

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6972660号
(P6972660)

(45) 発行日 令和3年11月24日(2021.11.24)

(24) 登録日 令和3年11月8日(2021.11.8)

(51) Int.Cl.	F I
H03M 3/02 (2006.01)	H03M 3/02
G01R 23/10 (2006.01)	G01R 23/10 C

請求項の数 9 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2017-105463 (P2017-105463)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成29年5月29日(2017.5.29)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2018-201142 (P2018-201142A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成30年12月20日(2018.12.20)	(74) 代理人	100091292
審査請求日	令和2年4月23日(2020.4.23)		弁理士 増田 達哉
		(74) 代理人	100091627
			弁理士 朝比 一夫
		(72) 発明者	轟原 正義
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
		審査官	川口 貴裕

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アイドルトーン分散装置および周波数比計測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基準信号と被測定信号とのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調してアイドルトーンを分散させた周波数デルタシグマ変調信号を出力するアイドルトーン分散装置であって、

n (n は2以上の任意の自然数)個の周波数デルタシグマ変調部と、

前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部の出力信号を加算して前記周波数デルタシグマ変調信号を出力する加算部と、

前記周波数デルタシグマ変調部の出力信号のアイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを生成するハードウェアと、を備え、

前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部の各々は、前記基準信号と前記被測定信号とのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調し、

前記基準信号と前記被測定信号との少なくとも一方は、前記ジッターを有することを特徴とするアイドルトーン分散装置。

【請求項2】

基準信号と被測定信号とのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調してアイドルトーンを分散させた周波数デルタシグマ変調信号を出力するアイドルトーン分散装置であって、

n (n は2以上の任意の自然数)個の周波数デルタシグマ変調部と、

前記被測定信号と前記基準信号との位相を調整して、 n 組の出力被測定信号および出力

10

20

基準信号を生成して、各組の前記出力被測定信号および前記出力基準信号を前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部の各々に供給する位相調整部と、

前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部の出力信号を加算して前記周波数デルタシグマ変調信号を出力する加算部と、

前記周波数デルタシグマ変調部の出力信号のアイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを生成するハードウェアと、を備え、

前記位相調整部は、前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部のうちの少なくとも一部の前記周波数デルタシグマ変調部の出力信号のアイドルトーンの位相が互いに異なるように、前記被測定信号と前記基準信号との位相を調整して、前記 n 組の出力被測定信号および出力基準信号を生成し、

10

前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部の各々は、前記位相調整部から供給される前記出力基準信号と前記出力被測定信号とのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調し、

前記出力基準信号と前記出力被測定信号とのうちの少なくとも 1 つは、前記ジッターを有することを特徴とするアイドルトーン分散装置。

【請求項 3】

所定時間を D 、前記被測定信号の 1 周期または前記基準信号の 1 周期を T 、 m を n 以下の任意の自然数、 mD/nT を整数、 mD/nT と m とが互いに素、 i (i は $n-1$ 以下の任意の自然数) 番目の周波数デルタシグマ変調部に供給する出力被測定信号と出力基準信号との位相差を P_i としたとき、

20

前記位相調整部は、 $D/n = P_{i+1} - P_i$ となるように、前記被測定信号と前記基準信号との位相を調整して、前記 n 組の出力被測定信号および出力基準信号を生成する請求項 2 に記載のアイドルトーン分散装置。

【請求項 4】

前記位相調整部は、前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部のうちの一部の前記周波数デルタシグマ変調部の出力信号のアイドルトーンの位相が互いに異なるように、前記被測定信号と前記基準信号との位相を調整して、前記 n 組の出力被測定信号および出力基準信号を生成する請求項 2 に記載のアイドルトーン分散装置。

【請求項 5】

所定時間を D 、前記被測定信号の 1 周期または前記基準信号の 1 周期を T 、 m を n 以下の任意の自然数、 mD/nT を整数、 mD/nT と m とが互いに素、 i (i は $n-1$ 以下の任意の自然数) 番目の周波数デルタシグマ変調部に供給する出力被測定信号と出力基準信号との位相差を P_i としたとき、

30

$D/n = P_{i+1} - P_i$ である請求項 2 に記載のアイドルトーン分散装置。

【請求項 6】

前記ジッターは、前記アイドルトーンが有する周波数成分のうち、強度の最も大きい成分の周波数よりも高い周波数成分を含む請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載のアイドルトーン分散装置。

【請求項 7】

前記ハードウェアは、ジッター生成部である請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載のアイドルトーン分散装置。

40

【請求項 8】

前記ジッターの大きさは、前記基準信号の周波数、前記被測定信号の周波数、前記被測定信号の測定帯域および前記周波数デルタシグマ変調部の個数のうちの少なくとも 1 つに基づいて決定される請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載のアイドルトーン分散装置。

【請求項 9】

請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載のアイドルトーン分散装置を備え、

前記被測定信号と前記基準信号との周波数比を測定することを特徴とする周波数比計測装置。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、アイドルトーン分散装置および周波数比計測装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

基準信号（基準クロック）の周波数と被測定信号の周波数との比に対応する信号を生成する周波数比測定装置（周波数カウンタ）が知られている。

【0003】

例えば、特許文献1には、基準信号と被測定信号とのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調してアイドルトーンを分散させた周波数デルタシグマ変調信号を出力するアイドルトーン分散装置が開示されている。特許文献1に記載されたアイドルトーン分散装置は、並列に接続された複数の周波数デルタシグマ変調部（以下、「FDSM（Frequency Delta Sigma Modulator）」と言う）と、各周波数デルタシグマ変調部の出力信号を加算して周波数デルタシグマ変調信号を出力する加算部とを備えている。各FDSMには、互いに位相の異なる被測定信号および位相が同一の基準信号、または、互いに位相の異なる基準信号および位相が同一の被測定信号、または、互いに位相の異なる被測定信号および互いに位相の異なる基準信号が入力される。このアイドルトーン分散装置によれば、アイドルトーンを時間的に分散させ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。

10

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2015-220552号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、特許文献1に記載のアイドルトーン分散装置では、FDSMの並列数を増やしていくと、遅延量の余裕が少なくなり、アイドルトーンを時間的に分散させてアイドルトーンの影響を効果的に抑制することが困難となる。

本発明の目的は、周波数デルタシグマ変調で発生するアイドルトーンに起因する量子化雑音を抑制することができるアイドルトーン分散装置および周波数比計測装置を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

【0007】

本発明のアイドルトーン分散装置は、基準信号と被測定信号とのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調してアイドルトーンを分散させた周波数デルタシグマ変調信号を出力するアイドルトーン分散装置であって、

40

n （ n は2以上の任意の自然数）個の周波数デルタシグマ変調部と、

前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部の出力信号を加算して前記周波数デルタシグマ変調信号を出力する加算部と、を備え、

前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部の各々は、前記基準信号と前記被測定信号とのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調し、

前記基準信号と前記被測定信号との少なくとも一方は、前記周波数デルタシグマ変調部の出力信号のアイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを有することを特徴とする。

【0008】

このような本発明のアイドルトーン分散装置によれば、周波数デルタシグマ変調で発生

50

する周期的な量子化雑音であるアイドルトーンを時間的に分散させ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。特に、基準信号と被測定信号との少なくとも一方がアイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを有することにより、アイドルトーンに起因する量子化雑音の影響を大幅に抑制することができる。

【0009】

本発明のアイドルトーン分散装置は、基準信号と被測定信号とのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調してアイドルトーンを分散させた周波数デルタシグマ変調信号を出力するアイドルトーン分散装置であって、

n (n は 2 以上の任意の自然数) 個の周波数デルタシグマ変調部と、

前記被測定信号と前記基準信号との位相を調整して、 n 組の出力被測定信号および出力基準信号を生成して、各組の前記出力被測定信号および前記出力基準信号を前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部の各々に供給する位相調整部と、

前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部の出力信号を加算して前記周波数デルタシグマ変調信号を出力する加算部と、を備え、

前記位相調整部は、前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部のうちの少なくとも一部の前記周波数デルタシグマ変調部の出力信号のアイドルトーンの位相が互いに異なるように、前記被測定信号と前記基準信号との位相を調整して、前記 n 組の出力被測定信号および出力基準信号を生成し、

前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部の各々は、前記位相調整部から供給される前記出力基準信号と前記出力被測定信号とのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調し、

前記出力基準信号と前記出力被測定信号とのうちの少なくとも 1 つは、前記アイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを有することの特徴とする。

【0010】

このような本発明のアイドルトーン分散装置によれば、周波数デルタシグマ変調で発生する周期的な量子化雑音であるアイドルトーンを時間的に分散させ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。特に、基準信号と、被測定信号と、出力基準信号と、出力被測定信号とのうちの少なくとも 1 つがアイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを有することにより、アイドルトーンに起因する量子化雑音の影響を大幅に抑制することができる。

【0011】

本発明のアイドルトーン分散装置では、所定時間を D 、前記被測定信号の 1 周期または前記基準信号の 1 周期を T 、 m を n 以下の任意の自然数、 mD/nT を整数、 mD/nT と m とが互いに素、 i (i は $n-1$ 以下の任意の自然数) 番目の周波数デルタシグマ変調部に供給する出力被測定信号と出力基準信号との位相差を P_i としたとき、

前記位相調整部は、 $D/n = P_{i+1} - P_i$ となるように、前記被測定信号と前記基準信号との位相を調整して、前記 n 組の出力被測定信号および出力基準信号を生成することが好ましい。

これにより、 n 個の周波数デルタシグマ変調部の出力信号のアイドルトーンの位相が互いに異なるようになるので、アイドルトーンを適確に時間的に分散させることができ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。

【0012】

本発明のアイドルトーン分散装置では、前記位相調整部は、前記 n 個の周波数デルタシグマ変調部のうちの一部の前記周波数デルタシグマ変調部の出力信号のアイドルトーンの位相が互いに異なるように、前記被測定信号と前記基準信号との位相を調整して、前記 n 組の出力被測定信号および出力基準信号を生成することが好ましい。

これにより、アイドルトーンを適確に時間的に分散させることができ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。

【0013】

本発明のアイドルトーン分散装置では、所定時間を D 、前記被測定信号の 1 周期または

10

20

30

40

50

前記基準信号の1周期を T 、 m を n 以下の任意の自然数、 mD/nT を整数、 mD/nT と m とが互いに素、 i (i は $n-1$ 以下の任意の自然数) 番目の周波数デルタシグマ変調部に供給する出力被測定信号と出力基準信号との位相差を P_i としたとき、

$D/n \quad P_{i+1} - P_i$ であることが好ましい。

$D/n \quad P_{i+1} - P_i$ であっても n 個の周波数デルタシグマ変調部の出力信号のアイドルトーンの位相が互いに異なるようにすることができる。これによって、アイドルトーンを適確に時間的に分散させることができ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。

また、遅延量の設定の自由度が高まり、調整が簡易になり、調整が簡易になることから特別な装置を必要とせず、製造コストを低減することができる。

10

【0014】

本発明のアイドルトーン分散装置では、前記ジッターは、前記アイドルトーンが有する周波数成分のうち、強度の最も大きい成分の周波数よりも高い周波数成分を含むことが好ましい。

これにより、アイドルトーンに起因する量子化雑音の影響を大幅に抑制することができる。

【0015】

本発明のアイドルトーン分散装置では、前記ジッターを生成するジッター生成部を有することが好ましい。

これにより、別途、ジッターを生成する装置を用意する必要がなく、ジッターを付加したい信号に対し、容易かつ適確にジッターを付加することができる。

20

【0016】

本発明のアイドルトーン分散装置では、前記ジッターの大きさは、前記基準信号の周波数、前記被測定信号の周波数、前記被測定信号の測定帯域および前記周波数デルタシグマ変調部の個数のうちの少なくとも1つに基づいて決定されることが好ましい。

これにより、適確にジッターの周波数帯域を設定することができる。

【0017】

本発明の周波数比計測装置は、本発明のアイドルトーン分散装置を備え、前記被測定信号と前記基準信号との周波数比を測定することを特徴とする。

このような本発明の周波数比計測装置によれば、アイドルトーンに起因する量子化雑音の影響を抑制することができ、これにより、測定精度を向上させることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明のアイドルトーン分散装置の第1実施形態を示すブロック図である。

【図2】図1に示すアイドルトーン分散装置のジッター加算器の構成例を示すブロック図である。

【図3】図2に示すジッター加算器の動作を説明するためのタイミングチャートである。

【図4】図1に示すアイドルトーン分散装置のジッター加算器の構成例を示すブロック図である。

【図5】本発明のアイドルトーン分散装置の第2実施形態を示すブロック図である。

40

【図6】本発明のアイドルトーン分散装置の第3実施形態を示すブロック図である。

【図7】本発明のアイドルトーン分散装置の第4実施形態を示すブロック図である。

【図8】本発明のアイドルトーン分散装置の第5実施形態を示すブロック図である。

【図9】アイドルトーン分散装置の比較例を示すブロック図である。

【図10】周波数デルタシグマ変調部の構成例を示すブロック図である。

【図11】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。

【図12】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。

【図13】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。

【図14】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。

【図15】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。

50

50

【図 6 6】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 6 7】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 6 8】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 6 9】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 7 0】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 7 1】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 7 2】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 7 3】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 7 4】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 7 5】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 7 6】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 7 7】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 7 8】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 7 9】アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。
【図 8 0】本発明の周波数比計測装置の実施形態を示すブロック図である。
【発明を実施するための形態】

10

【 0 0 1 9 】

以下、本発明のアイドルトーン分散装置および周波数比計測装置を添付図面に示す実施形態に基づいて詳細に説明する。

【 0 0 2 0 】

20

< 第 1 実施形態 >

図 1 は、本発明のアイドルトーン分散装置の第 1 実施形態を示すブロック図である。図 2 は、図 1 に示すアイドルトーン分散装置のジッター加算器の構成例を示すブロック図である。図 3 は、図 2 に示すジッター加算器の動作を説明するためのタイミングチャートである。図 4 は、図 1 に示すアイドルトーン分散装置のジッター加算器の構成例を示すブロック図である。図 1 0 は、周波数デルタシグマ変調部の構成例を示すブロック図である。

【 0 0 2 1 】

なお、図面には、被測定信号を「 F_x 」と記載し、基準信号を「 F_c 」と記載し、出力被測定信号を「 F_{x1} 」、「 F_{x2} 」、「 F_{xj} 」、「 F_{xn} 」と記載し、出力基準信号を「 F_{c1} 」、「 F_{c2} 」、「 F_{cj} 」、「 F_{cn} 」と記載し、また、「1」、「2」、「j」、「n」等の添え字を付して互いを区別する。また、本実施形態の説明でも、被測定信号を「 F_x 」と記載し、基準信号を「 F_c 」と記載し、出力被測定信号を「 F_{x1} 」、「 F_{x2} 」、「 F_{xj} 」、「 F_{xn} 」と記載し、出力基準信号を「 F_{c1} 」、「 F_{c2} 」、「 F_{cj} 」、「 F_{cn} 」と記載し、また、「1」、「2」、「j」、「n」等の添え字を付して互いを区別するが、一部では、その記載を省略する。

30

【 0 0 2 2 】

また、以下の説明では、位相調整部 1 0 から出力された基準信号（位相調整部 1 0 により位相が調整された基準信号）は、「出力基準信号」または「基準信号」と言う。同様に、位相調整部 1 0 から出力された被測定信号（位相調整部 1 0 により位相が調整された被測定信号）は、「出力被測定信号」または「被測定信号」と言う。

40

また、信号のレベルが「ロー（Low）」の場合を「0」、信号のレベルが「ハイ（High）」の場合を「1」とも言う。これらは、他の実施形態でも同様である。

【 0 0 2 3 】

図 1 に示すように、アイドルトーン分散装置 1 は、被測定信号 F_x と基準信号 F_c との位相を調整して、 n （ n は 2 以上の自然数）組の出力被測定信号 F_{x1} （被測定信号）～出力被測定信号 F_{xn} （被測定信号）および出力基準信号 F_{c1} （基準信号）～出力基準信号 F_{cn} （基準信号）を出力する位相調整部 1 0 と、 n 個（複数）の周波数デルタシグマ変調部 2 0（以下、「 $FDSM$ （Frequency Delta Sigma Modulator）」と言う）と、加算器 3 0 と、ジッター加算器 5（ジッター生成部）とを備えている。

また、ジッター加算器 5 の数は、1 つでもよく、また、複数でもよいが、本実施形態で

50

は、ジッター加算器 5 は、複数設けられている。なお、ジッター加算器 5 については、後に詳述する。

【 0 0 2 4 】

また、各 F D S M 2 0 は、並列に接続されている。また、各 F D S M 2 0 は、位相調整部 1 0 の出力側（後段）に接続され、加算器 3 0 は、各 F D S M 2 0 の出力側に接続されている。また、F D S M 2 0 の数は、複数であれば特に限定されないが、その上限は、例えば、5 0 0 0 程度とすることができる。また、位相調整部 1 0 には、基準信号および被測定信号が入力される。また、被測定信号とは、測定の対象となる信号である。また、基準信号とは、周波数が既知の信号であり、測定の基準となる信号である。また、図面中の添え字「1」、「2」、「j」、「n」は、それぞれ、「1 個目」、「2 個目」、「j 個目」、「n 個目」を示す。また、「j」は、1 以上 n 以下の任意の自然数であり、一般形を示している。

