

(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2015-204627

(P2015-204627A)

(43) 公開日 平成27年11月16日 (2015. 11. 16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>HO4R 1/10 (2006.01)</b>	HO4R 1/10 101A	5D061
<b>G1OK 11/178 (2006.01)</b>	G1OK 11/16 H	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L 外国語出願 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2015-80517 (P2015-80517)	(71) 出願人	509127457 パロット フランス, F-75010 パリ, ケー ド ジェムマペ, 174
(22) 出願日	平成27年4月10日 (2015. 4. 10)	(74) 代理人	100094112 弁理士 岡部 謙
(31) 優先権主張番号	1453284	(74) 代理人	100106183 弁理士 吉澤 弘司
(32) 優先日	平成26年4月11日 (2014. 4. 11)	(74) 代理人	100114915 弁理士 三村 治彦
(33) 優先権主張国	フランス (FR)	(74) 代理人	100120363 弁理士 久保田 智樹
		(74) 代理人	100125139 弁理士 岡部 洋

最終頁に続く

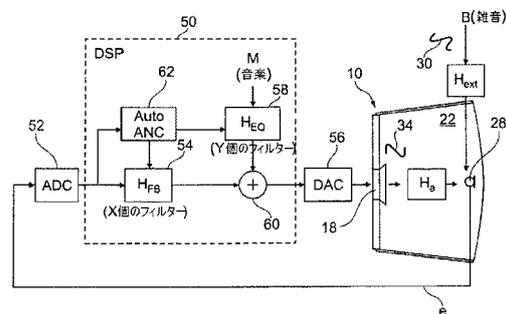
(54) 【発明の名称】 電氣的ヒスを低減するANC能動雑音制御オーディオヘッドセット

(57) 【要約】

【課題】 新たなANC雑音低減技法を提案すること。

【解決手段】 ヘッドセットが能動雑音制御システムを含み、ANCマイクロフォン(MP)が音響雑音成分を含む信号を送達する。DSPが、ANC・MPによって拾われた信号にフィルタリング伝達関数を適用するフィードバック(FB)・ANCブランチと、FBブランチの信号を再生されるべきオーディオ信号と混合する手段とを備える。ANC・MPは音響空洞内に配置される内部MPであり、FB・ANCフィルターは、複数の選択的に切替え可能な予め構成されたFB・ANCフィルターの内の1つである。DSPは、MP信号の現在の特性が1組の所定の判定基準を満たすか否かを検証し、この検証結果に応じて、予め構成されたFB・ANCフィルターの内の1つを選択する手段を備える。再生されるべき信号の均等化ブランチのフィルタリングも、現在選択されているFB・ANCフィルターに応じて変更される。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

2つのイヤホン(10)を備えるオーディオヘッドセットであって、前記イヤホンはそれぞれ、再生されるべきオーディオ信号の音を再生するためのトランスデューサー(18)を含み、該トランスデューサーは耳音響空洞(22)内に収容され、該ヘッドセットは能動雑音制御システム、すなわちANCシステムを備え、該ANCシステムは、

前記音響空洞(22)内に配置され、この空洞内で拾われる信号を送達するように構成される内部ANCマイクロフォン(28)と、

デジタルシグナルプロセッサ、すなわちDSP(50)と、  
を備え、該DSPは、

前記ANCマイクロフォンによって拾われた前記信号にフィルタリング伝達関数( $H_{FB}$ )を適用するように構成されるフィードバックANCフィルター(54)を備える閉ループフィードバックブランチ(36)であって、前記フィードバックANCフィルター(54)は複数の選択的に切替え可能なあらかじめ構成されたフィードバックANCフィルター(F1、F2)のうちの1つである、閉ループフィードバックブランチと、

前記ANCマイクロフォンによって拾われた前記信号をリアルタイムに解析する手段(62)であって、複数の周波数帯(フィルター1、フィルター2)内の信号のエネルギー値( $Rms1$ 、 $Rms2$ ...)を含むこの信号の現在の特性が1組の所定の判定基準を満たすか否かを検証するように構成される、手段と、

前記解析手段によって実行される前記1組の判定基準の検証結果に応じて、前記あらかじめ構成されたフィードバックANCフィルター(F1、F2)のうちの1つを選択するように構成される選択手段(62)と、

入力として、前記フィードバックANCフィルター(54)の出力において前記フィードバックブランチによって送達される前記信号と、再生されるべきオーディオ信号(M)とを受信し、出力として、前記トランスデューサー(18)を操作するように構成される信号を送達する混合手段(46)と、  
を備え、

前記DSP(50)は、

前記再生されるべきオーディオ信号(M)を前記混合手段(60)に印加する前に、前記再生されるべきオーディオ信号(M)に均等化伝達関数( $H_{EQ}$ )を適用するように構成される均等化フィルター(58)を備える均等化ブランチであって、前記均等化手段(58)は複数の選択的に切替え可能なあらかじめ構成された均等化フィルターのうちの1つである、均等化ブランチを更に備えることを特徴とし、

前記選択手段(62)は、

i) 前記1組の判定基準の前記検証の結果に応じて、前記あらかじめ構成されたフィードバックANCフィルター(F1、F2)のうちの1つと、

ii) 現在選択されているフィードバックANCフィルターに応じて、前記あらかじめ構成された均等化フィルターのうちの1つと、

を同時に選択するように構成される手段であることを特徴とする、2つのイヤホン(10)を備える、オーディオヘッドセット。

## 【請求項 2】

前記1組の所定の判定基準は、前記再生されるべきオーディオ信号(M)の存否の前記検出(76)を更に含み、

前記所定の判定基準は、前記エネルギー値と比較される2つの異なる一連のしきい値(Threshold値(1,1)、Threshold値(2,1)...)を含み、これら2つの一連のしきい値のうちの1つは、再生されるべきオーディオ信号が存在するかどうかによって選択される(78; 78')、請求項1に記載のオーディオヘッドセット。

## 【請求項 3】

前記ヘッドセットは、前記音響空洞外に配置され、前記ヘッドセットの環境内に存在する音響雑音(30)を拾うように構成される外部マイクロフォン(38)を更に備え、

10

20

30

40

50

前記DSP(50)は、

前記外部マイクロフォン(38)によって送達される前記信号にフィードフォワードフィルタリング伝達関数( $H_{FF}$ )を適用するように構成されるフィードフォワードANCフィルター(82)を備える開ループフィードフォワードブランチ(40)を更に備え、

前記フィードフォワードANCフィルターは、複数の選択的に切替え可能なあらかじめ構成されたフィードフォワードANCフィルターのうちの1つであり、

前記選択手段は、前記現在選択されているフィードバックANCフィルターに応じて、前記あらかじめ構成されたフィードフォワードANCフィルターのうちの1つを選択するように更に構成される、請求項1に記載のオーディオヘッドセット。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は「能動雑音制御」システムを備えるオーディオヘッドセットに関する。

【背景技術】

【0002】

そのようなヘッドセットは、有線接続によって、又は無線接続、特にBluetoothリンク(Bluetooth SIG社の登録商標)によってそのヘッドセットが接続される、MP3プレーヤー、ラジオ、スマートフォン等の装置から提供される音源(例えば、音楽)を聴取するために使用される場合がある。

20

【0003】

ヘッドセット装着者の音声を拾うように構成されたマイクロフォンセットが設けられる場合には、このヘッドセットは、音源を聴取することを補完するものとして、「ハンズフリー」電話機能のような通信機能のためにも用いることができる。その際、ヘッドセットトランスデューサーは、ヘッドセット装着者が会話している遠方の話者の音声を再生する。ヘッドセットは一般的に、ヘッドバンドによって繋がれる2つのイヤホンを備える。各イヤホンは密閉ケーシングを備え、密閉ケーシングは音響再生トランスデューサー(これ以降、単に「トランスデューサー」と呼ばれる)を収容し、外部音響環境から耳を隔離するサーカムオーラル型パッド(circumaural pad)を介してユーザーの耳の回りに当てられるように構成される。

30

【0004】

「イントラオーラル(intra-aural)」タイプのイヤホンも存在する。このイヤホンは、素子が外耳道内に配置されるので、耳を包囲するか又は覆うパッドを持たない。以下の説明では、耳を包囲するか(「サーカムオーラル」型ヘッドセット)、又は耳の上に乗っている(「スーパオーラル(supra-aural)」ヘッドセット)ケーシング内にトランスデューサーが収容される「ヘッドセット」タイプのイヤホンを主に参照するが、理解されるように、本発明はイントラオーラル型イヤホンにも適用することができるので、この例は限定するものと見なしてはならない。

【0005】

ヘッドセットが雑音のある環境(地下鉄、繁華街、列車、飛行機等)において用いられるとき、装着者は、密閉ケーシング及びサーカムオーラル型パッドのおかげで装着者を隔離するヘッドセットイヤホンによって、雑音から部分的に保護される。

40

【0006】

しかしながら、音の一部、特に周波数スペクトルの低い部分がイヤホンケーシングを通して、又は装着者の頭蓋を介して耳に伝達される可能性があるので、この単に受動的な保護は中途半端にすぎない。

【0007】

そのため、いわゆる、「能動雑音制御」又はANC技法が開発されており、その原理は、入力雑音成分を拾うことと、この雑音成分に、雑音成分の圧力波を理想的に反転した複製波である音波を時間的及び空間的に重ね合わせることにある。問題は、そのようにし

