

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-92370

(P2014-92370A)

(43) 公開日 平成26年5月19日(2014.5.19)

(51) Int.Cl.
G01R 31/26 (2014.01)

F I
G01R 31/26

テーマコード(参考)
2G003

審査請求 未請求 請求項の数 22 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2012-241066 (P2012-241066)
(22) 出願日 平成24年10月31日 (2012.10.31)

(71) 出願人 399117121
アジレント・テクノロジーズ・インク
AGILENT TECHNOLOGIES, INC.
アメリカ合衆国カリフォルニア州サンタクララ スティーブンス・クリーク・プールバード 5301
(74) 代理人 100099623
弁理士 奥山 尚一
(74) 代理人 100096769
弁理士 有原 幸一
(74) 代理人 100107319
弁理士 松島 鉄男
(74) 代理人 100114591
弁理士 河村 英文

最終頁に続く

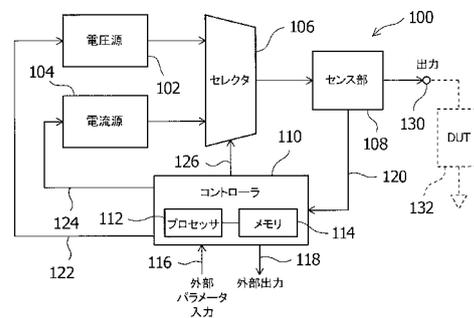
(54) 【発明の名称】 電圧電流特性発生器

(57) 【要約】

【課題】 電圧源及び電流源を備え、それらを切り替えることにより、電圧源で出力すると不安定になる場合には電流源で出力し、電流源で出力すると不安定になる場合には電圧源で出力することのできる、電圧電流特性発生器。

【解決手段】 電圧源と、電流源と、電圧源と電流源との出力いずれかを選択して出力するセレクタと、セレクタの出力に接続されてセレクタの出力を出力するとともに、出力の電圧及び電流を感知してフィードバックするセンス部と、センス部で感知された電圧及び電流を受け取り、電圧源及び電流源に、次の出力を設定するコントローラであって、コントローラは次の出力の設定に加えてセレクタからの次の出力が電圧源と電流源とのいずれからとすべきかの動作モードを判定する、コントローラとを備える電圧電流特性発生器。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

電圧源と、
電流源と、
該電圧源と該電流源との出力いずれかを選択して出力するセレクタと、
該セレクタの出力に接続されて該セレクタの出力を出力するとともに、該出力の電圧及び電流を感知してフィードバックするセンス部と、
該センス部で感知された電圧及び電流を受け取り、前記電圧源及び前記電流源に、次の出力を設定するコントローラであって、該コントローラは該次の出力の設定に加えて前記セレクタからの次の出力が前記電圧源と前記電流源とのいずれからとすべきかの動作モードを判定する、コントローラと
を備える電圧電流特性発生器。

10

【請求項 2】

第 1 の誤差増幅器と、
第 2 の誤差増幅器と、
該第 1 の誤差増幅器と該第 2 の誤差増幅器との出力いずれかを選択して出力するセレクタと、
該セレクタの出力に接続されて信号増幅をするパワーアンプと、
該パワーアンプの出力を出力するとともに、該出力の電流を感知して前記第 2 の誤差増幅器にフィードバックする電流センス部と、
該電流センス部の出力を出力するとともに、該出力の電圧を感知して前記第 1 の誤差増幅器にフィードバックする電圧センス点と、
前記電流センス部からのフィードバックと前記電圧センス点からのフィードバックを受け取り、前記第 1 の誤差増幅器と前記第 2 の誤差増幅器に、次の出力の設定を出力するコントローラであって、該コントローラは該次の出力の設定に加えて前記セレクタからの次の出力が前記第 1 の誤差増幅器と前記第 2 の誤差増幅器とのいずれからとすべきかの動作モードを判定する、コントローラと
を備える電圧電流特性発生器。

20

【請求項 3】

前記コントローラは、外部パラメータ入力と、外部出力とをさらに備える、請求項 1 または 2 に記載の電圧電流特性発生器。

30

【請求項 4】

前記セレクタは、前記電圧源と前記電流源のうちのいずれを選択すべきかの制御信号を前記コントローラから受け取る請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 5】

前記セレクタは比較器である、請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 6】

前記セレクタは加算器である、請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の電圧電流特性発生器。

40

【請求項 7】

前記コントローラは、前記セレクタからの前記次の出力が前記電圧源と前記電流源とのいずれからとすべきかの前記判定の結果により、前記電圧源又は前記電流源の設定を制御する、請求項 5 または 6 に記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 8】

前記コントローラは、いずれかの動作モードにおいて掃引させた出力を出力することができる、請求項 1 ~ 7 に記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 9】

前記コントローラは前記次の出力の設定での前記動作モードを判定するために、複数の

50

出力の設定についての動作モードを規定したデータ又はプログラムを備える、請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 10】

前記データ又はプログラムは、複数の出力の設定に加えて外部パラメータ入力に基づく動作モードを規定したデータ又はプログラムを備える、請求項 9 に記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 11】

前記データにおける複数の出力の前記設定は、前記電圧電流特性発生器による測定結果に基づくデータを含む、請求項 9 または 10 に記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 12】

前記コントローラは、現在の電圧及び電流を測定し、次の電圧及び電流を計算し、該次の電圧及び電流により選択されるべき動作モードを判定し、該動作モードに制御されるように構成される、請求項 1 ないし 11 のいずれかに記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 13】

前記コントローラは、前記次の電圧及び電流を計算する際に、さらに前記外部入力パラメータ入力からの入力を受け取って計算する、請求項 12 に記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 14】

前記コントローラは、現在の電圧及び電流を測定し、現在の電圧及び電流の測定値の変動から前記電圧電流特性発生器に接続された DUT の抵抗値を計算し、前記コントローラが備える前記複数の出力の設定から計算した現在の電圧及び電流における出力抵抗値と該 DUT の抵抗値とを比較して、該次の電圧及び電流により選択されるべき動作モードを判定し、該動作モードに制御されるように構成される、請求項 1 ないし 13 のいずれかに記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 15】

前記コントローラによる動作モードの判定は、前記出力抵抗値が前記 DUT の抵抗値より大きければ電圧源モードを選択し、そうでなければ電流源モードを選択する、請求項 14 に記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 16】

前記コントローラは、前記次の出力の設定において、AC 成分を含んだ信号を重畳させる複数の設定を含む、請求項 14 または 15 に記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 17】

前記コントローラは、ヒステリシス特性、バックラッシュ特性、ガンダイオード特性、飽和特性、不感帯特性、クーロン摩擦と粘性摩擦のモデルの特性のいずれかを発生することができる、請求項 1 ないし 16 のいずれかに記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 18】

前記コントローラは、前記特性のいずれかを発生するために、基本特性に基づいてメモリ効果特性を計算するメモリ効果計算ユニットを備える、請求項 17 に記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 19】

前記コントローラは、過渡応答、AC 特性のいずれかを発生することができる、請求項 1 ないし 16 のいずれかに記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 20】

前記コントローラは、プロセッサとメモリとを備える、請求項 1 ないし 19 のいずれかに記載の電圧電流特性発生器。

【請求項 21】

請求項 1 ないし 20 のいずれかに記載の第 1 と第 2 の電圧電流特性発生器を備える、3 端子以上の端子を備えるデバイスの特性を発生する装置。

【請求項 22】

前記第 1 の電圧電流特性発生器の外部出力が、前記第 2 の電圧電流特性発生器の外部パラメータ入力に接続されてデバイスの特性の発生を行う、請求項 21 に記載の装置。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電圧電流特性発生器に関し、例えば、電子機器や電力源のような被測定デバイス(DUT: Device Under Test)に接続される、電池や半導体のような電気・電子デバイスの電圧電流特性をエミュレーションすることができる電圧電流特性発生器に関する。

【背景技術】

【0002】

電気・電子デバイスの電圧電流特性のエミュレーションを行う装置の要求が存在する。例えば、発光ダイオード照明に使用する発光ダイオード素子に対して、電力を供給するLEDドライバの動作確認のため、所望の発光ダイオード素子の特性を模擬する装置があれば効率的にLEDドライバの設計製造が可能となる。また、例えば、二次電池で駆動される携帯型電子機器の設計製造において、動作時間や環境によって変化する二次電池の電圧電流特性を模擬する装置があれば、効率的に携帯型電子機器の設計製造が可能となる。こうした電圧電流特性を模擬する装置の、一部の機能である、電子負荷装置または負荷エミュレーション装置の提供を試みたものとして、特許文献1に電圧電流特性模擬装置が記載されている。

10

【0003】

特許文献1には、その図2に記載のダイオード特性を電圧源または電流源により実施することが記載されている。しかしながら、本発明者が実験により見出したところによれば、図16(A)に記載のような回路1600で、電圧源による電子負荷1602を使用し、出力インピーダンスの低いDUT1604と接続した場合、図16(B)の領域R1のような、電圧-電流カーブの傾きの絶対値が小さい領域において電子負荷1602の動作が不安定となって、電圧・電流値が定まらないために所望の特性をDUT(LEDドライバ)1604に与えることができない。なお、図16(A)において、電子負荷1602は、制御部1610により、電圧計1608から取得したDUTに印加される電圧値及び電流計1606から取得したDUTに流れる電流値に基づいて、所望の電圧と電流がDUTに与えられるようにフィードバック制御される。

20

【0004】

また、図17(A)に記載のような回路1700で、電流源による電子負荷1702を使用し、出力インピーダンスの高いDUT1704と接続した場合、図17(B)の領域R2及びR3のような、電圧-電流カーブの傾きの絶対値が大きい領域において電子負荷1702の動作が不安定となり、電圧・電流値が定まらないために所望の特性をDUT(LEDドライバ)1704に与えることができない。なお、図17(A)において、電子負荷1702は、制御部1710により、電圧計1708から取得したDUTに印加される電圧値及び電流計1706から取得したDUTに流れる電流値に基づいて、所望の電圧と電流がDUTに与えられるようにフィードバック制御される。

30

【0005】

なお、図16(B)及び図17(B)のダイオード特性は、電子負荷1602及び1702から見たダイオード特性を示しており、外部から流れ込む電流をマイナス値で表しているため、特許文献1の図2のグラフとは上下が逆の形になっていることに注意されたい。本明細書中の他の特性グラフについても同様な表示となっている。