10

【 0 0 2 5 】

各 F D S M 2 0 は、基準信号（厳密には出力被測定信号 $F \times 1 \sim F \times n$ ）と被測定信号（厳密には出力基準信号 $F c 1 \sim F c n$ ）との一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調する回路であり、基準信号と被測定信号とを用い、基準信号の周波数と被測定信号の周波数との比（周波数比）を計測する。本実施形態では、代表的に、基準信号を用いて被測定信号を周波数デルタシグマ変調する場合を例に挙げて説明する。そして、被測定信号を用いて基準信号を周波数デルタシグマ変調する場合については、後述する説明において、基準信号と被測定信号とを入れ替えればよいので、その説明は省略する。

20

【 0 0 2 6 】

F D S M 2 0 としては、例えば、出力信号をビットストリーム形式で出力する F D S M（以下、「ビットストリーム構成の F D S M（ビットストリーム型 F D S M）」とも言う）、出力信号をデータストリーム形式で出力する F D S M（以下、「データストリーム構成の F D S M（データストリーム型 F D S M）」とも言う）等を用いることができる。

ビットストリーム構成の F D S M を用いる場合は、信号処理回路を簡素化することができる。また、データストリーム構成の F D S M を用いる場合は、周波数変動が大きい場合にも容易に対応することができる。

【 0 0 2 7 】

次に、データストリーム構成の F D S M 2 0 と、ビットストリーム構成の F D S M 2 0 とを説明するが、まずは、データストリーム構成の F D S M 2 0 について説明する。

30

図 1 に示すように、データストリーム構成の F D S M 2 0 は、被測定信号の立ち上がりエッジをカウントしてカウント値を示すカウントデータ $D c$ を出力するアップカウンター 2 1 と、基準信号の立ち上がりエッジに同期してカウントデータ $D c$ をラッチして第 1 データ $D 1$ を出力する第 1 ラッチ 2 2 と、基準信号の立ち上がりエッジに同期して第 1 データ $D 1$ をラッチして第 2 データ $D 2$ を出力する第 2 ラッチ 2 3 と、第 1 データ $D 1$ から第 2 データ $D 2$ を減算して出力データ $O U T$ を生成する減算器 2 4 とを備える。なお、第 1 ラッチ 2 2 および第 2 ラッチ 2 3 は、例えば D フリップフロップ回路等で構成される。

【 0 0 2 8 】

この例の F D S M 2 0 は、一次の周波数デルタシグマ変調器とも呼ばれ、被測定信号のカウント値を基準信号により 2 回ラッチしており、基準信号の立ち上がりエッジをトリガーとして被測定信号のカウント値を順次保持する。この例では、立ち上がりエッジでラッチ動作を行う場合を想定しているが、立ち下りエッジもしくは立ち上がり立ち下りエッジの両方でラッチ動作を行ってもよい。また、減算器 2 4 は保持されている 2 つのカウント値の差分を演算することで基準信号が 1 周期推移する間に観測される被測定信号のカウント値の増分を時間経過と共に不感期間無く出力する。被測定信号の周波数を $f x$ 、基準信号の周波数を $f c$ としたとき、周波数の比は $f x / f c$ となる。F D S M 2 0 は、周波数の比をデジタル信号列として出力するものである。

40

【 0 0 2 9 】

このデジタル信号列は、データ列・データストリームと呼ばれる。また、後述する 1 ビ

50

ットで表されるデジタル信号列は、ビット列・ビットストリームと呼ばれる。

【 0 0 3 0 】

次に、ビットストリーム構成の F D S M 2 0 について説明する。

図 1 0 に示すように、ビットストリーム構成の F D S M 2 0 は、基準信号の立ち上がりエッジに同期して被測定信号をラッチして第 1 データ d 1 を出力する第 1 ラッチ 2 2 と、基準信号の立ち上がりエッジに同期して第 1 データ d 1 をラッチして第 2 データ d 2 を出力する第 2 ラッチ 2 3 と、第 1 データ d 1 と第 2 データ d 2 の排他的論理和を演算して出力データ O U T を生成する排他的論理和回路 2 5 とを備える。なお、第 1 ラッチ 2 2 および第 2 ラッチ 2 3 は、例えば D フリップフロップ回路等で構成される。

【 0 0 3 1 】

この F D S M 2 0 が前記データストリーム構成の F D S M 2 0 と相違するのは、前記データストリーム構成の F D S M 2 0 では、第 1 ラッチ 2 2 によってカウントデータ D c を保持し、基準信号が 1 周期推移する間に観測される被測定信号の立ち上がりエッジをカウントして得たカウントデータ D c の増分を出力データ O U T として出力するのに対し、この F D S M 2 0 では、第 1 ラッチ 2 2 によって被測定信号の H i g h もしくは L o w の状態を保持し、基準信号が 1 周期推移する間の反転回数の偶奇を出力データ O U T として出力する点である（反転回数が偶数であれば 0、奇数であれば 1 を出力する）。

【 0 0 3 2 】

ところで、被測定信号の 1 周期は H i g h と L o w の反転遷移 2 回で構成されることから、基準信号に対する被測定信号の変動が、出力データ O U T に及ぼす変化の度合いは、前記データストリーム構成の F D S M 2 0 においてカウント値を保持する場合に比べ 2 倍となる。従って、ビットストリーム構成の F D S M 2 0 におけるアイドルトーンの振る舞いは、前記データストリーム構成の F D S M 2 0 において、2 倍の周波数の被測定信号が F D S M 2 0 に入力された場合の振る舞いと一致する。ビットストリーム構成の F D S M 2 0 の動作については、上記の性質を考慮し、必要に応じて被測定信号の周波数 f_x を周波数 $2 f_x$ に置き換えて考えればよい。なお、本実施形態では、代表的に、データストリーム構成の F D S M 2 0 を例に挙げて説明する。

【 0 0 3 3 】

また、位相調整部 1 0 は、被測定信号と基準信号との位相を調整する。この位相調整部 1 0 は、例えば、複数の遅延素子等を用いて構成することができる。ここで、「被測定信号と基準信号との位相を調整」には、被測定信号のみの位相をずらす態様（被測定信号のみに遅延を施す態様）と、基準信号のみの位相をずらす態様（基準信号にのみ遅延を施す態様）と、被測定信号と基準信号とのそれぞれの位相をずらす態様（被測定信号と基準信号とのそれぞれに遅延を施す態様）とが含まれる。以下、この 3 つの構成の位相調整部 1 0 を説明する。

【 0 0 3 4 】

（被測定信号のみの位相をずらす構成の位相調整部 1 0）

位相調整部 1 0 は、被測定信号を遅延させずに、出力被測定信号 $F_x 1$ として出力し、被測定信号（出力被測定信号 $F_x 1$ ）を遅延させて、出力被測定信号 $F_x 2$ として出力し、以下、同様にして、順次、遅延させて出力被測定信号 $F_x n$ まで出力する。

また、位相調整部 1 0 は、基準信号を遅延させずに、出力基準信号 $F_c 1$ ~ 出力基準信号 $F_c n$ として出力する。

【 0 0 3 5 】

（基準信号のみの位相をずらす構成の位相調整部 1 0）

位相調整部 1 0 は、基準信号を遅延させずに、出力基準信号 $F_c 1$ として出力し、基準信号（出力基準信号 $F_c 1$ ）を遅延させて、出力基準信号 $F_c 2$ として出力し、以下、同様にして、順次、遅延させて出力基準信号 $F_c n$ まで出力する。

また、位相調整部 1 0 は、被測定信号を遅延させずに、出力被測定信号 $F_x 1$ ~ 出力被測定信号 $F_x n$ として出力する。

【 0 0 3 6 】

(被測定信号と基準信号とのそれぞれの位相をずらす構成の位相調整部 10)

位相調整部 10 は、被測定信号を遅延させずに、出力被測定信号 $F \times 1$ として出力し、被測定信号 (出力被測定信号 $F \times 1$) を遅延させて、出力被測定信号 $F \times 2$ として出力し、以下、同様にして、順次、遅延させて出力被測定信号 $F \times n$ まで出力する。

また、位相調整部 10 は、基準信号を遅延させずに、出力基準信号 $F_c 1$ として出力し、基準信号 (出力基準信号 $F_c 1$) を遅延させて、出力基準信号 $F_c 2$ として出力し、以下、同様にして、順次、遅延させて出力基準信号 $F_c n$ まで出力する。この場合、被測定信号についての遅延時間と、基準信号についての遅延時間とは、異なるように設定する。

この位相調整部 10 により被測定信号と基準信号との少なくとも一方を遅延させることにより、各 $FDSM20$ における周波数デルタシグマ変調で発生する周期的な量子化雑音であるアイドルトーンを時間的に分散させ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。

10

【0037】

また、位相調整部 10 としては、下記の 2 つの構成が挙げられる。

(構成 1)

構成 1 は、 n 個の $FDSM20$ の出力信号のアイドルトーンの位相がすべて互いに異なるように、位相調整部 10 が構成されている。具体的には、下記のように位相調整部 10 を構成する。

【0038】

所定時間を D 、被測定信号の 1 周期または基準信号の 1 周期を T 、 m を n 以下の任意の自然数、 mD/nT を整数、 mD/nT と m とが互いに素、 i (i は $n-1$ 以下の任意の自然数) 番目の $FDSM20$ (周波数デルタシグマ変調部) に供給する出力被測定信号と出力基準信号との位相差を P_i としたとき、位相調整部 10 は、 $D/n = P_{i+1} - P_i$ となるように、被測定信号と基準信号との位相を調整して、 n 組の出力被測定信号 $F \times 1 \sim$ 出力被測定信号 $F \times n$ および出力基準信号 $F_c 1 \sim$ 出力基準信号 $F_c n$ を生成する。これにより、 n 個の $FDSM20$ の出力信号のアイドルトーンの位相が互いに異なるようにすることができる。これによって、アイドルトーンを適確に時間的に分散させることができ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。この場合、後述する構成 2 よりもさらにアイドルトーンを時間的に分散させることができ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。

20

30

例として、10 個の $FDSM20$ と基準信号 (周波数: 200MHz) を用いて、最大遅延量 15000p 秒の位相を調整する場合を挙げると、 D は 15000p 秒、 T は $1/200\text{MHz} = 5000\text{p}$ 秒、 n は 10 となる。設計値として m に 10 を選べば、 mD/nT は 3 となり、 mD/nT と m は互いに素となることから上記条件を満たす。この場合、 $P_{i+1} - P_i$ を D/n 、すなわち 1500p 秒ずつ位相をずらすよう調整すれば良い。

【0039】

(構成 2)

構成 2 は、 n 個の $FDSM20$ の出力信号のアイドルトーンの位相のうちの一部が互いに異なるように、位相調整部 10 が構成されている。具体的には、下記のように位相調整部 10 を構成する。

40

【0040】

位相調整部 10 は、 n 個の $FDSM20$ (周波数デルタシグマ変調部) のうちの一部の $FDSM20$ の出力信号のアイドルトーンの位相が互いに異なるように、被測定信号と基準信号との位相を調整して、 n 組の出力被測定信号 $F \times 1 \sim$ 出力被測定信号 $F \times n$ および出力基準信号 $F_c 1 \sim$ 出力基準信号 $F_c n$ を生成する。これにより、アイドルトーンを適確に時間的に分散させることができ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。

【0041】

また、 n 組の出力被測定信号 $F \times 1 \sim$ 出力被測定信号 $F \times n$ および出力基準信号 $F_c 1 \sim$ 出力基準信号 $F_c n$ は、所定時間を D 、被測定信号の 1 周期または基準信号の 1 周期を

50

T 、 m を n 以下の任意の自然数、 mD/nT を整数、 mD/nT と m とが互いに素、 i (i は $n-1$ 以下の任意の自然数)番目のFDSM20(周波数デルタシグマ変調部)に供給する出力被測定信号と出力基準信号との位相差を P_i としたとき、 $D/n = P_{i+1} - P_i$ であってもよい。

この場合でもジッターを付与することで、 n 個のFDSM20の出力信号のアイドルトーンの位相が互いに異なるようにすることができる。これによって、アイドルトーンを適確に時間的に分散させることができ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。

また、遅延量の設定の自由度が高まり、調整が簡易になり、調整が簡易になることから特別な装置を必要とせず、製造コストを低減することができる。

また、一部が $D/n = P_{i+1} - P_i$ を満足し、他(残り)が $D/n = P_{i+1} - P_i$ であってもよい。 10

また、加算器30は、出力データOUT1～出力データOUT n を加算して、周波数デルタシグマ変調信号 Y を生成し、出力する。この周波数デルタシグマ変調信号 Y は、基準信号の周波数と被測定信号の周波数との比(周波数比)に対応している。

【0042】

このようなアイドルトーン分散装置1は、ジッターを生成するジッター生成部の1例であるジッター加算器5を有している。これにより、別途、ジッターを生成する装置を用意する必要がなく、ジッターを付加したい信号に対し、容易かつ適確にジッターを付加することができる。ジッターとは、信号の時間的な揺らぎ(タイミング揺らぎ)を言う。また以下では、ジッターの大きさは、信号を構成する1つのパルス(信号波形)に着目したとき、最も早く立ち上がる立ち上がりエッジと最も遅く立ち上がる立ち上がりエッジとの間の時間(時間間隔)を言う。 20

【0043】

具体的には、アイドルトーン分散装置1は、 n 個(複数)の出力被測定信号 $Fx1 \sim$ 出力被測定信号 Fxn に個別にジッターを付与(加算)する n 個(複数)のジッター加算器5と、基準信号 Fc にジッターを付与(加算)するジッター加算器5とを備えている。

出力被測定信号 $Fx1 \sim$ 出力被測定信号 Fxn にジッターを付与する各ジッター加算器5は、各FDSMの入力側に接続されている。

また、基準信号 Fc にジッターを付与するジッター加算器5は、位相調整部10の入力側に接続されている。 30

【0044】

この場合、 n 個の出力被測定信号 $Fx1 \sim$ 出力被測定信号 Fxn に個別にジッターを付与する n 個のジッター加算器5を設けることにより、被測定信号 Fx にジッターを付与するジッター加算器5を設ける場合に比べて、周波数デルタシグマ変調信号に含まれるノイズ成分を低下させることができる。

また、基準信号 Fc にジッターを付与するジッター加算器5を設けることにより、 n 個の出力基準信号 $Fc1 \sim$ 出力基準信号 Fcn に個別にジッターを付与する n 個のジッター加算器5を設ける場合に比べて、回路規模を小さくすることができる。

【0045】

次に、ジッター加算器5(ジッター生成部)について説明する。 40

図2に示すように、ジッター加算器5は、1ビットのリプルカウンター51(バイナリカウンタ)と、複数の遅延素子52と、セレクター53と、マルチプレクサー54と、微分器55とを有している。

また、リプルカウンター51の出力側(後段)に、直列に接続された複数の遅延素子52が接続されている。

また、セレクター53の出力側および各遅延素子52の出力側にマルチプレクサー54が接続され、マルチプレクサー54の出力側に微分器55が接続されている。

【0046】

また、リプルカウンター51は、本実施形態では、DフリップフロップのQバー出力端子とD入力端子とを接続してなるTフリップフロップで構成されている。また、微分器5 50

5 は、本実施形態では、排他的論理和回路 5 5 1 と、排他的論理和回路 5 5 1 の一方の入力端子に接続された遅延素子 5 5 2 とで構成され、遅延素子 5 5 2 としてバッファが用いられている。

【 0 0 4 7 】

次に、図 2 および図 3 を参照しつつ、ジッター加算器 5 の動作について説明する。なお、以下では、ジッターを付与（加算）する信号を「対象信号」と呼んで説明する。

まず、対象信号は、ジッター加算器 5 のリプルカウOUNTER 5 1 に入力され、リプルカウOUNTER 5 1 で 2 分周され、出力される。

【 0 0 4 8 】

次に、リプルカウOUNTER 5 1 から出力された信号は、初段（1 番目）の遅延素子 5 2 に入力され、初段の遅延素子 5 2 で遅延される。なお、以下では、各遅延素子 5 2 から出力される信号を「遅延信号」と呼ぶ。

また、初段の遅延素子 5 2 から出力された遅延信号 a 1 は、マルチプレクサー 5 4 および 2 段目（2 番目）の遅延素子 5 2 に入力され、2 段目の遅延素子 5 2 で遅延される。

また、2 段目の遅延素子 5 2 から出力された遅延信号 a 2 は、マルチプレクサー 5 4 および 3 段目（3 番目）の遅延素子 5 2 に入力され、3 段目の遅延素子 5 2 で遅延される。

