(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2023-106340
(P2023-106340A)

(43)公開日　令和5年8月1日(2023.8.1)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
H02M	*7/48 (2007.01)*	H02M	7/48	M	5H740
H02M	*1/08 (2006.01)*	H02M	1/08	A	5H770

審査請求　未請求　請求項の数　9　　OL　外国語出願　（全14頁）

(21)出願番号　特願2023-6282(P2023-6282)
(22)出願日　令和5年1月19日(2023.1.19)
(31)優先権主張番号　10 2022 200 598.8
(32)優先日　令和4年1月20日(2022.1.20)
(33)優先権主張国・地域又は機関
ドイツ(DE)

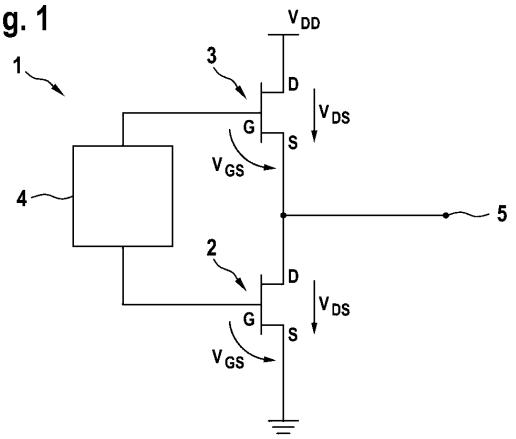
(71)出願人　591245473
ロベルト・ボッシュ・ゲゼルシャフト・ミト・ベシュレンクテル・ハフツング
ＲＯＢＥＲＴ　ＢＯＳＣＨ　ＧＭＢＨ
ドイツ連邦共和国　７０４４２　シュトゥットガルト　ポストファッハ　３０　０２２０
(74)代理人　100118902
弁理士　山本 修
(74)代理人　100196508
弁理士　松尾 淳一
(72)発明者　ハディウッザマン・サイード
ドイツ国　７０４６９　シュトゥットガルト，トゥンネルシュトラーセ　２
(72)発明者　ニコ・ビュステマン

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　インバータのトランジスタの特性動作パラメータ検出方法

(57)【要約】　（修正有）
【課題】トランジスタの特性動作パラメータ検出に適したインバータを提供すること。
【解決手段】インバータ（１）は、ハイサイドトランジスタおよびローサイドトランジスタである第１のトランジスタ（２）および第２のトランジスタ（３）と、第１のトランジスタ（２）がスイッチオンされ、第２のトランジスタ（３）がスイッチオフ状態であり、第１のトランジスタの寄生容量が放電される第１のスイッチング動作をトリガし、第１のトランジスタ（２）がスイッチオフまたは再度スイッチオンされ、同時に第２のトランジスタ（３）がスイッチオフ状態のままであり、第１のトランジスタの寄生容量が、既に放電されている第２のスイッチング動作をトリガし、第１のスイッチング動作の持続時間と、第２のスイッチング動作の持続時間との時間差に基づいて、第１のトランジスタ（２）の特性動作パラメータを特定する制御電子回路（４）と、を含む。
【選択図】図１

Fig. 1



【特許請求の範囲】
【請求項１】
－　インバータ（１）のハイサイドトランジスタおよびローサイドトランジスタである第１のトランジスタ（２）および第２のトランジスタ（３）と、
－　制御電子回路（４）であって、
－　前記第１のトランジスタ（２）がスイッチオンされ、前記第２のトランジスタ（３）がスイッチオフ状態であり、前記第１のトランジスタの寄生容量が第１のスイッチング動作時に放電される、第１のスイッチング動作をトリガし、
－　前記第１のトランジスタ（２）がスイッチオフまたは再度スイッチオンされ、同時に前記第２のトランジスタ（３）が前記スイッチオフ状態のままであり、前記第１のトランジスタの寄生容量が、第２のスイッチング動作時に既に放電されている、第２のスイッチング動作をトリガし、
－　前記第１のスイッチング動作の持続時間と、前記第２のスイッチング動作の持続時間との差を表す時間差を検出し、かつ、
－　前記時間差に基づいて、前記第１のトランジスタ（２）の特性動作パラメータを特定する、
ように構成されている制御電子回路（４）と、
を含む、インバータ（１）。
【請求項２】
前記寄生容量はミラー容量であり、前記特性動作パラメータは、前記ミラー容量の電荷または容量値である、請求項１に記載のインバータ（１）。
【請求項３】
前記制御電子回路（４）は、前記第１のトランジスタ（２）のゲート電流を設定または検出し、前記第１のトランジスタ（２）のゲート電流と、前記時間差とに基づいて、前記第１のトランジスタ（２）の前記特性動作パラメータを特定するようにさらに構成されている、請求項１または２に記載のインバータ（１）。
【請求項４】
前記特性動作パラメータは、前記第１のトランジスタ（２）のミラー容量の電荷であり、前記第１のトランジスタ（２）のゲート電流と、前記時間差との乗算によって特定される、請求項３に記載のインバータ（１）。
【請求項５】
前記第１のスイッチング動作と、前記第２のスイッチング動作とは、前記インバータ（１）の無負荷状態で行われる、請求項１～４のいずれか一項に記載のインバータ（１）。
【請求項６】
前記第１のスイッチング動作は、前記インバータ（１）を無負荷状態に切り替えた後の最初のスイッチング動作である、請求項５に記載のインバータ（１）。
【請求項７】
前記第１のスイッチング動作の持続時間および／または前記第２のスイッチング動作の持続時間は、前記スイッチング動作時に前記第１のトランジスタ（２）のゲートソース間電圧が上昇または降下する時間によって定義されている、請求項１～６のいずれか一項に記載のインバータ（１）。
【請求項８】
前記第１のトランジスタ（２）は、前記第２のスイッチング動作時に再度スイッチオンされ、前記第１のトランジスタ（２）は、前記第１のスイッチング動作と、前記第２のスイッチング動作との間に行われる中間スイッチング動作でスイッチオフされ、これにより、続く前記第２のスイッチング動作で再度スイッチオンすることが可能になり、前記第２のトランジスタ（３）は、前記中間スイッチング動作時にスイッチオフ状態のままである、請求項１～７のいずれか一項に記載のインバータ（１）。
【請求項９】
インバータのハイサイドトランジスタおよびローサイドトランジスタである、第１のト