40

【0006】

特許文献2には、高精度な電圧源または電流源として使用することができる電圧電流特性測定装置が記載されている。こうした回路は、あらかじめ安定動作が可能な領域の負荷に対して電圧源または電流源として使用されることが前提となっている。

【0007】

このように、従来技術においては、あらかじめ限定された領域において、あらかじめ限定された傾きの電圧電流特性のエミュレーションが実現されているに過ぎなかった。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2010-151592号公報

【特許文献2】特開平08-262069号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記の問題点に鑑み、本発明は、電圧源及び電流源を備え、該電圧源及び該電流源を切り替えることにより、電圧源で出力すると不安定になる場合には電流源で出力し、電流源で出力すると不安定になる場合には電圧源で出力することのできる、電圧電流特性発生器を提供することができる。

10

【0010】

また、本発明によれば、電圧源及び電流源を備え、該電圧源及び該電流源を切り替えることにより、所定の負の抵抗値（例えば - 1 k Ω ）から無限大に近い正の抵抗値までの抵抗特性を実現できる電圧電流特性発生器を提供することができる。

【0011】

これらにより、本発明によれば、電圧電流の直交軸上で表現される4象限すべての領域において、自由な傾きを持つ特性をエミュレーションすることができる電圧電流特性発生器を提供することができる。

20

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明による電圧電流特性発生器は、電圧源と、電流源と、該電圧源と該電流源との出力いずれかを選択して出力するセレクタと、該セレクタの出力に接続されて該出力を出力端子に出力するとともに、該出力の電圧及び電流を感知してフィードバックするセンス部と、該センス部で感知された電圧及び電流を受け取り、前記電圧源及び前記電流源に次の出力を設定するコントローラであって、該コントローラは該次の出力の設定に加えて前記セレクタからの次の出力が前記電圧源と前記電流源とのいずれからにすべきかの動作モードを判定する、コントローラとを備える。

【0013】

さらに、本発明による電圧電流特性発生器は、第1の誤差増幅器と、第2の誤差増幅器と、該第1の誤差増幅器と該第2の誤差増幅器との出力いずれかを選択して出力するセレクタと、該セレクタの出力に接続されて信号増幅をするパワーアンプと、該パワーアンプの出力を出力するとともに、該出力の電流を感知して前記第2の誤差増幅器にフィードバックする電流センス部と、該電流センス部の出力を出力端子に出力するとともに、該出力の電圧を感知して前記第1の誤差増幅器にフィードバックする電圧センス点と、前記電流センス部からのフィードバックと前記電圧センス点からのフィードバックを受け取り、前記第1の誤差増幅器と前記第2の誤差増幅器に次の出力の設定を出力するコントローラであって、該コントローラは該次の出力の設定に加えて前記セレクタからの次の出力が前記第1の誤差増幅器と前記第2の誤差増幅器とのいずれからにすべきかの動作モードを判定する、コントローラとを備える。

30

40

【0014】

ここで、前記コントローラは、外部パラメータ入力と、外部出力とをさらに備える態様を含み、前記セレクタは、前記電圧源と前記電流源のうちのいずれを選択すべきかの制御信号を前記コントローラから受け取る態様を含み、前記セレクタは比較器である態様を含み、前記セレクタは加算器である態様を含み、前記コントローラは、前記セレクタからの前記次の出力が前記電圧源と前記電流源とのいずれからにすべきかの前記判定の結果により、前記電圧源又は前記電流源の設定を制御する態様を含み、前記コントローラは、いずれかの動作モードにおいて掃引させた出力を出力することができる態様を含む。

【0015】

50

さらに、前記コントローラは前記次の出力の設定での前記動作モードを判定するために、複数の出力の設定についての動作モードを規定したデータ又はプログラムを備える態様を含み、前記データ又はプログラムは、複数の出力の設定に加えて外部パラメータ入力に基づく動作モードを規定したデータ又はプログラムを備える態様を含み、前記データにおける複数の出力の前記設定は、前記電圧電流特性発生器による測定結果に基づくデータを含む態様を含み、前記コントローラは、現在の電圧及び電流を測定し、次の電圧及び電流を計算し、該次の電圧及び電流により選択されるべき動作モードを判定し、該動作モードに制御されるように構成される態様を含み、前記コントローラは、前記次の電圧及び電流を計算する際に、さらに前記外部入力パラメータ入力からの入力を受け取って計算する態様を含み、前記コントローラは、現在の電圧及び電流を測定し、現在の電圧及び電流の測定値の変動から前記電圧電流特性発生器に接続されたDUTの抵抗値を計算し、前記コントローラが備える前記複数の出力の設定から計算した現在の電圧及び電流における出力抵抗値と該DUTの抵抗値とを比較して、該次の電圧及び電流により選択されるべき動作モードを判定し、該動作モードに制御されるように構成される態様を含み、前記コントローラによる動作モードの判定は、前記出力抵抗値が前記DUTの抵抗値より大きければ電圧源モードを選択し、そうでなければ電流源モードを選択する態様を含み、前記コントローラは、前記次の出力の設定において、AC成分を含んだ信号を重畳させる複数の設定を含む態様を含む。

【0016】

さらに、前記コントローラは、ヒステリシス特性、バックラッシュ特性、ガンダイオード特性、飽和特性、不感帯特性、クーロン摩擦と粘性摩擦のモデルの特性のいずれかを発生することができる態様を含み、前記コントローラは、前記特性のいずれかを発生するために、基本特性に基づいてメモリ効果特性を計算するメモリ効果計算ユニットを備える態様を含み、前記コントローラは、過渡応答、AC特性のいずれかを発生することができる態様を含み、前記コントローラは、プロセッサとメモリとを備える態様を含む。

【0017】

さらに、本発明による、3端子以上の端子を備えるデバイスの特性を発生する装置は、上記のいずれかの態様の第1と第2の電圧電流特性発生器を備える。

【0018】

さらに、前記特性を発生する装置は、前記第1の電圧電流特性発生器の外部出力が、前記第2の電圧電流特性発生器の外部パラメータ入力に接続されてデバイスの特性の発生を行う態様を含む。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の第1の実施形態による電圧電流特性発生器のブロック図である。

【図2】本発明の第2の実施形態による電圧電流特性発生器のブロック図である。

【図3】本発明の第3の実施形態による電圧電流特性発生器のブロック図である。

【図4】本発明の第4の実施形態による電圧電流特性発生器のブロック図である。

【図5】本発明の第5の実施形態による電圧電流特性発生器のブロック図である。

【図6】本発明の第6の実施形態による電圧電流特性発生器のブロック図である。

【図7】図7(A)は、電圧源による電子負荷を用い、LEDの特性をエミュレーションする回路における出力インピーダンスとDUTの内部抵抗の関係を説明するブロック図であり、図7(B)は、図7(A)の回路において電圧及び電流の制御について説明するブロック図である。

【図8】図1のコントローラの動作を示すフローチャートである。

【図9】図8のフローチャートの動作を電池の特性を例に説明するための電圧-電流特性グラフである。

【図10】太陽電池の電圧-電流特性を例に動作モードの割り当てを説明するための電圧-電流特性グラフである。

【図11】LEDの電圧-電流特性を例に動作モードの割り当てを説明するための電圧-

10

20

30

40

50

電流特性グラフである。

【図 1 2】トンネルダイオードの電圧 - 電流特性を例に動作モードの割り当てを説明するための電圧 - 電流特性グラフである。

【図 1 3】図 1 3 (A) は、ヒステリシス特性の典型的な例を示すグラフであり、図 1 3 (B) は、ヒステリシス特性の基本モードでの特性を示すグラフであり、図 1 3 (C) は、実線で示す電圧を時系列に与えた時の、図 1 3 (B) に基づくメモリ効果の影響を受けた電圧値の出力を点線で示すグラフである。

【図 1 4】図 1 のブロック図に基づいて図 1 3 (A) のヒステリシス特性を実現するためのコントローラの構造を示すブロック図である。

【図 1 5】図 1 5 (A) は、トランジスタの特性出力を実施する場合の、複数の電圧電流特性発生器を用いた装置の回路のブロック図であり、図 1 5 (B) は、図 1 5 (A) の装置により発生される特性を示すグラフである。

【図 1 6】図 1 6 (A) は、従来技術による電圧源による電子負荷を用い、LED の特性をエミュレーションする回路であり、図 1 6 (B) はその測定結果を示すグラフである。

【図 1 7】図 1 7 (A) は、従来技術による電流源による電子負荷を用い、LED の特性をエミュレーションする回路であり、図 1 7 (B) はその測定結果を示すグラフである。

【図 1 8】図 1 8 (A) は、電流源による電子負荷を用い、LED の特性をエミュレーションする回路における出力インピーダンスと負荷抵抗の関係を説明するブロック図であり、図 1 8 (B) は、図 1 8 (A) の回路において電圧及び電流の制御について説明するブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

本発明者によれば、上記の問題点を次のように分析される。まず、図 1 6 (A) に示される回路における、電圧源、電圧源の出力インピーダンス、LED ドライバである DUT 中の内部電圧源および内部抵抗の関係は、図 7 (A) に示されるような等価回路 700 として表すことができる。

【0021】

すなわち、電圧源 702 は電圧 V_F を出力するとともに出力抵抗 R_{series} 704 を備え、DUT である LED ドライバ 710 は内部電圧源 714 と内部抵抗 R_L 712 を備え、LED ドライバ 710 にかかる電圧 V_L は電圧計 706 によって測定されて、電圧源 702 にフィードバックされて電圧 V_F が修正される。また、電流計 705 により LED ドライバ 710 を流れる電流が測定される。ここで、点線で示すように、LED ドライバ 710 から電圧源 702 側を見た時のインピーダンス Z_{out} が出力インピーダンスである。

【0022】

図 7 (B) は、図 7 (A) の回路を電圧及び電流の制御について説明した図である。ここで、図 7 (B) では、出力インピーダンス Z_{out} は、電圧源 702 と LED ドライバ 710 の間に直列に挿入された出力抵抗 R_{series} 752 として表わされる。さらに出力インピーダンス Z_{out} は、電圧源 702 の電流制御動作を表すために、電流計 756 からの電流フィードバック 758 によって出力インピーダンス Z_{out} の電圧降下が所望の値 $I_M \cdot Z_{out}$ となるように電圧 V_{drop} を制御して出力する電圧源 754 を備えるように構成される。したがって、図 7 (A) の回路 700 は図 7 (B) の回路 750 として表される。

