

(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2004-15807

(P2004-15807A)

(43) 公開日 平成16年1月15日(2004.1.15)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H04L 1/20F I  
H04L 1/20テーマコード (参考)  
5K014

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2003-157895 (P2003-157895)  
 (22) 出願日 平成15年6月3日 (2003.6.3)  
 (31) 優先権主張番号 10/162405  
 (32) 優先日 平成14年6月3日 (2002.6.3)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(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パロアルト  
 ページ・ミル・ロード 395  
 395 Page Mill Road  
 Palo Alto, California  
 U. S. A.  
 (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

最終頁に続く

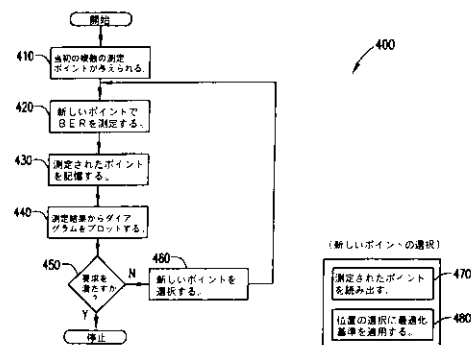
(54) 【発明の名称】 変量間の関係を表わしたダイアグラムの作成方法及び装置

## (57) 【要約】

【課題】 限られた数の測定ポイントから短時間に正確なダイアグラムを作成する。

【解決手段】 ダイアグラム 80 を最初に作成するために変量間の関係が測定される少なくとも 1 つの当初の測定ポイント 61、62、63、64 を与えるステップ 410 と、少なくとも 1 つの当初の測定ポイント 61、62、63、64 の関数として、前記変量間の関係が測定されることになる少なくとも 1 つの位置 71a、72a を選択するステップ 440 と、少なくとも 1 つの位置 71a、72a における前記変量間の関係を測定して、ダイアグラム 80 をさらに作成するために、少なくとも 1 つのさらなる測定ポイント 71b、72b を与えるステップ 460 とを含む、変量間の関係を表わしたダイアグラム 80 の作成方法を提供する。

【選択図】 図 2 4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ダイアグラムを最初に作成するために変量間の関係を測定するための少なくとも 1 つの当初の測定ポイントを与えるステップと、  
該少なくとも 1 つの当初の測定ポイントの関数として、前記変量間の関係を測定するための少なくとも 1 つの位置を選択するステップと、  
該少なくとも 1 つの位置における前記変量間の関係を測定して、前記ダイアグラムをさらに作成するために、少なくとも 1 つのさらなる測定ポイントを提供するステップと  
含んでなる、変量間の関係を表わしたダイアグラムの作成方法。

## 【請求項 2】

前記関数が、前記少なくとも 1 つの当初の測定ポイントの位置の関数と、前記少なくとも 1 つの位置で測定を実施するのに必要な時間の関数とダイアグラムを作成するための指定の総時間の関数と前記変量の少なくとも 1 つの値の関数とのうちの少なくとも 1 つとを含むものである請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記関数が最適化関数を含んでおり、該最適化関数が、追加測定ポイントと前に測定された測定ポイントとの間の距離を最長にすることと、低ビット誤り率値の測定数を最小にすることとの少なくともいずれかを含むものである請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 4】

前記変量が、選択値に設定可能な制御変量と、該制御変量に設定される該選択値によってその値が決められる出力変量とを含み、前記選択するステップが、前記少なくとも 1 つの当初の測定ポイントにおける前記制御変量の値の関数として前記少なくとも 1 つの位置を選択すること、または、前記少なくとも 1 つの当初の測定ポイントにおける前記制御変量と前記出力変量との両方の値の関数として前記少なくとも 1 つの位置を選択することを含む請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記選択するステップと前記測定するステップとを反復するステップをさらに含んでおり、反復される各選択するステップが、前に与えられた全ての測定ポイントの関数として少なくとも 1 つの位置を選択するものである請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 6】

前記ダイアグラムが、しきい値電圧値とデジタル信号のビット誤り率とを前記変量が含むものである V 字曲線ダイアグラムと、オフセット時間値とデジタル信号のビット誤り率とを前記変量が含むものであるバスタブ曲線ダイアグラムと、しきい値電圧値とオフセット時間値とデジタル信号のビット誤り率とを前記変量が含むものであるアイ・ダイアグラムとの 1 つである請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 7】

前記ダイアグラムがアイ・ダイアグラムを含んでおり、前記アイ・ダイアグラムの推定ビット誤り率曲面の関数と、前記アイ・ダイアグラムの推定ビット誤り率曲面の基準化を施したバージョンの関数と、前記アイ・ダイアグラムの推定ビット誤り率曲面の対数関数と、前記アイ・ダイアグラムの推定ビット誤り率曲面の基準化を施したバージョンの対数関数とである前記関数が、前記アイ・ダイアグラムの推定ビット誤り率曲面の関数の 1 つである請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 8】

前記ダイアグラムがアイ・ダイアグラムを含んでおり、前記関数が定ビット誤り率の等高線の関数を含むものであって、該等高線の関数が、フィルタリングを施したバージョンの等高線頂点と、平滑化を施したバージョンの等高線頂点と、等高線頂点に対する数値関数の当てはめと、最もうまく当てはまるデータによって決まる複数の関数の 1 つとを含むものである請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 9】

ダイアグラムを作成するために前に与えられた全ての測定ポイントの関数として、変量間

10

20

30

40

50

の関係が測定されることになる少なくとも1つの位置を選択するためのセレクトと、該少なくとも1つの位置のそれぞれで前記変量間の関係を測定して、前記ダイアグラムをさらに作成するために、少なくとも1つのさらなる測定ポイントを与えるテストとを含んでなる、変量間の関係を表わしたダイアグラムを作成するための装置。

【請求項10】

前記変量の1つがデジタル信号のビット誤り率を含み、前記テストがビット誤り率テストを含むものである請求項9に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般に、変量間の関係を表わしたダイアグラムの作成に関するものであり、特に、デジタル信号のビット誤り率と他の1つ以上の変量との関係を表すダイアグラムを作成するための方法及び装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

通信システムにおいては、いくつかの要素が、伝送される信号の質を劣化させる原因となる可能性がある。例えば、信号の質は、信号を変調し、信号を伝送し、信号を検出するメカニズムの1つ以上の結果として劣化する可能性がある。通信システムにおける信号劣化を評価することによって、特定のシステムの性能を検証し、その評価から得られる情報を利用して、新規のシステムを開発することができる。

【0003】

先行技術文献に記載されているように、ビット誤り率テスト (Bit Error Rate Tester: BERT) は、デジタル通信システムの性能を評価するためによく利用される (例えば、非特許文献1を参照)。ビット誤り率テストは、被試験対象 (Device Under Test: 以下、「DUT」とよぶ) に関連したある特定の設定の制御変量について、ビット誤り率 (Bit Error Rate: 以下、「BER」とよぶ) を測定する。特定の制御変量のさまざまな値と対比してBERをグラフ化することによって、ユーザは、ある特定のBERに関するその変量のマージンを明らかにすることができる。

【0004】

典型的な測定手順によって、「V字曲線」や「バスタブ曲線」や「アイ・ダイアグラム」と呼ばれるダイアグラムが結果として得られる。V字曲線を作成するため、ユーザは、他の変量を一定に保ちながら、しきい値電圧を変動させる。バスタブ曲線を作成するため、ユーザは、他の変量を一定に保ちながら、ビット・タイミングを変動させる。アイ・ダイアグラムを作成するため、ある表現のBERが1対の制御変量と対比してグラフ化される。例えば、x軸に沿ってオフセット時間をグラフ表示し、y軸に沿ってしきい値電圧をグラフ表示することができる。そして、グラフに示される点におけるBERは、カラー・マップ、等高線図、または、何らかの3次元表現等のさまざまな方法により表現することができる。

【0005】

【非特許文献1】

D. Derickson ed., 「Fiber Optic Test and Measurement」、Hewlett-Packard Professional Books、Upper Saddle River, NJ, 07458, Prentice Hall PTR, 1998

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、限られた数の測定ポイントで短時間に正確なダイアグラムを作成するための方法及び装置を提供する。

【0007】

**【課題を解決するための手段】**

本発明による実施態様によれば、限られた数の測定ポイントで、時間期間を短縮して、正確なダイアグラム作成を可能にする、変量間の関係を表わしたダイアグラム作成方法及び装置が得られる。

**【0008】**

本発明による変量間の関係を表わしたダイアグラム作成方法では、最初に、ダイアグラム作成のため、変量間の関係を測定するための少なくとも1つの当初の測定ポイントが与えられる。次に、変量間の関係が測定されることになる少なくとも1つの位置が選択されるが、この少なくとも1つの位置は、少なくとも1つの当初の測定ポイントの関数として選択される。そして、前記少なくとも1つの位置において、変量間の関係が測定され、ダイアグラ

10

**【0009】**

変量間の関係が測定されることになる位置をうまく (*intelligently*) 選択することによって、変量間の関係を正確に表わすダイアグラムを効率よく作成することができるようになることが分っている。例えば、測定ポイントのうまい選択によって、ダイアグラムの正確な作成に必要な測定ポイント数を減少することができ、従来のダイアグラム作成手順による場合よりも、ダイアグラム作成時間を短縮することができる。

**【0010】**

さらに、本発明によれば、上述のものに加えて、または、その代わりに、他の特徴及び他の利点を備えた実施態様が得られる。これらの特徴及び利点の多くは、添付の図面に関連した以下の説明から明らかになるであろう。

20

**【0011】****【発明の実施の形態】**

本発明による実施態様によれば、従来のダイアグラム作成手順と比較すると、利用される測定ポイント数を制限し、時間量を短縮して、正確なダイアグラムを作成することができる、変量間の関係を表わしたダイアグラムの作成方法及び装置が得られる。