ランジスタ（２）および第２のトランジスタ（３）を含む、インバータ（１）のトランジスタの特定動作パラメータ検出方法であって、
－　前記第１のトランジスタ（２）がスイッチオンされ、前記第２のトランジスタ（３）がスイッチオフ状態であり、前記第１のトランジスタの寄生容量が第１のスイッチング動作時に放電される、前記第１のスイッチング動作をトリガするステップと、
－　前記第１のトランジスタ（２）がスイッチオフまたは再度スイッチオンされ、同時に前記第２のトランジスタ（３）がスイッチオフ状態のままであり、前記第１のトランジスタの寄生容量が、第２のスイッチング動作時に既に放電されている、前記第２のスイッチング動作をトリガするステップと、
－　前記第１のスイッチング動作の持続時間と、前記第２のスイッチング動作の持続時間との差を表す時間差を検出するステップと、
－　前記時間差に基づいて、前記第１のトランジスタ（２）の特性動作パラメータを特定するステップと、
を含む、方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、インバータのトランジスタの特性動作パラメータ検出に適したインバータに関する。
【背景技術】
【０００２】
ＭＯＳＦＥＴに代表される炭化ケイ素トランジスタは、自動車環境におけるインバータの主要構成部品である。インバータの耐用年数を通して、インバータの構成部品の経年劣化が発生し、経年劣化はインバータのトランジスタにも該当する。このトランジスタの経年劣化により、経年劣化による、またはトランジスタの使用に起因する一定の負荷条件による、トランジスタの動作パラメータの低下が生じる。トランジスタの動作パラメータが目標値から外れる可能性があるのは、他には製造工程における公差が原因である。
【０００３】
インバータのトランジスタは、並列構成で使用される場合が多い。その際、個々のトランジスタの動作パラメータが異なると、電流分布が非対称になり、それに起因する損失によって、トランジスタの熱分布が不均一になる。このように分布が非対称であると、トランジスタの最大電流を流す個々のトランジスタチップのコーナー部分の負荷が高くなる。したがって、経年劣化の過程が加速される。
【０００４】
全てのトランジスタに均等に負荷がかかるインバータにおいて、トランジスタの制御を可能にするためには、個々のトランジスタの動作パラメータを検知することが必要である。ミラー容量によって誘起されるミラー電荷、またはミラー容量の静電容量を算出するために、ドレインソース間電圧と、ゲートソース間電圧の電圧特性を考慮することが知られている。対応する値を特定するために、ゲートソース間電圧が経時的にサンプリングされ、分析される。しかし、このサンプリング動作は不正確になる場合がある。また、ドレインソース間電圧の監視が必要となり、追加のトリガが必要となる。また、トランジスタのスイッチオン動作にわたってゲートソース間電圧を監視することでは、寄生効果を推測できない。特に、トランジスタに内在していない容量は推測できない。例えば、複数のトランジスタチップの使用に起因する効果を考慮することはできない。
【発明の概要】
【課題を解決するための手段】
【０００５】
本発明に係るインバータは、インバータのハイサイドトランジスタおよびローサイドトランジスタである、第１のトランジスタおよび第２のトランジスタと、制御電子回路であって、第１のトランジスタがスイッチオンされ、第２のトランジスタがスイッチオフ状態

であり、第１のトランジスタの寄生容量が第１のスイッチング動作時に放電される、第１のスイッチング動作をトリガし、第１のトランジスタがスイッチオフまたは再度スイッチオンされ、同時に第２のトランジスタがスイッチオフ状態のままであり、第１のトランジスタの寄生容量が、第２のスイッチング動作時に既に放電されている、第２のスイッチング動作をトリガし、第１のスイッチング動作の持続時間と、第２のスイッチング動作の持続時間との差を表す時間差を検出し、かつ、時間差に基づいて、第１のトランジスタの特性動作パラメータを特定するように構成されている制御電子回路と、を含む。

