



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



(11) BR 112022018207-4 B1

(22) Data do Depósito: 19/03/2021

(45) Data de Concessão: 19/03/2024

(54) Título: MÉTODO DE PROCESSAMENTO DE ÁUDIO IMPLEMENTADO POR COMPUTADOR, MEIO LEGÍVEL POR COMPUTADOR NÃO TRANSITÓRIO E APARELHO PARA PROCESSAMENTO DE ÁUDIO

(51) Int.Cl.: H04R 3/04.

(30) Prioridade Unionista: 15/04/2020 US 63/010,390; 20/03/2020 CN PCT/CN2020/080460.

(73) Titular(es): DOLBY INTERNATIONAL AB; DOLBY LABORATORIES LICENSING CORPORATION.

(72) Inventor(es): PER EKSTRAND; YUXING HAO; XUEMEI YU.

(86) Pedido PCT: PCT US2021023239 de 19/03/2021

(87) Publicação PCT: WO 2021/188953 de 23/09/2021

(85) Data do Início da Fase Nacional: 12/09/2022

(57) Resumo: Um método de processamento de áudio inclui a geração de harmônicos em um domínio de filtro de espelho de quadratura complexo híbrido. A geração dos harmônicos pode incluir multiplicação, usando um circuito de atraso de realimentação e compressão dinâmica. Os harmônicos podem ser gerados com base em uma ou mais sub-bandas híbridas do sinal de domínio de transformação complexo.

"MÉTODO DE PROCESSAMENTO DE ÁUDIO IMPLEMENTADO POR COMPUTADOR, MEIO LEGÍVEL POR COMPUTADOR NÃO TRANSITÓRIO E APARELHO PARA PROCESSAMENTO DE ÁUDIO"

REFERÊNCIAS CRUZADAS DE PEDIDOS RELACIONADOS

[001] Este pedido reivindica prioridade para o Pedido Internacional PCT PCT/CN2020/080460 depositado em 20 de março de 2020; e o Pedido Provisório U.S. 63/010.390 depositado em 15 de abril de 2020; todos os quais são incorporados neste documento por referência.

CAMPO

[002] O presente relatório descritivo refere-se ao processamento de áudio e, em particular, ao aprimoramento de graves.

FUNDAMENTOS

[003] A menos que indicado de outra forma neste documento, os materiais descritos nesta seção não consistem do estado da técnica quanto as reivindicações neste pedido e não são admitidos a serem estado da técnica pela inclusão nesta seção.

[004] O efeito do grave é uma experiência de usuário desejável e indicador de avaliação do usuário para dispositivos móveis, como telefones celulares, players de mídia, computadores tablet, computadores portáteis, fones de ouvido, fones de ouvido, etc. Devido às restrições físicas dos transdutores em dispositivos móveis (por exemplo, tamanho do diafragma, peso do ímã, etc.), é desafiador para o alto-falante do dispositivo móvel reproduzir totalmente a acústica do som do grave original. Como resultado, os dispositivos móveis muitas vezes implementam técnicas de processamento de áudio (por exemplo, usando processos de software, etc.) para melhorar o som de graves. Esses processos de aprimoramento de graves podem ser amplamente referidos como técnicas de "grave virtual".

SUMÁRIO

[005] Um problema com os sistemas de aprimoramento de graves existentes é que eles podem ter uma alta complexidade computacional. Dado o acima exposto, pode haver uma necessidade de implementar o aprimoramento de graves com complexidade computacional reduzida.

[006] Conforme discutido em mais detalhes neste documento, as modalidades discutem técnicas para aprimoramento de graves com base no princípio do "fundamental ausente". Este princípio afirma de forma psicoacústica que se um humano ouve harmônicos de um sinal de baixa frequência em vez do próprio sinal de baixa frequência (fundamental), o cérebro do ouvinte é capaz de extrapolar e, portanto, perceber o sinal de baixa frequência ausente. Assim, para alto-falantes que são fisicamente inadequados para a reprodução de sinais de baixa frequência (graves), uma maneira de melhorar psicoacusticamente a qualidade é gerar harmônicos para a faixa de baixa frequência para melhorar o efeito de graves.

[007] A técnica de aprimoramento de graves divulgada neste relatório descritivo é menos complexa computacionalmente em comparação com as tecnologias de graves virtuais convencionais, mas atinge um efeito semelhante. Portanto, as modalidades economizam complexidade computacional. Além disso, a reduzida complexidade permite menor latência. A técnica também pode incluir esquemas de ajuste da audibilidade para ajustar a potência dos harmônicos gerados, o que faz com que a percepção da audibilidade resultante seja mais realista e o efeito de graves seja mais convincente.

[008] As técnicas divulgadas neste relatório descritivo podem ser usadas para melhorar a saída de alto-falantes de tamanho médio e transdutores menores, por exemplo, alto-falantes de telefone móvel, alto-falantes sem fio, etc.

[009] De acordo com uma modalidade, um método implementado por computador de processamento de áudio inclui receber um primeiro sinal de domínio de transformada. O primeiro sinal de domínio de transformada é um sinal de domínio

de transformada complexo híbrido tendo uma pluralidade de bandas. Pelo menos uma dentre a pluralidade de bandas tem uma pluralidade de sub-bandas e o primeiro sinal de domínio de transformada tem uma primeira pluralidade de harmônicos.

[010] O método inclui ainda gerar um segundo sinal de domínio de transformada com base no primeiro sinal de domínio de transformada. O segundo sinal de domínio de transformada é gerado gerando harmônicos para o primeiro sinal de domínio de transformada de acordo com um processo não linear. O segundo sinal de domínio de transformada tem uma segunda pluralidade de harmônicos que difere da primeira pluralidade de harmônicos. O segundo sinal de domínio de transformada é ainda gerado realizando expansão de audibilidade na segunda pluralidade de harmônicos. O segundo sinal de domínio de transformada é um sinal de valor complexo tendo uma parte imaginária.

[011] O método inclui ainda a geração de um terceiro sinal de domínio de transformada através da filtragem do segundo sinal de domínio de transformada. O terceiro sinal de domínio de transformada tem uma pluralidade de bandas e pelo menos uma da pluralidade de bandas tem uma pluralidade de sub-bandas. O método inclui ainda gerar um quarto sinal de domínio de transformada misturando o terceiro sinal de domínio de transformada com uma versão atrasada do primeiro sinal de domínio de transformada, em que uma dada sub-banda do terceiro sinal de domínio de transformada é misturada com uma sub-banda correspondente da versão atrasada do primeiro sinal de domínio de transformada.

[012] De acordo com outra modalidade, um aparelho inclui um alto-falante e um processador. O processador é configurado para controlar o aparelho para implementar um ou mais dos métodos descritos neste documento. O aparelho pode incluir adicionalmente detalhes semelhantes aos de um ou mais dos métodos descritos neste documento.

[013] De acordo com outra modalidade, um meio legível por computador não

transitório armazena um programa de computador que, quando executado por um processador, controla um aparelho para executar o processamento incluindo um ou mais dos métodos descritos neste documento.

[014] A seguinte descrição detalhada e as figuras anexas fornecem uma compreensão adicional da natureza e vantagens de várias implementações.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[015] A FIG. 1 é um diagrama de blocos de um sistema de processamento de áudio 100.

[016] A FIG. 2 é um diagrama de blocos de um sistema de intensificação de graves 200.

[017] A FIG. 3 é um diagrama de blocos de um gerador de harmônicos 300.

[018] A FIG. 4 é um diagrama de blocos de um gerador de harmônicos 400.

[019] A FIG. 5 é um diagrama de blocos de um gerador de harmônicos 500.

[020] A FIG. 6 é um gráfico 600 que mostra curvas de audibilidade iguais.

[021] A FIG. 7 é um gráfico 700 que mostra vários ganhos de compressão c .

[022] A FIG. 8 é um diagrama de blocos de um gerador de harmônicos 800.

[023] As FIGS. 9A, 9B, 9C, 9D, 9E e 9F mostram um conjunto de gráficos 900a-900f.

[024] A FIG. 10 é um diagrama de blocos de um sistema de aprimoramento de graves 1000.

[025] A FIG. 11 é uma arquitetura de dispositivo móvel 1100 para implementar os recursos e processos descritos neste documento, de acordo com uma modalidade.

[026] A FIG. 12 é um fluxograma de um método 1200 de processamento de áudio.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[027] São descritas aqui técnicas relacionadas ao aprimoramento de graves. Na seguinte descrição, para fins de explicação, inúmeros detalhes específicos são

apresentados a fim de proporcionar um entendimento completo do presente relatório descritivo. Será evidente, no entanto, para um versado na técnica que o presente relatório descritivo, conforme definido pelas reivindicações, pode incluir algumas ou todas as características nestes exemplos sozinhas ou em combinação com outras características descritas abaixo, e pode ainda incluir modificações e equivalentes das características e conceitos descritos neste documento.

[028] Na descrição a seguir, vários métodos, processos e procedimentos são detalhados. Embora etapas particulares possam ser descritas em uma certa ordem, tal ordem é principalmente para conveniência e clareza. Uma etapa particular pode ser repetida mais de uma vez, pode ocorrer antes ou depois de outras etapas (mesmo se essas etapas forem descritas de outra forma em outra ordem) e pode ocorrer em paralelo com outras etapas. Uma segunda etapa é necessária para seguir uma primeira etapa somente quando a primeira etapa deve ser concluída antes que a segunda etapa seja iniciada. Tal situação será especificamente apontada quando não estiver clara a partir do contexto.

[029] Neste documento, os termos “e”, “ou” e “e/ou” são usados. Tais termos devem ser lidos como tendo um significado inclusivo. Por exemplo, "A e B" pode significar pelo menos o seguinte: "A e B", "pelo menos A e B". Como outro exemplo, "A ou B" pode significar pelo menos o seguinte: "pelo menos A", "pelo menos B", "ambos A e B", "pelo menos ambos A e B". Como outro exemplo, "A e/ou B" pode significar pelo menos o seguinte: "A e B", "A ou B". Quando pretendido uma opção ou, tal condição será especificamente observada (por exemplo, "A ou B", "no máximo um de A e B").

[030] Este documento descreve várias funções de processamento que estão associadas a estruturas como blocos, elementos, componentes, circuitos, etc. Em geral, essas estruturas podem ser implementadas por um processador que é controlado por um ou mais programas de computador.

[031] A FIG. 1 é um diagrama de blocos de um sistema de processamento de áudio. O sistema de processamento de áudio 100 geralmente recebe um sinal de áudio de entrada 102, processa o sinal de áudio de entrada 102 de acordo com os processos de aprimoramento de graves descritos neste documento e gera um sinal de áudio de saída 104. O sistema de processamento de áudio 100 inclui um sistema de transformada de sinal 110, um sistema de intensificação de graves 120, um sistema de processamento adicional 130 (opcional) e um sistema de transformada de sinal inverso 140. O sistema de processamento de áudio 100 pode incluir outros componentes que (por brevidade) não são discutidos em detalhes. Os componentes do sistema de processamento de áudio 100 podem ser implementados por um ou mais programas de computador que são executados por um processador.

[032] O sistema de transformada de sinal 110 recebe o sinal de áudio de entrada 102, executa um processo de transformada de sinal e gera um sinal de áudio transformado 112. O sinal de áudio de entrada 102 pode ser um sinal de domínio de tempo digital que inclui um número de amostras que correspondem ao áudio (por exemplo, som no formato de modulação de código de pulso em forma de onda (PCM)). O sinal de áudio de entrada 102 pode ter uma taxa de amostragem de 32 kHz, 44,1 kHz, 48 kHz, 192 kHz, etc. O sinal de áudio de entrada 102 pode se originar de uma variedade de formatos, incluindo o Padrão de Compressão de Áudio Digital (AC-3, E-AC-3) do Comitê de Sistemas de Televisão Avançada (ATSC). Como um exemplo específico, o sinal de áudio de entrada 102 pode se originar de um sinal Dolby Digital Plus® com uma taxa de amostragem de 48 kHz.

[033] O sistema de transformada de sinal 110 pode executar uma variedade de processos de transformada de sinal. Em geral, o processo de transformada de sinal transforma o sinal de áudio de entrada 102 de um primeiro domínio de sinal para um segundo domínio de sinal. Por exemplo, o primeiro domínio pode ser o domínio do tempo e o segundo domínio do sinal pode ser o domínio da frequência, o domínio da

frequência espelhada em quadratura (QMF), o domínio da frequência espelhada em quadratura complexa (CQMF), o domínio da frequência espelhada em quadratura complexa híbrida (HCQMF), etc. A transformada do primeiro domínio de sinal para o segundo domínio de sinal também pode ser referida como "análise", por exemplo, análise de transformada, análise de sinal, análise de banco de filtros, análise de QMF, análise de CQMF, análise de HCQMF, etc.

[034] Em geral, as informações de domínio QMF são geradas por um filtro cuja resposta de frequência é a imagem espelhada em torno de $\pi/2$ da de outro filtro; juntos, esses filtros são conhecidos como um par QMF. A teoria QMF também compreende bancos de filtros com mais canais do que dois (por exemplo, 64 canais); estes podem ser referidos como bancos QMF do canal M. A teoria QMF ensina ainda bancos Pseudo QMF do canal M da classe referida como bancos de filtros modulados. Em geral, as informações do domínio "CQMF" resultam de um banco de filtros de transformada de Fourier discreta (DFT) complexo-modulado aplicado a um sinal no domínio do tempo. O CQMF é um sinal "complexo" porque inclui sinais de valor complexo, por exemplo, sinais que incluem uma parte imaginária além da parte real. Em geral, as informações do domínio "HCQMF" correspondem às informações do domínio CQMF em que o banco de filtros CQMF foi estendido a uma estrutura híbrida para obter uma resolução de frequência não uniforme eficiente que corresponda melhor à resolução de frequência do sistema auditivo humano. Em geral, o termo "híbrido" refere-se a uma estrutura na qual pelo menos uma banda de frequência é dividida em sub-bandas.

[035] De acordo com uma implementação específica do HCQMF, as informações do HCQMF são geradas em 77 bandas de frequência, onde as bandas mais baixas do CQMF são divididas em subfaixas para obter uma resolução de frequência mais alta para as frequências mais baixas. De acordo com uma implementação específica adicional, o sistema de transformada de sinal 110

transforma cada canal do sinal de áudio de entrada 102 em 64 bandas CQMF e divide ainda as 3 bandas mais baixas em sub-bandas da seguinte forma: a primeira banda é dividida em 8 sub-bandas e a segunda e a terceira bandas são divididas em 4 sub-bandas. (Essa divisão híbrida das bandas mais baixas em sub-bandas é para melhorar a resolução de baixa frequência dessas bandas.) O sistema de transformada de sinal 110 pode incluir filtros Nyquist para dividir as bandas em sub-bandas. As 77 bandas HCQMF correspondem então às 61 bandas CQMF mais altas, mais as 16 sub-bandas (8+4+4) das 3 bandas CQMF mais baixas. As sub-bandas e bandas podem ser numeradas de 0 a 76, com a sub-banda de frequência mais baixa sendo o número 0. As outras sub-bandas são então numeradas de 1 a 15, e as bandas restantes são numeradas de 16 a 76. Estas 77 bandas HCQMF podem então ser referidas como "bandas híbridas" ou "canais" juntamente com o seu número, por exemplo, banda híbrida 0, banda híbrida 1, banda híbrida 76, canal 0, canal 1, canal 76, etc. As bandas híbridas 0-15 também podem ser referidas como "sub-bandas" juntamente com o seu número, por exemplo, sub-banda 0, sub-banda 1, sub-banda 15, etc. As bandas híbridas 16-76 também podem ser referidas como "bandas" juntamente com seu número, por exemplo, banda 16, banda 17, banda 76, etc. Os canais 1 e 3 podem ter bandas de passagem no eixo de frequência negativa, mas geralmente os outros canais não.

[036] (Seja observado que os termos QMF, CQMF e HCQMF são usados presentemente um pouco coloquialmente. Especificamente, os termos QMF/CQMF podem ser usados coloquialmente para se referir a um banco de filtros DFT que pode incluir mais de duas bandas. O termo HCQMF pode ser usado coloquialmente para se referir a um banco de filtros DFT não uniforme que pode incluir mais de duas bandas)

[037] Como um exemplo específico, o sistema de transformada de sinal 110 executa uma transformada HCQMF no sinal de áudio de entrada 102 para gerar o

signal de áudio transformado 112 com 77 bandas de frequência. Neste caso, o domínio de sinal do sinal de áudio transformado 112 pode ser referido como o domínio HCQMF ou o domínio híbrido, e a transformada HCQMF pode ser referida como análise HCQMF.

