 2 デバイス 14 の間の電圧変化を観測する。または、検出部 220 は、第 1 デバイス 12 の一端および他端の間の、コレクタ・エミッタの端子間電圧 V_{ce1} 、第 2 デバイス 14 の一端および他端の間の、コレクタ・エミッタの端子間電圧 V_{ce2} のいずれか一方の端子間電圧を検出することとしてもよい。検出部 220 は、電圧プローブを有し、当該電圧プローブを第 1 デバイス 12 および第 2 デバイス 14 の一端および他端に、電氣的に接続する。

[0032] 評価指標出力部 230 は、検出部 220 の検出結果に基づき、半導体デバイス 10 の放射ノイズの評価指標を出力する。評価指標出力部 230 は、検出部 220 が検出した電圧変化の周波数成分を放射ノイズの評価指標として出力する。一例として、評価指標出力部 230 は、スペクトラムアナライザ等の周波数ドメインの測定を実行する測定器を有し、周波数ドメインの測定結果を評価指標として出力する。また、評価指標出力部 230 は、オシロスコープ等の時間ドメインの測定器を有し、時間ドメインの測定結果をフーリエ変換して、周波数ドメインのデータに変換し、評価指標として出力する。評価指標出力部 230 は、評価指標を記憶部 240 および比較部 250 に供給する。

[0033] 記憶部 240 は、評価指標出力部 230 が出力する評価指標を記憶する。記憶部 240 は、例えば、当該評価装置 200 が評価した評価対象の半導体デバイス 10 と対応付けて、評価指標を記憶する。記憶部 240 は、一例として、当該評価装置 200 が評価して出力した過去の評価指標を記憶して、評価指標のデータベースとして機能してよい。なお、記憶部 240 は、当該評価装置 200 の内部および外部のいずれかに設けてよい。また、記憶部 240 は、ネットワーク等を介して評価装置 200 の本体と接続されるデータベースとすることもできる。

- [0034] 比較部 250 は、評価指標出力部 230 が今回出力した評価指標と、記憶部 240 に記憶された半導体デバイス 10 とは異なる基準デバイスに対する過去の評価指標と、を比較する。ここで、半導体デバイス 10 が、基準デバイスを改良したデバイスである場合、比較部 250 は、改良前の基準デバイスの評価指標と、改良後の半導体デバイス 10 の評価指標とを比較する。
- [0035] 評価部 260 は、比較部 250 の比較結果に応じて、半導体デバイス 10 の放射ノイズの相対的な強度変化を評価する。評価部 260 は、評価結果を出力する。評価部 260 は、表示装置等にも出力し、さらに外部のデータベース等に評価結果を出力することとしてもよい。また、評価部 260 は、評価結果をデータシート等の予め定められた形式の出力としてもよい。
- [0036] 以上の本実施形態に係る評価装置 200 は、図 1 および図 2 で説明した半導体デバイス 10 のスイッチング動作を実行して、当該半導体デバイス 10 の放射ノイズを評価する。評価装置 200 による半導体デバイス 10 の評価動作について、次に説明する。
- [0037] 図 4 は、本実施形態に係る評価装置 200 の動作フローを示す。評価装置 200 は、図 4 に示す S410 から S460 の動作を実行して、評価対象の半導体デバイス 10 の放射ノイズを評価する。
- [0038] まず、検出部 220 の電圧プローブが電氣的に接続された半導体デバイス 10 に、スイッチング動作を実行させる (S410)。例えば、信号供給部 150 は、図 2 に示すスイッチング信号 V_s を第 2 デバイス 14 のゲート端子に供給して、第 1 デバイス 12 の順回復動作と逆回復動作、および第 2 デバイス 14 のターンオン動作とターンオフ動作といったスイッチング動作を実行させる。
- [0039] そして、半導体デバイス 10 のスイッチング動作中に、当該半導体デバイス 10 の電圧変化を検出部 220 が観測する (S420)。検出部 220 は、第 1 デバイス 12 および第 2 デバイス 14 のコレクタ端子とエミッタ端子間の電圧変化、または、第 1 デバイス 12 もしくは第 2 デバイス 14 のいずれか一方の電圧変化を検出する。

[0040] 次に、電圧変化の周波数成分を算出する（S 4 3 0）。評価指標出力部 2 3 0 は、例えば、検出部 2 2 0 が検出した半導体デバイス 1 0 の電圧変化、即ち電圧波形を周波数変換して、周波数成分を算出する。また、評価指標出力部 2 3 0 は、スペクトラムアナライザ等の周波数ドメインの計測装置を有し、電圧変化の周波数成分を観測してもよい。

[0041] 次に、電圧変化に基づき、放射ノイズの評価指標を出力する（S 4 4 0）。評価指標出力部 2 3 0 は、例えば、算出した電圧変化の周波数特性を、放射ノイズの評価指標として出力する。ここで、評価指標は、一例として、3 0 M H z から 1 G H z といった、予め定められた周波数帯域における周波数特性の算出結果である。評価指標出力部 2 3 0 は、記憶部 2 4 0 に評価指標を出力して記憶させる。また、評価指標出力部 2 3 0 は、比較部 2 5 0 に当該評価指標を供給する。また、評価指標出力部 2 3 0 は、当該評価指標を半導体デバイス 1 0 のデータシートの一部として出力してもよい。

[0042] 次に、半導体デバイス 1 0 に対して出力した評価指標と、半導体デバイス 1 0 とは異なる基準デバイスに対して過去に出力した評価指標と、を比較する（S 4 5 0）。例えば、比較部 2 5 0 は、記憶部 2 4 0 から過去の評価指標を読み出し、評価指標出力部 2 3 0 が出力した評価指標と、過去の評価指標とを比較する。比較部 2 5 0 は、一例として、予め定められた周波数帯域における評価指標の差分スペクトルを算出する。

[0043] 次に、比較結果に応じて、半導体デバイス 1 0 の放射ノイズの相対的な強度変化を評価する（S 4 6 0）。評価部 2 6 0 は、例えば、差分スペクトルを相対的な強度変化としてよい。また、評価部 2 6 0 は、差分スペクトルにおける予め定められた周波数に対応する値を、相対的な強度変化としてよい。また、評価部 2 6 0 は、差分スペクトルにおいて、予め定められた複数の周波数に対応する値の平均値を、相対的な強度変化としてよい。

[0044] 評価部 2 6 0 は、相対的な強度変化を、評価結果として出力する。評価部 2 6 0 は、半導体デバイス 1 0 のスイッチング動作の種類毎に、評価結果を

出力してよい。一例として、基準デバイスが過去に装置等に搭載したデバイスの場合、相対的な強度変化は、半導体デバイス 10 を当該装置等に搭載することによって変化する相対的な放射電界強度の指標となる。また、基準デバイスが半導体デバイス 10 と略同一のデバイスの場合、相対的な強度変化は、デバイスの製造ばらつきまたは継時変化、デバイスが実装される構造の相違等の指標となる。

[0045] 本実施形態に係る評価装置 200 は、以上の動作フローにより、半導体デバイス 10 の放射ノイズを評価して出力することができる。なお、以上の評価装置 200 は、過去の評価指標との差分である、相対的な強度変化を評価結果として出力する例を説明したが、これに限定されることはない。評価装置 200 は、評価指標出力部 230 が算出する、絶対的な周波数スペクトルを示す評価指標を出力してもよい。また、評価装置 200 が評価指標を出力する装置の場合、比較部 250 および評価部 260 は無くてもよい。

[0046] 図 5 A および図 5 B は、本実施形態に係る評価指標出力部 230 が出力する評価指標の一例を示す。図 5 A および図 5 B は、10 MHz から 500 MHz の周波数帯域において、評価指標出力部 230 が半導体デバイス 10 の評価指標を出力した例を示す。ここで、評価指標出力部 230 は、予め定められたスイッチング信号 V_s に応じて観測された第 1 デバイス 12 の「順回復電圧」、「逆回復電圧」、第 2 デバイス 14 の「ターンオン電圧」、および「ターンオフ電圧」の周波数特性である。

[0047] IGBT 等の半導体デバイスは、ターンオン時に発生する放射電界強度が、図 5 A および図 5 B に示すようなターンオン特性および逆回復特性の電圧の最大値または和と相関があることが測定により判明した。また、当該デバイスは、ターンオフ時に発生する放射電界強度が、図 5 A および図 5 B に示すようなターンオフ特性および順回復特性の電圧の最大値または和と相関があることが測定により判明した。

[0048] したがって、ターンオン特性および逆回復特性の電圧の最大値または和と、ターンオフ特性および順回復特性の電圧の最大値または和とを比較するこ

とで、どちらのタイミングがより大きな放射ノイズを発生させるのかを把握することができる。また、放射ノイズの相対的な大きさに応じて、ゲート抵抗値を変更する等の対策を施すことができる。また、ターンオンとターンオフに発生する各特性の電圧をバランスさせてもよい。なお、評価指標および放射電界強度の相関について、次に述べる。

[0049] 図6は、本実施形態に係る半導体デバイス10を搭載したモータ駆動装置600の、放射ノイズを測定する測定系の構成例を示す。モータ駆動装置600は、半導体デバイス10を搭載した装置の一例である。モータ駆動装置600は、電源部610と、入力ケーブル620と、駆動回路630と、出力ケーブル640と、モータ650とを備える。

[0050] 電源部610は、交流電源である。電源部610は、電源インピーダンス安定回路(LISN)を有してよい。入力ケーブル620は、電源部610が出力する交流電圧を駆動回路630に伝達する。駆動回路630は、モータ650を駆動させる電気信号を生成する。駆動回路630は、例えば、電源部610の交流電圧を整流回路により整流し、整流した信号をインバータ回路に供給して当該電気信号を生成する。出力ケーブル640は、駆動回路630が出力する電気信号をモータ650に伝達する。モータ650は、当該電気信号に応じて回転する。

[0051] このようなモータ駆動装置600の駆動回路630に、本実施形態に係る半導体デバイス10が搭載される。例えば、図6のデバイス S_1 が第1デバイス12であり、デバイス S_4 が第2デバイス14である。また、デバイス S_2 が第1デバイス12であり、デバイス S_5 が第2デバイス14であってもよい。また、デバイス S_3 が第1デバイス12であり、デバイス S_6 が第2デバイス14であってもよい。半導体デバイス10は、駆動回路630のインバータ回路の一部として搭載されてよい。このような半導体デバイス10は、電気信号に応じてスイッチング動作するので、当該動作に応じて放射ノイズを発生させる。

[0052] アンテナ660および測定装置670は、このような放射ノイズを測定す

る。アンテナ 660 は、空間を伝搬した放射ノイズを受信する。アンテナ 660 は、モータ駆動装置 600 から予め定められた距離だけ離間した位置に配置される。測定装置 670 は、アンテナ 660 が受信した受信信号を受け取り、当該受信信号を周波数ドメインに変換して出力する。測定装置 670 は、モータ 650 の回転周波数よりも高い周波数領域を測定してよい。測定装置 670 は、スペクトラムアナライザ等でよい。

[0053] 図 7 A および図 7 B は、図 6 に示す測定系によって測定された放射ノイズの一例を示す。図 7 A および図 7 B は、半導体デバイス 10 に対して異なる 2 つの条件で駆動した場合に観測された放射ノイズを示す。例えば、半導体デバイス 10 を駆動条件 A から駆動条件 B に変更すると、30 MHz から 100 MHz の周波数領域の放射電界強度は、2 dB から 6 dB 程度低減することがわかる。

[0054] 図 8 は、本実施形態に係る半導体デバイス 10 を搭載したモータ駆動装置 600 の、モータを駆動する電気信号を測定する測定系の構成例を示す。図 8 に示す測定系において、図 6 に示された測定系の動作と略同一のものには同一の符号を付け、説明を省略する。モータ駆動装置 600 は、図 6 に示す半導体デバイス 10 を搭載した装置と略同一の装置である。

[0055] 図 8 において、測定装置 670 は、駆動回路 630 が出力するモータ 650 を駆動する電気信号を測定する。測定装置 670 は、モータ駆動装置 600 によるモータ 650 の駆動中の、半導体デバイス 10 のスイッチング電圧波形を測定する。

[0056] 図 9 A および図 9 B は、図 8 に示す測定系によって測定された電圧波形の一例を示す。図 9 A および図 9 B は、図 7 A および図 7 B の放射ノイズ測定時の電圧波形を周波数解析した結果を示す。例えば、半導体デバイス 10 を駆動条件 A から駆動条件 B に変更すると、30 MHz から 100 MHz の周波数領域の放射電界強度は、2 dB から 6 dB 程度低減する傾向があることがわかる。

[0057] このように、図 6 および図 8 の測定結果を比較すると、例えば、30 MHz

z から 5 0 0 M H z の周波数領域において、駆動条件 A および駆動条件 B の変更前後における相対変化値は、同様な傾向を示していることが確認できる。即ち、半導体デバイス 1 0 のスイッチング波形から変換される周波数成分と、放射ノイズとは相関があり、当該半導体デバイス 1 0 のスイッチング波形に基づいて、放射ノイズの相対値を把握できることがわかる。また、このような相関を予め測定しておくことにより、半導体デバイス 1 0 のスイッチング波形に基づいて、放射ノイズの放射電界強度を把握できることがわかる。

[0058] また、図 8 の測定結果と、図 5 A および図 5 B に示す評価指標とを比較すると、両者の特性も同様な傾向を示していることがわかる。即ち、評価装置 2 0 0 が半導体デバイス 1 0 を評価して出力する評価指標は、当該半導体デバイス 1 0 を搭載した装置が発生する放射ノイズの放射電界強度と相関があることがわかった。したがって、当該評価指標の特定の周波数における電圧を解析することにより、スイッチング特性ごとのノイズ発生量を評価することができる。

[0059] 以上の本実施形態に係る評価装置 2 0 0 は、半導体デバイス 1 0 のターンオン動作、ターンオフ動作、逆回復動作、および順回復動作を実行して、得られたスイッチング電圧波形の周波数特性により、放射ノイズを評価することを説明した。なお、ターンオン動作、ターンオフ動作、逆回復動作、および順回復動作に対応して得られるスイッチング電圧波形の周波数特性を、それぞれ、ターンオン特性、ターンオフ特性、逆回復特性、および順回復特性とする。