【０００６】

本発明に係る、インバータのハイサイドトランジスタおよびローサイドトランジスタである、第１のトランジスタおよび第２のトランジスタを含む、インバータのトランジスタの特定動作パラメータ検出方法は、第１のトランジスタがスイッチオンされ、第２のトランジスタがスイッチオフ状態であり、第１のトランジスタの寄生容量が第１のスイッチング動作時に放電される、第１のスイッチング動作をトリガするステップと、第１のトランジスタがスイッチオフまたは再度スイッチオンされ、同時に第２のトランジスタはスイッチオフ状態のままであり、第１のトランジスタの寄生容量が、第２のスイッチング動作時に既に放電されている、第２のスイッチング動作をトリガするステップと、第１のスイッチング動作の持続時間と、第２のスイッチング動作の持続時間との差を表す時間差を検出するステップと、時間差に基づいて、第１のトランジスタの特性動作パラメータを特定するステップと、を含む。

【０００７】

したがって、第１のトランジスタは２回スイッチオンされるか、最初にスイッチオンされ、その後スイッチオフされるかのいずれかである。特に、第１のトランジスタのスイッチオン動作時のゲート電荷が、第１のトランジスタのスイッチオフ動作時のゲート電荷に相当するか、または同程度であると仮定して、特性動作パラメータが特定される。

【０００８】

ハイサイドトランジスタは、典型的には、インバータに供給される電源電圧を、インバータの出力側に対して接続するトランジスタである。ローサイドトランジスタは、典型的には、インバータの出力側を接地電位に接続するトランジスタである。スイッチング動作は、トランジスタが導通状態から非導通状態に変化する、または非導通状態から導通状態に変化する期間である。スイッチング動作は、典型的には、トランジスタに制御信号を供給し、特にゲートソース間電圧を変化させることで開始される。スイッチング動作は、その後、トランジスタがドレインソース接点を介して最小もしくは最大電流を流すことができる時、すなわち、ドレインソース電流が最小もしくは最大である時、またはドレインソース接点を介して降下する電圧が最小、典型的には０ボルト、もしくは最大である時に終了する。

【０００９】

第１および／または第２のトランジスタは、特にＭＯＳＦＥＴトランジスタである。制御電子回路は、時間差を検出するように構成されている。この時間差は、第１のスイッチング動作の持続時間と、第２のスイッチング動作の持続時間との差を定義する。時間差は、まず第１のスイッチング動作の持続時間を測定し、次に第２のスイッチング動作の持続時間を測定し、最終的に測定値から時間差を算出することによって検出することができる。第１のトランジスタの特性動作パラメータは、時間差に基づいて特定される。つまり、第２のトランジスタがスイッチオフされている際の第１のトランジスタのスイッチオン特性から、第１のトランジスタの特性を特定することができる。

【００１０】

第１のスイッチング動作時に、第１のトランジスタの寄生容量が放電される。つまり、寄生容量は第１のスイッチング動作前に充電状態にあり、放電できる。ここで、寄生容量は、トランジスタによって形成される容量で、トランジスタ自体の特性によって生じるものである。したがって、寄生容量は、トランジスタに接続されている独立した構成部品ではない。第２のスイッチング動作では、第１のトランジスタの寄生容量が既に放電されて

いる。例えば、第１のトランジスタの寄生容量は、第１のスイッチング動作時に既に放電されており、第２のスイッチング動作が行われるまで、この状態のままである。

【００１１】

引用形式請求項には、本発明の好ましい改善形態が示されている。

寄生容量は、ミラー容量であることが好ましく、特性動作パラメータは、ミラー容量の電荷または容量値である。ここで、ミラー容量は、トランジスタのドレイン接点とゲート接点との間に発生する容量である。ミラー容量は、トランジスタがスイッチングされる前にゲート電流で放電される必要があるため、トランジスタのスイッチング動作を遅らせることができる。したがって、ミラー容量に蓄積された電荷、またはミラー容量の容量値を特定することは、これらの値に基づいてトランジスタのスイッチング動作を時間調整することができるため、有利である。

【００１２】

制御電子回路は、第１のトランジスタのゲート電流を設定または検出し、第１のトランジスタのゲート電流と、時間差とに基づいて、第１のトランジスタの特性動作パラメータを特定するようにさらに構成されていることが好ましい。特に、ゲート電流はトランジスタの寄生容量に流れ込む。これにより、ゲート電流は、トランジスタの寄生容量を計算する動作パラメータの計算根拠とすることができる。したがって、必要な計算を行うために既知となるように、第１のトランジスタのゲート電流を設定または検出することが有利である。時間差は、ゲート電流が寄生容量に流れ込む時間を規定する。

【００１３】

また、特性動作パラメータは、第１のトランジスタのミラー容量の電荷であり、第１のトランジスタのゲート電流と時間差との乗算によって特定されると有利である。特に、第１のトランジスタのミラー容量は、複数のトランジスタのスイッチング動作を同期化または調整するために重要なパラメータである。第１のトランジスタのゲート電流と時間差との乗算によってミラー容量を計算することで、電圧を測定することなくミラー容量を特定することが可能である。特に、特定するミラー容量値について、特に正確な結果を得ることができる。

【００１４】

また、第１のスイッチング動作と、第２のスイッチング動作とは、インバータの無負荷状態で行われると有利である。これにより、接続された負荷を介して、第１のトランジスタと第２のトランジスタとの間の出力接点に電流が流れることが防止される。したがって、測定結果は間違ったものにならない。