**【0012】**

詳細な説明を提示する前に、本発明の明確な理解を容易にするため、本明細書において利用されるいくつかの用語について定義するのが有用であろう。

**【0013】**

B E Rとは、ビット誤り率/ビット誤り比率である。基本的に、誤って受信したビット数を全受信ビット数で割った割合である。

30

**【0014】**

アイ・ダイアグラム (*Eye diagram*) / アイ・マップ (*Eye map*) / アイ等高線 (*Eye Contour*)とは、ビット誤り比率/率の値対2つの制御変量の3次元マップである。伝統的なアイ・ダイアグラムは、オシロスコープを利用して作成される。デジタル・オシロスコープでは、データ(またはデータから導き出されるクロック)に対してオシロスコープをトリガし、長い持続性特徴を利用して、2次元グラフが生成される。オシロスコープのトレースが、特定のピクセルを通過すると、「ピクセル・データベース (*pixel database*)」のカウントが増加する。所定のピクセルの出現頻度を示すため、ピクセル上のフォールス・カラーを用いて、第3の次元が生成される。データ曲線からのピクセル分布は、一般に、目 (*Eye*) に似ており、目の開放空間の量によって、ビット誤り率の推定値が得られる。本願書の目的上、「アイ・ダイアグラム (*Eye diagram*)」は、2つの制御変量のさまざまな値に関するB E Rを測定するB E Rテストによって生成される。そして、B E R測定値が、2次元グリッドで作図される。第3の次元は、3次元曲面表現によって、2次元グリッドに対する疑色マップ (*false color map*) によって、または、2次元グリッドに対する等高線マップによって表現することができる。これらは、「アイ・マップ (*Eye map*)」または「アイ等高線 (*Eye contour*)」と呼ばれる場合もある。

40

**【0015】**

50

フィルタリングとは、データから、一般にはある周波数に関連した所定の成分を取り除く方法である。低域フィルタリングと高域フィルタリングと帯域通過フィルタリングとが、比較的に一般的である。これらは、それぞれ、低周波と高周波と指定周波数内のデータを通過させる。サンプル値データのフィルタリングは、データと前回のデータ値とを何らかのやり方で組み合わせることによって行われる。すなわち、フィルタリングでは、因果関係のあるデータ (causal data) だけしか利用されない。この組み合わせは線形であることが多い。

#### 【0016】

平滑化とは、因果的データと非因果的データの両方が考慮されるという点を除けば、フィルタリングと同様である。すなわち、時間  $t_k$  におけるデータ・サンプルの平滑化では、 $t_k$  前及び  $t_k$  後の時間におけるサンプルを利用することができる。

#### 【0017】

曲面とは、本願書の目的上、2つの（または、それを超えうる）変量の関数を表わしている。曲面のグラフは、3次元ダイアグラムである。以下の説明において、2つの入力変量は、しきい値電圧オフセットと時間オフセットとであることがほとんどである。そのポイントにおける関数の出力、すなわち曲面值が、ビット誤り率である。

#### 【0018】

曲線の当てはめとは、本願書の目的上、解析関数のパラメータが、ポイントの集合と解析関数によって生じるポイントとの距離を最小限にするように調整される処理である。

#### 【0019】

（数1）は、距離測定値の1つの形式である、 $p$  ノルムである。長さ  $n$  のベクトル、例えば、 $u = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_n]$  について、 $p$  ノルムは、（数2）のように計算される。 $p = 1$  の場合には、 $p$  ノルムは、ベクトル要素の絶対値の和に相当する。 $p = 2$  の場合には、 $p$  ノルムは、（複素数の場合には）あるベクトルとその移項した複素共役との積に相当し、ユークリッド距離の計算に利用される。 $p =$  の場合には、 $p$  ノルムは、最大絶対値を備える単一要素を選択する。

#### 【数1】

$$\|\cdot\|^p:$$

#### 【数2】

$$\|u\|^p = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^n |u_i|^p}.$$

#### 【0020】

ラスタとは、本願書の目的上、一様な間隔のステップによる、矩形領域の順次掃引 (sequential sweep) である。測定ポイントを生じるラスタ法では、結果として、（一般的な）ある矩形領域にわたって均一な測定ポイントのグリッドが得られることになる。

#### 【0021】

ビット誤り率テスト (BERT) は、デジタル通信システムの性能を評価するために利用される場合が多い。図1は、かなり単純化した形でビット誤り率テストを略示したブロック図である。テストは、全体が参照番号10で表示されており、DUT16を介して互いに接続された、パターン生成器12とエラー解析器14とを含んでいる。DUTは、例えば、デジタル光伝送システム等のデジタル通信システムの1つ以上のコンポーネントとすることができる。パターン生成器12は、DUTに入力するための所定のデータ・パターンを生成する。エラー解析器14は、DUTからデータ・パターンを受信して、受信したデータ・パターンと所定のデータ・パターンとを比較し、本明細書及び当該技術において「ビット誤り率」と呼ばれることが多いビット誤り比率 (BER) を測定する。

## 【 0 0 2 2 】

パターン生成器 1 2 は、データ生成をトリガするクロック源 1 8 を含んでいる。ビット誤り率テストを行うため、エラー解析器 1 4 は、パターン生成器からのデータ・ストリームと同じ速度で計時される。エラー解析器 1 4 の計時は、図 1 のクロック回復 2 0 によって表わされており、線 2 2 で示すように、パターン生成器 1 2 をトリガするクロック源 1 8 によってエラー解析器 1 4 をトリガするか、または、線 2 4 で表わすように、データから回復したクロックでエラー解析器を作動させることによって実施される。計時の選択は、特定の用途とパターン生成器 1 2 に対するエラー解析器 1 4 の近接性によって決まる。ビット誤り率テストは、エラー解析器とパターン生成器との物理的離隔距離が、例えば、数百マイルまたは数千マイル等の遠距離であったとしても実施することができる。このよ 10  
うな状況では、データからのクロックの回復は、より可能性の高い選択である。パターン生成器及びエラー解析器が互いに近接して配置されている場合には、パターン生成器及びエラー解析器は同じクロック源による供給を受けることができる。

## 【 0 0 2 3 】

図 1 に例示のようなビット誤り率テストの場合には、パターン生成器 1 2 から D U T 1 6 に送られるデータ・パターンは、よく知られたパターンである。最も一般的なタイプのパターンは、擬似ランダム・ビット・シーケンス ( P s e u d o R a n d o m B i t S e q u e n c e : 以下、「 P R B S 」とよぶ) と、擬似ランダム・ワード・シーケンス ( P s e u d o R a n d o m W o r d S e q u e n c e : 以下、「 P R W S 」とよぶ) と、メモリ・ベース・パターンとを含む。メモリ・ベース・パターンは、テスト中に 20  
順次読み出されるように、テスト実施前に、メモリへとロードされるパターンである。

## 【 0 0 2 4 】

ビット誤り率テスト 1 0 は、例えば、電圧やタイミング等の D U T に関連したある特定の設定の制御変量に関する B E R を測定する。ある特定の設定の制御変量に関して B E R を測定する能力が確立されると、ユーザは、多くの場合には、D U T のエラー・マージンの測定を要望する。これを行うため、ユーザは、1 つ以上の制御変量を変更して、各設定における B E R を測定する。例えば、B E R と特定の制御変量のさまざまな値を対比してグラフ化することによって、ユーザは、例えば、ある特定の B E R に関するその変量のマージンを設定することができる。

## 【 0 0 2 5 】

典型的な測定手順の 1 つでは、結果として、「V 字曲線 ( V c u r v e ) 」と呼ばれるダイアグラムが得られる。この測定手順の場合には、ユーザは、他の変量を一定に保ちながら、しきい値電圧だけを変化させる。B E R の測定結果に対してしきい値電圧をグラフ化すると、一般に、「V 字」に似た曲線が形成されるが、V 字の先端が欠けて、先端を切り取ったような V 字を形成する場合もある。x 軸に沿ってしきい値電圧をグラフ表示し、y 軸に沿って B E R をグラフ表示すると、ユーザは、許容可能な B E R レベルを発見し、そして、ダイアグラムを水平方向に走査して、その B E R における電圧マージンを求めることができる。図 2 には、限られた数の測定ポイントを利用し、極めてノイズ・フロアの低いハードウェアで行われた測定によって作成された、典型的な V 字曲線ダイアグラム 3 0 が例示されている。図 3 には、より多くの測定ポイントを利用し、ノイズ・フロアの 40  
高いハードウェアで行われた測定によって作成された、典型的な V 字曲線ダイアグラム 3 5 が例示されている。留意すべきは、図 3 の曲線における V 字の開きが、図 2 の曲線における V 字の開きに比べてかなり狭いという点である。

## 【 0 0 2 6 】

もう 1 つのタイプの測定手順によれば、結果として、「バスタブ曲線 ( B a t h t u b C u r v e ) 」として知られるダイアグラムが得られる。この測定手順では、ユーザは、他の全ての変量を一定に保ちながら、ビット・タイミングだけを変化させる。B E R の測定結果対オフセット時間をグラフ化すると、一般に、「バスタブ ( B a t h t u b ) 」の輪郭に似た曲線が形成されるが、先端が欠ける場合もある。x 軸に沿ってオフセット時間をグラフ表示し、y 軸に沿って B E R をグラフ表示すると、ユーザは、許容可能な B E R 50

レベルを発見し、そして、ダイアグラムを水平方向に走査して、そのBERにおけるタイミング・マージンを求めることができる。図4には、限られた数の測定ポイントを利用し、極めてノイズ・フロアの低いハードウェアで行われた測定によって作成された、典型的なバスタブ曲線ダイアグラム40が例示されている。図5には、より多くの測定ポイントを利用し、ノイズ・フロアの高いハードウェアで行われた測定によって作成された、典型的なバスタブ曲線ダイアグラム45が例示されている。ここで留意すべきは、図5のバスタブ曲線の底部における開きが、図4のバスタブ曲線の底部における開きに比べて狭いという点である。