【0023】

ここで、回路 750 に流れる電流を I_M とし、内部電圧源 714 の電圧を $V_{DUT_INTERNAL}$ とすると、DUT 710 の両端子間の電圧即ち電圧 V_L は、次式で表される。

$$V_L = I_M \cdot R_L + V_{DUT_INTERNAL} \quad (1)$$

さらに、出力抵抗 Z_{out} 752 の両端子間の電圧 V_{drop} は、次式で表される。

$$V_{drop} = I_M \cdot Z_{out} \quad (2)$$

ところで、図 1 6 (B) のグラフにおける R1 のような傾きの絶対値が小さい領域では、傾きが $dI/dV = 1/Z_{out}$ であることから、出力抵抗 Z_{out} が大きいことを示している。この時、電流 I_M が dI_M だけ変化したとすると、出力抵抗 Z_{out} による電圧 V_F の

10

20

30

40

50

変動、すなわち V_{drop} の変動による電圧 V_F の変動 dV_{F_drop} は (2) 式より

$$dV_{F_drop} = dI_M \cdot Z_{out}$$

である。また、内部抵抗 R_L による電圧 V_F の変動、すなわち V_L の変動による電圧 V_F の変動 dV_{F_RL} は (1) 式より、

$$dV_{F_RL} = dI_M \cdot R_L$$

であるから、電圧 V_{F_drop} と V_{F_RL} の変動の比は、次のようにあらわされる。

$$dV_{F_drop} / dV_{F_RL} = Z_{out} / R_L \quad (3)$$

【0024】

ここで、上述のように領域 R1 では Z_{out} は大きい値となる。さらに、DUT の内部抵抗 R_L が Z_{out} よりも小さな値を取る場合には、 $dV_{F_drop} / dV_{F_RL} > 1$ であり、したがって、図7(B)において、 V_F を変化させて V_L を制御しようとしても、 V_L の変動に比べて V_{drop} の変動の方が大きくなってしまい、回路750の動作は不安定となる。

以上より、回路750は $Z_{out} > R_L$ のときに不安定となる。

【0025】

次に、図17(A)に示される回路の場合、電流源、電流源の出力抵抗、LEDドライバであるDUT1704中の内部電流源および内部抵抗の関係は、図18(A)に示されるような等価回路1800として表すことができる。すなわち、電流源1802は電流 I_F を出力するとともに出力抵抗 Z_{out} (R_{shunt}) 1804を備え、DUTであるLEDドライバ1810は内部電流源1814と内部抵抗 R_L 1812を備え、LEDドライバ1810に流れる電流 I_M は電流計1806によって測定されて、電流源1802にフィードバックされて出力電流 I_F が修正される。ここで、点線で示すように、LEDドライバ1810から電流源1802側を見た時のインピーダンス Z_{out} が出力インピーダンスである。

【0026】

図18(B)は、図18(A)の回路を電圧及び電流の制御について説明した図である。ここで、図18(B)では、出力インピーダンス Z_{out} については、電流源1802とDUT1810の間に並列に挿入された出力抵抗 Z_{out} (R_{shunt}) 1852として表わす。さらに、出力抵抗 Z_{out} (R_{shunt}) 1852は、電流源1802の電圧制御動作を表すために、電圧計1856からの電圧フィードバック1858により電流 I_{leak} が所望の値となるように制御されて出力する電流源1854を備えるように構成される。したがって、図18(A)の回路1800は図18(B)の回路1850として表される。

【0027】

ここで、回路1850に流れる電流を I_M とすると、DUT1810の両端子間の電圧 V_L は、上記の(1)式で表され、さらに、出力抵抗 Z_{out} 1852に流れる電流 I_{leak} は、次式で表される。

$$I_{leak} = V_L / Z_{out} \quad (4)$$

ところで、図17(B)のグラフにおけるR2及びR3のような傾きの絶対値が大きい領域では、傾きが $1 / Z_{out}$ を示すことから、出力抵抗 Z_{out} が小さいことを示している。この時、電圧 V_L が dV_L だけ変化した場合、出力抵抗 Z_{out} による電流 I_F の変動、すなわち I_{leak} の変動による電流 I_F の変動 dI_{F_leak} は (4) 式より

$$dI_{F_leak} = dV_L / Z_{out}$$

であり、また、DUTの内部抵抗 R_L における電流 I_F の変動、すなわち I_L の変動による電流 I_F の変動 dI_{F_RL} は、

$$dI_{F_RL} = dV_L / R_L$$

であるから、電流 I_{F_leak} と電流 I_{F_RL} の変動の比は、次のようにあらわされる。

$$dI_{F_leak} / dI_{F_RL} = R_L / Z_{out} \quad (5)$$

【0028】

ここで、上述のように領域R2及びR3では Z_{out} は小さい値となる。DUTの内部抵抗 R_L が Z_{out} よりも大きな値を取る場合には、 $dI_{F_leak} / dI_{F_RL} > 1$ であり、

したがって、図 18 (B) において、 I_F を変化させて I_L を制御させようとしても、 I_L の変動に比べて I_{leak} の変動の方が大きくなってしまい、回路 1850 の動作は不安定となる。

以上より、回路 1850 は $Z_{out} < R_L$ のときに不安定となる。

【0029】

以上の議論は、実際には電流センス抵抗、電流センス部の並列容量、配線抵抗、配線容量、負荷容量も安定性には影響を与えるが、ほとんどの場合においては、上記のような出力抵抗と DUT の内部抵抗の関係が支配的となることを、本発明者は見出した。

【0030】

なお、上記の回路ではフィードバック回路の帯域を制限することにより、不安定状態に入ったり、発振するのを遅らせることもできるが、その場合、回路が複雑になる上に、応答速度が犠牲になる。たとえそのような制限を加えることにより、図 16 (B) または図 17 (B) のような特性を実現しようとしても、どのような DUT の特性にも適用できるわけではなく、何がしかの制限がつかまとう。

【0031】

そこで、出力抵抗と DUT の内部抵抗の大小に適した電圧源と電流源を選択して出力することができる電圧電流特性発生器、言い換えると、電圧源の出力が不安定となる領域では電流源によって補完し、電流源の出力が不安定となる領域では電圧源によって補完することができる電圧電流特性発生器を着想するに至った。

【0032】

本発明における第 1 の実施形態である電圧電流特性発生器 100 を図 1 に示す。なお、本明細書において「電圧源モード」と呼ぶ時は、電圧源として動作している電源の動作モードを指し、「電流源モード」と呼ぶ時は、電流源として動作している電源の動作モードを指すことに注意されたい。

【0033】

電圧電流特性発生器 100 は、電圧源 102 及び電流源 104 を備え、電圧源 102 及び電流源 104 の出力のいずれかをセレクタ 106 により選択してセンス部 108 に出力する。ここで、電圧源 102 は、設定された出力電圧を高精度に出力するために電圧源として動作する電源であり、設定によりさまざまな値の電圧を出力することができる。電流源 104 は、設定された出力電流を高精度に出力するために電流源として動作する電源であり、設定によりさまざまな値の電流を出力することができる。

【0034】

さらに、センス部 108 は、セレクタからの出力を電圧電流特性発生器 100 の出力として出力端子 130 に出力する一方、出力信号における電圧及び電流をセンスあるいは感知・検出してコントローラ 110 に経路 120 を介して伝える。コントローラ 110 は、センス部 108 からの入力に基づいて、経路 122 を介して電圧源 102 に制御信号を送り、経路 124 を介して電流源 104 に制御信号を送る。なお、出力端子 130 には、DUT が接続される。

【0035】

コントローラ 110 は内部に、プロセッサ 112 及びプロセッサに接続されたメモリ 114 を備え、演算能力を備える。コントローラ 110 は外部パラメータの入力信号 116 が接続される端子を備え、外部からのパラメータを受け取って演算に用いることができる。また、コントローラ 110 は外部出力信号 118 に接続される端子を備え、コントローラ 110 内部の信号又はデータをコントローラ外に出力することができる。

【0036】

セレクタ 106 は、コントローラ 110 からの経路 124 からの制御信号により電圧源 102 からの信号または電流源 104 からの信号のいずれかを選択して出力するよう動作する。

【0037】

プロセッサ 112 には、市販のプロセッサ、組み込み型プロセッサ、ASIC (Applic

10

20

30

40

50

ation Specific Integrated Circuit)、P L D (Programmable Logic Device)、または、F P G A (Field-Programmable Gate Array)を用いることができるが、上記に限定されない。

【 0 0 3 8 】

メモリ 1 1 4 には、R O M (Read-Only Memory)、E P R O M (Erasable Programmable Read-Only Memory)、E E P R O M (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)、R A M (Random Access Memory)、フラッシュメモリ、その他の不揮発性メモリまたは揮発性メモリを含むことができるが、上記に限定されない。メモリ 1 1 4 には、プロセッサ 1 1 2 で実行されるプログラム及びそのプログラムで利用されるデータを格納することができる。

10

【 0 0 3 9 】

コントローラ 1 1 0 が経路 1 2 0 から受け取って経路 1 2 2 または 1 2 4 に出力する信号は、経路 1 2 0 からの信号をアナログ的に送ること、または、デジタル的に送ること、または、電氣的にコントローラ 1 1 0 をスルーする信号として送ることを含むことができる。さらに、コントローラ 1 1 0 はセクタ 1 0 6 の動作のための制御信号を経路 1 2 6 を介してセクタ 1 2 6 に出力することができる。また、コントローラ 1 1 0 はメモリ 1 1 4 への書き込み/読み出し信号線を備えることができ、コンピュータ等により、外部からメモリ 1 1 4 へアクセスすることができる。

【 0 0 4 0 】

一例として、コントローラ 1 1 0 は、経路 1 2 0 からの電圧センス信号または電圧センス値により設定された電圧を維持するように経路 1 2 2 を介して電圧源 1 0 2 を制御し、電流センス信号または電流センス値により、電圧源 1 0 2 内の出力抵抗 Z_{out} による電圧降下分を考慮した次の電圧設定値を経路 1 2 2 を介して電圧源 1 0 2 に送り、設定することができる。

