

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4552016号
(P4552016)

(45) 発行日 平成22年9月29日(2010.9.29)

(24) 登録日 平成22年7月23日(2010.7.23)

(51) Int.Cl.		F I	
GO1H	17/00	(2006.01)	GO1H 17/00 C
GO1H	3/00	(2006.01)	GO1H 3/00
G1OK	15/00	(2006.01)	G1OK 15/00 L

請求項の数 9 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2006-529052 (P2006-529052)	(73) 特許権者	504145283
(86) (22) 出願日	平成17年7月12日 (2005.7.12)		国立大学法人 和歌山大学
(86) 国際出願番号	PCT/JP2005/012812		和歌山県和歌山市栄谷930番地
(87) 国際公開番号	W02006/011356	(74) 代理人	100072051
(87) 国際公開日	平成18年2月2日 (2006.2.2)		弁理士 杉村 興作
審査請求日	平成20年7月10日 (2008.7.10)	(74) 代理人	100107227
(31) 優先権主張番号	特願2004-221942 (P2004-221942)		弁理士 藤谷 史朗
(32) 優先日	平成16年7月29日 (2004.7.29)	(74) 代理人	100114292
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 来間 清志
		(72) 発明者	森勢 将雅
			和歌山県和歌山市栄谷930番地 国立大 学法人和歌山大学システム工学部内
		(72) 発明者	入野 俊夫
			和歌山県和歌山市栄谷930番地 国立大 学法人和歌山大学システム工学部内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インパルス応答測定方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

周波数を掃引する測定用信号として、周波数の低い領域ではLog-TSP(Logarithmic-Time Stretched Pulses)信号の特性を有し、周波数の高い領域ではTSP信号の特性を有する信号を発生し、当該測定用信号を測定系へ出力し、測定用信号に対する測定系からの応答信号を入力し、当該応答信号と、前記測定用信号の逆特性を有する逆測定用信号とに対して畳み込み演算を施し、測定系のインパルス応答を測定することを特徴とするインパルス応答測定方法。

【請求項2】

請求項1に記載のインパルス応答測定方法において、

前記Log-TSP信号の特性を有する信号と、TSP信号の特性を有する信号との境界の周波数を、パラメータにより設定することを特徴とするインパルス応答測定方法。

【請求項3】

請求項1または2に記載のインパルス応答測定方法において、

前記Log-TSP信号の特性を有する信号と、TSP信号の特性を有する信号とをモーフイング関数により接合することを特徴とするインパルス応答測定方法。

【請求項4】

周波数を掃引する測定用信号として、周波数の低い領域ではLog-TSP信号の特性を有する信号を、周波数の高い領域ではTSP信号の特性を有する信号を発生する信号発生部、当該測定用信号を測定系へ出力する出力部、測定用信号に対する応答信号を測定系

10

20

から入力する入力部、測定用信号の逆特性を有する逆測定用信号を発生する逆信号発生部、及び、前記応答信号と逆測定用信号とに対して畳み込み演算を施し、測定系のインパルス応答を測定する畳み込み演算部を備えたことを特徴とするインパルス応答測定装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のインパルス応答測定装置において、

さらに、前記信号発生部により発生される測定用信号について、Log-TSP 信号の特性を有する測定用信号と、TSP 信号の特性を有する測定用信号との境界の周波数を、パラメータにより設定するパラメータ設定部を備えたことを特徴とするインパルス応答測定装置。

【請求項 6】

請求項 4 または 5 に記載のインパルス応答測定装置において、

前記信号発生部は、Log-TSP 信号の特性を有する測定用信号と、TSP 信号の特性を有する測定用信号とをモーフィング関数により接合することを特徴とするインパルス応答測定装置。

【請求項 7】

周波数を掃引する測定用信号を出力し、測定用信号に対する応答信号を入力し、当該応答信号と、前記測定用信号の逆特性を有する逆測定用信号とに対して畳み込み演算を施し、測定系のインパルス応答を測定するインパルス応答測定装置と、測定用信号を入力して応答信号を出力し、インパルス応答が測定される測定系とを備えたシステムにおいて、

請求項 4 から 6 のいずれか一項に記載のインパルス応答測定装置を備えたことを特徴とするインパルス応答測定システム。

【請求項 8】

測定系のインパルス応答を測定する処理を、インパルス応答測定装置を構成するコンピュータに実行させるプログラムであって、

周波数を掃引する測定用信号として、周波数の低い領域では Log-TSP 信号の特性を有する信号を発生し、周波数の高い領域では TSP 信号の特性を有する信号を発生する処理と、当該測定用信号を測定系へ出力する処理と、測定用信号に対する応答信号を測定系から入力する処理と、前記測定用信号の逆特性を有する逆測定用信号を発生する処理と、前記応答信号と逆測定用信号とに対して畳み込み演算を施し、測定系のインパルス応答を測定する処理とを実行させるインパルス応答測定プログラム。

【請求項 9】

請求項 8 に記載のインパルス応答測定プログラムを記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、相互相関法によるインパルス応答測定技術に関し、特に、TSP (Time Stretched Pulses) 信号等を改良した測定用信号を用いて、オーディオ機器や室内の音響伝達特性の基本となるインパルス応答測定を行う技術に関する。