[0060] ここで、評価装置 2 0 0 によるスイッチング電圧波形の周波数特性は、図 5 A および図 5 B に示すように、スイッチング動作に応じて電圧が異なる結果が得られる。特に、放射ノイズの規制対象となる 3 0 M H z 以上の周波数において、逆回復特性は、他と比較してより大きい電圧となることがある。そこで、評価装置 2 0 0 は、少なくとも半導体デバイス 1 0 の逆回復動作を含むスイッチング動作を実行して、評価指標を出力することが望ましい。

- [0061] また、4つの特性のうち、少なくとも2つの特性がわかれば、他の特性について類推できる場合がある。したがって、評価装置200は、半導体デバイスのターンオン動作、ターンオフ動作、逆回復動作、および順回復動作のうち、少なくとも2つの動作を含むスイッチング動作を実行して、評価指標を出力することが望ましい。なお、この場合、少なくとも2つの動作のうちの1つの動作が、逆回復動作であることがより望ましい。
- [0062] また、4つの特性のうち、ターンオン特性が、他と比較して逆回復特性の次に大きい電圧となることがある。そこで、評価装置200は、少なくとも半導体デバイス10の逆回復動作およびターンオン動作を含むスイッチング動作を実行して、評価指標を出力することがより望ましい。以上のように、信号供給部150は、半導体デバイス10のターンオン動作、ターンオフ動作、逆回復動作、および順回復動作のうち、1または少なくとも2つの動作を実行させるスイッチング信号を供給してよい。これらにより、評価装置200は、評価時間を短縮することができ、また、評価の手間等を省くことができる。
- [0063] 以上の本実施形態に係る評価装置200は、直列に接続された第1デバイス12および第2デバイス14の間の電圧変化を観測する例を説明した。これに加えて、または、これに代えて、評価装置200は、第1デバイス12および第2デバイス14の電圧変化を観測してもよい。即ち、検出部220は、第1デバイス12の一端と、第2デバイス14の他端とに、電氣的に接続され、第1デバイス12および第2デバイス14の両端電圧の電圧変化を検出する。
- [0064] このような、第1デバイス12および第2デバイス14の両端電圧は、電源110が供給する直流電圧 V_{DC} に、スイッチング動作に応じた高周波変動成分 ΔV_{DC} が重畳された波形となる。評価装置200は、当該高周波変動成分 ΔV_{DC} を観測して、半導体デバイス10の放射ノイズを評価してもよい。
- [0065] なお、半導体デバイス10をターンオン動作させて高周波変動成分 ΔV_{DC} を観測した場合、第1デバイス12の逆回復特性および第2デバイス14の

ターンオン特性が重畳された電圧変化が観測される。即ち、この場合、高周波変動成分 ΔV_{DC} は、第1デバイス12の逆回復特性および第2デバイス14のターンオン特性のうち、より電圧が大きい方の特性と相関があることになる。

[0066] 同様に、半導体デバイス10をターンオフ動作させて高周波変動成分 ΔV_D を観測した場合、第1デバイス12の順回復特性および第2デバイス14のターンオフ特性が重畳された電圧変化が観測される。即ち、この場合、高周波変動成分 ΔV_{DC} は、第1デバイス12の順回復特性および第2デバイス14のターンオフ特性のうち、より電圧が大きい方の特性と相関があることになる。

[0067] したがって、評価装置200は、例えば、半導体デバイス10をターンオン動作およびターンオフ動作させて高周波変動成分 ΔV_{DC} を1回ずつ観測することで、4つのスイッチング特性のうち、より電圧が大きい2つのスイッチング特性を観測することができる。また、当該高周波変動成分 ΔV_{DC} の測定は、DC成分を除く周波数特性の観測なので、ACカップリングによる計測または、検出部220および評価指標出力部230の間にハイパスフィルタを挿入することで、容易に ΔV_{DC} の成分を抽出できる。したがって、評価装置200は、S/Nおよびダイナミックレンジを大きくして、高周波変動成分 ΔV_{DC} を測定できる。

[0068] 以上の本実施形態に係る評価装置200は、スイッチング動作中の半導体デバイス10の電圧変化を観測することを説明した。ここで、半導体デバイス10の浮遊容量に流れる電流が放射ノイズ源となることがある。例えば、半導体デバイス10に冷却フィンが取り付けられた場合、当該冷却フィンの一部の導電性部材と、半導体デバイス10との間に浮遊容量が形成され、この浮遊容量を流れる電流が放射ノイズを発生させる。

[0069] このような場合、評価装置200は、浮遊容量によって発生するノイズを加味した観測結果を取得することで、より正確に相対的な放射ノイズの評価を実行できる。このような評価装置200について、次に説明する。

[0070] 図10は、本実施形態に係る評価装置200の変形例を示す。本変形例の評価装置200において、図3に示された本実施形態に係る評価装置200の動作と略同一のものには同一の符号を付け、説明を省略する。本変形例の評価装置200は、導電性部材320と、第3容量部330と、を更に備える。

[0071] 導電性部材320は、半導体デバイス10の温度を調節する温度調節部の一部である。例えば、導電性部材320は、ヒータ、冷却装置、および放熱フィンの中の少なくとも1つの一部である。

[0072] また、導電性部材320は、半導体デバイス10の環境温度を安定に保つ機能を有する。したがって、導電性部材320は、直接的に半導体デバイス10に固定されることが望ましい。これにより、半導体デバイス10および導電性部材320の間の浮遊容量および接触抵抗を略一定の安定な値に保つことができる。

[0073] そして、評価装置200は、半導体デバイス10が配置される基板に固定された導電性部材320の電位を基準電位として、半導体デバイス10との間の電圧変化を観測する。例えば、検出部220の電圧プローブは、一方が導電性部材320に、他方が第1デバイス12および第2デバイス14の間に、それぞれ電氣的に接続され、第2デバイス14のコレクタおよびエミッタの端子間電圧 V_{ce2} の変化を検出する。また、検出部220の電圧プローブは、一方が導電性部材320に、他方が第1デバイス12のコレクタ端子側の一端に、それぞれ電氣的に接続され、第1デバイス12および第2デバイス14の両端電圧の電圧変化を検出してもよい。

[0074] 以上のように、本変形例の評価装置200は、半導体デバイス10および導電性部材320の間の浮遊容量を安定化させる。また、導電性部材320は、温度の安定化に用いるので、表面積を大きくすることが望ましく、他の経路の浮遊容量よりも大きくすることができる。また、このような浮遊容量は、放射ノイズの原因となるコモンモード電流が流れる経路となる。したがって、評価装置200は、浮遊容量によって発生するノイズと、コモンモ-

ド電流とを安定化させて、より再現性の高い評価指標を出力することができる。

[0075] また、本変形例の評価装置200は、半導体デバイスにそれぞれ並列に接続される複数の容量部を備え、複数の容量部のうち、少なくとも1つの容量部は、直列に接続された複数の容量素子を有してよい。図6に示す評価装置200は、第3容量部330が第1容量素子332および第2容量素子334を有する例を示す。ここで、第1容量素子332および第2容量素子334の間は、基準電位340に接続される。

[0076] 第3容量部330は、放射ノイズを低減させるEMCフィルタとして用いられる既知の回路である。評価装置200は、このような回路を設けることにより、半導体デバイス10が実際に搭載される回路構成に近づけ、より精度の高い評価結果を出力することができる。評価装置200は、第3容量部330に加えて、同種および／または異なる種類のEMCフィルタ等を更に設けてもよい。

[0077] 以上の本実施形態に係る評価装置200は、半導体デバイス10をスイッチング動作させて、半導体デバイス10の放射ノイズを評価できることを説明した。しかしながら、半導体デバイス10を実際に装置等に搭載した場合、当該半導体デバイス10をスイッチング電流は時々刻々と変化することがある。放射ノイズは、このようなスイッチング電流に応じて変化するので、評価装置200が出力する評価指標と比較して異なる結果となることがある。

[0078] 図11Aおよび図11Bは、本実施形態に係る評価指標出力部230が半導体デバイス10のターンオン特性を評価指標として出力した例を示す。ここで、評価指標は、複数のスイッチング信号 V_s に応じて半導体デバイス10に流れるスイッチング電流を変化させた場合の、ターンオン特性である。図11Aおよび図11Bは、スイッチング電流が0Aの場合の比較対象のターンオン特性と、予め定められた電流値 I_1 、 $2I_1$ 、および $3I_1$ の場合の3通りの電流スイッチング電流に対応する、3つのターンオン特性と、を示す。

[0079] 4つの波形を比較すると、スイッチング電流値によって電圧が非線形に変化することがわかる。例えば、異なる周波数において、最大値となる電流条件が異なる場合が生じる。一例として、10MHzにおいては、スイッチング電流が3I₁の電流条件が最大値となる一方で、20MHzにおいては、スイッチング電流がI₁の電流条件が最大値となる。したがって、半導体デバイス10のスイッチング電流が変化する場合、当該駆動電流の変化に応じて、複数の評価対象を組み合わせることで、当該スイッチング電流に応じて発生する放射ノイズを推定することができる。このような複合評価装置300について、次に説明する。

[0080] 図12は、本実施形態における複合評価装置300の構成例を、データベース410と共に示す。データベース410は、評価装置200が出力する評価指標を記憶する。データベース410は、半導体デバイス10の複数の異なるスイッチング動作において、それぞれ異なる複数のスイッチング信号の条件において出力された評価指標を記憶することが望ましい。なお、データベース410は、評価装置200の記憶部240であってもよい。

[0081] 複合評価装置300は、このような評価指標を用いて半導体デバイス10を備える装置が放出する放射ノイズを複合評価する。ここで、図6に示したような半導体デバイス10が搭載された装置を、搭載装置と呼ぶ。複合評価装置300は、取得部420と、複合評価部430と、を備える。

[0082] 取得部420は、評価装置200によって、異なる複数の条件におけるスイッチング信号に対応して出力された半導体デバイス10の複数の評価指標を取得する。取得部420は、例えば、ネットワーク等を介して、データベース410から評価指標を取得する。また、取得部420は、データベース410に直接接続され、評価指標を取得してよい。また、取得部420は、半導体デバイス10を駆動する駆動信号の情報も取得してよい。

[0083] 複合評価部430は、半導体デバイス10を駆動する駆動信号に応じて、複数の評価指標を組み合わせることで搭載装置の放射ノイズを複合評価する。複合評価部430は、例えば、予め定められた周波数毎に、複数の評価指標の当

該周波数に対応する電圧を加算して、放射ノイズの評価結果を算出する。また、複合評価部430は、予め定められた周波数毎に、複数の評価指標の当該周波数に対応する電圧の平均値または最大値を算出して、放射ノイズの評価結果を算出してもよい。複合評価部430は、算出した評価結果を出力する。

[0084] 図13は、本実施形態に係る複合評価装置300の動作フローを示す。複合評価装置300は、図13に示すS510からS530の動作を実行して、搭載装置において半導体デバイス10が放出する放射ノイズを複合評価する。

[0085] まず、半導体デバイス10を駆動する駆動信号を取得する（S510）。取得部420は、データベース410等から、搭載装置が半導体デバイス10を駆動する駆動信号の情報を取得する。これに代えて、取得部420は、搭載装置に接続され、搭載装置から駆動信号の情報を取得してもよい。これに代えて、取得部420は、搭載装置の設計者または使用者等の複合評価装置300のユーザにより、駆動信号の情報が入力されてもよい。

[0086] 次に、評価装置200によって、異なる複数の条件におけるスイッチング動作に対応して出力された半導体デバイス10の複数の評価指標を取得する（S520）。取得部420は、半導体デバイス10の駆動信号に対応して、複数の評価指標の組み合わせを取得する。取得部420は、例えば、駆動信号の極性および大きさ等に応じて、対応する評価指標を取得する。また、取得部420は、駆動信号の時間的な変化に応じて、対応する評価指標を取得してよい。また、取得部420は、駆動信号の時間的な変化に対応する重みを評価指標に乗じて、複数の評価指標を算出してよい。

[0087] 次に、複合評価部430は、半導体デバイス10を駆動する駆動信号に応じて、取得部420が取得した複数の評価指標を組み合わせで搭載装置の放射ノイズを複合評価する（S530）。複合評価部430が用いる評価指標の組み合わせは、例えば、半導体デバイス10の複数の評価指標の最大値または和である。また、複合評価部430が用いる評価指標の組み合わせは、

半導体デバイス 10 の複数の評価指標の平均値であってもよい。複合評価部 430 が用いる評価指標の組み合わせは、複数の評価指標の最大値または和と、平均値であってもよい。

[0088] 例えば、国際無線障害特別委員会（C I S P R）等による電子機器の放射ノイズの規格は、準尖頭値および平均値等で定義されている。したがって、このような規格値に対応すべく、複合評価部 430 は、複数の評価指標の最大値および平均値を用いて放射ノイズを複合評価し、出力してよい。この場合、例えば、出力された当該最大値および平均値の差分の大小関係等から、準尖頭値をある程度予測することができる。

[0089] また、複合評価部 430 が用いる評価指標の組み合わせは、半導体デバイス 10 が出力する電流に対応する複数の重みを、半導体デバイス 10 の複数の評価指標のうち対応する評価指標にそれぞれ乗じてから算出する平均値でもよい。

[0090] 以上のように、複合評価装置 300 は、半導体デバイス 10 を駆動する駆動信号に応じて、予め精度良く評価された評価指標を組み合わせる放射ノイズの推定値を算出するので、放射ノイズを複合評価することができる。本実施形態に係る複合評価装置 300 は、種々の条件のスイッチング動作による半導体デバイス 10 の電圧変化を観測して評価した複数の評価指標のうち、半導体デバイス 10 が装置に組み込まれた際の出力電流やスイッチング電流に対応する評価指標を取得して組み合わせる。このように、半導体デバイス 10 の電圧変化に対応する放射ノイズをそれぞれ評価した評価指標を用いることができるので、複合評価装置 300 は、より正確な放射ノイズを推定することができる。

[0091] 図 14 A および図 14 B は、本実施形態に係る複合評価装置 300 が、図 11 A および図 11 B に示す複数の評価指標を組み合わせる放射ノイズを複合評価した結果の一例を示す。図 14 A および図 14 B は、複合評価部 430 が、複数の評価指標の最大値と、平均値とを、組み合わせとして採用し、出力した結果の例である。即ち、図 14 A において、「最大値」と示す波形