50

て雑音成分との弱め合う干渉を作り出すこと、及び擬似音波の圧力の変動を低減すること、理想的には相殺することである。

【 0 0 0 8 】

特許文献 1 (Parrot) は、閉ループフィードバックフィルタリングタイプと開ループフィードフォワードフィルタリングタイプとを組み合わせる ANC システムが設けられた、そのようなヘッドセットを記述している。フィードバックフィルタリングパスは、イヤホンケーシング、サーカムオーラル型パッド及びトランスデューサーによって画定される音響空洞内に配置されるマイクロフォンによって収集された信号に基づく。言い換えると、このマイクロフォンはユーザーの耳の近くに配置され、トランスデューサーによって生成された信号と、相殺されることなく前方空洞内で依然として知覚できる残留雑音信号とを主に受信する。このマイクロフォンの信号は、そこからトランスデューサーによって再生されることになる音源のオーディオ信号が減算され、ANC システムのフィードバックループのための誤差信号を構成する。フィードフォワードフィルタリングパスは、ヘッドセットの装着者が現在置かれている環境内に存在する擬似雑音を収集する外部マイクロフォンによって拾われた信号を用いる。最後に、第 3 のフィルタリングパスが、再生されることになる音源から来るオーディオ信号を処理する。3 つのフィルタリングパスの出力信号は合成され、トランスデューサーに加えられ、周囲雑音抑制信号に関連付けられる音源信号を再生する。

10

【 0 0 0 9 】

既存の ANC システムは、ANC システムが起動されるときに知覚される「電氣的ヒス」の存在に起因する制約を受ける。実際には、フィードバックマイクロフォンは、音響信号の音像であり、かつ低い電氣的雑音を伴う電気信号を与え、通常約 20 dB ~ 30 dB である ANC フィルターによる増幅が、この電氣的雑音を増加させる。さらに、マイクロフォンによって拾われる雑音は、望ましくない、いわゆる、ウォーターベッド効果によって増加する。雑音抑制の主要周波数帯域を越えると、相対的に狭い周波数帯域、一般的に約 1 kHz 内で、雑音は完全に知覚することができ、害を及ぼす程度まで増幅される。あまりにも著しい場合には、この現象はラーセン効果まで引き起こすおそれがあり、その現象は、パッドが偶然外れたときに数多くのヘッドセットに関して観察される場合がある。これらの現象は、特に雑音が低いときに、抑制されるべき雑音よりも聞き取りやすく不快な場合がある雑音をトランスデューサー上に生成する。

20

30

【 0 0 1 0 】

具体的には、低周波数における雑音の減衰は、フィードバック ANC フィルターの利得が高いほど良好であるが、その代償として、ヒスが增加する。それゆえ、周囲雑音に応じてフィードバック ANC フィルターの利得を適応させることが望ましい。この周囲雑音が低い場合には、ANC 利得を低くする必要があり、及び/又はウォーターベッド効果を小さくする利得が必要とされる。その際、フィルターの効率は低下するが、ヒスも低減されることになる。逆に、周囲雑音が高い場合には、生成される電氣的ヒスが周囲雑音に対して無視できるほどになるので、高い ANC 利得が好ましい。

【 0 0 1 1 】

特許文献 2 は、適応タイプ、すなわち、信号をリアルタイムに解析するためのアルゴリズムによって、その伝達関数が動的に、かつ連続して変更されるフィルターを用いる ANC システムを記述する。ヘッドセットイヤホンのケーシング上に配置される外部マイクロフォンが周囲雑音を収集し、そのレベルを解析して、フィードバックフィルターの伝達関数を調整する。

40

【 0 0 1 2 】

この方法の欠点は、フィードバック ANC が、ユーザーによって実際に知覚される雑音に適応せず、ヘッドセットの外部環境内に存在する雑音に適応することにある。ここで、実際に知覚される雑音は音響的な漏れによって変更される場合があり、頭部へのヘッドセットの位置決め、ユーザーの耳の形状、頭部におけるヘッドセットの締付け具合の違い、サーカムオーラル型パッドが静止している場所に髪が存在するか等によって個人差がある

50

。音響的な漏れが存在する場合、ANC効率が低下するので、より多くの雑音を抑制するために、ANC利得を増加させる必要があり、結果として、電氣的ヒスのレベルが高くなる。

【0013】

特許文献3は、ヘッドセットイヤホンの音響的な耳空洞内に配置される内部マイクロフォンを備え、雑音抑制器のフィードバックブランチを操作するANCシステムを記している。拾われた信号は、音楽の無音時間中に、又はANCシステムによって音楽が強制的に休止されている時間中に、幾つかの周波数帯域において解析される。拾われた信号の特性に応じて、フィルターの応答曲線を最大に適応させるために、得られた結果に応じて、このフィルターの係数が変更される。雑音低減の提案された技法は、電氣的ヒス及びウォーターベッド効果現象の低減に関して限られた結果しか与えない。とりわけ、異なる伝達関数間の切替えを特にユーザーが知覚することができ、その切替えが、再生されることになるオーディオ信号の無音時間中に行われるのでなおさらである。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0014】

【特許文献1】欧州特許出願公開第2597889号

【特許文献2】国際公開第2010/129219号（欧州特許出願公開第2425421号）

【特許文献3】欧州特許出願公開第1923864号

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

上記のことを考慮に入れて、本発明の目的は、新たなANC雑音低減技法を提案することであり、その技法は、

- 電氣的ヒス現象を大幅に低減し、
- ANCシステムの雑音低減性能を低下させることがなく、すなわち、ユーザーによって知覚される残留雑音がいつでも最大限に低減され、特にi)低い周波数を大きく減衰させ、かつii)広く周波数帯域幅を抑制し、
- フィルタリング変更が操作されるとき、ヘッドセット装着者からほとんど知覚できないようにし、
- 全体が、音源から来るオーディオ信号（電話の応用形態の場合、遠方の話者の音声）を歪ませることなく、かつこの信号のスペクトルを用いることなく、ANC処理によって取り除かれ、それでも、雑音相殺信号及び再生されるべきオーディオ信号は同じチャンネルによって増幅され、同じトランスデューサーによって再生される。

30

【課題を解決するための手段】

【0016】

これらの目的を達成するために、本発明は、ANC能動雑音制御システムを備えるオーディオヘッドセットを提案する。このシステムは、それ自体が特許文献3から既知の方法で、

40

- ヘッドセットイヤホンの音響耳空洞内に配置され、この空洞内で拾われる信号を送達するように構成される内部ANCマイクロフォンと、
  - デジタルシグナルプロセッサ、すなわちDSPと、
- を備え、DSPは、
- ・ ANCマイクロフォンによって拾われた信号にフィルタリング伝達関数を適用するように構成されるフィードバックANCフィルターを備える閉ループフィードバックブランチであって、フィードバックANCフィルターは複数の選択的に切替え可能なあらかじめ構成されたフィードバックANCフィルターのうちの1つである、閉ループフィードバックブランチと、
  - ・ ANCマイクロフォンによって拾われた信号をリアルタイムに解析する手段であっ

50

て、複数の周波数帯内の信号のエネルギー値を含むこの信号の現在の特性が、1組の所定の判定基準を満たすか否かを検証するように構成される、手段と、

- ・解析手段によって実行される1組の判定基準の検証結果に応じて、あらかじめ構成されたフィードバックANCフィルターのうちの1つを選択するように構成される選択手段と、

- ・入力として、フィードバックANCフィルターの出力においてフィードバックブランチによって送達される信号と、再生されるべきオーディオ信号とを受信し、出力として、トランスデューサーを操作するように構成される信号を送達する混合手段と、を備える。

【0017】

10

本発明の特徴として、DSPは、

- ・再生されるべきオーディオ信号を混合手段に適用する前に、再生されるべきオーディオ信号に均等化伝達関数を適用するように構成される均等化フィルターを備える均等化ブランチであって、均等化手段は複数の選択的に切替え可能なあらかじめ構成された均等化フィルターのうちの1つである、均等化ブランチを更に備える。

【0018】

さらに、選択手段は、

- i) 1組の判定基準の検証結果に応じて、あらかじめ構成されたフィードバックANCフィルターのうちの1つと、

- ii) 現在選択されているフィードバックANCフィルターに応じて、あらかじめ構成された均等化フィルターのうちの1つと、

を同時に選択するように構成される手段であることを特徴とする、2つのイヤホンを用意する、オーディオヘッドセットである。

20

【0019】

好ましい実施形態において、1組の所定の判定基準は、再生されるべきオーディオ信号の存否の検出を更に含み、所定の判定基準は、エネルギー値と比較される2つの異なる一連のしきい値を含み、これら2つの一連のしきい値のうちの1つは、再生されるべきオーディオ信号が存在するか否かによって選択される。

【0020】

有利には、ヘッドセットは、音響空洞外に配置され、ヘッドセットの環境内に存在する音響雑音を拾うように構成される外部マイクロフォンを更に備えることができる。DSPは、外部マイクロフォンによって送達される信号にフィードフォワードフィルタリング伝達関数を適用するように構成されるフィードフォワードANCフィルターを備える開ループフィードフォワードブランチを更に備える。フィードフォワードANCフィルターは、複数の選択的に切替え可能なあらかじめ構成されたフィードフォワードANCフィルターのうちの1つであり、選択手段は、現在選択されているフィードバックANCフィルターに応じて、あらかじめ構成されたフィードフォワードANCフィルターのうちの1つを選択するように更に構成される。

30

【0021】

ここで、本発明の実施形態の一例が、添付の図面を参照しながら説明されることになり、図面において同じ参照番号は複数の図を通して同一か、又は機能的に類似の要素を表す。

40

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】ユーザーの頭部にあるオーディオヘッドセットを示す概略図である。

【図2】種々の音響信号及び電気信号と、能動雑音制御オーディオヘッドセットの動作に含まれる種々の機能ブロックとを示す概略図である。

【図3】種々の機械的要素及びその電気機械的部材の構成を示す、本発明によるヘッドセットのイヤホンのうちの1つのイヤホンの立断面図である。

【図4】本発明による雑音除去処理が実行される方法を動作ブロックとして示す概略図で

50

ある。

【図5】マイクロフォン信号の解析機能及びヘッドセットトランスデューサーに送達される信号に適用されるフィルターの選択機能を実施する要素をより厳密に示す図である。

【図6】図5の解析機能及び選択機能の状態機械の動作を示す流れ図である。

【図7】外部雑音条件に応じて自動的に交互に選択される2つのANCフィルターの伝達関数の振幅及び位相に関するボード線図を示す図である。

【図8】図7において例示される2つのフィルターで得られる減衰例を示す図である。

【図9】フィードバックランチに加えて、フィードフォワードランチを含むシステムの場合の図4に類似の図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

