

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6069956号
(P6069956)

(45) 発行日 平成29年2月1日(2017.2.1)

(24) 登録日 平成29年1月13日(2017.1.13)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 R 27/02 (2006.01) GO 1 R 27/02 A

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2012-187060 (P2012-187060)	(73) 特許権者	504133110 国立大学法人電気通信大学 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1
(22) 出願日	平成24年8月27日(2012.8.27)	(74) 代理人	100102864 弁理士 工藤 実
(65) 公開番号	特開2014-44130 (P2014-44130A)	(74) 代理人	100117617 弁理士 中尾 圭策
(43) 公開日	平成26年3月13日(2014.3.13)	(72) 発明者	石川 亮 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
審査請求日	平成27年6月29日(2015.6.29)	(72) 発明者	高山 洋一郎 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トランジスタ最適負荷特性測定装置およびトランジスタ最適負荷特性測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

特性測定対象である任意のトランジスタの入力側に入力する第1入力信号を生成し、かつ、前記トランジスタの出力側に入力する第2入力信号を生成する入力信号生成部と、

前記トランジスタが有する特性のうち、入力信号の周波数に依存する寄生成分特性以外の真性部特性に対する、最適負荷特性を測定する測定部と、

前記寄生成分特性の測定値と、前記真性部特性に対する前記最適負荷特性の測定値とから、前記トランジスタの前記特性を算出する演算部と

を具備し、

前記第1入力信号は、

前記トランジスタの動作周波数よりも低い基本周波数と、

前記トランジスタが非線形動作を行うに十分大きい電圧振幅と

を有し、

前記第2入力信号は、

前記基本周波数を有する基本波成分と、

前記基本周波数の整数倍の周波数を有する高調波成分と

を含み、

前記測定部は、前記トランジスタの入力側に前記第1入力信号が入力され、かつ、前記トランジスタの出力側に前記第2入力信号が入力されている測定状態において、前記トランジスタのドレイン・ソース間電圧と、前記トランジスタのドレイン電流とを測定し、

前記演算部は、
前記ドレイン・ソース間電圧と、前記ドレイン電流とから、負荷側インピーダンスを算出し、

前記負荷側インピーダンスから、前記トランジスタの前記真性部特性に対する前記最適負荷特性を算出する

トランジスタ最適負荷特性測定装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のトランジスタ最適負荷特性測定装置において、

前記測定状態において、前記第 1 入力信号と、前記第 2 入力信号とは、同期している

トランジスタ最適負荷特性測定装置。

10

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のトランジスタ最適負荷特性測定装置において、

前記トランジスタを前記入力信号生成部および前記測定部に接続する接続部をさらに具備し、

前記接続部は、

前記トランジスタのゲート、ドレインおよびソースを接続する第 1 接続端子、第 2 接続端子および第 3 接続端子と、

第 1 入力部が前記第 2 接続端子に接続された接続回路部とを具備し、

前記接続部の前記入力側は、

前記第 1 接続端子に導通した第 1 入力端子と、

前記接続回路部の第 2 入力部に接続された第 2 入力端子とを具備し、

20

前記接続部の前記出力側は、

前記接続回路部の第 1 出力部に接続された第 1 出力端子と、

前記接続回路部の第 2 出力部に接続された第 2 出力端子と

を具備し、

前記接続回路部は、

前記第 1 入力部および前記第 2 入力部の間に接続された第 1 インピーダンス部と、

前記第 1 インピーダンスに導通されて、かつ、前記第 1 出力部および前記第 2 出力部の間に接続された第 2 インピーダンス部と

を具備する

30

トランジスタ最適負荷特性測定装置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のトランジスタ最適負荷特性測定装置において、

前記演算部は、

前記特性の算出結果に基づいて、前記トランジスタに適合する負荷回路のインピーダンスを算出する設計部

を具備する

トランジスタ最適負荷特性測定装置。

40

【請求項 5】

特性測定対象である任意のトランジスタの動作周波数よりも低い基本周波数と、前記トランジスタが非線形動作を行うに十分大きい電圧振幅とを有する第 1 入力信号を生成することと、

前記基本周波数の基本波成分と、前記基本周波数の整数倍の周波数を有する高調波成分とを含む第 2 入力信号を生成することと、

前記トランジスタの入力側に前記第 1 入力信号を入力し、かつ、前記トランジスタの出力側に前記第 2 入力信号を入力した測定状態で、前記トランジスタのドレイン・ソース間電圧を測定することと、

前記測定状態で、ドレイン電流を測定することと、

50

前記ドレイン・ソース間電圧と、前記ドレイン電流とから、負荷側インピーダンスを算出することと、

前記負荷側インピーダンスから、前記トランジスタの真性部特性に対する最適負荷特性を算出することと、

前記真性部特性に対する前記最適負荷特性と、寄生成分特性とから、前記トランジスタの前記特性を算出することと

を具備する

トランジスタ最適負荷特性測定方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のトランジスタ最適負荷特性測定方法において、

前記測定状態において、前記第 1 入力信号と、前記第 2 入力信号とは、同期しているトランジスタ最適負荷特性測定方法。

10

【請求項 7】

請求項 5 または 6 に記載のトランジスタ最適負荷特性測定方法において、

前記算出することは、

前記特性の算出結果に基づいて、前記トランジスタに適合する負荷回路のインピーダンスを算出すること

をさらに具備する

トランジスタ最適負荷特性測定方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はトランジスタ最適負荷特性の測定装置および測定方法に関し、例えば、周波数特性を有する寄生成分が無視出来ない周波数帯域におけるトランジスタの最適負荷特性測定装置および最適負荷特性測定方法に好適に利用出来るものである。