[038] A largura de banda e a frequência de amostragem das bandas dependerão da frequência de amostragem do sinal de áudio de entrada 102. Por exemplo, quando o sinal de áudio de entrada 102 tem uma frequência de amostragem de 48 kHz (correspondente a uma largura de banda máxima de 24 kHz), a estrutura híbrida com 77 bandas discutidas acima resulta em uma frequência de amostragem de 750 Hz para todas as bandas. As 61 bandas com as frequências mais altas têm uma largura de banda de passagem de 375 Hz; as 8 sub-bandas de menor frequência têm uma largura de banda de passagem de 93,75 Hz; e as sub-bandas de menor frequência têm uma largura de banda de passagem de 187,5 Hz.

[039] O sistema de aprimoramento de graves 120 recebe o sinal de áudio transformado 112, executa o aprimoramento de graves e gera um sinal de áudio aprimorado 122. Em geral, o sistema de aprimoramento de graves 120 gera harmônicos para o sinal de áudio transformado 112 para que o ouvinte perceba psicoacusticamente o fundamental ausente. Mais detalhes do sistema de intensificação de graves 120 são fornecidos abaixo (por exemplo, com referência à FIG. 2, etc.).

[040] O sistema de processamento 130 adicional é opcional. Quando presente, o sistema de processamento adicional 130 recebe o sinal de áudio aprimorado 122, executa o processamento de sinal adicional e gera um sinal de áudio processado 132. Alternativamente, o sistema de processamento adicional 130 pode operar no sinal de áudio transformado 112 antes da operação do sistema de intensificação de graves 120, caso em que o sistema de intensificação de graves 120 recebe como sua entrada a saída de sinal do sistema de processamento adicional 130

(em vez de receber o sinal de saída diretamente do sistema de transformada de sinal 110). Como outra opção, o sistema de processamento adicional 130 pode ser múltiplos sistemas de processamento adicionais que operam antes e depois do sistema de aprimoramento de graves 120. O arranjo específico do sistema de processamento adicional 130 dentro do sistema de processamento de áudio 100 pode variar de acordo com os tipos específicos de processamento adicional que o sistema de processamento adicional 130 executa.

[041] Em geral, o sistema de processamento adicional 130 executa processamento adicional do sinal de áudio de entrada 102 no domínio de transformada. Isso permite que o sistema de aprimoramento de graves 120 opere em combinação com técnicas de processamento de áudio existentes que são implementadas no domínio de transformada. Exemplos do processamento adicional incluem aprimoramento de diálogo, equalização inteligente, nivelamento de volume, limitação espectral, etc. O aprimoramento do diálogo refere-se ao aprimoramento dos sinais de fala (por exemplo, em comparação com os efeitos sonoros), a fim de melhorar a inteligibilidade da fala. Equalização inteligente refere-se à realização de ajuste dinâmico do tom de áudio, por exemplo, para fornecer consistência de equilíbrio espectral (também conhecido como "tom" ou "timbre"). O nivelamento de volume refere-se ao aumento do volume de audibilidade e à diminuição do volume de audibilidade, por exemplo, para reduzir a necessidade de um ouvinte realizar o ajuste manual do volume. Limitação espectral refere-se à limitação de frequências ou bandas de frequência selecionadas, por exemplo, para limitar as frequências mais baixas que são difíceis de emitir a partir de pequenos alto-falantes.

[042] O sistema de transformada de sinal inverso 140 recebe o sinal de áudio aprimorado 122 (ou, opcionalmente, o sinal de áudio processado 132), executa uma transformada inversa e gera o sinal de áudio de saída 104. A transformada inversa geralmente converte um sinal do segundo domínio de sinal de volta para o primeiro

domínio de sinal. Em geral, a transformada inversa é um inverso do processo de transformada de sinal realizado pelo sistema de transformada de sinal 110. Por exemplo, quando o sistema de transformada de sinal 110 executa uma transformada HCQMF, o sistema de transformada de sinal inversa 140 executa uma transformada HCQMF inversa. A transformada do segundo domínio de sinal de volta para o primeiro domínio de sinal também pode ser referida como "síntese", por exemplo, síntese de transformada, síntese de sinal, síntese de banco de filtros, etc.; e a transformada inversa de HCQMF pode ser referida como síntese de HCQMF.

[043] Desta forma, o sinal de áudio de saída 104 corresponde ao sinal de áudio de entrada 102, com a adição do aprimoramento de graves e/ou aprimoramentos de sinal adicionais. O sinal de áudio de saída 104 pode então ser emitido por um alto-falante e percebido como som pelo ouvinte.

[044] Conforme discutido acima e em mais detalhes abaixo, o sistema de aprimoramento de graves 120 é adequado para alto-falantes de pequeno a médio porte. Os processos implementados pelo sistema de aprimoramento de graves 120 podem ser mais simples do que muitos métodos de aprimoramento de graves existentes; em comparação com esses métodos existentes, o sistema de aprimoramento de graves 120 tem menor complexidade computacional e permite latência curta, mantendo a qualidade do áudio. O sistema de aprimoramento de graves 120 é bem adequado para alto-falantes de tamanho médio em, por exemplo, aparelhos de TV ou alto-falantes sem fio, e também é eficiente para a melhoria de graves de pequenos transdutores, por exemplo, para telefones celulares, laptops e tablets. O sistema de aprimoramento de graves 120 em um modo de operação não apenas adiciona harmônicos à mistura, mas também adiciona o grave original (dinamicamente alterado), isto é, pode ser operado para ter um reforço de grave inerente.

[045] A FIG. 2 é um diagrama de blocos de um sistema de aprimoramento de

graves 200. O sistema de intensificação de graves 200 pode ser usado como o sistema de intensificação de graves 120 (ver FIG. 1). Para brevidade, a descrição da FIG. 2 se concentra em um único caminho de processamento de sinal a fim de descrever a operação geral do sistema de aprimoramento de graves 200; caminhos de processamento de sinal adicionais também podem ser implementados em variações dos sistemas de aprimoramento de graves descritos neste documento (ver, por exemplo, FIG. 10). Os caminhos de processamento de sinal adicionais também serão brevemente descritos aqui.

[046] O sistema de aprimoramento de graves 200 recebe o sinal de áudio transformado 112 (ver FIG. 1). Como discutido acima, o sinal de áudio transformado 112 é um sinal de domínio de transformada complexo híbrido (por exemplo, um sinal de domínio HCQMF) com um número de bandas (por exemplo, 77 bandas híbridas, com as 3 bandas de menor frequência divididas em sub-bandas). Como um sinal complexo, o sinal de áudio transformado 112 tem valores complexos, por exemplo, valores reais e valores imaginários. Cada sub-banda pode ser processada em seu próprio caminho de processamento, de modo que a descrição a seguir se concentra no processamento de uma sub-banda (por exemplo, uma das sub-bandas 0, 2, 4, 6, etc.). O sistema de aprimoramento de graves 200 inclui um amostrador ascendente (opcional) 202, um gerador de harmônicos 204, um processador de dinâmica 206 (opcional), um conversor 208 (opcional), um filtro 212, um atraso 214 e um misturador 216.

[047] O amostrador 202 recebe o sinal de áudio transformado 112, realiza a amostragem ascendente e gera um sinal de amostragem ascendente 220. Como exemplo, quando o sinal de áudio de entrada 102 (ver FIG. 1) tem uma frequência de amostragem de 48 kHz e o sinal de áudio transformado 112 é processado em 64 bandas, cada banda tem uma frequência de amostragem de 750 Hz. O amostrador 202 pode amostrar a sub-banda selecionada do sinal de áudio transformado 112 por

2x, 3x, 4x, 5x, 6x, etc. Uma quantidade adequada de subamostragem é 4x, por exemplo, de modo que o sinal de subamostragem 220 tenha uma frequência de amostragem de 3 kHz quando a sub-banda selecionada do sinal de áudio transformado 112 tem uma frequência de amostragem de 750 Hz. O sinal de subamostragem 220 é um sinal de domínio de transformada complexo. O sinal de subamostragem 220 tem uma largura de banda que corresponde à largura de banda da sub-banda selecionada do sinal de áudio transformado 112. Como um exemplo, quando a subfaixa selecionada 0 tendo uma largura de banda de passagem de 93,75 Hz é inserida no amostrador, o sinal amostrado 220 também tem uma largura de banda de 93,75 Hz.

[048] O amostrador 202 pode ser implementado realizando a síntese de CQMF. Como exemplo, para aumentar a sub-banda 0 de 750 Hz para 3000 Hz (aumento de 4x), o amostrador pode implementar a síntese de CQMF de 4 canais, com uma entrada sendo a sub-banda 0 e as outras 3 entradas sendo zero (nulo). A síntese é configurada de modo a manter o sinal 220 sendo um sinal de domínio de tempo de valor complexo.

[049] O amostrador 202 é opcional. Em geral, o amostrador 202 fornece espaço livre adicional ao gerar os harmônicos (ver o gerador de harmônicos 204), para permitir a extensão de largura de banda sem sobreposição (também referido como dobra espectral). O amostrador 202 pode ser omitido ao processar uma ou mais das sub-bandas de frequência mais baixa. Por exemplo, ao processar apenas a banda mais baixa (por exemplo, sub-banda 0), o amostrador 202 pode ser omitido, porque harmônicos de até (pelo menos) 6ª ordem podem ser gerados sem dobrar. Processando as duas bandas mais baixas (por exemplo, sub-bandas 0 e 2), o amostrador 202 pode ser omitido se apenas harmônicas de 2ª e 3ª ordem forem geradas. Processando as três bandas mais baixas (por exemplo, sub-bandas 0, 2 e 4), apenas harmônicos de 2ª ordem podem ser gerados sem sobreposição.

Isto é discutido em mais detalhes com referência ao gerador de harmônicos 204.

[050] O gerador de harmônicos 204 recebe o sinal amostrado 220 (ou o sinal de sub-banda selecionado do sinal de áudio transformado 112 quando o amostrador 202 é omitido) e gera harmônicos dos mesmos para resultar em um sinal 222. Como mencionado com referência ao amostrador 202, o gerador de harmônicos 204 estende a largura de banda de seu sinal de entrada ao gerar os harmônicos para o sinal 222. Por exemplo, quando a subfaixa 0 cobre 0 a 93,75 Hz, a frequência de amostragem de 750 Hz pode ser suficiente para evitar o sobreposicionamento dos harmônicos gerados. Da mesma forma, quando a subfaixa 2 abrange 93,75 a 187,5 Hz, a frequência de amostragem de 750 Hz pode ser suficiente para evitar o sobreposicionamento dos harmônicos gerados. No entanto, quando a subfaixa 4 cobre 187,5 a 281,25 Hz, os harmônicos estão se aproximando da frequência Nyquist do sinal original (com a frequência de amostragem de 750 Hz), portanto, a amostragem ascendente é recomendada para as subfaixas 4, 6, etc. O sinal 222 é um sinal de domínio de transformada complexo. O sinal 222 tem uma largura de banda que é maior do que a largura de banda da entrada para o gerador de harmônicos 204, devido à adição das frequências harmônicas. Por exemplo, quando o sinal amostrado 220 tem uma largura de banda de 93,75 Hz, o sinal 222 pode ter uma largura de banda que excede 300 Hz.

[051] O gerador de harmônicos 204 usa um processo não linear para gerar os harmônicos. Em geral, um processo não linear aplica diferentes ganhos a diferentes componentes do sinal. Exemplos dos processos não lineares incluem multiplicação, um laço (*loop*) de atraso de retroalimentação, retificação, etc., conforme detalhado abaixo com referência às FIGS.3, 4, 5 e 8.

[052] O gerador de harmônicos 204 também pode realizar expansão de audibilidade ao gerar o sinal 222. Como o nível de pressão sonora para uma faixa de audibilidade fixo (em phon) está aumentando com a frequência na faixa de

graves/médios (por exemplo, menos de 800 Hz), o gerador de harmônicos 204 realiza expansão na dinâmica ao gerar o sinal 222. Exemplos de processos de expansão de audibilidade incluem compressão dinâmica e correção de audibilidade. Mais detalhes da expansão de audibilidade são fornecidos com referência à FIG. 6 abaixo.

[053] O processador dinâmico 206 recebe o sinal 222, executa o processamento dinâmico e gera um sinal 224. O sinal 224 é um sinal de domínio de transformada complexo. Em geral, o processador de dinâmica 206 implementa o processamento de dinâmica realizando compressão no sinal 222, a fim de controlar a razão transiente para tonal do sinal 224. O processador de dinâmica 206 pode implementar um tempo de ataque que é relativamente mais longo (por exemplo, entre 4x a 12x mais longo, tal como 8x mais longo) do que o tempo de liberação. Por exemplo, o tempo de ataque pode estar entre 140 e 180 ms (por exemplo, 160 ms) e o tempo de liberação pode estar entre 15 e 25 ms (por exemplo, 20 ms). O processador de dinâmica 206 pode implementar detecção de pico suave desacoplada usando topologia de avanço de alimentação. O processador de dinâmica 206 pode implementar compressão semelhante à compressão realizada pelo gerador de harmônicos (descrito em mais detalhes com referência às FIGS. 3, 4 e 5

[054] O processador de dinâmica 206 é opcional. Quando o processador de dinâmica 206 é omitido, o conversor 208 recebe o sinal 222 em vez do sinal 224.

[055] O conversor 208 recebe o sinal 224 (ou o sinal 222 quando o processador de dinâmica 206 é omitido), derruba a parte imaginária do sinal 224 e gera um sinal 228. Em geral, a queda da parte imaginária reduz a complexidade computacional dos bancos de filtros de análise subsequentes (por exemplo, o filtro 212), devido ao processamento de sinais de valor real em vez de sinais de valor complexo. Como discutido acima, o sinal 224 é um sinal de domínio de transformada complexo que tem valores complexos, por exemplo, valores reais e valores imaginários. O conversor 208 pode descartar a parte imaginária do sinal 224 tomando

a parte real do sinal de valor complexo. O sinal 228 é um sinal de domínio de transformada de valor real.

[056] O conversor 208 é opcional e pode ser omitido em algumas modalidades do sistema de intensificação de graves 200. Quando o amostrador 202 é omitido, o conversor 208 também deve ser omitido, para que a parte imaginária permaneça no caminho de processamento de sinal para uso por componentes subsequentes.

[057] O filtro 212 recebe o sinal 228 (ou o sinal 224 quando o conversor 208 é omitido, ou o sinal 222 quando o processador de dinâmica 206 e o conversor 208 são omitidos), realiza a filtragem da entrada e gera um sinal 230. O sinal 230 é um sinal de domínio de transformada de valor complexo. A filtragem geralmente divide o sinal 228 em sub-bandas como uma das entradas para o misturador 216. As especificidades da filtragem dependerão se a amostragem ascendente foi realizada ou não (ver o amostrador ascendente 202).

[058] Quando o amostrador 202 não está presente, o filtro 212 pode ser implementado alimentando o sinal de entrada (por exemplo, o sinal 228) em um banco de filtros Nyquist de 8 canais para gerar o sinal 230 que tem sub-bandas híbridas 0-7.

[059] Quando o amostrador 202 está presente, o filtro 212 pode ser implementado por um banco de filtros de análise CQMF e dois ou mais filtros Nyquist. A parte real do sinal de entrada (por exemplo, o sinal 228) é alimentada no banco de filtros de análise CQMF; o banco de filtros de análise CQMF tem um número apropriado de canais para gerar o sinal 230 com sinais de sub-banda de frequência de amostragem de 750 Hz. O número apropriado de canais depende da amostragem realizada. Por exemplo, quando é realizada uma amostragem ascendente 4x é realizada e, portanto, um banco de análise CQMF de 4 canais é usado no filtro 212, os três sinais de sub-banda CQMF de frequência mais baixa são cada um alimentado em um filtro Nyquist correspondente (um gerando sub-bandas híbridas 0-7, um gerando sub-bandas híbridas 8-11 e um gerando sub-bandas híbridas 12-15). Como

outro exemplo, quando a amostragem 2x é realizada e, portanto, um banco de análise CQMF de 2 canais é usado no filtro 212, os dois sinais de sub-banda CQMF são, cada um, alimentados em um filtro Nyquist correspondente (um gerando sub-bandas híbridas 0-7 e um gerando sub-bandas híbridas 8-11). Os canais CQMF restantes, se houver, são fornecidos ao misturador 216 (com um atraso apropriado correspondente ao atraso dos filtros Nyquist).

[060] O filtro 212 pode ser implementado com filtros semelhantes aos usados pelo sistema de transformada de sinal 110 (ver FIG. 1). Por exemplo, um primeiro filtro de análise Nyquist com 8 canais pode gerar as sub-bandas 0-7, um segundo filtro de análise Nyquist com 4 canais pode gerar as sub-bandas 8-11 e um terceiro filtro de análise Nyquist com 4 canais pode gerar as sub-bandas 12-15.