以下、同様にして、3 段目から最終段までの各遅延素子 5 2 から出力された遅延信号 a 3、a 4・・・a n は、マルチプレクサー 5 4 に入力される。このようにして、位相（位相差）の異なる複数の遅延信号 a 1、a 2、a 3、a 4・・・a n がマルチプレクサー 5 4 に入力される。各遅延素子 5 2 における信号の遅延量は、リプルカウOUNTER 5 1 に入力される対象信号に対する最終段の遅延素子 5 2 から出力される遅延信号 a n の遅延量（位相差）が対象信号の 1 周期を超えないように設定されている。

【 0 0 4 9 】

また、対象信号は、セレクター 5 3 に入力され、セレクター 5 3 は、その対象信号の立ち上がりエッジに同期して作動し、マルチプレクサー 5 4 を動作させる。これにより、マルチプレクサー 5 4 に入力された遅延信号 a 1～a n のうちからいずれか 1 つが選択され、マルチプレクサー 5 4 から出力される。この場合、セレクター 5 3 は、例えば、遅延信号 a 1～a n の選択の順番が記憶された記憶部（図示せず）を有しており、その記憶部に記憶された順番の通りに選択する。なお、セレクター 5 3 の選択方法は、この方法に限定されるものではない。

【 0 0 5 0 】

マルチプレクサー 5 4 から出力された信号は、微分器 5 5 に入力される。微分器 5 5 は、入力された信号の 1 周期間隔で 1 つのパルスを出力する。すなわち、微分器 5 5 は、入力された信号の立ち上がりエッジに同期した立ち上がりエッジを有するパルスおよび入力された信号の立ち下りに同期した立ち上がりエッジを有するパルスを出力する。このパルスは、対象信号に同期しており（同一周期であり）、セレクター 5 3 で選択された任意のジッターを含む信号である。

【 0 0 5 1 】

また、このジッター加算器 5 で付与されるジッターは、F D S M 2 0 の出力信号のアイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含んでいる。すなわち、ジッターは、測定帯域（計測帯域）の上限値よりも高い周波数成分を含んでいる。これにより、アイドルトーンに起因する量子化雑音の影響を大幅に抑制することができる。前記測定帯域は、ユーザーが任意に設定することが可能な周波数の測定範囲であり、被測定周波数および基準信号の周波数とは別の測定範囲である。なお、ジッターに含まれる周波数成分は、諸条件に応じて適宜設定される。

また、ジッターに含まれる周波数成分のうちの最大周波数を A、F D S M 2 0 の出力信号のアイドルトーンの周波数を B、測定帯域の上限周波数を C としたとき、前述したように、A は、B よりも大きければ特に限定されず、諸条件に応じて適宜設定されるものであるが、A / C は、1 以上であることが好ましく、2 以上であることがより好ましく、8 以上であることがさらに好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

また、ジッターは、アイドルトーンが有する周波数成分のうち、強度の最も大きい成分の周波数よりも高い周波数成分を含むことが好ましい。これにより、アイドルトーンに起因する量子化雑音の影響を大幅に抑制することができる。

【 0 0 5 3 】

また、ジッターは、低周波数成分が除去されていることが好ましい。これにより、ジッターの周波数帯域のうちの除去した周波数帯域において、周波数デルタシグマ変調信号に含まれるノイズ成分を低下させることができる。

また、除去するジッターの周波数成分は、特に限定されず、諸条件に応じて適宜設定されるものであるが、測定帯域の上限周波数を 1 0 0 M H z とする場合であれば、1 M H z 以下の低周波数成分を除去することが好ましく、2 M H z 以下の低周波数成分を除去することがより好ましく、5 M H z 以下の低周波数成分を除去することがさらに好ましく、1 0 M H z 以下の低周波数成分を除去することがさらに好ましく、2 0 M H z 以下の低周波数成分を除去することがさらに好ましく、5 0 M H z 以下の低周波数成分を除去することがさらに好ましく、1 0 0 M H z 以下の低周波数成分を除去することがさらに好ましい。

【 0 0 5 4 】

また、ジッターの大きさは、特に限定されず、諸条件に応じて適宜設定されるものであるが、基準信号の周波数、被測定信号の周波数、被測定信号の測定帯域および F D S M 2 0 の個数 (N) のうちの少なくとも 1 つに基づいて決定されることが好ましい。これにより、適確にジッターの周波数帯域を設定することができる。なお、具体例は、後述する実験の説明において説明する。

【 0 0 5 5 】

ここで、ジッター加算器 5 は、対象の信号に対してジッターを付与 (加算) することが可能なものであれば、前記の構成に限定されるものではない。次に、ジッター加算器 5 の他の構成例について説明する。

(構成 1)

図 4 に示すように、構成 1 では、ジッター加算器 5 は、エミッターフォロア回路 5 0 A と、加算器 5 1 A とを有している。エミッターフォロア回路 5 0 A は、トランジスター 5 2 A (n p n トランジスター) と、トランジスター 5 2 A のエミッターに接続された抵抗 5 3 A とを有している。また、加算器 5 1 A は、トランジスター 5 2 A のコレクターに接続されている。

加算器 5 1 A には、電源電圧とノイズとが入力される。また、ジッターを加算する信号は、トランジスター 5 2 A のベースに入力される。

【 0 0 5 6 】

このジッター加算器 5 では、供給される電源電圧にノイズを加えることで、トランジスター 5 2 A のスイッチング特性が変化し、トランジスター 5 2 A のベースに入力される信号に対して時間的な揺らぎ (タイミング揺らぎ) を持つ信号、すなわち、ジッターを含む信号を出力する。

【 0 0 5 7 】

(構成 2)

構成 2 では、アイドルトーン分散装置 1 の回路を構成する原子の熱運動により対象の回路に電氣的なノイズを付与し、これにより、時間的な揺らぎを持つ信号を出力させる。

このようなアイドルトーン分散装置 1 は、前述した各部に対応する機能を実現するハードウェアで構成することが可能である。また、アイドルトーン分散装置 1 は、前述した各部に対応する機能を実現するプログラムやモジュール等により、ソフトウェア的に構成することも可能である。また、アイドルトーン分散装置 1 は、前述した各部に対応する機能を実現するハードウェアとソフトウェアとを組み合わせる構成することも可能である。

【 0 0 5 8 】

以上説明したように、アイドルトーン分散装置 1 によれば、各 F D S M 2 0 における周波数デルタシグマ変調で発生する周期的な量子化雑音であるアイドルトーンを時間的に分

10

20

30

40

50

散させ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。そして、基準信号と、各出力被測定信号とがアイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを有することにより、アイドルトーンに起因する量子化雑音の影響を大幅に抑制することができる。

なお、本実施形態では、基準信号（各出力基準信号）および各出力被測定信号は、それぞれ、FDSM20の出力信号のアイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを有しているが、これに限定されず、各出力基準信号および各出力被測定信号のうちの少なくとも1つが、FDSM20の出力信号のアイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを有していればよい。

【0059】

以上説明したように、アイドルトーン分散装置1は、基準信号Fcと被測定信号Fxとのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調してアイドルトーンを分散させた周波数デルタシグマ変調信号Yを出力する装置である。

このアイドルトーン分散装置1は、n（nは2以上の任意の自然数）個のFDSM20（周波数デルタシグマ変調部）と、被測定信号Fxと基準信号Fcとの位相を調整して、n組の出力被測定信号Fx1～出力被測定信号Fxnおよび出力基準信号Fc1～出力基準信号Fcnを生成して、各組の出力被測定信号Fx1～出力被測定信号Fxnおよび出力基準信号Fc1～出力基準信号Fcnをn個のFDSM20（周波数デルタシグマ変調部）の各々に供給する位相調整部10と、n個のFDSM20（周波数デルタシグマ変調部）の出力信号を加算して周波数デルタシグマ変調信号Yを出力する加算器30（加算部）とを備えている。

また、位相調整部10は、n個のFDSM20（周波数デルタシグマ変調部）のうちの少なくとも一部のFDSM20（周波数デルタシグマ変調部）の出力信号のアイドルトーンの位相が互いに異なるように、被測定信号Fxと基準信号Fcとの位相を調整して、n組の出力被測定信号Fx1～出力被測定信号Fxnおよび出力基準信号Fc1～出力基準信号Fcnを生成する。

また、n個のFDSM20（周波数デルタシグマ変調部）の各々は、位相調整部10から供給される出力基準信号Fc1～出力基準信号Fcnと、出力被測定信号Fx1～出力被測定信号Fxnとのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調する。

また、出力基準信号Fc1～出力基準信号Fcnと、出力被測定信号Fx1～出力被測定信号Fxnとのうちの少なくとも1つは、アイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを有する。

【0060】

このようなアイドルトーン分散装置1によれば、FDSM20で発生する周期的な量子化雑音であるアイドルトーンを時間的に分散させ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。特に、基準信号Fcと、被測定信号Fxと、出力基準信号Fc1～出力基準信号Fcnと、出力被測定信号Fx1～出力被測定信号Fxnとのうちの少なくとも1つがアイドルトーンに起因する量子化雑音の影響を大幅に抑制することができる。

【0061】

< 第2実施形態 >

図5は、本発明のアイドルトーン分散装置の第2実施形態を示すブロック図である。

以下、第2実施形態について説明するが、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

【0062】

図5に示すように、第2実施形態のアイドルトーン分散装置1は、被測定信号Fxにジッターを付与（加算）するジッター加算器5と、n個（複数）の出力基準信号Fc1～出力基準信号Fcnに個別にジッターを付与（加算）するn個（複数）のジッター加算器5とを備えている。

被測定信号Fxにジッターを付与するジッター加算器5は、位相調整部10の入力側に接続されている。

また、出力基準信号 F_{c1} ~ 出力基準信号 F_{cn} にジッターを付与する各ジッター加算器 5 は、各 FDSM の入力側に接続されている。

【0063】

この場合、被測定信号 F_x にジッターを付与するジッター加算器 5 を設けることにより、 n 個の出力被測定信号 F_{x1} ~ 出力被測定信号 F_{xn} に個別にジッターを付与する n 個のジッター加算器 5 を設ける場合に比べて、回路規模を小さくすることができる。

また、 n 個の出力基準信号 F_{c1} ~ 出力基準信号 F_{cn} に個別にジッターを付与する n 個のジッター加算器 5 を設けることにより、基準信号 F_c にジッターを付与するジッター加算器 5 を設ける場合に比べて、周波数デルタシグマ変調信号に含まれるノイズ成分を低下させることができる。

10

以上のような第 2 実施形態によっても、前述した実施形態と同様の効果を発揮することができる。

【0064】

< 第 3 実施形態 >

図 6 は、本発明のアイドルトーン分散装置の第 3 実施形態を示すブロック図である。

以下、第 3 実施形態について説明するが、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

【0065】

図 6 に示すように、第 3 実施形態のアイドルトーン分散装置 1 は、 n 個（複数）の出力被測定信号 F_{x1} ~ 出力被測定信号 F_{xn} に個別にジッターを付与（加算）する n 個（複数）のジッター加算器 5 と、 n 個（複数）の出力基準信号 F_{c1} ~ 出力基準信号 F_{cn} に個別にジッターを付与（加算）する n 個（複数）のジッター加算器 5 とを備えている。

20

被測定信号 F_{x1} ~ 出力被測定信号 F_{xn} にジッターを付与する各ジッター加算器 5 は、位相調整部 10 の入力側に接続されている。

また、出力基準信号 F_{c1} ~ 出力基準信号 F_{cn} にジッターを付与する各ジッター加算器 5 は、各 FDSM の入力側に接続されている。

【0066】

この場合、 n 個の出力被測定信号 F_{x1} ~ 出力被測定信号 F_{xn} に個別にジッターを付与する n 個のジッター加算器 5 を設けることにより、被測定信号 F_x にジッターを付与するジッター加算器 5 を設ける場合に比べて、周波数デルタシグマ変調信号に含まれるノイズ成分を低下させることができる。

30

同様に、 n 個の出力基準信号 F_{c1} ~ 出力基準信号 F_{cn} に個別にジッターを付与する n 個のジッター加算器 5 を設けることにより、基準信号 F_c にジッターを付与するジッター加算器 5 を設ける場合に比べて、周波数デルタシグマ変調信号に含まれるノイズ成分を低下させることができる。

以上のような第 3 実施形態によっても、前述した実施形態と同様の効果を発揮することができる。

【0067】

< 第 4 実施形態 >

図 7 は、本発明のアイドルトーン分散装置の第 4 実施形態を示すブロック図である。

40

以下、第 4 実施形態について説明するが、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

【0068】

図 7 に示すように、第 4 実施形態のアイドルトーン分散装置 1 は、被測定信号 F_x にジッターを付与（加算）するジッター加算器 5 と、基準信号 F_c にジッターを付与（加算）するジッター加算器 5 とを備えている。各ジッター加算器 5 は、各 FDSM の入力側に接続されている。

【0069】

この場合、被測定信号 F_x にジッターを付与するジッター加算器 5 を設けることにより、 n 個の出力被測定信号 F_{x1} ~ 出力被測定信号 F_{xn} に個別にジッターを付与する n 個

50

のジッター加算器 5 を設ける場合に比べて、回路規模を小さくすることができる。

同様に、基準信号 F_c にジッターを付与するジッター加算器 5 を設けることにより、 n 個の出力基準信号 $F_{c1} \sim F_{cn}$ に個別にジッターを付与する n 個のジッター加算器 5 を設ける場合に比べて、回路規模を小さくすることができる。

以上のような第 4 実施形態によっても、前述した実施形態と同様の効果を発揮することができる。

【0070】

< 第 5 実施形態 >

図 8 は、本発明のアイドルトーン分散装置の第 5 実施形態を示すブロック図である。

以下、第 5 実施形態について説明するが、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

【0071】

図 8 に示すように、第 5 実施形態のアイドルトーン分散装置 1 は、位相調整部 10 が省略されている以外は、第 1 実施形態と同様である。これにより、各 $FDSM20$ には、同相の被測定信号および同相の基準信号が入力される。

【0072】

このアイドルトーン分散装置 1 は、被測定信号の経路については、各 $FDSM20$ に入力される被測定信号に個別にジッターを付与（加算）する複数個（本実施形態では 8 個）のジッター加算器 5 を備え、基準信号の経路については、基準信号 F_c にジッターを付与（加算）する 1 個の（共通の）ジッター加算器 5 とを備えている。各ジッター加算器 5 は、各 $FDSM$ の入力側に接続されている。

以上のような第 5 実施形態によっても、前述した実施形態と同様の効果を発揮することができる。

また、第 5 実施形態は、第 2 ～ 第 4 実施形態にも適用することができる。

【0073】

以上説明したように、アイドルトーン分散装置 1 は、基準信号 F_c と被測定信号 F_x とのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調してアイドルトーンを分散させた周波数デルタシグマ変調信号 Y を出力する装置である。

このアイドルトーン分散装置 1 は、 n （ n は 2 以上の任意の自然数）個の $FDSM20$ （周波数デルタシグマ変調部）と、 n 個の $FDSM20$ （周波数デルタシグマ変調部）の出力信号を加算して周波数デルタシグマ変調信号 Y を出力する加算器 30（加算部）とを備えている。

また、 n 個の $FDSM20$ （周波数デルタシグマ変調部）の各々は、基準信号 F_c と被測定信号 F_x とのいずれか一方を用いて他方を周波数デルタシグマ変調する。

また、基準信号 F_c と被測定信号 F_x との少なくとも一方は、 $FDSM20$ （周波数デルタシグマ変調部）の出力信号のアイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを有する。

【0074】

このようなアイドルトーン分散装置 1 によれば、 $FDSM20$ で発生する周期的な量子化雑音であるアイドルトーンを時間的に分散させ、アイドルトーンの影響を抑制することができる。特に、基準信号 F_c と被測定信号 F_x との少なくとも一方がアイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むジッターを有することにより、アイドルトーンに起因する量子化雑音の影響を大幅に抑制することができる。

【0075】

次に、アイドルトーン分散装置 1 の効果等を確認するために行った実験について説明する。

【0076】

図 9 は、アイドルトーン分散装置の比較例を示すブロック図である。図 11 ～ 図 79 は、それぞれ、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルを示すグラフである。なお、以下の説明では、位相調整部 10 から出力される出力基準信号および出力被測定信号をそれぞ

10

20

30

40

50

れ基準信号および被測定信号と言う。

【 0 0 7 7 】

まず、各実験に共通な事項としては、基準信号として、周波数が 260 MHz の矩形波（パルス）を用いた。

また、被測定信号として、周波数を変動させた矩形波を用いた。この場合、搬送周波数を 261.24 MHz とし、1秒間に2M回（変調周波数： 2 MHz ）、 $\pm 500\text{ kHz}$ の範囲で搬送周波数を変更し、これを矩形波に変換したものを被測定信号とした。すなわち、各実験では、 2 MHz の周波数成分を検出対象（測定対象）の周波数とした。

【 0 0 7 8 】

< 装置 >

アイドルトーン分散装置として、下記の装置 a、装置 b、装置 c、装置 d および装置 e を用意した。

（装置 a）

図 1 に示す第 1 実施形態のアイドルトーン分散装置 1 を用いた。また、FDSM20 の並列数は、8 個とした。また、8 個の FDSM20 にすべて位相の異なる被測定信号を入力した。また、8 個の FDSM20 に入力する被測定信号は、 $1/260\text{ M} \times 1/8$ [秒] ずつ遅延させた。この装置 a を用いる場合、グラフの説明には、「等分 8 並列」と記載する。