図1には、ユーザーの頭部に配置されるオーディオヘッドセットが示される。このヘッドセットは、それ自体従来通りに、保持ヘッドバンド12によって繋がれる2つのイヤホン10、10'を含む。イヤホン10はそれぞれ、ユーザーの耳の外形上にくる外部ケーシング14を備え、ケーシング14と耳の外面との間に、音響の観点から、耳領域と外部音環境との間の満足な防音を確保すること意図したサーカムオーラル型フレキシブルパッド16が介在している。序論において示されたように、本発明は、外耳道内に配置される要素を備えるイントラオーラル型イヤホン、それゆえ、耳を包囲するか又は覆うケーシング及びパッドを持っていないイヤホンにも適用することができるので、耳を包囲するか、又は耳の上に載せられるケーシング内にトランスデューサーが収容されている「ヘッドセット」タイプのこの構成例は、限定するものと見なされるべきではない。

【0024】

図2は、種々の音響信号及び電気信号と、能動雑音制御オーディオヘッドセットの動作に含まれる種々の動作ブロックとを示す概略図である。

【0025】

イヤホン10は、2つの空洞、すなわち、耳側の前方空洞22と反対側にある後方空洞24とを画定する仕切り20によって支持される、これ以降、単に「トランスデューサー」と呼ばれる、音響再生トランスデューサーを取り囲む。

【0026】

前方空洞22は、内側仕切り20と、イヤホンの内壁14と、パッド16と、耳領域内のユーザーの頭部の外面とによって画定される。この空洞は閉じた空洞であるが、パッド16の接触領域において音響的な漏れが生じるのは避けられない。後方空洞24は、イヤホンの前方空洞22内の低周波数の強化が得られるようにする音響バンド26を除き、閉じた空洞である。

【0027】

最後に、能動雑音制御のために、内部空洞22内に存在する残留雑音、すなわち、ユーザーによって知覚されることになる雑音を拾うために、内部マイクロフォン28が設けられ、外耳道のできる限り近くに配置される。トランスデューサーによって再生される音源のオーディオ信号(又は電話の応用形態では、遠方の話者の音声)は別にして、この内部マイクロフォン28によって拾われる音響信号は以下の組み合わせである。

- イヤホンケーシング14を通過して周囲の外部雑音30が伝達されることからもたらされる残留雑音32、及び、

- 理想的には弱め合う干渉の原理による、残留雑音32、すなわち、聴取点において抑制されることになる雑音の反転した複製波である、トランスデューサー18によって生成される音波34。

【0028】

音波34による雑音相殺は決して完全でないので、内部マイクロフォン28は残留信号を収集し、その残留信号は閉ループフィードバックフィルタリングランチ36に適用される誤差信号eとして用いられる。

【0029】

10

20

30

40

50

波 30 によって図式化される、イヤホンの外部の周囲雑音を拾うために、可能性として、ヘッドセットイヤホンのケーシング上に外部マイクロフォン 38 が配置される場合がある。この外部マイクロフォン 38 によって収集される信号は、能動雑音制御のフィードフォワードフィルタリングステージ 40 に適用される。フィードバックブランチ 36 から来る信号、そして、存在する場合、フィードフォワードブランチ 40 から来る信号は、トランスデューサー 18 を操作するために 42 において合成される。

#### 【0030】

さらに、トランスデューサー 18 は、音源（ウォークマン（登録商標）、ラジオ等）から来る、再生されるべきオーディオ信号、又は電話の応用形態の場合には遠方の話者の音声を受信する。この信号は、信号を歪ませる閉ループの影響を受けるので、閉ループの利得によって決定される所望の伝達関数と、能動制御しない場合のターゲット応答とを有するように均等化によって前処理されなければならない。ヘッドセットは、場合によっては、図 1 に示されるように、例えば、ヘッドセットが「ハンズフリー」電話機能を与えられる場合には、通信機能向けの別の外部マイクロフォン 44 を支持することができる。この更なる外部マイクロフォン 44 は、ヘッドセット装着者の音声を拾うことを意図しており、能動雑音制御には関与しないので、以下の説明では、能動雑音制御専用のマイクロフォン 38 のみを、ANC システムによって使用される可能性がある外部マイクロフォンと見なす。

#### 【0031】

図 3 は、イヤホン 10 のうちの 1 つについて、図 2 に概略的に示される種々の機械的要素及び電気音響的要素の例示的な実施形態を断面図で示す（他方のイヤホン 10' も同一にされる）。図 3 において、仕切り 20 がケーシング 14 の内部を前方空洞 22 及び後方空洞 24 に分割し、この仕切り上にトランスデューサー 18 が取り付けられ、内部マイクロフォン 28 がユーザーの外耳道の近くに内部マイクロフォンを支持する格子 48 によって支持されるのを確認することができる。

#### 【0032】

図 4 は、本発明による ANC 能動雑音制御システムを動作ブロックとして概略的に示す。

#### 【0033】

そのシステムは、デジタルシグナルプロセッサ DSP 50 によって実現される、デジタルタイプの ANC システムである。これらの方式は相互接続される回路として提示されるが、種々の機能の実施態様は基本的にソフトウェアに基づいており、この表現は例示にすぎないことに留意されたい。

#### 【0034】

また図 4 において、その原理が図 2 を参照しながら上記で説明されたフィードバックブランチ 36 も確認することができる。AD コンバータ 52 によって内部マイクロフォン 28 によって拾われた誤差信号 e がデジタル化される。デジタル化された誤差信号はフィルタ 54 によって処理され、その後、イヤホン 10 の空洞内のトランスデューサー 18 によって表現されるように、DAC 56 によってアナログ信号に変換される。再生された信号はおそらく音楽信号 M に合成され、DAC 56 によって変換し、トランスデューサー 18 によって再生するために、均等化 58 の後に 60 において雑音相殺信号に合成される。

#### 【0035】

フィードバックブランチの伝達関数を規定するブロック 54 は、選択的に切替え可能な所定のフィルターからなる複数の構成を含み、これらの X 個のフィルターはそれぞれ、多かれ少なかれ強い電氣的ヒスを失わせるほど、周囲雑音の多かれ少なかれ大きな減衰を得られるようにし、内部マイクロフォン 28 によって拾われた信号に応じて X 個のフィルター間で交換する高度な機構を用いる。この点において、異なる選択可能なフィルター間で交換することは、内部マイクロフォン 28 によって拾われた信号に基づいて操作されることが重要である。なぜなら、これは、ユーザーの耳の近くにある内部マイクロフォン（外部マイクロフォン 38 ではない）が、イヤホンのケーシングの内部と外部との間で起こり

10

20

30

40

50

得る音響的な漏れを特に考慮に入れて、ユーザーによって実際に知覚された残留雑音の音像をANCシステムに与えるためである。

【0036】

それゆえ、減衰/ヒス低下を最適化できるようにする、フィードバックブランチの異なるフィルター間の切替えは、ヘッドセットイヤホンの前方空洞22内のスペクトルレベル及び成分による。

【0037】

さらに、デジタルシステムを選択することによって、多数のフィルターを容易にプログラミングできるようになること(この相当物を備えるのに、多数の電子構成要素が必要になるアナログシステムとは異なる)、そしてとりわけ、アルゴリズムによるインテリジェンスを組み合わせて、信号をリアルタイムに解析し、より良好な減衰/ヒス低下を与えることになるフィルターに極めて短い応答時間で切り替えることができるようになることに留意されたい。

【0038】

マイクロフォン28によって拾われた誤差信号の解析は、DSP50において「Auto-ANC」モジュール62によって実行され、そのモジュールは信号eを解析し、フィードバックブランチ54のX個のフィルターのうちいずれの1つを選択することが望ましいかを規定し、同様に、音楽信号均等化ブランチ58のY個のフィルターのうち1つを選択することが望ましいかを規定する(ただし、Yは、そうとは限らないが、Xに等しくすることができる)。

【0039】

より厳密には、内部マイクロフォン28によって拾われた信号e(その信号は、ヘッドセットユーザーの耳によって拾われる信号と同一であると仮定される)は、(図4の構成において)以下の式によって与えられる。

【数1】

$$e = H_{ext}(1-H_a*H_{FB}) * B + H_d(1-H_a*H_{FB}) * H_{EQ} * M$$

ただし、

Bは外部雑音信号30であり、

Mは入力音楽信号であり、

$H_{ext}$ は外部雑音源と内部マイクロフォン28との間の伝達関数であり、

$H_{FB}$ はフィードバックフィルター54の伝達関数であり、

$H_{EQ}$ は均等化フィルター58の伝達関数であり、

$H_a$ はトランスデューサー18と内部マイクロフォン28との間の伝達関数である。

【0040】

この式において、再生される音楽信号は伝達関数

【数2】

$$H_d(1-H_a*H_{FB}) * H_{EQ}$$

を受け、それにより、フィードバックANCブランチ54のフィルター $H_{FB}$ が変更される場合には、音源の知覚によっても、当該変更されることに気が付くことがある。それゆえ、音楽の知覚がユーザーにとって同じままであるようにするために、Auto-ANC制御アルゴリズム62は、フィードバックANCブランチ54のフィルターを変更すると同時に、音楽均等化ブランチ58のフィルター $H_{EQ}$ も変更しなければならない。言い換えると、当然、音楽信号が存在する場合に、Auto-ANCアルゴリズム62によってフィードバックANCブランチ54のX個のフィルターのうち1つを切り替えるのに伴って、音楽均等化ブランチ58のY個のフィルターのうち1つも同時に切り替えて、フィルタリングの効果を再び釣り合わせる。