[061] O atraso 214 recebe o sinal de áudio transformado 112, implementa um período de atraso e gera um sinal 232. O sinal 232 corresponde a uma versão atrasada do sinal de áudio transformado 112 de acordo com o período de atraso. O atraso 214 pode ser implementado usando uma memória, um registro de mudança, etc. O período de atraso corresponde ao tempo de processamento dos outros componentes na cadeia de processamento de sinal, por exemplo, o amostrador 202, o gerador de harmônicos 204, o processador de dinâmica 206, o conversor 208, o filtro 212, etc. Como alguns desses outros componentes são opcionais, o período de atraso diminui à medida que mais dos componentes opcionais são omitidos. Em um exemplo, o período de atraso é de 961 amostras, das quais 577 correspondem ao aumento da amostragem e 384 correspondem aos componentes restantes, por exemplo, os filtros de Nyquist. Como outro exemplo, o período de atraso é de 384 amostras quando o amostrador 202 é omitido.

[062] O misturador 216 recebe o sinal 230 e o sinal 232, realiza a mistura e gera o sinal de áudio aprimorado 122 (ver FIG. 1). O sinal de áudio aprimorado 122 é um sinal de domínio de transformada. O misturador 216 mistura os sinais em uma

base por banda. Por exemplo, o sinal 230 e o sinal 232 podem cada um ter 77 bandas híbridas (por exemplo, 8+4+4+61 bandas HCQMF), e o misturador 216 mistura a sub-banda 0 do sinal 230 com a sub-banda 0 do sinal 232, mistura a sub-banda 1 do sinal 230 com a sub-banda 1 do sinal 232, etc. O misturador 216 não precisa misturar todas as bandas; uma ou mais das bandas do sinal 232 podem ser passadas ao gerar o sinal de áudio aprimorado 122. Por exemplo, as bandas de frequência mais altas (por exemplo, uma ou mais das bandas híbridas 16-77) do sinal 232 podem ser passadas sem mistura.

[063] Mais detalhes do sistema de aprimoramento de graves 200 são fornecidos abaixo. Primeiro, várias opções para o gerador de harmônicos 204 são discutidas, com referência às FIGS. 3-5.

[064] A FIG. 3 é um diagrama de blocos de um gerador de harmônicos 300. O gerador de harmônicos 300 pode ser usado como o gerador de harmônicos 204 (ver FIG. 2). Em geral, o gerador de harmônicos 300 gera cada harmônico consecutivo por multiplicação (por exemplo, usando multiplicação de sinal direto) do sinal de entrada e dos harmônicos anteriores.

[065] O gerador de harmônicos 300 inclui um ou mais multiplicadores 302 (dois mostrados: 302a e 302b), dois ou mais estágios de ganho 304 (três mostrados: 304a, 304b e 304c), dois ou mais compressores 306 (três mostrados: 306a, 306b e 306c) e dois ou mais adicionadores 308 (três mostrados: 308a, 308b e 308c). Em geral, cada linha de componentes no gerador de harmônicos 300 corresponde a um dos harmônicos gerados, de modo que o número de linhas (e o número correspondente de componentes) pode ser ajustado para implementar o número desejado de harmônicos. A primeira linha de processamento inclui o estágio de ganho 304a, o compressor 306a e o adicionador 308a. A segunda linha de processamento inclui o multiplicador 302a, o estágio de ganho 304b, o compressor 306b e o somador 308b. A terceira linha de processamento inclui o multiplicador 302b, o estágio de

ganho 304c, o compressor 306c e o somador 308c. Linhas adicionais podem ser adicionadas para gerar harmônicos adicionais, com cada nova linha conectada à linha anterior de maneira semelhante ao que é mostrado na figura.

[066] O gerador de harmônicos 300 recebe um sinal de entrada 320, também denotado como "x". O sinal de entrada 320 corresponde ao sinal amostrado 220 (ver FIG. 2) quando o amostrador 202 está presente, ou ao sinal de áudio transformado 112 quando o amostrador 202 não está presente. O sinal de entrada 320 é um sinal de domínio de transformada complexo. Por exemplo, o sinal de entrada 320 pode corresponder a uma banda HCQMF (por exemplo, sub-banda híbrida 0, sub-banda híbrida 2, sub-banda híbrida 4, sub-banda híbrida 6, etc.). O gerador de harmônicos 300 gera o sinal 222 (ver FIG. 2).

[067] Começando com os multiplicadores 302, o multiplicador 302a recebe o sinal de entrada 320, realiza a multiplicação do sinal de entrada 320 consigo mesmo e gera um sinal 322a, também denotado como " x^2 ". O multiplicador 302b recebe o sinal de entrada 320 e o sinal 322a, realiza a multiplicação do sinal de entrada 320 com o sinal 322a e gera um sinal 322b, também denotado como " x^3 ". Observe que a saída de um determinado multiplicador é fornecida como uma entrada para o multiplicador na linha de processamento subsequente: O sinal 322a é fornecido ao multiplicador 302b, o sinal 322b é fornecido ao multiplicador na linha subsequente (mostrado com uma linha pontilhada), etc.

[068] Voltando aos estágios de ganho 304, o estágio de ganho 304a recebe o sinal de entrada 320, aplica um ganho g_1 e gera um sinal 324a. O estágio de ganho 304b recebe o sinal 322a, aplica um ganho g_2 e gera um sinal 324b.. O estágio de ganho 304c recebe o sinal 322b, aplica um ganho g_3 e gera um sinal 324c. Os ganhos g_1 , g_2 , g_3 , etc. podem ser ajustados conforme desejado, geralmente como um exercício de ajuste para cada dispositivo específico que implementa o gerador de harmônicos 300. Em geral, o ganho g_1 pode ser muito menor do que os outros ganhos

(por exemplo, menos de 50% dos outros ganhos). Define-se o ganho g_1 para um valor pequeno reduzido o que é referido como o sinal direto correspondente ao harmônico de graves original, que é colocado em pequenos alto-falantes que são fisicamente inadequados para reproduzir qualquer sinal na faixa de frequência do sinal direto. Se for assim desejado, o ganho g_1 pode ser definido como zero para eliminar o sinal direto.

[069] Voltando aos compressores 306, o compressor 306a recebe o sinal 324a, realiza compressão dinâmica e gera um sinal 326a. O compressor 306b recebe o sinal 324b, realiza compressão dinâmica e gera um sinal 326b. O compressor 306c recebe o sinal 324c, realiza compressão dinâmica e gera um sinal 326c. A compressão dinâmica geralmente corresponde a uma equação y^r , onde y corresponde ao sinal de entrada (por exemplo, o sinal 324a) e r é a taxa de compressão, onde r é menor que 1. A taxa de compressão r pode diferir para cada harmônico (por exemplo, cada linha). Por exemplo, a taxa de compressão r_1 para o compressor 306a pode diferir da taxa de compressão r_2 para o compressor 306b, que pode diferir da taxa de compressão r_3 para o compressor 306c, etc. .As razões de compressão podem ser ajustadas como parâmetros de ajuste com base nas características físicas específicas do dispositivo que implementa o gerador de harmônicos 300. Mais detalhes dos compressores 306 são fornecidos abaixo na discussão sobre a expansão de audibilidade.

[070] Voltando aos adicionadores 308, o adicionador 308c recebe o sinal 326c (e qualquer sinal de saída do adicionador em qualquer linha adicional), executa a adição e gera um sinal 328b. O somador 308b recebe o sinal 326b e o sinal 328b, realiza adição e gera um sinal 328a. O somador 308a recebe o sinal 326a e o sinal 328a, realiza a adição e gera o sinal 222 (ver FIG. 2). Seja observado que uma das entradas para um determinado somador é fornecida pelo somador na linha de processamento subsequente: O somador 308c recebe a saída do somador na linha de processamento subsequente (mostrada com uma linha pontilhada), o somador

308b recebe a saída do somador 308c, o somador 308a recebe a saída do somador 308b, etc.

[071] O gerador de harmônicos 300 está processando sinais valiosos complexos, por exemplo, sinais com contribuição muito baixa de frequências negativas. Assim, ao gerar harmônicos multiplicando o sinal de valor complexo consigo mesmo, uma saída muito mais limpa é obtida do que se o sinal de entrada for de valor real, por exemplo, resulta em menos distorção de intermodulação. No caso complexo, para um sinal de entrada que consiste em frequências plurais, apenas os termos desejados mais os termos das somas de frequência são gerados, mas não os termos das diferenças de frequência, como seria o caso do processamento de valor real. Os termos de diferença são, embora geralmente de baixas frequências, mais perceptualmente ofensivos do que os termos de soma. Os termos de soma podem realmente ser desejáveis, por exemplo, quando o sinal de entrada contém uma série harmônica.

[072] A FIG. 4 é um diagrama de blocos de um gerador de harmônicos 400. O gerador de harmônicos 400 pode ser usado como o gerador de harmônicos 204 (ver FIG. 2). Em geral, o gerador de harmônicos 400 gera harmônicos aplicando um laço de atraso de retroalimentação ao sinal de entrada. O gerador de harmônicos 400 inclui um multiplicador 402, um estágio de ganho 404, um estágio de adição 406, um compressor 408, um estágio de atraso 410, um estágio de ganho 412 e um estágio de ganho 414.

[073] O gerador de harmônicos 400 recebe um sinal de entrada 420. O sinal de entrada 420 corresponde ao sinal amostrado 220 (ver FIG. 2) quando o amostrador 202 está presente, ou ao sinal de áudio transformado 112 quando o amostrador 202 não está presente. O sinal de entrada 420 é um sinal de domínio de transformada complexo. Por exemplo, o sinal de entrada 420 pode corresponder a uma banda HCQMF (por exemplo, sub-banda híbrida 0, sub-banda híbrida 2, sub-banda híbrida

4, sub-banda híbrida 6, etc.). O gerador de harmônicos 400 gera o sinal 222 (ver FIG. 2).

[074] O multiplicador 402 recebe o sinal de entrada 420, multiplica o sinal de entrada 420 com um sinal 432 e gera um sinal 422. O sinal 432 também pode ser referido como o sinal de retroalimentação 432 e é discutido em mais detalhes abaixo com referência ao estágio de ganho 412.

[075] O estágio de ganho 404 recebe o sinal de entrada 420, aplica um ganho a e gera um sinal 424. O ganho a também pode ser referido como o ganho de mistura. O valor do ganho a pode ser ajustado como um parâmetro de ajuste com base nas características físicas específicas do dispositivo que implementa o gerador de harmônicos 400.

[076] O estágio de adição 406 recebe o sinal 422 e o sinal 424, executa a adição e gera um sinal 426. A combinação do estágio de ganho 404 e do estágio de adição 406, quando adicionada ao sinal 422, é usada para ajudar a iniciar o laço de retroalimentação (por exemplo, quando o sinal 432 é inicialmente zero) e, de outra forma, ajuda a manter o laço de retroalimentação vivo.

[077] O compressor 408 recebe o sinal 426, realiza compressão dinâmica e gera um sinal 428. A compressão dinâmica geralmente corresponde a uma equação y^r , onde y corresponde ao sinal de entrada (por exemplo, o sinal 324a) e r é a taxa de compressão, onde r é menor que 1. A taxa de compressão pode ser ajustada como um parâmetro de ajuste com base nas características físicas específicas do dispositivo que implementa o gerador de harmônicos 400. Mais detalhes do compressor 408 são fornecidos abaixo na discussão sobre a expansão de audibilidade.

[078] O estágio de atraso 410 recebe o sinal 428, executa uma operação de atraso e gera um sinal 430. O estágio de atraso 410 pode ser implementado usando uma memória.

[079] O estágio de ganho 412 recebe o sinal 430, aplica um ganho g e gera o

sinal 432. O ganho g também pode ser referido como o ganho de retroalimentação. Como discutido acima em relação ao multiplicador 402, o sinal 432 é multiplicado com o sinal de entrada 420 para gerar harmônicos de ordem teoricamente indefinida.

[080] O estágio de ganho 414 recebe o sinal 428, aplica um ganho h , e gera o sinal 222 (ver FIG. 2). O ganho h também pode ser referido como o ganho de saída. O valor do ganho h pode ser ajustado como um parâmetro de sintonia com base nas características físicas específicas do dispositivo que implementa o gerador de harmônicos 400.

[081] Tal como acontece com o gerador de harmônicos 300, o gerador de harmônicos 400 gera um sinal direto correspondente ao harmônico de grave original. O sinal direto pode ser reduzido, conforme desejado, através do ajuste dos valores do ganho a e da taxa de compressão r .

[082] Tal como acontece com o gerador de harmônicos 300, o gerador de harmônicos 400 está processando sinais de valor complexo e, ao gerar harmônicos multiplicando o sinal de valor complexo consigo mesmo, uma saída muito mais limpa é obtida do que se o sinal de entrada for de valor real.

[083] A FIG. 5 é um diagrama de bloco de um gerador de harmônicos 500. O gerador de harmônicos 500 pode ser usado como o gerador de harmônicos 204 (ver FIG. 2). O gerador de harmônicos 500 é semelhante ao gerador de harmônicos 400 (ver FIG. 4), mas com o sinal de ganho de mistura adicionado após o compressor. O gerador de harmônicos 500 inclui um multiplicador 502, um compressor 504, um estágio de ganho 506, um estágio de adição 508, um estágio de atraso 510, um estágio de ganho 512 e um estágio de ganho 514.

[084] O gerador de harmônicos 500 recebe um sinal de entrada 520. O sinal de entrada 520 corresponde ao sinal amostrado 220 (ver FIG. 2) quando o amostrador 202 está presente, ou ao sinal de áudio transformado 112 quando o amostrador 202 não está presente. O sinal de entrada 520 é um sinal de domínio de transformada

complexo. Por exemplo, o sinal de entrada 520 pode corresponder a uma banda HCQMF (por exemplo, sub-banda híbrida 0, sub-banda híbrida 2, sub-banda híbrida 4, sub-banda híbrida 6, etc.). O gerador de harmônicos 500 gera o sinal 222 (ver FIG. 2).

[085] O multiplicador 502 recebe o sinal de entrada 520, multiplica o sinal de entrada 520 com um sinal 532 e gera um sinal 522. O sinal 532 também pode ser referido como o sinal de retroalimentação 532 e é discutido em mais detalhes abaixo com referência ao estágio de ganho 512.

[086] O compressor 504 recebe o sinal 522, realiza compressão dinâmica e gera um sinal 524. Em geral, o compressor dinâmico corresponde a uma equação y^r , aonde y corresponde a um sinal de entrada (por exemplo, o sinal 522) e r é a taxa de compressão, aonde r se apresenta menor do que 1. A taxa de compressão pode ser ajustada como um parâmetro de ajuste com base nas características físicas específicas do dispositivo que implementa o gerador de harmônicos 500. Mais detalhes do compressor 504 são fornecidos abaixo na discussão sobre a expansão de audibilidade.

[087] O estágio de ganho 506 recebe o sinal de entrada 520, aplica um ganho a e gera um sinal 526. O ganho a também pode ser referido como o ganho de mistura. O valor do ganho a pode ser ajustado como um parâmetro de ajuste com base nas características físicas específicas do dispositivo que implementa o gerador de harmônicos 500.

[088] O estágio de adição 508 recebe o sinal 524 e o sinal 526, realiza a adição e gera um sinal 528. A combinação do estágio de ganho 506 e do estágio de adição 508, quando adicionada ao sinal 524, é usada para ajudar a iniciar o laço de retroalimentação (por exemplo, quando o sinal 532 é inicialmente zero) e, de outra forma, ajuda a manter o laço de retroalimentação vivo.

[089] O estágio de atraso 510 recebe o sinal 528, desempenhando uma

operação de atraso, e gera um sinal 530. O estágio de atraso 510 pode ser implementado se utilizando uma memória.

[090] O estágio de ganho 512 recebe o sinal 530, aplica um ganho g , e gera o sinal 532. O ganho g pode ser referido também como ganho de retroalimentação. ||Como discutido acima em relação ao multiplicador 502, o sinal 532 é multiplicado com o sinal de entrada 520 para gerar harmônicos de ordem teoricamente indefinida.

[091] O estágio de ganho 514 recebe o sinal 524, aplica um ganho h e gera o sinal 222 (ver FIG. 2). O ganho h também pode ser referido como o ganho de saída. O valor do ganho h pode ser ajustado como um parâmetro de ajuste com base nas características físicas específicas do dispositivo que implementa o gerador de harmônicos 500.

[092] Em comparação com o gerador de harmônicos 300 (ver FIG. 3) e o gerador de harmônicos 400 (ver FIG. 4), o gerador de harmônicos 500 evita o caminho do sinal direto adicionando o sinal de entrada 520 posteriormente no laço (por exemplo, como o sinal 526). Em tal arranjo, o sinal de entrada 520 passa através do multiplicador 502 (em contraste com o somador 406 na FIG. 4) como parte da geração do sinal 222, de modo que o sinal 222 não contém sinal direto.

[093] Tal como acontece com o gerador de harmônicos 300 e o gerador de harmônicos 400, o gerador de harmônicos 500 está processando sinais de valor complexo e, ao gerar harmônicos multiplicando o sinal de valor complexo consigo mesmo, uma saída muito mais limpa é obtida do que se o sinal de entrada for de valor real.