#### 【0027】

第3の測定手順によれば、「アイ・ダイアグラム (Eye diagram)」として知られるダイアグラムが得られる。アイ・ダイアグラムは一般に、オシロスコープに関連するが、BERに対する1対の制御変量を何らかの表現によりグラフ化することによって、「アイ・マップ (Eye map)」または「アイ等高線 (Eye contour)」と呼ばれる場合もある、BERTバージョンのアイ・ダイアグラムを生成することもできる。例えば、x軸に沿ってオフセット時間をグラフ表示し、y軸に沿ってしきい値電圧をグラフ表示することができる。そして、グラフに示される点におけるBERは、カラー・マップ、等高線図、または、さまざまな3次元表現の任意の1つであるようなさまざまな方法により表現することができる。

#### 【0028】

図6～図9には、x軸に沿ってオフセット時間がグラフ表示され、y軸に沿ってしきい値電圧がグラフ表示され、BERが等高線図として表現される、典型的なアイ・ダイアグラムが例示されている。すなわち、図6には、ノイズ・フロアの極めて低いハードウェアで、(48ポイントに) サンプル・ポイントを制限して行われた測定による典型的なアイ・ダイアグラム50が例示されている。図7には、やはり、ノイズ・フロアの極めて低いハードウェアで行われたが、より多くの測定ポイント(377ポイント)を用いた、測定による典型的なアイ・ダイアグラム51が例示されている。図8には、ノイズ・フロアの低いハードウェアで、サンプリング・ポイントを(48ポイントに) 制限して行われた測定による典型的なアイ・ダイアグラム55が例示されている。ノイズ・フロアを備えた高いハードウェアで行われたが、より多くのサンプリング・ポイント(322ポイント)を用いた、測定による典型的なアイ・ダイアグラム56が図9に例示されている。留意すべきは、図8及び図9のダイアグラムにおける「目」の開き、すなわち、ダイアグラムの開放部分が、図6及び図7のダイアグラムにおける「目」の開きに比べて狭いという点である。

#### 【0029】

図2及び図3におけるV字曲線ダイアグラムや、図4及び5におけるバスタブ曲線ダイアグラムや、図6～図9におけるアイ・ダイアグラム等の変量間の関係を表わしたダイアグラムを作成するには、複数の測定ポイントをグラフで示す必要がある。図2及び図3における測定ポイントのそれぞれは、特定のしきい値電圧におけるBERを表わしている。同様に、図4及び図5における測定ポイントのそれぞれは、特定のオフセット時間におけるBERを表わしており、図6～図9における測定ポイントのそれぞれは、BERと特定のしきい値電圧及び特定のオフセット時間との関係を表わしている。図2～図9から当然明らかなように、ダイアグラムの作成に用いられる測定ポイント数が多くなるほど、ダイアグラムが変量間の関係を表わす正確度が増すことになる。しかしながら、図からも当然に明らかなように、追加測定ポイントの多くは、ほとんど追加情報をもたらさないという傾向がある。

#### 【0030】

例えば、特定のしきい値電圧または特定のオフセット時間におけるビット誤り率等の特定のビット誤り率を明らかにするには、ある数のビット・エラーを測定しなければならない。ビット誤り率が高い場合には、ビット誤り率を統計的に明らかにするのに十分な数のビット・エラーの測定は比較的容易に実施することができる。一方、ビット誤り率が低い

場合には、ビット誤り率を統計的に明らかにするために必要な時間は、途方もないものになる可能性がある。

【 0 0 3 1 】

例えば、ビット誤り率が  $10^{-6}$ （すなわち、 $10^6$  ビット毎に 1 ビットのエラー）の信号において 100 のビット・エラーを測定するには、約  $10^8$  ビットほどの測定が必要になる。ビット・レートが 10 Gbps の場合には、これは約 0.01 秒が必要であろう。一方、ビット・レートが 10 Mbps の場合には、測定には約 10 秒が必要になる。（表 1）には、さまざまなビット・レート及びエラー・レートに関する、10 ビット・エラー及び 100 ビット・エラーのさまざまな測定時間が例示されている。（表 1）から明らか

10

【 0 0 3 2 】

【 表 1 】

Error Rate	Bit Rate	<b>Measurement Time</b>	
		10 Errors	100 Errors
$10^{-6}$	10 Mbps ( $10^7$ bps)	1 s	10 s
$10^{-6}$	10 Gbps ( $10^{10}$ bps)	0.001 s	0.01 s
$10^{-9}$	10 Gbps ( $10^{10}$ bps)	1 s	10 s
$10^{-9}$	40 Gbps ( $4 \times 10^{10}$ bps)	.25 s	2.5 s
$10^{-10}$	40 Gbps ( $4 \times 10^{10}$ bps)	2.5 s	25 s
$10^{-11}$	40 Gbps ( $4 \times 10^{10}$ bps)	25 s	250 s
$10^{-12}$	40 Gbps ( $4 \times 10^{10}$ bps)	250 s	2500 s

20

Table 1

30

【 0 0 3 3 】

測定手順によっては、ビット誤り率を求めるためのビット・エラー測定時間が、ダイアグラムの作成に要する測定時間全体を短縮するため、制限される場合もある。特に、ビット誤り率が低い場合には、制限された時間では、正確なビット誤り率を統計的に明らかにするのに十分なビット・エラーの測定を可能にするには不十分な場合があり、この結果、不正確なダイアグラムが作成される場合がある。

40

【 0 0 3 4 】

図 10 A ~ 図 11 C には、本発明の実施態様に従って V 字曲線ダイアグラムを作成するための方法のステップが図示されている。すなわち、図 10 A ~ 図 11 C は、例えば、図 1 に例示のようなビット誤り率テストを利用して、DUT からのデジタル信号のビット誤り率 (BER) としきい値電圧との関係を表わした V 字曲線ダイアグラム 80 (図 11 C に示す) を作成するための方法のステップを例示したグラフである。図 10 A ~ 図 11 C には、x 軸に沿ってオフセット電圧がグラフ表示され、y 軸に沿って BER がグラフ表示されている。

【 0 0 3 5 】

この方法の最初のステップとして、しきい値電圧と BER との関係を表わす、少なくとも

50



1つの当初の測定ポイントが指定される。図10A～図11Cに例示の実施態様の場合には、4つの当初の測定ポイント61、62、63、64が指定される。これは、単なる例証を意図したものでしかない。少なくとも1つの当初の測定ポイントは、作成されるダイアグラムの性質と、特定ユーザの要求と、他の要素とに従って、任意の数の測定ポイントとすることができる。しかし、V字曲線ダイアグラムを作成する場合には、通常、当初の測定ポイントによって形成される、図10Aにおける初期V字曲線ダイアグラム60等のV字曲線ダイアグラムを可能にするには、少なくとも1つの測定ポイントは、少なくとも4つの当初の測定ポイントが望ましいということになる。

#### 【0036】

当初の複数の測定ポイント61～64は、所望のしきい値電圧を測定し、次に、選択されたしきい値電圧値のそれぞれにおいてBERを測定することによって指定可能である。このようにして当初の測定ポイントを指定すると、しきい値電圧が、制御変量をなし、BERは出力変量をなすことになる。あるいはまた、所望のBER値を選択し、選択されたBER値のそれぞれについて、しきい値電圧を測定することができる。このようにして測定ポイントを指定すると、BERが制御変量をなし、しきい値電圧は出力変量をなすことになる。

#### 【0037】

出力変量値を測定することになる制御変量値の選択は、1つ以上の判定基準に基づくことができる。例えば、V字曲線ダイアグラムを作成する場合には、通常は、まず、当初の測定ポイントによってV字曲線の両方のアームを形成することができるよう、正と負の両方のしきい値電圧値を備える当初の測定ポイントを指定することが望ましい。また、初期V字曲線ダイアグラムが、ダイアグラムの測定領域全体の大部分をカバーするように、互いにかなりの間隔をあけた位置に当初の測定ポイントを指定することが望ましい場合もある。さらに、（例えば、BER値が比較的に高い位置で）しきい値電圧とBERとの関係を比較的に容易に測定することができる制御変量値を選択するのが望ましい場合もある。

#### 【0038】

当初の複数の測定ポイント61～64の指定が済むと、しきい値電圧とBERとの関係が測定されることになる、少なくとも1つの位置が選択される。少なくとも1つの位置のそれぞれは、当初の複数の測定ポイント61～64の関数として選択される。すなわち、図10Aに示すように、当初の測定ポイント61～64によって、ポイント61及び62と、ポイント63及び64とをそれぞれ接続する描線65及び66によって視覚化可能な初期V字曲線ダイアグラム60が形成される。図10Aに点線で例示されるように、所望の場合には、測定ポイントを越えて線65及び66を延長し、初期V字曲線ダイアグラム60をさらに形成することもできる。そして、初期V字曲線ダイアグラム60を用いて、しきい値電圧とBERとの関係が測定されることになる少なくとも1つの位置が選択される。

#### 【0039】

図10A～図11Cに例示の実施態様の場合には、初期V字曲線ダイアグラム60を用いて、しきい値電圧とBERとの関係が測定されることになる位置71a及び72aが選択される。図10Aに示すように、位置71a及び72aは、測定ポイント61及び62と63及び64の間隔がそれぞれほぼ等しくなるように、初期V字曲線ダイアグラム60の線65及び66上に配置される。そして、位置71a及び72aにおいて変量間の関係を測定して、V字曲線ダイアグラムをより正確に作成するための追加測定ポイントの位置が決定される。上述のように、これは、位置71a及び72aにおいて指定のしきい値電圧値でBERを測定するか、または、位置71a及び72aにおいて指定のBER値に関するしきい値電圧値を測定することによって実施することができる。