【 0 0 7 9 】

（装置 b）

図 1 に示す第 1 実施形態のアイドルトーン分散装置 1 を用いた。また、FDSM20 の並列数は、8 個とした。また、2 個の FDSM20 に同相の被測定信号を入力し、その 2 個の FDSM20 を 1 組とし、4 組の FDSM20 にすべて位相の異なる被測定信号を入力した。また、4 組の FDSM20 に入力する被測定信号は、 $1/260\text{ M} \times 1/4$ [秒] ずつ遅延させた。この装置 b を用いる場合、グラフの説明には、「重複 2×4 並列」と記載する。

【 0 0 8 0 】

（装置 c）

図 8 に示す位相調整部 10 を有していない第 5 実施形態のアイドルトーン分散装置 1 を用いた。また、FDSM20 の並列数は、8 個とした。すなわち、8 個の FDSM20 にすべて同一の位相の被測定信号を入力した。この装置 c を用いる場合、グラフの説明には、「同相 8 並列」と記載する。

【 0 0 8 1 】

（装置 d）

図 9 に示すアイドルトーン分散装置 200（比較例）を用いた。このアイドルトーン分散装置 200 は、1 個の FDSM20 を有している。また、アイドルトーン分散装置 200 は、被測定にジッターを付与するジッター加算器 5 と、基準信号 Fc にジッターを付与するジッター加算器 5 とを備えている。この装置 d を用いる場合、グラフの説明には、「シングル」と記載する。

【 0 0 8 2 】

（装置 e）

図 7 に示す第 4 実施形態のアイドルトーン分散装置 1 を用いた。また、FDSM20 の並列数は、8 個とした。また、8 個の FDSM20 にすべて位相の異なる被測定信号を入力した。また、8 個の FDSM20 に入力する被測定信号は、 $1/260\text{ M} \times 1/8$ [秒] ずつ遅延させた。この装置 e を用いる場合、グラフの説明には、「等分 8 並列」および「共通」と記載する。

【 0 0 8 3 】

< 実験 1 >

装置 a を用い、基準信号には、共通のジッターを付与し、被測定信号には、FDSM20 毎に独立してジッターを付与した。

10

20

30

40

50

また、基準信号に付与するジッターの大きさを「10 p 秒」とし、被測定信号に付与するジッターの大きさを「10 p 秒」とした（実施例）。

また、基準信号に付与するジッターおよび被測定信号に付与するジッターは、それぞれ、最大の周波数成分が130 MHzで、130 MHz以下の周波数成分を含んでいる。

【0084】

この場合、測定帯域（計測帯域）の上限値は、130 MHz未満に設定する。これにより、装置aから出力される周波数デルタシグマ変調信号のアイドルトーンのうち、対象となるアイドルトーンの周波数は、130 MHz未満となる。すなわち、基準信号に付与するジッターおよび被測定信号に付与するジッターは、それぞれ、アイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含むこととなる。

10

アイドルトーン分散装置から出力される周波数デルタシグマ変調信号について、含まれる周波数成分の強度を求め、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図12に示す。

【0085】

また、他の実施例として、基準信号に付与するジッターの大きさ、被測定信号に付与するジッターの大きさを「20 p 秒（基準信号）、20 p 秒（被測定信号）」、「50 p 秒、50 p 秒」、「100 p 秒、100 p 秒」、「200 p 秒、200 p 秒」、「500 p 秒、500 p 秒」、「1000 p 秒、1000 p 秒」、「2000 p 秒、2000 p 秒」とし、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図13～図19に示す。

20

【0086】

また、比較例として、装置aにおいて、基準信号および被測定信号にそれぞれジッターが含まれていない場合（ジッターの大きさが0 p 秒）について、シミュレーションを行って、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図11に示す。

各グラフの横軸は、高速フーリエ変換（FFT）を行って求めた周波数成分（周波数）であり、縦軸は、強度（FFTスペクトル）である（図20～図78も同様）。

【0087】

また、グラフにおいて、2 MHzの周波数成分が、検出対象の周波数であり、その2 MHzのピークは、他の部分、すなわち、2 MHz以外のピークおよびベース部分（ベースノイズ）に対して高いほど好ましい。この2 MHzのピークと他の部分との差、例えば、2 MHzのピークと、測定帯域内の2 MHz以外のピークのうちの最大のピークとの差が、SN比に対応している。一方、2 MHz以外のピークは、それぞれ、アイドルトーン（ノイズ）となり得るものであるが、測定帯域内の2 MHz以外のピークのみがアイドルトーンであり、測定帯域外のピークは、対象としていない。

30

本実験の結果から、基準信号および被測定信号がジッターを含む場合は、基準信号および被測定信号がジッターを含まない場合に比べて、アイドルトーンの影響が抑制されることが判る。また、ジッターの大きさに応じて、アイドルトーンの影響を抑制する効果（アイドルトーン抑制効果）が異なることも判る。

【0088】

40

例えば、基準信号および被測定信号が100 p 秒のジッターを含む図15に示すグラフと、基準信号および被測定信号がジッターを含まない図11に示すグラフとを比べると、100 p 秒のジッターを含む場合は、アイドルトーンを示すピークが低くなり、特に周波数が3 MHz以下においてアイドルトーンの影響が抑制されることが判る。

【0089】

また、各実施例のうち、基準信号および被測定信号が10 p 秒のジッターを含む場合が最も効果が低いものであるが、その10 p 秒のジッターを含む図12に示すグラフと、基準信号および被測定信号がジッターを含まない図11に示すグラフとを比べても、10 p 秒のジッターを含む場合は、特に周波数が1 MHz以下においてアイドルトーンの影響が抑制されることが判る。

50

【 0 0 9 0 】

また、本実験では、例えば、測定帯域の上限値を 3 MHz 程度に設定する場合は、図 15 および図 16 に示すように、ジッターの大きさは、100 p 秒以上、200 p 秒以下程度が好ましいことが判る。その理由は、ジッターの大きさが 100 p 秒および 200 p 秒の場合は、周波数が 3 MHz 以下において、アイドルトーンを示すピークが低く、かつ、ベース部分の強度も抑えられているためである。また、測定帯域の上限値を 10 MHz に設定する場合は、図 17 に示すように、ジッターの大きさは、500 p 秒程度が好ましいことが判る。その理由は、ジッターの大きさが 500 p 秒の場合は、周波数が 10 MHz 以下において、アイドルトーンを示すピークが低く、かつ、ベース部分の強度も抑えられているためである。

10

【 0 0 9 1 】

< 実験 2 >

実験 1 の実施例において、被測定信号に付与するジッターの大きさを「1 p 秒」に固定し、基準信号に付与するジッターの大きさを「10 p 秒」、「20 p 秒」、「50 p 秒」、「100 p 秒」、「200 p 秒」、「500 p 秒」、「1000 p 秒」、「2000 p 秒」（実施例）とし、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 20 ~ 図 27 に示す。

【 0 0 9 2 】

この結果から、基準信号のみのジッターの大きさを調整することでもアイドルトーンは抑制されることが判る。

20

なお、被測定信号がジッターを含まず（ジッターの大きさが 0 p 秒）、基準信号に付与するジッターの大きさを「10 p 秒」、「20 p 秒」、「50 p 秒」、「100 p 秒」、「200 p 秒」、「500 p 秒」、「1000 p 秒」、「2000 p 秒」（実施例）とし、シミュレーションを行って、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成したところ、被測定信号のジッターの大きさが 1 p 秒の場合と、ほぼ同様の結果が得られた。これにより、基準信号のみがジッターを含む場合でもアイドルトーンは抑制されることが判る。

【 0 0 9 3 】

< 実験 3 >

実験 1 の実施例において、基準信号に付与するジッターの大きさを「1 p 秒」に固定し、被測定信号に付与するジッターの大きさを「10 p 秒」、「20 p 秒」、「50 p 秒」、「100 p 秒」、「200 p 秒」、「500 p 秒」、「1000 p 秒」、「2000 p 秒」（実施例）とし、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 28 ~ 図 35 に示す。

30

【 0 0 9 4 】

この結果から、被測定信号のみのジッターの大きさを調整することでもアイドルトーンは抑制されることが判る。

なお、基準信号がジッターを含まず（ジッターの大きさが 0 p 秒）、被測定信号に付与するジッターの大きさを「10 p 秒」、「20 p 秒」、「50 p 秒」、「100 p 秒」、「200 p 秒」、「500 p 秒」、「1000 p 秒」、「2000 p 秒」（実施例）とし、シミュレーションを行って、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成したところ、基準信号のジッターの大きさが 1 p 秒の場合と、ほぼ同様の結果が得られた。これにより、被測定信号のみがジッターを含む場合でもアイドルトーンは抑制されることが判る。

40

また、実験 3 の図 28 ~ 図 35 に示すグラフと、実験 1 の図 12 ~ 図 19 に示すグラフとの対応するグラフ同士を比べると、実験 1 の実施例の方がベース部分の強度は高いことが判る。同様に、実験 2 についても実験 1 の実施例の方がベース部分の強度は高いことが判る。

これは、ジッターの大きさが同じ場合、基準信号と被測定信号とのいずれか一方のみにジッターを付与する場合に比べ、両方にジッターを付与する方が系に投入されるノイズの

50

エネルギーが大きくなることに対応している。

【 0 0 9 5 】

< 実験 4 >

装置 b を用い、基準信号には、共通のジッターを付与し、被測定信号には、F D S M 2 0 毎に独立してジッターを付与した。

また、基準信号に付与するジッターの大きさを「1 p 秒」とし、被測定信号に付与するジッターの大きさを「1 0 p 秒」とした（実施例）。

【 0 0 9 6 】

また、実験 1 の実施例と同様に、基準信号に付与するジッターおよび被測定信号に付与するジッターは、それぞれ、最大の周波数成分が 1 3 0 M H z で、1 3 0 M H z 以下の周波数成分を含んでいる、すなわち、アイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含んでいる。

10

アイドルトーン分散装置から出力される周波数デルタシグマ変調信号について、含まれる周波数成分の強度を求め、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 3 7 に示す。

【 0 0 9 7 】

また、他の実施例として、基準信号に付与するジッターの大きさを「1 p 秒」に固定し、被測定信号に付与するジッターの大きさを「2 0 p 秒」、「5 0 p 秒」、「1 0 0 p 秒」、「2 0 0 p 秒」、「5 0 0 p 秒」、「1 0 0 0 p 秒」、「2 0 0 0 p 秒」とし、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 3 8 ~ 図 4 4 に示す。

20

また、比較例として、装置 b において、基準信号および被測定信号にそれぞれジッターが含まれていない場合（ジッターの大きさが 0 p 秒）について、シミュレーションを行って、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 3 6 に示す。

【 0 0 9 8 】

本実験の結果から、同相の被測定信号が入力される F D S M 2 0 の組がある場合でも、基準信号および被測定信号がジッターを含む場合は、基準信号および被測定信号がジッターを含まない場合に比べて、アイドルトーンの影響が抑制されることが判る。

なお、基準信号がジッターを含まず（ジッターの大きさが 0 p 秒）、被測定信号に付与するジッターの大きさを「1 0 p 秒」、「2 0 p 秒」、「5 0 p 秒」、「1 0 0 p 秒」、「2 0 0 p 秒」、「5 0 0 p 秒」、「1 0 0 0 p 秒」、「2 0 0 0 p 秒」（実施例）とし、シミュレーションを行って、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成したところ、基準信号のジッターの大きさが 1 p 秒の場合と、ほぼ同様の結果が得られた。これにより、被測定信号のみがジッターを含む場合でもアイドルトーンは抑制されることが判る。

30

また、測定帯域の上限値を 1 0 M H z に設定する場合、実験 1 の実施例では、前述したように、ジッターの大きさの最適値は、5 0 0 p 秒程度であるが、実験 4 の実施例では、図 4 3 に示すように、ジッターの大きさの最適値は、1 0 0 0 p 秒程度であり、実験 1 の実施例の 2 倍程度となっている。

40

【 0 0 9 9 】

< 実験 5 >

装置 c を用い、基準信号には、共通のジッターを付与し、被測定信号には、F D S M 2 0 毎に独立してジッターを付与した。

また、基準信号に付与するジッターの大きさを「1 p 秒」とし、被測定信号に付与するジッターの大きさを「1 0 p 秒」とした（実施例）。

【 0 1 0 0 】

また、実験 1 の実施例と同様に、基準信号に付与するジッターおよび被測定信号に付与するジッターは、それぞれ、最大の周波数成分が 1 3 0 M H z で、1 3 0 M H z 以下の周波数成分を含んでいる、すなわち、アイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含ん

50

でいる。

アイドルトーン分散装置から出力される周波数デルタシグマ変調信号について、含まれる周波数成分の強度を求め、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 4 6 に示す。

【 0 1 0 1 】

また、他の実施例として、基準信号に付与するジッターの大きさを「1 p 秒」に固定し、被測定信号に付与するジッターの大きさを「20 p 秒」、「50 p 秒」、「100 p 秒」、「200 p 秒」、「500 p 秒」、「1000 p 秒」、「2000 p 秒」、「3600 p 秒」とし、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 4 7 ~ 図 5 4 に示す。

10

また、比較例として、装置 c において、基準信号および被測定信号にそれぞれジッターが含まれていない場合（ジッターの大きさが 0 p 秒）について、シミュレーションを行って、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 4 5 に示す。

【 0 1 0 2 】

本実験の結果から、すべての F D S M 2 0 に同一の位相の被測定信号を入力する場合でも、基準信号および被測定信号がジッターを含む場合は、基準信号および被測定信号がジッターを含まない場合に比べて、アイドルトーンの影響が抑制されることが判る。

なお、基準信号がジッターを含まず（ジッターの大きさが 0 p 秒）、被測定信号に付与するジッターの大きさを「10 p 秒」、「20 p 秒」、「50 p 秒」、「100 p 秒」、「200 p 秒」、「500 p 秒」、「1000 p 秒」、「2000 p 秒」、「3600 p 秒」（実施例）とし、シミュレーションを行って、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成したところ、基準信号のジッターの大きさが 1 p 秒の場合と、ほぼ同様の結果が得られた。これにより、被測定信号のみがジッターを含む場合でもアイドルトーンは抑制されることが判る。

20

また、本実験では、図 5 3 に示すように、ジッターの大きさを「2000 p 秒」にした場合でも、2 M H z 未満の周波数のアイドルトーンを示すピーク（強度）が、検出対象の周波数である 2 M H z のピーク（強度）を上回った。

【 0 1 0 3 】

そこで、図 5 4 に示すように、ジッターの大きさを「3600 p 秒」まで増やしたところ、2 M H z のピークが、2 M H z 未満の周波数のアイドルトーンを示すピークを上回った。

30

なお、被検出信号の周波数は、 $261.24 \text{ M H z} \pm 0.5 \text{ M H z}$ であることから、ジッターの大きさの理論限界は、その周波数の逆数である約 3820 秒である。

【 0 1 0 4 】

< 実験 6 >

装置 d を用い、基準信号および被測定信号に、独立してジッターを付与した。

また、基準信号に付与するジッターの大きさを「1 p 秒」とし、被測定信号に付与するジッターの大きさを「10 p 秒」とした（比較例）。

また、実験 1 の実施例と同様に、基準信号に付与するジッターおよび被測定信号に付与するジッターは、それぞれ、最大の周波数成分が 130 M H z で、130 M H z 以下の周波数成分を含んでいる、すなわち、アイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含んでいる。

40

アイドルトーン分散装置から出力される周波数デルタシグマ変調信号について、含まれる周波数成分の強度を求め、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 5 6 に示す。

【 0 1 0 5 】

また、他の比較例として、装置 d において、基準信号および被測定信号にそれぞれジッターが含まれていない場合（ジッターの大きさが 0 p 秒）について、シミュレーションを行って、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 5

50

5 に示す。

また、他の比較例として、基準信号に付与するジッターの大きさを「1 p 秒」に固定し、被測定信号に付与するジッターの大きさを「20 p 秒」、「50 p 秒」、「100 p 秒」、「200 p 秒」、「500 p 秒」、「1000 p 秒」、「2000 p 秒」、「3600 p 秒」とし、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図57～図64に示す。

【0106】

本実験では、図63に示すように、ジッターの大きさを「2000 p 秒」にした場合でも、2 MHz 未満の周波数のアイドルトーンを示すピーク（強度）が、検出対象の周波数である2 MHz のピーク（強度）を上回った。

10

そこで、図64に示すように、ジッターの大きさを「3600 p 秒」まで増やしたところ、2 MHz のピークが、2 MHz 未満の周波数のアイドルトーンを示すピークを上回った。

また、実験6の図56～図64に示すグラフと、実験5の図46～図54に示すグラフとの対応するグラフ同士を比べると、実験6の比較例と実験5の実施例とでは、ジッターの大きさに対応するアイドルトーン抑制効果についてはほぼ同じであるが、実験5の実施例では、ベース部分の強度が低下する効果が得られ、ジッターの大きさが増大するほどその効果は顕著となる。