【背景技術】

【0002】

ヘッドホンやスピーカー等のオーディオ機器や室内の音響伝達系のインパルス応答を測定することは、それらの音響伝達特性を得ることができる点で重要である。このインパルス応答を測定する方法には、例えば、M 系列 (Maximum length sequence) 法や TSP 法がある。M 系列法は、音源信号に M 系列信号を使い、音源信号と応答信号との間の相互相関の計算に高速アダマール変換を用いることにより、非常に高速にインパルス応答を得ることができる技術である (非特許文献 1 を参照。)。一方、TSP 法は、高い周波数から低い周波数へ、または低い周波数から高い周波数へ変化する信号 (周波数をスイープ (掃引) する信号) であって、インパルスを時間軸上で引き延ばすことによりエネルギーを増大させた TSP 信号を音源信号に用いる技術である (非特許文献 2 を参照。)。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

このような手法を用いることにより、高いSN比のインパルス応答を測定することができ、特に、短時間のパルス信号を用いる場合と比べて、SN比の高い測定を行うことができるという利点がある。したがって、無響室や性能の良い防音室において、ヘッドホン等のオーディオ機器の測定等を行う場合には、十分な精度を得ることができる。

【 0 0 0 4 】

しかしながら、一般的な室内の伝達関数の音響伝達特性を表すインパルス応答を測定する場合、特に低周波域でSN比の低下が顕著であるため、測定精度が下がってしまうという問題があった。これは、M系列信号及びTSP信号は、共にその振幅周波数特性がフラットな特性を有しているため、例えば1/3オクターブバンド毎のインパルス応答を求め 10
る場合に、低周波域のエネルギーが高周波域に比べて不十分だからである。また、室内の暗騒音の1/3オクターブ毎のエネルギーは、低周波域と高周波域において大きくなるという傾向もある。このため、低周波域では、インパルス応答の測定精度がさらに下がってしまうという問題があった。

【 0 0 0 5 】

この問題に対処するための従来のSN比改善方法を以下に示す。

(1) 同期加算の回数を増やす。

(2) 大きな音で測定用信号(M系列信号、TSP信号)を発生させる。

(3) 測定用信号を長くする。

しかしながら、(1)の方法では、同期加算を過度に適用することにより、室内において 20
、媒質の温度変化や空調機による大気動き等の時変性の影響を受けることが指摘されている(非特許文献3を参照。)。また、(2)の方法では、暗騒音に対するSN比を改善することはできるが、測定系の非線形歪が増大するため、結果的にSN比は一定以上向上させることができない(非特許文献4を参照。)。そのため、(3)の方法により、最も効率良くSN比を向上させることはできるが、インパルス応答の計算の際に計算コストが増大してしまう。また、測定用信号が長すぎる場合には、(1)と同様に、時変性の影響を無視することができない。

【 0 0 0 6 】

そこで、これらの問題を解決するために、低周波域のエネルギーを増大させるための対数を用いたTSP(Logarithmic-TSP/以下、「Log-TSP」という 30
。)法が提案されている(非特許文献5を参照。)。このLog-TSP法により、低周波域のSN比を向上させ、さらには、非線形歪である高調波歪の影響を実質上除去することができる(非特許文献6を参照。)。Log-TSP法を用いた実環境における測定では、高調波歪の影響が10dB程度改善されることが示されている(非特許文献7を参照。))。

【 0 0 0 7 】

また、信号パワーが大きく、低域でのSN比も良好な測定用信号を用いることにより、低域になるほどスペクトラムの上昇する暗雑音の影響を受ける非測定系に対して、効果的に音響測定を実現する方法が提案されている(特許文献1を参照。)。また、インパルス 40
応答の計算時間に着目したインパルス応答測定方法であって、循環時間シフト及び逆循環時間シフトの処理を施し、測定信号を間断なく出力することにより、短時間でSN比の良いインパルス応答を算出可能な方法が提案されている(特許文献2を参照。)。また、インパルス応答測定の誤差の大きさを推定するために、パルス幅の異なる2つのTSP信号を用いて測定したインパルス応答の相関値を利用する方法も提案されている(特許文献3を参照。))。

【 0 0 0 8 】

[非特許文献1]

柏木潤, “M系列とその応用”, 昭晃堂, 東京, 1996年

[非特許文献2]

N. Aoshima, “Computer-generated pulse sig 50

nal applied for sound measurement”, J. Acoust, Soc, AM., vol. 69 no. 5, pp. 1484 - 1488, 1981年

