



УКРАЇНА

(19) UA (11) 80982 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
H04B 1/66

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ СЛІДКУВАЛЬНОГО КОМПАНДУВАННЯ ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ

1

2

(21) a200501529

(22) 18.02.2005

(24) 26.11.2007

(72) ТУНИК ВОЛОДИМИР ФЕДОТОВИЧ, UA,  
ТУНИК ТАРАС ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA

(73) ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ  
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В.ЛАЗАРЯНА, UA

(56) US 5822370, 13.10.1998

US 3667047, 30.05.1972

UA 60159, 19.19.2003

US 3777064, 04.12.1973

SU 149239, 15.11.1962

SU 447853, 26.05.1975

UA 68927, 16.08.2004

(57) Пристрій для слідувального компандування частотного діапазону звукових сигналів на передавальній стороні, що містить каскадно з'єднані вхідний односмуговий модулятор, частотний компресор і каналний смугопрпускний фільтр, а на приймальній стороні - каскадно з'єднані частотний експандер і односмуговий демодулятор, який відрізняється тим, що на вході частотного компресора та частотного експандера уведено 3-5 слідувальних фільтрів формантного аналізу або таку ж кількість більш вузькосмугових слідувальних фільтрів

спектрального аналізу, причому на виході кожного слідувального фільтра формантного аналізу або спектрального аналізу уведено другі, подібні першим, частотний компресор та частотний експандер, які містять 3-6 більш вузькосмугових слідувальних фільтрів спектрального аналізу, а також у других частотному компресорі і частотному експандері за кількістю слідувальних фільтрів уведено слідувальні односмугові модулятори з боковою смугою різницевих частот у частотному компресорі та з боковою смугою сумарних частот у частотному експандері, і на виході других частотного компресора та частотного експандера уведено суматор, кожен вхід якого з'єднано з виходом одного з слідувальних односмугових модуляторів, сигнальний вхід слідувального односмугового модулятора з'єднано з виходом другого частотного компресора та частотного експандера та з виходом одного із вхідних слідувальних фільтрів, вихід частотного детектора якого з'єднано з керуючим входом кожного з слідувальних фільтрів, що входять до других частотного компресора та частотного експандера та з керуючим входом генератора, що входить до слідувальних односмугових модуляторів.

Винахід відноситься до електро- радіозв'язку і призначений в основному для збільшення пропускної спроможності та підвищення захищеності від перешкод систем передачі звукових сигналів за рахунок скорочення спектра (компресії частотного діапазону) при збереженні досить високої якості відтворення (експандування частотного діапазону) цих сигналів.

Проблема, яка існує, полягає в тому, що вокодери чи напіввокодери, які використовують у теперішній час для вирішення подібної задачі, мають відомі характерні перекручування телефонних сигналів.

Відомий пристрій для частотного компандування звукових сигналів, який на

передавальній стороні містить каскадне з'єднані односмуговий модулятор (ОМ), амплітудно-частотний коректор (АЧК), блок добування квадратного кореня (БДК) з аналітичного сигналу і смуго-пропускний фільтр (СПФ), розрахований на половину смуги спектра вхідних звукових сигналів, а на приймальній стороні - каскадне з'єднані блок зведення до квадрату (БЗК) аналітичного сигналу, відновлюючий АЧК і односмуговий демодулятор (ОД). [Патент України 60159 А, H04B1/66, Бюл.№9, від 15.09.2003].

Цей пристрій, у якому використано раніше невідомий принцип ідеального компандування частотного діапазону звукових сигналів, є найпростіша реалізація цього принципу. Але,

(13) C2

(11) 80982

(19) UA

оскільки стаціонарний АЧК, який повинен перетворювати спектр звукових сигналів згідно з умовами цього принципу, не є адекватний нестаціонарним змінам звукових сигналів, то на окремих звуках з'являються небажані перекручування наслідкових сигналів.

Найбільш близький аналог до заявленого технічного рішення прийнято пристрій для оптимального компандування частотного діапазону звукових сигналів, який на передавальній стороні містить в основному односмуговий модулятор (ОМ), аналізатор спектру (АС), блок перетворення спектру (БПС), синтезатор сигналів (СС), БДК і каналний СПФ, а на приймальній стороні - БЗК, АС, блок зворотного перетворення спектру (БЗПС), СС і односмуговий демодулятор (ОД). [Патент України 68927 А, Н04В1/66, Бюл.№8, від 16.08.2004].