は、図 1 1 A および図 1 1 B に示す 4 つのターンオン特性の周波数毎の最大値を示す。また、図 1 4 B において、「平均値」と示す波形は、図 1 1 A および図 1 1 B に示す 4 つのターンオン特性の周波数毎の平均値を示す。

[0092] 放射ノイズのこのような推定結果に基づき、更に準尖頭値の傾向を予測することができる。例えば、30 MHz から 60 MHz までの周波数領域において、平均値および最大値で示される 2 つの波形の周波数毎の電圧の差分は、6 dB 以下であることがわかる。このように、当該周波数領域における放射ノイズのピーク値と平均値がほぼ同程度の強度レベルであることから、当該周波数領域の準尖頭値は、ピーク値と同等程度の高い強度レベルになることが予想できる。

[0093] また、100 MHz から 140 MHz までの周波数領域において、平均値および最大値で示される 2 つの波形の周波数毎の電圧の差分は、6 dB から 10 dB 程度となることがわかる。このように、当該周波数領域における放射ノイズのピーク値と平均値の差が大きいことから、当該周波数領域の準尖頭値は、平均値と同等程度の低い強度レベルになることが予想できる。

[0094] 以上のように、複合評価装置 300 は、複数の評価指標を組み合わせ、放射ノイズを複合評価することができるので、複合評価結果に基づき、規制対象機器の放射ノイズレベルを予想することができる。また、複合評価装置 300 は、より複雑な駆動信号に対応する放射ノイズを複合評価することもできる。

[0095] 図 1 5 は、装置として、例えば、三相インバータ装置とした場合、一相分の半周期における出力電流波形を規格化した例を示す。図 1 5 は、横軸が規格化した時間軸であり、縦軸が駆動信号の規格化した振幅値を示す。出力電流が正弦波信号の一部なので、図 1 5 の時間軸である横軸は、位相が 180° の時刻を 100% とした規格化した位相で示す。

[0096] 図 1 5 に示すように、出力電流の極性がプラスの場合、取得部 420 は、一例として、半導体デバイス 10 のターンオン動作に応じて出力された評価指標を取得する。また、取得部 420 は、正弦波の振幅のピーク値に対応す

る条件において、評価装置 200 が出力した評価指標を取得してよい。また、取得部 420 は、正弦波の振幅値のピーク値に最も近い条件において、評価装置 200 が出力した評価指標を取得してよい。取得部 420 は、例えば、出力電流に応じた重みを取得した評価指標に乗じて、複数の評価指標を取得する。

[0097] 取得部 420 は、一例として、出力電流を振幅値に応じて複数の領域に分割する。図 15 は、出力電流の振幅を、ピーク値を 1 とした場合の 0 から 0.25、0.25 から 0.5、0.5 から 0.75、0.75 から 1 の、4 つの領域に等分割した例を示す。そして、取得部 420 は、各領域における駆動信号の時間軸の占有率を算出する。例えば、振幅強度が 0 から 0.25 の領域は、出力電流が時間軸の最初の立ち上がりと最後の立ち下がりにおいて占有する。即ち、振幅強度が 0 から 0.25 の領域は、出力電流が 100 % の全体の位相領域に対して 16 % の位相領域を占有するので、占有率を 16 % とする。

[0098] 同様に、取得部 420 は、振幅強度が 0.25 から 0.5 の領域の占有率を 17 %、振幅強度が 0.5 から 0.75 の領域の占有率を 21 %、振幅強度が 0.75 から 1 の領域の占有率を 46 % とする。このような占有率の分布は、三相インバータ動作におけるスイッチング電流の発生頻度にそのまま置き換えることができるので、取得部 420 は、占有率に応じた複数の評価指標を算出できる。

[0099] 即ち、取得部 420 は、出力電流の振幅値のピーク値に応じて取得した、基準となる評価指標の周波数毎の電圧に 0.16 を乗じることで、振幅強度が 0 から 0.25 の領域の第 1 評価指標を算出する。また、取得部 420 は、当該基準となる評価指標に 0.17 を乗じることで、振幅強度が 0.25 から 0.5 の領域の第 2 評価指標を算出する。同様に、取得部 420 は、当該基準となる評価指標に 0.21 および 0.46 をそれぞれ乗じることで、振幅強度が 0.5 から 0.75 の領域の第 3 評価指標および振幅強度が 0.75 から 1 の領域の第 4 評価指標を算出する。複合評価部 430 は、第 1 評

価指標から第4評価指標の4つの評価指標の周波数毎の平均値を、放射ノイズの複合評価値として算出する。複合評価部430は、算出した複合評価値を出力する。

[0100] 以上のように、本実施形態に係る複合評価装置300は、出力電流に応じて、スイッチング電流の発生頻度を考慮した複数の評価指標を用いるので、様々な出力電流に対応してより正確に放射ノイズを複合評価することができる。なお、本実施形態において、出力電流の振幅を4つの領域に等分割した例を説明したが、これに限定されることはない。駆動信号の振幅の分割数は、種々の分割数に設定可能でよい。また、評価指標に乗じる重み等も、駆動信号に応じて調整可能でよい。

[0101] 以上のように、本実施形態に係る評価装置200および複合評価装置300は、半導体デバイス10が装置等に搭載される前の段階において、当該装置に搭載された場合の放射ノイズを評価することができる。また、半導体デバイス10を駆動する駆動信号が複雑であっても、複合評価装置300は、評価装置200が出力する評価指標を組み合わせることで、放射ノイズを複合評価することができる。

[0102] また、評価装置200が出力する評価指標を当該半導体デバイス10のデータシートとして出力することにより、装置設計を容易にする有意義な情報を提供できる。なお、この場合、評価装置200は、過去のデバイスに対する評価結果と共に評価指標を出力することが望ましい。これにより、例えば、過去に用いたデバイスからどの程度放射ノイズが低減または増加するかの指標を容易に把握することができ、装置設計をスムーズに実行することができる。

[0103] 装置設計の例としては、予め国際標準規格を満足するように半導体デバイスの駆動条件を決定し、または駆動回路定数の決定を行う。具体的には、駆動条件としては、半導体デバイスのゲート端子に入力するゲート電圧値と時間の関係等である。また、駆動回路定数としては、ゲート抵抗値、ゲート配線のインダクタンス値、容量、使用される電源の仕様等である。さらに、例

例えばハーフブリッジ回路の下アームにおける半導体デバイスのターンオン時に発生する放射ノイズが支配的であるときは、下アームにおける半導体デバイスの駆動条件または駆動回路定数等を調整する。装置の構造としては、放射ノイズが支配的な半導体デバイスとプリント基板との間にシールド板を設ける、放射ノイズの強弱に応じて装置内の配置を決定する、装置筐体へのシールド板の設置や、グランドへの接地等が上げられる。

[0104] 半導体デバイスの設計においては、デバイスの内部抵抗値等を調整してもよい。また、半導体デバイスが搭載されるモジュール設計においては、絶縁基板、樹脂絶縁基板等の枚数、形成されている回路パターン形状・厚み・電流経路等の調整、さらに絶縁基板等に使用される絶縁板の厚み・材料の調整、半導体デバイスに形成される表面電極上に接合される配線（ワイヤー、リードフレーム等）の形状・寸法・材料の調整等、モジュールに使用される筐体（ケース）の形状・材料の調整等を行ってもよい。

[0105] なお、本実施形態において、評価装置２００および複合評価装置３００を別個独立の装置として説明したが、このような構成に限定されることはない。評価装置２００および複合評価装置３００は、例えば、一つの装置として構成されてもよい。また、評価装置２００および／または複合評価装置３００は、少なくとも一部が計算機等で構成されてよい。

[0106] 以上の本発明の様々な実施形態は、フローチャートおよびブロック図を参照して記載されてよい。フローチャートおよびブロック図におけるブロックは、（１）オペレーションが実行されるプロセスの段階または（２）オペレーションを実行する役割を持つ装置の「部」として表現されてよい。特定の段階および「部」が、専用回路、コンピュータ可読記憶媒体上に格納されるコンピュータ可読命令と共に供給されるプログラマブル回路、および／またはコンピュータ可読記憶媒体上に格納されるコンピュータ可読命令と共に供給されるプロセッサによって実装されてよい。

[0107] なお、専用回路は、デジタルおよび／またはアナログハードウェア回路を含んでよく、また、集積回路（ＩＣ）および／またはディスクリート回路を

含んでよい。プログラマブル回路は、例えば、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）、およびプログラマブルロジックアレイ（PLA）等のような、論理和、排他的論理和、否定論理積、否定論理和、および他の論理演算、フリップフロップ、レジスタ、並びにメモリエLEMENTを含む、再構成可能なハードウェア回路を含んでよい。

[0108] コンピュータ可読記憶媒体は、適切なデバイスによって実行される命令を格納可能な任意の有形なデバイスを含んでよい。これにより、当該有形なデバイスに格納される命令を有するコンピュータ可読記憶媒体は、フローチャートまたはブロック図で指定されたオペレーションを実行するための手段を作成すべく実行され得る命令を含む、製品を備えることになる。コンピュータ可読記憶媒体の例としては、電子記憶媒体、磁気記憶媒体、光記憶媒体、電磁記憶媒体、半導体記憶媒体等が含まれてよい。

[0109] コンピュータ可読記憶媒体のより具体的な例としては、フロッピー（登録商標）ディスク、ディスケット、ハードディスク、ランダムアクセスメモリ（RAM）、リードオンリメモリ（ROM）、消去可能プログラマブルリードオンリメモリ（EPROMまたはフラッシュメモリ）、電氣的消去可能プログラマブルリードオンリメモリ（EEPROM）、静的ランダムアクセスメモリ（SRAM）、コンパクトディスクリードオンリメモリ（CD-ROM）、デジタル多用途ディスク（DVD）、ブルーレイ（登録商標）ディスク、メモリスティック、集積回路カード等が含まれてよい。

[0110] コンピュータ可読命令は、アセンブラ命令、命令セットアーキテクチャ（ISA）命令、マシン命令、マシン依存命令、マイクロコード、ファームウェア命令、状態設定データ等を含んでよい。また、コンピュータ可読命令は、Smalltalk、JAVA（登録商標）、C++等のようなオブジェクト指向プログラミング言語、および「C」プログラミング言語または同様のプログラミング言語のような従来の手続型プログラミング言語を含む、1または複数のプログラミング言語の任意の組み合わせで記述されたソースコードまたはオブジェクトコードを含んでよい。

[0111] コンピュータ可読命令は、ローカルにまたはローカルエリアネットワーク（LAN）、インターネット等のようなワイドエリアネットワーク（WAN）を介して、汎用コンピュータ、特殊目的のコンピュータ、もしくは他のプログラム可能なデータ処理装置のプロセッサ、またはプログラマブル回路に提供されてよい。これにより、汎用コンピュータ、特殊目的のコンピュータ、もしくは他のプログラム可能なデータ処理装置のプロセッサ、またはプログラマブル回路は、フローチャートまたはブロック図で指定されたオペレーションを実行するための手段を作成するために、当該コンピュータ可読命令を実行できる。なお、プロセッサの例としては、コンピュータプロセッサ、処理ユニット、マイクロプロセッサ、デジタル信号プロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ等を含む。

[0112] 請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、便宜上「まず、」、「次に、」等を用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するものではない。

符号の説明

[0113] 10 半導体デバイス、12 第1デバイス、14 第2デバイス、100 評価回路、110 電源、120 第1容量部、130 第2容量部、140 負荷リアクトル、150 信号供給部、200 評価装置、220 検出部、230 評価指標出力部、240 記憶部、250 比較部、260 評価部、300 複合評価装置、320 導電性部材、330 第3容量部、332 第1容量素子、334 第2容量素子、340 基準電位、410 データベース、420 取得部、430 複合評価部、600 モータ駆動装置、610 電源部、620 入力ケーブル、630 駆動回路、640 出力ケーブル、650 モータ、660 アンテナ、670 測

定装置

請求の範囲

- [請求項1] 半導体デバイスにスイッチング動作させる段階と、
 前記スイッチング動作中の前記半導体デバイスに生じる電圧変化を
 測定する段階と、
 前記電圧変化に基づき、前記半導体デバイスの放射ノイズの評価指
 標を出力する段階と
 を備える評価方法。
- [請求項2] 前記評価指標を出力する段階は、前記評価指標として、前記半導体
 デバイスの前記電圧変化を周波数成分ごとに算出する、請求項1に記
 載の評価方法。
- [請求項3] 前記スイッチング動作は、前記半導体デバイスのターンオン動作、
 ターンオフ動作、逆回復動作、および順回復動作のうち、少なくとも
 2つの動作を含む、請求項1または2に記載の評価方法。
- [請求項4] 前記半導体デバイスは、直列に接続された第1デバイスおよび第2
 デバイスを含み、
 前記測定する段階は、前記第1デバイスおよび前記第2デバイスの
 間の電圧変化を測定する、請求項1から3のいずれか一項に記載の評
 価方法。
- [請求項5] 前記半導体デバイスは、直列に接続された第1デバイスおよび第2
 デバイスを含み、
 前記測定する段階は、前記第1デバイスおよび前記第2デバイスの
 電圧変化を測定する、請求項1から3のいずれか一項に記載の評価方
 法。
- [請求項6] 前記測定する段階は、前記半導体デバイスが絶縁材を介して取り付
 けられた導電性部材の電位を基準電位として、前記半導体デバイスと
 の間の電圧変化を測定する、請求項4または5に記載の評価方法。
- [請求項7] 前記半導体デバイスに対して出力した前記評価指標と、前記半導体
 デバイスとは異なる基準デバイスに対して出力した前記評価指標と、

を比較する段階と、

前記比較結果に応じて、前記基準デバイスに対する前記半導体デバイスの前記放射ノイズの強度を評価する段階と、

を更に備える請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の評価方法。

[請求項8] 前記半導体デバイスを備える装置の放射ノイズを推定する推定方法であって、

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の評価方法によって、複数の条件における前記スイッチング動作に対応して出力された前記半導体デバイスの複数の評価指標を取得する段階と、