Expansão da audibilidade

[094] Como discutido acima, porque o nível de pressão sonora para uma faixa de audibilidade fixo (em phon) está aumentando com a frequência na faixa de graves/médios (por exemplo, menos de 800 Hz), os geradores de harmônicos (por exemplo, o gerador de harmônicos 204 da FIG. 2, o gerador de harmônicos 300 da

FIG. 3, o gerador de harmônicos 400 da FIG. 4, o gerador de harmônicos 500 da FIG. 5, etc.) realizam expansão na dinâmica quando vindos a gerarem seus sinais de saída. Os geradores de harmônicos podem usar compressores (por exemplo, os compressores 306 da FIG. 3, o compressor 408 da FIG. 4, o compressor 504 da FIG. 5, etc.) ao realizar a expansão de audibilidade. Exemplos de processos de expansão de audibilidade incluem compressão dinâmica e correção de audibilidade.

Compressão Dinâmica

[095] Os geradores de harmônicos podem gerar harmônicos de n ésima ordem fazendo uso de uma operação correspondendo a Equação (1):

$$y_n = x^n = |x|^n \cdot e^{jn\varphi} \quad (1)$$

[096] Na Equação (1), n é a ordem do harmônico, y é o sinal de saída, x é o sinal de entrada, $e^{jn\varphi}$ é uma função exponencial complexa, j é um número imaginário e φ é a fase. O sinal de saída é gerado multiplicando o sinal de entrada por si só n vezes. Consequentemente, aumentando-se n aumentasse a ordem do harmônico gerado. (O lado direito da Equação (1) serve mais tarde neste documento como ilustração de por que a expansão dinâmica resulta em compressão dinâmica quando os sinais foram multiplicados entre si.)

[097] A FIG. 6 é um gráfico 600 que mostra curvas de audibilidade iguais. No gráfico 600, o eixo x é a frequência em Hz e o eixo y é o nível de pressão sonora (SPL) em dB. O gráfico 600 inclui 6 gráficos 602a, 602b, 602c, 602d, 602e e 602f (coletivamente, gráficos 602). Cada um dos gráficos 602 corresponde a um nível de audibilidade em phon, que é uma medição logarítmica da magnitude do som percebido. Cada um dos gráficos 602 também pode ser referido como uma curva de audibilidade igual. O gráfico 602a corresponde ao limiar de percepção, o gráfico 602b corresponde a 20 phon, o gráfico 602c corresponde a 40 phon, o gráfico 602d corresponde a 60 phon, o gráfico 602e corresponde a 80 phon e o gráfico 602f corresponde a 100 phon.

[098] Quando se gerando os harmônicos pela operação descrita pela Equação (1), a dinâmica é expandida por uma razão de n . Dadas essas informações, os gráficos de intensidade igual 602 sugerem a relação da Equação (2):

$$y_n = |x|^{k(f,n)} \cdot e^{jn\varphi} \quad (2)$$

[099] Na Equação (2), o termo $k(f,n)$ consiste de uma taxa de expansão de resíduos que está relacionado com a frequência fundamental f e a ordem dos harmônicos n . A razão de expansão do resíduo $k(f,n)$ se encontra tipicamente na faixa de 1,1 – 1,4, dependendo da frequência fundamental f e da ordem dos harmônicos n . Quando os harmônicos são gerados de acordo com a Equação (1), a razão de expansão relacionada $k(f,n)$ pode ser alcançada pela compressão da saída do gerador harmônico por um fator $k(f,n)/n$. (Como um aparte, os termos expansão e compressão podem ser geralmente usados como sinônimos, com "compressão" usado quando a razão é menor que 1 e "expansão" usado quando a razão é maior que 1. Assim, o fator $K(f,n)/n$ pode ser referido como "compressão" devido ao divisor n).

[0100] No gráfico 600, as linhas 610 e 612 ilustram um exemplo de expansão de audibilidade. A linha 610 indica uma faixa de audibilidade entre 20 e 80 phon para uma frequência fundamental de 50 Hz. A linha 612 corresponde à geração de um harmônico de 4ª ordem de 50 Hz de 400 Hz com a mesma faixa de audibilidade. Uma seta 614 de 610 para 612 indica a geração do harmônico de 4ª ordem. O intervalo SPL dinâmico da frequência fundamental (linha 610) é de aproximadamente 38 dB dentro do intervalo de audibilidade de 20 a 80 phon, e o intervalo SPL dinâmico do harmônico de 4ª ordem (linha 612) é de aproximadamente 50 dB para o mesmo intervalo de audibilidade. Portanto, ao gerar um harmônico de 4ª ordem a partir de um fundamental de 80 phon 50 Hz, o harmônico precisa ser atenuado em aproximadamente 20 dB. Quando o fundamental tem uma intensidade de 20 phon, o harmônico precisa ser atenuado em quase 40 dB, um aumento na atenuação necessária em aproximadamente 20 dB.

[0101] A razão de expansão SPL-para-phon, também referida como a expansão de audibilidade, pode ser aproximada de acordo com a Equação (3):

$$R(f) = \frac{1}{0.121 \cdot \ln f + 0.169} \quad (3)$$

[0102] Na Equação (3), $R(f)$ é a razão de expansão SPL-para-phon, que tem uma relação inversa com a frequência f .

[0103] A razão de expansão de resíduo $k(f,n)$, é dada pela Equação (4):

$$\kappa(f, n) = \frac{R(f)}{R(n \cdot f)} = 1 + \frac{\ln n}{\ln f + 1.397} \quad (4)$$

[0104] Na Equação (4), a razão de expansão de resíduo $k(f,n)$ corresponde a uma razão entre a razão de expansão SPL-para-phon da frequência fundamental f e a razão de expansão SPL-para-phon do harmônico $n \cdot f$ que corresponde a uma razão entre o logaritmo natural de n (a ordem harmônica) e um logaritmo natural de f (a frequência fundamental). Em outras palavras, a razão de expansão do resíduo $k(f,n)$ determina o fator necessário ao gerar o n -ésimo harmônico a partir de uma frequência fundamental em f (em Hz). As equações (3) e (4) têm boa concordância com as curvas de intensidade igual da FIG. 6 na faixa de 20-80 phon e entre 20 e 1000 Hz. Ao usar o gerador de harmônicos 400 (ver FIG. 4) ou o gerador de harmônicos 500 (ver FIG. 5), a compressão dinâmica necessária pode ser realizada com precisão suficiente usando um compressor simples com uma razão constante (por exemplo, como o compressor 408 ou o compressor 504).

[0105] O compressor pode aplicar a compressão dinâmica usando um filtro de média de primeira ordem para evitar distorção devido à normalização por amostra. O filtro de média de primeira ordem pode processar um sinal de controle s , que pode ser calculado de acordo com a Equação (5):

$$s(m) = \alpha \cdot s(m - 1) + (1 - \alpha) \cdot c(m) \quad (5)$$

[0106] Na Equação (5), m é o número da amostra, c é um ganho de

compressão e α é um peso entre o valor do sinal de controle para a amostra anterior versus o valor do ganho de compressão para a amostra atual. O peso α também pode ser referido como um fator de suavização exponencial e corresponde ao polo no sistema passa-baixo de primeira ordem.

[0107] O peso α pode ser calculado usando a Equação (6):

$$\alpha = e^{-1/(\tau f_s)} \text{ and } \tau \approx 20e-3 \text{ s} \quad (6)$$

[0108] Na Equação (6), f_s é a frequência de amostragem e τ é uma constante de tempo.

[0109] O ganho de compressão c pode ser calculado usando a Equação (7):

$$c(m) = \frac{b(0)+b(1)\cdot|x(m)|+b(2)\cdot|x(m)|^2+b(3)\cdot|x(m)|^4}{a(0)+a(1)\cdot|x(m)|+a(2)\cdot|x(m)|^2+a(3)\cdot|x(m)|^4} \quad (7)$$

[0110] Na Equação (7), a e b são coeficientes polinomiais que são aplicados a cada ordem de magnitude da amostra m do sinal de entrada x . Aplicando o ganho de compressão c (ou 25 as versões suavizadas da Equação (5)) a um sinal x como $c \cdot x$ (ou $s \cdot x$) corresponde a uma aproximação racional do sinal $(x) \cdot |x|^r$, que é o valor absoluto do sinal x sujeito a uma taxa de compressão r multiplicada pela função de sinal de x .

[0111] A FIG. 7 é um gráfico 700 que mostra vários ganhos de compressão c . No gráfico 700, o eixo x é a potência de entrada (do sinal de entrada x) em dB e o eixo y é o ganho de compressão c em dB. Várias curvas são mostradas, cada curva correspondendo a um valor para a razão de compressão r . Especificamente, 9 valores para r na faixa de 0,5 a 1,0 são dados: 0,5, 0,6, 0,65, 0,7, 0,73, 0,77, 0,8, 0,9 e 1,0, com cada valor correspondendo a uma das curvas no gráfico 700 (por exemplo, o valor para r de 0,5 corresponde à curva superior). Observe que os ganhos indicados da FIG. 7 não são exatos; é meramente uma ilustração do conceito geral. Também notável a partir do gráfico 700 é que o ganho é limitado para baixa potência de entrada

e dado pela razão $b(0)/a(0)$. Isso evita que o ganho excessivo seja aplicado em circunstâncias como ocorrências transitórias após períodos de silêncio do sinal. (Em vez disso, este ganho em combinação com a constante de tempo na Equação (6) permite que mais energia passe através do compressor durante, por exemplo, inícios percussivos, contribuindo para a percepção de "punção" no sinal de graves.)

Correção de audibilidade

[0112] Uma abordagem alternativa para alcançar a expansão de audibilidade é aplicar a normalização do sinal de entrada em uma primeira etapa, antes da geração harmônica, seguida por um estágio de ajuste de ganho. Isso é chamado de correção de audibilidade.

[0113] A FIG. 8 é um diagrama de blocos de um gerador de harmônicos 800. O gerador de harmônicos 800 geralmente executa correção de audibilidade usando normalização de sinais de entrada. A normalização da amplitude teoricamente evita a expansão dinâmica dos harmônicos (pela razão n , uma vez que $n \geq 2d$) quando gerado de acordo com a Equação (1).

[0114] O gerador de harmônicos 800 inclui dois ou mais estágios de normalização 802 (dois mostrados: 802a e 802b), dois ou mais multiplicadores 804 (dois mostrados: 804a e 804b), dois ou mais estágios de correção de audibilidade 806 (dois mostrados: 806a e 806b), dois ou mais adicionadores 808 (dois mostrados: 808a e 808b) e um somador 810. Em geral, cada linha de componentes no gerador de harmônicos 800 corresponde a um dos harmônicos gerados, de modo que o número de linhas (e o número correspondente de componentes) pode ser ajustado para implementar o número desejado de harmônicos. A primeira linha de processamento inclui o estágio de normalização 802a, o multiplicador 804a, o estágio de correção de audibilidade 806a e o somador 808a. A segunda linha de processamento inclui o estágio de normalização 802b, o multiplicador 804b, o estágio de correção de audibilidade 806b e o somador 808b. Linhas adicionais podem ser adicionadas para

gerar harmônicos adicionais, com cada nova linha conectada à linha anterior de maneira semelhante ao que é mostrado na figura.

[0115] O gerador de harmônicos 800 recebe um sinal de entrada 820. O sinal de entrada 820 corresponde ao sinal amostrado 220 (ver FIG. 2) quando o amostrador 202 está presente, ou ao sinal de áudio transformado 112 quando o amostrador 202 não está presente. O sinal de entrada 820 é um sinal de domínio de transformada complexo. Por exemplo, o sinal de entrada 820 pode corresponder a uma banda HCQMF (por exemplo, sub-banda híbrida 0, sub-banda híbrida 2, sub-banda híbrida 4, sub-banda híbrida 6, etc.). O gerador de harmônicos 800 gera o sinal 222 (ver FIG. 2).

[0116] Começando com os estágios de normalização 802, o estágio de normalização 802a recebe o sinal de entrada 820, executa a normalização e gera um sinal 822a. O estágio de normalização 802b recebe o sinal de entrada 820, executa a normalização e gera um sinal 822b. Da mesma forma que a Equação (5), cada um dos estágios de normalização 802 pode realizar a normalização usando um filtro de suavização de primeira ordem para evitar distorção causada pela normalização amostra a amostra. Os estágios de normalização 802 podem realizar a normalização de uma maneira descrita pela Equação (8):

$$\hat{x}(m) = \alpha \cdot \hat{x}(m - 1) + (1 - \alpha) \cdot \bar{x}(m) \quad (8)$$

[0117] Na Equação (8), $\hat{x}(m)$ é a amostra atual m da versão normalizada do sinal de entrada x , $\hat{x}(m - 1)$ é a amostra anterior da versão normalizada do sinal de entrada, α é um fator de suavização e $\bar{x}(m)$ é dado pela Equação (9):

$$\bar{x}(m) = \frac{x(m)}{|x(m)|} \quad (9)$$

[0118] Na Equação (9), $\bar{x}(m)$ corresponde à razão entre o valor complexo da amostra atual do sinal de entrada e a magnitude (também referido como o valor

absoluto) da amostra atual do sinal de entrada. O fator de suavização α pode ser ajustado conforme desejado para controlar o tempo de suavização desejado e depender da *dinâmica* do sinal de entrada. Um α menor é aplicado durante eventos de ataque (por exemplo, quando ocorre um aumento rápido da energia do sinal) do que sob condições de energia estacionárias ou decrescentes, a fim de evitar o recorte do sinal.

[0119] Alternativamente, o gerador de harmônicos pode usar um único estágio de normalização (por exemplo, 802a), com o sinal de saída (por exemplo, 822a) fornecido como uma entrada para cada um dos multiplicadores 804.

[0120] Voltando aos multiplicadores 804, o multiplicador 804a recebe o sinal de entrada 820 e o sinal 822a, multiplica esses sinais juntos e gera um sinal 824a. O multiplicador 804b recebe o sinal 822b e o sinal 824a, multiplica esses sinais juntos e gera um sinal 824b. O sinal 824a corresponde ao segundo harmônico, o sinal 824b corresponde ao terceiro harmônico, etc. Seja observado que a saída de um determinado multiplicador é fornecida como uma entrada para o multiplicador na linha de processamento subsequente: O sinal 824a é fornecido ao multiplicador 804b, o sinal 824b é fornecido ao multiplicador na linha subsequente (mostrado com uma linha pontilhada), etc.

[0121] Voltando aos estágios de correção de audibilidade 806, o estágio de correção de audibilidade 806a recebe o sinal 824a, executa a correção de audibilidade e gera o sinal 826a. O estágio de correção de audibilidade 806b recebe o sinal 824b, executa a correção de audibilidade e gera o sinal 826b. Em geral, os estágios de correção de audibilidade 806 aplicam expansão dinâmica e atenuação da energia normalizada dos harmônicos gerados, em linha com as curvas de audibilidade iguais da FIG. 6, a fim de manter o audibilidade em comparação com o fundamental. Para ajustar o audibilidade, um fator de correção k é definido, onde k é uma função da ordem de harmônico n , a magnitude suavizada do \hat{x} fundamental (ver Equação

(8)) e o índice de banda híbrida b . Este fator de correção k é aplicado de acordo com a Equação (10):

$$\tilde{h}_n(m) = k(n, \hat{x}, b) \cdot h_n(m) \quad (10)$$

[0122] Na Equação (10), $\tilde{h}_n(m)$ é o harmônico corrigido da audibilidade e $h_n(m)$ consiste do harmônico normalizado, para cada harmônico, respectivamente.