20

【 0 0 4 1 】

同様に、コントローラ 1 1 0 は、経路 1 2 0 からの電流センス信号又は電流センス値により設定された電流を維持するように経路 1 2 4 を介して電流源 1 0 4 を制御し、電圧センス信号または電圧センス値により電流源 1 0 4 内の出力抵抗 Z_{out} による漏れ電流分を考慮した次の電流設定値を経路 1 2 4 を介して電流源 1 0 4 に送り、設定することができる。

30

【 0 0 4 2 】

コントローラ 1 1 0 の動作を図 8 のフローチャート 8 0 0 を参照して説明する。まず、電圧電流特性発生器 1 0 0 における出力電圧 V と出力電流 I の関係 (すなわち、センス部でセンスされた電圧とセンスされた電流の関係) は、関数 $F(x)$ とその逆関数 $F^{-1}(x)$ を用いて、

$$I = F(V)$$

$$V = F^{-1}(I)$$

で表されるとする。

【 0 0 4 3 】

コントローラ 1 1 0 は、まずステップ 8 0 2 で、現在の動作点での電圧 V_N と電流 I_N を測定する。これはセンス部からの経路 1 2 0 からの信号を測定することで行うことができる。次に、ステップ 8 0 4 で、

$$V_{N+1} = F^{-1}(I_N)$$

$$I_{N+1} = F(V_N)$$

を計算することにより、次の動作点での電圧 V_{N+1} 及び電流 I_{N+1} を計算する。

40

【 0 0 4 4 】

次に、ステップ 8 0 6 で、次の動作点の電圧 V_{N+1} 及び電流 I_{N+1} が、電流源モードの領域に入っているかを判定する。ステップ 8 0 6 の判定結果が Y E S ならば、ステップ 8 0 8 に進んで、電圧電流特性発生器 1 0 0 の動作モードとして電流源モードを選択し、電流 I_{N+1} を設定電流値とし、経路 1 2 4 を介して電流源 1 0 4 に出力し、ステップ

50

802に戻る。他方、ステップ806の判定結果がNOならば、ステップ810に進んで、電圧電流特性発生器100の動作モードとして電圧源モードを選択し、電圧 V_{N+1} を設定電圧値として経路122を介して電圧源102に出力し、ステップ802に戻る。

【0045】

ステップ806において、どの動作点がどの動作モードに入っているかの領域判定は、予めテーブル等のデータ又はプログラム等により、メモリ114中に領域を判定するためのデータ又はプログラムをロードしておくことにより、行うことができる。

【0046】

テーブルで領域設定を行う場合には、後述する表1のように、このDUTに対する電圧電流特性発生器100の動作点の電圧/電流値は、動作点のカーブ、すなわち動作カーブを示す離散的なデータの組であり、それぞれの電圧/電流値の組ごとに、その時の選択すべき電圧・電流モードを示す値を最低限含むテーブルを用いることができる。

10

【0047】

なお、動作点は離散的な値としてテーブル中では指定されるが、コントローラ動作時には、これらの離散的な値をPWL（区間線形補間：piecewise linear interpolation）、スプライン補間等の各種補間法によって補間することにより、離散値間の領域判定をすることができる。

【0048】

プログラムで領域判定を行う場合には、判定されるDUTに適した領域判定プログラムをメモリ114にロードする、または、領域判定のタイプ別にライブラリをメモリ114に用意し、必要な領域データを別途メモリ114にロードする等の方法を取ることができる。

20

【0049】

図8によるコントローラ110の動作を図9を参照して更に説明する。図9の場合、一例として電池の電圧電流特性を発生又はエミュレーションする電圧電流特性発生器100が出力する動作カーブが、図9の電圧 - 電流グラフ中にカーブ902で示される。動作カーブ上の点904は、 $Z_{out} = R_L$ となる点で、電圧電流特性発生器100の出力を電流源モードから電圧源モードに、あるいは、電圧源モードから電流源モードに切り替えるべき遷移点である。

【0050】

電圧源モード/電流源モードの領域の判定は、まず電流 - 電圧特性を、遷移点904を中心とする4象限の領域906～912に分割する。上述のステップ802の現在の動作点と、ステップ804での次の動作点は、通常はカーブ902上に位置し、次の動作点が遷移点904のどちら側にあるかにより決定される動作モードが指定されるように、テーブル又はプログラムで規定される。

30

【0051】

ここで、図7についての考察から、図9の動作カーブは遷移点よりも電圧が低い場合には、グラフの傾きの絶対値が小さいので、安定動作のために電流源モードが指定され、遷移点よりも電圧が高い場合には、グラフの傾きの絶対値が大きいため電圧源モードが指定されるように、テーブル又はプログラムが構成される。

40

【0052】

また、ノイズや過渡状態などが原因となって、測定点（現在の動作点）や次の動作点が動作カーブ上にない場合には、次のように、次の動作点の動作モードを求める。

【0053】

測定点が、図9に示されるMeas1、Meas2、Meas3、Meas4、Meas5の場合には、動作カーブ902の傾向から、測定点が遷移点より電圧が小さく、かつ、電流が大きの場合（領域906）は電流源モードで動作させ、逆に電圧が大きく、かつ電流が小さい場合（領域912）は電圧源モードで動作させる。

【0054】

測定点が領域910または908にある場合（Meas5、Meas3）には電圧源モードか電流

50

源モードのどちらかを使って動作点を領域 906 または 912 の領域内に移動させる。これは遷移点から、より離れている（距離の大きな）側の制御（電圧源モードまたは電流源モード）を使うと早く収束させることができるので好ましい。この場合の距離とは、例えば収束に必要な時間で正規化した値で、時間がかかるほど遠いものとする。

【0055】

なお、現在の動作点が領域 908 または領域 910 にある場合には、遷移点 904 を次の動作点とするという動作方法とすることができる。

【0056】

次に、図 10 に示されるような太陽電池の特性の動作カーブの場合の動作モードをテーブルで表す例を示す。図 10 を参照すれば、ここで、動作カーブ 1002 の各動作点における接線の傾きがその動作点における Z_{out} を表し、動作カーブ 1002 と DUT の内部抵抗特性を示す負荷抵抗線 1004 の交点、すなわち、 $Z_{out} = R_L$ となる点が、動作モードにおいて電流源モードと電圧源モードを切り替えるべき遷移点 1006 となり、その遷移点 1006 を境界として図 10 に示されるように電圧源モードと電流源モードが割り当てられることが、図 7 についての考察から理解される。この場合の動作モードをテーブルを用いて規定すると、表 1 のように表される。

10

【表 1】

表1 太陽電池の場合の動作モード

電圧 [V]	電流 [mA]	V/Iモード
0.00	130	I
0.20	128	I
0.40	125	I
0.60	121	I
0.70	115	I
0.80	100	V
0.85	80	V
0.88	40	V
0.90	-10	

20

30

【0057】

ここで「V/Iモード」カラムは、電圧源モード/電流源モードの動作モードを規定するカラムであり（本明細書における他の動作モードの表においても同様）、各行で指定される電圧及び電流の動作点から、その次の行の電圧及び電流で指定される動作点までの区間の動作モードを示す。すなわち、例えば、1行目のV/Iモードの値「I」は、電圧、電流が（0、130）の動作点から（0.2、128）の動作点までの区間の動作モードを示す。したがって、最後の行の動作モードは空白となっている。表 1 と図 10 を参照すると理解できるように、動作カーブ 1002 において、遷移点 1006 を境として、電圧が 0.8 V 以上の 3 区間が電圧源モードに割り当てられ、電圧が 0.8 V より低い区間では電流源モードが割り当てられている。

40

【0058】

なお、実際の装置のインプリメントにおいては、動作モードの遷移点は、その遷移点を過ぎると直ちに極度な不安定状態になるものではないような場合には、多少のオーバーラップ幅を持って遷移するようにインプリメントすることができる。

【0059】

ここで、表 1 に示されるテーブルの各行の動作点を示す電圧値及び電流値は、特性を発生又はエミュレーションする対象となるデバイス（この場合、太陽電池）の仕様上の特性

50

等から決定することができる。

【0060】

また、表1に示されるテーブルの各行の電圧値及び電流値は、次のように、対象となるデバイスから実際に測定したデータを含むことや、実際に測定したデータに基づくデータを含むことができる。

【0061】

すなわち、まず、対象となるデバイス（この場合、太陽電池）を、電圧電流特性発生器100の出力端子130に接続し、所定の範囲にわたって電圧源モードで電圧を掃引させ、あるいは、所定の範囲にわたって電流源モードで電流を掃引させ、その時センスされた電圧値及び電流値をメモリ114に測定値として格納する。この時、動作モードによって不安定となって測定がうまくいかない場合には、動作モードを切り替えて掃引を行う。

10

【0062】

次に、コンピュータ等によりメモリ114に格納された測定値を使用あるいは編集して、動作カーブを規定するテーブルをメモリ114中に構成し、保存する。

【0063】

最後に、電圧電流特性発生器100の出力端子130に、DUTとなるデバイス（この場合、例えば、充放電コントローラ等）を接続し、電圧電流特性発生器100から、所望の動作カーブ出力を与える。

【0064】

以上のように、電圧電流特性発生器100のメモリ114中に構成されるテーブルを、電圧電流特性発生器100によるデバイスの測定結果に基づいて構成する場合には、テーブルの作成を短時間で行うことができる。

20

【0065】

次に、図11に示されるようなLEDなどのダイオードの動作カーブの場合の動作モードのテーブルの例を表2に示す。

【表2】

表2 LEDの場合の動作モード

電圧 [V]	電流 [mA]	V/Iモード
0.38	-0.700	V
0.35	-0.400	V
0.33	-0.200	V
0.32	-0.150	I
0.30	-0.100	I
0.28	-0.080	I
0.25	-0.060	I
0.20	-0.030	I
0.15	-0.020	I
0.10	-0.010	I
0.00	0.000	I
-0.20	0.010	I
-0.35	0.015	I
-0.59	0.020	V
-0.60	0.100	V
-0.61	0.600	

30

40

50

【 0 0 6 6 】

表 2 と図 1 1 に示されるように、ダイオードのような特性の場合には、動作モードの遷移点は、点 1 1 0 4 と点 1 1 0 6 の 2 か所設けられ、その間の区間は電流源モードに、それ以外の区間は電圧源モードに割り当てられる。

【 0 0 6 7 】

本発明の電圧電流特性発生器によれば、図 1 1 のような複雑な特性においても、2 つの遷移点を設けることで、電圧源と電流源を切り替えて安定して D U T 特性を出力することができる。