У цьому пристрою використано раніше невідомі взаємо-зворотні перетворення спектру звукових сигналів за допомогою БПС та БЗПС у повної відповідності до умов ідеального частотного компандування звукових сигналів. У результаті, за рахунок ділення частоти за допомогою БДК кожної спектральної складової у два рази виходить зближення (ущільнення) цих складових у реальному часі.

Однак, оскільки стаціонарні аналізуючі фільтри у АС паралельної дії не є адекватними нестаціонарним складовим звукових сигналів, порівняно вузькосмуговий активний спектр яких повільно переміщується по значної частині відведеного стаціонарного частотного діапазону каналу зв'язку, то більшість виділених спектральних складових виявляються зайвими. Причому, для підвищення точності аналізу у таких АС збільшують кількість фільтрів, тому реалізація цього пристрою можлива лише таким оптимальним варіантом, у якому компромісна мінімальна кількість фільтрів у АС дозволяє одержати достатню якість відновлених звукових сигналів лише при двократній частотній компресії.

Технічною задачею, яка вирішується винаходом, є задача досягнення значно простішими засобами можливої степені частотної компресії при достатній якості відновлення звукових сигналів, що передаються.

Ця задача вирішується пристроєм, який на передавальній стороні містить каскадно з'єднані вхідний односмуговий модулятор (ОМ), частотний компресор (ЧК) і каналний смуго-пропускний фільтр (КФ), а на приймальній стороні - каскадно з'єднані частотний експандер (ЧЕ) і односмуговий демодулятор (ОД). Відрізняється цей пристрій тим, що на вході ЧК та ЧЕ уведено або 3-5 паралельно з'єднаних по входу слідувальних фільтрів (СФ) формантного аналізу, або певна кількість більш вузькосмугових СФ спектрального аналізу, або на виході кожного СФ формантного аналізу уведено другі, подібні першим, ЧК та ЧЕ, які містять 3-6 ще більш вузькосмугових СФ спектрального аналізу. Також у ЧК і у ЧЕ за кількістю СФ уведені слідувальні односмугові модулятори (СМ) з боковою смугою різницевої частоти у ЧК та з боковою смугою сумарних частот у ЧЕ, а на виході

ЧК та ЧЕ уведено суматор, кожен вхід якого з'єднано з виходом одного з СМ, сигнальний вхід якого з'єднано або з виходом другого ЧК та ЧЕ, або з сигнальним виходом одного із вхідних СФ, вихід частотного детектора (ЧД) якого з'єднано з керуючим входом кожного з СФ, що входять до других ЧК та ЧЕ, та з керуючим входом генератора, що входить до СМ.

Відома реалізація усіх зазначених СФ, які адекватні ЧМ сигналам [Виницкий А.С. Модулированные фильтры и следящий прием ЧМ сигналов. - М.: "Советское радио", 1969, Рис. 14.1], чи - АЧМ сигналам [Зайцев В.А. Структурно-сигнальные нестационарные фильтры как основа для построения следящих систем связи. Сб. статей под ред. А.С. Виницкого, А.Г. Зюко. - М.: "Советское радио", 1972, Рис. 2].

На фіг.1 креслення, що додається, наведено структурну електричну схему передавального пристрою, а на фіг.2 - приймального.

На цих схемах позначено вхідний односмуговий модулятор (ОМ) - 1, частотний компресор (ЧК) - 2, каналний смуго-пропускний фільтр (КФ) - 3, частотний експандер (ЧЕ) - 4, односмуговий демодулятор (ОД) - 5, слідувальний фільтр (СФ)- 6 формантного або спектрального аналізу, слідувальний односмуговий модулятор (СМ) - 7 різницевої частоти, суматор 8, слідувальний фільтр (СФ) - 9 формантного або спектрального аналізу, слідувальний односмуговий модулятор (СМ) - 10 сумарних частот, другий частотний компресор (ЧК) - 11 і другий частотний експандер (ЧЕ) - 12.