【0107】

< 実験7 >

20

装置eを用い、基準信号に共通のジッターを付与し、また、被測定信号に共通のジッターを付与した。

また、基準信号に付与するジッターの大きさを「1 p 秒」とし、被測定信号に付与するジッターの大きさを「10 p 秒」とした（実施例）。

また、実験1の実施例と同様に、基準信号に付与するジッターおよび被測定信号に付与するジッターは、それぞれ、最大の周波数成分が130 MHz で、130 MHz 以下の周波数成分を含んでいる、すなわち、アイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含んでいる。

【0108】

アイドルトーン分散装置から出力される周波数デルタシグマ変調信号について、含まれる周波数成分の強度を求め、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図65に示す。

30

また、他の実施例として、基準信号に付与するジッターの大きさを「1 p 秒」に固定し、被測定信号に付与するジッターの大きさを「20 p 秒」、「50 p 秒」、「100 p 秒」、「200 p 秒」、「500 p 秒」、「1000 p 秒」、「2000 p 秒」とし、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図66～図72に示す。

【0109】

本実験の結果から、基準信号に共通のジッターを付与し、被測定信号に共通のジッターを付与する場合でも、基準信号および被測定信号がジッターを含まない場合に比べて、アイドルトーンの影響が抑制されることが判る。

40

なお、基準信号がジッターを含まず（ジッターの大きさが0 p 秒）、被測定信号に付与するジッターの大きさを「10 p 秒」、「20 p 秒」、「50 p 秒」、「100 p 秒」、「200 p 秒」、「500 p 秒」、「1000 p 秒」、「2000 p 秒」（実施例）とし、シミュレーションを行って、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成したところ、基準信号のジッターの大きさが1 p 秒の場合と、ほぼ同様の結果が得られた。これにより、被測定信号のみがジッターを含む場合でもアイドルトーンは抑制されることが判る。

また、実験7の図65～図72に示すグラフと、実験3の図28～図35に示すグラフとの対応するグラフ同士を比べると、実験7の実施例と実験3の実施例とでは、実験7の

50

実施例の方がベース部分の強度は高いことが判る。これは、被検出信号に付与されるジッターが独立している場合には、合算したジッターの分布を表す分散はそれぞれの分散の和に近づくのに対し、被検出信号に付与されるジッターが共通である場合には、合算したジッターの分布を表す分散はそれぞれの分散の和よりも大きくなることに対応している。

【 0 1 1 0 】

< 実験 8 >

装置 a を用い、基準信号には、共通のジッターを付与し、被測定信号には、F D S M 2 0 毎に独立してジッターを付与した。

また、基準信号に付与するジッターの大きさを「1 p 秒」とし、被測定信号に付与するジッターの大きさを「5 0 0 p 秒」とした（実施例）。

10

また、実験 1 の実施例と同様に、基準信号に付与するジッターおよび被測定信号に付与するジッターは、それぞれ、最大の周波数成分が 1 3 0 M H z で、1 3 0 M H z 以下の周波数成分を含んでいる、すなわち、アイドルトーンの周波数よりも高い周波数成分を含んでいる。また、ジッターに含まれる 1 M H z 以下の周波数成分を除去するために、セクター 5 3 において、1 M H z 以下の変動成分を除去した選択パターンを用いた。

【 0 1 1 1 】

アイドルトーン分散装置から出力される周波数デルタシグマ変調信号について、含まれる周波数成分の強度を求め、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 7 3 に示す。

【 0 1 1 2 】

20

また、他の実施例として、付与するジッターを 2 M H z 以下の低周波数成分を除去したジッター、5 M H z 以下の低周波数成分を除去したジッター、1 0 M H z 以下の低周波数成分を除去したジッター、2 0 M H z 以下の低周波数成分を除去したジッター、5 0 M H z 以下の低周波数成分を除去したジッター、1 0 0 M H z 以下の低周波数成分を除去したジッターとし、アイドルトーン分散装置の出力スペクトルのグラフを作成した。この結果を図 7 4 ~ 図 7 9 に示す。なお、グラフの説明には、それぞれ、「1 M H z ~」、「2 M H z ~」、「5 M H z ~」、「1 0 M H z ~」、「2 0 M H z ~」、「5 0 M H z ~」、「1 0 0 M H z ~」と記載する。

【 0 1 1 3 】

実験 8 の図 7 3 ~ 図 7 9 に示すグラフと、実験 3 の図 3 3 に示すグラフとを比べると、ジッターの高周波数成分がアイドルトーンの影響を抑制する機能を有することが判る。

30

また、ジッターに含まれる低周波数成分を除去することで、除去した周波数帯域において、ベース部分の強度が低下することが判る。

【 0 1 1 4 】

< 周波数比計測装置の実施形態 >

図 8 0 は、本発明の周波数比計測装置の実施形態を示すブロック図である。

以下、周波数比計測装置の実施形態について、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【 0 1 1 5 】

図 8 0 に示すように、周波数比計測装置 1 0 0 は、アイドルトーン分散装置 1 を備え、被測定信号 F x と基準信号 F c との周波数比を測定（計測）する。このような周波数比計測装置 1 0 0 によれば、アイドルトーンに起因する量子化雑音の影響を抑制することができ、これにより、測定精度を向上させることができる。以下、具体的に説明する。なお、本実施形態では、周波数比計測装置 1 0 0 として、被測定信号 F x と基準信号 F c との周波数比を測定した後、被測定信号 F x の周波数を示す周波数データ D f を生成する装置を説明する。

40

周波数比計測装置 1 0 0 は、アイドルトーン分散装置 1 と、アイドルトーン分散装置 1 から出力された周波数デルタシグマ変調信号 Y に基づいて被測定信号 F x の周波数を示す周波数データ D f を生成する周波数データ生成部 4 0 とを備えている。また、周波数データ生成部 4 0 は、アイドルトーン分散装置 1 の出力側（後段）に接続されている。また、

50

周波数データ生成部 40 は、ローパスフィルター 41 と、ローパスフィルター 41 の出力側に接続されたスケーリング部 42 とを備えている。

【0116】

まず、周波数デルタシグマ変調信号 Y が、データストリーム構成のアイドルトン分散装置 1 からの出力である場合、周波数デルタシグマ変調信号 Y は、被測定信号 F x の周波数 f x と基準信号 F c の周波数 f c との比 ($f x / f c$) を、量子化誤差を含んだ形で時間経過と共にデジタル信号列として出力されるものである。

また、周波数デルタシグマ変調信号 Y が、ビットストリーム構成のアイドルトン分散装置 1 からの出力であって、 $2 f x < f c$ である場合、周波数デルタシグマ変調信号 Y は、被測定信号 F x の 2 倍の周波数 $2 f x$ と基準信号 F c の周波数 f c との比 ($2 f x / f c$) を、量子化誤差を含んだ形で時間経過と共にデジタル信号列として出力されるものである。

10

【0117】

また、周波数計測（周波数比計測）における時間分解能および周波数分解能は、ローパスフィルター 41 の特性により定まる。ローパスフィルター 41 としては、特に限定されず、例えば、直近の複数のサンプルの単純平均を行う移動平均フィルターを複数個配した複数段の移動平均フィルターや、FIR フィルタや IIR フィルタ等で実現される通常のローパスフィルター等を用いることができる。

また、スケーリング部 42 は、ローパスフィルター 41 の出力データ 41 a に補正係数を乗算して周波数データ D f を生成する。例えば、周波数データ生成部 40 の入力側（前段）にビットストリーム構成のアイドルトン分散装置 1 が設けられており、例えば、被測定信号 F x の周波数 f x が 0.1 MHz、基準信号 F c の周波数 f c が 2 MHz とすると、 $2 f x / f c = 0.1$ となる。また、周波数デルタシグマ変調信号 Y は、被測定信号 F x の周波数 f x に比例するので、補正係数は 1 M とすればよい。

20

なお、周波数比計測装置 100 は、例えば、スケーリング部 42 が省略され、被測定信号 F x と基準信号 F c との周波数比を示す周波数比データを生成するようになっていてもよく、また、ローパスフィルター 41 が省略されていてもよい。

【0118】

以上、本発明のアイドルトン分散装置および周波数比計測装置を、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、各部の構成は、同様の機能を有する任意の構成のものに置換することができる。また、他の任意の構成物が付加されていてもよい。また、本発明は、前記各実施形態のうちの、任意の 2 以上の構成（特徴）を組み合わせたものであってもよい。

30

【0119】

また、ジッター加算器（ジッター生成部）を設置する箇所は、前記実施形態には限定されず、例えば、基準信号（出力基準信号）にジッターを付与する場合は、出力基準信号毎に独立に設けられたジッター加算器と、複数の出力基準信号に共通のジッター加算器とが混在していてもよい。また、被測定信号（出力被測定信号）にジッターを付与する場合は、出力被測定信号毎に独立に設けられたジッター加算器と、複数の出力被測定信号に共通のジッター加算器とが混在していてもよい。

40

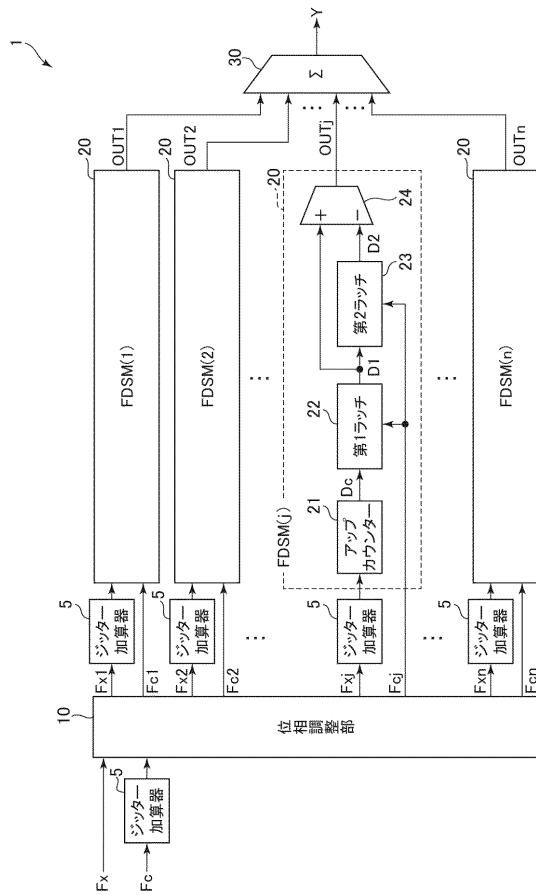
【符号の説明】

【0120】

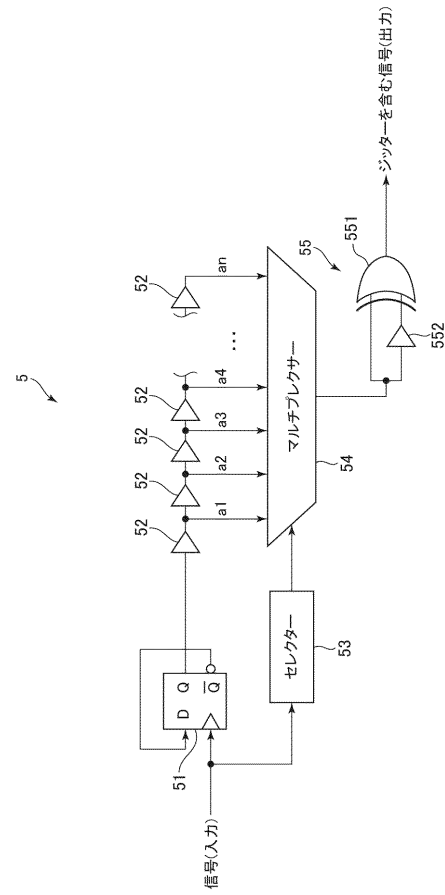
1 ... アイドルトン分散装置、5 ... ジッター加算器、10 ... 位相調整部、20 ... 周波数デルタシグマ変調部（FDSM）、21 ... アップカウンター、22 ... 第 1 ラッチ、23 ... 第 2 ラッチ、24 ... 減算器、25 ... 排他的論理和回路、30 ... 加算器、40 ... 周波数データ生成部、41 ... ローパスフィルター、42 ... スケーリング部、50 A ... エミッターフォロア回路、51 ... リプルカウンター、51 A ... 加算器、52 ... 遅延素子、52 A ... トランジスター、53 ... セレクター、53 A ... 抵抗、54 ... マルチプレクサー、55 ... 微分器、100 ... 周波数比計測装置、200 ... アイドルトン分散装置、551 ... 排他的論理和回路、552 ... 遅延素子