〔非特許文献3〕

佐藤史明, “室内音響インパルス応答の測定技術”, 音響誌, vol. 58, no. 10, pp. 669 - 676, 2002年

〔非特許文献4〕

金田豊, “M系列を用いたインパルス応答測定における誤差の実験的検討”, 音響誌, vol. 52, no. 10, pp. 752 - 759, 1996年

〔非特許文献5〕

藤元卓也, “低域バンドでのSN比改善を目的としたTSP信号に関する検討”, 音講論, pp. 433 - 434, 1999年

〔非特許文献6〕

藤元卓也, “低域バンドでのSN比改善を目的としたTSP信号に関する検討 - 高調波歪の除去 -”, 音講論, pp. 555 - 556, 2000年

〔非特許文献7〕

守谷直也, 金田豊, “Logarithmic TSP信号における非線形高調波歪に関する検討”, 音講論, pp. 637 - 638, 2004年

〔特許文献1〕

特開平5 - 118906号公報

〔特許文献2〕

特開平6 - 265400号公報

〔特許文献3〕

特開平8 - 248077号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、Log-TSP法とTSP法とを比較した場合、Log-TSP法の方が、低周波域のエネルギーに対して高周波域のエネルギーが不十分である。そのため、Log-TSP法では、高周波域における精度がTSP法よりも低下してしまうという問題があった。

【0010】

そこで、本発明は、測定用信号の低周波域から高周波域までの全帯域において、SN比が低下することなく測定精度を向上させることが可能なインパルス応答測定方法、装置、システム、プログラム及び記録媒体を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

まず、本発明の原理について説明する。本発明では、従来手法では困難であった測定結果のSN比を全体的に向上させるために、1/3オクターブバンド毎のエネルギーが高周波域に集中するTSP信号、及びTSP信号に比べて低周波域のエネルギーが大きく、高調波歪の影響を実質上除去できるLog-TSP信号のそれぞれの特徴に着目する。これらの信号に基づいて生成した信号を測定用信号として用いる。

【0012】

DFT (Discrete Fourier Transform / 離散フーリエ変換) 上で定義されるTSP信号を(1)式に、Log-TSP信号を(2)式にそれぞれ示す。

10

20

30

40

【数 1】

$$H_{TSP}(k) = \begin{cases} \exp(-j4m\pi k^2 / N^2) & (0 \leq k \leq N/2) \\ H_{TSP}^*(N-k) & (N/2 < k < N) \end{cases} \quad (1)$$

【数 2】

$$H_{Log-TSP}(k) = \begin{cases} 1 & (k=0) \\ \frac{\exp(-jak \log(k))}{\sqrt{k}} & (1 \leq k \leq N/2) \\ H_{Log-TSP}^*(N-k) & (N/2 < k < N) \end{cases} \quad (2)$$

ただし、 $a = 2m\pi / (N/2) \log(N/2)$ (m : 整数)

ここで、 N はTSPまたはLog-TSPの信号長、 m はパルス幅を決定するパラメータ、 k は周波数を決定するパラメータ、上付きの*は複素共役を示す。

【0013】

(1)式に示したTSP信号は、全ての帯域で均一なエネルギーを有するが、(2)式に示したLog-TSP信号は、高周波域よりも低周波域のエネルギーの方が大きくなる特徴を有している。そのため、暗騒音のエネルギーが低周波域及び高周波域において大きな実環境では、低周波域と高周波域とのエネルギー比率に応じてインパルス応答の測定精度が大きく変わってしまう。

【0014】

そこで、本発明で用いる測定用信号(Warped-TSP信号/以下、「W-TSP信号」という。)を、DFT上で(3)~(5)式のように定義する。

【数 3】

$$H(k) = \begin{cases} 1 & (k=0) \\ b(k) \exp\{jC(w(k)y_1(k) + (1-w(k))y_2(k))\} & (1 \leq k \leq N/2) \\ H^*(N-k) & (N/2 < k < N) \end{cases} \quad (3)$$

【数 4】

$$\begin{aligned} y_1(k) &= a_2 k \log(k) / \beta \\ y_2(k) &= \frac{1}{\beta} \left\{ \frac{a_1}{2} k^2 + \left(2\pi - a_1 \frac{N}{2} \right) k + a_3 \right\} \\ w(k) &= 1 / \{1 + \exp(\alpha(k-n))\} \\ b(k) &= w(k) \frac{1}{\sqrt{k}} + (1-w(k)) \frac{1}{\sqrt{n}} \end{aligned} \quad (4)$$

【数5】

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{2\pi}{n \log(n) + N/2} \\
 a_2 &= \frac{a_1 n + 2\pi - a_1 N/2}{1 + \log(n)} \\
 a_3 &= a_2 n \log(n) - \frac{a_1 n^2}{2} - \left(2\pi - \frac{a_1 N}{2}\right) n \\
 C &= \frac{C_1 - \text{mod}(C_1, \pi)}{C_1} \\
 C_1 &= w(N/2)y_1(N/2) + (1 - w(N/2))y_2(N/2)
 \end{aligned} \tag{5}$$

10

【0015】

ここで、Nは発生させるW-TSP信号の信号長、kは周波数を表すパラメータ、b(k)はエネルギー関数、w(k)はシグモイド関数を用いたモーフィング関数、はモーフィング率を決定するパラメータであり、0より大きな実数、はTSP信号におけるmの定義を $m = N / (2 \times)$ とした場合と等価なパラメータ、nは本発明のW-TSP信号の特性を決定するパラメータ(1...N/2)である。尚、周波数を表すパラメータkと実際の周波数fとの関係は、Fsをサンプリング周波数として、 $f = (Fs / 2) \times (k / N)$ となる。