【背景技術】

【0002】

主に無線通信や無線電力伝送などが行われる高周波領域で使用される、トランジスタなどを用いた増幅器に関して、高調波を含む波形に対する最適な負荷インピーダンスを得る方法が求められている。

30

【0003】

高効率増幅器の分野において、F 級増幅器、逆 F 級増幅器、E 級増幅器、J 級増幅器など、様々な形式が提案されている。これらの増幅器において、基本的な考え方は共通している。すなわち、トランジスタに印加される電圧の波形と、トランジスタに流れ込む電流の波形とにおいて、一方が有限の値となる期間は、他方が零または最小値となる。このように、トランジスタにおける電力の消費を零または最小限に抑えることによって、高効率化が図られている。

【0004】

このとき、電圧波形の形状と、電流波形の形状とが重要となる。これらの波形は、基本波とその高調波との和で表される。したがって、基本波と、各高調波とのそれぞれについて負荷インピーダンスを調整することによって、これらの波形の調整がなされる。

40

【0005】

しかしながら、電圧波形および電流波形の、振幅および位相を、負荷インピーダンスだけで完全に調整することは出来ない。その理由は、トランジスタ自体の等価非線形電流源としての特性が関与するからである。トランジスタのこの特性は、半導体の種類、形状、製造プロセスなど多くのパラメータに依存する。したがって、実際には、上述した種々の形式に対して理想的な動作を実現することは困難であり、個別のトランジスタ毎に最適な負荷インピーダンスを見積もる必要がある。

【0006】

50

個別のトランジスタ毎に最適な負荷インピーダンスの条件を得るための方法の一つとして、数値シミュレーションによって最適化を図る方法がある。しかし、この方法を実現するためには、数値シミュレーションで利用可能な非常に精密な大信号トランジスタのモデルが必要となり、実用上非常に困難である。

【0007】

もう一つの方法として、実験的に色々なインピーダンスを実現して調整する方法もある。しかし、マイクロ波の帯域では、システムが非常に複雑かつ高価になり、現状では高々3次高調波程度までの調整が限界とされている。

【0008】

なお、非特許文献1 (Frederick H. Raab, "Class - E, Class - C, Class - F Power Amplifiers Based Upon a Finite Number of Harmonics", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 49, NO. 8, AUGUST 2001.) にも記載されているように、トランジスタにおける電圧および電流の波形を数学的に解析・計算すると、高調波の次数の増加に伴って、効率が徐々に飽和しつつ向上していくことが知られている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2012-027034号公報

20

【0010】

【非特許文献1】Frederick H. Raab, "Class - E, Class - C, Class - F Power Amplifiers Based Upon a Finite Number of Harmonics", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 49, NO. 8, AUGUST 2001.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明によれば、比較的簡便な測定装置および測定方法によって、3次以上の高調波での調整までもが可能となる。その他の課題と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

30

【課題を解決するための手段】

【0012】

以下に、(発明を実施するための形態)で使用される番号を用いて、課題を解決するための手段を説明する。これらの番号は、(特許請求の範囲)の記載と(発明を実施するための形態)との対応関係を明らかにするために付加されたものである。ただし、それらの番号を、(特許請求の範囲)に記載されている発明の技術的範囲の解釈に用いてはならない。

40

【0013】

一実施の形態によれば、トランジスタ最適負荷特性測定装置およびトランジスタ最適負荷特性測定方法は、トランジスタの特性を、入力信号の周波数に依存する寄生成分特性と、寄生成分特性以外の真性部特性とに分けて考え、寄生成分特性および真性部特性に対する最適負荷をそれぞれに測定し、これらの測定結果に基づいてトランジスタ最適負荷特性を算出する。

【発明の効果】

【0014】

前記一実施の形態によれば、測定対象となるトランジスタの最適負荷特性を、周波数に依存しない真性部特性を本来期待される動作周波数帯域よりも低い周波数帯域で測定し、

50

周波数に依存する寄生成分特性を別途に測定し、これらの測定値からトランジスタの最適負荷特性を算出するので、比較的簡便な測定装置を用いることが可能である。また、これらの測定結果に基づいて、最適な特性を有する負荷回路を設計することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】図1は、本発明の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置の構成を示す機能ブロック図である。

【図2A】図2Aは、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置のうち、接続部10のより詳細な構成を示すブロック回路図である。

【図2B】図2Bは、本発明の第1の実施形態による接続部10のうち、接続回路部11のより詳細な構成を示すブロック回路図である。

【図3A】図3Aは、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置を用いて、ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} と、ドレイン電流 I_d における波形を測定した結果の一例を示すグラフである。

【図3B】図3Bは、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置を用いて、周波数に伴うトランジスタ負荷特性の変化を測定した結果の一例を示すスミスチャートである。

【図3C】図3Cは、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置を用いて、ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} と、ドレイン電流 I_d における波形を測定した結果の別の一例を示すグラフである。

【図3D】図3Dは、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置を用いて、周波数に伴うトランジスタ負荷特性の変化を測定した結果の別の一例を示すスミスチャートである。

【図4】図4は、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置およびトランジスタ最適負荷特性測定方法を用いて得られたトランジスタ負荷特性の測定結果に基づいて試作された増幅器の特性を示すグラフである。

【図5A】図5Aは、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置およびトランジスタ最適負荷特性測定方法を用いて測定した、ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} と、ドレイン電流 I_d における波形を測定した結果の一例を示すグラフである。

【図5B】図5Bは、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置およびトランジスタ最適負荷特性測定方法を用いて測定した、周波数に伴うトランジスタ負荷特性の変化を測定した結果の一例を示すスミスチャートである。