【 0 0 6 8 】

次に、トンネルダイオードの特性を例として、更に複雑な動作モードの設定をする場合を図 1 2 に示す。動作カーブの傾きに応じて、傾きの絶対値が小さい区間は電流源モードとし、傾きの絶対値が大きい区間では電圧源モードとなるように、図 1 2 の特性グラフすなわち動作カーブに複数の遷移点を設けて、電圧源モードと電流源モードが複数回交互に割り当てられるようにテーブルを生成することができる。

【 0 0 6 9 】

以上の例ではテーブルを用いて、動作モードを割り当てる例を示したが、図 1 のコントローラ 1 1 0 においては、プログラムにより、同様な割り当てをすることも可能である。また、プロセッサを F P G A で構成し、数式をコンパイルしてハードウェア化する手法を取ることもできる。また、メモリを F P G A 内に搭載させることもできる。さらに、次の動作点すなわち設定値を求めるために、現在の電圧値及び電流値に基づくだけでなく、それらに加えてコントローラ内の内部データに基づいて次の設定値を求めるように、コントローラ 1 1 0 を構成することができる。その場合、テーブルは、内部データについてのコラムを含んで、予想される内部データの値に対応する電圧及び電流及び動作モードを示すようなテーブルとすることができる。また、プログラムにおいては、例えば、現在の電圧値及び電流値に加えて、内部データをパラメータとして使用して次の設定値を求めるように構成することができる。そのような例としては、電池の電圧放電特性を発生又はエミュレートする際に、基本の動作カーブに加えて、その時点までに消費した電力量も加味して、次の設定値を求める場合が挙げられる。その場合、消費した電力量は、例えば、その時点までの電圧値と電流値を積分することにより、コントローラ 1 1 0 の内部データとして求めることができる。

【 0 0 7 0 】

さらに複雑な特性を発生又はエミュレーションできる例として、本発明の電圧電流特性発生器によれば、磁性体や強誘電体などのヒステリシス特性を電圧 - 電流の関係として発生又はエミュレーションして出力することもできる。ヒステリシス特性は図 1 3 (A) に示されるように点 d 1 から開始して電圧の増加と共に点 d 2 に達し、電圧の減少に応じて点 d 3 を通過して点 d 4 に達し、更に電圧の増加に応じて点 d 5 を通過して点 d 2 に達する特性として示される。このような特性を発生又はエミュレーションするために、例えば、テーブル及び式を用いて次のように動作するようにコントローラを構成することができる。

【 0 0 7 1 】

まず、

$$I = f (V)$$

$$V = f^{-1} (I)$$

の関係があるとする。

【 0 0 7 2 】

次に、図 1 3 (B) で示される、ヒステリシスがない場合の基本曲線及びその動作モードを、テーブルを用いて次の表 3 のように設定する。

【表 3】

表3 ヒステリシスの基本曲線における動作モード

電圧 [V]	電流 [mA]	V/Iモード	R [Ω]
-10	-2.985	I	176.428
-9	-2.979	I	113.910
-8	-2.970	I	69.898
-7	-2.956	I	40.295
-6	-2.931	I	21.521
-5	-2.884	I	10.506
-4	-2.789	I	4.698
-3	-2.576	V	2.060
-2	-2.091	V	1.092
-1	-1.175	V	0.851
0	0.000	V	0.851
1	1.175	V	1.092
2	2.091	V	2.060
3	2.576	I	4.698
4	2.789	I	10.506
5	2.884	I	21.521
6	2.931	I	40.295
7	2.956	I	69.898
8	2.970	I	113.910
9	2.979	I	176.428
10	2.985		

10

20

30

【0073】

ここで、4番目のカラムは、各行の動作点を始点とし次の行の動作点までの傾き、即ち近似的な抵抗値 R を、説明のための参考として表示したものであり、メモリ内のテーブルには必ずしも必要ではないことに注意されたい。表3では、抵抗値が3以上では電流源モード、抵抗値が3以下では電圧源モードを割り当てている。

【0074】

次に、入力電圧 V に対して、ヒステリシスの影響 (memory effect) を加味した電圧 V' を、

電圧増加時：直前の最小値の影響を受けた値 (最小値には下限を設ける)

電圧減少時：直前の最大値の影響を受けた値 (最大値には上限を設ける)

として生成する。図13(B)の特性を元に、図13(C)に、そのような V (実線1302) に対する V' (点線1304) を求めたものを示す。

【0075】

上記で得られた一連の V' から、 $I = f(V')$ を計算すると、図13(A)のようなヒステリシス曲線が得られる。

【0076】

この特性は元の特性を電圧方向にずらしただけなので、ある動作点における電流に対する出力抵抗は変わるものではない。したがって、DUTの内部抵抗が一定な場合には、最初に定めた安定性条件も変わることはない。しかし、DUTの内部抵抗が動作点によって

40

50

変化する場合には、両方の関係がずれてしまうので、動作が不安定になることが予想される。このような場合には、あらかじめDUTの内部抵抗の電流依存性を調べておき、これと動作点における出力抵抗を比べ、電圧源モード、電流源モードの動作モードの切り替えを行うことにより、安定的に動作させることができる。

【0077】

これを実現するために、図14に示すコントローラ1410のように、コントローラを構成することができる。

【0078】

すなわち、まず電圧源側については、センス部108からの電圧及び電流のフィードバック1450をメモリ効果計算ユニット1414に入力し、その出力ポイントP1で V_1 が出力され、次に $I = f(V)$ 計算ユニット1416により、その出力ポイントP2に電流値 I_1 が出力される。その電流値に基づいて、電圧源102で次の動作点の電圧設定が行われる。ところで、ユニット1416から出力された電流値は、ユニット1418とユニット1420で出力インピーダンス Z_{out} とDUTの内部インピーダンス R_L が計算され、比較器1422で比較される。この時、 $Z_{out} < R_L$ が安定条件である。その結果が判定器1444に送られる。

10

【0079】

また、電流源側については、センス部108からの電圧及び電流のフィードバック1452をメモリ効果計算ユニット1434に入力してヒステリシスの影響を加味した電流 I_2 が出力され、次に $V = f^{-1}(I)$ 計算ユニット1436により、電圧値 V_2 が出力される。その電圧値に基づいて、電流源104で次の動作点の電流設定が行われる。ところで、ユニット1436から出力された電圧値は、ユニット1438とユニット1440で出力インピーダンス Z_{out} とDUTの内部インピーダンス R_L が計算され、比較器1442で比較される。この時、 $Z_{out} > R_L$ が安定条件である。その結果が判定器1444に送られる。

20

【0080】

判定器1444は、入力された比較結果にしたがって、電圧源または電流源を選択するようにセレクタ106を経路すなわち制御線126によって制御する。その結果、電圧源及び電流源のうち、安定動作するにふさわしい方が選択されて、信号が出力される。なお、ノイズや過渡状態などが原因となって、判定器1444に入力された比較結果が、共に安定状態又は共に非安定状態という、相反する場合には、例えば、出力インピーダンス Z_{out} とDUTの内部インピーダンス R_L の差分が小さい方を、確からしい比較結果として選択するように制御することができる。

30

【0081】

以上のようなコントローラ1410を備えた電圧電流特性発生器1400を構成することにより、ヒステリシス特性を発生又はエミュレーションすることができる。

【0082】

以上のような方法により、入力の初期変化のうちの一部が出力に影響を与えないバックラッシュ(backlash)特性や、出力に上限または下限がある飽和(saturation)特性や、閾値より小さい入力では出力がゼロとなる不感帯(deadzone)特性や、静的モデルと動的モデルを兼ね備えたクーロン摩擦と粘性摩擦のモデル(Coulomb and Viscous Friction)についても、同様に発生又はエミュレーションすることができる。

40

【0083】

さらに、コントローラ110へ外部パラメータ入力116を利用することにより、静的なパラメータ入力、又は、動的なパラメータ入力による発生又はエミュレーションを実現することができる。例えば、電池の特性を発生又はエミュレーションするためには、放電容量、電池の温度、充電回数などを静的あるいは動的なパラメータとして発生又はエミュレーションすることができる。

【0084】

さらに、ダイオード特性の発生又はエミュレーションにおいて、デバイス温度や、セン

50

サーからの温度や気圧等が、外部パラメータ入力としての入力に適する。

【 0 0 8 5 】

さらに他の特性の発生又はエミュレーションの実現例として、コントローラ 1 1 0 へ外部パラメータ入力 1 1 6 から時刻 t を入力することにより、メモリ 1 1 4 上にロードした式をプロセッサ 1 1 2 で演算することにより、信号の過渡応答を発生又はエミュレーションすることができる。

【 0 0 8 6 】

すなわち、過渡現象は時間依存性のある特性であるので、例えば $i = \text{func}(V, t)$ のように、 t のような時間項を含む関数として表される。ここで、 t を与えれば t の無い式と同じように V から電流値が得られる。出力抵抗も電圧と時間の関数で表され、例えば $Z = \text{func}_2(V, t)$ のように表される場合には、あらかじめ DUT の内部抵抗との関係から電圧源と電流源のどちらを選択すべきかの情報も時間の関数で表すことができることになり、適切な方の電源を選択することができようコントローラを構成することができる。必要に応じて時間項のリセットを測定値や外部から得るようにすることができる。測定値から得る場合は、例えばある閾値を超えた時に $t = 0$ にするようにすることができる。

10

【 0 0 8 7 】

さらに他の特性の発生又はエミュレーションの実現例として、デバイスの AC 特性又は周波数特性を発生又はエミュレーションすることができる。すなわち、出力抵抗に LC 分を加え、図 7 (A) 中の出力インピーダンス 7 0 4 を RLC 直列回路とし、図 1 8 (A) の出力インピーダンス 1 8 0 4 を RLC の並列回路とする。ここで、図 7 (A) における電圧降下分は次の (6) 式で求めることができる。

20

【 数 1 】

$$v = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt \quad (6)$$

さらに、図 1 8 (A) における漏れ電流分は次の (7) 式で求めることができる。

【 数 2 】

$$i = \frac{v}{R} + \frac{1}{L} \int v dt + C \frac{dv}{dt} \quad (7)$$

30

したがって、図 1 4 のユニット 1 4 1 2、1 4 3 2 の代わりに、電圧 v 及び時刻 t の入力による関数として動作するユニットと、電流 i 及び時刻 t の入力による関数として動作するユニットを設けて、 R 、 L 、 C の非線形性に対応させることにより、外部パラメータ入力から、時間 t を受け取って、 AC 特性を発生又はエミュレーションするコントローラを構成することができる。