【0041】

図5は、信号の解析、並びにフィードバックANCフィルター及び均等化フィルターの選択のためにAuto-ANCブロック62によって実現される要素をより厳密に示す。

【0042】

内部マイクロフォン28によって収集されるデジタル化された信号eは、そのN個の周波数成分のそれぞれにおいてこの信号eのエネルギー $Rms_i$ を66において計算するために、1組のフィルター64によって周波数分解にかけられる。

【0043】

オーディオヘッドセットによる能動雑音制御の枠組み内で、スペクトル分析によって周囲雑音の「音色」を調べることによって、種々の重要な状況を聞き分けることができるようになる。例えば、公共交通機関タイプ（飛行機、列車）の雑音のある環境内でヘッドセットを使用する場合に、事務所内のような静かな環境よりも、低周波数と高周波数との間の比がはるかに重要である。それゆえ、例えば、 $Rms_1$ を100Hz未満のマイクロフォン信号の電力、 $Rms_2$ を約800Hzにおける信号の電力等とすることができる。

10

【0044】

得られた値 $Rms_1$ 、 $Rms_2$ ... $Rms_N$ が状態機械68にかけられ、状態機械はこれらのエネルギー値をそれぞれのしきい値と比較し、これらの比較に応じて、フィードバックANCブランチ54のX個のフィルターのうちのいずれの1つ、場合によっては（音楽が存在する場合には）、均等化ブランチ58のY個のフィルターのうちのいずれの1つが選択されなければならないかを判断する。

【0045】

図6は、この状態機械68がいかにか動作するかをより厳密に示す。

20

【0046】

状態機械68は、現在のエネルギーレベル $Rms_1$ 、 $Rms_2$ ... $Rms_N$ を考慮に入れて、伝達関数 $H_{FB}$ 及び $H_{EQ}$ が初期状態にあるときに、それらの伝達関数を変更する必要があるか否かを判断する（ブロック70）。

【0047】

それらのエネルギーがそれぞれの所定のしきい値を超える場合には（テスト72）：

【数3】

$$Rms_1 > Threshold(1,1) \ \&\& \ Rms_2 > Threshold(2,1) \ \&\& \dots \ \&\& \ Rms_N > Threshold(N,1)$$

30

そのアルゴリズムは、外部雑音がフィルター $H_{FB}$ の適応を必要とするほど十分に強いと見なし、同時に、それにに応じて、その音楽信号のための均等化フィルター $H_{EQ}$ の適応の可能性も考える（ブロック74）。

【0048】

逆の場合、すなわち、上記の条件が確認されない場合には、低いしきい値、すなわち、 $Threshold(1,2) < Threshold(1,1)$ 、 $Threshold(2,2) < Threshold(2,1)$ ... $Threshold(N,2) < Threshold(N,1)$ を用いて、新たな比較が実行される（ブロック72'）：

【数4】

40

$$Rms_1 > Threshold(1,2) \ \&\& \ Rms_2 > Threshold(2,2) \ \&\& \dots \ \&\& \ Rms_N > Threshold(N,2)$$

【0049】

後者のテストが肯定される場合には、フィルター $H_{FB}$ 及び $H_{EQ}$ は変更されるが（ブロック74'）、上記の場合とパラメータが異なる。否定される場合には、フィードバックブランチ54の場合に選択することができるX個のフィルターの中から、音響雑音をより良好に減衰できるようにしながら、起こり得る電氣的ヒスを知覚しにくくするフィルターを選択するために、次第にしきい値を下げながら、同じようにして繰り返し継続することができる（ブロック72''、74''等）。

【0050】

50

非常に都合の良いことに、この一連のテストの上流では、例えば、この音楽信号の場合に意図されるブランチ上の信号の電力を所定のしきい値と比較することによって、表現連鎖内の音楽信号Mの存否を検出すること（ブロック76）が提供される。

【0051】

その後、その音楽が、ANC制御によって導入される電氣的ヒスの知覚に関して外部雑音と同じようにマスキングの役割を果たすという事実を考慮に入れて、装着者が音楽の中にいるか否かによって、初期しきい値は異なる値に調整される（ブロック78又は78'）。

【0052】

図7及び図8は、外部雑音条件に応じて自動的に交互に選択される2つのフィードバックANCフィルターの例を示す。図7は、これら2つのフィルターの伝達関数 $H_{FB}$ の振幅及び位相に関するボード線図を示すのに対して、図8は、得られた対応する減衰を示す。これら2つのフィルターのために以下のフィルターが選択された。

- 公共交通機関のような雑音のある環境に適応し、非常に低い周波数を大きく減衰させ、中間では利得が高く、減衰帯域幅が広い第1のフィルターF1、及び、
- 静かな環境に適応し、ANCによる減衰は小さいが、電氣的ヒスを大きく低減し、約1000Hzにおけるウォーターベッド効果を制限する第2のフィルターF2。

【0053】

図9は、本発明を、フィードバックブランチ54だけでなく、外部マイクロフォン38の信号nを入力として受信するフィードフォワードブランチも備えるANCシステムに一般化したものである。信号nは、ADC80によってデジタル化した後に、DSP50内で、その信号に伝達関数 $H_{FF}$ を適用するための処理（ブロック82）にかけられる。

【0054】

フィードバックブランチの場合と同様に、Auto-ANCアルゴリズム62が、内部マイクロフォン28によって送達される信号に基づいて、そして、外部マイクロフォン38によって送達される信号に基づくことなく、フィルター $H_{FF}$ の係数を変更し、すなわち、Z個のあらかじめ構成されたデジタルフィルター（ただし、Zは、そうとは限らないが、Xに等しくすることができる）のうちの1つを選択する。内部マイクロフォン28によって送達される信号eの式は、以下の通りである。

【数5】

$$e = H_a * H_{FF} * B + H_{ext} / (1 - H_a * H_{FB}) * B + H_a / (1 - H_a * H_{FB}) * H_{EQ} * M.$$

【0055】

そのようなシステムにおいて、フィードフォワードフィルター $H_{FF}$ は音源の均等化に影響を及ぼさないこと、それゆえ、均等化ブランチ58のフィルター $H_{EQ}$ を変更する必要はないことに留意されたい。

【0056】

信号eの解析及び最も適したフィードフォワードフィルター $H_{FF}$ の選択のための状態機械は、図6に示される状態機械と同じであるが、唯一の違いは、ブロック74、74'、74'...において様々なしきい値（変更なし）においてテストした後に、伝達関数 $H_{FB}$ 及び $H_{EQ}$ に加えて、伝達関数 $H_{FF}$ が変更されることである。