Входом передавального пристрою (Фіг.1) є вхід ОМ 1, вихід якого з'єднано з об'єднаним входом усіх СФ 6, що входять до ЧК 2. У варіантах формантного або спектрального компандування сигнальний вихід СФ 6 з'єднано з сигнальним входом СМ 7, керуючий вхід якого з'єднано з виходом ЧД, що входить до СФ 6, а у варіанті форматно-вузькосмугового компандування у сигнальному тракті між СФ 6 та СМ 7 присутній ЧК 11, керуючий вхід кожного СФ і СМ якого з'єднано також з виходом вказаного ЧД. Вихід кожного СМ 7 з'єднано з одним із входів суматора 8, вихід якого є виходом ЧК 2, який з'єднано зі входом КФ 3, вихід якого є виходом передавального пристрою.

Входом приймального пристрою (Фіг.2) є об'єднаний вхід усіх СФ 9 формантного або спектрального аналізу, що входять до ЧЕ 4. З'єднання сигнального та керуючого виходів СФ 9 з відповідними входами ЧЕ 12 та СМ 10, а також з'єднання виходу кожного із СМ 10 з одним із входів суматора 8 аналогічні тим, що має ЧК 2. Вихід ЧЕ 4 з'єднано з ОД 5, вихід якого є виходом приймального пристрою.

Працює запропонований пристрій наступним чином.

Звуковий сигнал певного рівня, обмежений за частотою згідно з відомими класами якості, надходить до входу ОМ 1 передавального пристрою (Фіг.1). Зсув спектра вхідного сигналу у область більш високих частот необхідно для спрощення реалізації основних блоків пристрою. Одержаний ОМ сигнал надходить одночасно на

вхід усіх СФ 6 формантного або спектрального аналізу. Оскільки при цьому ЧК 11 відсутній, то кожна з виділених за допомогою СФ 6 складових ОМ сигналу надходить до сигнального входу СМ 7. При використанні ЧК 11, фільтри СФ 6 повинні виділяти лише формантні складові ОМ сигналу, кожна з яких надходить одночасно до входу усіх СФ вузькосмугового спектрального аналізу, які входять до цього ЧК 11, наслідковий сигнал якого надходить до входу СМ 7.

У початковий момент появи звукового сигналу, коли він уявляє собою короткий імпульс, широкосмуговий спектр якого є суцільно-однорідним, усі СФ, що входять до ЧК 2, залишаються стаціонарними, бо на виході типового ЧД, що входить до цих СФ, напруга відсутня, тому СФ 6, СМ 7 і усі СФ та СМ, що входять до ЧК 11, зберігають свій початкове настроєний стан. Саме, усі СФ, що входять до ЧК 2 і до ЧК 11, мають фіксовану резонансну частоту такого значення, при якій їх частотні характеристики рівномірно розподілені на частотному діапазоні вхідного для них сигналу, а смуга пропускання частот цих фільтрів є значно меншою за частотний інтервал між їх резонансними частотами. Перехідна частота ЧД, що входить до кожного СФ, дорівнює його резонансній частоті, а смуга пропускання частот ЧД має таку певну величину, яка значно перевищує смугу пропускання СФ.

Частота генератора усіх СМ, що входять до ЧК 2, підбирається в залежності від смуги пропускання СФ і є відповідно меншою величиною за їх резонансної частоти. Такі СМ зміщують спектр складових, які виділені з однорідного спектру стаціонарними СФ, на певну значно більш низьку різницеву частоту. У результаті, на виході суматора 8 одержується ущільнений за частотою компресійний сигнал, але він зберігає лише незначну частину спектральної енергії вхідного сигналу.

З часом, коли з'являться декілька коливань у вхідному для СФ 6 сигналі, на його текучому спектрі почнуть формуватися окремі порівняно широкосмугові резонансні області концентрації спектральної енергії - форманти. Відомо, що саме резонансна частота формант змінюється повільно і на досить широкому діапазоні. Зрозуміло, що не усі форманти сформуються одночасно. З початку проявить себе найбільш швидкий на даний момент - високочастотний (не обов'язково найбільш швидкий з можливих) формантний сигнал, а за ним по черзі - більш повільні - низькочастотні формантні сигнали до встановлення усіх формант на відведеному стаціонарному діапазоні частот звукових сигналів, що передаються.