【 0 0 8 8 】

あるいは、周波数 を用いることにより、図 7 (A) における電圧降下分及び図 1 8 (A) における漏れ電流分は、それぞれ、次の (8) 式及び (9) 式として求めることができる。

40

【数 3】

$$v = \left(R + \omega L + \frac{1}{\omega C} \right) i \quad (8)$$

$$i = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{\omega L} + \omega C \right) v \quad (9)$$

したがって、図 14 のユニット 1412、1432 の代わりに、電圧 v 及び周波数 ω の入力による関数として動作するユニットと、電流 i 及び周波数 ω の入力による関数として動作するユニットを設けて、 R 、 L 、 C の非線形性に対応させることにより、外部パラメータ入力から、周波数 ω を受け取って、 AC 特性を発生又はエミュレーションするコントローラを構成することができる。

【0089】

さらに他の特性の発生又はエミュレーションの実施例として、3 端子以上のデバイスの特性の発生又はエミュレーションを、本発明による電圧電流特性発生器を複数チャンネル使用することで実施することができる。

【0090】

図 15 (A) に示す回路 1500 では、2 チャンネルの電圧電流特性発生器 1502、1504 に、外部パラメータ入力の一部として温度情報 1506 を与え、電圧電流特性発生器 1502 の外部出力から出力されたベース - エミッタ電圧 V_{BE} 情報 1508 を電圧電流特性発生器 1504 の外部パラメータ入力の一部として入力することにより、図 15 (B) に縦軸が電流の対数表示 $\ln(I)$ として示されているような特性のベース - エミッタ電流 I_B 及びコレクタ - エミッタ電流 I_C を出力することができる。

【0091】

ここで、電圧電流特性発生器 1504 は、例えば、テーブルによりコレクタ - エミッタの電圧 - 電流特性を発生又はエミュレーションするが、その際、テーブル中に外部パラメータ入力から入力されるベース - エミッタ電圧情報及び温度情報に対応するカラムも含むように構成しておき、そこから線形補間等の近似によりベース - エミッタ電圧及び温度を加味した電流値を決定するように構成することができる。あるいは、プログラムを用いる場合には、コレクタ - エミッタの電圧 - 電流特性を外部パラメータ入力から入力されたベース - エミッタ電圧情報及び温度情報も考慮して決定するように、プログラムを構成することができる。

【0092】

さらに、図 1 に示される電圧電流特性発生器 100 は、コントローラ 110 において、動作点における DUT の抵抗 R_L を測定し、動作点において動作カーブの接線として計算される出力抵抗 Z_{out} の値と、測定された DUT の抵抗 R_L の値とで大小比較を行い、次の動作点における動作モードを自動判定するように構成することもできる。その場合、コントローラ 110 は、現在の動作点における、電圧または電流出力に対するセンス部 108 からの電圧及び電流値のゆらぎを観測し、その変動から DUT の内部抵抗値、すなわち DUT の抵抗値を測定し、そこから、次の動作点での DUT の内部抵抗値を推定する。あるいは、コントローラ 110 は、現在の動作点において、電圧源 102 または電流源 104 から微小な AC 成分を含んだ信号（例えば、 AC の繰り返し信号又は単発のパルス波形信号又は単発のランプ波形信号）を出力に重畳させて出力し、その AC 成分に対するセンス部の変動を測定することによっても、 DUT の抵抗値を測定することができる。

【0093】

この場合、メモリ 114 中のテーブルには、動作モードを指定するカラムを設ける必要はなく、コントローラ 110 の動作アルゴリズムも、図 8 のステップ 802 においては、電圧と電流を測定するのに加えて、現在の動作点での出力抵抗を計算するとともに、測定

10

20

30

40

50

された電圧及び電流値の振れ幅からDUTの内部抵抗を算出することを含み、ステップ806においては、領域を判定するのではなく、出力抵抗>DUTの内部抵抗の関係にあるかを判定し、その判定結果のYES/NOによりステップ808/ステップ810に進むように、読み替えて実施することができる。

【0094】

以上のように、図1に示される第1の実施形態によれば、電圧源102と電流源104のいずれかをセレクタ106で選択する構成により、さまざまなDUTの特性を発生又はエミュレーションすることができる。

【0095】

以上、図1に示される第1の実施形態について、各種応用を説明して来たが、以上の応用は、図2に示される第2の実施形態についても、同様に実施することができる。ここで、図2の電圧電流特性発生器200は、図1と共通する部分には同一の符号を付けている(以下同様)。図2の電圧電流特性発生器200は、図1と比べて、電圧源102と電流源104の出力が比較器206に接続され、比較器206にはコントローラ210から制御線が接続されていないこと、コントローラ210内のプロセッサ212及びメモリ214は比較器206に制御を送る必要がない点が図1とは異なる以外は、図1と同様な構成となっている。

【0096】

比較器206は、電圧源102または電流源104からの信号を比較し、一例としては電圧値が大きい方を出力する。すなわち、この例では、電圧値が増加する方向のデバイスの特性の発生又はエミュレーションを想定している。

【0097】

また、コントローラ210は、次の動作点での動作モードを決定したら、そのモードの値に従って、動作モードで指定されない方の電圧源102または電流源104への設定値を0(ゼロ)又は不活性値とする制御を行うこともできる。

【0098】

なお、発生又はエミュレーションされる特性の目的によっては、比較の判断を小さい方を出力するようにすることや、比較の対象を信号の電流とする実施形態とすることができる。

【0099】

以上のように、図2に示される第2の実施形態によれば、電圧源102と電流源104とからの信号を比較器206で比較して選択する構成により、コントローラ210から比較器206を制御することなく、さまざまなDUTの特性を発生又はエミュレーションすることができる。

【0100】

さらに別の実施形態として、図3に示される第3の実施形態についても、上記の各種の応用を同様に実施することができる。ここで、図3の電圧電流特性発生器300は、図2と比べて、電圧源302と電流源304の出力が加算器306に接続され、加算器306にはコントローラ310から制御線が接続されていないこと、コントローラ310内のプロセッサ312及びメモリ314は加算器306により電圧源302と電流源304からの出力が加算される点を加味した制御をする点が図2とは異なる以外は、図2と同様な構成となっている。

【0101】

加算器306は、電圧源302または電流源304からの信号を加算して出力する。そのため、電圧源302及び電流源304は、加算に適するように電圧-電流変換された出力とすることができる。

【0102】

また、加算器306は、加算効果を得ることができる単なる接続ノードとすることもできる。

【0103】

10

20

30

40

50

コントローラ 310 は、次の動作点での動作モードを決定したら、そのモードの値に従って、動作モードで指定されない方の電圧源 102 または電流源 104 への設定値を 0 (ゼロ) に重み付けする制御、またはその他の重み付け制御をすることにより、加算器 306 からの出力を換算し直さなくても良いように構成することができる。

【0104】

以上のように、図 3 に示される第 3 の実施形態によれば、電圧源 302 と電流源 304 とからの信号を加算器 306 で加算して出力する構成により、コントローラ 310 から加算器 306 を制御することなく、さまざまな DUT の特性を発生又はエミュレーションすることができる。

【0105】

さらに別の実施形態として、図 4 に示される第 4 の実施形態についても、上記の各種の応用を同様に実施することができる。ここで、図 4 の電圧電流特性発生器 400 は、図 1 と比べて、電圧源 102 が誤差増幅器 402 で構成され、電流源 104 が誤差増幅器 404 で構成され、セクタ 406 は誤差増幅器 402、404 の出力のいずれかをコントローラ 414 からの制御線 450 にしたがって選択して出力する。セクタ 406 からの出力はパワーアンプ 408 で増幅され、電流センス部 410 及び電圧センス点 412 を介して出力される。ここで、電流センス部 410 は電流値 I_{meas} を検出し、経路 440 を介して誤差増幅器 404 に接続されて、センスした電流値をフィードバックしている。電流センス部 410 は、例えば、電流検出抵抗で構成されて、その電流検出抵抗の両端の電圧差を誤差増幅器により I_{meas} 信号として出力するように構成することができる。電圧センス点 412 は、経路 430 を介して誤差増幅器 402 に接続されて、電圧 V_{meas} をフィードバックする。

【0106】

コントローラ 414 は、経路 430 から分岐した経路 432 を介して V_{meas} を受け取り、また、経路 440 から分岐した経路 442 を介して I_{meas} を受け取り、図 8 のアルゴリズム 800 と同様な動作を行い、電圧源用誤差増幅器 402 への設定電圧 V_{SET} を出力し、あるいは、電流源用誤差増幅器 404 への設定電圧 I_{SET} を出力する。

【0107】

ここで、コントローラ 414 は、経路 442 からの電流フィードバックを出力抵抗による電圧降下を制御するために用いて設定電圧値 V_{SET} を出力し、経路 442 からの電圧フィードバックを出力抵抗による漏れ電流を制御するために用いて電流設定値 I_{SET} を出力する。

【0108】

また、コントローラ 414 は、図 1 と同様に外部パラメータ入力 420 及び外部出力 422 を備え、それらについての動作も図 1 の第 1 の実施形態についての説明と同様である。

【0109】

コントローラ 414 は、プロセッサ 416 とそのプロセッサに接続されたメモリ 418 を備え、図 1 のプロセッサ 112 及びメモリ 114 と同様な動作を行う。

【0110】

電圧電流特性発生器 400 の構成によれば、図 1 について説明した各種の応用を実施することができることは、理解されよう。

【0111】

以上のように、図 4 に示される第 4 の実施形態によれば、電圧源用誤差増幅器 402 と電流源用誤差増幅器 404 とのいずれかをセクタ 406 で選択する構成により、さまざまな DUT の特性を発生又はエミュレーションすることができる。

【0112】

さらに別の実施形態として、図 5 に示される第 5 の実施形態についても、上記の各種の応用を同様に実施することができる。ここで、図 5 の電圧電流特性発生器 500 は、図 4 と比べると、セクタ 406 の代わりに、比較器 506 が誤差増幅器 402 及び 404 か