【００１５】

また、第１のスイッチング動作は、インバータを無負荷状態に切り替えた後の最初のスイッチング動作であると有利である。つまり、インバータが負荷運転後に無負荷状態に切り替えられた後、第１のトランジスタおよび／または第２のトランジスタが他のスイッチング動作を行っていない。つまり、無負荷でない状態で動作した結果、第１および／または第２のトランジスタの寄生容量がまだ十分に充電されている。したがって、インバータが無負荷状態に切り替えられた後、できるだけ早く第１のスイッチング動作が行われる場合も有利である。したがって、第１のスイッチング動作は、無負荷状態が検出された直後に行われることが好ましい。第１および第２のトランジスタの寄生容量が完全に充電されていることにより、特性動作パラメータへの影響を特に正確に特定することができる。

【００１６】

第２のスイッチング動作は、第１のスイッチング動作直後の最初のスイッチング動作であることが好ましい。これは、第２のスイッチング動作において、第１のトランジスタがスイッチオフされると特に有利である。これにより、特性動作パラメータを特定する際に、例えば温度変化など他のパラメータによって結果が間違ったものになることを防ぐことができる。

【００１７】

第１のスイッチング動作の持続時間および／または第２のスイッチング動作の持続時間

は、スイッチング動作時に第１のトランジスタのゲートソース間電圧が上昇または降下する時間によって定義されていることが好ましい。特に、第１のスイッチング動作の持続時間は、第１のトランジスタのゲートソース間電圧が上昇する持続時間によって定義されている。第２のスイッチング動作が第１のトランジスタのスイッチオフである場合、第２のスイッチング動作の持続時間は、第２のスイッチング動作時に第１のトランジスタのゲートソース間電圧が降下する時間によって定義されている。第２のスイッチング動作が、第２のスイッチング動作時の第１のトランジスタの再度のスイッチオンである場合、第２のスイッチング動作の持続時間は、第１のトランジスタのゲートソース間電圧がスイッチング動作時に最大値まで上昇する時間によって定義されている。このように、スイッチング動作は、ゲートソース間電圧の上昇または降下によって定義されている。

【００１８】

また、第１のトランジスタが、第２のスイッチング動作時に再度スイッチオンされ、第１のトランジスタが、第１のスイッチング動作と第２のスイッチング動作との間に行われる中間スイッチング動作でスイッチオフされ、これにより、続く第２のスイッチング動作で再度スイッチオンすることが可能になり、第２のトランジスタが中間スイッチング動作時にスイッチオフ状態のままであると有利である。第１のトランジスタを再度スイッチオンするためには、まず第１のトランジスタをスイッチオフする必要がある。これは、中間スイッチング動作によって行われる。同時に、これによって、中間スイッチオン動作において、第１および／または第２のトランジスタの容量を放電させることが可能となる。したがって、第１のトランジスタの容量が充電された場合と、第１のトランジスタの容量が放電された場合とのスイッチング動作を比較することができる。

【００１９】

本発明に係るインバータは、本発明に係る方法の全ての利点を有する。

【図面の簡単な説明】

【００２０】

以下に、添付図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【図１】本発明に係るインバータの図である。

【図２】第１のスイッチング動作時における第１のトランジスタのゲートソース間電圧特性である。

【図３】第２のスイッチング動作時における第１のトランジスタのゲートソース間電圧特性を示す図である。

【図４】第１のスイッチング動作時における第１のトランジスタのドレインソース間電圧を示す図である。

【図５】第２のスイッチング動作時における第１のトランジスタのドレインソース間電圧特性を示す図である。

【図６】第１のトランジスタのゲート電流を検出する回路の回路図である。

【図７】連続してスイッチング動作する場合の、第１および第２のスイッチング動作時における第１のトランジスタのドレインソース間電圧およびゲートソース間電圧の図である。

【発明を実施するための形態】

【００２１】

図１は、第１のトランジスタ２と、第２のトランジスタ３とを含むインバータ１を示す。第１のトランジスタ２は、インバータ１のローサイドトランジスタであり、第２のトランジスタ３は、インバータ１のハイサイドトランジスタである。

【００２２】

第２のトランジスタ３は、ドレイン接点がインバータ１の電源電圧の電位に接続されており、これを介して電源電圧V_{DD}が供給される。例えば、３００ボルトの電源電圧V_{DD}が供給される。第２のトランジスタ３のソース接点は、インバータ１の出力接点５と、第１のトランジスタ２のドレイン接点とに接続されている。第１のトランジスタ２のソース接点は、回路アースに接続されている。したがって、第１のトランジスタ２と第２のト

ランジスタ３とは、その開閉接点を介して直列に接続されている。第１のトランジスタ２のゲート接点と第２のトランジスタ３のゲート接点とは、インバータ１の制御電子回路４に結合されている。制御電子回路４は、本発明に係る方法を実行するために構成されている。

【００２３】

インバータ１の通常動作では、第２のトランジスタ３と第１のトランジスタ２とが交互に切り替わるため、電源電圧V_{DD}および接地電位が出力接点５に交互に印加される。このようにして、例えば、車両のモータを作動させる交流の相が生成される。