前記複数の評価指標を組み合わせて前記装置の放射ノイズを推定する段階と

を備える推定方法。

[請求項9] 前記評価指標の組み合わせは、前記半導体デバイスの前記複数の評価指標の最大値または和である、請求項 8 に記載の推定方法。

[請求項10] 前記評価指標の組み合わせは、前記半導体デバイスの前記複数の評価指標の平均値である、請求項 8 に記載の推定方法。

[請求項11] 前記評価指標の組み合わせは、前記複数の条件に対するそれぞれの重みを、前記半導体デバイスの前記複数の評価指標のうち対応する評価指標にそれぞれ乗じてから算出する平均値である、請求項 8 に記載の推定方法。

[請求項12] 評価対象の半導体デバイスに予め定められたスイッチング信号を供給する信号供給部と、

前記半導体デバイスの電圧変化を検出する検出部と、

前記検出部の検出結果に基づき、前記半導体デバイスの放射ノイズの評価指標を出力する評価指標出力部と、

を備える評価装置。

[請求項13] 前記評価指標出力部は、前記電圧変化の周波数成分に基づき、前記半導体デバイスの放射ノイズに対応する電界強度を算出する、請求項

1 2 に記載の評価装置。

[請求項14] 前記信号供給部は、前記半導体デバイスのターンオン動作、ターンオフ動作、逆回復動作、および順回復動作のうち、少なくとも2つの動作を実行させるスイッチング信号を供給する、請求項1 2または1 3に記載の評価装置。

[請求項15] 前記半導体デバイスは、直列に接続された第1デバイスおよび第2デバイスを含み、

前記検出部は、前記第1デバイスおよび前記第2デバイスの間の電圧変化を測定する、請求項1 2から1 4のいずれか一項に記載の評価装置。

[請求項16] 前記半導体デバイスは、直列に接続された第1デバイスおよび第2デバイスを含み、

前記検出部は、前記第1デバイスおよび前記第2デバイスの主端子間に生じる電圧変化を測定する、請求項1 2から1 4のいずれか一項に記載の評価装置。

[請求項17] 前記評価指標出力部が出力する前記評価指標を記憶する記憶部と、
前記評価指標出力部が出力した前記評価指標と、前記記憶部に記憶された前記半導体デバイスとは異なる基準デバイスに対する前記評価指標と、を比較する比較部と、

前記比較結果に応じて、前記半導体デバイスの前記放射ノイズの評価指標の相対的な強度変化を評価する評価部と、

を更に備える請求項1 2から1 6のいずれか一項に記載の評価装置。

[請求項18] 前記検出部は、前記半導体デバイスが絶縁材を介して取り付けられた導電性部材の電位を基準電位として、前記半導体デバイスとの間の電圧変化を測定する、請求項1 2に記載の評価装置。

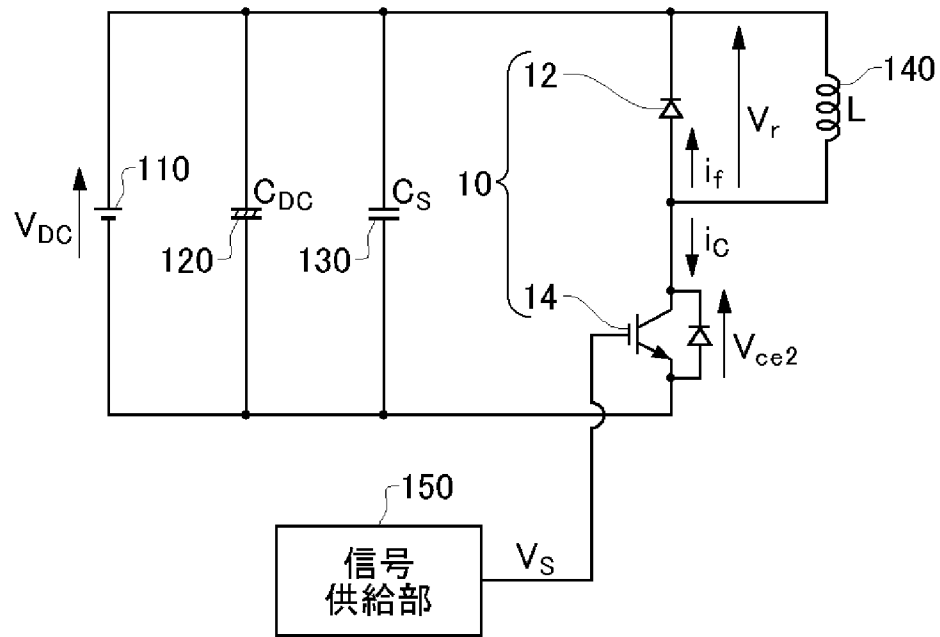
[請求項19] 請求項1 2から1 8のいずれか一項に記載の評価装置によって、複数の条件における前記スイッチング信号に対応して出力された前記半

導体デバイスの複数の評価指標を取得する取得部と、

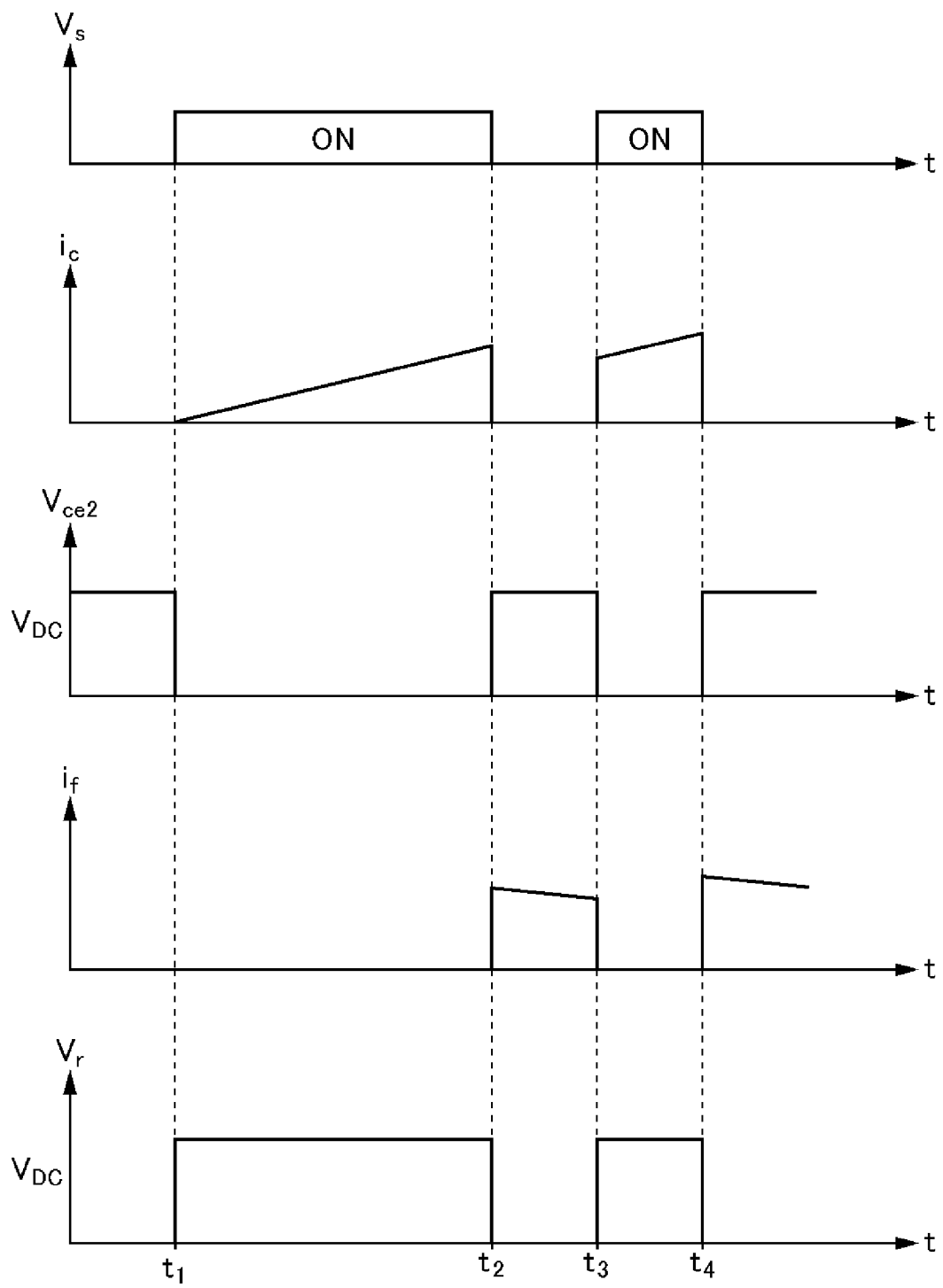
前記複数の評価指標を組み合わせて前記半導体デバイスを備える装置の放射ノイズを推定する複合評価部と、

を備える複合評価装置。

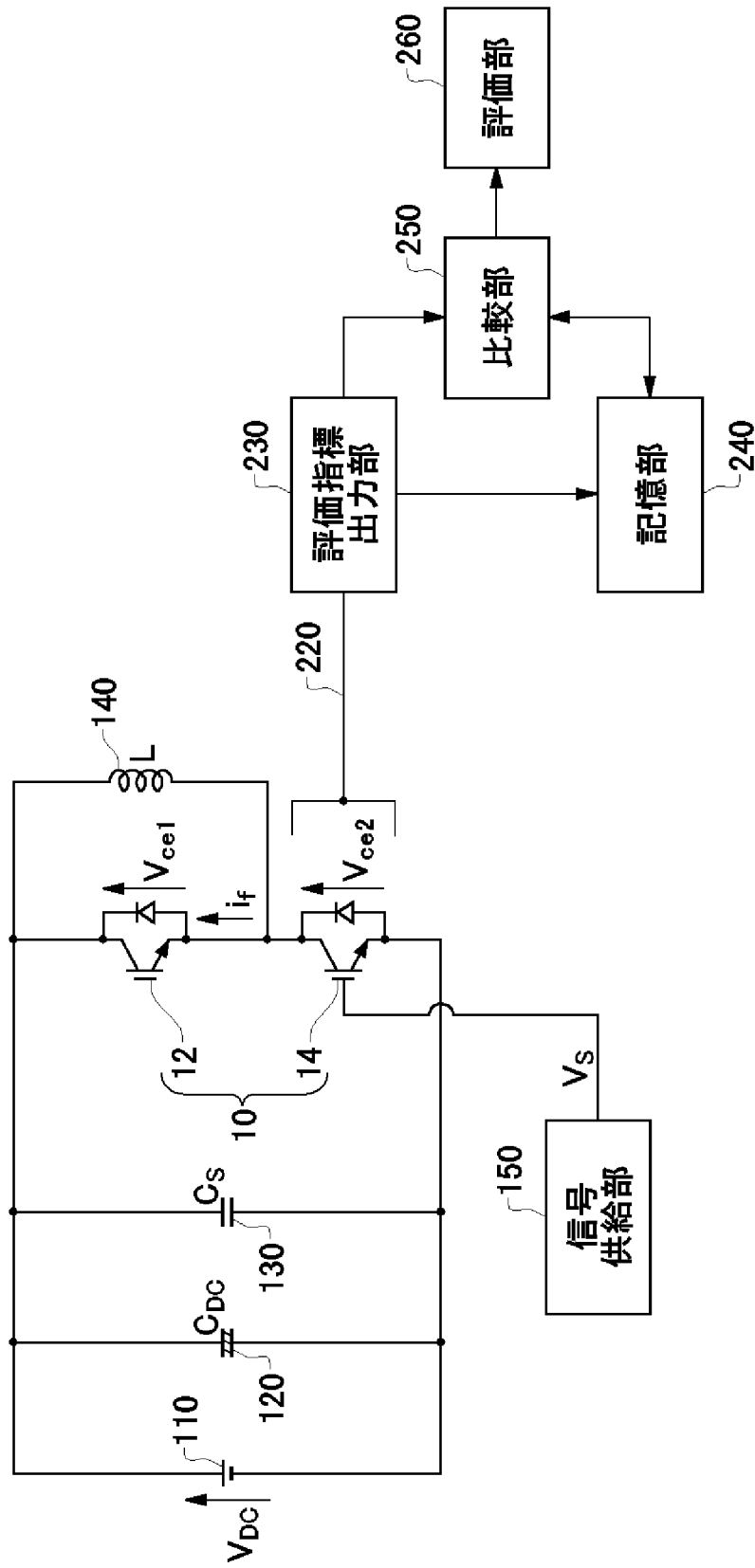
[図1]

100

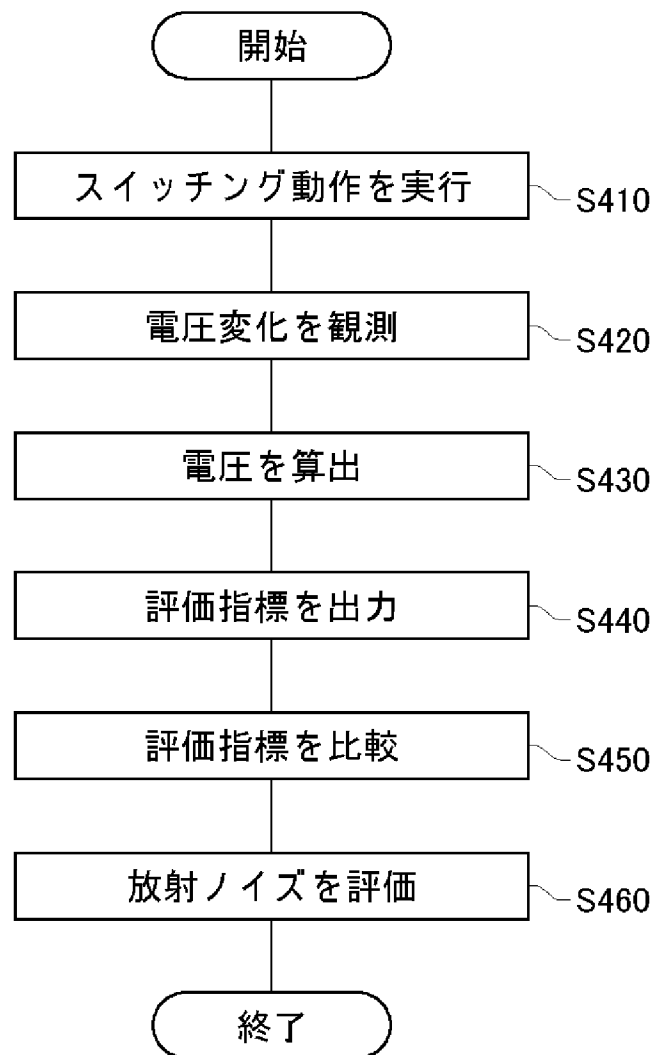
[図2]