[0123] Como discutido acima, os processos de intensificação de graves podem ser realizados em uma ou mais bandas híbridas (por exemplo, uma ou mais das sub-bandas 0, 2, 4, 6, 7, 9, etc.). Vários harmônicos, por exemplo, 2ª, 3ª, e 4ª ordem, são gerados em cada banda. Se deixarmos que a frequência central se aproxime da frequência fundamental em cada banda, podemos calcular a relação SPL-para-phon usando um parâmetro: a ordem ou os harmônicos n . Como exemplo, a primeira banda híbrida (por exemplo, sub-banda 0) tem uma frequência central de 46,875 Hz (por exemplo, aproximadamente 47 Hz) e os valores correspondentes das curvas ELC na FIG. 6 estão listados na tabela 1:

	FREQUÊNCIA	100 PHON	80 PHON	60 PHON	40 PHON	20 PHON
FUNDAMENTAL (SPL dB)	47 Hz	113	102	88	77	62
Harmônico de 2 nd ordem (SPL dB)	94 Hz	106 (-7)	93 (-9)	79 (-9)	63 (-13)	47 (-15)
Harmônico de 3ª ordem (SPL dB)	141 Hz	103 (-10)	87 (-15)	75 (-13)	56 (-19)	40 (-22)
Harmônico de 4ª ordem (SPL dB)	188 Hz	102 (-11)	86 (-16)	70 (-18)	52 (-23)	35 (-27)

TABELA 1

[0124] Na TABELA 1, o valor entre parênteses é a diferença do NPS em relação ao fundamental. Uma função que representa a diferença SPL de um harmônico e seu fundamental pode ser calculada de acordo com a Equação (11):

$$K_{b,n} = A_b + \beta_{b,n}X \quad (11)$$

[0125] Na Equação (11), $K_{b,n}$ é um valor de ganho em dB, A_b é um valor de atenuação mínima, X é uma energia de entrada fundamental suavizada em uma escala logarítmica, enquanto $\beta_{b,n}$ é um parâmetro de escala dependente de ordem harmônica n da energia de entrada. E $\beta_{b,n}$ pode ser calculado de acordo com a Equação (12):

$$\beta_{b,n} = \varepsilon_b n + \eta_b \quad (12)$$

[0126] O fator de correção em uma escala linear pode ser calculado de acordo com a Equação (13):

$$k_{b,n} = 10^{K_{b,n}/20} = 10^{\frac{A_b}{20}} |x|^{\beta_{b,n}} \quad (13)$$

[0127] Nas Equações (12) e (13), A_b , ε_b e η_b são todos constantes com base de banda híbrida e podem ser avaliados por um ajuste otimizado com as curvas ELC da FIG. 6. Os parâmetros listados na TABELA 2 resultarão em precisão adequada para as seis primeiras bandas híbridas e os fatores de correção de audibilidade resultantes são visualizados na FIG. 9. Para as bandas 6, 7 e 9, os harmônicos gerados estão na faixa de frequência de 700 a 2000 Hz, onde as curvas ELC são assumidas como planas. Os estágios de correção de audibilidade 806 podem calcular os fatores de correção de audibilidade usando aproximação linear segmentar para economizar complexidade computacional.

Índice de Banda	A_b	ε_b	η_b
0	-3	0,1	0

2	-1	0,3125	0,0625
4	0	0,2941	0,0882
6	0	0	0,1111
7	0	0	0,0526
9	0	0	0,0526

TABELA 2

[0128] As FIGS. 9A, 9B, 9C, 9D, 9E e 9F mostram um conjunto de gráficos 900a-900f. Em cada gráfico, o eixo x é a magnitude do sinal harmônico normalizado no estágio de correção de audibilidade (por exemplo, a entrada do sinal 824a no estágio de correção de audibilidade 806a, etc.) e o eixo y é o fator de correção k . O gráfico 900a corresponde à banda híbrida 0, o gráfico 900b corresponde à banda híbrida 2, o gráfico 900c corresponde à banda híbrida 4, o gráfico 900d corresponde à banda híbrida 6, o gráfico 900e corresponde à banda híbrida 7 e o gráfico 900f corresponde à banda híbrida 9. As linhas para três harmônicos (2^a, 3^a, e 4^a ordem) são mostradas em cada gráfico, mas as linhas estão sobrepostas nos gráficos 900d, 900e e 900f à medida que as linhas convergem com o número crescente de bandas híbridas. Em geral, as linhas mostram os fatores de correção de audibilidade k para as primeiras 6 bandas híbridas quando utilizando-se as constantes com base em banda híbrida listadas na TABELA 2.

[0129] Voltando à FIG. 8 e aos adicionadores 808, o adicionador 808b recebe o sinal 826b (e qualquer sinal recebido da linha de processamento subsequente, mostrado com uma linha pontilhada), executa a adição e gera um sinal 828b. O somador 808b recebe o sinal 826a e o sinal 828b, realiza adição e gera um sinal 828a. Seja observado que uma das entradas para um determinado somador é fornecida pelo somador na linha de processamento subsequente: o somador 808b recebe a saída do somador na linha de processamento subsequente (mostrada com uma linha

pontilhada), o somador 808a recebe a saída do somador 808b, etc.

[0130] O somador 810 recebe o sinal de entrada 820 e o sinal 828a, realiza a adição e gera o sinal 222 (ver FIG. 2).

Processamento de múltiplas bandas híbridas

[0131] Embora a descrição para o sistema de aprimoramento de graves 200 (ver FIG. 2) se concentra no processamento de uma única banda híbrida, o processamento semelhante pode ser realizado em múltiplas bandas híbridas. Por exemplo, o sistema de intensificação de graves 120 (ver FIG. 1) pode ser realizado em quatro bandas híbridas (por exemplo, sub-bandas 0, 2, 4 e 6), seis bandas híbridas (por exemplo, sub-bandas 0, 2, 4, 6, 7 e 9), etc. Vários harmônicos (por exemplo 2° , 3° , 4° , etc.) são gerados em cada banda.

[0132] A FIG. 10 é um diagrama de blocos de um sistema de intensificação de graves 1000. O sistema de intensificação de graves 1000 pode ser usado como o sistema de intensificação de graves 120 (ver FIG. 1). O sistema de aprimoramento de graves 1000 é semelhante ao sistema de aprimoramento de graves 200 (ver FIG. 2), com componentes semelhantes tendo nomes e números de referência semelhantes, além da adição de múltiplos caminhos de processamento explícitos. Cada caminho de processamento corresponde ao processamento de um sinal de sub-banda híbrido. Como um exemplo específico, quatro caminhos de processamento são mostrados (por exemplo, para processar sub-bandas híbridas 0, 2, 4 e 6). O número de caminhos de processamento pode ser aumentado ou diminuído conforme desejado. Por exemplo, seis caminhos de processamento podem ser usados para processar as sub-bandas híbridas 0, 2, 4, 6, 7 e 9.

[0133] O sistema de aprimoramento de graves 1000 recebe o sinal de áudio transformado 112 (ver FIG. 1). Como discutido acima, o sinal de áudio transformado 112 é um sinal de domínio de transformada complexo híbrido com bandas híbridas. Quatro das bandas híbridas do sinal de áudio transformado 112 são mostradas como

as entradas para o sistema de intensificação de graves 1000: sub-banda 0 (rotulada 1002a), sub-banda 2 (1002b), sub-banda 4 (1002c) e sub-banda 6 (1002d). Cada sub-banda corresponde a um dos caminhos de processamento. O sistema de aprimoramento de graves 1000 inclui subamostradores 1010 (quatro mostrados: 1010a, 1010b, 1010c e 1010d), geradores de harmônicos 1012 (quatro mostrados: 1012a, 1012b, 1012c e 1012d), um adicionador 1014, um processador dinâmico 1016 (opcional), um conversor 1018 (opcional), um filtro 1022, um atraso 1024 e um misturador 1026.

[0134] O amostrador ascendente 1010a recebe o sinal 1002a, realiza a amostragem ascendente e gera um sinal de amostragem ascendente 1030a. O amostrador ascendente 1010b recebe o sinal 1002b, realiza a amostragem ascendente e gera um sinal de amostragem ascendente 1030b. O amostrador ascendente 1010c recebe o sinal 1002c, realiza a amostragem ascendente e gera um sinal de amostragem ascendente 1030c. O amostrador ascendente 1010d recebe o sinal 1002d, realiza a amostragem ascendente e gera um sinal de amostragem ascendente 1030d. Os sinais 1030a, 1030b, 1030c e 1030d são sinais de domínio de transformada complexos. Os amostradores ascendentes 1010 são de outra forma semelhantes aos descritos acima em relação ao amostrador ascendente 202 (ver FIG. 2).

[0135] O gerador de harmônicos 1012a recebe o sinal amostrado 1030a e gera harmônicos dos mesmos para resultar em um sinal 1032a. O gerador de harmônicos 1012b recebe o sinal amostrado 1030b e gera harmônicos do mesmo para resultar em um sinal 1032b. O gerador de harmônicos 1012c recebe o sinal amostrado 1030c e gera harmônicos do mesmo para resultar em um sinal 1032c. O gerador de harmônicos 1012d recebe o sinal amostrado 1030d e gera harmônicos do mesmo para resultar em um sinal 1032d. Os sinais 1032a, 1032b, 1032c e 1032d são sinais de domínio de transformada complexos. Os geradores de harmônicos 1012 são de outra

forma semelhantes ao gerador de harmônicos 204 (ver FIG. 2). Por exemplo, um ou mais dos geradores de harmônicos 1012 podem ser implementados usando o gerador de harmônicos 300 (ver FIG. 3), o gerador de harmônicos 400 (ver FIG. 4), o gerador de harmônicos 500 (ver FIG. 5), o gerador de harmônicos 800 (ver FIG. 8), etc.

[0136] O adicionador 1014 recebe os sinais 1032a, 1032b, 1032c e 1032d, realiza adição e gera um sinal 1034. O sinal 1034 é um sinal de domínio de transformada complexo.

[0137] O processador de dinâmica 1016 recebe o sinal 1034, executa o processamento de dinâmica e gera um sinal 1036. O sinal 1036 é um sinal de domínio de transformada complexo. O processador dinâmico 1016 é de outra forma semelhante ao processador dinâmico 206 (ver FIG. 2). O processador de dinâmica 1016 é opcional. Quando o processador de dinâmica 1016 é omitido, o conversor 1018 recebe o sinal 1034 em vez do sinal 1036.

[0138] O conversor 1018 recebe o sinal 1036 (ou o sinal 1034 quando o processador de dinâmica 1016 é omitido), derruba a parte imaginária do sinal 1036 e gera um sinal 1040. O sinal 1040 é um sinal de domínio de transformada. O conversor 1018 é de outra forma semelhante ao conversor 208 (ver FIG. 2), incluindo ser opcional.

[0139] O filtro 1022 recebe o sinal 1040 (ou o sinal 1036 quando o conversor 1018 é omitido, ou o sinal 1034 quando o processador dinâmico 1016 e o conversor 1018 são omitidos), realiza a filtragem e gera um sinal 1042. O sinal 1042 é um sinal de domínio de transformada. O filtro 1022 é de outra forma semelhante ao filtro 212 (ver FIG. 2).

[0140] O atraso 1024 recebe o sinal 1042, implementa um período de atraso e gera um sinal 1044. O sinal 1044 corresponde a uma versão atrasada do sinal de áudio transformado 112 de acordo com o período de atraso. O atraso 1024 pode ser implementado usando uma memória, um registro de mudança, etc. O período de

atraso corresponde ao tempo de processamento dos outros componentes na cadeia de processamento de sinal; porque alguns desses outros componentes são opcionais, o período de atraso diminui quando os componentes opcionais são omitidos. O atraso 1024 é de outra forma semelhante ao atraso 214 (ver FIG. 2).

[0141] O misturador 1026 recebe o sinal 1042 e o sinal 1044, realiza a mistura e gera o sinal de áudio aprimorado 122 (ver FIG. 1). O misturador 1026 é de outra forma semelhante ao misturador 216 (ver FIG. 2).

[0142] A FIG. 11 é uma arquitetura de dispositivo móvel 1100 para implementar os recursos e processos descritos neste documento, de acordo com uma modalidade. A arquitetura 1100 pode ser implementada em qualquer dispositivo eletrônico, incluindo, mas não se limitando a: um computador desktop, equipamento de áudio/visual (AV) do consumidor, equipamento de transmissão de rádio, dispositivos móveis (por exemplo, smartphone, tablet, laptop, dispositivo vestível), etc. No exemplo de modalidade mostrado, a arquitetura 1100 é para um computador portátil e inclui processador(es) 1101, interface periférica 1102, subsistema de áudio 1103, alto-falantes 1104, microfone 1105, sensores 1106 (por exemplo, acelerômetros, giroscópios, barômetro, magnetômetro, câmera), processador de localização 1107 (por exemplo, receptor GNSS), subsistemas de comunicações sem fio 1108 (por exemplo, Wi-Fi, Bluetooth, celular) e subsistema(s) de E/S 1109, que inclui o controlador de toque 1110 e outros controladores de entrada 1111, superfície de toque 1112 e outros dispositivos de entrada/controla 1113. Outras arquiteturas com mais ou menos componentes também podem ser usadas para implementar as modalidades divulgadas.

[0143] A interface de memória 114 é acoplada aos processadores 1101, interface periférica 1102 e memória 1115 (por exemplo, flash, RAM, ROM). A memória 1115 armazena instruções e dados de programa de computador, incluindo, mas não se limitando a: instruções do sistema operacional 1116, instruções de comunicação

1117, instruções de GUI 1118, instruções de processamento de sensor 1119, instruções de telefone 1120, instruções de mensagens eletrônicas 1121, instruções de navegação na web 1122, instruções de processamento de áudio 1123, GNSS/instruções de navegação 1124 e aplicativos/dados 1125. As instruções de processamento de áudio 1123 incluem instruções para executar o processamento de áudio aqui descrito.

[0144] A FIG. 12 é um fluxograma de um método 1200 de processamento de áudio. O método 1200 pode ser realizado por um dispositivo (por exemplo, um computador portátil, um telefone móvel, etc.) com os componentes da arquitetura 1100 da FIG. 11, para implementar a funcionalidade do sistema de processamento de áudio 100 (ver FIG. 1), o sistema de aprimoramento de graves 200 (ver FIG. 2), o sistema de aprimoramento de graves 1000 (ver FIG. 10), etc., por exemplo, executando um ou mais programas de computador. Em geral, o método 1200 executa o processamento de sinal de áudio em um domínio de sub-banda de valor complexo (por exemplo, o domínio HCQMF).

[0145] Na etapa 1202, um primeiro sinal de domínio de transformada é recebido. O primeiro sinal de domínio de transformada é um sinal de domínio de transformada complexo híbrido tendo um número de bandas. Pelo menos uma das bandas tem uma série de sub-bandas. O primeiro sinal de domínio de transformada tem uma primeira pluralidade de harmônicos. Por exemplo, o sistema de intensificação de graves 200 (ver FIG. 2) pode receber o sinal de áudio transformado 112. O primeiro sinal de domínio de transformada pode ter 77 bandas híbridas numeradas 0-76, onde as bandas 0-15 são sub-bandas que resultam da divisão de uma ou várias bandas maiores. O primeiro sinal de domínio de transformada pode ser um sinal de domínio CQMF. O primeiro sinal de domínio de transformada pode ser um sinal HCQMF gerado pela divisão (por exemplo, usando bancos de filtros Nyquist) de um subconjunto dos canais de um sinal de domínio CQMF em sub-bandas para aumentar a resolução de

frequência para a faixa de frequência mais baixa.

[0146] Na etapa 1204, um segundo sinal de domínio de transformada é gerado com base no primeiro sinal de domínio de transformada. O segundo sinal de domínio de transformada é gerado gerando harmônicos para o primeiro sinal de domínio de transformada de acordo com um processo não linear. O segundo sinal de domínio de transformada tem uma segunda pluralidade de harmônicos que difere da primeira pluralidade de harmônicos e o segundo sinal de domínio de transformada é um sinal de valor complexo tendo uma parte imaginária. O segundo sinal de domínio de transformada é ainda gerado realizando expansão de audibilidade na segunda pluralidade de harmônicos. Por exemplo, o gerador de harmônicos 204 (ver FIG. 2), o gerador de harmônicos 300 (ver FIG. 3), o gerador de harmônicos 400 (ver FIG. 4), o gerador de harmônicos 500 (ver FIG. 5), o gerador de harmônicos 800 (ver FIG. 8), etc. podem gerar o segundo sinal de domínio de transformada (por exemplo, o sinal 222) com base no primeiro sinal de domínio de transformada (por exemplo, o sinal 220, etc.).

[0147] Na etapa 1206, um terceiro sinal de domínio de transformada é gerado filtrando o segundo sinal de domínio de transformada. O terceiro sinal de domínio de transformada tem um número de bandas e pelo menos uma das bandas tem um número de sub-bandas. Por exemplo, o filtro 212 (ver FIG. 2) pode filtrar o sinal 228 (ou o sinal 226) para gerar o sinal 230. Como outro exemplo, o filtro 1022 (ver FIG. 10) pode filtrar o sinal 1040 para gerar o sinal 1042. O terceiro sinal de domínio de transformada pode ter 77 bandas híbridas numeradas 0-76, onde as bandas 0-15 são sub-bandas que resultam da divisão de uma ou várias bandas maiores. O terceiro sinal de domínio de transformada pode ser um sinal de domínio HCQMF.

[0148] Na etapa 1208, um quarto sinal de domínio de transformada é gerado misturando o terceiro sinal de domínio de transformada com uma versão atrasada do primeiro sinal de domínio de transformada. Uma dada sub-banda do terceiro sinal de

domínio de transformada é misturada com uma sub-banda correspondente da versão atrasada do primeiro sinal de domínio de transformada. Por exemplo, o misturador 216 (ver FIG. 2) pode misturar o sinal 230 com o sinal atrasado 232. Como outro exemplo, o misturador 1026 (ver FIG. 10) pode misturar o sinal 1042 com o sinal atrasado 1044. Os sinais de entrada podem ter 77 bandas híbridas numeradas de 0 a 76, onde uma determinada banda de um sinal de entrada (por exemplo, banda 0) é misturada com a banda correspondente do outro sinal de entrada (por exemplo, banda 0).