10

20

30

40

50

らの信号のうち、大きい方を選択してパワーアンプ408に出力し、コントローラ514は比較器を制御する出力を備えていない。そのため、コントローラ514内のプロセッサ516及びメモリ518も、比較器への出力を備えない点が図4と異なっている。

【0113】

また、コントローラ514は、図2と同様に、次の動作点での動作モードを決定したら、そのモードの値に従って、動作モードで指定されない方の電圧源用誤差増幅器402または電流源用誤差増幅器404の出力を0（ゼロ）または不活性値とするような値を出力するような制御を行うこともできる。

【0114】

以上のように、図5に示される第5の実施形態によれば、電圧源用誤差増幅器402と電流源用誤差増幅器404とからの信号を比較器506で比較し、選択する構成により、コントローラ514から比較器506を制御することなく、さまざまなDUTの特性を発生又はエミュレーションすることができる。

10

【0115】

さらに別の実施形態として、図6に示される第6の実施形態についても、上記の各種の応用を同様に実施することができる。ここで、図6の電圧電流特性発生器500は、図5と比べると、加算器606が誤差増幅器602及び604からの信号を加算してパワーアンプ408に出力し、コントローラ614は加算器を制御する出力を備えていない。

【0116】

加算器606は、電圧源用誤差増幅器602または電流源用誤差増幅器604からの信号を加算して出力する。そのため、誤差増幅器602及び604は、加算に適するように電圧-電流変換された出力とすることができる。

20

【0117】

また、加算器606は、加算効果を得ることができる、単なる接続ノードとすることもできる。

【0118】

コントローラ614は、次の動作点での動作モードを決定したら、そのモードの値に従って、動作モードで指定されない方の電圧源用誤差増幅器602または電流源用誤差増幅器604への設定値を0（ゼロ）に重み付けする制御またはその他の重み付け制御をすることにより、加算器606からの出力を換算し直さなくても良いように構成することができる。

30

【0119】

以上のように、図6に示される第6の実施形態によれば、電圧源用誤差増幅器602と電流源用誤差増幅器604とからの信号を加算器606で加算して出力する構成により、コントローラ614から加算器606を制御することなく、さまざまなDUTの特性を発生又はエミュレーションすることができる。

【0120】

以上のように、本発明の実施形態に沿って説明したが、当業者には、上述の説明は例示を目的としたものであり、その思想を逸脱することなく、さまざまな変更あるいは置き換えをすることができ、そのような範囲も本発明に含まれることを理解されよう。例えば、電圧源は、出力特性あるいは能力により2個以上の電圧源により構成することができる。また、電流源は、出力特性あるいは能力により2個以上の電流源により構成することができる。同様に、電圧源用誤差増幅器も、出力特性あるいは能力により2個以上の電圧源用誤差増幅器により構成することができる。また、電流源用誤差増幅器も、出力特性あるいは能力により2個以上の電流源用誤差増幅器により構成することができる。

40

【符号の説明】

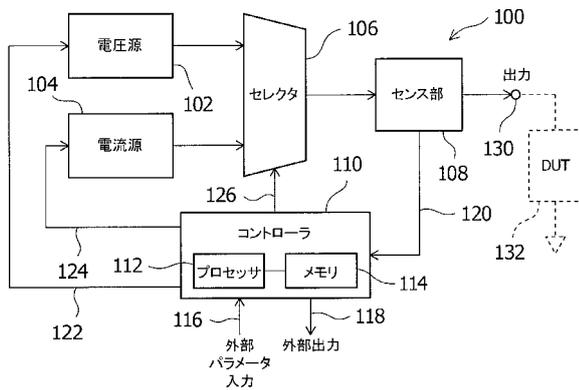
【0121】

- 100 電圧電流特性発生器
- 102 電圧源
- 104 電流源

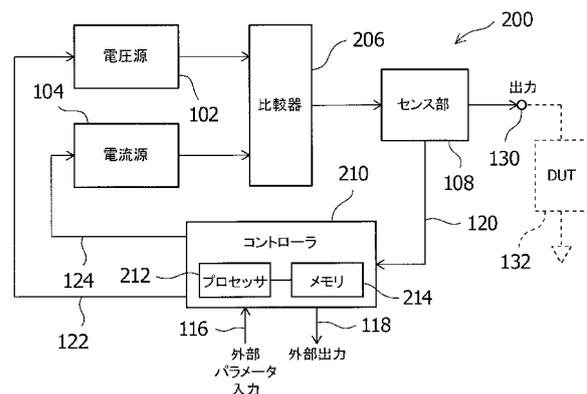
50

- 106 セレクタ
- 108 センス部
- 110 コントローラ
- 112 プロセッサ
- 114 メモリ
- 116 外部パラメータ入力
- 118 外部出力
- 120、122、124、126 経路