【００２４】

第１のトランジスタ２と第２のトランジスタ３のスイッチング動作を調整するために、２つのトランジスタ２、３の特性動作パラメータが、制御電子回路４に対して既知であると有利である。例えば、第１のトランジスタの寄生容量が既知であれば、第１のトランジスタのスイッチング時間に影響を与えるため有利である。第１のトランジスタ２の特性動作パラメータによって、例えば、第１のトランジスタ２のミラー電荷Q_{GD}特性が説明される。さらに例示的な特性動作パラメータは、第１のトランジスタ２のスイッチオン容量と、ゲートソース容量である。

【００２５】

以下に、第１のトランジスタ２のミラー電荷Q_{GD}の特定方法について説明する。しかし、他の特性動作パラメータもミラー電荷Q_{GD}に依存することが多いため、他の特性動作パラメータもこの方法に基づいて特定できることに留意されたい。

【００２６】

制御電子回路４は、まず、インバータ１が無負荷状態である時点を検出する。これは、例えば、インバータ１が搭載された電気自動車が休止状態であり、車両のモータによってインバータ１から電流が取り出されない場合が該当する。特に、この状態では、モータコイルがインバータ１から切り離される。インバータ１の無負荷状態では、典型的には、第１のトランジスタ２および第２トランジスタ３の両方が、最初はスイッチオフ状態である。つまり、この状態では、最初はトランジスタ２、３のドレイン接点およびソース接点を介して電流が流れない。

【００２７】

第１のスイッチング動作は、制御電子回路４によってトリガされる。第１のスイッチング動作では、第１のトランジスタ２がスイッチオンされ、第２のトランジスタ３はスイッチオフ状態のままである。第１のスイッチング動作に対する第１のトランジスタ２のゲートソース間電圧が、図２に経時的に示されている。さらに、第１のスイッチング動作に対する第１のトランジスタ１のドレインソース間電圧が、図４に経時的に示されている。

【００２８】

図２には、第１のスイッチング動作時における第１のトランジスタ２のゲートソース間電圧V_{GS}の電圧特性１０が経時的に示されている。すなわち、図２から、第１のトランジスタ２のゲートソース間電圧が、第１の期間ｔ１において最初に上昇することがわかる。第１の期間ｔ１に続く第２の期間ｔ２において、第１のトランジスタ２のゲートソース間電圧はプラトー上に留まる。このプラトーは、第１のトランジスタ２のドレインおよびゲート間の寄生容量、すなわちミラー容量に起因するものである。第２の期間ｔ２において、第１のトランジスタ２のゲートに流れるゲート電流を介して、第１のスイッチング動作の開始時に充電されたミラー容量が放電され、その結果、この期間、第１のトランジスタ２のゲートソース間電圧は上昇しなくなる。第２の期間ｔ２が経過すると、ゲートソース間電圧は、第３の期間ｔ３において最大値に達するまで上昇し続ける。ゲートソース間電圧は、制御電子回路４から供給される。

【００２９】

図４には、第１のスイッチング動作時における第１のトランジスタ２のドレインソース間電圧V_{DS}の電圧特性１１が経時的に示されている。第１の期間ｔ１では、ドレインソース間電圧は高電圧レベルのままである。第２のトランジスタ３はスイッチオフ状態であ

るが、それでもトランジスタ２、３の容量にシステム内の電荷が保持され、その結果、図４の第１の期間ｔ１に示される、第１のトランジスタ２に関する最大ドレインソース間電圧V_{DS}が得られる。この状態を最初に維持するために、第１のスイッチング動作が、インバータ１が無負荷状態に移行した後、そのスイッチング動作よりも前に第１または第２のトランジスタ３によって他のスイッチング動作が行われないスイッチング動作であると有利である。したがって、第１のスイッチング動作は、インバータを無負荷状態に切り替えた後の最初のスイッチング動作である。

【００３０】

第２の期間ｔ２にわたって、第１のトランジスタ２のドレインおよびソース間に電流が流れ始め、第１のトランジスタのドレインおよびソースに印加される電圧が降下する。これは、第３の期間ｔ３の終了まで続き、この時、第１のトランジスタ２のドレインソース間電圧は、最小値である０ボルトに到達する。第１のトランジスタ２を介してドレインソース間電圧が０ボルトに降下すると、これはすなわち、インバータ１の出力接点５も０ボルトの電位になることを意味する。したがって、第２のトランジスタ３のドレインソース間電圧V_{DS}は、最大レベルに到達するまで上昇する。スイッチオン期間t_{ON}は、第１の期間ｔ１と、第２の期間ｔ２と、第３の期間ｔ３と、を含む。スイッチオン期間t_{ON}の持続時間は、例えば、第１のトランジスタ２のゲート電流を監視することによって、制御電子回路４によって検出される。