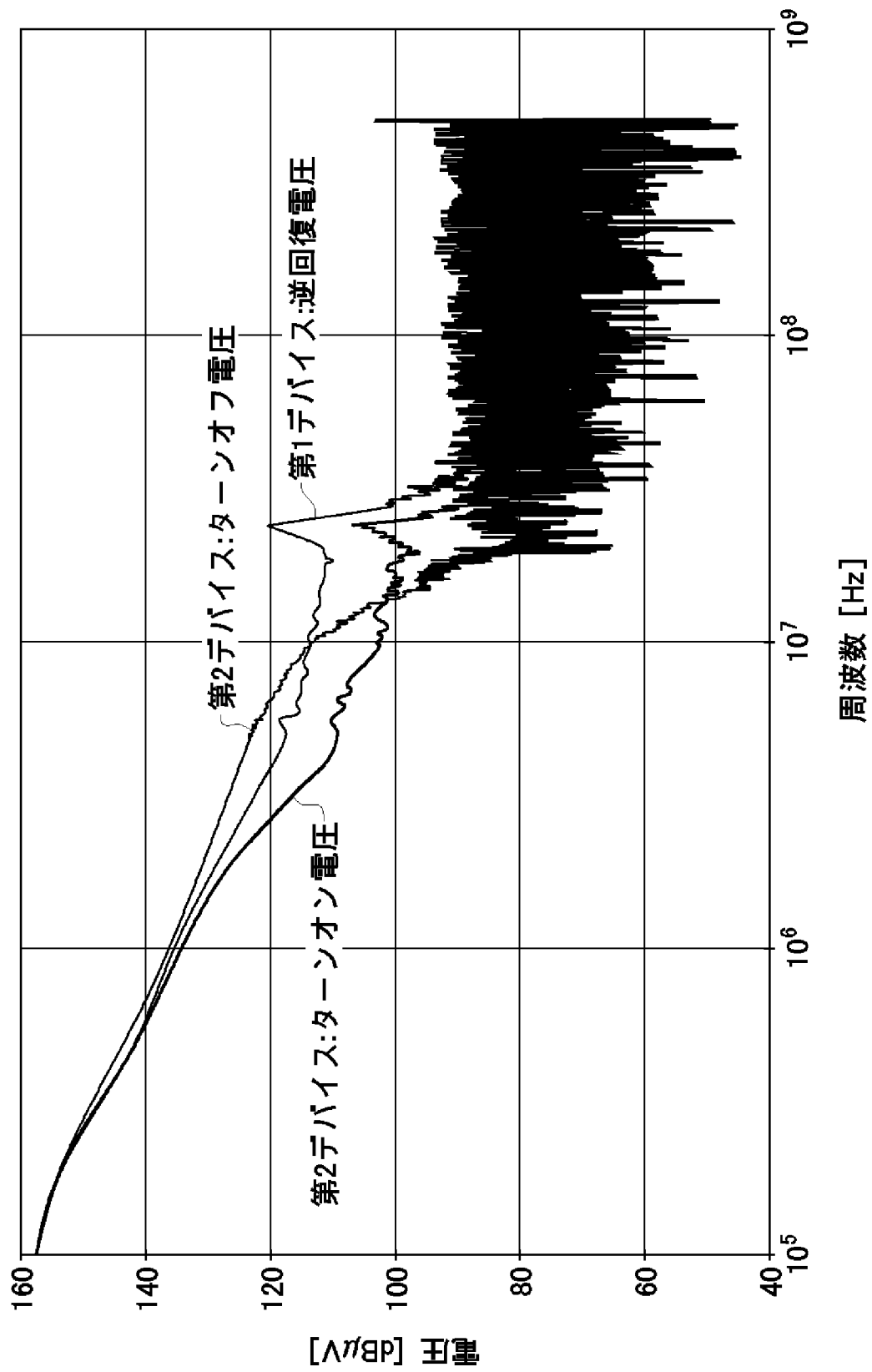
[図3]



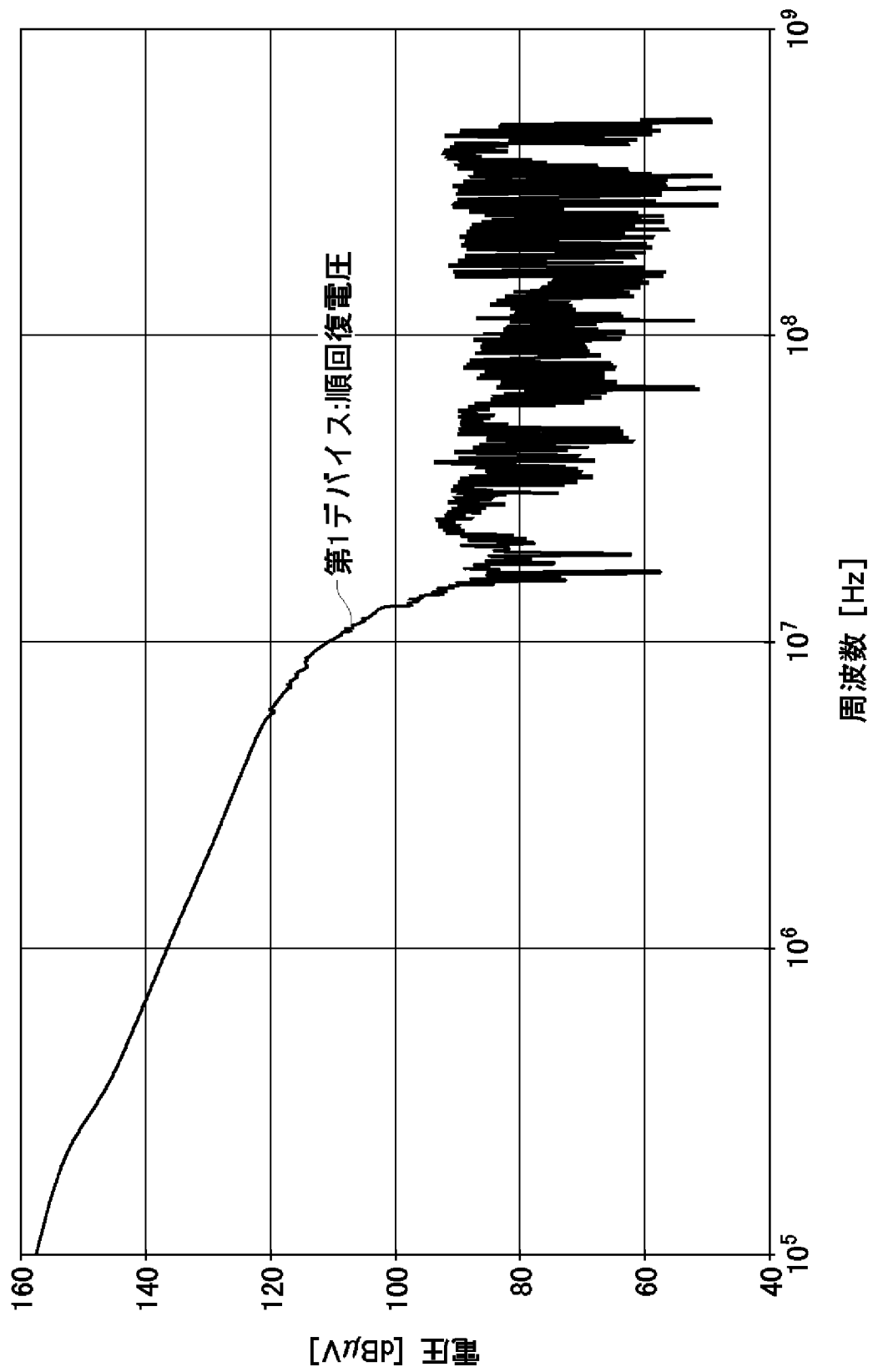
[図4]



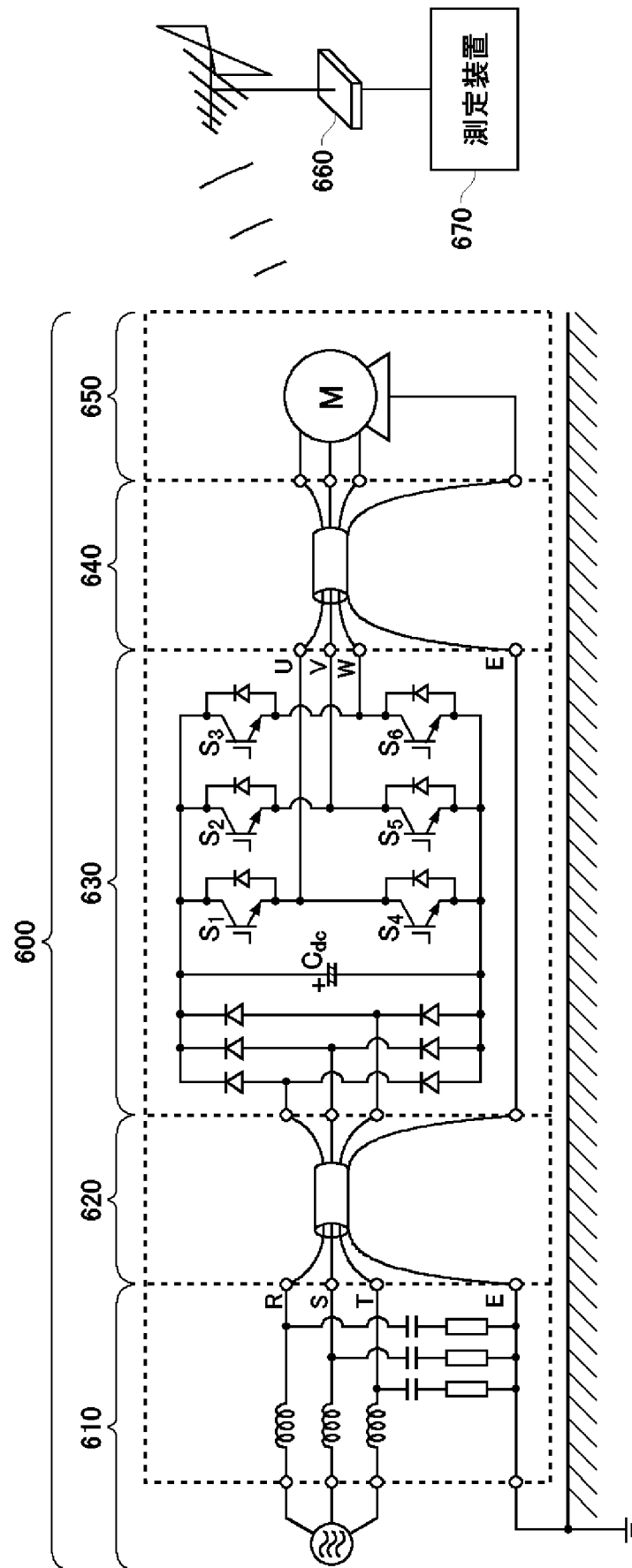
[図5A]



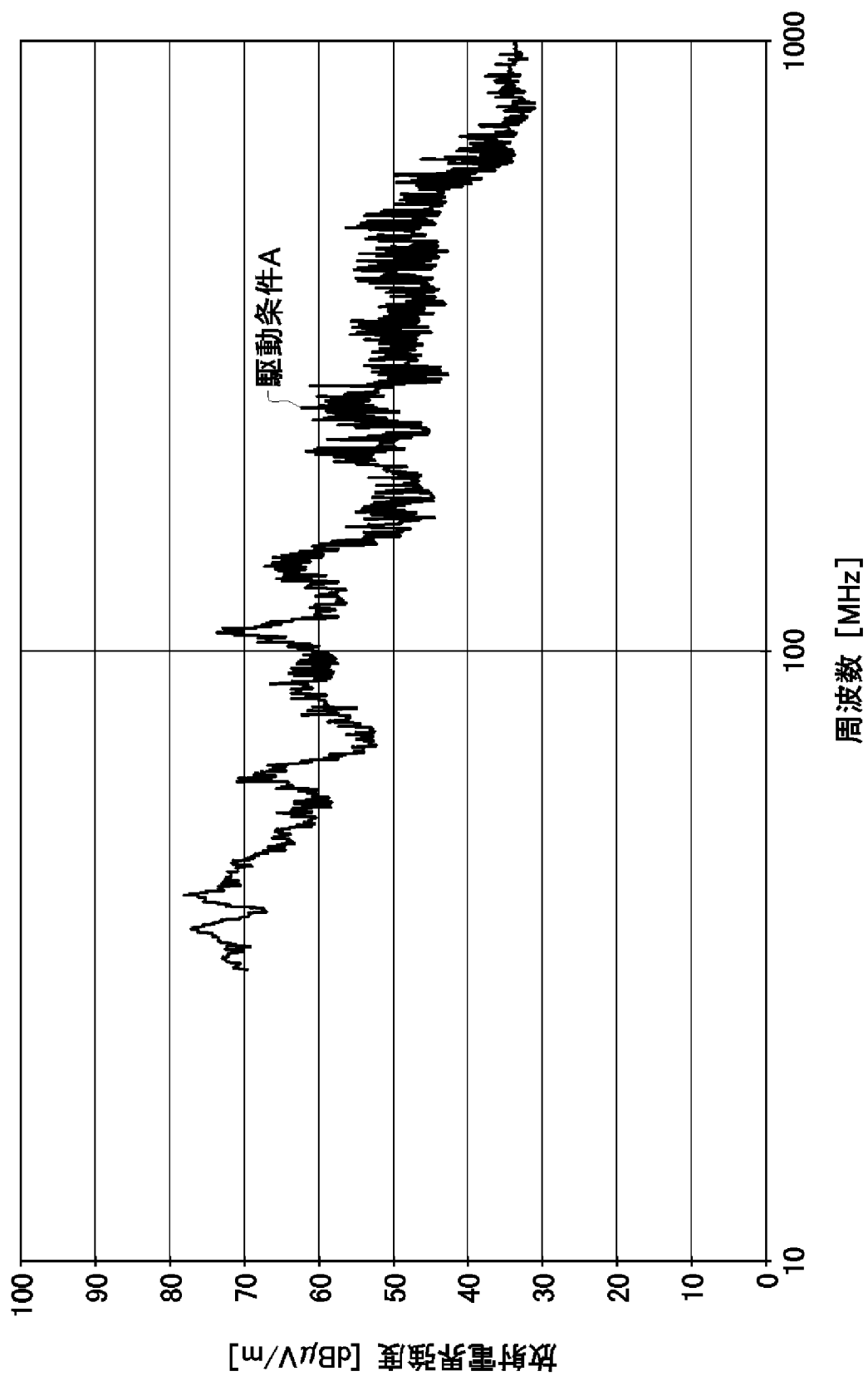
[図5B]