20

【0016】

(3)及び(4)式において、 $y_1(k)$ はLOG-TSP信号の特徴を、 $y_2(k)$ はTSP信号の特徴を有している。この2つの関数 $y_1(k)$ 及び $y_2(k)$ は、群遅延領域で接合するように設計されており、その繋ぎ目は、関数w(k)によって滑らかに接合される。すなわち、両関数は、TSP信号とLog-TSP信号における群遅延(位相の負の導関数)が不連続にならないように繋がれる。また、a1、a2、a3及びCは、(5)式のように解析的に定義することができる。(4)及び(5)式のnは、前述のように、本発明の特性を決定するパラメータであり、nが小さいほど(nが1に近づくほど)W-TSP信号はTSP信号に近い特性を有し、N/2に近づくほどLog-TSP信号に近い特性を有する。

30

【0017】

(3)式のDFT上のW-TSP信号H(k)と、当該W-TSP信号H(k)の逆特性と有する以下に示す関数式 $H^{-1}(k)$ とを畳み込むことにより、インパルス応答を計算することができる。

【数6】

$$H^{-1}(k) = \begin{cases} 1 & (k=0) \\ \frac{1}{b(k)} \exp\{-jC(w(k)y_1(k) + (1-w(k))y_2(k))\} & (1 \leq k \leq N/2) \\ H^{-1}(N-k) & (N/2 < k < N) \end{cases} \tag{6}$$

40

【0018】

このように、W-TSP信号は、TSP信号の特性を有する信号を周波数の高い高周波域に用い、Log-TSP信号の特性を有する信号を周波数の低い低周波域に用いた信号である。具体的には、Fsをサンプリング周波数として、(4)及び(5)式のパラメータnにより表される周波数が、 $f_n = (Fs / 2) \times (n / N)$ となり、このfnが高周

50

波域と低周波域との境目となる。つまり、周波数を掃引するW-TSP信号において、高周波域は、周波数を变化させる最大の周波数から f_n までの周波数領域であり、低周波域は、 f_n から周波数を变化させる最小の周波数までの周波数領域である。

【0019】

したがって、本発明のインパルス応答測定方法は、周波数を掃引する測定用信号として、周波数の低い領域ではLog-TSP(Logarithmic-Time Stretched Pulses)信号の特性を有し、周波数の高い領域ではTSP信号の特性を有する信号を発生し、当該測定用信号を測定系へ出力し、測定用信号に対する測定系からの応答信号を入力し、当該応答信号と、前記測定用信号の逆特性を有する逆測定用信号とに対して畳み込み演算を施し、測定系のインパルス応答を測定することを特徴とする。

10

【0020】

また、本発明のインパルス応答測定装置は、周波数を掃引する測定用信号として、周波数の低い領域ではLog-TSP信号の特性を有する信号を、周波数の高い領域ではTSP信号の特性を有する信号を発生する信号発生部、当該測定用信号を測定系へ出力する出力部、測定用信号に対する応答信号を測定系から入力する入力部、測定用信号の逆特性を有する逆測定用信号を発生する逆信号発生部、及び、前記応答信号と逆測定用信号とに対して畳み込み演算を施し、測定系のインパルス応答を測定する畳み込み演算部を備えたことを特徴とする。

【0021】

また、本発明のインパルス応答測定システムは、周波数を掃引する測定用信号を出力し、測定用信号に対する応答信号を入力し、当該応答信号と、前記測定用信号の逆特性を有する逆測定用信号とに対して畳み込み演算を施し、測定系のインパルス応答を測定するインパルス応答測定装置と、測定用信号を入力して応答信号を出力し、インパルス応答が測定される測定系とを備えたシステムにおいて、前記インパルス応答測定装置を備えたことを特徴とする。

20

【0022】

また、本発明のインパルス応答測定プログラムは、測定系のインパルス応答を測定する処理を、インパルス応答測定装置を構成するコンピュータに実行させるプログラムであって、周波数を掃引する測定用信号として、周波数の低い領域ではLog-TSP信号の特性を有する信号を発生し、周波数の高い領域ではTSP信号の特性を有する信号を発生する処理と、当該測定用信号を測定系へ出力する処理と、測定用信号に対する応答信号を測定系から入力する処理と、前記測定用信号の逆特性を有する逆測定用信号を発生する処理と、前記応答信号と逆測定用信号とに対して畳み込み演算を施し、測定系のインパルス応答を測定する処理とを実行させることを特徴とする。

30

【0023】

また、本発明の記録媒体は、前記インパルス応答測定プログラムを記録した記録媒体である。前記Log-TSP信号の特性を有する信号と、TSP信号の特性を有する信号との境界の周波数を、パラメータにより設定することを特徴とする。さらに、前記Log-TSP信号の特性を有する信号と、TSP信号の特性を有する信号とをモーフィング関数により接合することを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、TSP信号及びLog-TSP信号の特徴を考慮した測定用信号としてW-TSP信号を発生させるようにしたから、測定用信号の低周波域から高周波域までの全帯域において、SN比が低下することなくバランス良く測定精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】ダミーヘッドによるヘッドホンを用いた測定系に対してインパルス応答を測定するための全体ブロック図である。