#### 【0040】

測定の実施後、追加測定ポイントの実際の位置が分っているので、グラフに示すことで、より正確なV字曲線ダイアグラムの作成が可能になる。従って、図10Bには、当初の複数の測定ポイント61～64と、追加複数の測定ポイント71b及び72bを用いて作成

された、より正確なV字曲線ダイアグラム70が例示されている。

【0041】

図10Bのより正確なV字曲線ダイアグラム70を利用すると、しきい値電圧とBERとの関係が測定されることになるさらなる追加位置を選択して、追加測定ポイントを指定し、V字曲線ダイアグラムの正確度をより高めることができる。このような追加位置が、参照番号75a及び76aで図10Bにより表示されており、改善されたV字曲線ダイアグラム70上の位置をなしている。しきい値電圧とBERとの関係が位置75a及び76aで測定された後には、追加測定ポイントの位置を分っておりグラフに示すことができるので、V字曲線ダイアグラムをさらに改善することができる。図11Cには、前に指定された測定ポイント61～65及び71b及び72bと、追加測定ポイント75b及び76bとを利用して作成された、さらに改善されたV字曲線ダイアグラム80が図示されている。

10

【0042】

図11CにおけるV字曲線ダイアグラム80が、ユーザの特定の要求を満たすのに十分なほど詳細であれば、V字曲線ダイアグラムの作成方法が完了する。しかし、より正確なV字曲線ダイアグラムが所望される場合には、十分に正確なV字曲線ダイアグラムが作成されるまで、しきい値電圧とBERとの関係が測定されることになる追加位置を選択するステップと、追加位置におけるその関係を測定して、追加測定ポイントを指定するステップが、所望の回数だけ繰り返される。より正確なV字曲線ダイアグラムを作成するために、測定を実施することが可能な追加位置の例が、図11Cにおいてポイント77a及び78aにより表示されている。

20

【0043】

一般に、図10A～図11Cに例示の実施態様によれば、V字曲線ダイアグラム80等のV字曲線ダイアグラムは、繰り返し、ステップ・バイ・ステップ式により作成される。各繰り返しの結果として、少なくとも1つの追加測定ポイントが、前に指定された全ての測定ポイントの関数として得られる。換言すると、V字曲線ダイアグラムを作成するための従来の手順により実施されたようなラスタ法を利用して、ダイアグラムを単に作成するのではなく、各繰り返しにおいてしきい値電圧とBERとの関係が測定される位置が、前に指定された測定ポイントの関数に基づいて選択される。

【0044】

測定が行われることになる位置を高機能に選択すると、従来の手順の場合よりも少ない数の測定ポイントを利用して、変量間の関係を正確に表わしたダイアグラムを作成することができる場合が多い。高機能に選択された位置を利用して、測定を行うと、ダイアグラムの作成に必要な時間を大幅に短縮することも可能になる場合が多く、特定ユーザの要求をより十分に満たすダイアグラムの作成ができる。

30

【0045】

しきい値電圧とBERとの関係が測定されることになる位置の選択は、複数の異なる関数のうちの1つ以上に基づくことができる。例えば、位置選択は、前に指定された測定ポイントにおける制御変量の値の関数だけに基づくことができる。このような状況において、制御変量がしきい値電圧の場合には、しきい値電圧値が、前に指定された測定ポイントにおけるしきい値電圧値とは大幅に異なる位置を選択することができ、それらの位置におけるBERを測定して、追加測定ポイントが指定される。前記位置は、前に指定された測定ポイントにおける制御変量と出力変量との両方の値の関数として選択することもできる。このような状況の場合には、しきい値電圧値とBER値との両方が、前に指定された測定ポイントにおけるそれらの値とできる限り大きく異なる位置を選択することができる。

40

【0046】

追加位置は、前に指定された測定ポイントの位置と、しきい値電圧とBERとの関係を測定するのに必要な時間との関数として選択することもできる。前述のように、BER値の高いBERの測定に要する時間は、BER値が低い場合に比べて大幅に短縮される。従って、測定位置は、前に指定された測定ポイントの位置と、その位置における測定の完了に

50

必要な時間との関数として選択することもできる。これを実施することが可能な方法の一例は、BER値の低い位置の選択数を減らすことである。もう1つの例では、ダイアグラム作成のための全測定が実施されることになる時間期間（例えば、10分または1時間）を指定し、指定時間期間内に作成可能なダイアグラムの質が最も高くなる位置を選択することができる。

#### 【0047】

さらなる追加位置は、前に指定された測定ポイントの位置と、ユーザにとって特に問題となるBER値との関数として選択することができる。従って、ユーザは、前に指定された測定ポイントによって識別される所望のBER値に近い位置を選択して、問題となるBER値の近くで特に正確なV字曲線ダイアグラムを作成することができる。

10

#### 【0048】

上記関数は、例証のみを意図したものである。測定が行われることになる位置は、前に指定された測定ポイントの他の関数、または、関数のさまざまな組み合わせに基づいて選択することもでき、本発明を任意の特定の関数に制限する意図はない。

#### 【0049】

図12A～図13Cには、本発明のもう1つの実施態様によるバスタブ曲線ダイアグラムを作成するための方法のステップが図示されている。すなわち、図12A～図13Cは、図1に例示のBERT10等のビット誤り率テストを利用して、DUTからのデジタル信号のBERとオフセット時間との関係を表わした（図13Cに示す）バスタブ曲線ダイアグラム130を作成するための方法のステップを例示したグラフである。図12A～図13Cにおいて、オフセット時間はx軸に沿ってグラフ表示され、BERはy軸に沿ってグラフ表示されている。

20

#### 【0050】

図12A～図13Cに例示の方法は、図10A～図11Cに関連して既述の方法とほぼ同じであり、従って、ここでは、これ以上の説明を控えることにする。一般に、当初の複数の測定ポイント101と102と103と104とは、図12Aに示す初期バスタブ曲線ダイアグラムを形成するために指定される。追加測定が行われることになる位置105a及び106aが、当初の複数の測定ポイント101～104の関数として選択され、そして、選択位置におけるオフセット時間とBERの関係測定して、図13Bに例示の追加測定ポイント105b及び106bが指定される。次に、図13Bに示す全ての測定ポイント101～104と105b及び106bを利用して、改善されたバスタブ曲線ダイアグラム120が作成され、そして、改善されたバスタブ曲線ダイアグラム120を利用して、測定が行われることになる追加位置107a及び108aが選択される。そして、オフセット時間とBERとの関係を測定して、バスタブ曲線ダイアグラム130を作成するためのさらなる追加測定ポイント107b及び108bが指定される。図10A～図11Cの実施態様におけるように、所望の正確度のバスタブ曲線ダイアグラムが作成されるまで、この処理を繰り返し反復することができる。

30

#### 【0051】

図10A～図11C及び図12A～図13Cには、2つの変量間、すなわち、BERとしきい値電圧との間と、BERとオフセット時間との間との関係を表わしたダイアグラムを作成するための方法のステップが図示されている。本発明を利用して、他の変量間の関係を表わしたダイアグラムを作成することもできるので、これらは、単なる例証のみを意図したものである。さらに、本発明を利用して、3つ以上の変量間の関係を表わしたダイアグラムを作成することもできる。例えば、本発明を利用して、3つの変量間の関係を表わしたアイ・ダイアグラムを作成することもできる。本発明は、実際には、アイ・ダイアグラム等のダイアグラムの作成に特に有効である。なぜならば、このようなグラフの3次元の性質（2つの制御変量と1つの出力変量）によって、高機能なポイント選択の機会が多くなるためである。

40

#### 【0052】

本発明の実施態様に従ってアイ・ダイアグラムを作成する方法は、測定ポイントの最初の

50

集合が与えられて、初期アイ・ダイアグラムが作成され、この初期ダイアグラムを利用して、オフセット電圧と、オフセット時間と、BER間の関係が測定されることになる位置とが、前に指定された測定ポイントの関数として選択されるという点において、図10A～図11C及び図12A～図13Cに関連して上述の方法とほぼ同様である。そして、前記位置においてこの関係を測定して、より正確なアイ・ダイアグラムを作成するための追加測定ポイントが指定される。先行実施態様と同様に、この処理を繰り返し反復して、追加測定ポイントを設定し、作成するアイ・ダイアグラムの正確度を漸次に高めることができる。

#### 【0053】

本発明の実施態様に従ってアイ・ダイアグラムを作成するための方法について詳述する前に、測定ポイントが決定されることになる位置を選択するために設定された3つの基本的な基準について要約しておくのが有用であると思われる。

1. 測定ポイントの分離。測定ポイントを分離することによって、新たに生成されたポイントで、ダイアグラムの領域内が有効にカバーされる。これは、制御変量だけ、または、制御変量と出力変量の両方に基づいて実施可能である。

2. 特定領域の回避。例えば、基準の1つによれば、BERが極めて低いため、測定の完了に長時間を要する領域は回避することができる。

3. 問題となるBERが生じると推定される測定ポイントの選択。例えば、測定ポイントの集合から、BERがある一定レベルにある、アイ・ダイアグラムの等高線を推定することができる。そして、この推定BERに対応する測定ポイントが選択される。

4. 推定BERを利用して、提示された測定ポイントにおける測定時間が計算される、上記1～3の任意の1つのもの。

5. 基準の組み合わせ。さまざまな割合で、異なる基準を組み合わせ、ある問題を別の問題に対して適合させるポイントの生成に所望の重み付けを与えることができる。

#### 【0054】

以上の基準は、以下に述べる最適化問題とみなすこともできる。

#### 【0055】

(最長距離)