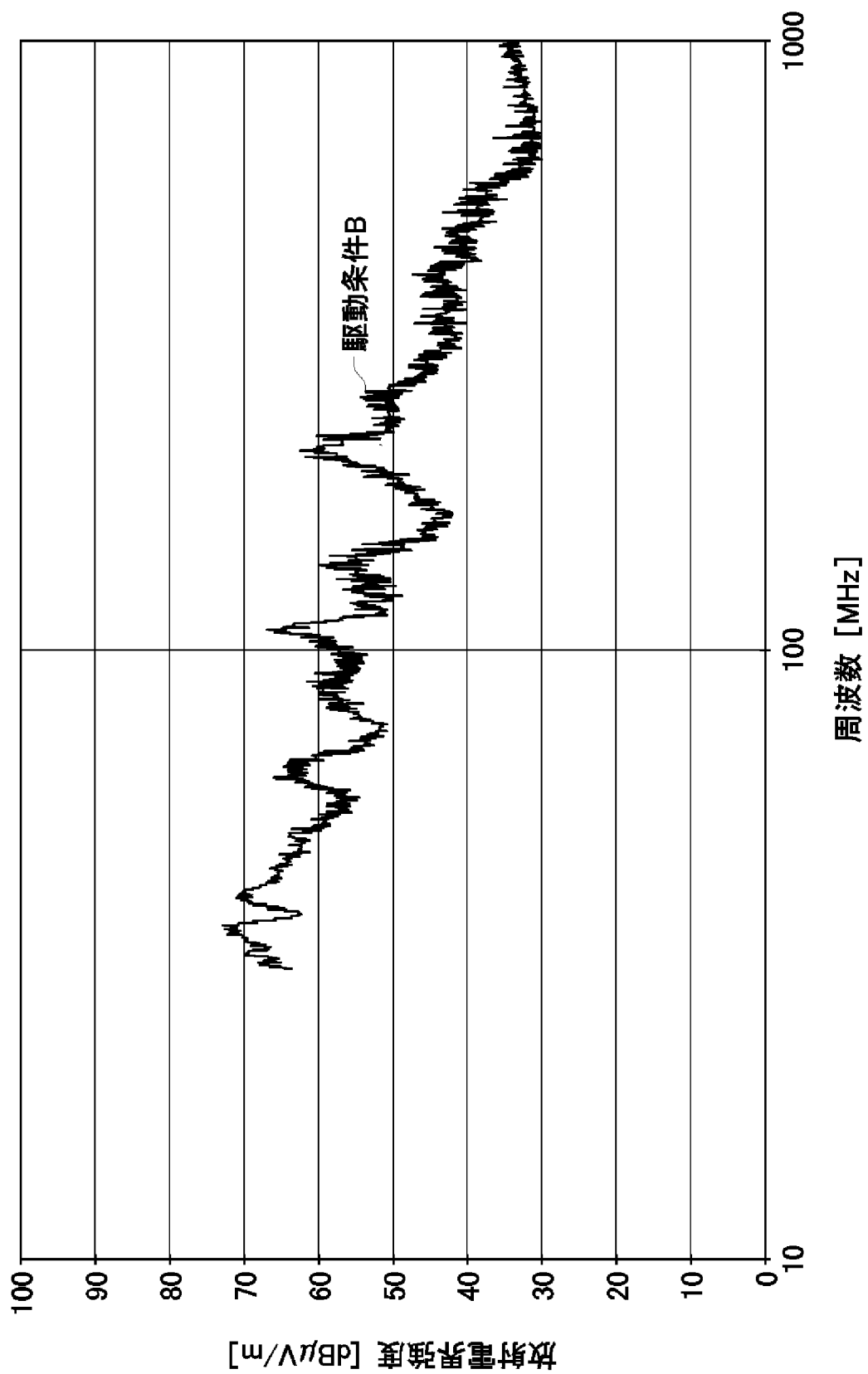
[図6]



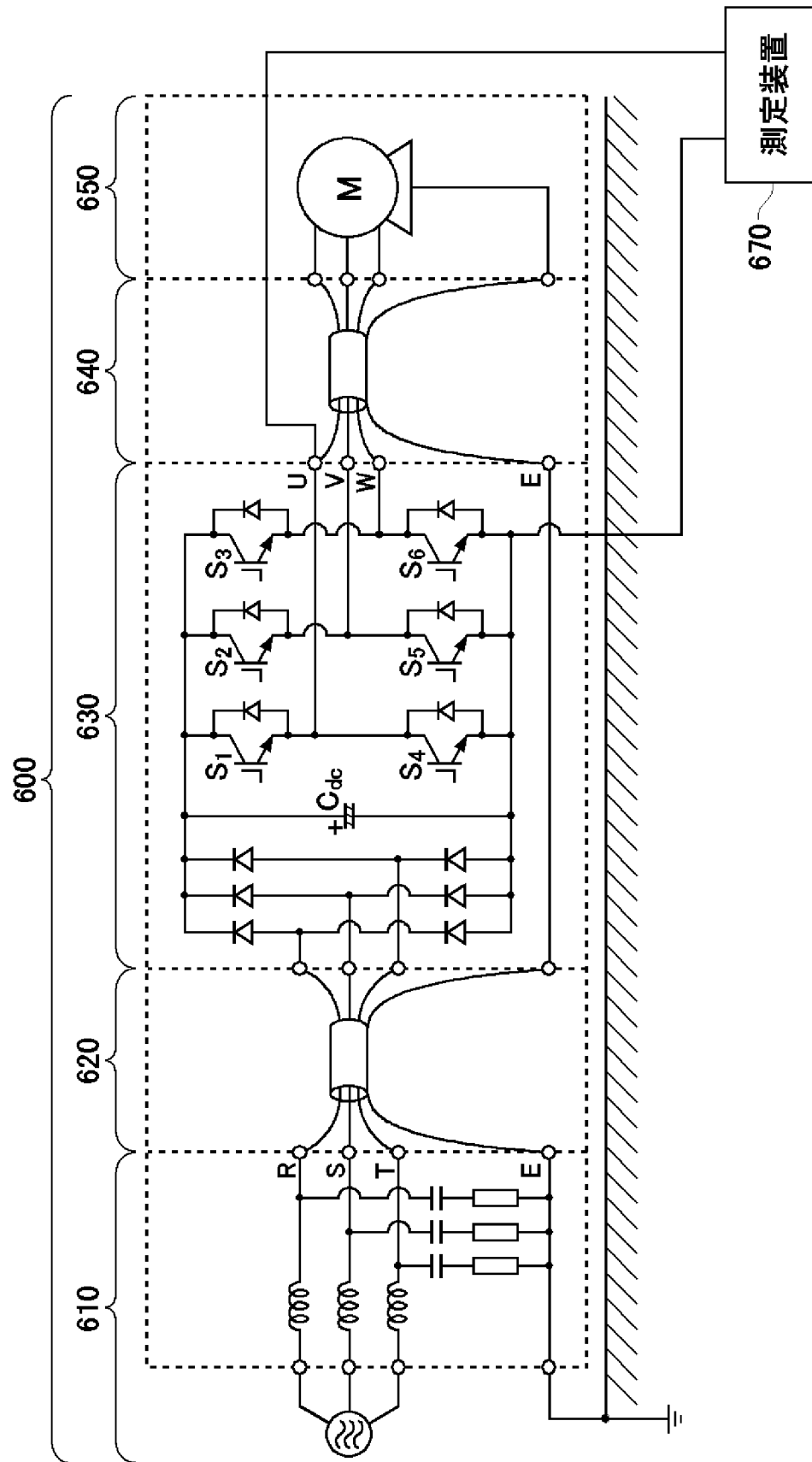
[図7A]



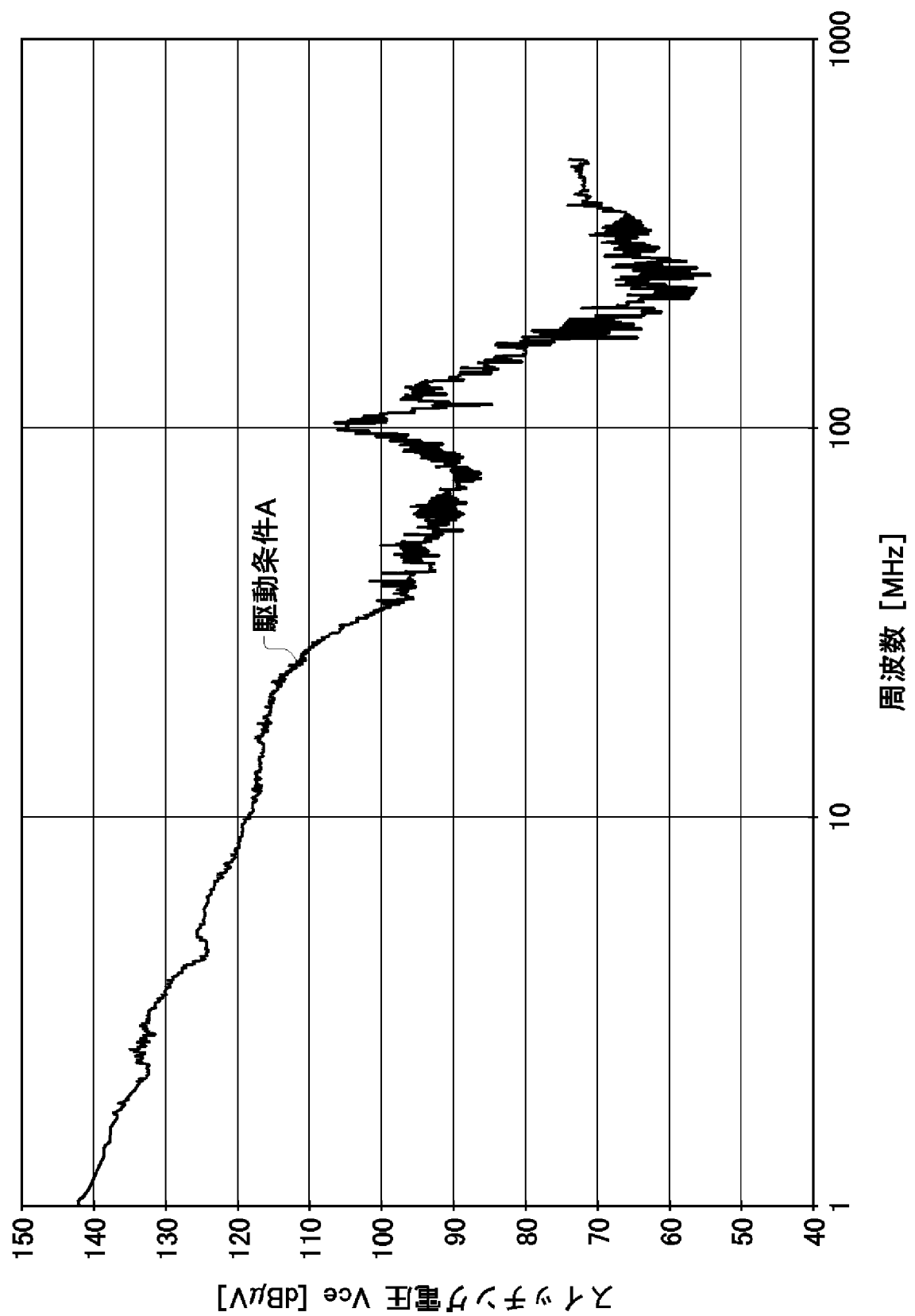
[図7B]