【００３１】

また、図４には、第１のスイッチング動作時の第２のトランジスタ３のドレインソース間電圧V_{DS}の電圧特性１２が経時的に示されている。

第１のスイッチング動作では、第１のトランジスタの寄生容量が負荷運転時に充電され、その後放電される。

【００３２】

第１のスイッチング動作の完了後、制御電子回路４によって第２のスイッチング動作がトリガされる。この時、第２のトランジスタ３はスイッチオフ状態のままである。第２のスイッチング動作では、第１のトランジスタ２がスイッチオフされる。図３は、第１のトランジスタ２のゲートソース間電圧V_{GS}の電圧特性１０を示す。これに対応して、第１のトランジスタ２のドレインソース間電圧V_{DS}の関連する電圧特性１１が図５に示されている。図３から、第４の期間ｔ４が経過した後に第２のスイッチング動作が開始されることがわかる。したがって、第２のスイッチング動作は、スイッチオフ期間t_{off}とも呼ばれる第５の期間ｔ５にわたって延びている。第１および第２のスイッチング動作の両方において第２のトランジスタ３がスイッチオフされたため、第１のトランジスタ２の寄生容量に電荷が流れ込んで充電することはできない。したがって、第５の期間ｔ５において、ゲートソース間電圧は連続的に降下するようになる。図５に示される第１のトランジスタ２のドレインソース間電圧V_{DS}の電圧特性１１で、第２のスイッチング動作に関連するものを見ると、第１のトランジスタ２に関するドレインソース間電圧V_{DS}が０ボルトのままであることがわかる。これは、第２のトランジスタ３が依然としてスイッチオフされているため、第１のトランジスタ２に関するドレインソース間電圧V_{DS}を確立できるような電流が、第２のトランジスタ３を通って流れないためである。つまり、第２のトランジスタ３がスイッチオフされているため、第１のトランジスタ２はいかなる電圧源からも切り離されている。インバータ１の出力接点５の電圧レベルは０ボルトの電位であるため、第１のトランジスタ２に関する電圧降下も、そのスイッチング状態にかかわらず０ボルトのままである。

【００３３】

また、図５には、第２のスイッチング動作時における第２のトランジスタ３のドレインソース間電圧V_{DS}の電圧特性１２が経時的に示されている。

また、第２のトランジスタ３は、第１のスイッチング動作と第２のスイッチング動作との間の全ての考えられる時間範囲において、スイッチオフ状態のままである。したがって、第２のスイッチング動作が行われる前に、第１のトランジスタの寄生容量が再充電され

ることが防止される。ここで説明された状態では、第２のスイッチング動作時に既に第１のトランジスタの寄生容量が全て放電されており、かつ放電されたままになっている。図５に示される第２のトランジスタ３のドレインソース間電圧V_{DS}の電圧特性は、ドレインソース間電圧V_{DS}が第２のスイッチング動作の間、特に電源電圧V_{DD}に相当するその最大値のままであることを示している。

【００３４】

第１のスイッチング動作と第２のスイッチング動作とによって、第１のトランジスタの２つのスイッチング動作が行われ、第１のトランジスタ２のミラー容量は、スイッチング動作のうちの１つ、ここでは第１のスイッチング動作時に充放電され、第１のトランジスタ２のミラー容量は、既に第２のスイッチング動作時に放電されている。つまり、第１のトランジスタ２のミラー容量に蓄積されたミラー電荷Q_{GD}は、第２のスイッチング動作時、スイッチング時間、すなわち第２のスイッチング動作の持続時間に影響を及ぼさない。したがって、第１のスイッチング動作の持続時間、すなわちスイッチオン期間t_{ON}と、第２のスイッチング動作の持続時間、すなわちスイッチオフ期間t_{off}との時間差から、ミラー電荷Q_{GD}を推測することが可能である。このため、制御電子回路４は、第１のスイッチング動作の持続時間と、第２のスイッチング動作の持続時間との間の差を表す時間差を検出する。これは、スイッチオン期間t_{ON}と、スイッチオフ期間t_{off}との間の差からわかる。

【００３５】

また、制御電子回路４は、第１のトランジスタ２のゲート電流I_Gを検出し、これは、第１のスイッチング動作がトリガされた時に第１のトランジスタ２のゲート接点に印加され、また、第１のトランジスタ２のミラー容量の充電に使用される。この第１のトランジスタ２のゲート電流I_Gと、時間差とを乗算することにより、第１のトランジスタ２のミラー容量Q_{GD}の電荷が特定される。

【００３６】

ミラー容量の計算は、以下の数学的関係から導かれる。

【００３７】

【数１】

$$Q_{GS1} = I_G * t_1 \qquad (1)$$

【００３８】

【数２】

$$Q_{GD} = I_G * t_2 \qquad (2)$$

【００３９】

【数３】

$$Q_{GS2} = I_G * t_3 \qquad (3)$$

【００４０】

電荷Q_{GS1}は、第１の期間において、ゲート電流I_Gを介して第１のトランジスタ２の容量に流れる電荷である。電荷Q_{GS2}は、第３の期間t_3において、ゲート電流I_Gを介して第１のトランジスタ２の容量に流れる電荷である。電荷Q_{GS}は、ミラー電荷であると同時に、第２の期間t_2において、ゲート電流I_Gを介して第１のトランジスタ２の容量に流れる電荷である。