【図6A】図6Aは、本発明の第2の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置のうち、接続回路部11の構成を示すブロック回路図である。

【図6B】図6Bは、本発明の第3の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置のうち、接続回路部11の構成を示すブロック回路図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

添付図面を参照して、本発明によるトランジスタ最適負荷特性の測定装置および測定方法を実施するための形態を以下に説明する。

【0017】

(第1の実施形態)

本発明が基づく原理について説明する。トランジスタの特性は、入力信号の周波数に依存する寄生成分特性と、寄生成分特性以外の真性部特性とに分けて考えることが出来る。本発明では、寄生成分特性と、真性部特性に対する最適負荷特性とを別々に測定した後、これらの測定結果に基づいてトランジスタの最適負荷特性を算出する。

【0018】

より具体的には、トランジスタが大信号非線形動作を行うように調整された入力信号を生成してトランジスタの入力側に入力する。同時に、この入力信号に同期した基本波および高調波を含む別の信号を生成してトランジスタの出力側に入力する。このとき、トラン

10

20

30

40

50

ジスタの電流波形および電圧波形を、トランジスタの出力側に接続したオシロスコープ等を用いて直接計測する。

【0019】

このような測定方法は、現在におけるGHz（ギガヘルツ）帯域などの、本来期待される動作周波数帯域では実現困難であるが、より低いMHz（メガヘルツ）帯域などの周波数帯域であれば十分に実現可能である。さらに、MHz帯域などの比較的低い周波数帯域での測定は、高周波動作するトランジスタの内部に現れる容量やインダクタンスなどの寄生成分特性が無視出来るので、それ以外の真性部特性を得ることが出来る。すなわち、トランジスタの真性部は、特性が周波数に依存しない非線形電流源として表せるので、MHz帯域の測定でも最適化を図ることが可能である。つまり、このようにして得られる測定結果は、GHz帯域における真性部特性と見なすことが可能である。

10

【0020】

その一方で、GHz帯域などの周波数帯域におけるトランジスタの寄生成分特性は、ネットワークアナライザなどを用いて測定することが可能である。この測定結果は、例えばSパラメータ群などの形で得られるが、Sパラメータ群をYパラメータ群に変換する数学的手法が知られている。Yパラメータ群の形式に変換された寄生成分特性を、GHz帯域などの周波数帯域における真性部特性に加算することで、本来期待される動作周波数帯域におけるトランジスタの特性を得ることが出来る。

【0021】

ここで、使用されるオシロスコープやネットワークアナライザとして、従来の機材をそのまま流用出来ることに注目されたい。

20

【0022】

そこで、本発明の第1の実施形態によるトランジスタの最適負荷特性測定方法は、以下のような工程を含む。まず、特性測定対象となるトランジスタを用意して、トランジスタ最適負荷特性測定装置に接続する。次に、トランジスタの特性のうち、真性部特性に対する最適負荷特性の測定を行う。さらに、トランジスタの特性のうち、寄生成分特性の測定を行う。なお、真性部特性に対する最適負荷特性の測定と、寄生成分特性の測定とは、どちらを先に行っても構わないし、既存の測定結果を一部流用しても構わない。最後に、真性部特性に対する最適負荷特性の測定結果と、寄生成分特性の測定結果とに基づいて、トランジスタに適合する負荷回路のパラメータを算出する。

30

【0023】

本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性の測定方法を行うために用いるトランジスタ最適負荷特性測定装置について説明する。ここでは、測定対象となるトランジスタのGHz帯域における特性を求める場合を具体例に挙げて説明する。

【0024】

図1は、本発明の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置の構成を示す機能ブロック図である。図1に示すトランジスタ最適負荷特性測定装置は、接続部10と、入力信号生成部20と、測定部30と、演算部40とを含んでいる。

【0025】

図2Aは、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置のうち、接続部10のより詳細な構成を示すブロック回路図である。図2Aに示した接続部10は、第1接続端子101と、第2接続端子102と、第3接続端子103と、第1入力端子104と、第2入力端子105と、第1出力端子106と、第2出力端子107と、接続回路部11とを含んでいる。

40

【0026】

図2Aに示した接続部10の構成要素の接続関係について説明する。第1接続端子101は、第1入力端子104に接続されている。第2接続端子102と、第2入力端子105と、第1出力端子106と、第2出力端子107とは、接続回路部11に接続されている。第3接続端子103は、接地されている。接続回路部11は、接地されている。

【0027】

50

第1接続端子101は、トランジスタ1のゲートに接続される。第2接続端子102は、トランジスタ1のドレインに接続される。第3接続端子103は、トランジスタ1のソースに接続される。なお、トランジスタ1の極性や、接地方法の変更などに応じて第1～第3接続端子101～103の接続関係は適宜交換可能である。

【0028】

第1入力端子104と、第2入力端子105とは、入力信号生成部20に接続される。第1出力端子106と、第2出力端子107とは、測定部30に接続される。

【0029】

第2接続端子102と、グランドとの間の電圧を、ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} と呼ぶ。第1入力端子104と、グランドとの間の電圧を、第1入力電圧 V_a と呼ぶ。第2入力端子105と、グランドとの間の電圧を、第2入力電圧 V_b と呼ぶ。ドレインに流れ込む電流を、ドレイン電流 I_d と呼ぶ。

10

【0030】

第1入力電圧 V_a は、例えば、直流成分 v_{a0} と、交流成分 $v_a \times \sin(\omega t)$ との和であってもよい。ここで、 v_a は交流成分の振幅を表し、 ω は基本周波数の角振動数を表し、 t は時間を表す。