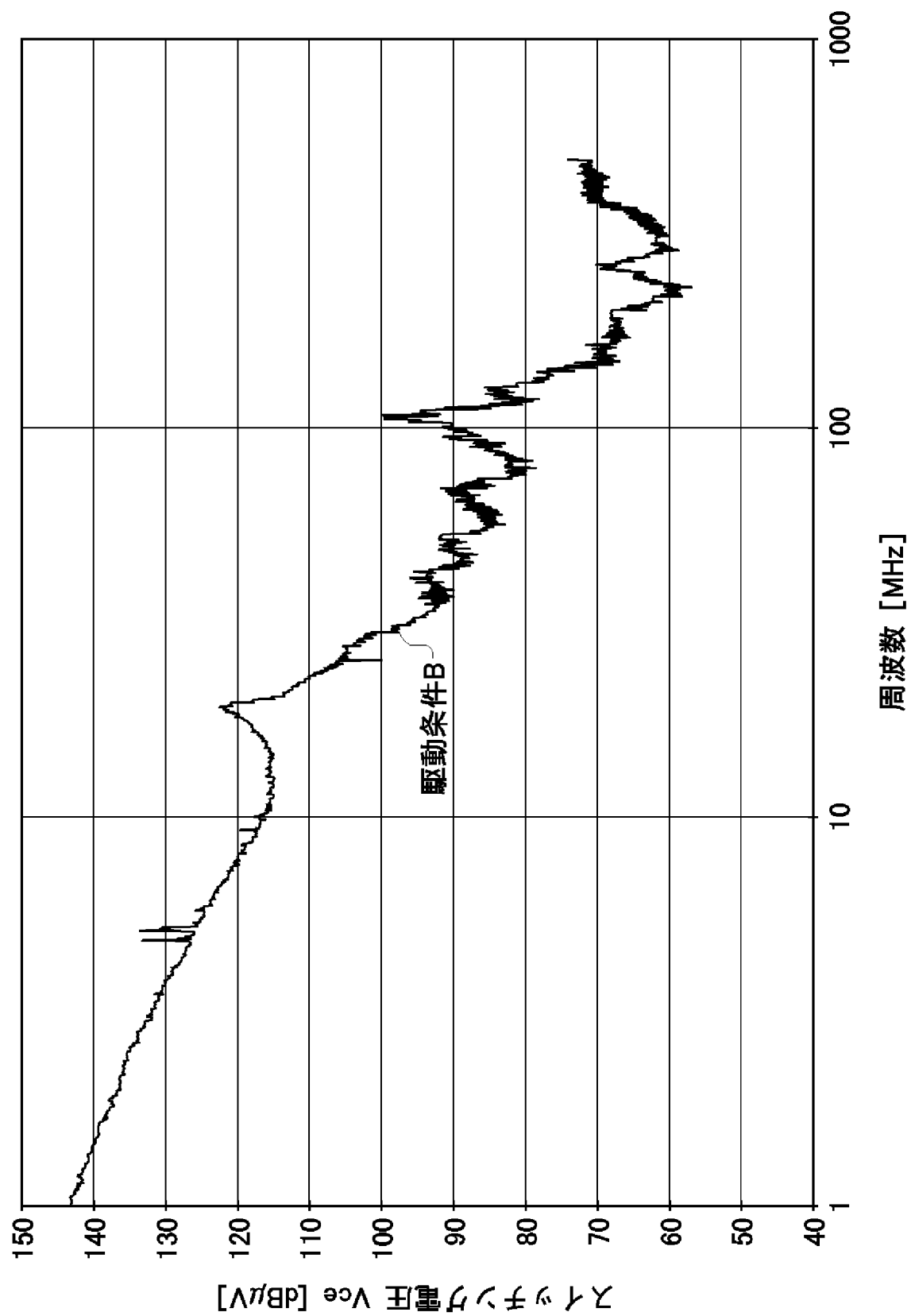
[図8]



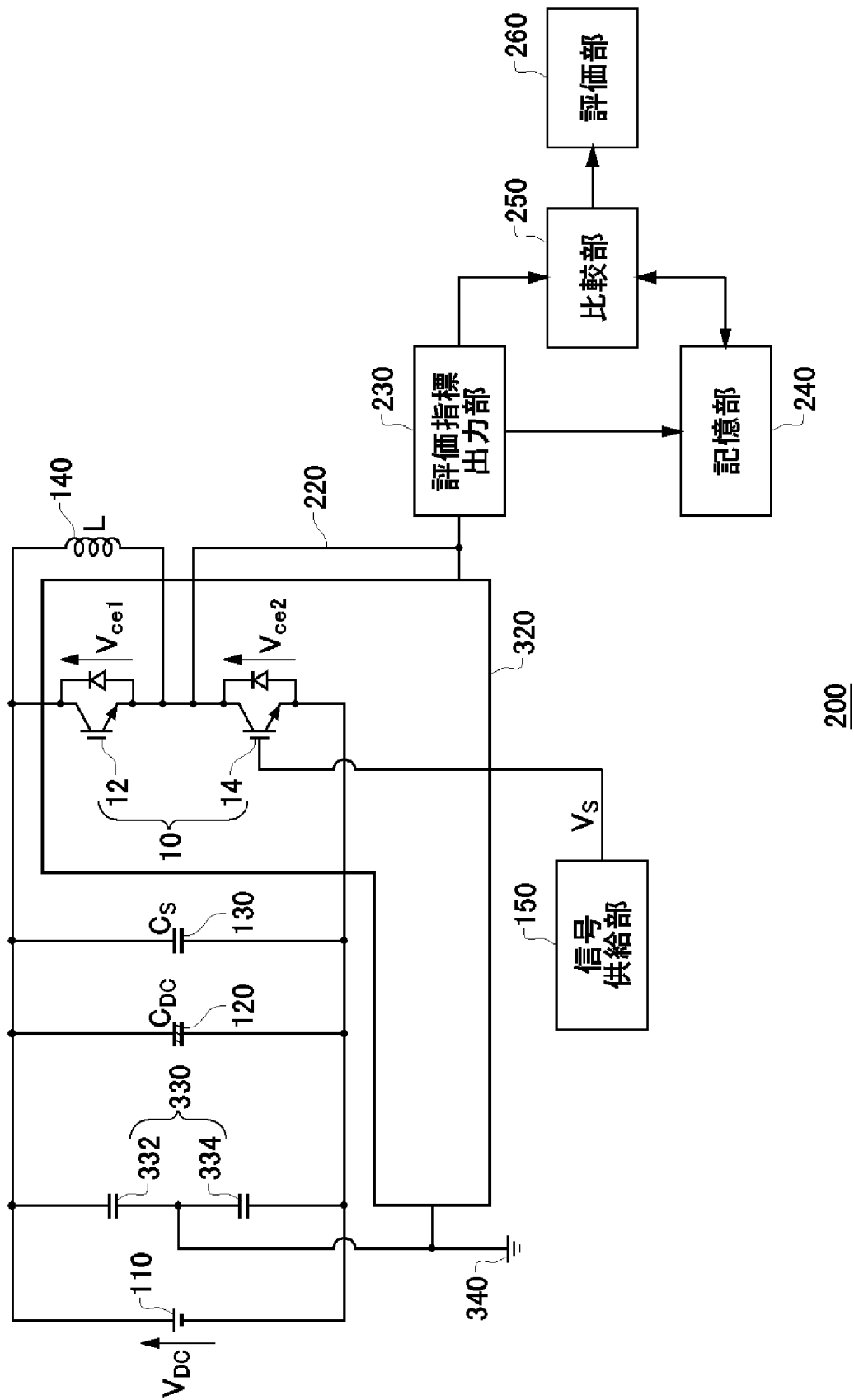
[図9A]



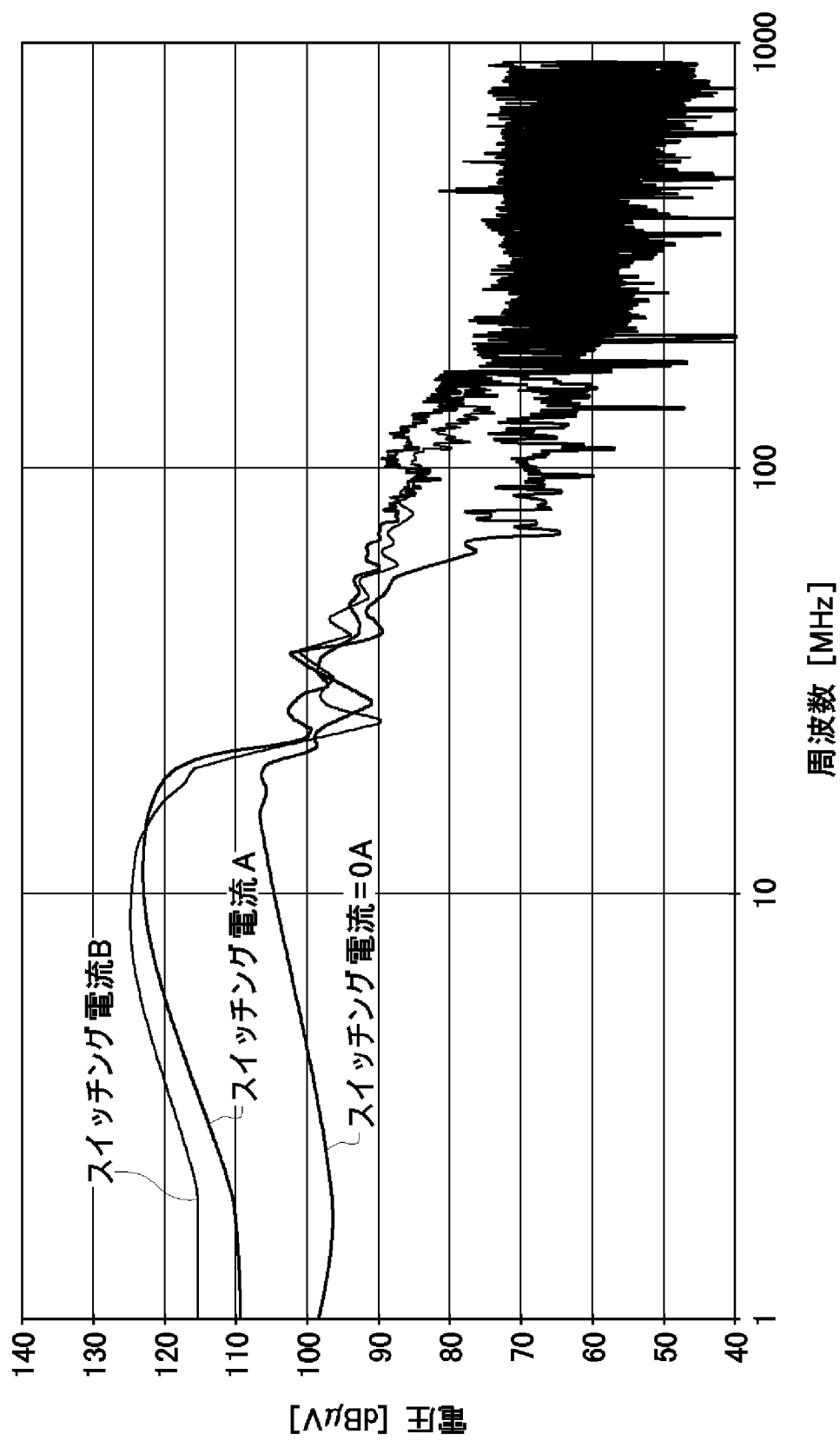
[図9B]



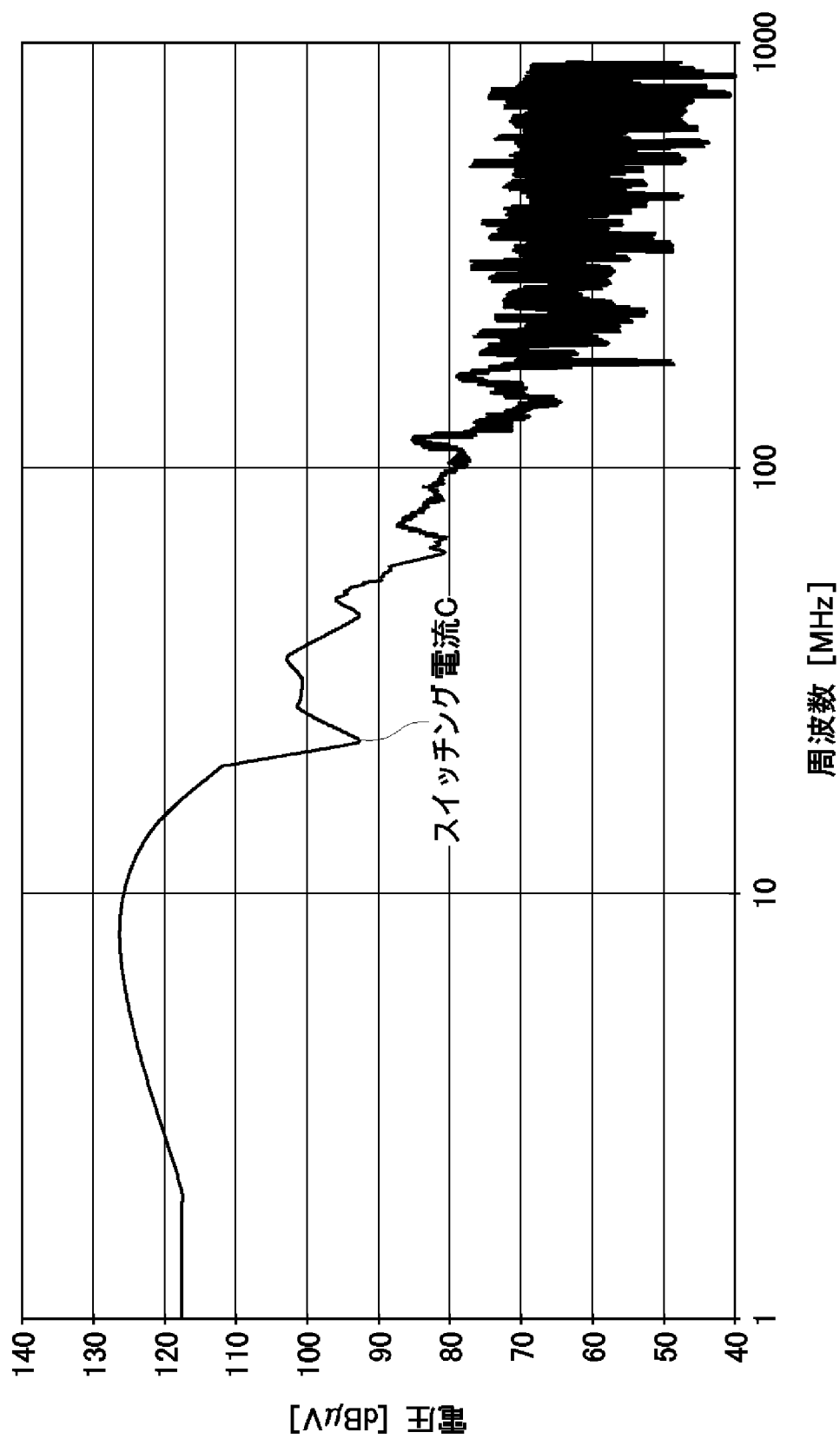
[図10]



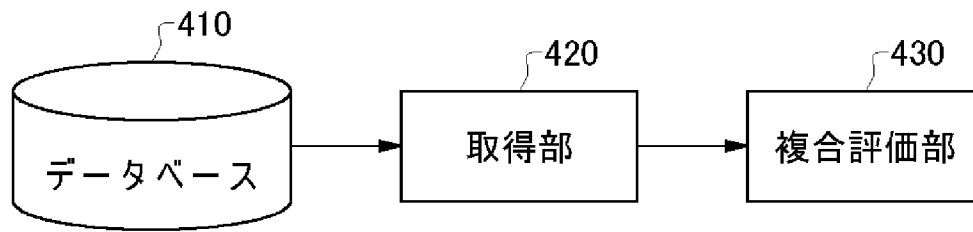
[図11A]



