

Изобретение относится к области цифровой техники, в частности, к технике преобразования аналоговых сигналов в дискретные и может быть использовано в средствах записи и воспроизведения звука, в средствах идентификации звуковых сигналов (например, для распознавания речи), в системах обработки звуковых сигналов и системах передачи звуковых сигналов.

В настоящее время для кодирования звука обычно используется аналого-цифровое преобразование диаграммы звукового давления, при котором через заданные интервалы времени с определенным числом двоичных знаков регистрируется уровень звукового давления. При использовании аналого-цифрового преобразования звукового сигнала требуется сравнительно сложное оборудование для кодирования и декодирования звука, при этом не обеспечивается минимум количества информации в коде звука [1].

Наиболее близким к заявленному по технической сущности является способ преобразования непрерывных сигналов (в том числе звуковых) в дискретные сигналы, удобные для кодирования и передачи непрерывных сообщений. Согласно этому способу производят амплитудно-импульсную модуляцию сигналы с интервалом времени, регистрируют через эти интервалы уровень сигнала (звукового давления), получая отсчеты, преобразуют результаты регистрации к виду определенного числа двоичных разрядов, получая сигнал в закодированном шифрованном виде, удобном для передачи, записи, последующего декодирования и воспроизведения сигналов [2].

Недостатками вышеприведенного способа являются: сложность технических средств реализации выполнения операций кодирования и декодирования звукового сигнала, а также невозможность уменьшения и сведения к минимуму количества символов (двоичных чисел, например) в коде звукового сигнала.

В основу изобретения положена задача создать такой способ, который позволит уменьшить количество запоминаемой информации о звуке и повысить качество воспроизведения звука.

Такой технический результат достигается тем, что в способе кодирования звука, заключающемся в том, что осуществляют преобразование аналогового звукового сигнала в аналоговый электрический сигнал и осуществляют импульсную модуляцию электрического сигнала, согласно изобретению осуществляют частотную модуляцию аналогового электрического сигнала, преобразуют его в последовательность импульсов стабильных параметров с изменяющимся периодом, затем усиливают этот импульсный сигнал, после чего из усиленной последовательности импульсов вычитают постоянную величину напряжения и тем самым получают эквивалентный дискретный электрический сигнал, который подают на звуковоспроизводящее устройство.

Указанная цель достигается использованием эффекта сглаживания в слухе. Экспериментально исследуя свойства слухового анализатора, авторы отыскивали описываемые ниже закономерности слуха, при которых обеспечивается минимально возможный объем запоминаемой информации о звуке, воспроизводимом без искажений. Исходная частотно-импульсная модуляция звукового сигнала синхронизируется, для чего вводятся отметки дискретного времени, и каждый импульс задерживается во времени, смещаясь на ближайшую отметку времени. В результате получаем синхронизированный частотно-импульсный код звука.

На фиг.1 изображена схема примера реализации предложенного способа. В схему входят следующие узлы: 1 - микрофон; 2 - усилитель; 3 - источник образцового постоянного напряжения; 4 - сумматор; 5 - интегрирующее устройство; 6 - источник образцового постоянного напряжения; 7 - компаратор двух напряжений; 8 - формирователь импульсов; 9 - блок измерения и кодирования; 10 - устройство записи кода звука; 11 - усилитель; 12 - источник постоянного напряжения; 13 - вычитающее устройство; 14 - переключатель; 15 - звуковоспроизводящее устройство (громкоговоритель или телефон).

На фиг.2 показаны временные диаграммы, поясняющие работу схемы примера реализации (фиг.1). В частности: фиг.2а - сигнал с выхода микрофона 1; фиг.2б - сигнал на выходе сумматора 4; фиг.2в - сигнал $U_k(t)$ на выходе компаратора 5; фиг.2г - сигнал $U_f(t)$ на выходе формирователя 8; фиг.2д - интервалы времени T_1 , T_2 , T_3 между импульсами формирователя 8, заполненные тактовыми импульсами

$$f = \frac{1}{T}$$

стабильной частоты ; фиг.2е - сигнал $U_{\text{вых}}$ на выходе вычитателя 13.

Функциональные узлы (фиг.1) соединены следующим образом. Выход микрофона 1 соединен со входом усилителя 2. Выход усилителя 2 соединен с одним из входов переключателя 14 и с первым входом сумматора 4, ко второму входу которого присоединен выход источника образцового напряжения 3. Выход сумматора 4 соединен со входом интегратора 5, выход которого присоединен к первому входу компаратора 7. Выходы источника образцового постоянного напряжения 6 соединены с интегратором 5 и со вторым входом компаратора 7. Выход компаратора 7 присоединен ко входу формирователя 8, выход которого соединен с интегратором 5 (с устройством его обнуления) и, кроме того, выход формирователя 8 соединен со входом блока измерения и кодирования 9, выход которого присоединен к устройству записи кода звука 10. Выход формирователя также соединен со входом усилителя 11, выход которого присоединен к первому входу вычитателя 13, ко второму входу которого присоединен выход источника постоянного напряжения 12. Выход вычитателя 13 присоединен к одному из входов переключателя 14, ко второму входу переключателя 14 подключен выход усилителя 2, а выход переключателя 14 соединен со входом звуковоспроизводящего устройства 15 (телефона или громкоговорителя).