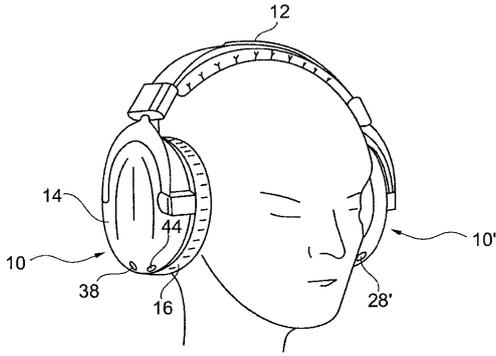
10

20

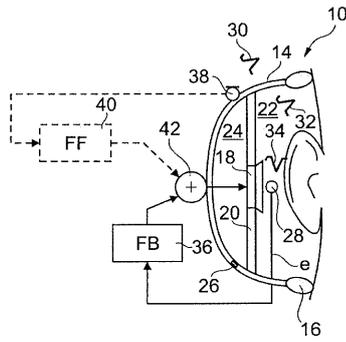
30

40

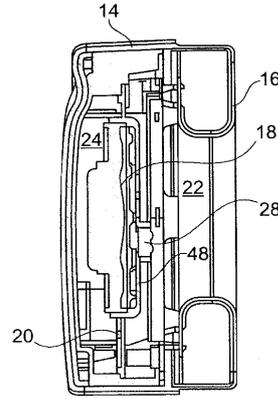
【 図 1 】



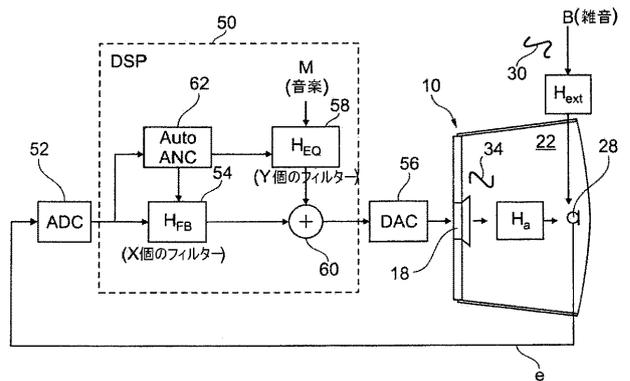
【 図 2 】



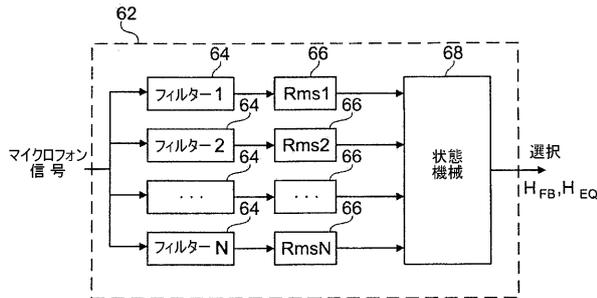
【 図 3 】



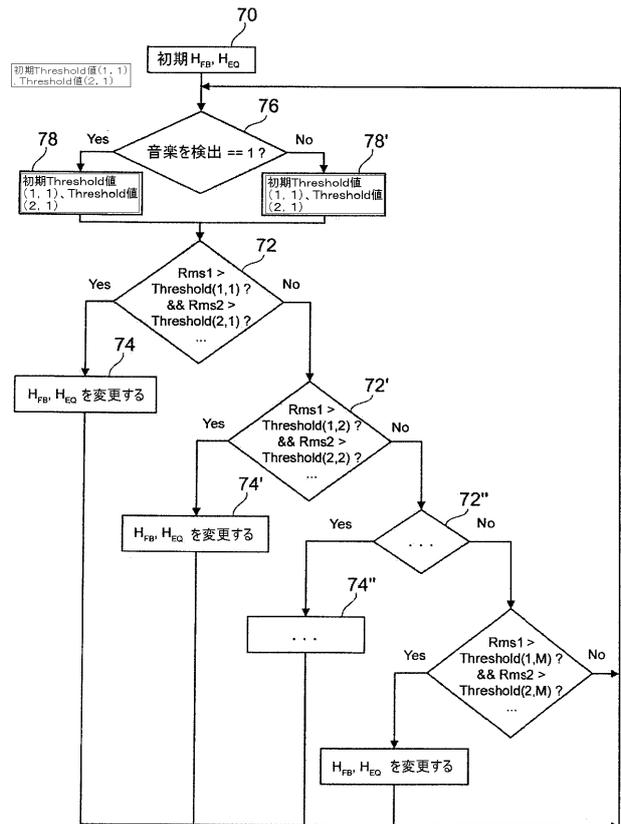
【 図 4 】



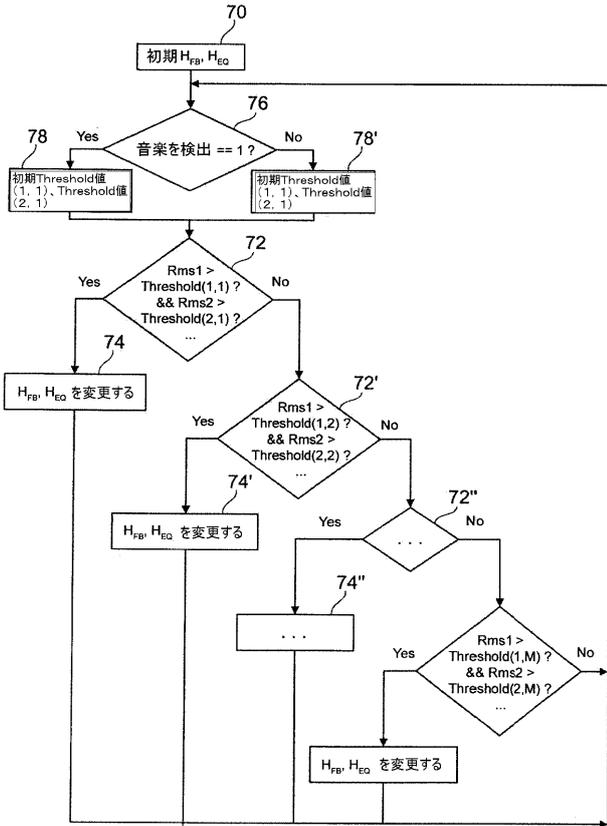
【 図 5 】



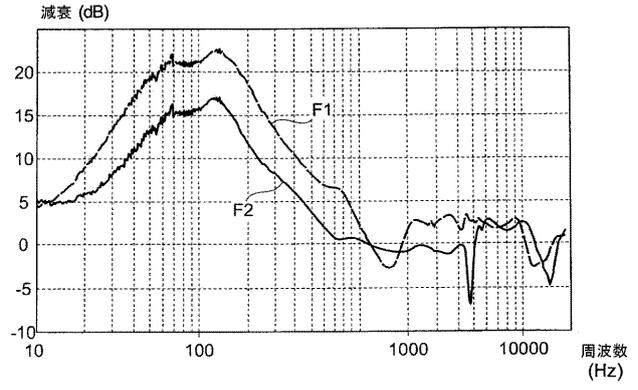
【 図 6 】



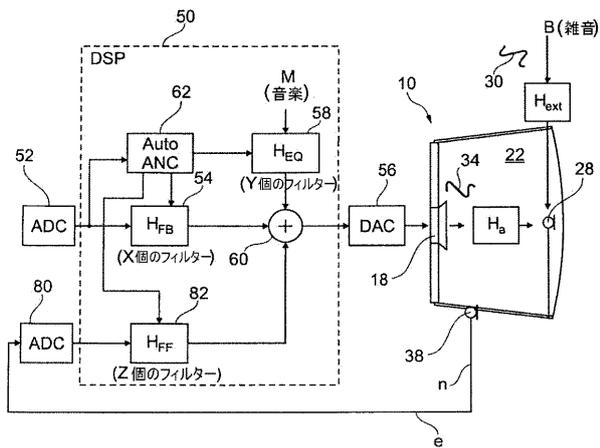
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 フォン ファ

フランス 75011 パリ, アヴェニュー フィリップ オーギュスト 123

(72)発明者 ヴュ オアン コ テュイ

フランス 75012 パリ, リュ クロード ドカーン, 52

(72)発明者 ピエール ギーウ

フランス 75011 パリ, リュ アムロ 48

Fターム(参考) 5D061 FF02

【外国語明細書】

[Title of the Invention]

**ANC active noise control audio headset with reduction of the electrical hiss**

The invention relates to an audio headset comprising an "active noise control" system.

Such a headset may be used for listening an audio source (music for example) coming from an apparatus such as MP3 player, radio, smartphone, etc., to which it is connected by a wireline connection or by a wireless connection, in particular a *Bluetooth* link (registered trademark of Bluetooth SIG).

If provided with a microphone set adapted to pick up the voice of the headset wearer, this headset may also be used for functions of communication such as "hands-free" telephony functions, as a complement of the audio source listening. The headset transducer then reproduces the voice of the remote speaker with which the headset wearer is in conversation.

The headset generally comprises two earphones linked by a headband. Each earphone comprises a closed casing housing a sound reproduction transducer (simply called "transducer" hereinafter) and intended to be applied around the user's ear with interposition of a circumaural pad isolating the ear from the external sound environment.

There also exists earphones of the "intra-aural" type, with an element to be placed in the ear canal, hence having no pad surrounding or covering the ear. In the following, it will mainly be referred to earphones of the "headset" type with a transducer housed in a casing surrounding the ear ("circumaural" headset) or in rest on the latter ("supra-aural" headset), but this example must not be considered as being limitative, as the invention can also be applied, as will be understood, to intra-aural earphones.

When the headset is used in a noisy environment (metro, busy street, train, plane, etc.), the wearer is partially protected from the noise by the headset earphones, which isolate him thanks to the closed casing and to the circumaural pad.

However, this purely passive protection is only partial, as a portion of the sounds, in particular in the low portion of the frequency spectrum, can be transmitted to the ear through the earphones casing, or via the wearer's cranium.

That is why so-called "Active Noise Control" or ANC techniques have been developed, whose principle consists in picking up the incident noise component and in superimposing, temporally and spatially, to this noise

component an acoustic wave that is ideally the inverted copy of the pressure wave of the noise component. The matter is to create that way a destructive interference with the noise component and to reduce, ideally neutralize, the variations of pressure of the spurious acoustic wave.

The EP 2 597 889 A1 (Parrot) describes such a headset, provided with an ANC system combining closed-loop *feedback* and open-loop *feedforward* filtering types. The feedback filtering path is based on a signal collected by a microphone placed inside the acoustic cavity delimited by the earphone casing, the circumaural pad and transducer. In other words, this microphone is placed near the user's ear, and receives mainly the signal produced by the transducer and the residual noise signal, not neutralized, still perceptible in the front cavity. The signal of this microphone, from which is subtracted the audio signal of the music source to be reproduced by the transducer, constitutes an error signal for the feedback loop of the ANC system. The feedforward filtering path uses the signal picked up by the external microphone collecting the spurious noise existing in the immediate environment of the headset's wearer. Finally, a third filtering path processes the audio signal coming from the music source to be reproduced. The output signals of the three filtering paths are combined and applied to the transducer to reproduce the music source signal associated to a surrounding noise suppression signal.

The existing ANC systems suffer from a limitation due to the presence of an "electrical hiss", perceived when the ANC system is activated: indeed, the feedback microphone provides an electrical signal that is the image of the acoustic signal and that is accompanied by a low electrical noise, and the amplification by the ANC filter, which is typically of the order of 20 to 30 dB, increases this electrical noise. Moreover, the noise picked up by the microphone is increased by the undesirable so-called *waterbed effect*: beyond the main frequency band of noise suppression, the noise is amplified in a relatively narrow frequency band, generally about 1 kHz, in a perfectly perceptible and of course harmful manner. If too significant, this phenomenon may even generate a Larsen effect, a phenomenon that may be observed for many headsets when the pad is accidentally removed. These phenomena create on the transducer a noise that may sometimes be more audible and more annoying than the noise to be sup-

pressed, in particular when the latter is low.

Concretely, the attenuation of the noises in the low frequencies is all the more better that the gain of the feedback ANC filter is high, but in compensation the hiss increases. It is hence desirable to adapt the gain of the feedback ANC filter as a function of the ambient noise: if this ambient noise is low, a lesser ANC gain and/or a gain producing less waterbed effect is needed. The filter will then be less efficient, but the hiss will also be reduced. Conversely, in case of strong ambient noise, a high ANC gain is preferable, because the electrical hiss generated becomes negligible with respect to the ambient noise.

The WO 2010/129219 A1 (EP 2 425421 A0) describes an ANC system of the adaptive type, i.e. using filters whose transfer function is dynamically and continuously modified by an algorithm for analysing the signal in real time. An external microphone placed on the casing of the headset earphones collects the ambient noises, whose level is analysed to adjust the transfer function of the feedback filter.