50

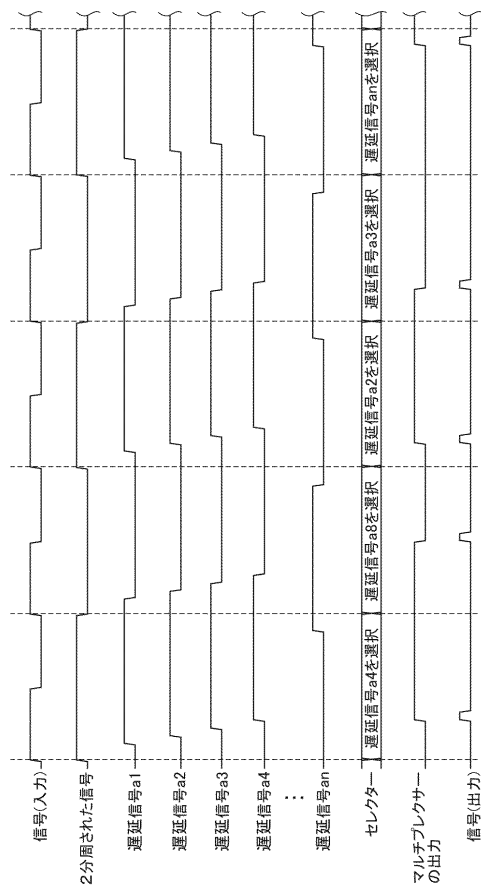
【図 1】



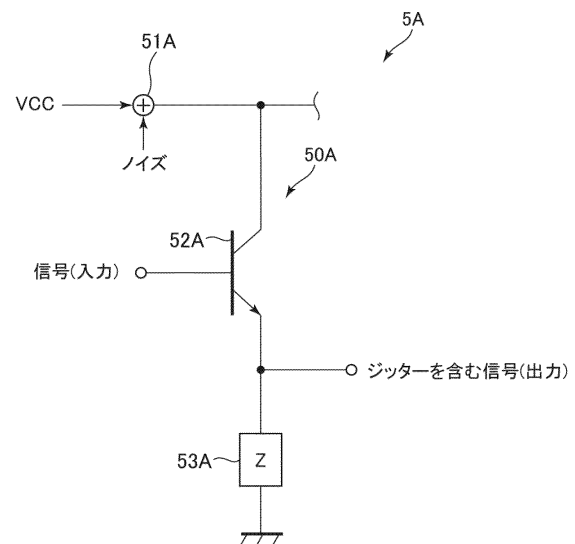
【図 2】



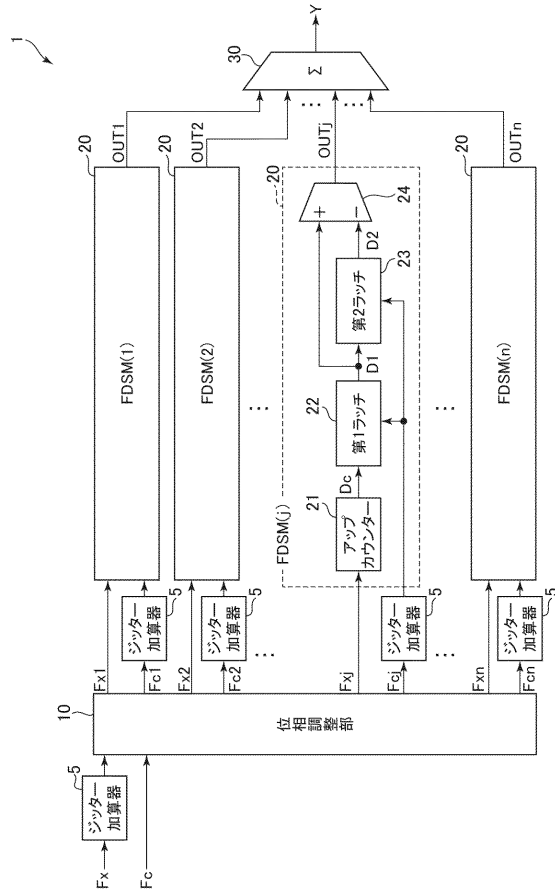
【図 3】



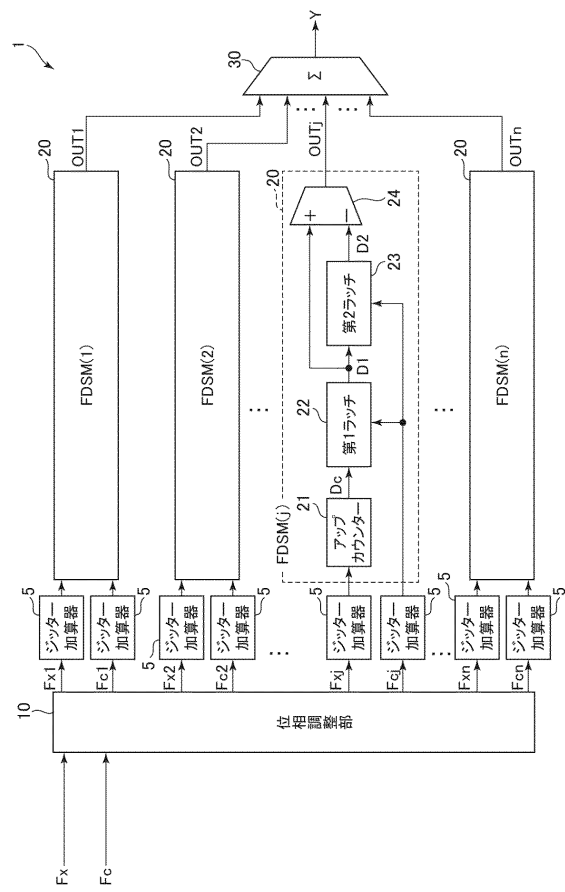
【図 4】



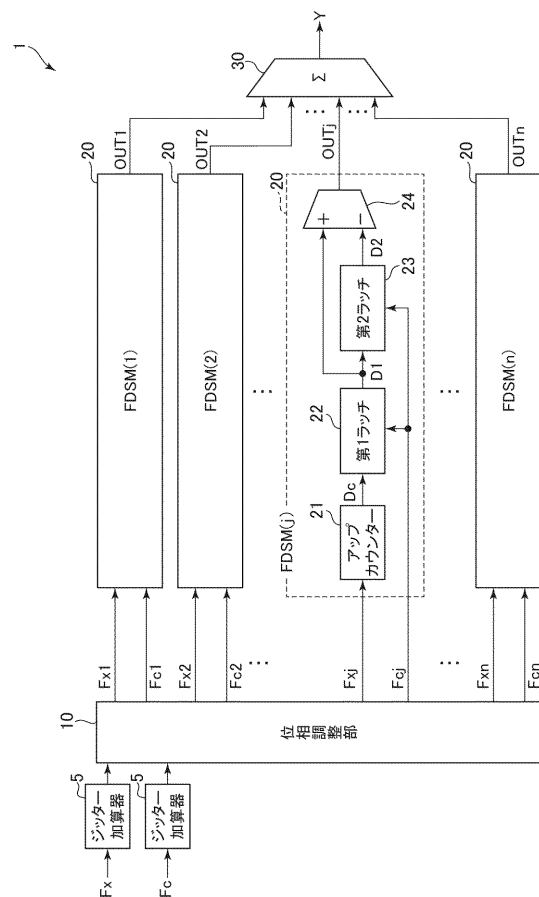
【図5】



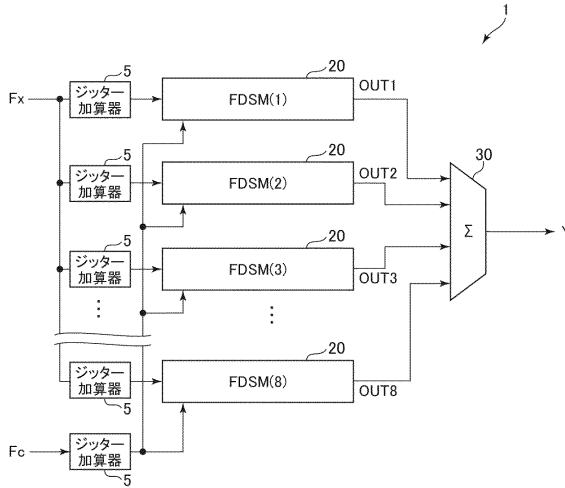
【図6】



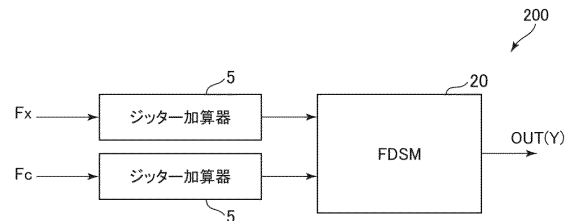
【図7】



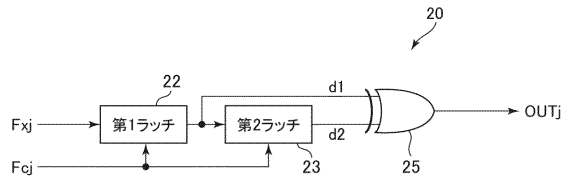
【図8】



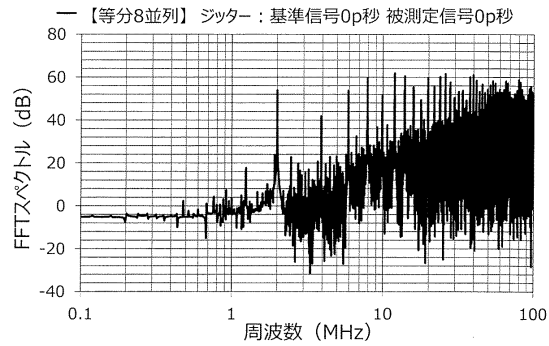
【図9】



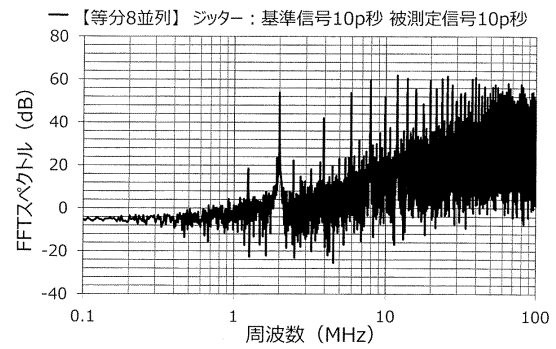
【図 10】



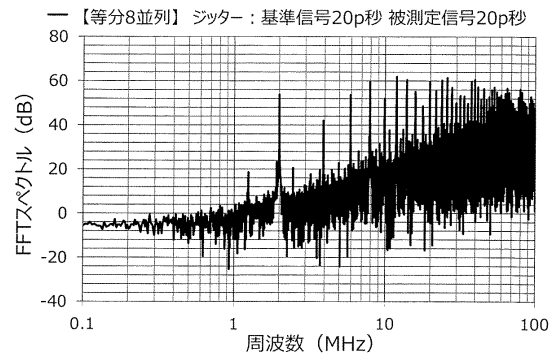
【図 11】



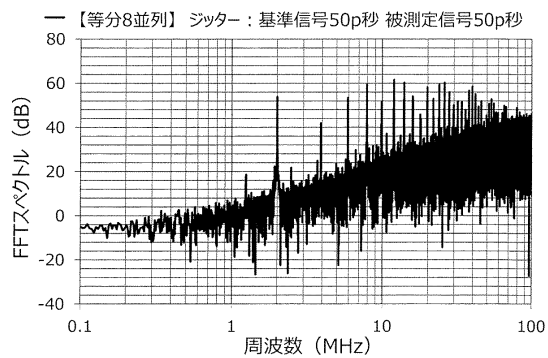
【図 12】



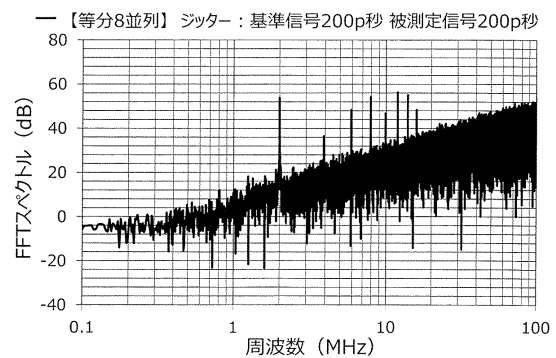
【図 13】



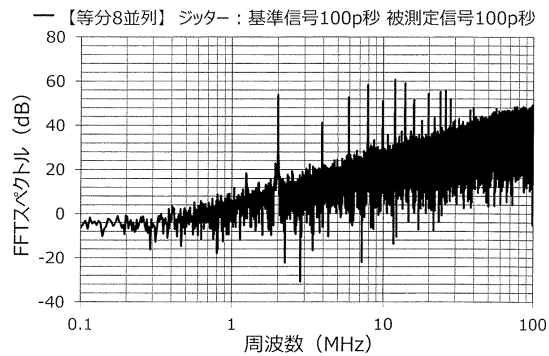
【図 14】



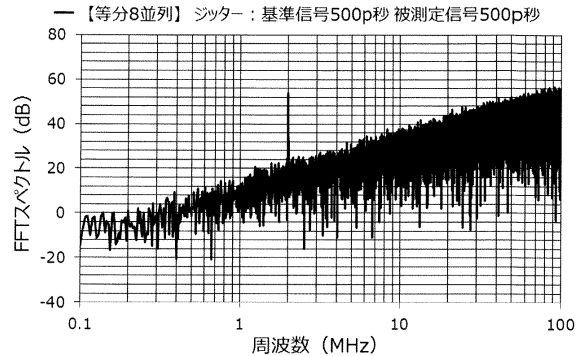
【図 16】



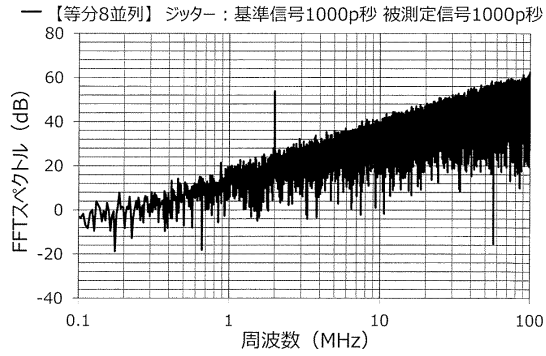
【図 15】



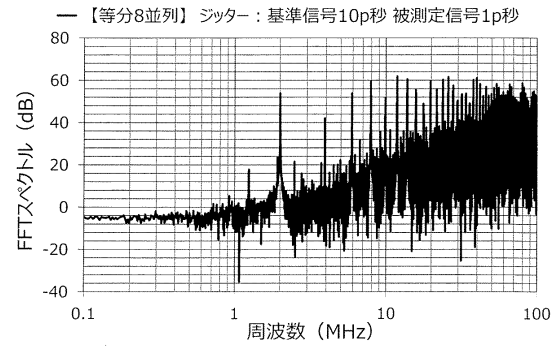
【図 17】



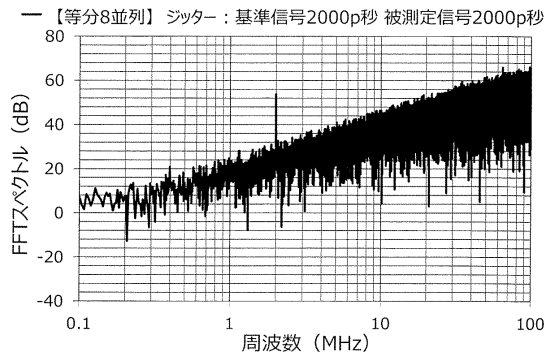
【図 18】



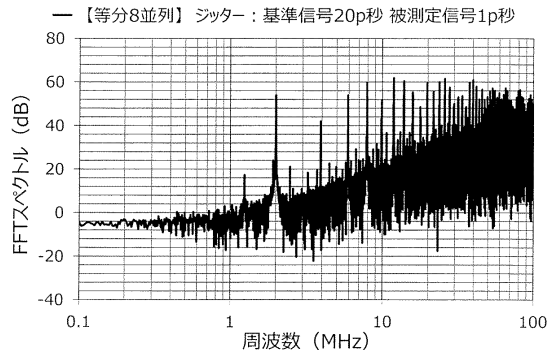
【図 20】



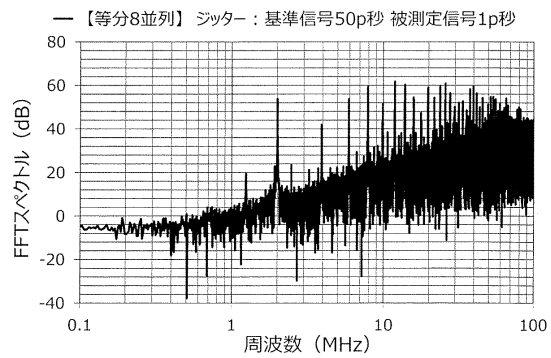
【図 19】



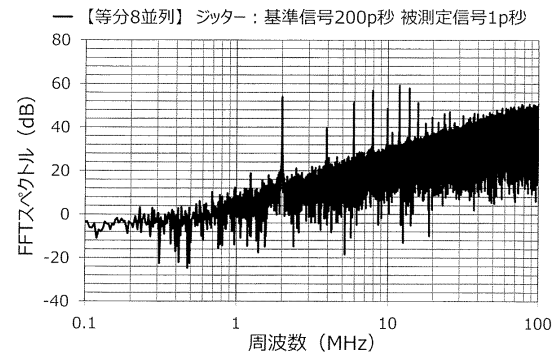
【図 21】



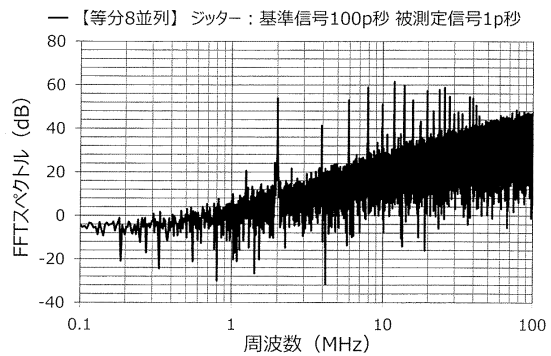
【図 22】



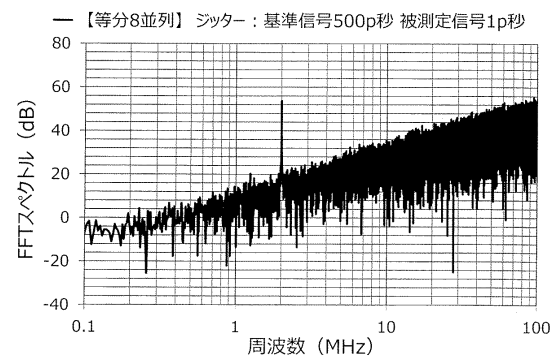
【図 24】



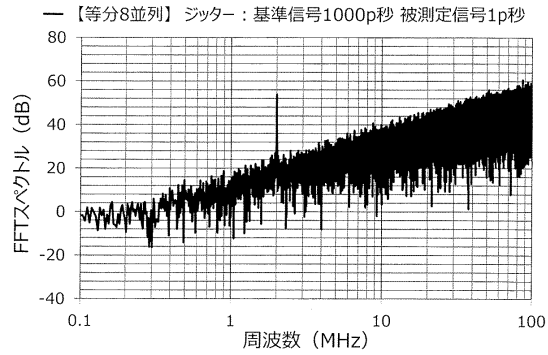
【図 23】



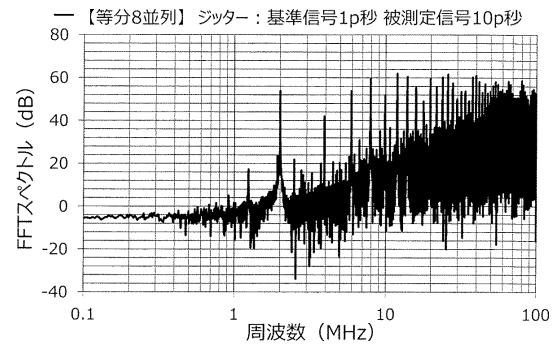
【図 25】



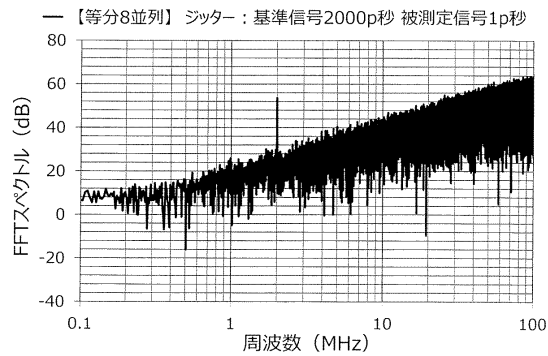
【図 26】



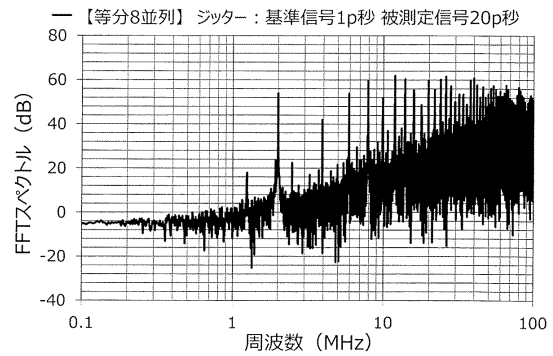
【図 28】



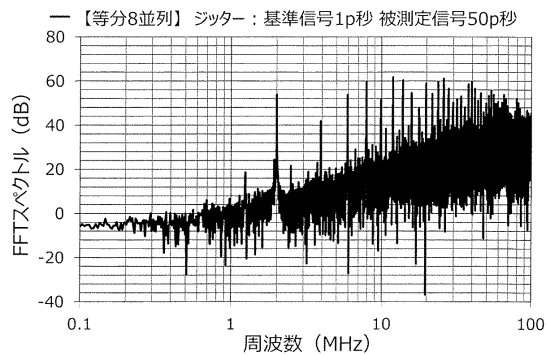
【図 27】



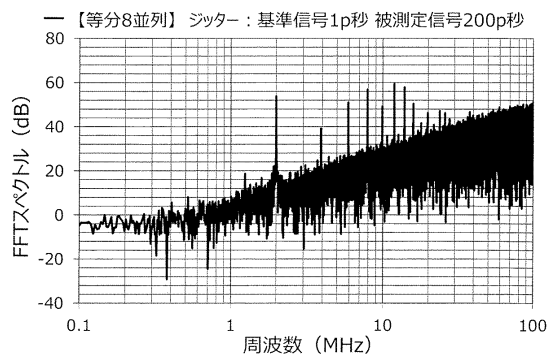
【図 29】