測定が行われることになる位置は、既存の測定ポイントと少なくとも1つの追加測定ポイントとの距離が最大になるように選択することができる。同時に、少なくとも1つの追加測定ポイントが、(既存の測定ポイント間または既存の測定ポイントの外側に)ダイアグラムの測定領域全体内の任意の場所に配置されるように、または、ダイアグラムのある指定の領域内に配置されるように指定することもできる。

#### 【0056】

$x$  が1次元最適化問題における独立変数に相当して、 $z$  がこのような問題における独立変数に相当する、与えられたポイントの集合である  $\{x_i, z_i\}$  に対して、全ての  $x \in \{x_i\}$  及び  $z \in \{z_i\}$  について、(数3)である。

#### 【0057】

【数3】

$$\text{Maximize } \{\min\{\|x_n - x\|^p + \|z_n - z\|^p\}\} \quad (1)$$

#### 【0058】

ここで、 $\{x_n, z_n\}$  は、新しいポイントであり、(数4)は、距離測定値の1つの形式である、 $p$  ノルムに相当する。 $p = 1$  の場合には、 $p$  ノルムはベクトル要素の絶対値の和に相当する。 $p = 2$  の場合には、 $p$  ノルムは、(複素数の場合には)あるベクトルとその移項した複素共役との積に相当し、ユークリッド距離の計算に利用される。 $p = \infty$  の場合には、 $p$  ノルムは、最大絶対値を備える単一要素を選択する。

【数4】

10

20

30

40

$$\|\cdot\|^p$$

【 0 0 5 9 】

上述の最適化問題は、例えば、V字曲線またはバスタブ曲線に関する1つの独立変数について設定される。この問題は、下記の(数5)のように、全ての $x = \{x_i\}$ と $y = \{y_i\}$ と $z = \{z_i\}$ とについて、アイ・ダイアグラムのような、2つの独立変数 $x$ 及び $y$ を備える問題に拡張することができる。

【 0 0 6 0 】

【数5】

$$\text{Maximize } \{\min\{\|x_n - x\|^p + \|y_n - y\|^p + \|z_n - z\|^p\}\} \quad (2)$$

10

【 0 0 6 1 】

ここで、 $\{x_n, z_n\}$ は、新しいポイントであり、(数6)は、 $p$ ノルムに相当する。例えば、典型的なアイ・ダイアグラム測定値の場合には、 $x$ は時間遅延オフセットに相当し、 $y$ はしきい値電圧オフセットに相当するものとすることができる。

【数6】

$$\|\cdot\|^p$$

20

【 0 0 6 2 】

測定値の中には、従属変数が、指数関数のように独立変数に関連するものもある。このようなデータは、より分りやすくするため、対数軸にグラフ表示される場合が多い。これは、V字曲線及びバスタブ曲線に関する場合であることが最も一般的である。従って、最適化のためには、BERの対数関数になるように従属変数 $z$ を選択し、妥当なやり方で、その従属変数の影響を最適化問題に組み込むことができるようにする。

【 0 0 6 3 】

(ポイント間距離の最大化、ただし、低BERポイントは回避)

ポイント間距離の最大化は、唯一の最適化である。もう1つの最適化は、あまりに多い低BERポイントの測定を回避することである。 $\{z_i\}$ がBER値の対数関数である場合には、(数7)になる。

30

【 0 0 6 4 】

【数7】

$$\text{Maximize } \left\{ \min\{\|x_n - x\|^p + \|y_n - y\|^p + \|z_n - z\|^p\} + K \left( \frac{1}{|z_n|} \right) \right\} \quad (3)$$

【 0 0 6 5 】

ここで、 $z_n \neq 0$ であり、 $K$ は2つの所望の最適化間における倍率である。

40

【 0 0 6 6 】

(一定の推定BER値によって決まるポイント間の最大距離)

この場合には、一定の推定BERの等高線を利用し、その等高線上のポイント間の距離を最大にする。

【 0 0 6 7 】

【数8】

$$\text{Maximize } \{\min\{\|x_n - x\|^p + \|y_n - y\|^p\}\} \quad (4)$$

50

## 【 0 0 6 8 】

ただし、 $z_n = z = \text{一定}$ である。

## 【 0 0 6 9 】

(制御変量及び出力変量の関数の利用)

上述の基準は、全て、単なる変量自体ではなく、制御変量及び出力変量の関数を利用するように修正可能である。これらの関数には、フィルタリングまたは平滑化を含むこともでき、または、BER曲面の推定をより正確なものにする空間内に変量を写像することもできる。例えば、BERデータ自体の性質が指数関数的であり、これは、より低いビット誤り率で得られるポイントの重要性を減じる傾向がある。施すことが可能な補正の1つは、BERデータの対数をとることである。これによって、曲面推定において、単純にビット誤り率の高い測定ポイントではなく、全ての測定ポイントが考慮されるようになる。

10

## 【 0 0 7 0 】

(正規化/基準化)

正規化は、特に言及する必要がある変量の関数である。曲面割り当てアルゴリズムでは、一般に、変量が、全て、同じように基準化を施されているものと仮定される。これは、変量の1つがボルトで表わされ、1つが数十ピコ秒で表わされる場合の、アイ・ダイアグラムにおける問題である。これを因数としてくり出すため、曲面の当てはめを行う前に、変量が同じ全体サイズまたは大きさになるように正規化/基準化することができる。これが、BERデータの対数をとることと組み合わせられると、3次元曲面当てはめの正確度が大幅に向上する。

20

## 【 0 0 7 1 】

(測定時間の調節)

上記の任意の1つを実施するが、推定BER曲面によって推定測定時間を計算する。

## 【 0 0 7 2 】

アイ・ダイアグラムを作成する既知の手順の場合、正確なダイアグラムを生成するには、通常、多数の測定ポイントが必要になる。例えば、完全なアイ・ダイアグラムを描くのに利用されるポイントが1000個を超えるのも珍しくはない。図14には、開いた目に関する典型的なベースライン・アイ・ダイアグラムが例示されている。図14のアイ・ダイアグラムは、x軸に沿って時間遅延が表わされ、y軸に沿ってしきい値電圧が表わされた、ラスタで生成されたビット誤り率のアイ・マップである。図14のダイアグラムにおける測定ポイントは、x方向及びy方向における掃引間隔が均一になるように、先験的に(a priori)選択された。図14に示す特定の図は、1090個のポイントを必要としたが、その多くは、ほとんど、または、全く情報をもたらさなかった。しかし、本発明によれば、測定ポイントを配置する場所を高機能に選択することによって、アイ・ダイアグラムの作成に必要な測定ポイント数を大幅に減らすことができる。

30

## 【 0 0 7 3 】

アイ・ダイアグラムの作成に利用される実際の測定ポイントに関する下記の説明では、本発明において、正確なアイ・ダイアグラムを得るのに必要な測定ポイント数を激減させる方法が例示される。後続の実施態様は、あらかじめ説明される下記の一般的な実施態様の変形である。

40

1. 測定ポイントの初期の集合を生成した後に、後続測定ポイントが、一定のビット誤り率の等高線の関数に沿って分散される。
2. 等高線の周辺に測定ポイントを効率よく分散することによって、制御変量に関して測定ポイントを分散させる目的が達成される。
3. 一定のビット誤り率の等高線を指定することによって、ユーザは、出力変量(ビット誤り率)の次元にデータ・ポイントを分散し、指定するのに長時間を要するビット誤り率で測定されるポイント数を制御することもできる。

## 【 0 0 7 4 】

この実施態様における重要な問題は、等高線の周辺にポイントを効率よく分散する方法である。等高線の周辺において、ポイントの均等分散を正確に行うためには、等高線全体の

50

長さを計算し、等高線上で所望されるポイント数でその距離を割って、固定増分が得られるようにし、そして、等高線上の初期のポイントから固定増分ずつ進んで、新しいポイントを見つけることが必要になる。このような処理は、実施可能ではあるが、かなり骨が折れるものになる場合がある。

#### 【0075】

一方、本発明の実施態様によれば、測定ポイントの分散を容易にする代替手順が得られる。これらの手順は、「楕円単独 (ellipse only)」手順と、「等高線サンプリング単独 (contour sampling only)」手順と、「組み合わせ (combination)」手順とを含む。楕円単独手順は、図15A～図17Eに例示されており、楕円まわりにポイントを分散するのがかなり容易であるという認識に基づくものである。また、アイ等高線は、楕円によって無理なく近似させることができる場合が多い。従って、この実施態様によれば、一定のBERの等高線に楕円固有の曲線の当てはめが試みられ、そして、等高線に近似した楕円に沿ってポイントの分散が行われる。

10

#### 【0076】

図15Aには、初期のポイント(44個のポイント)の大まかなラスタから等高線が導き出された、当初のアイ・ダイアグラムがまず例示されている。図示の楕円は、BERが $10^{-6}$ の等高線に当てはめられた。ポイントは、円上において等角度で選択され、そして、楕円に従って基準化された。

#### 【0077】

図15Bには、59個のポイントを用いて作成されたさらなる明確なアイ・ダイアグラムが例示されている。これらの曲線から、BERが $10^{-8}$ の等高線に対して楕円の当てはめが行われた。ポイントは、円上において等角度で選択され、そして、楕円に従って基準化された。

20

#### 【0078】

図16Cには、75個のポイントを用いて作成されたさらなる明確なアイ・ダイアグラムが例示されている。これらの曲線から、BERが $10^{-10}$ の等高線に対して楕円の当てはめを行うと、結果として、有効な楕円が得られることになる。ポイントは、円上において等角度で選択され、そして、楕円に従って基準化された。

#### 【0079】

図16Dには、91個のポイントを用いて作成されたアイ・ダイアグラムが例示されている。これらの曲線から、BERが $10^{-10}$ の等高線に対して楕円の当てはめを行うと、結果として、有効な楕円が得られることになる。ポイントは、円上において等角度で選択され、そして、楕円に従って基準化された。この場合には、初期角度は、前の楕円に対して測定ポイントを回転させるため、オフセットされている。