50

【図2】スピーカーを用いた測定系に対してインパルス応答を測定するための全体ブロック図である。

【図3】本発明のインパルス応答測定方法及び装置の第1の実施例を説明するためのブロック図である。

【図4】本発明のインパルス応答測定方法及び装置の第2の実施例を説明するためのブロック図である。

【図5】図1のヘッドホンを用いた測定系の暗騒音について、1/3オクターブ毎のエネルギーと周波数との関係を表す図である。

【図6】図2のスピーカーを用いた測定系の暗騒音について、1/3オクターブ毎のエネルギーと周波数との関係を表す図である。

10

【図7】インパルス応答の波形を表す図である。

【図8】図1のヘッドホンを用いた測定系における雑音レベルを表す比較図である。

【図9】図2のスピーカーを用いた測定系における雑音レベルを表す比較図である。

【符号の説明】

【0026】

1, 4 防音室

2 ヘッドホン

3, 6 マイクロホン

5 スピーカー

10, 10-1, 10-2 インパルス応答測定装置

20

11 表示装置

21 信号発生部

22 D/A変換部

23 A/D変換部

24 逆信号発生部

25 畳み込み演算部

26 パラメータ設定部

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

以下、本発明の実施例について、図面を参照して説明する。本発明は、室内のインパルス応答を測定する場合のみならず、図1に示すように、ダミーヘッドによるヘッドホンを用いた測定系に対してインパルス応答を測定する場合や、図2に示すように、スピーカーを用いた測定系に対してインパルス応答を測定する場合にも適用することができる。

30

【0028】

図1を参照して、このダミーヘッドによるヘッドホンを用いた測定系に対してインパルス応答を測定するシステムは、ダミーヘッドによるヘッドホン2及びマイクロホン3を含む防音室1、当該防音室1の測定系に対してインパルス応答を測定するインパルス応答測定装置10、及び当該インパルス応答測定装置10により測定されたインパルス応答の波形等を画面に表示する表示装置11を備えている。インパルス応答測定装置10は、インパルス応答を測定するためのW-TSP信号である信号 $x(t)$ をヘッドホン2に出力する。ここで、 $x(t)$ は、(3)式に示したDFT上の $H(k)$ を時間軸上に変換したものである。これにより、信号 $x(t)$ がヘッドホン2を介して放射され、信号 $y(t)$ がマイクロホン3により受信される。インパルス応答測定装置10は、マイクロホン3により受信された信号 $y(t)$ を入力する。そして、インパルス応答測定装置10は、W-TSP信号 $x(t)$ に対応する信号 $y(t)$ と、W-TSP信号 $x(t)$ の逆特性を有する逆W-TSP信号 $x^{-1}(t)$ とに対して畳み込み演算を施し、インパルス応答 $g(t)$ を算出する。表示装置11は、インパルス応答測定装置10により算出されたインパルス応答 $g(t)$ を表示する。

40

【0029】

図2を参照して、スピーカーを用いた測定系に対してインパルス応答を測定するシステ

50

ムは、スピーカ 5 及びマイクロホン 6 を含む防音室 4、当該防音室 4 の測定系に対してインパルス応答を測定するインパルス応答測定装置 10、及び当該インパルス応答測定装置 10 により測定されたインパルス応答の波形等を画面に表示する表示装置 11 を備えている。尚、図 2 において、図 1 と共通する部分には図 1 と同一の符号を付し、その詳しい説明は省略する。インパルス応答測定装置 10 は、インパルス応答を測定するための W - T S P 信号である信号 $x(t)$ をスピーカ 5 に出力する。これにより、信号 $x(t)$ が防音室 4 内に放射され、信号 $y(t)$ がマイクロホン 6 により受信される。インパルス応答測定装置 10 は、マイクロホン 6 により受信された信号 $y(t)$ を入力し、図 1 と同様に、畳み込み演算を施してインパルス応答 $g(t)$ を算出する。

【0030】

次に、図 1 及び図 2 に示したインパルス応答測定装置 10 について詳細に説明する。図 3 は、インパルス応答測定装置 10 の第 1 の実施例を示すブロック図である。このインパルス応答測定装置 10 - 1 は、W - T S P 信号 $x(t)$ を発生する信号発生部 21 と、W - T S P 信号をアナログ信号に変換する D / A 変換部 22 と、信号 $y(t)$ をデジタル信号に変換する A / D 変換部 23 と、逆 W - T S P 信号 $x^{-1}(t)$ を発生する逆信号発生部 24 と、前記信号 $y(t)$ 及び逆 W - T S P 信号 $x^{-1}(t)$ に対して畳み込み演算を施してインパルス応答 $g(t)$ を算出する畳み込み演算部 25 とを備えている。