The drawback of this method lies in that the feedback ANC does not adapt to the noise really perceived by the user, but to the noise existing in the external environment of the headset. Now, the noise really perceived may be modified by the acoustic leakages, different from one individual to another as a function of the positioning of the headset on the head, of the shape of the user's ear, of the different tightenings of the headset on the head, of the presence of hairs at the place where the circumaural pads come in rest, etc. When acoustic leakages are present, the ANC efficiency is reduced, so that, to suppress more noise, it would be required to increase the ANC gain, with, consequently, a higher level of electrical hiss.

The EP 1 923 864 A2 describes an ANC system that comprises an internal microphone, placed inside the acoustic ear cavity of the headset earphone, and that pilots the feedback branch of the noise reducer. The picked-up signal is analysed in several frequency bands during periods of silence in the music, or during periods where the music is placed in forced rest by the ANC system. The filter coefficients are modified as a function of the result obtained, so as to adapt at best the response curve of this filter as a function of the characteristics of the picked-up signal. The proposed technique of noise reduction provides only a limited result on the

reduction of the electrical hiss and waterbed effect phenomena. Above all, the switchings between the different transfer functions are particularly perceptible by the user, all the more that they take place during periods of silence of the audio signal to be reproduced.

Taking into account what precedes, the object of the invention is to propose a new ANC noise reduction technique:

- which provides a significant reduction of the electrical hiss phenomenon;
- with no degradation of the anti-noise performance of the ANC system, i.e. the residual noise perceived by the user will always be reduced at best, with in particular i) a strong attenuation of the low frequencies and ii) a wide suppression frequency bandwidth;
- in the manner the most imperceptible possible for the headset wearer when the filtering changes are operated;
- the whole, without the audio signal coming from the music source (or the remote speaker voice, in an application of telephony) be distorted, and without the spectrum of this signal is amputated by the ANC processing – although the noise neutralization signal and the audio signal to be reproduced are amplified by the same channel and reproduced by the same transducer.

To achieve these objects, the invention proposes an audio headset with an ANC active noise control system comprising, in a manner known per se from the above-mentioned EP 1 923 864 A2:

- an internal ANC microphone, placed inside the acoustic ear cavity of the headset earphone, adapted to deliver a signal picked up in this cavity; and
- a digital signal processor, DSP, comprising:
  - a closed-loop feedback branch, comprising a feedback ANC filter adapted to apply a filtering transfer function to the signal picked up by the ANC microphone, the feedback ANC filter being one between a plurality of selectively switchable, pre-configured feedback ANC filters;
  - means for analysing in real time the signal picked up by the ANC microphone, adapted to verify if current characteristics of this signal, comprising values of energy of the signal in a plurality of frequency

bands, fulfil a set of predetermined criteria;

- selection means, adapted to select one of the pre-configured feedback ANC filters as a function of the result of the verification of the set of criteria performed by the analysis means; and
- mixing means, receiving as an input the signal delivered by the feedback branch at the output of the feedback ANC filter as well as an audio signal to be reproduced, and delivering as an output a signal adapted to pilot the transducer.

Characteristically of the invention, the DSP further comprises:

- an equalization branch, comprising an equalization filter adapted to apply an equalization transfer function to the audio signal to be reproduced before application of the latter to the mixing means, the equalization means being one between a plurality of selectively switchable, pre-configured equalization filters.

Moreover, the selection means are means adapted to select simultaneously:

- i) one of the pre-configured feedback ANC filters as a function of the result of the verification of said set of criteria; and
- ii) one of the pre-configured equalization filters, as a function of the current selected feedback ANC filter.

In a preferential embodiment, the set of predetermined criteria further comprises the detection of the presence or not of said audio signal to be reproduced, and the predetermined criteria comprise two different series of respective thresholds to which are compared said values of energy, either one of the two series being selected according to whether an audio signal to be reproduced is present or not.

Advantageously, the headset can further comprise an external microphone, placed outside the acoustic cavity and adapted to pick up an acoustic noise existing in the environment of the headset, the DSP then including an open-loop feedforward branch, comprising a feedforward ANC filter adapted to apply a feedforward filtering transfer function to the signal delivered by the external microphone. The feedforward ANC filter is one between a plurality of selectively switchable, pre-configured feedforward ANC filter, and the selection means are also adapted to select one of the pre-configured feedforward ANC filters as a function of the current se-

lected feedback ANC filter.

◇

An example of embodiment of the invention will now be described, with reference to the appended drawings in which the same references denote identical or functionally similar elements throughout the figures.

Figure 1 generally illustrates an audio headset on the head of a user.

Figure 2 is a schematic representation showing the different acoustic and electrical signals as well as the various functional blocks implied in the operation of an active noise control audio headset.

Figure 3 is an sectional view in elevation of one of the earphones of the headset according to the invention, showing the configuration of the various mechanical elements and electromechanical members thereof.

Figure 4 schematically illustrates, as operational blocks, the way the de-noising processing according to the invention is performed.

Figure 5 illustrates more precisely the elements implementing the function of analysis of the microphone signal and of selection of the filters to be applied to the signals delivered to the headset transducer.

Figure 6 is a flow chart describing the operation of the state machine of the function of analysis and selection of Figure 5.

Figure 7 shows, in amplitude and phase, the Bode diagram of the transfer function of two ANC filters alternately selected in an automatic manner as a function of the external noise conditions.

Figure 8 illustrates examples of attenuation obtained with the two filters exemplified in Figure 7.

Figure 9 is similar to Figure 4, for a system including a feedforward branch in addition to the feedback branch.

◇

In Figure 1 is shown an audio headset placed on the head of the user thereof. This headset includes, in a manner conventional per se, two earphones 10, 10' linked by a holding headband 12. Each of the earphones 10 comprises an external casing 14 coming on the user's ear contour, with interposition between the casing 14 and the ear periphery a circumaural flexible pad 16 intended to ensure a satisfying tightness, from the acoustic point of view, between the ear region and the external sound environment. As indicated in introduction, this example of configuration of the "headset"

type with a transducer housed in a casing surrounding the ear or in rest on the latter must not be considered as being limitative, as the invention can also be applied to intra-aural earphones comprising an element to be placed in the ear canal, hence earphones devoid of casing and pad surrounding or covering the ear.

Figure 2 is a schematic representation showing the different acoustic and electrical signals as well as the various operational blocks involved in the operation of an active noise control audio headset.

The earphone 10 encloses an sound reproduction transducer 18, hereinafter simply called "transducer", carried by a partition 20 defining two cavities, i.e. a front cavity 22 of the ear side and a rear cavity 24 on the opposite side.

The front cavity 22 is defined by the inner partition 20, the wall 14 of the earphone, the pad 16 and the external face of the user's head in the ear region. This cavity is a closed cavity, except the inevitable acoustic leakages in the region of contact of the pad 16. The rear cavity 24 is a closed cavity, except for an acoustic vent 26 allowing to obtain a reinforcement of the low frequencies in the front cavity 22 of the earphone.

Finally, for the active noise control, an internal microphone 28 is provided, placed the closest possible to the ear canal, to pick-up the residual noise present in the internal cavity 22, a noise that will be perceived by the user. Leaving aside the audio signal of the music source reproduced by the transducer (or the remote speaker voice, in an application of telephony), the acoustic signal picked up by this internal microphone 28 is a combination:

- of the residual noise 32 coming from the transmission of the surrounding external noise 30 through the earphone casing 14, and
- a sound wave 34 generated by the transducer 18, which is, ideally according to the principle of the destructive interferences, the inverted copy of the residual noise 32, i.e. of the noise to be suppressed at the listening point.

The noise neutralization by the sound wave 34 being never perfect, the internal microphone 28 collects a residual signal that is used as an error signal  $e$  applied to a closed-loop feedback filtering branch 36.

Potentially, an external microphone 38 may be placed on the casing of the

headset earphones, to pick up the surrounding noise outside the earphone, schematised by the wave 30. The signal collected by this external microphone 38 is applied to a feedforward filtering stage 40 of the active noise control system. The signals coming from the feedback branch 36, and, if present, from the feedforward branch 40, are combined in 42 to pilot the transducer 18.

Furthermore, the transducer 18 receives an audio signal to be reproduced coming from a music source (Walkman, radio, etc.), or the remote speaker voice, in an application of telephony. As this signal undergoes the effects of the closed loop that distorts it, it will have to be pre-processed by an equalization so as to have the desired transfer function, determined by the gain of the open loop and the target response with no active control. The headset may possibly carry, as illustrated in Figure 1, another external microphone 44 intended for communication functions, for example if the headset is provided with "hands-free" telephony functions. This additional external microphone 44 is intended to pick up the voice of the headset wearer, it does not intervene in the active noise control, and, in the following, it will be considered as an external microphone potentially used by the ANC system only the microphone 38 dedicated to the active noise control.

Figure 3 illustrates, in a sectional view, an exemplary embodiment of the different mechanical and electroacoustic elements schematically shown in Figure 2 for one of the earphones 10 (the other earphone 10' being made identical). We can see therein the partition 20 dividing the inside of the casing 14 into a front cavity 22 and a rear cavity 24 with, mounted on this partition, the transducer 18 and the internal microphone 36 carried by a grid 48 holding the latter close to the ear canal of the user.

Figure 4 schematically illustrates, as operational blocks, the ANC active noise control system according to the invention.

It is an ANC system of the digital type, implemented by a digital signal processor DSP 50. It will be noted that, although these schemes are presented as interconnected circuits, the implementation of the different functions is essentially software-based, this representation being only illustrative.

We can also see therein the feedback branch 36 whose principle has

been described hereinabove with reference to Figure 2, with digitization by means of an ADC converter 52 of the error signal  $e$  picked up by the internal microphone 28. The digitized error signal is processed by a filter 54, then converted into an analog signal by the DAC 56, so as to be rendered by the transducer 18 in the cavity of the earphone 10. The reproduced signal is possibly combined to a music signal  $M$  that, after equalization 58, is combined in 60 to the noise cancelling signal, for conversion by the DAC 56 and reproduction by the transducer 18.