【0031】

第2入力電圧 V_b は、例えば、直流成分 v_{b0} と、交流成分 $(v_{bi} \times \sin(i\omega t + \phi_{bi}))$ との和であってもよい。ここで、 i は高調波の番号を表し、 v_{bi} は i 次高調波の振幅を表し、 ω は基本周波数の角振動数を表し、 t は時間を表し、 ϕ_{bi} は i 次高調波成分の位相を表す。

20

【0032】

ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} を、ドレイン電流 I_d の反数で割ることで、負荷側インピーダンスが得られる。このとき、トランジスタ1の入力側には、トランジスタ1が非線形動作を行うに十分な信号が供給されているので、トランジスタ1自身が基本波および高調波を含む出力信号を出力している。これに対して、出力側から同じ周波数の信号を供給すると、基本波および高調波の各周波数で定在波が生じる。さらに、出力側から供給する信号の振幅および位相を適宜に調整することによって、様々な反射係数が実現出来、等価的なインピーダンスの調整が可能となる。したがって、トランジスタ1に接続される負荷インピーダンスの値を、高調波の領域も含めて、等価的に様々な変化させることが可能である。こうすることで、高効率特性等を実現する最適なインピーダンスを見つけることが出来る。

30

【0033】

図2Bは、本発明の第1の実施形態による接続部10のうち、接続回路部11のより詳細な構成を示すブロック回路図である。図2Bに示した接続回路部11は、第1～第5の抵抗111～115を含んでいる。

【0034】

図2Bに示した接続回路部11の構成要素の接続関係について説明する。第1の抵抗111における一方の端部は、第2接続端子102と、第2の抵抗112における一方の端部とに接続されている。第2の抵抗112における他方の端部は、第1出力端子106と、第3の抵抗113における一方の端部とに接続されている。第3の抵抗113における他方の端部は、接地されている。第1の抵抗111における他方の端部は、第2入力端子105と、第4の抵抗114における一方の端部とに接続されている。第4の抵抗114における他方の端部は、第2出力端子107と、第5の抵抗115における一方の端部とに接続されている。第5の抵抗115における他方の端部は、接地されている。

40

【0035】

図2Bに示した構成要素のうち、接続回路部11に含まれないものについては、図2Aと同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

【0036】

本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置を用いて、測定対象

50

となるトランジスタ 1 の最適負荷特性を実際に測定した例について説明する。この例では、入力信号生成部 20 として既存の 2 出力任意波形発生装置およびネットワークアナライザを用い、測定部 30 として既存のデジタルオシロスコープを用い、演算部 40 として 2 出力任意波形発生装置、デジタルオシロスコープおよびネットワークアナライザを制御するコンピュータを用いた。このコンピュータは、トランジスタ最適負荷特性測定プログラムを格納する記憶部と、2 出力任意波形発生装置、デジタルオシロスコープおよびネットワークアナライザを制御する制御信号を生成出力する出力部と、デジタルオシロスコープおよびネットワークアナライザによる測定結果を入力する入力部と、測定結果を格納する記憶部と、測定結果に基づいて各種演算を行う演算部とを有している。なお、トランジスタ最適負荷特性測定プログラムは、本発明の第 1 の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定方法をコンピュータで実行可能に生成し、入力信号生成部 20 および測定部 30 の動作を適宜に制御するものであって、記憶部に格納されている。

10

【0037】

真性部特性に対する最適負荷特性および寄生成分特性の一部として既存の測定結果のデータを用いる場合、測定部 30 は、そのデータを格納した記憶部や、そのデータを外部から入力する入力部などを具備する。

【0038】

真性部特性に対する最適負荷特性の測定では、トランジスタ 1 の出力端子に直列に抵抗部を接続し、この抵抗部の両端の電圧を計測し、この計測結果からトランジスタ 1 に流れ込むドレイン電流 I_d を算出している。また、基本波および高調波のインピーダンスは、電圧波形および電流波形を離散フーリエ変換による信号処理で周波数成分に分解し、周波数ごとに「電圧 / (- 電流)」を計算することで算出している。

20

【0039】

このような測定を実際に行って得られた結果の例を 2 つ、図 3 A ~ 図 3 D を参照して紹介する。

【0040】

図 3 A は、本発明の第 1 の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置を用いて、ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} と、ドレイン電流 I_d とにおける波形を測定した結果の一例を示すグラフである。図 3 A の測定は、基本周波数 $f_0 = 20 \text{ MHz}$ で行っている。

【0041】

図 3 A に示したグラフは、第 1 のグラフ V_{4A} と、第 2 の I_{4A} とを含んでいる。第 1 のグラフ V_{4A} は、ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} の時間変化を表している。第 1 のグラフ V_{4A} において、横軸は時間を表しており、縦軸は電圧値を表している。第 2 のグラフ I_{4A} は、ドレイン電流 I_d の時間変化を表している。第 2 のグラフ I_{4A} において、横軸は時間を表しており、縦軸は電流値を表している。

30

【0042】

図 3 B は、本発明の第 1 の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置を用いて、周波数に伴うトランジスタ負荷特性の変化を測定した結果の一例を示すスミスチャートである。図 3 B の測定は、図 3 A の場合と同じ条件で行っており、基本周波数 $f_0 = 20 \text{ MHz}$ である。