30

#### 【0080】

図17Eには、107個のポイントを利用した最終BERマップが例示されている。正確度の高いBER曲線である点に留意されたい。この方法では、関心のない場所には余分な測定ポイントを分散せず、ユーザにとって重要な領域に、前述のラスタ法よりも多くの測定ポイントを分散する。測定ポイントが、1つの場所において集団化するのではなく、関連BER等高線のまわりに分散している点にも留意されたい。

40

#### 【0081】

上述の方法の観測結果から明らかなように、楕円をデータに強制的に当てはめると、全くデータのように見えない楕円を生じる場合がある。従って、この方法を実施する場合には、楕円が一定の有効範囲内にあることを検証することが望ましい。これは、例えば、楕円の中心点の確認、楕円の長軸と短軸の長さの確認、及び/または、有効範囲と対比した楕円の周線の確認によって実施することができる。

#### 【0082】

楕円手順では、測定ポイントを生成することを目的とした、有効な楕円の生成がうまくいかない場合があるので、所望であれば、代替方法を用いることもできる。この代替方法(「等高線サンプリング単独 (contour sampling only)」法)によ

50

れば、しばしば等高線頂点と呼ばれる、ポイントの集合によって形成されるもとの等高線が利用される。このポイントは、等高線が方向を変える場所を表わしており、従って、その固定誤り率のBER曲面における重要なポイントを現している。図18A～図20Eには、Mについて1つの等高線頂点が次に用いられる測定ポイントを構成するサンプリング方式が例示されている。Mが等高線頂点数N未満である限りにおいて、これは有効な方式である。この方法によれば、ユーザは、測定の速度と正確度とを両立させることが可能になる。

#### 【0083】

図18A～図20Eは、本発明の実施態様による等高線サンプリング単独法を例示したアイ・ダイアグラムである。図18Aには、44個のポイントを利用し、更新された $10^{-2}$ の等高線をサンプリングする、等高線サンプリング単独法を用いて作成された、初期アイ・ダイアグラムが例示されている。図19Bには、74個のポイントを利用し、更新された $10^{-4}$ の等高線をサンプリングして作成されたアイ・ダイアグラムが示されている。図19Cには、131個のポイントを利用し、更新された $10^{-8}$ の等高線をサンプリングして作成されたアイ・ダイアグラムが示されている。図20Dには、159個のポイントを利用し、更新された $10^{-10}$ の等高線をサンプリングして作成されたアイ・ダイアグラムが示されている。図20Eには、213個のポイントを利用して作成された最終アイ・ダイアグラムが示されている。正確度の高い、低BER曲線である点に留意されたい。この方法では、関心のない場所には余分な測定ポイントを分散せず、ユーザにとって重要な領域にラスタ法よりも多くの測定ポイントを分散する。測定ポイントが、1つの場所において集団化されるのではなく、関連BER等高線のまわりに分散される点にも留意されたい。

#### 【0084】

アイ・ダイアグラムを作成するためのさらにもう1つの方法では、楕円単独法と等高線サンプリング単独法との組み合わせが利用される。この方法によれば、楕円法がまず試行される。特定の等高線の楕円当てはめが有効でなければ、等高線サンプリング法が用いられる。図21A～図23Eは、組み合わせ法を例示したアイ・ダイアグラムである。

#### 【0085】

図21Aには、ポイントの初期の大まかなラスタから等高線が導き出された、44個のポイントの初期アイ・ダイアグラムが例示されている。これらの曲線から、BERが $10^{-2}$ の等高線に対する楕円の当てはめを行うと、結果として、無効な楕円が生じる。次に、この等高線をサンプリングして、ポイントが生成された。図21Bには、74個のポイントを利用して作成されたアイ・ダイアグラムが例示されている。これらの曲線から、BERが $10^{-4}$ の等高線に対して楕円の当てはめを行うと、結果として、有効な楕円が得られることになる。ポイントは、円上において等角度で選択され、そして、楕円に従って基準化された。

#### 【0086】

図22Cには、106個のポイントから作成されたアイ・ダイアグラムが例示されている。これらの曲線から、BERが $10^{-8}$ の等高線に対して楕円の当てはめを行うと、結果として、有効な楕円が得られることになる（ここでは、示されていないが、有効な楕円は、BERが $10^{-6}$ の等高線に対する楕円の当てはめと、BERが $10^{-8}$ の更新された等高線に対するもう1つの楕円の当てはめとから得られた）。ポイントは、円上において等角度で選択され、そして、楕円に従って基準化された。

#### 【0087】

図22Dには、122個のポイントから作成されたアイ・ダイアグラムが例示されている。これらの曲線から、BERが $10^{-10}$ の更新された等高線に対して楕円の当てはめを行うと、結果として、有効な楕円が得られることになる。ポイントは、円上において等角度で選択され、そして、楕円に従って基準化された。

#### 【0088】

図23Eには、154個のポイントを利用して、結果として得られたBERマップが示さ

10

20

30

40

50



れている。正確度の高い、低BER曲線である点に留意されたい。この方法では、関心のない場所には余分な測定ポイントを分散せず、ユーザにとって重要な領域に、ラスト法よりも多くの測定ポイントを分散する。測定ポイントが、1つの場所において集団化するのではなく、関連BER等高線のまわりに分散している点にも留意されたい。

【0089】

上述の方法は、例証だけを意図したものであり、制限された数のポイントを利用して、効率よくダイアグラムを作成するため、他の方法を用いて、アイ・ダイアグラムのまわりにポイントを分散することもできることが認識されるべきである。

【0090】

本発明の他の実施態様では、等高線図とは別に、アイ・ダイアグラムを表現することもできることが認識されるべきである。例えば、アイ・ダイアグラムは、BERがz軸に沿って表わされる、3次元曲面図によって表わすことができる。あるいはまた、本発明を利用して、カラー・マッピング(color mapping)を施された3次元曲面図またはシェーディングされた(shaded)3次元曲面図を作成することもできる。

【0091】

さまざまな測定をデジタル方式で実施して記憶することができるとも認識されるべきである。従って、V字曲線とバスタブ曲線とアイ・ダイアグラムとは、測定計器自体のファームウェア内で生成する必要はなく、何らかの外部アプリケーション・ソフトウェアによって生成することができる。これによって、測定データの表示とアクセス可能性とが改善され、高度なアルゴリズムを用いて、測定データを生成することもできる。

【0092】

本発明の実施態様によれば、「Matlab」外部ソフトウェアまたは同等の数値ソフトウェア等の外部ソフトウェアを用いて、さまざまな高度なアルゴリズムによって測定ポイントが得られるようにすることができる。このような高度なソフトウェア・ツールによれば、上記3つの要素のある最適な組み合わせ、及び/または、他の要素に基づく測定位置の選択が比較的容易になる。

【0093】

追加測定ポイントが、特定のオフセット電圧値、及び/または、オフセット時間値におけるBERを測定するのに必要な測定時間の関数として選択される場合には、ユーザは、(表1)で用いられていると同様の計算を利用して、正確な測定値を得るために、BERがある特定のBER測定をどれだけ待つべきであるかを計算することができる。ビット・レートがビット/秒で表わされ、誤り率がエラー/ビットで表わされる場合には、ビット誤り率は、エラー/秒の単位で表わされることになる。従って、kのエラーを測定するのに必要な時間は、次の(数9)のように計算することができる。

【0094】

【数9】

$$t_{meas}(\text{sec}) = \left( \frac{k \text{ errors}}{(\text{Bit Rate}) \times (\text{Error Rate})} \right) \times \left( \frac{(\text{errors})}{(\text{errors/sec})} \right) \quad (5)$$

【0095】

追加測定ポイントに関して、ビット・レートは既知であり、誤り率は未知である。しかし、これは、前の測定から直接に推定することもできるし、または、ダイアグラムを利用して推定BER曲面から補間することによって推定することもできる。このようにして導き出される $t_{meas}$ は、統計による数であり、ユーザは、所望の場合には、適正なエラー数が測定されたことを保証するために、それをある場所に埋め込む(pad)ことができる。また、実際には、アルゴリズムは、各新規測定ポイントにおけるシステムのプロセッサ整定時間間における通信オーバーヘッド等のオーバーヘッド(overhead)を追加しなければならないであろう。

【0096】

既知の代替方法では、あるしきい値を超えるまで、ある特定の測定ポイントにおけるエラーを実際にカウントすることが必要になる。しかし、効率的であるためには、このような方法は、統計的仮定だけに基づく上記方法では必要とされなかった、エラー解析アルゴリズムとテスト・ハードウェアとの緊密な結合を必要とする。

【0097】

図24は、本発明の実施態様に従って、変量間の関係を表わしたV字曲線ダイアグラムやバスタブ曲線ダイアグラムやアイ・ダイアグラム等のダイアグラムを作成するために、全体が参照番号400で表示された方法のステップを例示するフローチャートである。まず、ステップ410に示すように、変量間の関係を表わした当初の複数の測定ポイントが与えられる。上述のように、当初の複数の測定ポイントは、離隔距離を大きくとったポイントの選択、または、グラフの正負両側におけるポイントの選択等の1つ以上の基準に基づいてポイントを選択することによって与えられる場合がある。そして、初期ポイントにおいて測定される変量間の関係が記憶される。

10

【0098】

変量間の関係が測定されることになる位置が選択され、そしてステップ420に示すように、測定位置における変量間の関係を測定して、追加測定ポイントが指定される。470及び480に例示するように、選択するステップは、メモリから前に測定したポイントを検索するステップと、前述のように、位置の選択に最適化基準を適用するステップとを含む。そして、ステップ430において追加測定ポイントが記憶され、ステップ440においてそれまでになされた測定結果からダイアグラムが作図される。