The block 54 defining the transfer function of the feedback branch includes a plurality of configurations of selectively switchable, predetermined filters, each of these X filters allowing to obtain a more or less strong attenuation of the ambient noise, to the detriment of an also more or less strong electrical hiss, with a smart mechanism of swapping between the X filters as a function of the signal picked up by the internal microphone 28. In this respect, it is important that the swapping between the different selectable filters is operated based on the signal picked up by the internal microphone 28, because this is that latter (and not the external microphone 38), close to the user's ear, that provides the ANC system with an image of the residual really perceived by the user, taking in particular into account the potential acoustic leakages between the inside and the outside of the earphone casing.

The switching between the different filters of the feedback branch, allowing to optimize the attenuation/hiss compromise, will hence depend on the spectral level and content inside the front cavity 22 of the headset earphone.

It will be moreover noted that the choice of a digital system allows to easily program a high number of filters (unlike an analog system, in which a great number of electronic components would be necessary to have this equivalence), and above all to be able to integrate an algorithmic intelligence allowing to analyze the signal in real time and to switch with a very short time of response that of the filters which will provide the better attenuation/hiss compromise.

The analysis of the error signal picked up by the microphone 28 is performed in the DSP 50 by an "Auto-ANC" module 62, which analyses the signal  $e$  and defines which one of the X filters of the feedback branch 54 it

is advisable to select, and likewise, which one of the Y filters of the music signal equalization branch 58 it is advisable to select (wherein Y can be, but not necessarily, equal to X).

More precisely, the signal  $e$  picked up by the internal microphone 28 (that is supposed to be identical to the signal picked up by the ear of the head-set user) is (in the configuration of Figure 4) given by:

$$e = H_{ext}/(1-H_a^*H_{FB}) * B + H_a/(1-H_a^*H_{FB})^*H_{EQ} * M$$

$B$  being the external noise signal 30,

$M$  being the input music signal,

$H_{ext}$  being the transfer function between an external noise source and the internal microphone 28,

$H_{FB}$  being the transfer function of the feedback filter 54,

$H_{EQ}$  being the transfer function of the equalization filter 58, and

$H_a$  being the transfer function between the transducer 18 and the internal microphone 28.

In this equation, it can be observed that a music signal played is subjected to a transfer function:

$$H_a/(1-H_a^*H_{FB})^*H_{EQ}$$

so that, if the filter  $H_{FB}$  of the feedback ANC branch 54 is modified, the perception of the music is also modified. Hence, in order for the perception of the music to remain the same for the user, the Auto-ANC control algorithm 62 will also have to modify the filter  $H_{EQ}$  of the music equalization branch 58 at the same time as that of the feedback ANC branch 54.

In other words, the switching, by the auto-ANC algorithm 62, of one of the X filters of the feedback ANC branch 54 will be simultaneously accompanied with the switching of one of the Y filters of the music equalization branch 58 to re-equilibrate the effects of the filtering, of course if a music signal is present.

Figure 5 illustrates more precisely the elements implemented by the auto-ANC block 62 for the analysis of the signal and the selection of the feedback ANC filters and the equalization filters.

The digitized signal  $e$  collected by the internal microphone 28 is subjected to a frequency decomposition by a set of filters 64 so as to calculate in 66 the energy  $Rms_i$  of this signal  $e$  in each of its N frequency components.

Within the framework of an active noise control by an audio headset, the study of the "colour" of the surrounding noise via the spectrum analysis thereof allows to discriminate various significant situations: for example, for a use of the headset in a noisy environment of the public transportation type (plane, train), the ratio between low and high frequencies is far more important than a calmer environment such as in an office. Hence, for example,  $Rms_1$  may be the power of the microphone signal under 100 Hz,  $Rms_2$  the power of the signal about 800 Hz, etc.

The obtained values  $Rms_1, Rms_2 \dots Rms_N$  are applied to a state machine 68, which compares these values of energy to respective thresholds and determines as a function of these comparisons which one of the X filters of the feedback ANC branch 54, and as the case may be (if music is present), which one of the Y filters of the equalization branch 58, must be selected.

Figure 6 illustrates more precisely how this state machine 68 operates.

The state machine 68 will decide, taking into account the current levels of energy  $Rms_1, Rms_2 \dots Rms_n$ , if it is required or not to modify the transfer functions  $H_{FB}$  and  $H_{EQ}$  as they are at the initial state (block 70).

If those energies exceed respective predefined thresholds (test 72):

$$Rms_1 > Threshold(1,1) \ \&\& \ Rms_2 > Threshold(2,1) \ \&\& \dots \ \&\& \ Rms_N > Threshold(N,1),$$

then the algorithm considers that the external noise is strong enough to necessitate an adaptation of the filter  $H_{FB}$  and, in the same time, a possible corresponding adaptation of the equalization filter  $H_{EQ}$  for the music signal (block 74).

In the opposite case, i.e. if the preceding condition is not verified, a new comparison is performed (block 72')

$$Rms_1 > Threshold(1,2) \ \&\& \ Rms_2 > Threshold(2,2) \ \&\& \dots \ \&\& \ Rms_N > Threshold(N,2),$$

with lower thresholds, i.e.  $Threshold(1,2) < Threshold(1,1)$ ,  $Threshold(2,2) < Threshold(2,1) \dots Threshold(N,2) < Threshold(N,1)$ .

If the latter test is positive, then the filters  $H_{FB}$  and  $H_{EQ}$  are modified (block 74'), but with parameters that are different from the preceding case.

In the negative case, it is possible to continue iteratively in the same way (blocks 72", 74", etc.) with progressively lower thresholds, so as to choose, among the X filters able to be selected for the feedback branch 54, which

one produces the less perceptible possible electrical hiss, while providing the better attenuation possible of the acoustic noise.

Very advantageously, upstream from this succession of tests, it is provided to detect (block 76) the presence or not of a music signal  $M$  in the rendering chain, for example by comparison of the power of the signal on the branch intended for this music signal, with respect to a predetermined threshold.

The initial thresholds are then adjusted to different values (blocks 78 or 78') according to whether we are or not in presence of music, to take into account the fact that the music plays a role of masking, in the same way as the external noise, on the perception of the electrical hiss introduced by the ANC control.

Figures 7 and 8 illustrate examples of the two feedback ANC filters alternately selected in an automatic manner as a function of the external noise conditions: Figure 7 shows, in amplitude and phase, the Bode diagram of the transfer function  $H_{FB}$  of these two filters, whereas Figure 8 illustrates the corresponding attenuations obtained. It has been chosen for these two filters:

- a first filter F1 adapted to the noisy environments such as public transportations, which strongly attenuate the very low frequencies with a higher gain in the medium and a wider attenuation bandwidth; and
- a second filter F2 adapted to a calm environment, with a lesser ANC attenuation, a stronger reduction of the electrical hiss and a limitation of the waterbed effect about 1000 Hz.

Figure 9 is a generalization of the invention to an ANC system comprising not only a feedback branch 54, but also a feedforward branch receiving as an input the signal  $n$  of an external microphone 38. This signal  $n$ , after digitization by the ADC 80, is subjected to a processing for applying thereto a transfer function  $H_{FF}$  (block 82), within the DSP 50.

As in the case of the feedback branch, the Auto-ANC algorithm 62 will modify the coefficients of the filter  $H_{FF}$ , i.e. select one among  $Z$  pre-configured digital filters (wherein  $Z$  can be, but not necessarily, equal to  $X$ ), based on the signal delivered by the internal microphone 28 – and not on the signal delivered by the external microphone 38. The equation of the signal  $e$  delivered by the internal microphone 38 is:

$$e = H_a * H_{FF} * B + H_{ext} / (1 - H_a * H_{FB}) * B + H_a / (1 - H_a * H_{FB}) * H_{EQ} * M.$$

It will be noted that, in such a system, the feedforward filter  $H_{FF}$  has not influence on the equalization of the music, and that it is hence not necessary to modify the filter  $H_{EQ}$  of the equalization branch 58.

The state machine for the analysis of the signal  $e$  and the selection of the most suitable feedforward filter  $H_{FF}$  is the same as that illustrated in Figure 6, the only difference being that, after the testing of the different thresholds (which remain the same) in the blocks 74, 74', 74' ..., the transfer function  $H_{FF}$  is modified in addition to the transfer functions  $H_{FB}$  and  $H_{EQ}$ .