40

【0043】

図 3 B に示したスミスチャートは、第 1 ~ 第 5 の測定点 $F_{14B} \sim F_{54B}$ を含んでいる。第 1 の測定点 F_{14B} は、基本周波数 f_0 におけるトランジスタ負荷特性を示している。第 2 の測定点 F_{24B} は、第 2 高調波周波数 $2f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。第 3 の測定点 F_{34B} は、第 3 高調波周波数 $3f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。第 4 の測定点 F_{44B} は、第 4 高調波周波数 $4f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。第 5 の測定点 F_{54B} は、第 5 高調波周波数 $5f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。

【0044】

図 3 A および図 3 B に示した測定では、84% のドレイン効率が得られた。

50

【 0 0 4 5 】

図 3 C は、本発明の第 1 の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置を用いて、ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} と、ドレイン電流 I_d とにおける波形を測定した結果の別の一例を示すグラフである。図 3 A の測定は、基本周波数 $f_0 = 20 \text{ MHz}$ で行っている。

【 0 0 4 6 】

図 3 C に示したグラフは、第 1 のグラフ V_{4C} と、第 2 の I_{4C} とを含んでいる。第 1 のグラフ V_{4C} は、ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} の時間変化を表している。第 1 のグラフ V_{4C} において、横軸は時間を表しており、縦軸は電圧値を表している。第 2 のグラフ I_{4C} は、ドレイン電流 I_d の時間変化を表している。第 2 のグラフ I_{4C} において、横

10

【 0 0 4 7 】

図 3 D は、本発明の第 1 の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置を用いて、周波数に伴うトランジスタ負荷特性の変化を測定した結果の別の一例を示すスミスチャートである。図 3 D の測定は、図 3 C の場合と同じ条件で行っており、基本周波数 $f_0 = 20 \text{ MHz}$ である。

【 0 0 4 8 】

図 3 D に示したスミスチャートは、第 1 ~ 第 5 の測定点 $F_{14D} \sim F_{54D}$ を含んでいる。第 1 の測定点 F_{14D} は、基本周波数 f_0 におけるトランジスタ負荷特性を示している。第 2 の測定点 F_{24D} は、第 2 高調波周波数 $2f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。第 3 の測定点 F_{34D} は、第 3 高調波周波数 $3f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。第 4 の測定点 F_{44D} は、第 4 高調波周波数 $4f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。第 5 の測定点 F_{54D} は、第 5 高調波周波数 $5f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。

20

【 0 0 4 9 】

図 3 C および図 3 D に示した測定では、86%のドレイン効率が得られた。

【 0 0 5 0 】

寄生成分特性の測定については、例えば、次のように行う。入力信号生成部 20 として 2 ポートネットワークアナライザを接続する。トランジスタ 1 を接続した接続部 10 において、第 2 接続端子 102 を第 2 入力端子 105 に接続し直すと、第 1 入力端子 104、第 2 入力端子 105 およびグラウンドからなる 2 端子対回路となる。ネットワークアナライザの第 1 ポートを第 1 入力端子 104 に接続し、ネットワークアナライザの第 2 ポートを第 2 入力端子 105 に接続することで、トランジスタ 1 の 2 ポート S パラメータが測定される。具体的には、ネットワークアナライザの第 1 ポートから出力される参照波を第 1 入力端子 104 に入力し、第 1 入力端子 104 から出力される反射電力を測定し、測定結果から S_{11} パラメータを算出する。同様に、参照波を第 1 入力端子 104 に入力し、第 2 入力端子 105 から出力される通過電力を測定し、 S_{21} パラメータを算出する。ネットワークアナライザの第 2 ポートから出力される参照波を第 2 入力端子 105 に入力し、第 2 入力端子 105 から出力される反射電力を測定し、測定結果から S_{22} パラメータを算出する。同様に、参照波を第 2 入力端子 105 に入力し、第 1 入力端子 104 から出力

30

40

【 0 0 5 1 】

なお、S パラメータのそれぞれを測定する際に必要となる、接続部 10 および入力信号生成部 20 の接続関係の切り替えは、演算部 40 が行う制御によって適宜に行われることが望ましい。

【 0 0 5 2 】

図 4 は、本発明の第 1 の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置およびトランジスタ最適負荷特性測定方法を用いて得られたトランジスタ負荷特性の測定結果に基づいて試作された増幅器の特性を示すグラフである。図 4 に示したグラフは、第 1 ~ 第 4 のグラフ $G_1 \sim G_4$ を含んでいる。

50

【 0 0 5 3 】

第1のグラフG1は、本発明の第1の実施形態に基づく増幅器におけるゲインの、入力電力に伴う変化を表している。第1のグラフG1において、横軸は入力電力を表し、縦軸はゲインを表している。第2のグラフG2は、本発明の第1の実施形態に基づく増幅器における出力電力の、入力電力に伴う変化を表している。第2のグラフG2において、横軸は入力電力を表し、縦軸は出力電力を表している。第3のグラフG3は、本発明の第1の実施形態に基づく増幅器における効率の、入力電力に伴う変化を表している。第3のグラフG3において、横軸は入力電力を表し、縦軸は効率を表している。第4のグラフG4は、本発明の第1の実施形態に基づく増幅器における電力付加効率の、入力電力に伴う変化を表している。第4のグラフG4において、横軸は入力電力を表し、縦軸は電力付加効率を表している。

10

【 0 0 5 4 】

なお、第1～第4のグラフG1～G4に共通するパラメータとして、基本周波数 f_0 は1.88GHzであり、ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} は3.7Vであり、ゲート・ソース間電圧 V_{gs} は-1.0Vである。

【 0 0 5 5 】

図4に示した第3のグラフG3から読み取れるように、この例では、最大効率77%という高効率負荷特性が、実測によって確認された。

【 0 0 5 6 】

ただし、この例では、試作した負荷回路が、最適化による設計値からずれていたことが確認された。そこで、試作した増幅器の負荷回路の設計値からのずれに伴う特性劣化の程度を見積もるために、このずれを考慮した負荷回路特性を算出し、その特性に対して測定を行った結果を、図5Aおよび図5Bに示す。