20

【0099】

ダイアグラムが、ユーザの要求を満たすのに十分なほど正確である場合（ステップ450での「Y」の出力の場合）には、この方法は完了する。ダイアグラムが十分に正確でない場合（ステップ450での「N」の出力の場合）には、ステップ460において測定が行われることになる追加位置を選択し、そして、追加位置における変量間の関係を測定して、追加測定ポイントを指定することにより、ユーザの要求を満たすダイアグラムが作成されるまで、ステップ420～450が反復される。本発明によれば、ユーザは、必要なだけ正確なダイアグラムを作成することができる。

【0100】

本発明の典型的な実施態様に相当するものを解説してきたが、本発明は、その範囲を逸脱することなく、さまざまな変更を加えることができることが認識されるべきである。本発明は、さまざまな変更を加えることができるため、本発明は、請求の範囲により要求される範囲においてのみ限定されるということが認識されるべきである。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】ビット誤り率テストの概略を例示したブロック図である。

【図2】本発明の説明を助けるため、被試験対象からのデジタル信号のビット誤り率としきい値電圧との関係を表わした、典型的なV字曲線ダイアグラムである。

【図3】本発明の説明を助けるため、被試験対象からのデジタル信号のビット誤り率としきい値電圧との関係を表わした、典型的なV字曲線ダイアグラムである。

【図4】本発明の説明を助けるため、被試験対象からのデジタル信号のビット誤り率とオフセット時間との関係を表わした、典型的なバスタブ曲線ダイアグラムである。

40

【図5】本発明の説明を助けるため、被試験対象からのデジタル信号のビット誤り率とオフセット時間との関係を表わした、典型的なバスタブ曲線ダイアグラムである。

【図6】本発明の説明を助けるため、被試験対象からのデジタル信号のビット誤り率と、しきい値電圧と、オフセット時間との間における関係を表わした、典型的なアイ・ダイアグラムである。

【図7】本発明の説明を助けるため、被試験対象からのデジタル信号のビット誤り率と、しきい値電圧と、オフセット時間との間における関係を表わした、典型的なアイ・ダイアグラムである。

【図8】本発明の説明を助けるため、被試験対象からのデジタル信号のビット誤り率と、

50

しきい値電圧と、オフセット時間との間における関係を表わした、典型的なアイ・ダイアグラムである。

【図 9】本発明の説明を助けるため、被試験対象からのデジタル信号のビット誤り率と、しきい値電圧と、オフセット時間との間における関係を表わした、典型的なアイ・ダイアグラムである。

【図 10】A 及び B は、本発明の実施態様に従って V 字曲線ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。

【図 11】C は、本発明の実施態様に従って V 字曲線ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。

【図 12】A は、本発明の実施態様に従ってバスタブ曲線ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。 10

【図 13】B 及び C は、本発明の実施態様に従ってバスタブ曲線ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。

【図 14】本発明の説明を助けるため、典型的なラスタで生成されるアイ・ダイアグラムを示す概略図である。

【図 15】A 及び B は、本発明の実施態様に従ってアイ・ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。

【図 16】C 及び D は、本発明の実施態様に従ってアイ・ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。

【図 17】E は、本発明の実施態様に従ってアイ・ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。 20

【図 18】A は、本発明のもう 1 つの実施態様に従ってアイ・ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。

【図 19】B 及び C は、本発明のもう 1 つの実施態様に従ってアイ・ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。

【図 20】D 及び E は、本発明のもう 1 つの実施態様に従ってアイ・ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。

【図 21】A 及び B は、本発明のさらにもう 1 つの実施態様に従ってアイ・ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。

【図 22】C 及び D は、本発明のさらにもう 1 つの実施態様に従ってアイ・ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。 30

【図 23】E は、本発明のさらにもう 1 つの実施態様に従ってアイ・ダイアグラムを作成するための方法のステップを示す概略図である。

【図 24】本発明の実施態様に従って変量間の関係を表わしたダイアグラムを作成するための方法のステップを例示したフローチャートである。

#### 【符号の説明】

10 ビット誤り率テスト

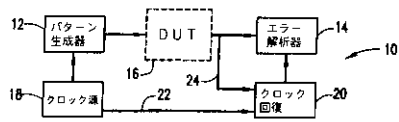
80, 130 ダイアグラム

61, 62, 63, 64, 101, 102, 103, 104 測定ポイント

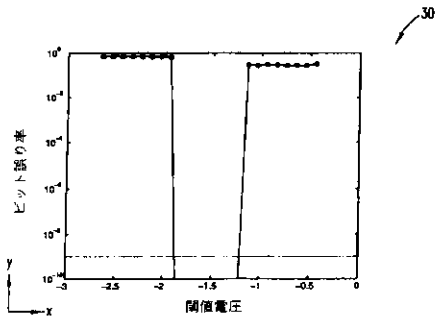
71a, 72a, 105a, 106a 位置

71b, 72b, 105b, 106b 測定ポイント

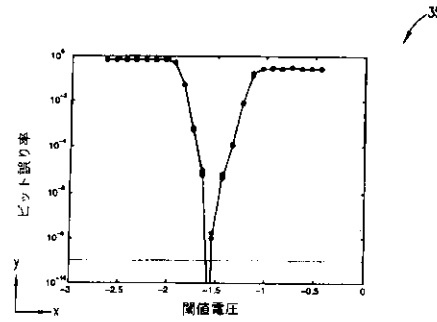
【図 1】



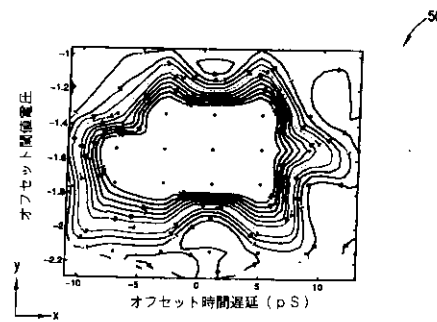
【図 2】



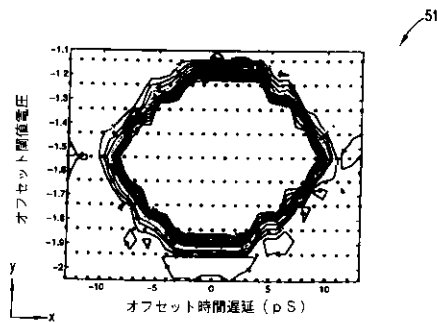
【図 3】



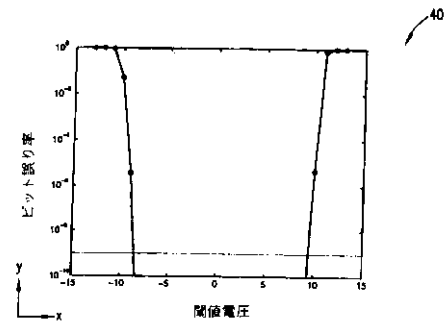
【図 6】



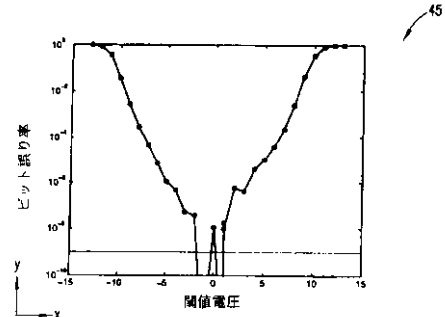
【図 7】



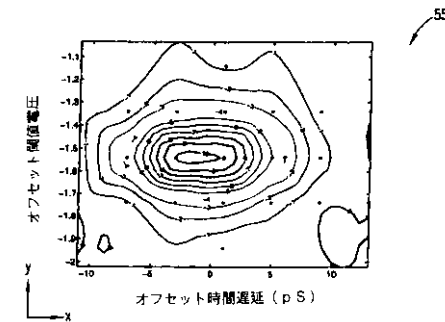
【図 4】



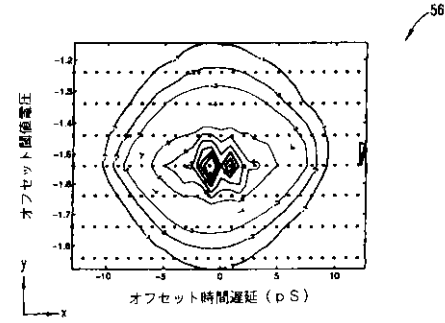
【図 5】



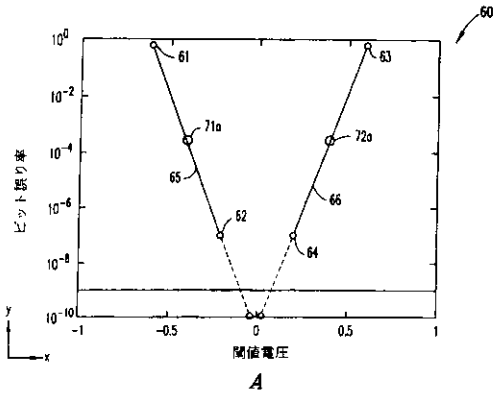
【図 8】



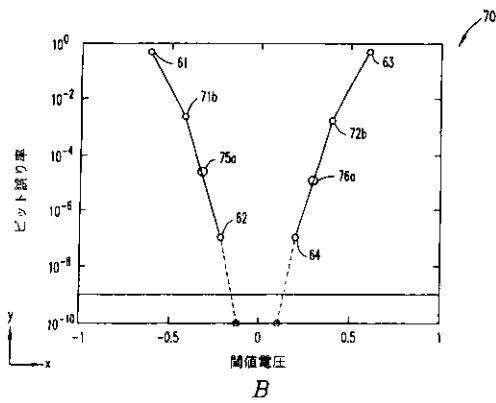
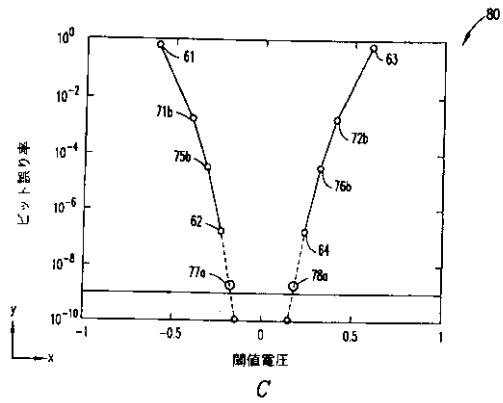
【図 9】