## CLAIMS

1. An audio headset, comprising two earphones (10) each including a transducer (18) for the sound reproduction of an audio signal to be reproduced, said transducer being housed in an ear acoustic cavity (22), said headset comprising an active noise control, ANC, system with:

- an internal ANC microphone (28) placed inside the acoustic cavity (22), adapted to deliver a signal picked up in this cavity; and
- a digital signal processor, DSP, (50), comprising:
  - a closed-loop feedback branch (36), comprising a feedback ANC filter (54) adapted to apply a filtering transfer function ( $H_{FB}$ ) to the signal picked up by the ANC microphone, the feedback ANC filter (54) being one between a plurality of selectively switchable, pre-configured feedback ANC filters (F1, F2);
  - means (62) for analysing in real time the signal picked up by the ANC microphone, adapted to verify if current characteristics of this signal, comprising values of energy of the signal ( $Rms1$ ,  $Rms2...$ ) in a plurality of frequency bands (Filter1, Filter2), fulfil a set of predetermined criteria;
  - selection means (62), adapted to select one of the pre-configured feedback ANC filters (F1, F2) as a function of the result of the verification of the set of criteria performed by the analysis means; and
  - mixing means (46), receiving as an input the signal delivered by the feedback branch at the output of the feedback ANC filter (54) as well as an audio signal to be reproduced ( $M$ ), and delivering as an output a signal adapted to pilot the transducer (18),

characterized in that the DSP (50) further comprises:

- an equalization branch, comprising an equalization filter (58) adapted to apply an equalization transfer function ( $H_{EQ}$ ) to said audio signal to be reproduced ( $M$ ) before application of the latter to the mixing means (60), the equalization means (58) being one between a plurality of selectively switchable, pre-configured equalization filters,

and in that the selection means (62) are means adapted to select simulta-

neously:

- i) one of the pre-configured feedback ANC filters (F1, F2) as a function of the result of the verification of said set of criteria; and
  - ii) one of the pre-configured equalization filters, as a function of the current selected feedback ANC filter.
2. The audio headset according to claim 1, wherein:
- the set of predetermined criteria further comprises the detection (76) of the presence or not of said audio signal to be reproduced ( $M$ ); and
  - the predetermined criteria comprise two different series of respective thresholds ( $Threshold(1,1)$ ,  $Threshold(2,1)$ ...) to which are compared said values of energy, either one of these two series being selected (78; 78') according to whether an audio signal to be reproduced is present or not.
3. The audio headset according to claim 1, wherein:
- the headset further comprises an external microphone (38), placed outside the acoustic cavity and adapted to pick up an acoustic noise (30) existing in the environment of the headset;
  - the DSP (50) further comprises:
    - an open-loop feedforward branch (40), comprising a feedforward ANC filter (82) adapted to apply a feedforward filtering transfer function (HFF) to the signal delivered by the external microphone (38);
  - the feedforward ANC filter is one between a plurality of selectively switchable, pre-configured feedforward ANC filter; and
  - the selection means are also adapted to select one of the pre-configured feedforward ANC filters as a function of the current selected feedback ANC filter.

[Abstract]

The headset includes an active noise control system, with an ANC microphone delivering a signal including an acoustic noise component. A digital signal processor DSP (50) comprises a feedback ANC branch (54) applying a filtering transfer function ( $H_{FB}$ ) to the signal picked up by the ANC microphone, and means (46) for mixing the signal of the feedback branch with an audio signal to be reproduced ( $M$ ). The ANC microphone is an internal microphone (28) placed inside the acoustic cavity (22), and the feedback ANC filter (54) is one between a plurality of selectively switchable, pre-configured feedback ANC filter. The DSP (50) comprises means (62) for verifying whether current characteristics of the microphone signal fulfil or not a set of predetermined criteria, and for selecting one of the pre-configured feedback ANC filters as a function of the result of this verification. The filtering ( $H_{EQ}$ ) of an equalization branch (58) of the signal to be reproduced ( $M$ ) is also modified as a function of the current selected feedback ANC filter.

[Representative Drawing]

Figure 4

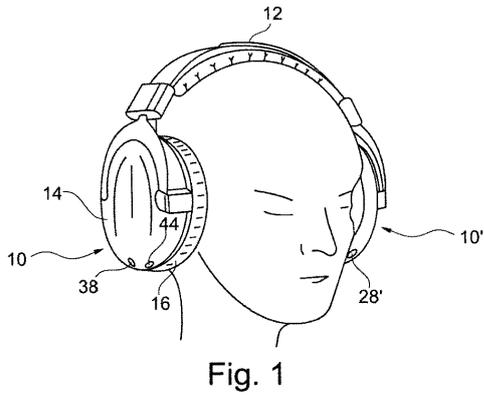


Fig. 1

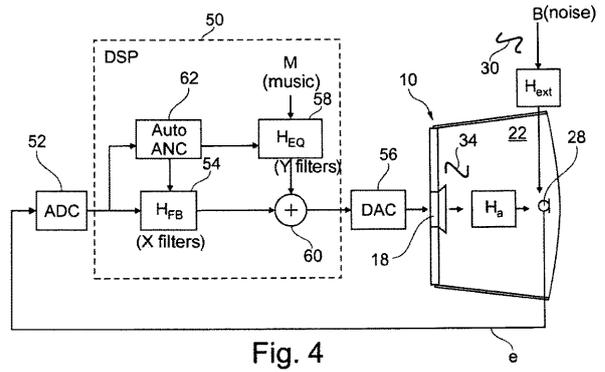


Fig. 4

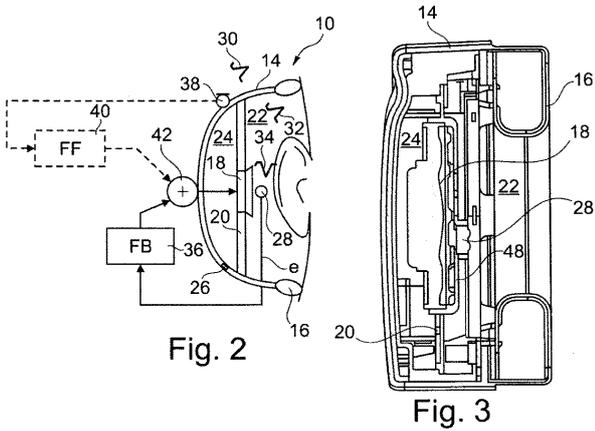


Fig. 2

Fig. 3

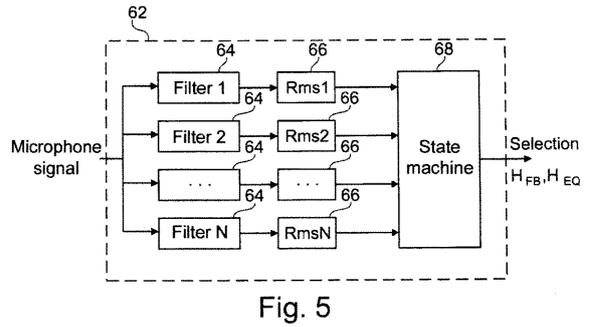


Fig. 5

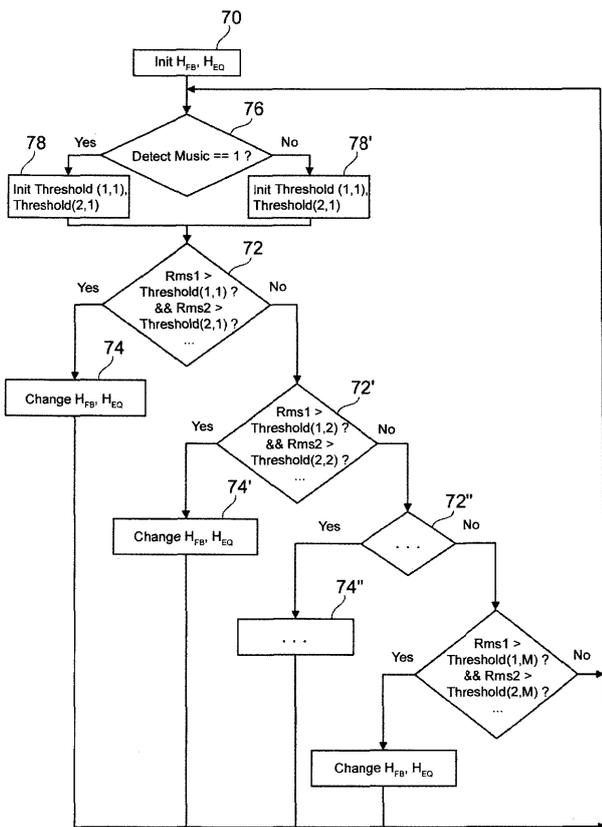


Fig. 6

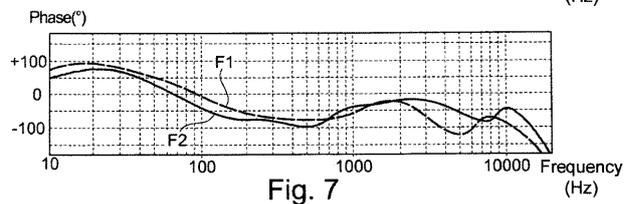
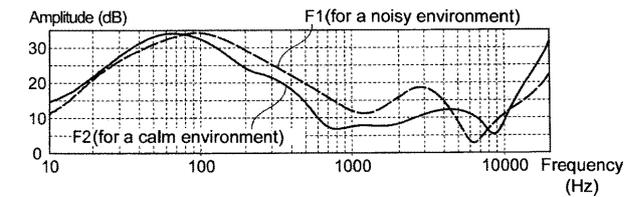


Fig. 7

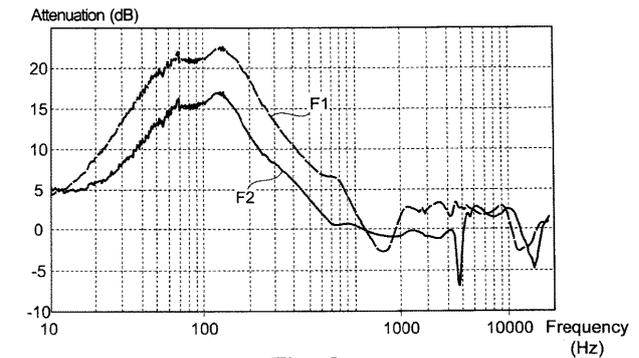


Fig. 8

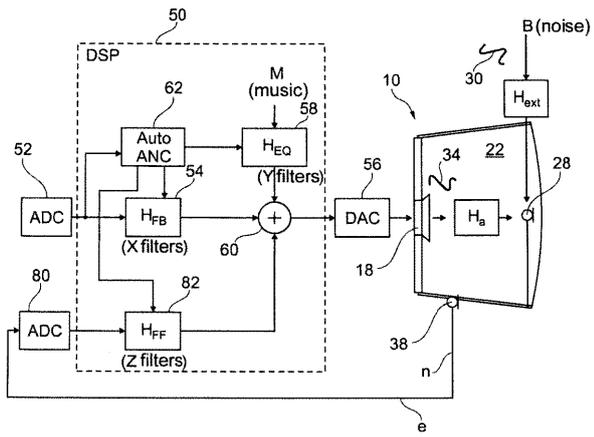


Fig. 9