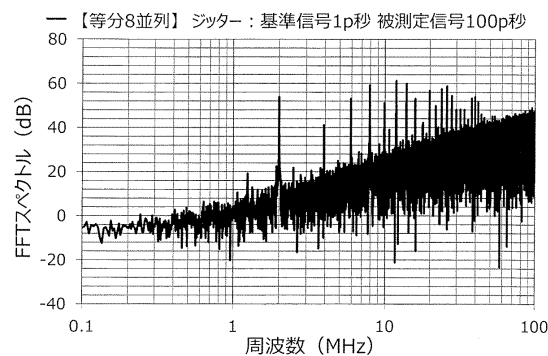
【図 30】



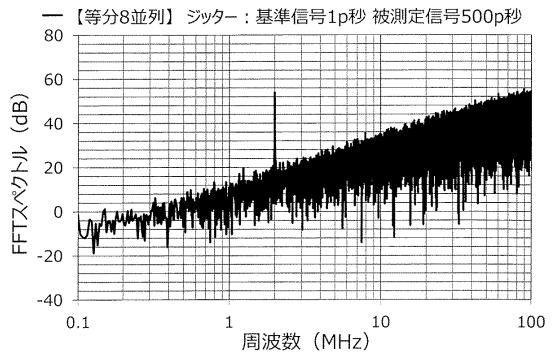
【図 32】



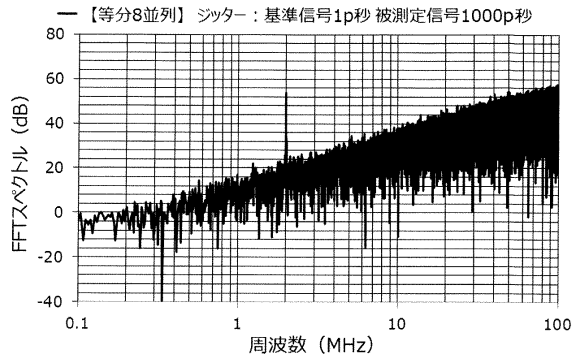
【図 31】



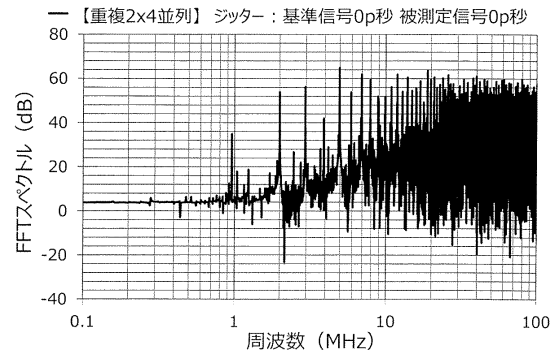
【図 33】



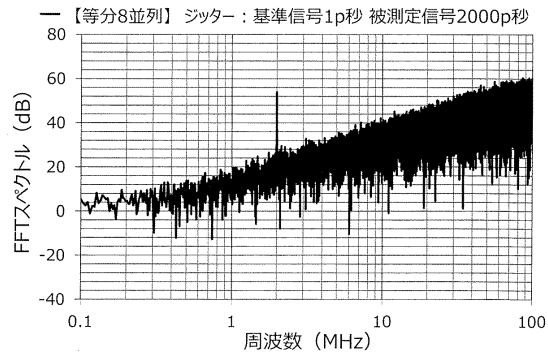
【図 3 4】



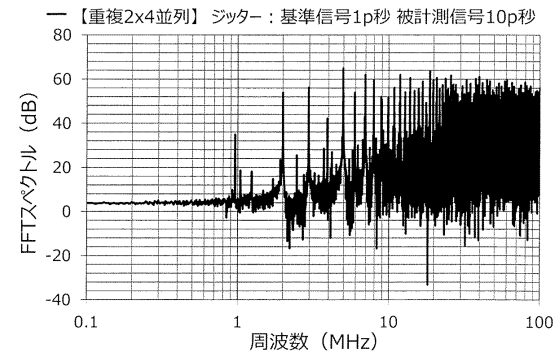
【図 3 6】



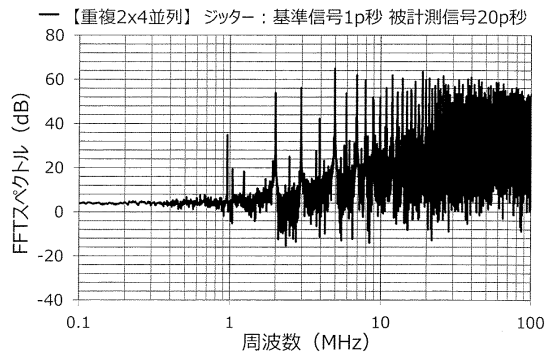
【図 3 5】



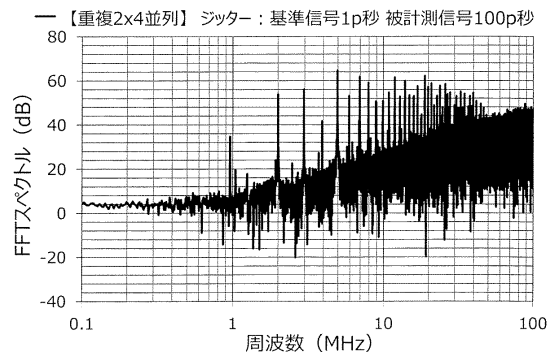
【図 3 7】



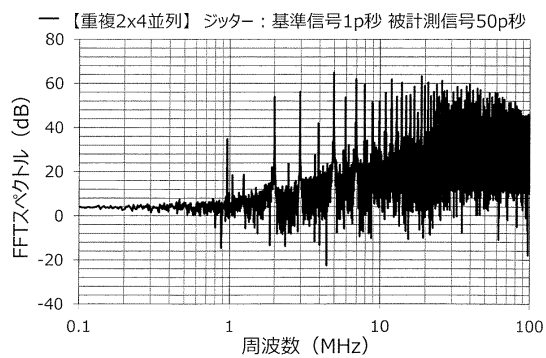
【図 3 8】



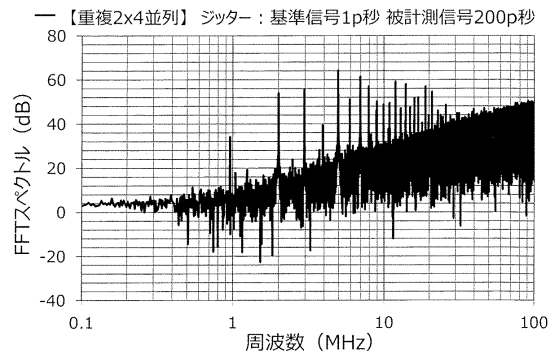
【図 4 0】



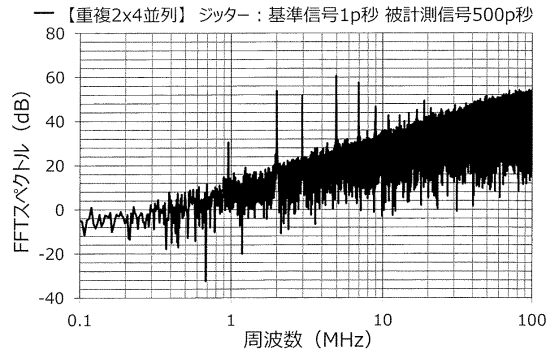
【図 3 9】



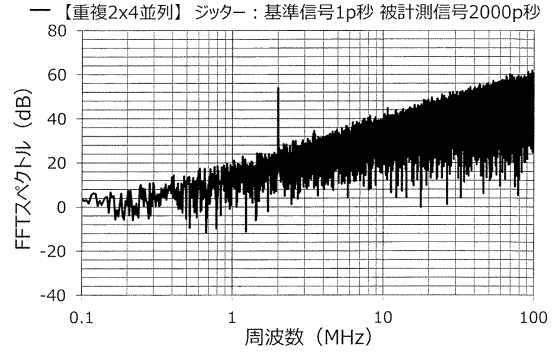
【図 4 1】



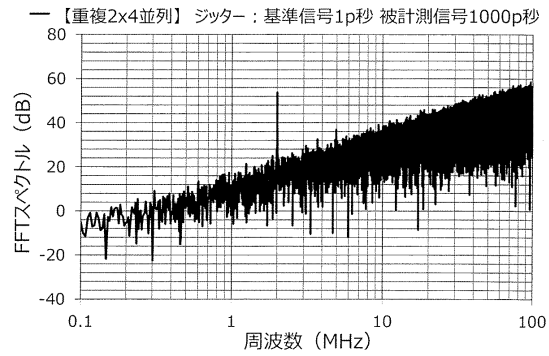
【図 4 2】



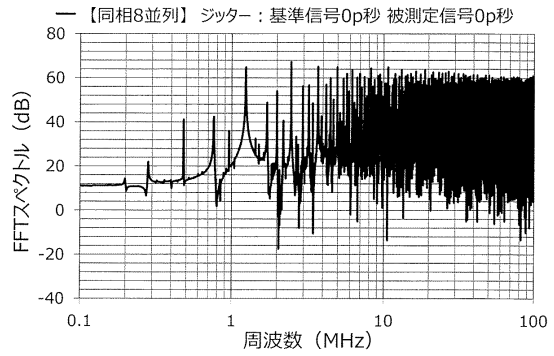
【図 4 4】



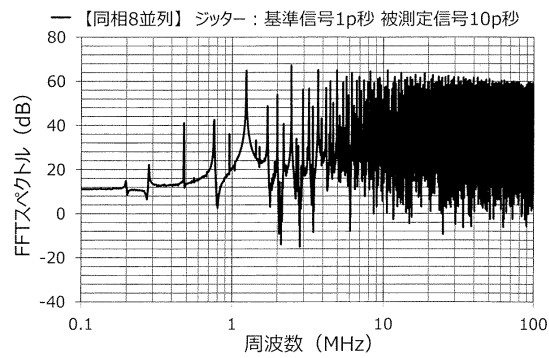
【図 4 3】



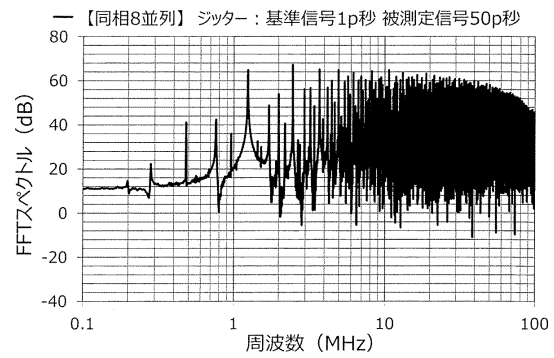
【図 4 5】



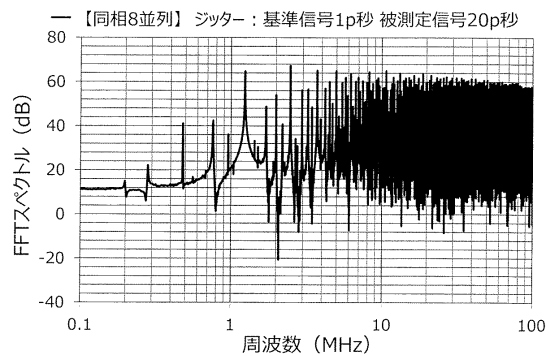
【図 4 6】



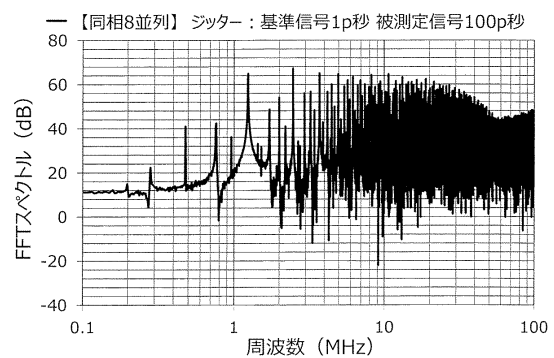
【図 4 8】



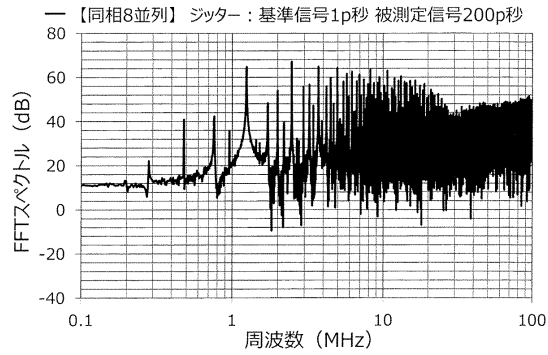
【図 4 7】



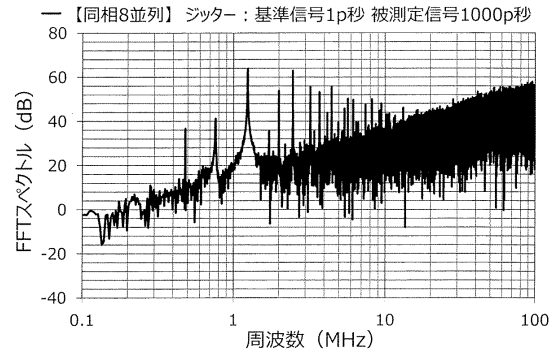
【図 4 9】



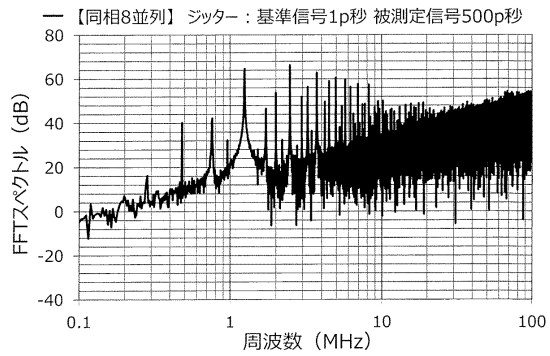
【図 5 0】



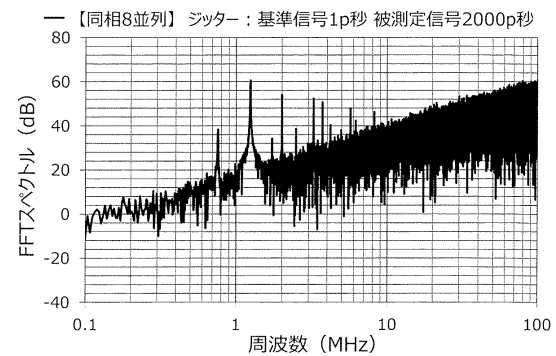
【図 5 2】



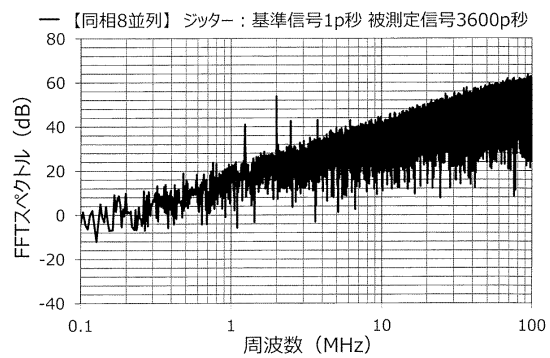
【図 5 1】



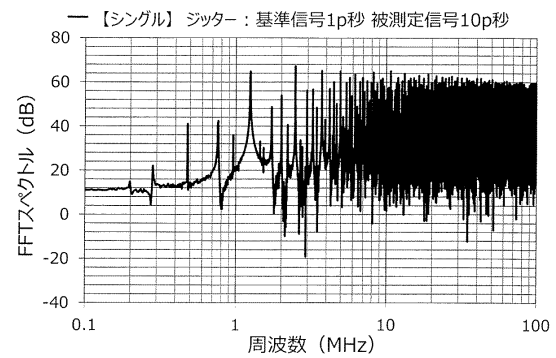
【図 5 3】



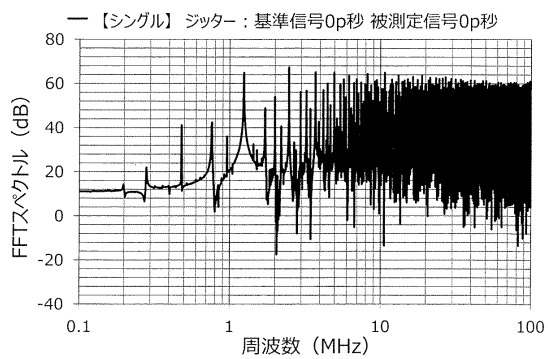
【図 5 4】



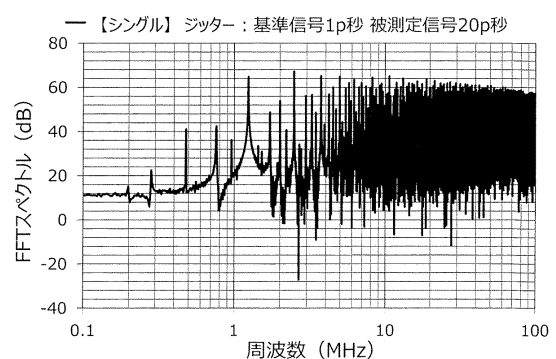
【図 5 6】



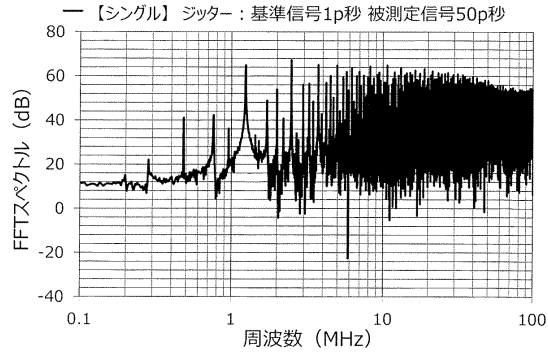
【図 5 5】



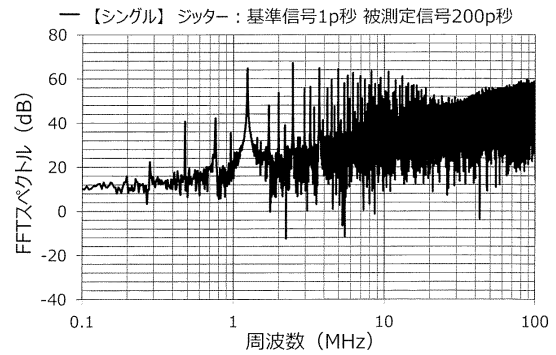
【図 5 7】



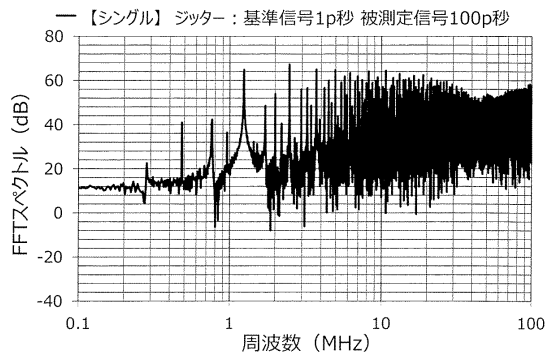