【0031】

次に、動作について説明する。インパルス応答の測定が開始されると、インパルス応答測定装置 10 - 1 の信号発生部 21 は、前述の (3) ~ (5) 式を満たす $H(k)$ を時間軸上に変換した W - T S P 信号 $x(t)$ を発生する。この信号 $x(t)$ が、T S P 信号や L o g - T S P 信号と同じ長さでありながら、測定精度を向上させることを可能にする信号である。D / A 変換部 22 は、信号発生部 21 により発生されたデジタルの信号 $x(t)$ をアナログの信号 $x(t)$ に変換し、図 1 に示したヘッドホン 2 または図 2 に示したスピーカ 5 に出力する。そして、A / D 変換部 23 は、図 1 に示したマイクロホン 3 または図 2 に示したマイクロホン 6 により受信されたアナログの信号 $y(t)$ を入力し、デジタルの信号 $y(t)$ に変換する。逆信号発生部 24 は、前述の (6) 式に示した D F T 上の逆 W - T S P 信号 $H^{-1}(k)$ が時間軸上に変換された逆 W - T S P 信号 $x^{-1}(t)$ を発生する。そして、畳み込み演算部 25 は、A / D 変換部 23 により変換された信号 $y(t)$ 、及び逆信号発生部 24 により発生された逆 W - T S P 信号 $x^{-1}(t)$ に対して畳み込み演算を施し、インパルス応答 $g(t)$ を算出する。このようにして算出されたインパルス応答 $g(t)$ は、図 1 または図 2 に示した表示装置 11 に表示される。

【0032】

次に、図 4 を参照して、インパルス応答測定装置 10 の第 2 の実施例について説明する。このインパルス応答測定装置 10 - 2 は、図 3 に示した信号発生部 21、D / A 変換部 22、A / D 変換部 23、逆信号発生部 24 及び畳み込み演算部 25 に加えて、さらにパラメータ設定部 26 を備えている。尚、図 4 において、図 3 と共通する部分には図 3 と同一の符号を付し、その詳しい説明は省略する。

【0033】

パラメータ設定部 26 は、W - T S P 信号 $x(t)$ の特性を決定するパラメータ n ($= 1 \cdots N/2$) を設定し、信号発生部 21 に出力する。信号発生部 21 は、パラメータ設定部 26 により設定されたパラメータ n を用いて W - T S P 信号 $x(t)$ を発生する。ここで、パラメータ n は、1 から $N/2$ までの値である。(3) ~ (5) 式により、パラメータ n が 1 に近い値である場合は、信号発生部 21 は、T S P 信号に近い特性の W - T S P 信号 $x(t)$ を発生する。一方、パラメータ n が $N/2$ に近い値である場合は、信号発生部 21 は、L o g - T S P 信号に近い特性の W - T S P 信号 $x(t)$ を発生する。これは、前述のように、周波数 f_n は低周波域と高周波域との境目の周波数であり、 n が 1 に近い場合は、その境目が周波数の低い箇所になり、W - T S P 信号 $x(t)$ は T S P 信号に近い特性となるからである。一方、 n が $N/2$ に近い場合は、その境目が周波数の高い箇所になり、W - T S P 信号 $x(t)$ は L o g - T S P 信号に近い特性となるからであ

10

20

30

40

50

る。

【 0 0 3 4 】

次に、図 1 及び図 2 に示した測定系において、本発明の W - T S P 信号、従来の T S P 信号及び L o g - T S P 信号をそれぞれ測定用信号として用いてインパルス応答を測定した場合に、そのインパルス応答に含まれる雑音レベルの評価結果について説明する。全ての測定用信号において平等にするため、測定用信号の長さ及び最大振幅を均しくなるようにした。測定用信号の長さを 6 5 5 3 6、T S P 信号及び L o g - T S P 信号において $m = N / 4$ 、W - T S P 信号において $n = 0, 1, 2$ 、 $n = 2 6 8 4$ とする。

【 0 0 3 5 】

図 5 は、図 1 に示した測定系の暗騒音について、1 / 3 オクターブ毎のエネルギー遷移図である。また、図 6 は図 2 に示した測定系の暗騒音において、1 / 3 オクターブ毎のエネルギー遷移図である。図 5 及び図 6 において、横軸は周波数、縦軸はエネルギーレベル（暗騒音の抑圧レベル）を示しており、エネルギーレベルが - 5 0 d B に近いほど暗騒音を抑圧していることを意味する。

【 0 0 3 6 】

図 5 及び図 6 によれば、W - T S P 信号は、T S P 信号及び W - T S P 信号に比べて、低周波域から高周波域までの全帯域において、暗騒音をバランス良く抑圧していることがわかる。つまり、低周波域付近では L o g - T S P 信号の特性に近づけ、高周波域付近では T S P 信号の特性に近づけることにより、全帯域を通して、バランス良くインパルス応答の精度を向上させることができる。また、W - T S P 信号は、(4) 式の $y_1 (k)$ に示したように、低周波域において L o g - T S P 信号の特徴を有するようにしたから (L o g 関数で表すようにしたから)、高調波歪の影響を実質上除去することができる。

【 0 0 3 7 】

また、このエネルギーレベルを表す雑音レベルの評価は、インパルス応答全体のエネルギーと暗騒音のエネルギーとの比によって行われる。具体的には、図 7 を参照して、まず、暗騒音区間が全区間 (N) の半分以上になるように、全区間の長さをインパルス応答 $g (t)$ から切り出す。そして、切り出された全区間のうちの半分の長さ (N / 2) を暗騒音区間とする。この場合、インパルス応答 $g (t)$ が収束する時刻は、暗騒音区間よりも手前になる。雑音レベルの評価 E は、以下の式により計算される。