20

【 0 0 5 7 】

図5Aは、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置およびトランジスタ最適負荷特性測定方法を用いて測定した、ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} と、ドレイン電流 I_d における波形を測定した結果の一例を示すグラフである。図5Aの測定は、基本周波数 $f_0 = 20\text{MHz}$ で行っている。

【 0 0 5 8 】

図5Aに示したグラフは、第1のグラフV8Aと、第2のI8Aとを含んでいる。第1のグラフV8Aは、ドレイン・ソース間電圧 V_{ds} の時間変化を表している。第1のグラフV8Aにおいて、横軸は時間を表しており、縦軸は電圧値を表している。第2のグラフI8Aは、ドレイン電流 I_d の時間変化を表している。第2のグラフI8Aにおいて、横軸は時間を表しており、縦軸は電流値を表している。

30

【 0 0 5 9 】

図5Bは、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置およびトランジスタ最適負荷特性測定方法を用いて測定した、周波数に伴うトランジスタ負荷特性の変化を測定した結果の一例を示すスミスチャートである。図5Bの測定は、図5Aの場合と同じ条件で行っており、基本周波数 $f_0 = 20\text{MHz}$ である。

【 0 0 6 0 】

図5Bに示したスミスチャートは、第1～第5の測定点F18B～F58Bを含んでいる。第1の測定点F18Bは、基本周波数 f_0 におけるトランジスタ負荷特性を示している。第2の測定点F28Bは、第2高調波周波数 $2f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。第3の測定点F38Bは、第3高調波周波数 $3f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。第4の測定点F48Bは、第4高調波周波数 $4f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。第5の測定点F58Bは、第5高調波周波数 $5f_0$ におけるトランジスタ負荷特性を示している。

40

【 0 0 6 1 】

図5Aおよび図5Bに示した測定結果からは、ドレイン効率が86%から80%に低下することが確認された。このことにより、負荷回路の修正でさらなる高効率化が見込まれ

50

ることが予測される。

【0062】

このように、本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置およびトランジスタ最適負荷特性測定方法によれば、任意のトランジスタに対する最適条件が、実験的に、かつ、簡便に導出することが可能となる。また、得られた測定結果に対する評価も簡便に行うことが可能である。

【0063】

(第2の実施形態)

本発明の第2の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置について説明する。本発明の第2の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置は、図2Aおよび図2Bに示した本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置のうち、接続回路部11の構成を変更したものに等しい。本発明の第2の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置のうち、その他の構成要素については、第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

10

【0064】

図6Aは、本発明の第2の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置のうち、接続回路部11の構成を示すブロック回路図である。図6Aに示した接続回路部11は、第1～第3の抵抗111～113を含んでいる。

20

【0065】

図6Aに示した接続回路部11の構成要素の接続関係について説明する。第1の抵抗111における一方の端部は、第2接続端子102と、第1出力端子106と、第2の抵抗112における一方の端部とに接続されている。ここで、第1出力端子106は、電流プローブを介して、第1の抵抗111における一方の端部および第2接続端子102を結ぶ線路に接続されている。第2の抵抗112における他方の端部は、第2出力端子107と、第3の抵抗113における一方の端部とに接続されている。第3の抵抗113における他方の端部は、接地されている。第1の抵抗111における他方の端部は、第2入力端子105に接続されている。

【0066】

本発明の第2の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定方法では、ドレイン電流 I_d を、電流プローブを用いて直接測定する。それ以外の詳細については、本発明の第1の実施形態の場合と同様であるので、説明を省略する。

30

【0067】

(第3の実施形態)

本発明の第3の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置について説明する。本発明の第3の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置は、図2Aおよび図2Bに示した本発明の第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置のうち、接続回路部11の構成を変更したものに等しい。本発明の第3の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置のうち、その他の構成要素については、第1の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

40

【0068】

図6Bは、本発明の第3の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置のうち、接続回路部11の構成を示すブロック回路図である。図6Bに示した接続回路部11は、図2Bに示した本発明の第1の実施形態による接続回路部11に、増幅器116と、バイアス回路12とを加えたものに等しい。図6Bに示した接続回路部11のその他の構成要素は、図2Bに示した本発明の第1の実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

【0069】

図6Bに示したバイアス回路12の構成要素について説明する。バイアス回路12は、

50

コンデンサ 1 2 1 と、インダクタ 1 2 2 と、直流電圧源 1 2 3 とを含んでいる。

【 0 0 7 0 】

図 6 B に示した接続回路部 1 1 の構成要素の接続関係について説明する。第 2 入力端子 1 0 5 は、増幅器 1 1 6 の入力部に接続されている。増幅器 1 1 6 の出力部は、コンデンサ 1 2 1 における一方の端部に接続されている。コンデンサ 1 2 1 における他方の端部は、インダクタ 1 2 2 における一方の端部と、第 1 の抵抗 1 1 1 における他方の端部と、第 4 の抵抗 1 1 4 における一方の端部とに接続されている。インダクタ 1 2 2 における他方の端部は、直流電圧源 1 2 3 における一方の端部に接続されている。直流電圧源 1 2 3 における他方の端部は、接地されている。図 6 B に示した接続回路部 1 1 の構成要素の他の接続関係については、図 2 B に示した本発明の第 1 の実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