【００４１】

【数４】

$$I_G * t_{ON} = Q_{GON} \quad (4)$$

【００４２】
【数５】

$$I_G * t_{off} = Q_{GOFF} \quad (5)$$

【００４３】
第１のスイッチング動作に必要な電荷Q_{GON}は、スイッチオン期間t_{ON}にわたって、ゲート電流I_Gを介して第１のトランジスタ２の容量に流れる電流からわかる。第２のスイッチング動作に必要な電荷Q_{GOFF}は、スイッチオフ期間t_{off}にわたって、ゲート電流I_Gを介して第１のトランジスタ２の容量に流れる電流からわかる。
【００４４】
【数６】

$$I_G * t_{ON} - I_G * t_{off} = Q_{GON} - Q_{GOFF} \quad (6)$$

【００４５】
【数７】

$$I_G * (t_{ON} - t_{off}) = Q_{GD} \quad (7)$$

【００４６】
【数８】

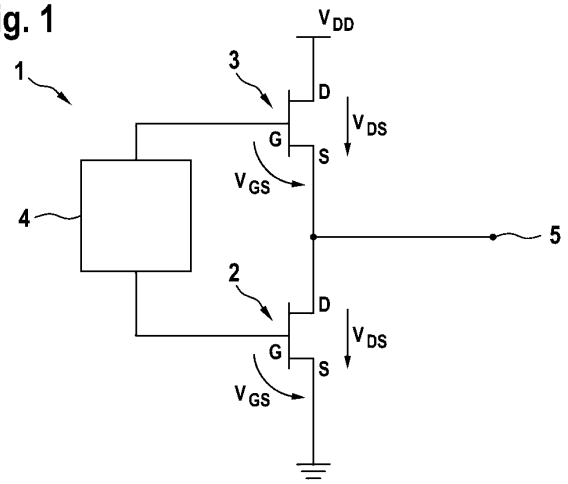
$$t_{ON} - t_{off} = Q_{GD} / I_G \quad (8)$$

【００４７】
式（１）～（５）を適宜変形すると、ゲート電流I_Gが既知であれば、スイッチオン期間t_{ON}とスイッチオフ期間t_{off}の差からミラー容量の電荷Q_{GD}を特定できる。
任意選択的に、第２のスイッチング動作は、第１のトランジスタ２が再度スイッチオンされるスイッチング動作である。これは図７に示されている。第１のトランジスタ２を再度スイッチオンできるようにするために、予めオフにしておく必要がある。これは、中間スイッチング動作時に行うことが好ましい。また、第２のトランジスタ３は、中間スイッチング動作の間、スイッチオフ状態のままである。この場合も、第１のトランジスタの寄生容量の放電は、第１のスイッチング動作時に行われ、第２のスイッチング動作時にも放電されたままとなる。
【００４８】
例えば、図７の上部に示されている第１のトランジスタ２のゲートにＰＷＭ信号を印加し、第１のトランジスタ２をオンオフさせる。図７に示されている第１のトランジスタ２のドレインソース間電圧V_{DS}の電圧特性からは、第１のトランジスタ２のドレインソース間電圧V_{DS}は、第１のスイッチング動作時のみ上昇し、その後の第２のスイッチング動作時には上昇しないことがわかる。その結果、図７の下部に示されているように、第１のスイッチング動作における第１のトランジスタ２のゲートソース間電圧V_{GS}の上昇が、第２のスイッチング動作に比べて遅れる。
【００４９】
ゲートソース間電圧が第１のトランジスタ２を越えて上昇する場合、第２の期間t_2は省略される。第２のスイッチング動作のスイッチオン時間は、第１の期間t_1に第３の期間t_3を加えたものになる。

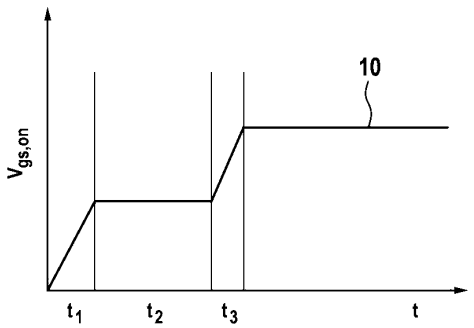
【００５０】
したがって、第１のスイッチング動作では、スイッチオン期間t_{ON}は、第１から第３の期間の和$t_1+t_2+t_3$によって生じる。第２のスイッチング動作において、スイッチオン期間t_{ON}は、ミラー容量が既に放電されていることにより第２の期間t_2が省略されるため、第１と第３の期間の和t_1+t_3によって生じる。
【００５１】
この場合、ミラー電荷は、ゲート電流I_Gと、ここではt_2である時間差との乗算から算出できる。これは、これらの値を乗算することで、先に述べた式（６）～（８）に加えても行われる。
【００５２】
【数９】

$$Q_{GD} = t_2 * I_G \qquad (9)$$

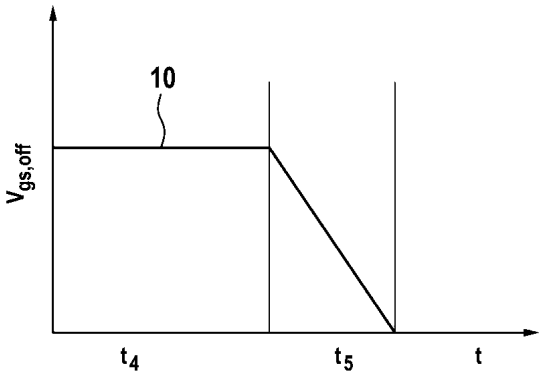
【００５３】
ここで、第２の期間t_2は、スイッチオン期間t_{ON}と、スイッチオフ期間t_{off}との差に相当する。
第１のトランジスタ２のゲートに供給される電流I_Gは、例えば、図６に示されている回路によって測定される。したがって、ゲート電流I_Gは、投入電流源２０から供給されて第１のトランジスタ２のゲート接点に流れる。ゲート電流I_Gに対応する電圧は分圧器２１を介して取り出され、アナログ／デジタル変換器２２でデジタル値に変換される。このデジタル値を用いて、ここではミラー容量またはミラー電荷である特性動作パラメータを計算することができる。
【００５４】
先に説明した実施形態では、第１のトランジスタ２はローサイドトランジスタである。しかし、第２のトランジスタ３、すなわちハイサイドトランジスタの特性動作パラメータも、同じ方法で検出できることに留意されたい。制御電子回路とインバータ１が対称的な構成であるため、これは適宜可能である。
【００５５】
数学的背景で記載された値、例えばスイッチオン容量またはスイッチオフ容量C_{ON}、C_{off}および／またはインバータ１に関連する電荷および容量特性も検出できることに留意されたい。
【００５６】
上記の説明に加えて、図１から図７の開示を明示的に参照する。
【図面】
【図１】
Fig. 1