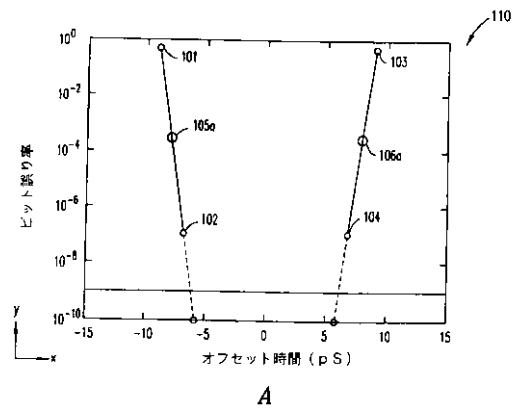
【図 10】



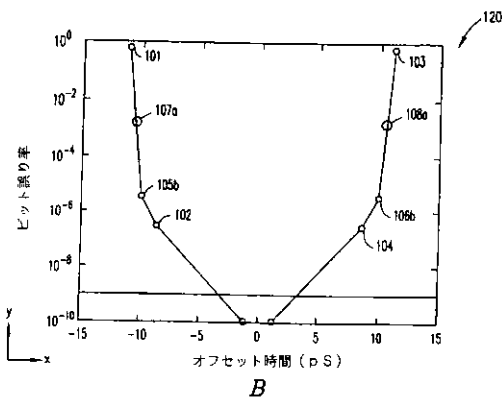
【図 11】



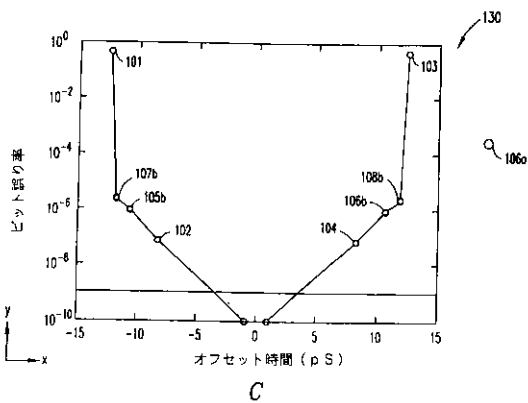
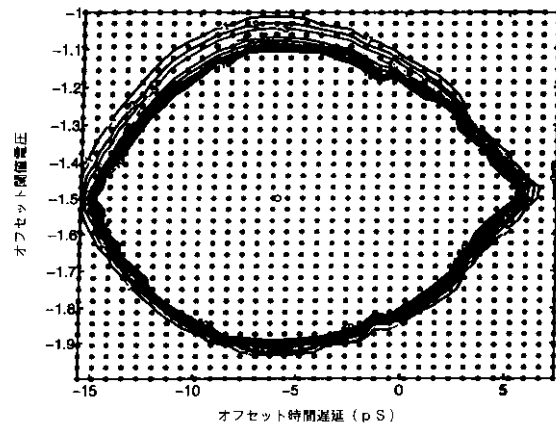
【図 12】



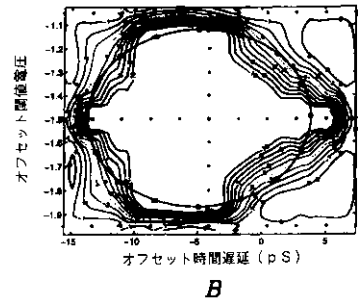
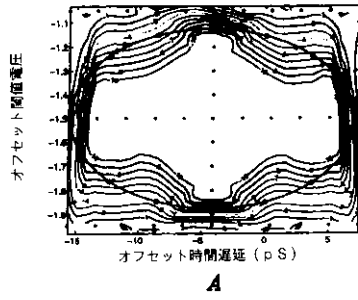
【図 13】



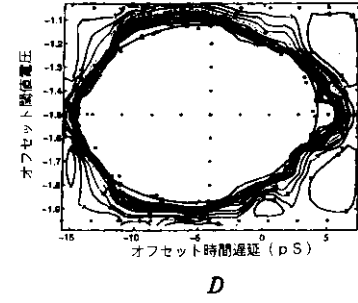
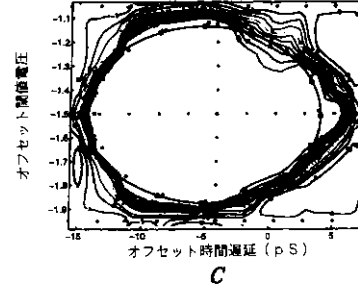
【図 14】



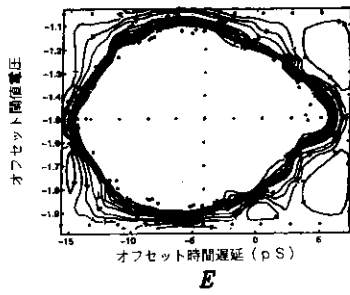
【図 15】



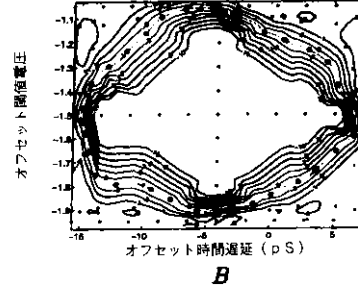
【図 16】



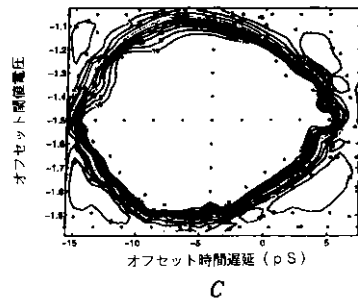
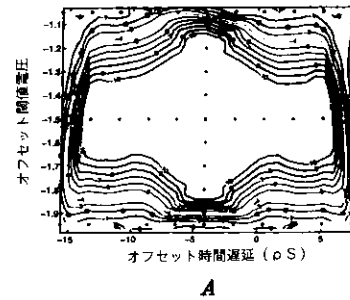
【図 17】



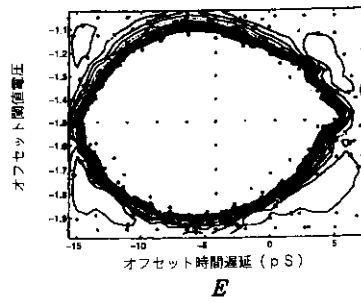
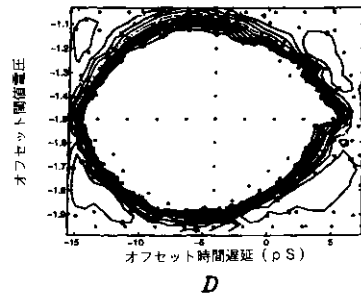
【図 19】



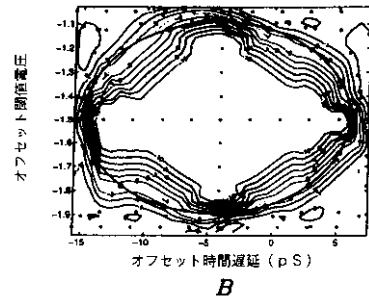
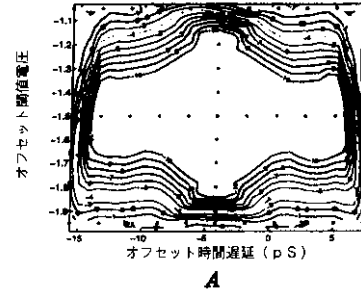
【図 18】



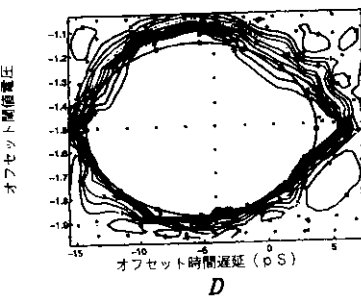
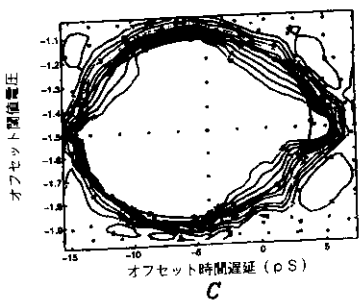
【図 20】



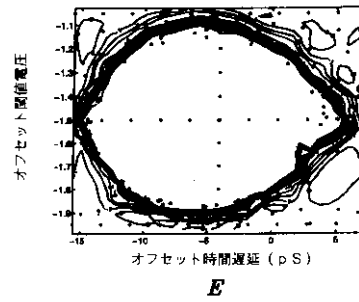
【図 21】



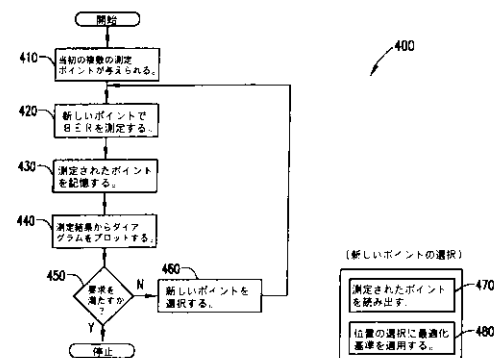
【図 22】



【図 23】



【図 24】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ダニエル・イーヴス・アブラモヴィッチ

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 3 0 6 , パロ・アルト , キプリング・ストリート 3 3 7 2

Fターム(参考) 5K014 AA01 GA02 GA06