[0149] O método 1200 pode incluir etapas adicionais correspondentes às outras funcionalidades do sistema de intensificação de graves 200, o sistema de intensificação de graves 1000, etc., conforme descrito neste documento. Por exemplo, o quarto sinal de domínio de transformada pode ser emitido por um alto-falante, tal como os alto-falantes 1104 (ver FIG. 11). Como outro exemplo, os sinais de domínio de transformada podem ser amostrados (por exemplo, usando o amostrador 202, os amostradores 1010) antes de gerar os harmônicos em 1204. Como outro exemplo, o processamento dinâmico pode ser aplicado aos sinais de domínio de transformada, por exemplo, usando o processador dinâmico 206 ou o processador dinâmico 1016. Como outro exemplo, a geração dos harmônicos pode incluir a realização de multiplicação, usando um laço de atraso de retroalimentação, etc. Como outro exemplo, o segundo sinal de domínio de transformada pode ser um número de segundos sinais de domínio de transformada, cada um dos quais corresponde a uma banda híbrida do primeiro sinal de domínio de transformada. Como outro exemplo, a parte imaginária do segundo sinal de domínio de transformada pode ser descartada antes de gerar o terceiro sinal de domínio de transformada.

DETALHES DA IMPLEMENTAÇÃO

[0150] Uma modalidade pode ser implementada em hardware, módulos executáveis armazenados em um meio legível por computador ou uma combinação

de ambos (por exemplo, matrizes lógicas programáveis). A menos que especificado de outra forma, as etapas executadas por modalidades não precisam ser inerentemente relacionadas a qualquer computador ou outro aparelho particular, embora possam estar em certas modalidades. Em particular, várias máquinas de uso geral podem ser usadas com programas escritos de acordo com os ensinamentos deste documento, ou pode ser mais conveniente construir aparelhos mais especializados (por exemplo, circuitos integrados) para executar as etapas necessárias do método. Assim, as modalidades podem ser implementadas em um ou mais programas de computador em execução em um ou mais sistemas de computador programáveis, cada um compreendendo pelo menos um processador, pelo menos um sistema de armazenamento de dados (incluindo memória volátil e não volátil e/ou elementos de armazenamento), pelo menos um dispositivo ou porta de entrada e pelo menos um dispositivo ou porta de saída. O código do programa é aplicado aos dados de entrada para executar as funções descritas acima e gerar informações de saída. As informações de saída são aplicadas a um ou mais dispositivos de saída, de forma conhecida.

[0151] Cada um desses programas de computador é preferencialmente armazenado em uma mídia ou dispositivo de armazenamento (por exemplo, ROM ou disquete magnético) legível por um computador programável de propósito geral ou especial, para configurar e operar o computador quando a mídia ou dispositivo de armazenamento é lido pelo computador para executar os procedimentos descritos neste documento. O sistema também pode ser considerado implementado como um meio de armazenamento legível por computador, configurado com um programa de computador, em que o meio de armazenamento assim configurado faz com que um computador opere de uma maneira específica e predefinida para executar as funções descritas neste documento. (O software em si e os sinais intangíveis ou transitórios são excluídos na medida em que são objeto não patenteável.)

[0152] Aspectos dos sistemas descritos neste documento podem ser implementados em um ambiente de rede de processamento de som baseado em computador apropriado para processar arquivos de áudio digitais ou digitalizados. Porções do sistema de áudio adaptativo podem incluir uma ou mais redes que compreendem qualquer número desejado de máquinas individuais, incluindo um ou mais roteadores (não mostrados) que servem para tamponar e encaminhar os dados transmitidos entre os computadores. Tal rede pode ser construída em vários protocolos de rede diferentes e pode ser a Internet, uma Rede de Área Ampla (WAN), uma Rede de Área Local (LAN) ou qualquer combinação dos mesmos.

[0153] Um ou mais dos componentes, blocos, processos ou outros componentes funcionais podem ser implementados através de um programa de computador que controla a execução de um dispositivo de computação baseado em processador do sistema. Também deve ser observado que as várias lógicas e/ou funções divulgadas neste documento podem ser ativadas usando qualquer número de combinações de hardware, firmware e/ou como dados e/ou instruções incorporados em várias mídias legíveis por máquina ou por computador, em termos de seu comportamento, transferência de registro, componente lógico e/ou outras características. Meios legíveis por computador nos quais tais dados formatados e/ou instruções podem ser incorporados incluem, mas não estão limitados a, meios de armazenamento físicos (não transitórios), não voláteis em várias formas, tais como meios de armazenamento ópticos, magnéticos ou semicondutores.

[0154] A descrição acima ilustra várias modalidades do presente relatório descritivo, juntamente com exemplos de como aspectos do presente relatório descritivo podem ser implementados. Os exemplos e modalidades acima não devem ser considerados as únicas modalidades e são apresentados para ilustrar a flexibilidade e as vantagens do presente relatório descritivo, conforme definido pelas seguintes reivindicações. Com base no relatório descritivo acima e nas reivindicações

seguintes, outros arranjos, modalidades, implementações e equivalentes serão evidentes para aqueles versados na técnica e podem ser empregados sem se afastar do espírito e escopo do relatório descritivo, conforme definido pelas reivindicações

REIVINDICAÇÕES

1. Método de processamento de áudio implementado por computador (1200), compreendendo:

receber (1202) um primeiro sinal de domínio de transformada (112), em que o primeiro sinal de domínio de transformada (112) consiste em um sinal de domínio de transformada complexa híbrido tendo uma pluralidade de bandas, em que pelo menos uma dentre pluralidade de bandas tem uma pluralidade de sub-bandas, em que o primeiro sinal de domínio de transformada (112) tem uma primeira pluralidade de harmônicos;

o método **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda:

gerar um sinal de domínio de transformada amostrado ascendentemente (220) através de amostragem ascendente (*upsampling*) do primeiro sinal de domínio de transformada (112), em que o sinal amostrado ascendentemente (220) é um sinal de domínio de tempo de valor complexo;

gerar (1204) um segundo sinal de domínio de transformada (222) com base no primeiro sinal de domínio de transformada amostrado ascendentemente (220) ao:

gerar uma segunda pluralidade de harmônicos para o primeiro sinal de domínio de transformada amostrado ascendentemente (220) de acordo com um processo não linear, em que o segundo sinal de domínio de transformada (222) tem a segunda pluralidade de harmônicos que difere da primeira pluralidade de harmônicos, e

realizar expansão de volume (*loudness expansion*) na segunda pluralidade de harmônicos, em que o segundo sinal de domínio de transformada (222) é um sinal de valor complexo tendo uma parte imaginária;

filtrar o segundo sinal de domínio de transformada (222) para dividir o segundo sinal de domínio de transformada (222) em uma pluralidade de sub-bandas e gerar (1206) um terceiro sinal de domínio de transformada (230, 1042), em que o terceiro sinal de domínio de transformada (230, 1042) tem uma pluralidade de bandas, em que pelo menos uma da pluralidade de bandas tem a pluralidade de sub-bandas; e

gerar (1208) um quarto sinal de domínio de transformada (122) misturando o

terceiro sinal de domínio de transformada (230, 1042) com uma versão atrasada (232, 1044) do primeiro sinal de domínio de transformada (112), em que uma dada sub-banda do terceiro sinal de domínio de transformada (230, 1042) é misturada com uma sub-banda correspondente da versão atrasada (232, 1044) do primeiro sinal de domínio de transformada (112).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a geração do sinal de domínio de transformada amostrado ascendentemente (220) é realizada de acordo com síntese de filtragem de espelho de quadratura complexa.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda:

realizar processamento dinâmico no segundo sinal de domínio de transformada (222), antes de gerar o terceiro sinal de domínio de transformada (230, 1042) a partir do segundo sinal de domínio de transformada (222).

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a pluralidade de bandas do primeiro sinal de domínio de transformada (112) tem uma primeira banda, uma segunda banda e uma terceira banda, em que a primeira banda é dividida em 8 sub-bandas, em que a segunda banda é dividida em 4 sub-bandas, e em que a terceira banda é dividida em 4 sub-bandas.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro sinal de domínio de transformada (112) tem 64 bandas, em que uma primeira banda é dividida em 8 sub-bandas, em que uma segunda banda é dividida em 4 sub-bandas, e em que uma terceira banda é dividida em 4 sub-bandas.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro sinal de domínio de transformada (112) tem uma largura de banda de 24 kHz, em que o primeiro sinal de domínio de transformada (112) tem 64 bandas, e em que uma largura de banda de passa banda de cada banda é de 375 Hz.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o processo não linear inclui multiplicação do primeiro sinal de domínio de transformada (112).

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o processo não linear inclui um laço de atraso de retroalimentação aplicado ao primeiro sinal de domínio de transformada (112).

9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a geração (1204) do segundo sinal de domínio de transformada (222) compreende:

gerar o segundo sinal de domínio de transformada (222) com base em uma sub-banda da pluralidade de sub-bandas do primeiro sinal de domínio de transformada (112), em que a uma sub-banda da pluralidade de sub-bandas é menor do que todas as sub-bandas da pluralidade de sub-bandas do primeiro sinal de domínio de transformada (112).

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a geração (1204) do segundo sinal de domínio de transformada (222) compreende:

gerar uma pluralidade de segundos sinais de domínio de transformada (222) com base em duas ou mais dentre a pluralidade de sub-bandas do primeiro sinal de domínio de transformada (112), em que as duas ou mais sub-bandas da pluralidade de sub-bandas são menores do que todas as sub-bandas da pluralidade de sub-bandas do primeiro sinal de domínio de transformada (112), e em que cada sub-banda da pluralidade de segundos sinais de domínio de transformada (222) corresponde a uma sub-banda das duas ou mais sub-bandas da pluralidade de sub-bandas; e

gerar o segundo sinal de domínio de transformada (222) somando a pluralidade de segundos sinais de domínio de transformada (222).

11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda:

emitir, por um alto-falante (1104), som correspondente ao quarto sinal de domínio de transformada (122).

12. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro sinal de domínio de transformada (112) está em um primeiro domínio de sinal, o método compreendendo ainda:

receber um sinal de entrada em um segundo domínio de sinal;

gerar o primeiro sinal de domínio de transformada (112) convertendo o sinal de entrada do segundo domínio de sinal para o primeiro domínio de sinal; e

gerar um sinal de saída convertendo o quarto sinal de domínio de transformada (122) do primeiro domínio de sinal para o segundo domínio de sinal.

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o segundo domínio de transformada é um domínio de tempo, em que o primeiro domínio de sinal é um domínio de sinal de filtro de espelho de quadratura complexo híbrido (HCQMF);

em que gerar o primeiro sinal de domínio de transformada (112) compreende gerar o primeiro sinal de domínio de transformada (112) realizando análise de HCQMF no sinal de entrada; e

em que gerar o sinal de saída compreende gerar o sinal de saída realizando síntese de HCQMF no quarto sinal de domínio de transformada (122).

14. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda:

descartar a parte imaginária do segundo sinal de domínio de transformada (222), antes de gerar o terceiro sinal de domínio de transformada (230, 1042).

15. Meio legível por computador não transitório, **CARACTERIZADO** pelo fato de que armazena um conjunto de instruções que, quando executado por um processador, controla um aparelho para executar processamento, incluindo o método conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 14.

16. Aparelho para processamento de áudio (1100), compreendendo:

um processador (1101);

em que o processador (1101) é configurado para controlar o aparelho (1100) para receber um primeiro sinal de domínio de transformada (112), em que o primeiro sinal de domínio de transformada (112) é um sinal de domínio de transformada

complexo híbrido tendo uma pluralidade de valores complexos e uma pluralidade de bandas, em que pelo menos uma banda da pluralidade de bandas tem uma pluralidade de sub-bandas, em que o primeiro sinal de domínio de transformada (112) tem uma primeira pluralidade de harmônicos;

CARACTERIZADO pelo fato de que o processador (1101) é configurado para controlar o aparelho (1100) para:

gerar um sinal de domínio de transformada amostrado ascendentemente (220) através de amostragem ascendente do primeiro sinal de domínio de transformada (112), em que o sinal amostrado ascendentemente (220) consiste em um sinal de domínio de tempo de valor complexo; e

gerar um segundo sinal de domínio de transformada (222) com base no primeiro sinal de domínio de transformada amostrado ascendentemente (220) ao:

gerar uma segunda pluralidade de harmônicos para o primeiro sinal de domínio de transformada amostrado ascendentemente (220) de acordo com um processo não linear, em que o segundo sinal de domínio de transformada (222) tem a segunda pluralidade de harmônicos que difere da primeira pluralidade de harmônicos, e

realizar expansão de volume (*loudness expansion*) na segunda pluralidade de harmônicos, em que o segundo sinal de domínio de transformada (222) é um sinal de valor complexo tendo uma parte imaginária; em que o processador (1101) é configurado para controlar o aparelho (1100) para filtrar o segundo sinal de domínio de transformada (222) para dividir o segundo sinal de domínio de transformada (222) em uma pluralidade de sub-bandas e gerar um terceiro sinal de domínio de transformada (230, 1042), em que o terceiro sinal de domínio de transformada (230, 1042) tem uma pluralidade de bandas, em que pelo menos uma banda da pluralidade de bandas tem uma pluralidade de sub-bandas;

em que o processador (1101) é configurado para controlar o aparelho (1100) para gerar um quarto sinal de domínio de transformada (122) misturando o terceiro sinal de domínio de transformada (230, 1042) com uma versão atrasada (232, 1044) do primeiro sinal de domínio de transformada (112), em que uma dada sub-banda do

terceiro sinal de domínio de transformada (230, 1042) é misturada com uma sub-banda correspondente da versão atrasada (232, 1044) do primeiro sinal de domínio de transformada (112).

17. Aparelho, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda:

um alto-falante (1104) que é configurado para emitir o quarto sinal de domínio de transformada (122) como som.