10

【 0 0 7 1 】

本発明の第 3 の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定装置は、特に高電圧トランジスタの最適負荷特性測定に適している。本発明の第 3 の実施形態によるトランジスタ最適負荷特性測定方法は、本発明の第 1 の実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

【 0 0 7 2 】

以上、発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。また、前記実施の形態に説明したそれぞれの特徴は、技術的に矛盾しない範囲で自由に組み合わせることが可能である。

20

【 符号の説明 】

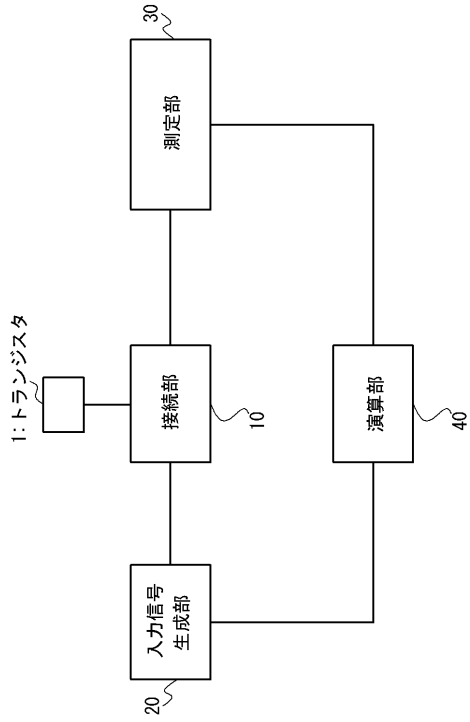
【 0 0 7 3 】

- 1 トランジスタ
- 1 0 接続部
- 1 0 1 第 1 接続端子
- 1 0 2 第 2 接続端子
- 1 0 3 第 3 接続端子
- 1 0 4 第 1 入力端子
- 1 0 5 第 2 入力端子
- 1 0 6 第 1 出力端子
- 1 0 7 第 2 出力端子
- 1 1 接続回路部
- 1 1 1 ~ 1 1 5 抵抗
- 1 1 6 増幅器
- 1 2 バイアス回路
- 1 2 1 コンデンサ
- 1 2 2 インダクタ
- 1 2 3 直流電圧源
- 2 0 入力信号生成部
- 3 0 測定部
- 4 0 演算部