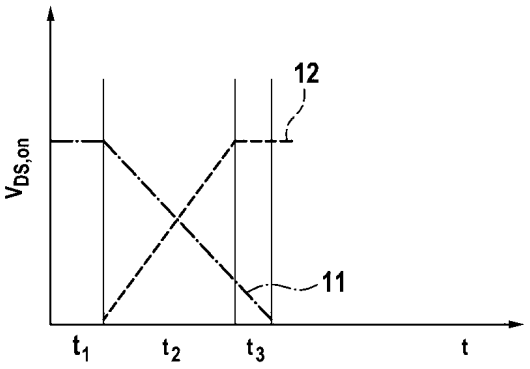
【図２】
Fig. 2



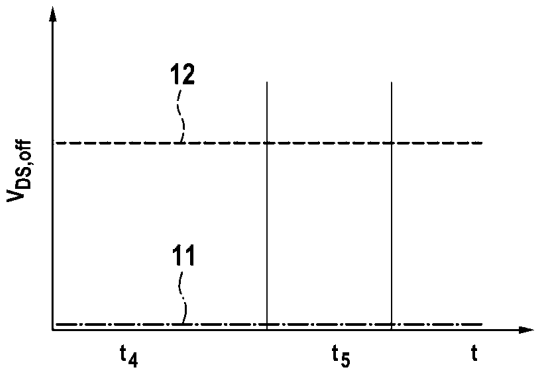
【図３】
Fig. 3



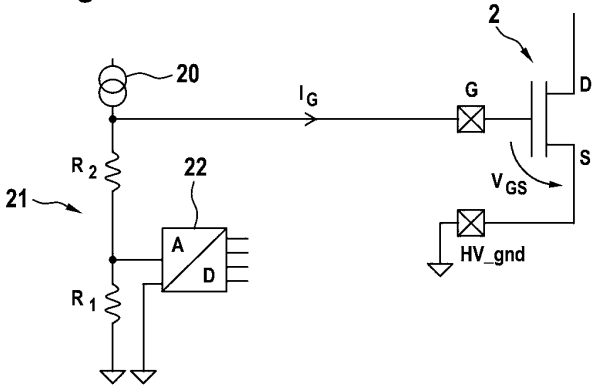
【図４】
Fig. 4



【図５】
Fig. 5

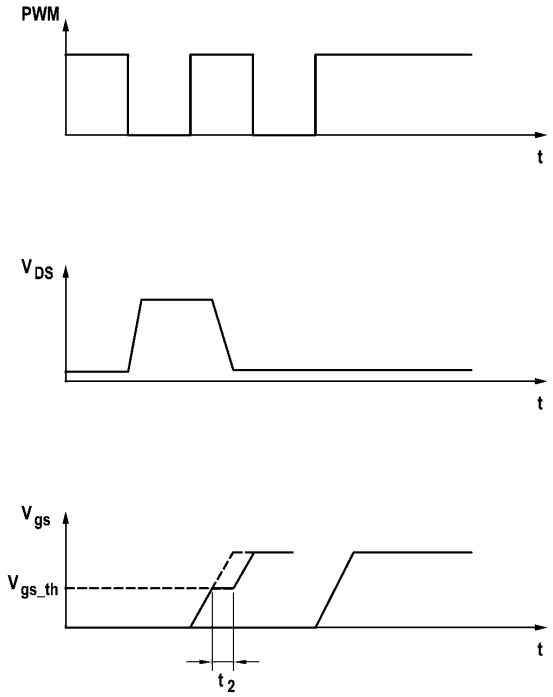


【図６】
Fig. 6



【図７】

Fig. 7



【外国語明細書】

2023106340000018.pdf

フロントページの続き

ドイツ国 ７２１３１ オフターディンゲン，アハルムシュトラーセ ５
(72)発明者 クリスチノ・サルシネス
ドイツ国 ７０１８０ シュトゥットガルト，インメンホーファー・シュトラーセ ２５アー
(72)発明者 カール・オーバーディーク
ドイツ国 ７２６５４ ネッカーテンツリンゲン，パノラマシュトラーセ ５３

Ｆターム（参考） 5H740 BA12 BB05 BB08 BB10 BC01 BC02
5H770 AA17 BA02 DA44 EA01 GA01 GA11 HA02Z HA03Z JA19X LB05