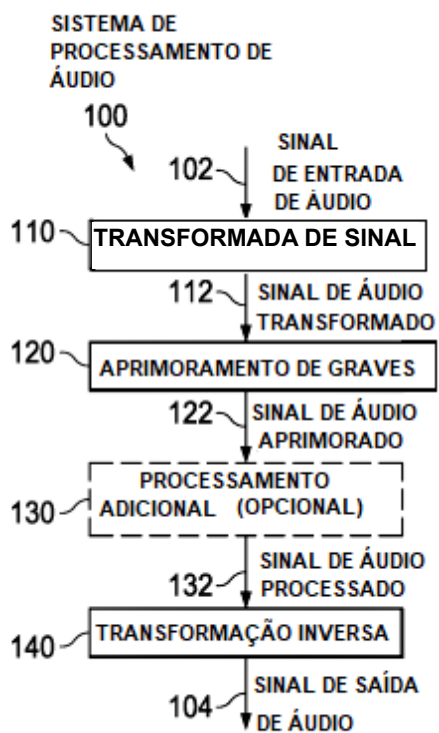
FIGURAS

FIG. 1

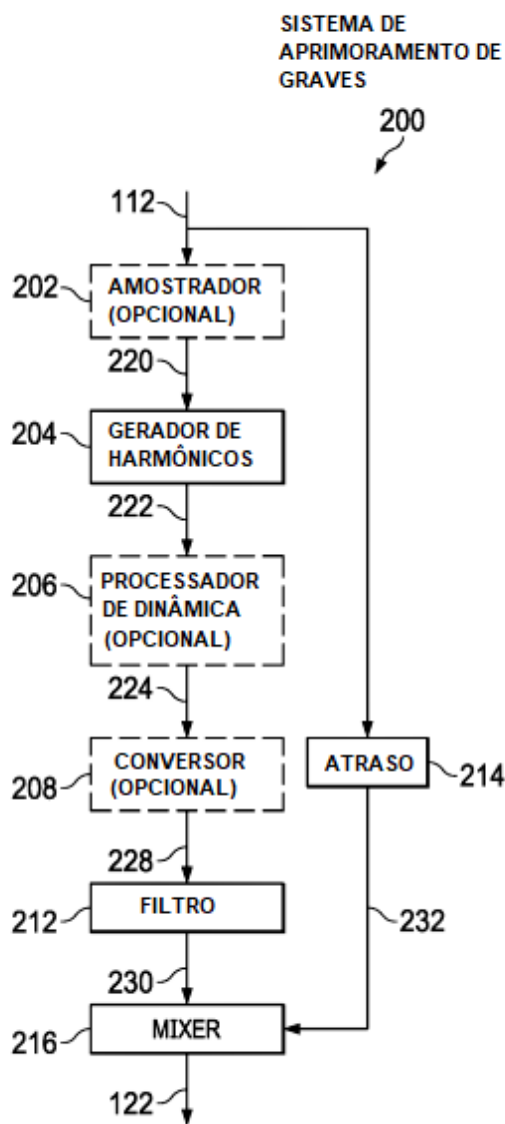


FIG. 2

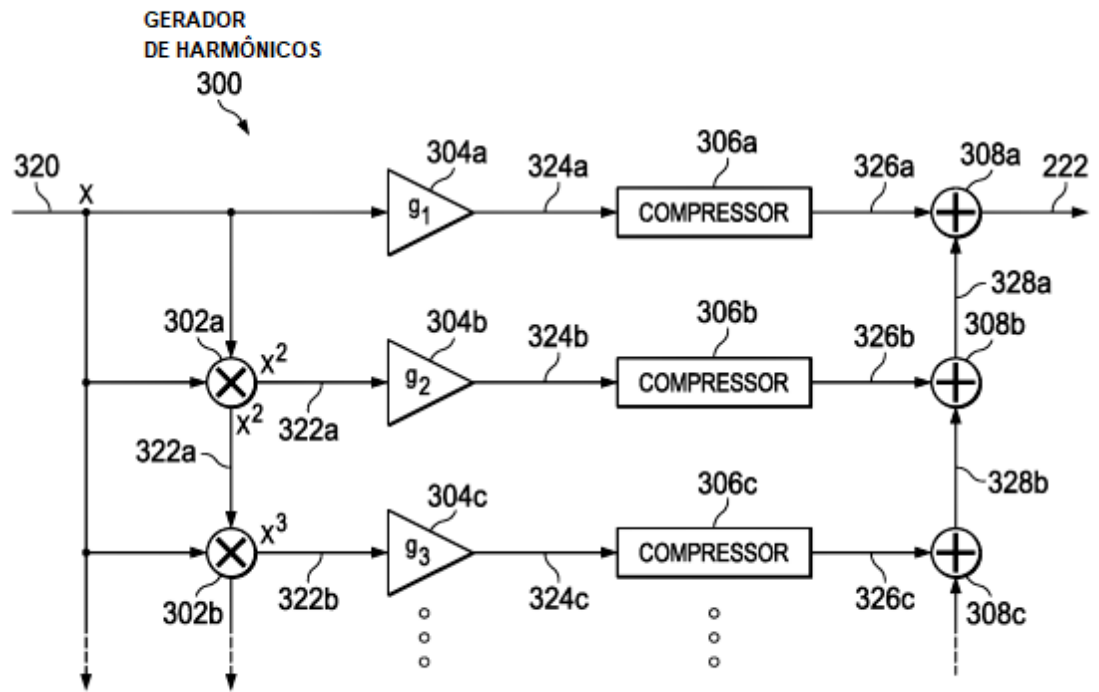
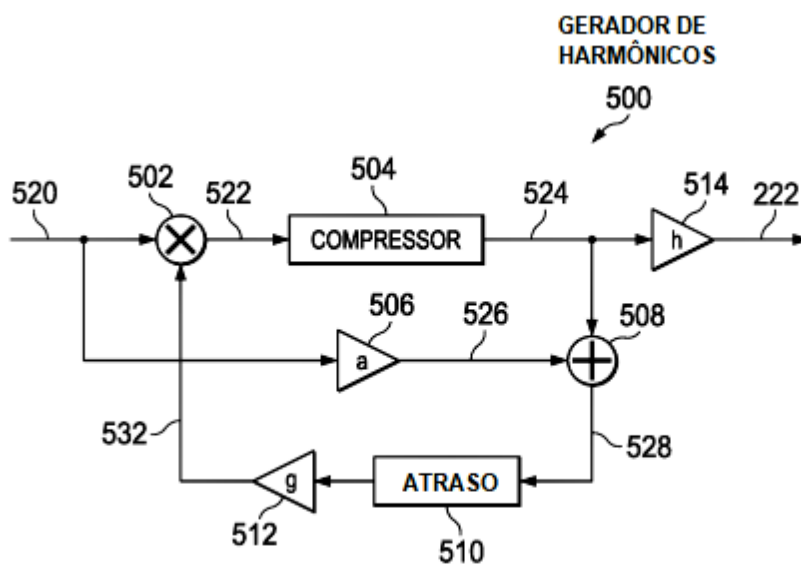
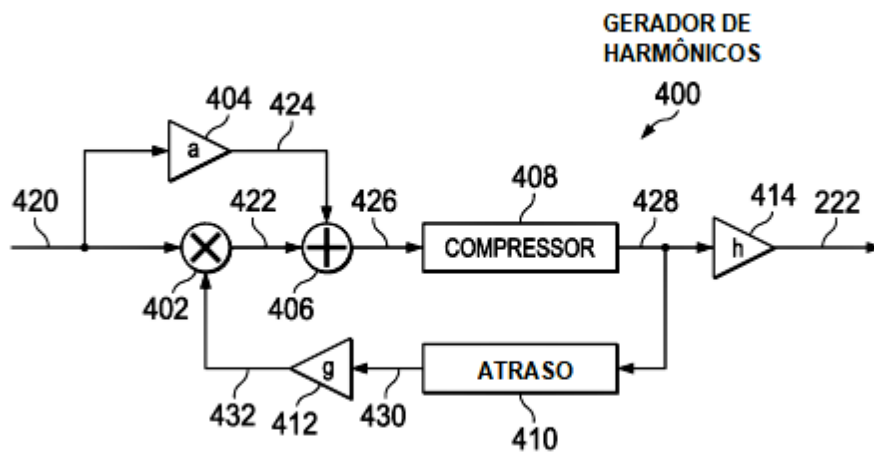
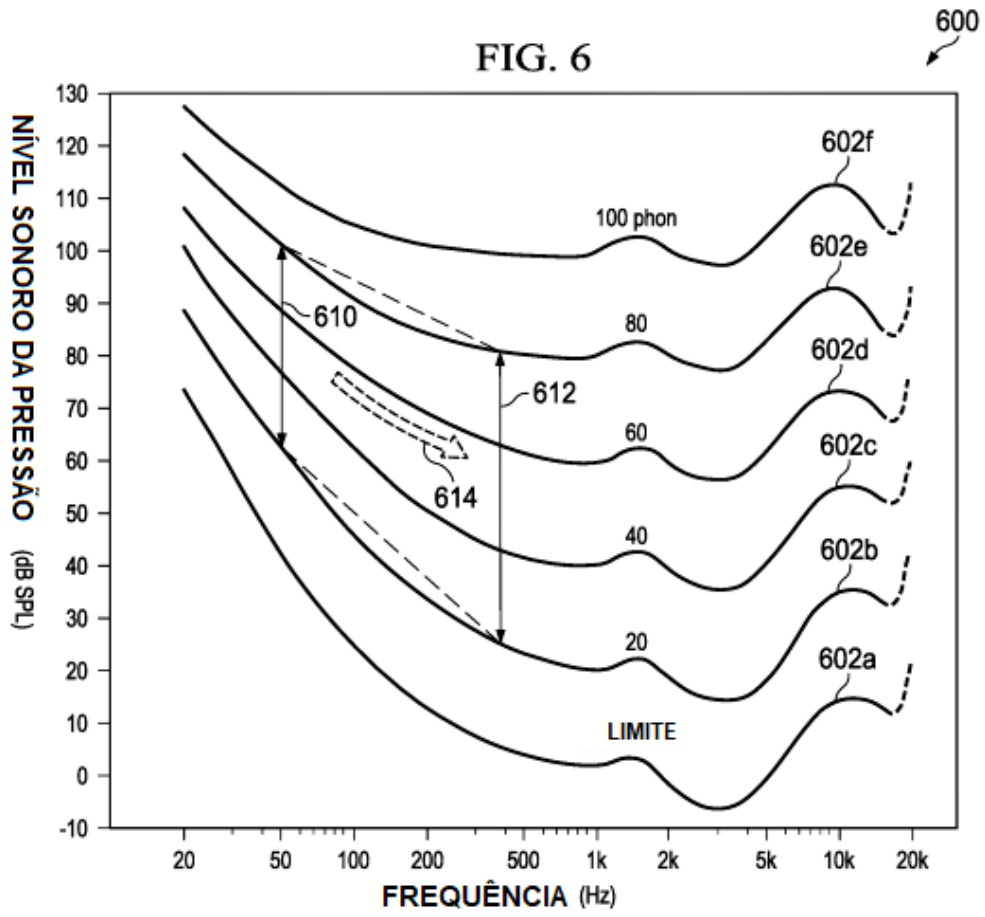
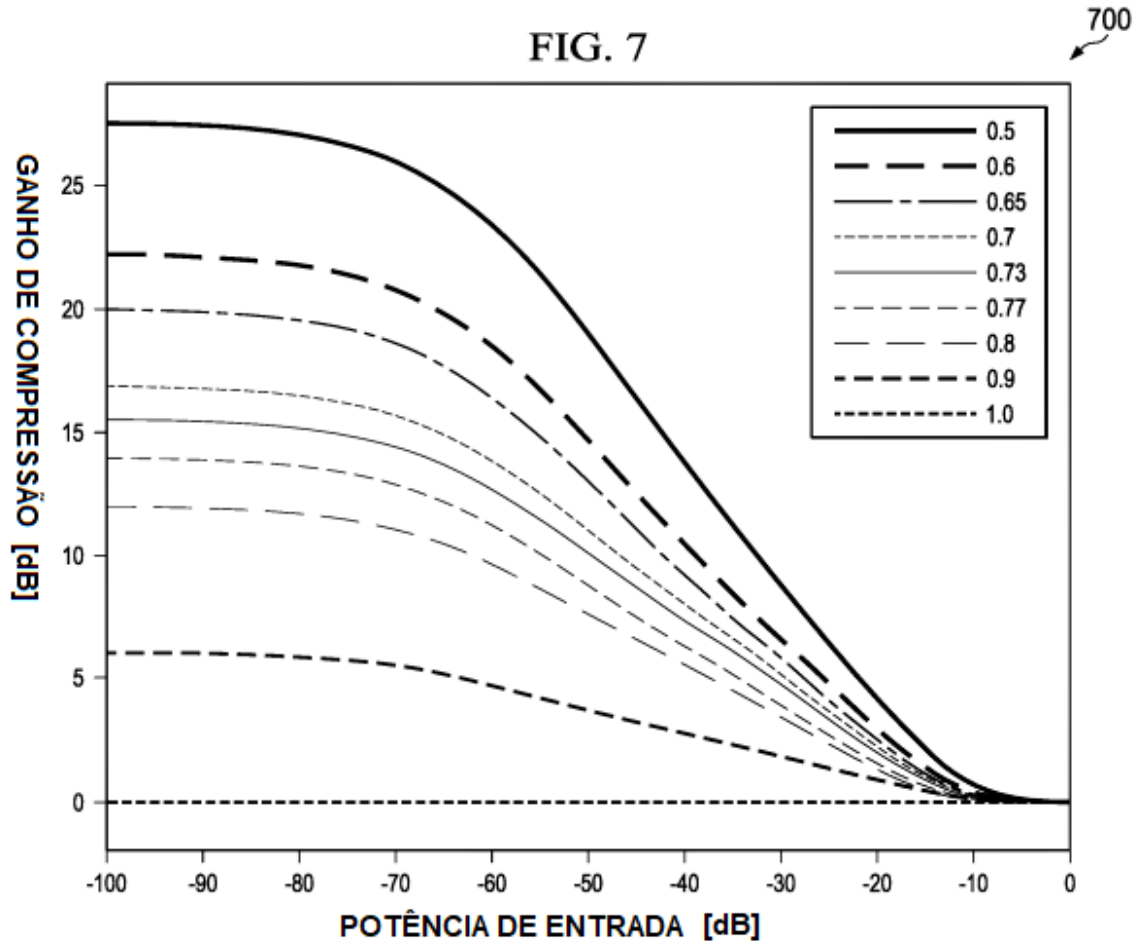
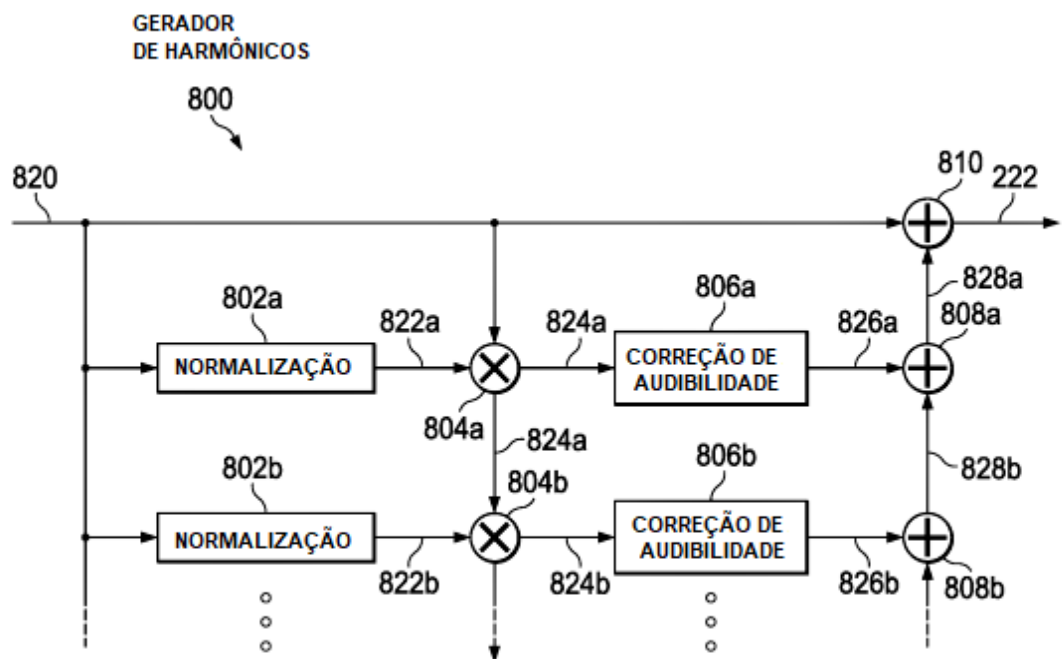


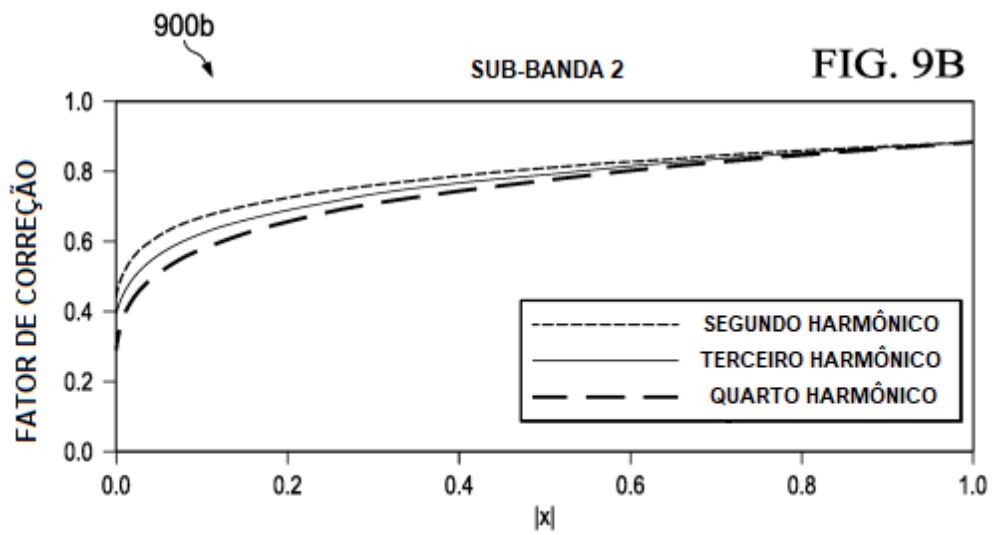
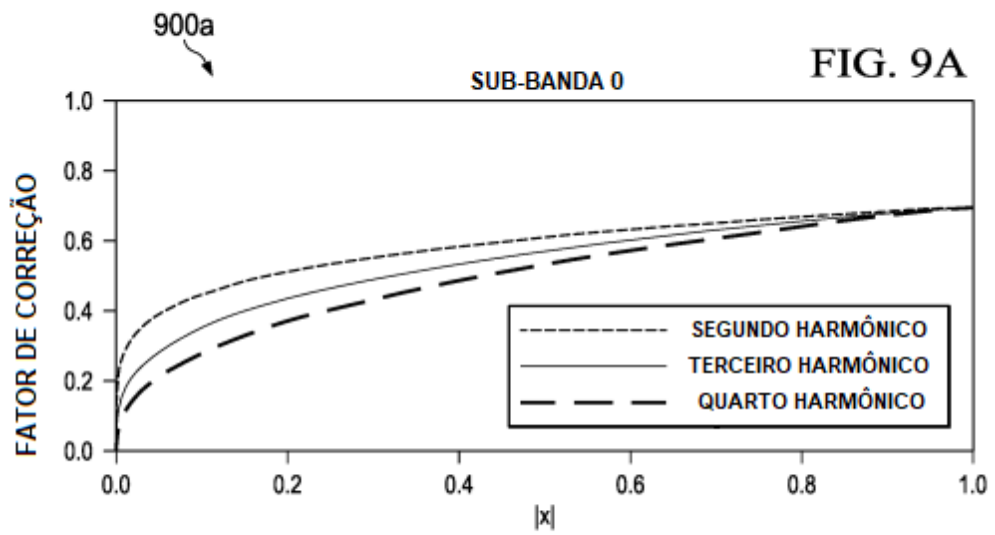
FIG. 3