Як тільки частина спектральної енергії ВЧ форманти з'явиться у деякій області характеристики найближчого по частоті початкової настройки СФ 6, на виході його ЧД з'явиться певної величини і певного знаку постійна для даного моменту напруга, яка відповідно підстроїть цей СФ 6 та зв'язані з ним ЧК 11 і СМ 7, які тепер перестають бути стаціонарними. З цього моменту починається процес початкового захоплення

частоти ВЧ форманти вказаним СФ 6, тобто цей СФ 6 вступає у режим автоматичної самонастройки на повільну миттєву частоту цієї форманти.

Відомо, що математичне моделювання, та експериментальні дослідження, реальних СФ показали чітку та надійну самонастройку їх. Починаючи від початкового захоплення частоти вхідного для СФ сигналу, закінчуючи переходом СФ за достатньо короткий проміжок часу у режим почти синфазного слідування за цією частотою, процес самонастройки відбувається надійно незалежно від зміни огинаючої АЧМ сигналу при умови, що ці зміни знаходяться вище порога обмеження ЧД за рівнем, також незалежно від співвідношення до певної кількості разів частот вхідного сигналу і початкової настройки СФ, а також при усіх співвідношеннях більш одиниці рівнів сигналу та перешкод.

З урахуванням цих особливостей процесу самонастройки не виключено захоплення частоти ВЧ форманти сусідніми СФ 6. Але для сусіднього зліва - нижчого за частотою СФ 6 це може продовжуватися лише до того, як почнеться формуватися АЧМ сигнал наступної форманти. Коли рівень цього сигналу перевищить рівень завади від сигналу ВЧ форманти, цій сусідній СФ 6 захопить частоту саме наступної форманти, а сусідній справа - вищий за частотою СФ 6, в залежності від співвідношення смуги пропускання цього СФ 6 та його ЧД, виділить лише певну частину спектру ВЧ форманти незначної енергії. Так, за аналогією прийому широкосмугових ЧМ сигналів сукупністю реальних різних за частотою настройки вузькосмугових слідувальних ЧМ радіоприймачів, отримується адекватний звуковим сигналам частотний розподіл їх формантних АЧМ складових або усіма, або частиною СФ 6, що залежить від кількості формант.

При наступному збільшенні кількості коливань у вхідному для СФ 6 сигналі, коли з'являться повторення деякого циклу коливань, у спектрі формантних сигналів почнуть формуватися гострі та порівняно вузькі резонансні області на основній та на приблизно кратних частотах, а значення спектральної енергії на інтервалах між цими резонансними частотами почнуть відповідно зменшуватися. Це означає, що тепер активна частина спектру формант зберігається в основному у цих гострих резонансних областях, тому, за аналогією з частотним розподілом формант, або усі СФ 6 спектрального аналізу, або їх частина розподілять безпосередньо зазначені резонансні області спектру адекватно звуковим сигналам і узгоджено з їх поточним спектром. Відбувається автоматична адаптація СФ 6 до зміни спектру.

При достатньо великій тривалості звукових сигналів з явно вираженою повторністю коливань резонансні області спектру стають настільки вузькими, що вони навіть вузькосмуговими СФ спектрального аналізу, що входять до ЧК 11, надійно захоплюються. Саме для підвищення надійності захоплення, ці СФ попередньо примусово зовнішньо настроюються синфазно з

повільною зміною миттєвої частоти відповідної форманти.

Відомо, що перехідний процес самонастройки СФ 6 практично закінчується при досягненні приблизної рівності миттєвих резонансних частот фільтра та відповідної АЧМ складової вхідного для СФ 6 сигналу і усі слідкувальні фільтри та слідкувальні модулятори, що входять до ЧК 2, у приведеній шкалі часу до закону зміни миттєвої резонансної частоти СФ 6 можна розглядати як стаціонарні. При цьому, умова припинення процесу самонастройки забезпечується при збігу за фазою векторів струму та напруги, яка прикладена до СФ. Так настає режим почти синфазного слідкування усіма СФ 6, СМ 7 та СФ, що входять до ЧК 11, за повільними змінами частоти вхідного для них сигналу. Саме, завдяки цим повільним змінам, вказані слідкування відбуваються також надійно, як і самонастройка усіх СФ. У цьому режимі, аналогічно як і у режимі стаціонарних СФ, на виході суматора 8 одержується для кожного моменту компресійний за частотою сигнал. Але тепер ущільненню підпали активні складові спектру, які зберігають достатньо повну інформацію про вхідний звуковий сигнал. У реальному часі активний спектр одержаного компресійного сигналу переміщується на значно зменшеному за початковий частотному діапазоні. Саме така частотна компресія є необхідною умовою високоякісного частотного командування сигналів.