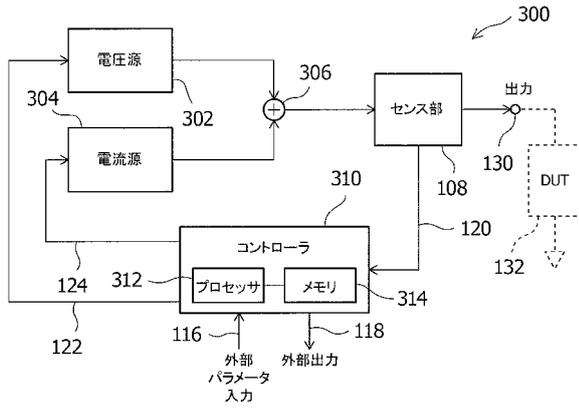
【図1】



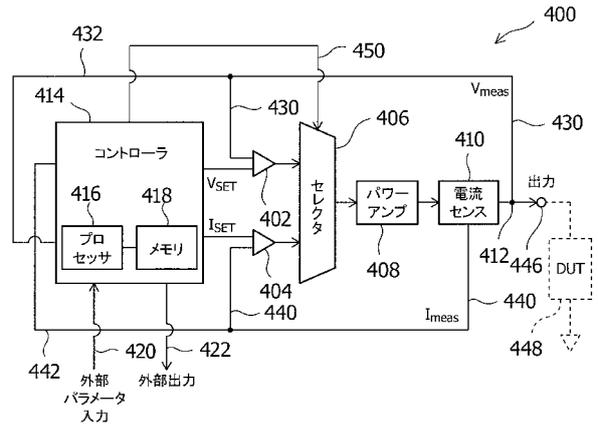
【図2】



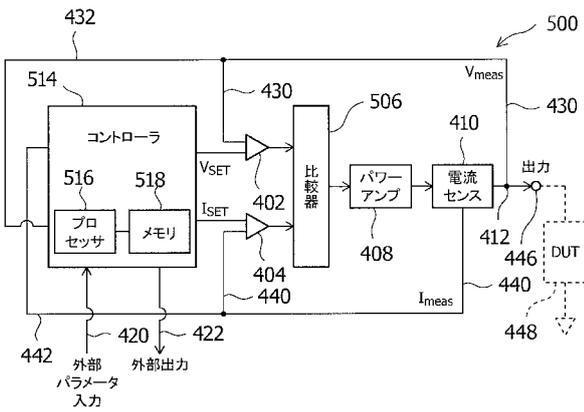
【図3】



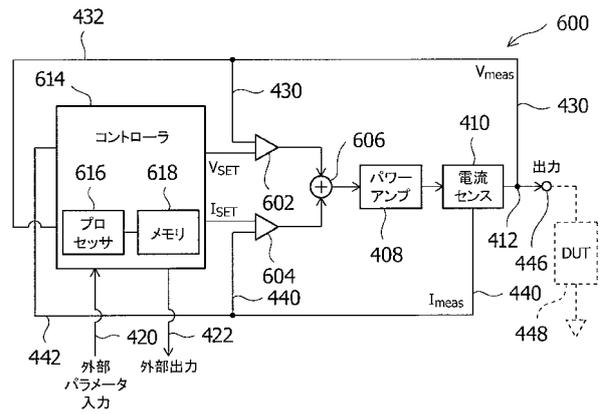
【図4】



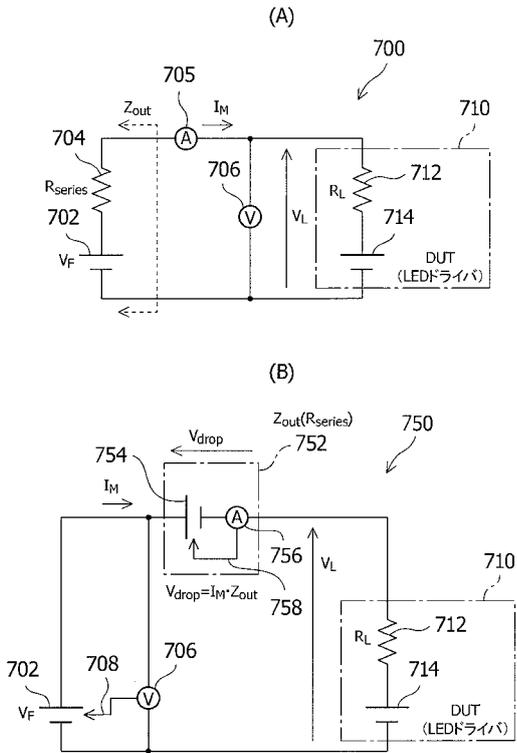
【図5】



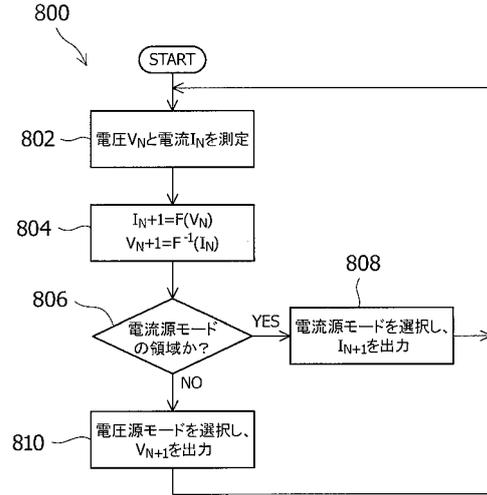
【図6】



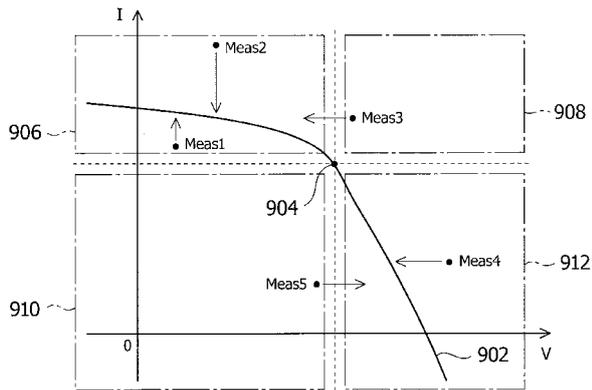
【 図 7 】



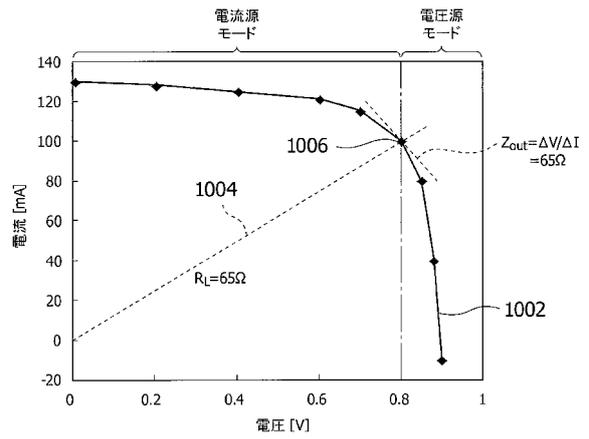
【 図 8 】



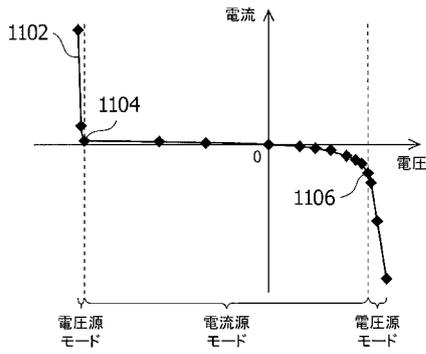
【 図 9 】



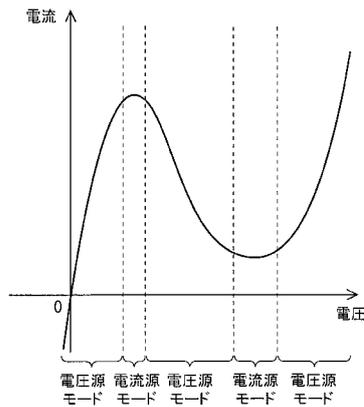
【 図 10 】



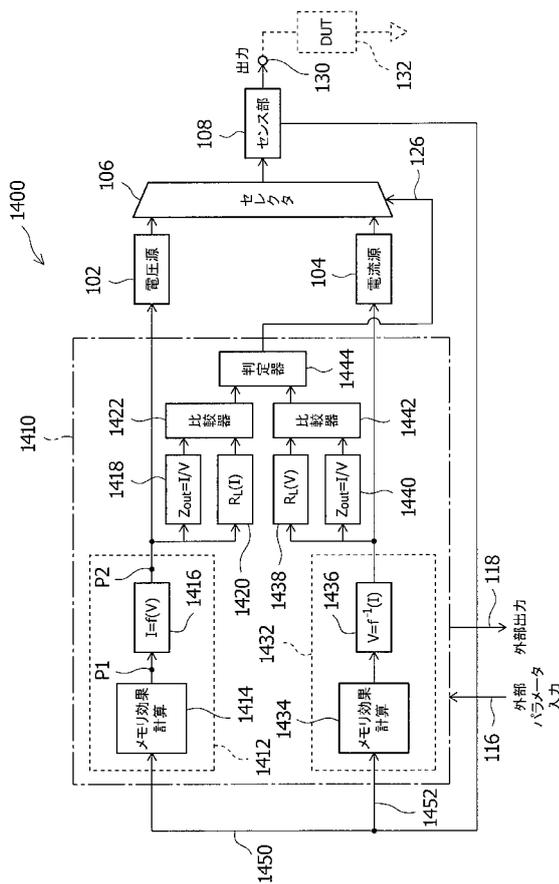
【図11】



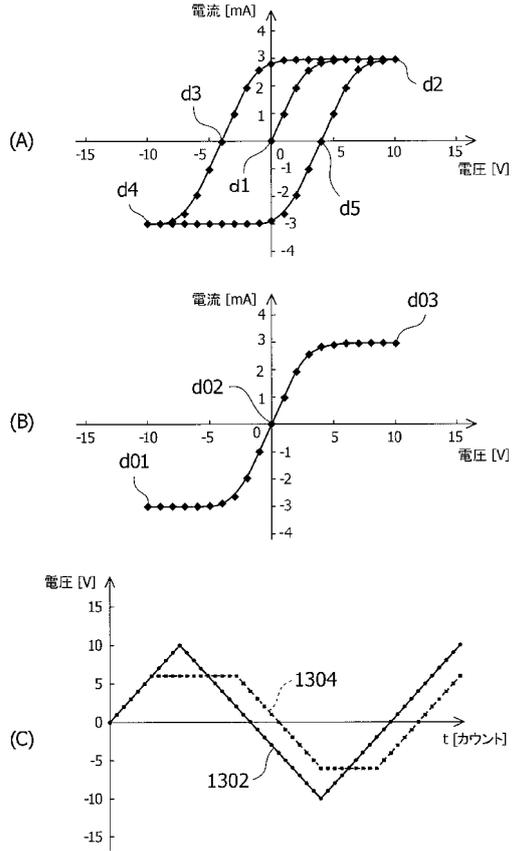
【図12】



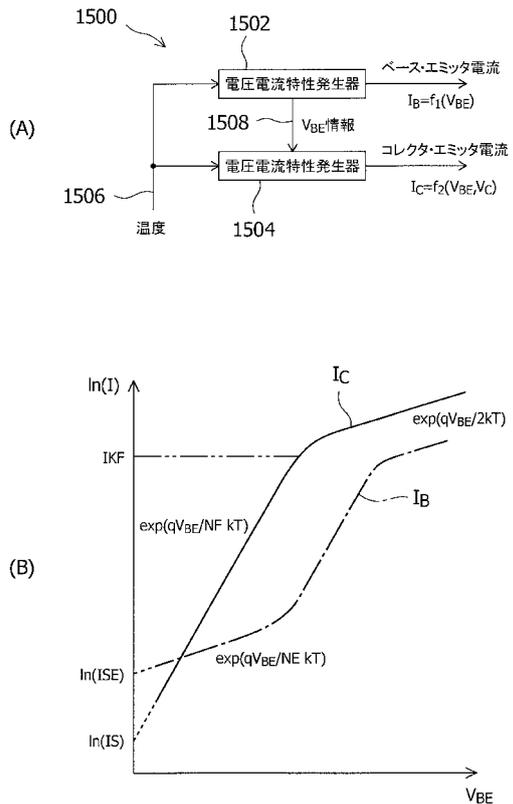
【図14】



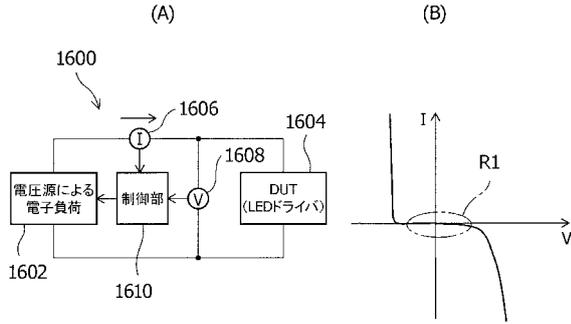
【図13】



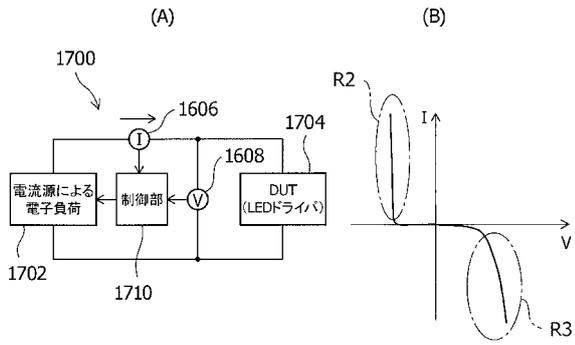
【図15】



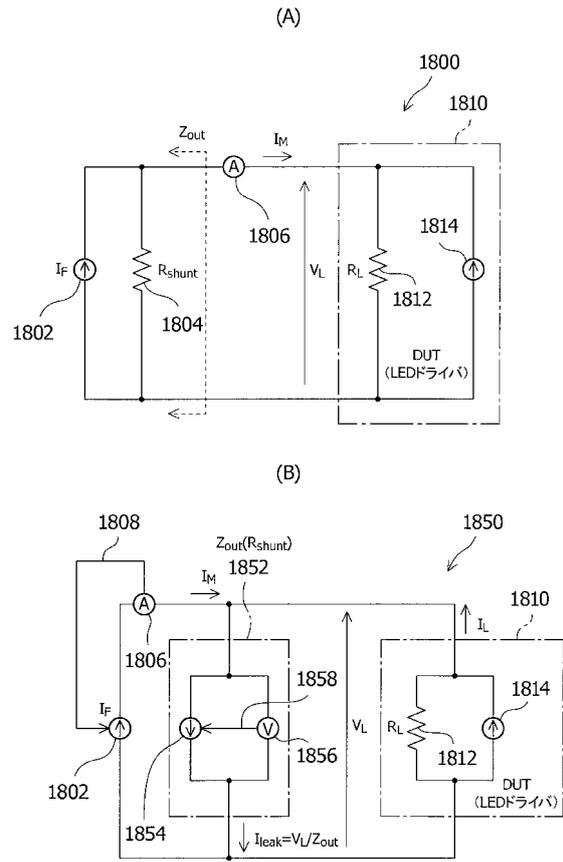
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



フロントページの続き

(74)代理人 100125380

弁理士 中村 綾子

(74)代理人 100142996

弁理士 森本 聡二

(74)代理人 100154298

弁理士 角田 恭子

(74)代理人 100166268

弁理士 田中 祐

(74)代理人 100170379

弁理士 徳本 浩一

(74)代理人 100161001

弁理士 渡辺 篤司

(72)発明者 北垣 高士

東京都八王子市高倉町9番1号アジレント・テクノロジー・インターナショナル株式会社内

Fターム(参考) 2G003 AA06 AE10