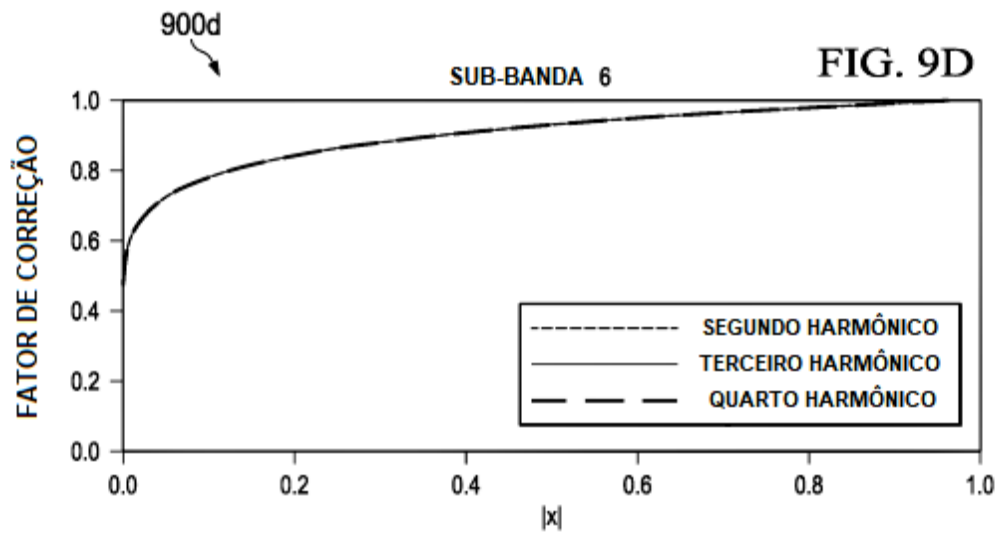
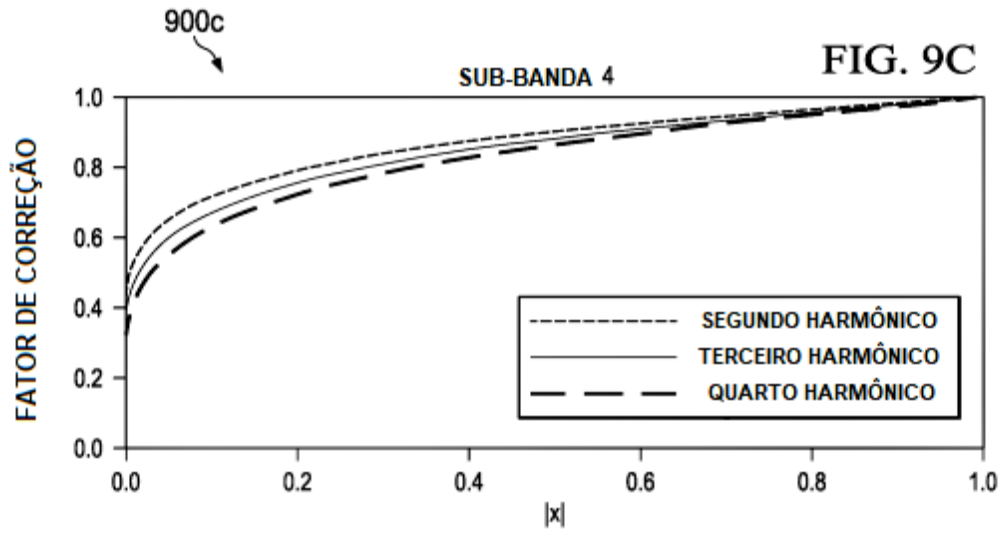


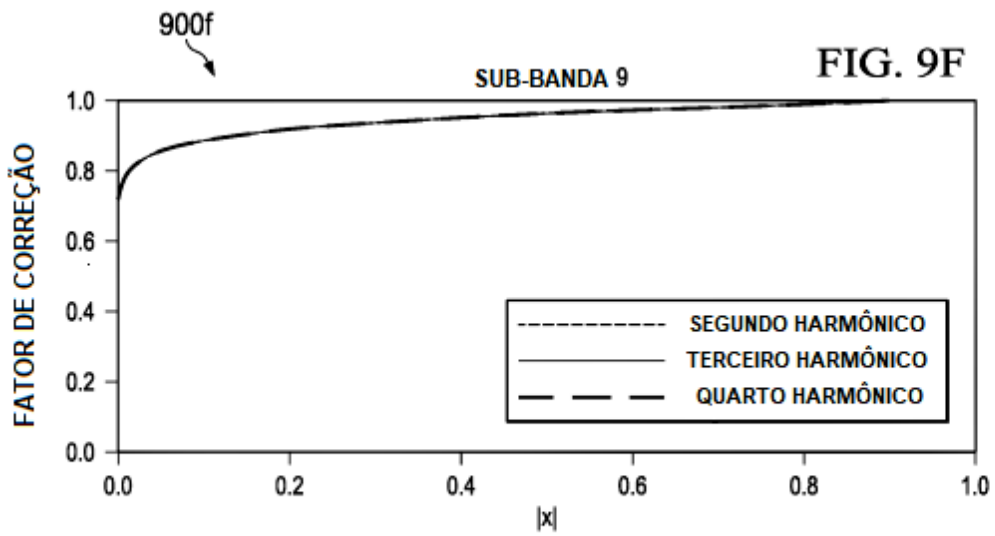
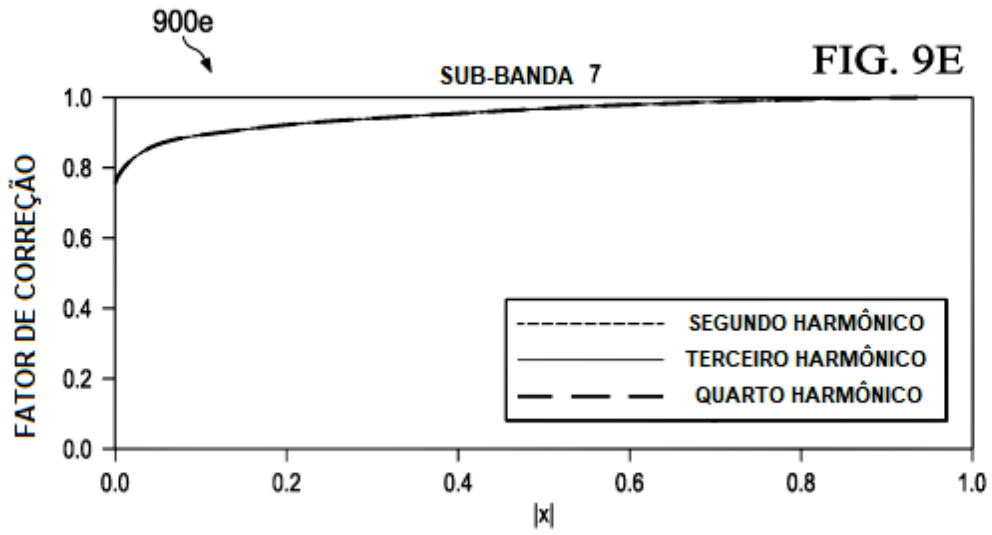












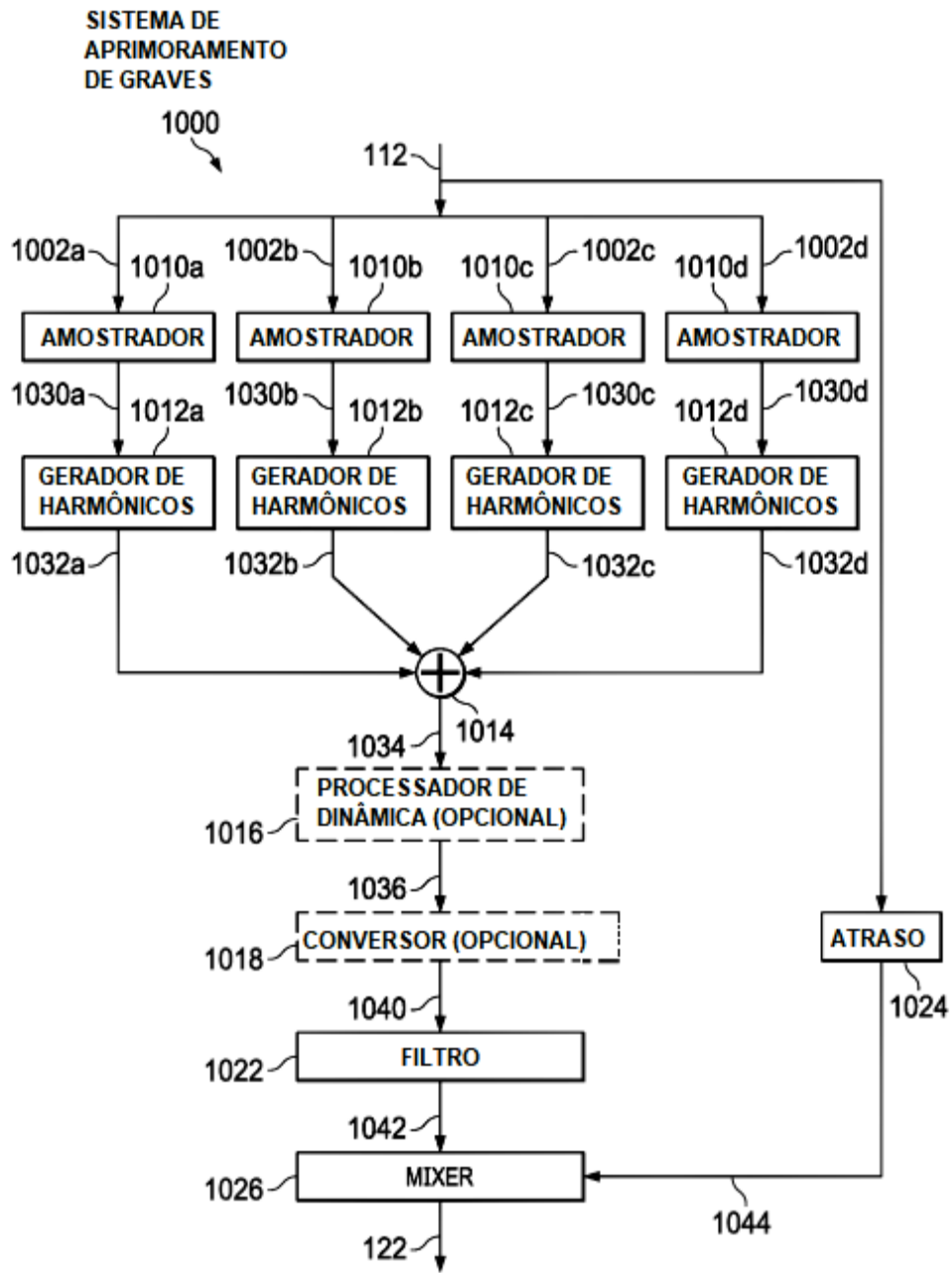
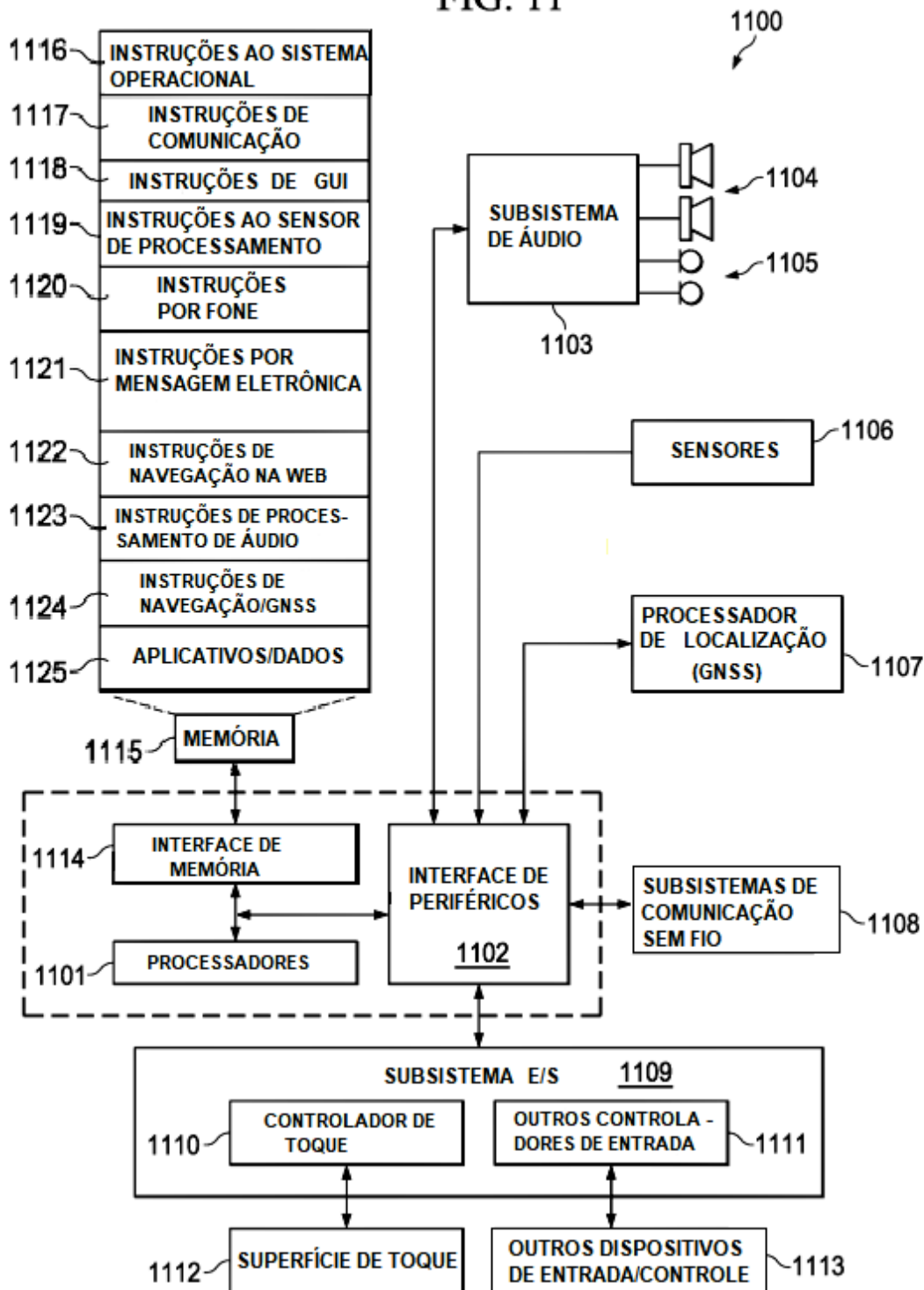


FIG. 10

FIG. 11



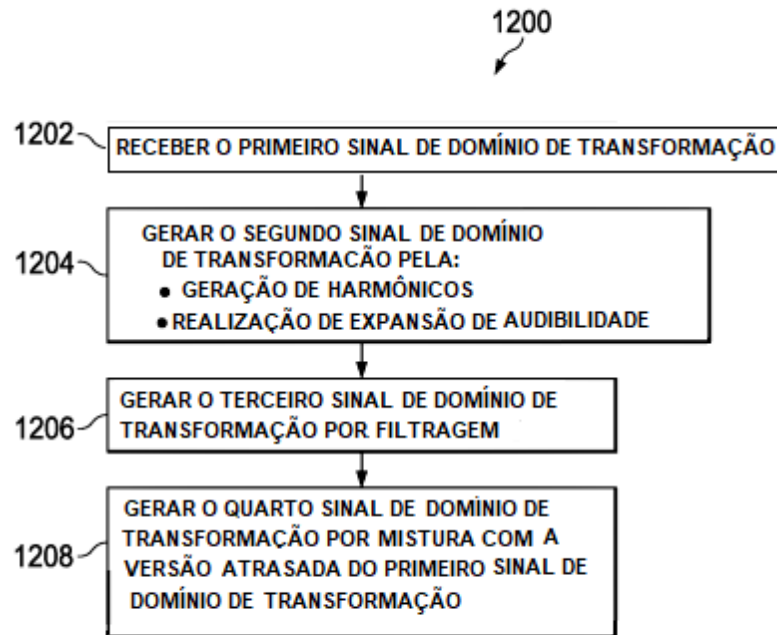


FIG. 12