【図 5 8】



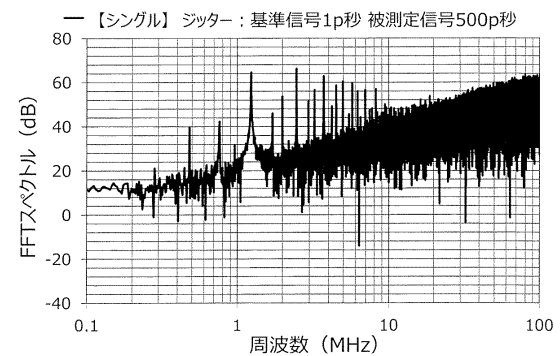
【図 6 0】



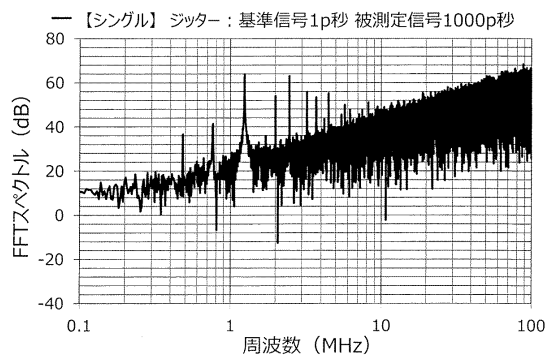
【図 5 9】



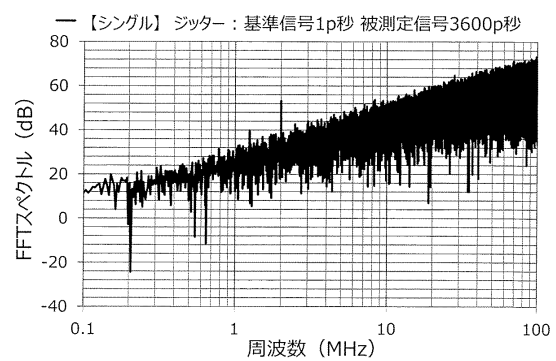
【図 6 1】



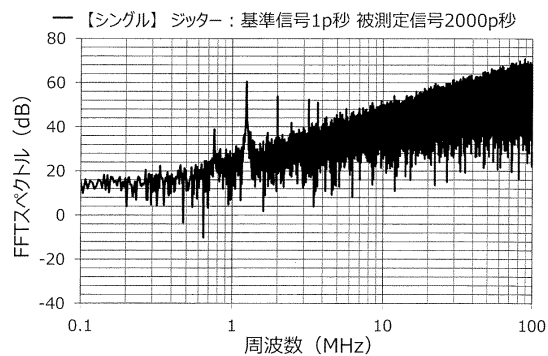
【図 6 2】



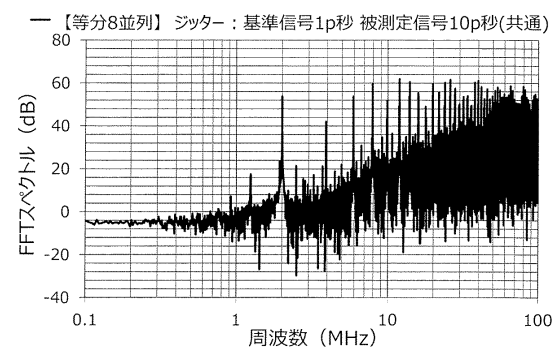
【図 6 4】



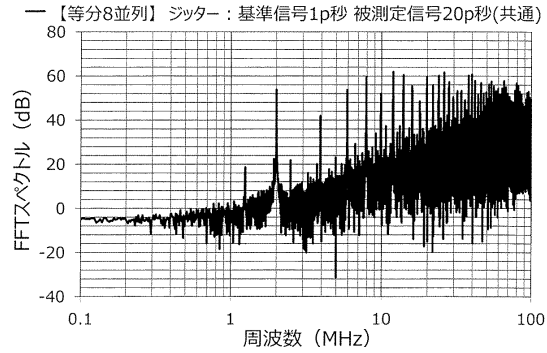
【図 6 3】



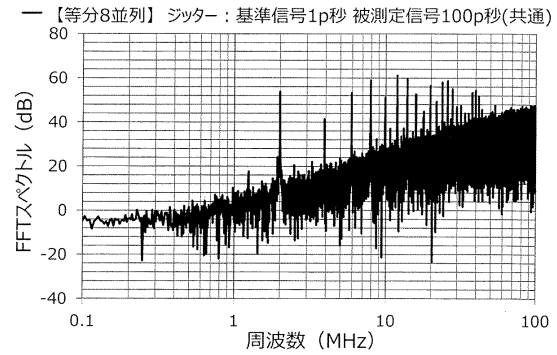
【図 6 5】



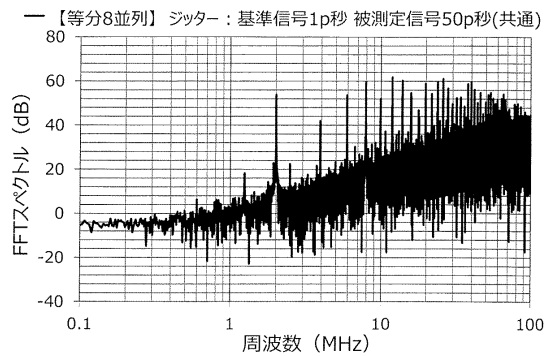
【図 6 6】



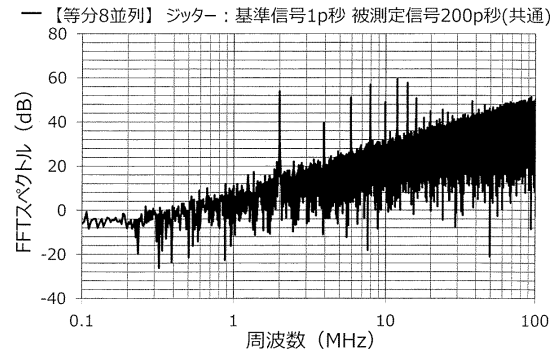
【図 6 8】



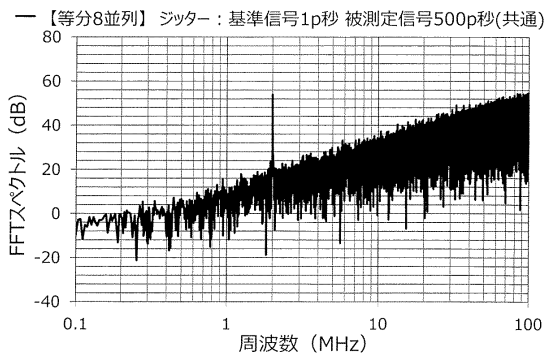
【図 6 7】



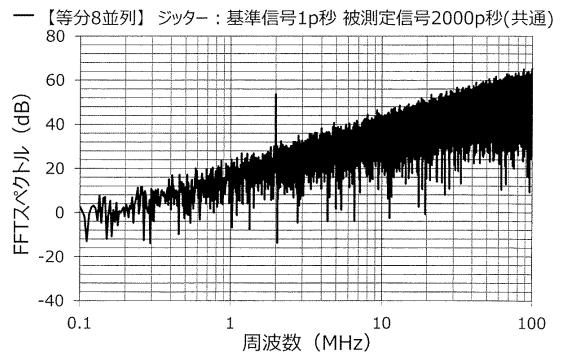
【図 6 9】



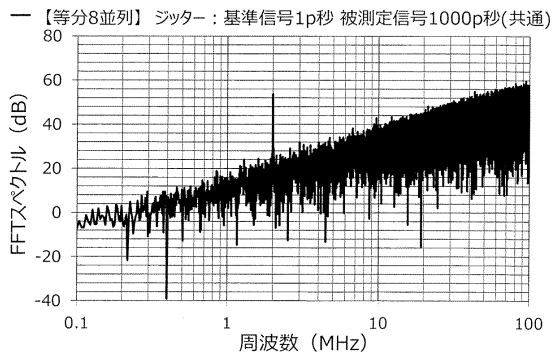
【図 7 0】



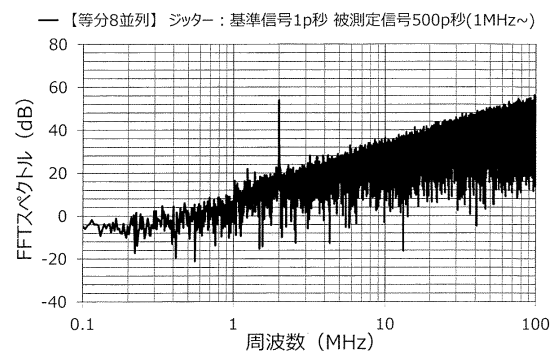
【図 7 2】



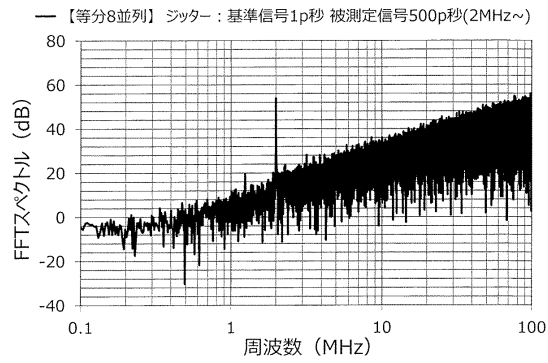
【図 7 1】



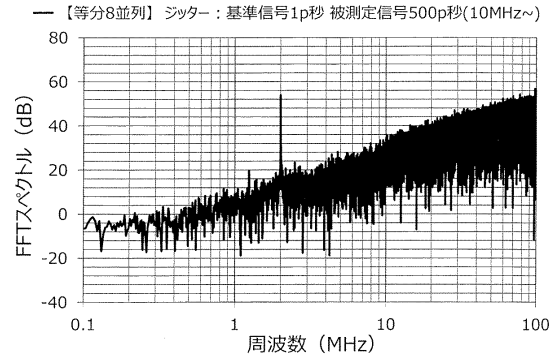
【図 7 3】



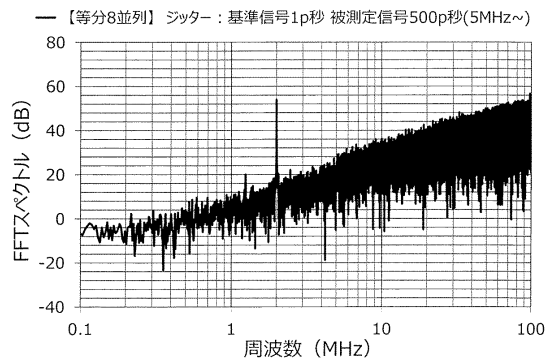
【図 7 4】



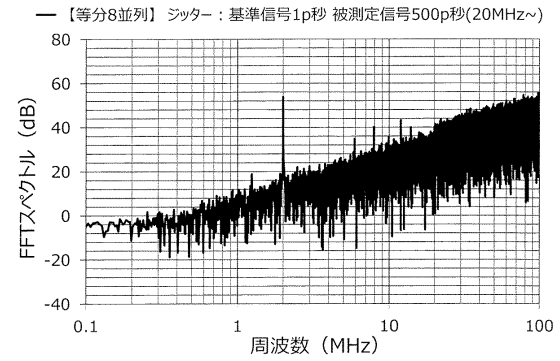
【図 7 6】



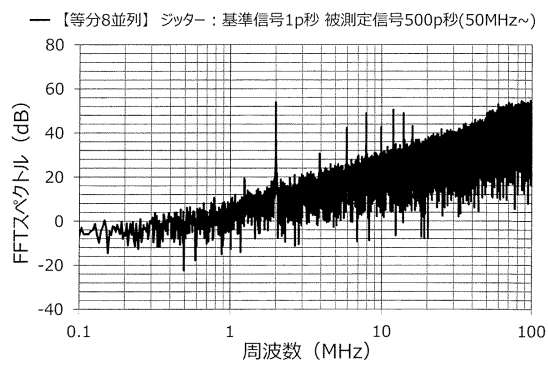
【図 7 5】



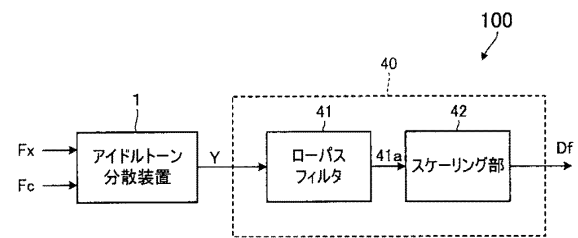
【図 7 7】



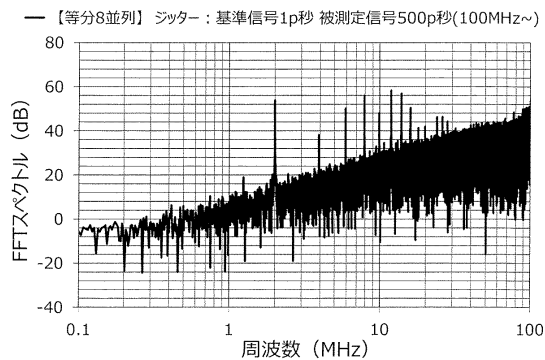
【図 7 8】



【図 8 0】



【図 7 9】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 1 5 - 2 2 0 5 5 2 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 1 5 6 6 6 6 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 0 5 2 9 1 3 (J P , A)
特開平 0 6 - 1 0 4 7 5 1 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 3 0 5 8 3 5 (U S , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 3 M 3 / 0 2
G 0 1 R 2 3 / 1 0