Попередні розглядання поточних перетворень у ЧК 2 в окремі моменти свідчать про те, що досягнуті частотні ущільнення складових звукових сигналів відбуваються у реальному часі.

Одержаний компресійний сигнал після проходження без суттєвих переключень через КФ 3 передається по відповідній вузькосмуговому каналу зв'язку. При цьому, КФ 3 необхідний лише для затримання побічних продуктів перетворень.

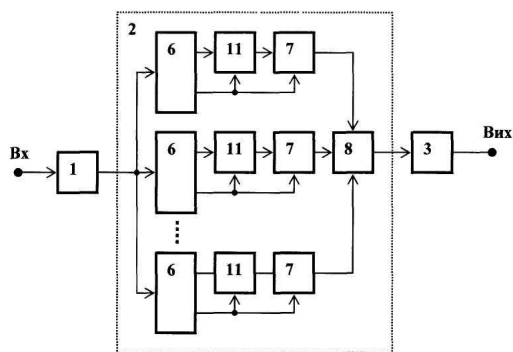
З виходу каналу зв'язку компресійний сигнал надходить одночасно на вхід усіх СФ 9, що входять до ЧЕ 4 приймального пристрою (Фіг.2). Перетворення у ЧЕ 4 та ЧК 2 суворо зворотні, що є достатньою умовою високоякісного командування частотного діапазону звукових сигналів. Відрізняються ці перетворення в основному лише тим, що СМ 10 і СМ, що входять до ЧЕ 12, виробляють ОМ сигнал з боковою смугою сумарних частот, в результаті чого на виході суматора 8, тобто на виході ЧЕ 4 одержується відновлений ОМ сигнал, а на виході ОД 5 - вхідний звуковий сигнал достатньо високої якості звучання.

Запропонований пристрій дозволяє використовувати його або тільки як формантний компандер, коли СФ 6 виділяють формантні АЧМ складові звукових сигналів без використання ЧК 11, або тільки як спектральний компандер, коли СФ 6 виділяють безпосередньо спектральні складові звукових сигналів також без використання ЧК 11, або як формантно-вузькосмуговий компандер, коли СФ 6 виділяють формантні АЧМ складові звукових сигналів, а СФ, що входять до

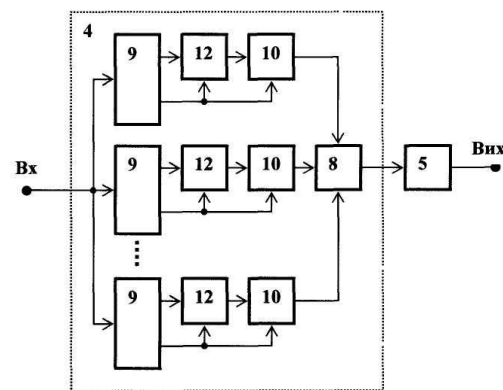
ЧК 11, - вузькосмугові спектральні складові відповідних формантних АЧМ сигналів.

Ця варіантність пристрою дозволяє одержати порівняно простий формантний компандер і, незалежно від відомої проблеми основного тону, отримати, порівняно з кращими формантними вокодерами, підвищення якості командування телефонних сигналів. Більш складний спектральний компандер дозволяє одержати значно більш високу якість відновлення звукових сигналів. Подібний за складністю та за якістю відновлення звукових сигналів, але такий, що має значно більш високий коефіцієнт частотної компресії, є формантно-вузькосмуговий компандер, у якому, в залежності від потрібної якості відновлення звукових сигналів, можливо утримати лише від 3 до 6 вузькосмугових СФ, бо мала енергія "хвостів" спектру кожної форманти.

Таким чином, запропонований пристрій у принципі дійсно вирішує поставлену тут задачу. Тому, як наслідок, він без сумніву є реально корисним пристроєм і це, особливо, завдяки існуючим альтернативам у реалізації такого конкретного компромісного аналогового, чи цифрового пристрою, який би задовольнив потрібним умовам вирішення технічної задачі збільшення до певної ступені пропускної спроможності та підвищення захищеності від перешкод систем передачі звукових сигналів при збереженні їх достатньо високої якості звучання.



Фіг. 1



Фіг. 2