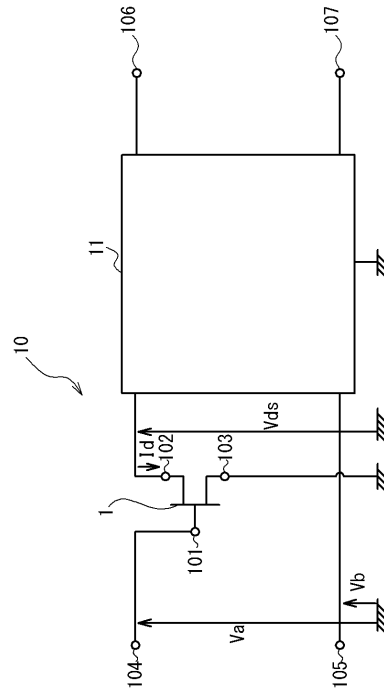
30

40

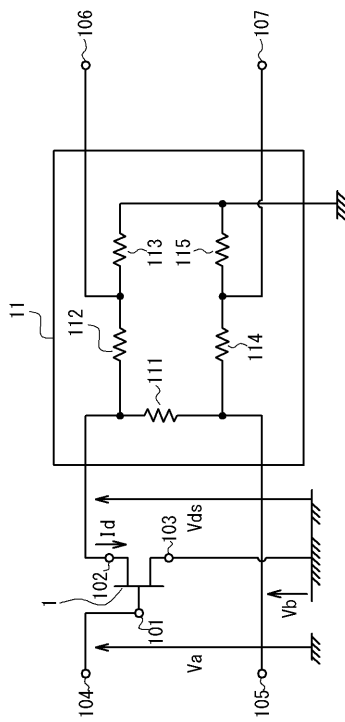
【図1】



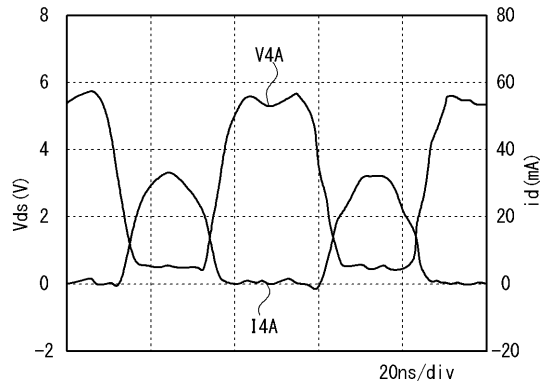
【図2A】



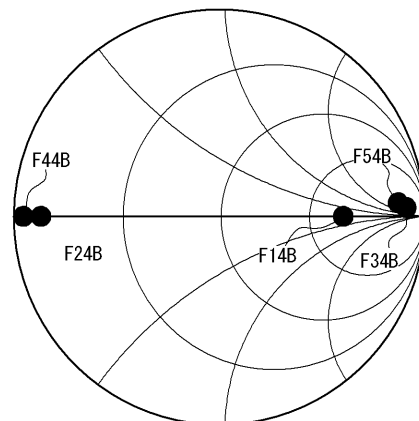
【図2B】



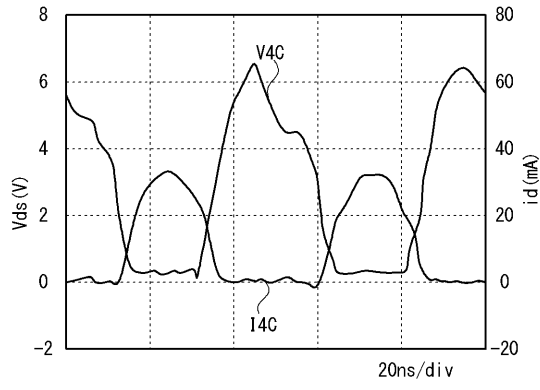
【図3A】



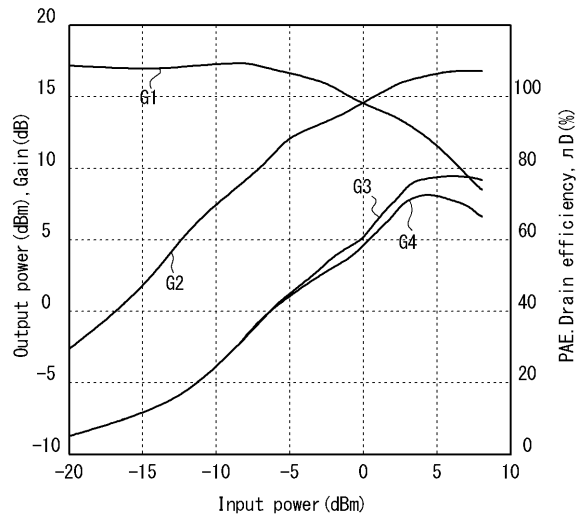
【図3B】



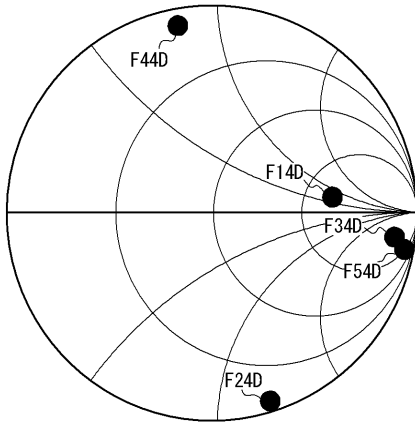
【 3 C 】



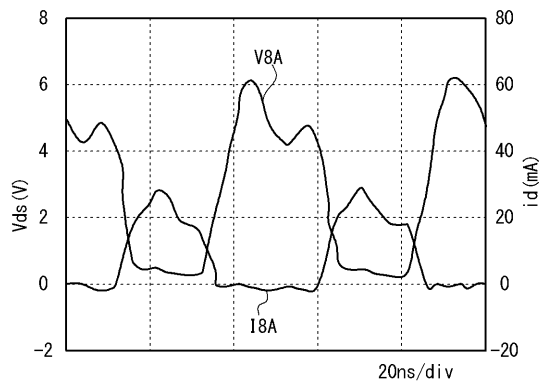
【 4 】



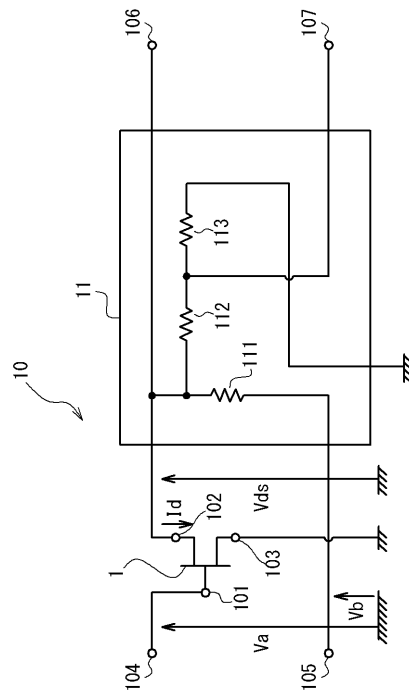
【 3 D 】



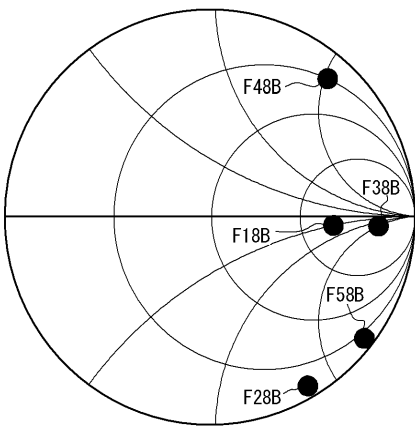
【 5 A 】



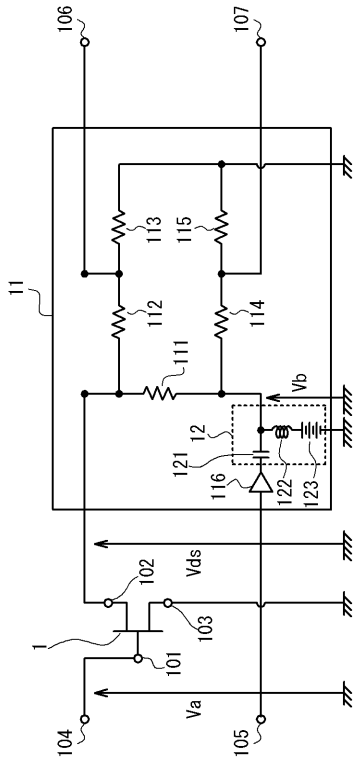
【 6 A 】



【 5 B 】



【 図 6 B 】



フロントページの続き

(72)発明者 本城 和彦

東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

審査官 荒井 誠

(56)参考文献 国際公開第2010/139968(WO, A1)

特開2012-027034(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 27/00 - 27/32

G01R 31/26