【 数 7 】

$$E = 10 \log_{10} \left(\frac{2 \sum_{t=N/2}^N g(t)^2}{\sum_{t=1}^N g(t)^2} \right) \quad (7)$$

(7) 式により、雑音レベルの評価 E が小さいほど、インパルス応答 $g (t)$ の誤差が小さいことになる。

【 0 0 3 8 】

図 8 は、図 1 に示した測定系における雑音レベルを表す比較図である。また、図 9 は、図 2 に示した測定系における雑音レベルを表す比較図である。図 8 及び図 9 において、横軸は T S P 信号、L o g - T S P 信号及び W - T S P 信号の種別を、縦軸は雑音レベルの評価を示している。

【 0 0 3 9 】

図 8 及び図 9 によれば、W - T S P 信号は、T S P 信号及び W - T S P 信号に比べて雑音レベルが低いことがわかる。したがって、W - T S P 信号により、インパルス応答の測定精度を向上させることが可能となる。尚、雑音レベルの評価結果を得るにあたり、図 1 では比較的安価な防音室 1 を用い、図 2 では性能の良い防音室 4 を用いた。したがって、一般的な環境だけでなく防音室においても、W - T S P 信号によりインパルス応答の測定

10

20

30

40

50

精度を向上させることができる。

【0040】

以上のように、本発明の第1の実施例によれば、インパルス応答測定装置10-1の信号発生部21が、低周波域にLog-TSP信号の特性を有し、高周波域にTSP信号の特性を有するW-TSP信号 $x(t)$ を発生するようにし、畳み込み演算部25が、受信信号 $y(t)$ と逆W-TSP信号 $x^{-1}(t)$ とに対して畳み込み演算を施してインパルス応答を算出するようにした。これにより、低周波域から高周波域までの全帯域において、暗騒音をバランス良く抑圧するから、暗騒音の影響を低減することができる。また、SN比が低下することなくインパルス応答の測定精度を向上させることができる。さらに、W-TSP信号 $x(t)$ の低周波域をLog関数の特性で表しているから、高調波歪の影響を実質上除去することができる。

10

【0041】

また、本発明の第2の実施例によれば、インパルス応答測定装置10-2のパラメータ設定部26が、W-TSP信号 $x(t)$ の特性を決定するパラメータ n を設定するようにした。これにより、W-TSP信号 $x(t)$ をTSP信号に近い特性にしたり、Log-TSP信号に近い特性にしたりすることができる。したがって、パラメータ n を設定することにより、測定系の音響伝達特性に応じた測定用信号や、種々の実験に適用可能な測定用信号を自在に発生させることができる。

【0042】

尚、本発明の実施例では、W-TSP信号 $x(t)$ は、低周波域にLog-TSP信号の特性を有し、高周波域に簡単な関数を用いてTSP信号の特性を有するようにしたが、実環境で測定した暗騒音における帯域毎のエネルギーに基づいて高周波域の信号を設計し、前述の低周波域の信号と接合するようにしてもよい。これにより、高調波歪の影響を実質上除去すると共に、暗騒音の影響をさらに低減することができる。

20

【0043】

以上、実施例を挙げて本発明を説明したが、上記の説明は、本発明の理解を助けるものであって、本発明の特許請求の範囲を制限するものではない。従って、本発明の要旨を逸脱しない限り、種々変形が可能であり、本発明の目的を達し、効果を奏する範囲において、適宜変更することが可能である。

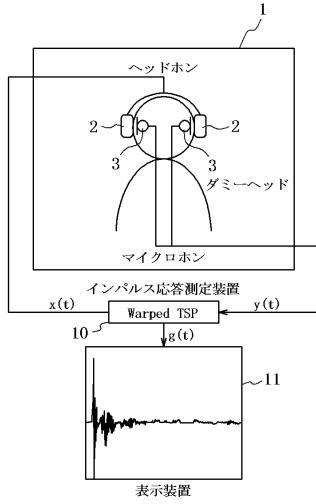
【0044】

尚、インパルス応答測定装置10, 10-1, 10-2は、CPU、RAM等の揮発性の記憶媒体、ROM等の不揮発性の記憶媒体、キーボードやポインティングデバイス等の入力装置、画像やデータを表示する表示装置、及び外部の装置と通信をするためのインタフェースを備えたコンピュータによってそれぞれ構成される。この場合、信号発生部21、逆信号発生部24、畳み込み演算部25及びパラメータ設定部26の各処理は、当該処理を記述したプログラムをCPUに実行させることによりそれぞれ実現される。また、これらのプログラムは、磁気ディスク(フロッピーディスク、ハードディスク等)、光ディスク(CD-ROM、DVD等)、半導体メモリ等の記憶媒体に格納して頒布することもできる。