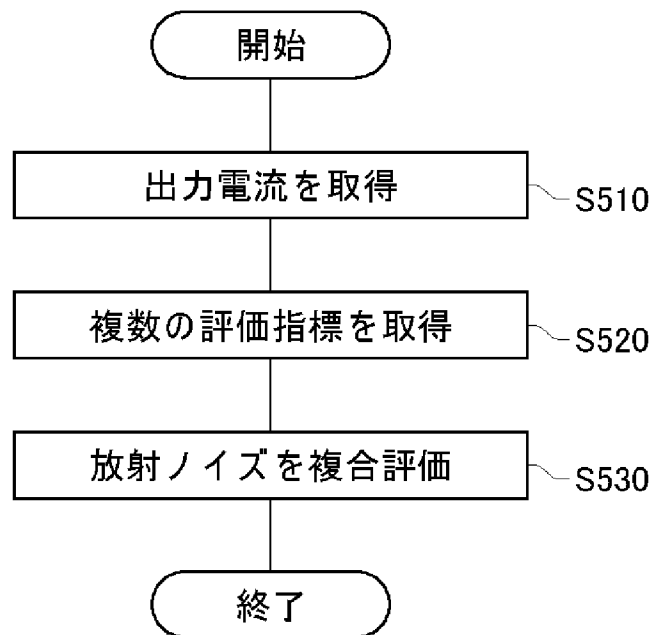
[図11B]



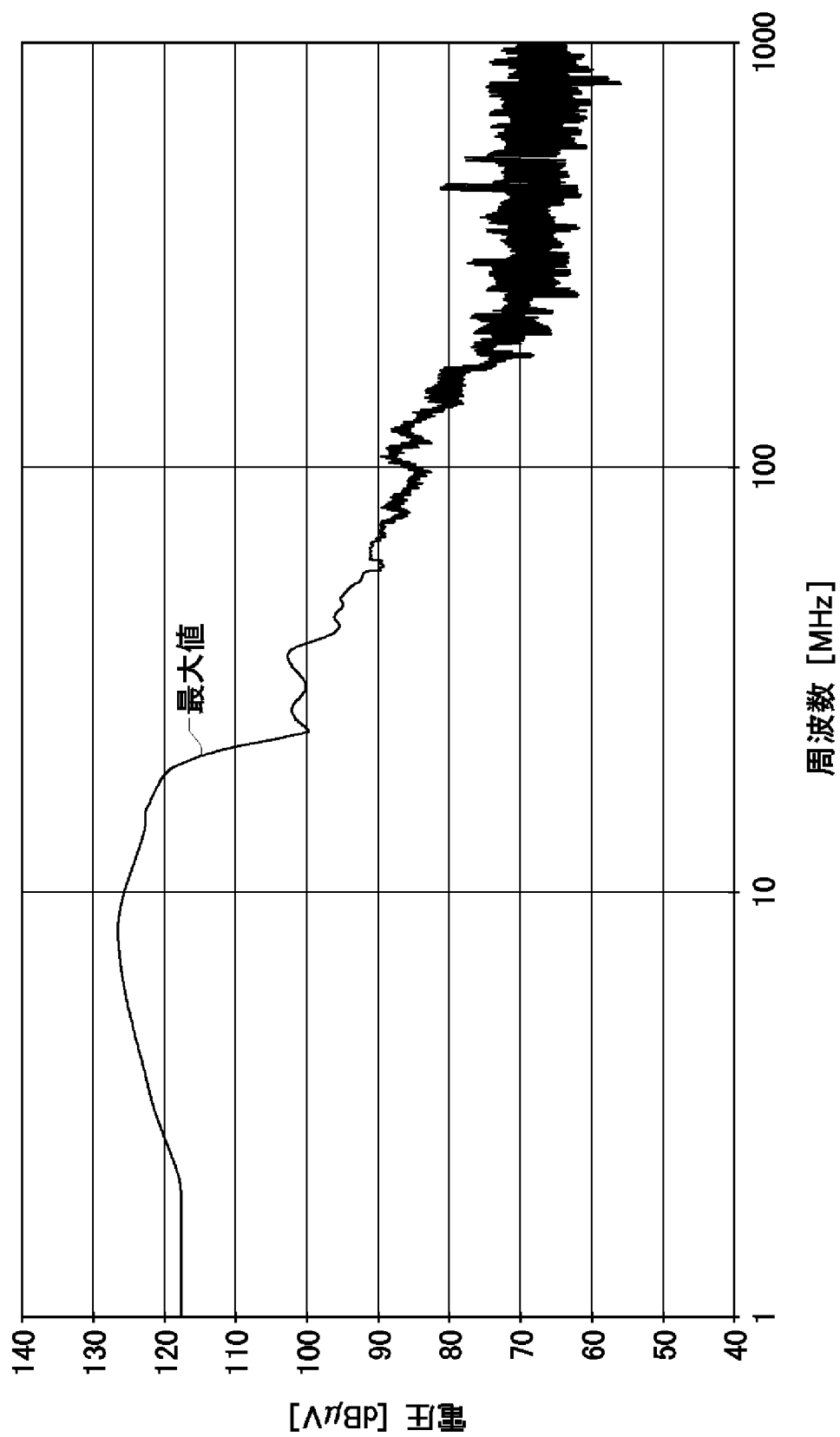
[図12]

300

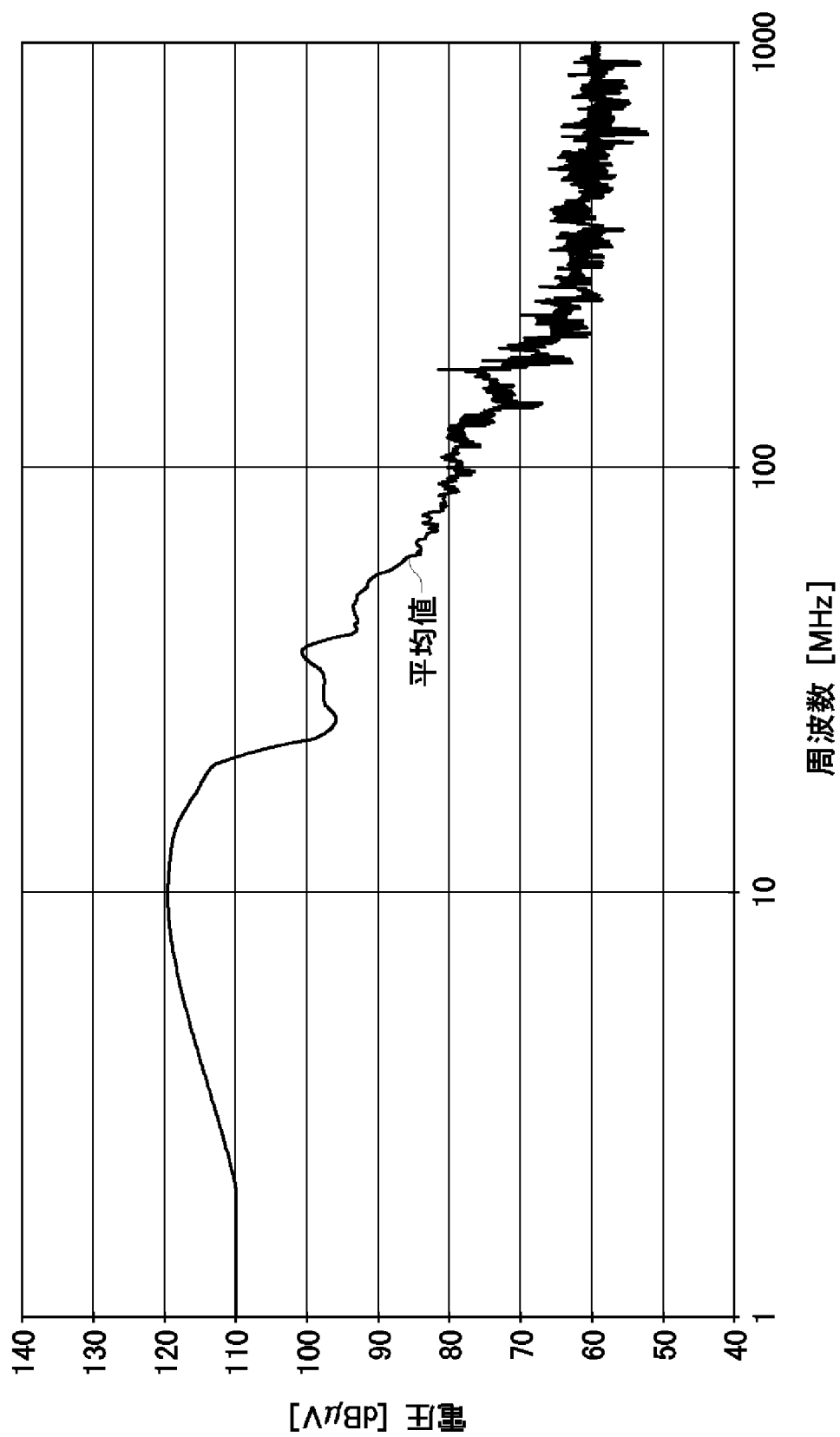
[図13]



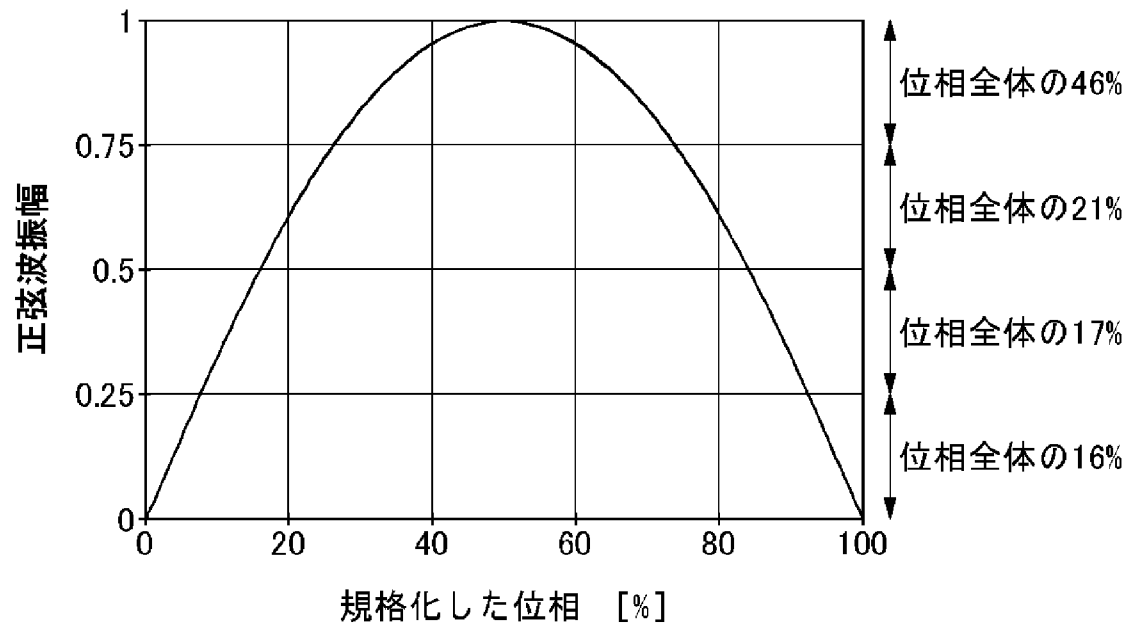
[図14A]



[図14B]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/004486

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. G01R31/26 (2014.01) i, G01R29/08 (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) Int.Cl. G01R31/26, G01R29/08 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018 Registered utility model specifications of Japan 1996-2018 Published registered utility model applications of Japan 1994-2018 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 A	JP 2011-253434 A (HITACHI, LTD.) 15 December 2011, paragraphs [0016]-[0056], fig. 1-5 & WO 2011/152225 A1 & EP 2579172 A1, paragraphs [0015]-[0051], fig. 1-5	1-2, 12-13 3-6, 8-11, 14-16, 18-19 7, 17
Y A	JP 2009-290938 A (FUJI ELECTRIC HOLDINGS CO., LTD.) 10 December 2009, paragraphs [0014]-[0038], fig. 1-10 (Family: none)	3-6, 8-11, 14-16, 19 7, 17
Y	JP 2000-184695 A (FUJI XEROX CO., LTD.) 30 June 2000, paragraph [0005] (Family: none)	3-6, 8-11, 14-16, 19
Y	WO 2014/174854 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 30 October 2014, paragraph [0021], fig. 2, 9 & US 2015/0380338 A1, paragraph [0069], fig. 2, 9(A)	6, 8-11, 18-19
A	JP 2007-221876 A (FUJI ELECTRIC DEVICE TECHNOLOGY CO., LTD.) 30 August 2007, entire text, all drawings (Family: none)	1-19
☐ 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 02 March 2018 (02.03.2018)		Date of mailing of the international search report 13 March 2018 (13.03.2018)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01R31/26(2014.01)i, G01R29/08(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. G01R31/26, G01R29/08

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で利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 2011-253434 A（株式会社日立製作所）2011.12.15 段落0016-0056、図1-図5 & WO 2011/152225 A1 & EP 2579172 A1、段落0015-0051、Fig.1-Fig.5	1-2, 12-13 3-6, 8-11, 14-16, 18-19 7, 17
Y A	JP 2009-290938 A（富士電機ホールディングス株式会社）2009.12.10 段落0014-0038、図1-図10（ファミリーなし）	3-6, 8-11, 14-16, 19 7, 17

☒ 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

02.03.2018

国際調査報告の発送日

13.03.2018

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）

續山 浩二

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

2 S

4 4 5 4

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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
Y	JP 2000-184695 A (富士ゼロックス株式会社) 2000.06.30 段落 0005 (ファミリーなし)	3-6, 8-11, 14-16, 19
Y	WO 2014/174854 A1 (富士電機株式会社) 2014.10.30 段落 0021、図 2、図 9 & US 2015/0380338 A1、段落 0069、FIG. 2、FIG. 9(A)	6, 8-11, 18-19
A	JP 2007-221876 A (富士電機デバイステクノロジー株式会社) 2007.08.30 全文、全図 (ファミリーなし)	1-19