30

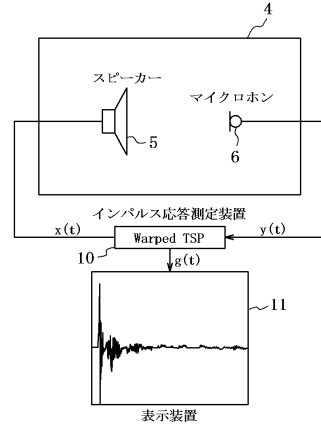
【 図 1 】

FIG. 1



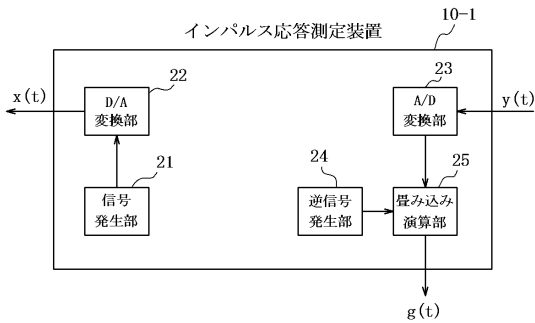
【 図 2 】

FIG. 2



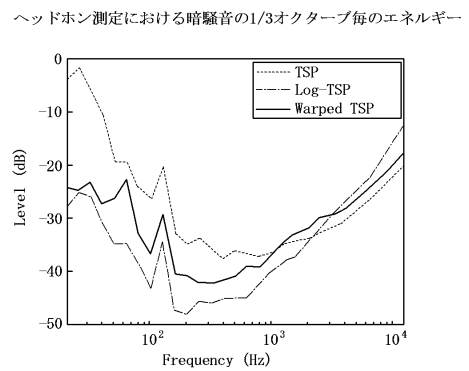
【 図 3 】

FIG. 3



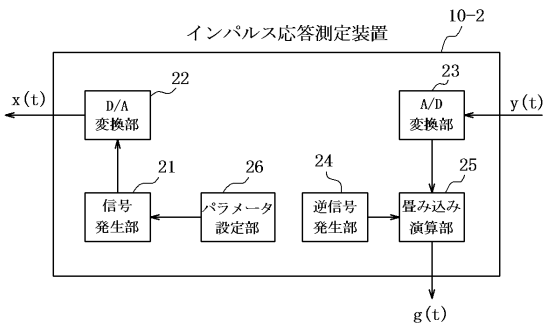
【 図 5 】

FIG. 5



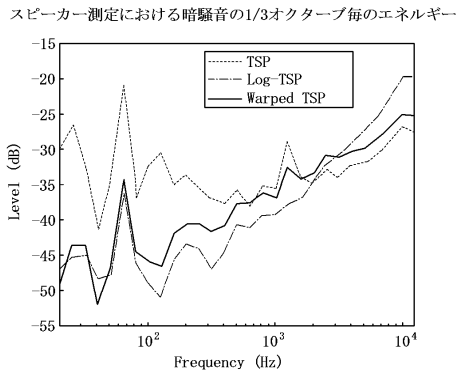
【 図 4 】

FIG. 4



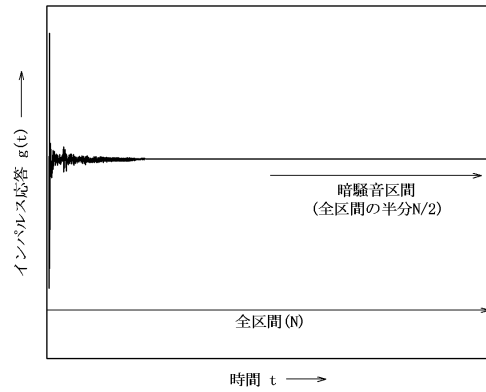
【 図 6 】

FIG. 6



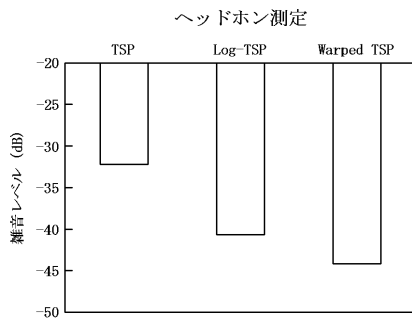
【 図 7 】

FIG. 7



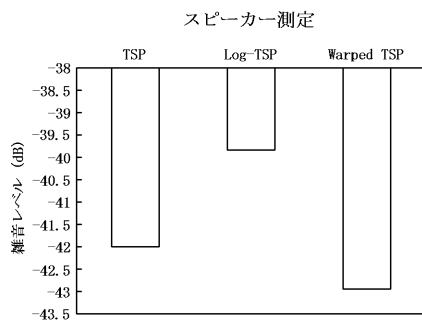
【 図 8 】

FIG. 8



【 図 9 】

FIG. 9



フロントページの続き

(72)発明者 河原 英紀

和歌山県和歌山市栄谷930番地 国立大学法人和歌山大学システム工学部内

(72)発明者 坂野 秀樹

和歌山県和歌山市栄谷930番地 国立大学法人和歌山大学システム工学部内

審査官 高見 重雄

(56)参考文献 特開平05-118906(JP,A)

特開平6-265400(JP,A)

特開平8-248077(JP,A)

藤本卓也, 低域バンドでのSN比改善を目的としたTSP信号に関する検討, 日本音響学会研究発表
会講演論文集, 日本, 1999年 9月29日, Vol.1999, 秋季1, Page.433-434

佐藤史明, 室内音響インパルス応答の測定技術, 日本音響学会誌, 日本, 2002年10月 1
日, 58巻10号, 669-676

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01H 17/00

G01H 3/00

G10K 15/00