Для реализации предлагаемого способа выполняют следующие операции:

1) исходный звуковой аналоговый сигнал преобразуют в аналоговый электрический сигнал (для этого звуковой сигнал подают на микрофон 1, подключенный ко входу усилителя 2, на выходе которого образуется усиленный аналоговый электрический сигнал, пропорциональный исходному звуковому сигналу);

2) полученный электрический аналоговый сигнал подают на частотно-импульсный модулятор

(состоящий из сумматора 4, образцового источника напряжения 3, интегратора 5, образцового источника напряжения 6, компаратора 7 и формирователя импульсов 8). С помощью модулятора осуществляют частотно-импульсную модуляцию аналогового электрического сигнала, преобразуя его в последовательность импульсов стабильных параметров с изменяющимся периодом (модулированный частотно-импульсный сигнал);

3) усиливают импульсный модулированный сигнал (усилителем 11);

4) вычитают из усиленной импульсной последовательности постоянную величину напряжения. Для этого на вход вычитателя 13 подают усиленные модулированные импульсы напряжения с выхода усилителя 11, а также подают постоянную величину напряжения от источника 12), тем самым получают эквивалентный электрический дискретный сигнал.

Подают эквивалентный электрический дискретный сигнал на звуковоспроизводящее устройство 15 через переключатель 14 (положение "а") и получают эквивалентное звучание, такое же как и при подаче аналогового сигнала с выхода усилителя 2 через переключатель 14 (положение "б") на звуковоспроизводящее устройство 15.

В примере реализации способа, показанном на фиг.1, осуществляются следующие преобразования.

Сигнал звука $A(t)$ подают на вход микрофона 1, преобразующий звук $a(t)$ в пропорциональное электрическое напряжение $V(t)$ на выходе микрофона 1 (фиг.2а). Электрический сигнал $V(t)$ поступают на усилитель 2 и после усиления суммируется с постоянным напряжением 3: после суммирования на выходе сумматора 4 получается сигнал - напряжение $U(t) = K \cdot V(t) + b$, (фиг.2б), где $V(t)$ электрический сигнал (напряжение) на выходе микрофона 1; K - коэффициент усиления усилителя 2; b - постоянное напряжение источника 3. После этого сигнала $U(t)$ подается на интегратор 5, производящий

$$\int_{t_1}^{t_1 + 1} V(t) dt$$

интегрирование до тех пор, пока интеграл не станет равным постоянной величине - напряжению, заданному образцовым источником напряжения 6. При достижении

$$\int_{t_1}^{t_1 + 1} V(t) dt = U_b = \text{const}$$

срабатывает компаратор 7, выдавая короткий импульс (фиг.2в).

По переднему фронту импульса компаратора происходят два процесса:

1) обнуление (сброс) интегратора;

2) выдача формирователем 8 импульса постоянной длительности и амплитуды (фиг.2г).

При изменении входного сигнала (звука) пропорционально изменяется электрический сигнал на входе

$$\int_{t_1}^{t_1 + 1} V(t) dt = \text{const}$$

усилителя 2, а также изменяется время интегрирования, за которое достигается . Поэтому при изменении входного сигнала происходит изменение периода между импульсами, выдаваемыми формирователем 8. Выдаваемые формирователем импульсы показаны на фиг.2, они представляют собой частотно-импульсную модуляцию электрического сигнала с выхода микрофона 1.

Информация об изменении звукового сигнала содержится только в одном информативном параметре

$$f_{\text{имп}} = \frac{1}{T_1}$$

- частоте импульсов (где T_1 - период времени между предыдущим и последующим импульсами). Для цифрового кодирования сигнала звука вместо частоты удобнее использовать интервалы времени T_1 между предыдущим и последующим импульсами. Поэтому в блоке измерения и кодирования 9 интервалы времени T_1 между импульсами заполняются измерительными импульсами тактовой частоты ($T_{\text{такт}}$ - период тактовых импульсов), запуск которых синхронизирован с импульсами частотно-модульной модуляции (фиг.2д). Временные интервалы между импульсами преобразуются в цифровой код, соответствующий не точному значению отрезка времени, а ближайшего к нему дискретному значению, задаваемого соответствующей отметкой времени измерительных импульсов тактовой частоты. Интервал времени между первым импульсом (см. фиг.2д) и вторым равен $T_1 = N_1 T$ и может быть закодирован числом импульсов N_1 , аналогично интервал времени между вторым и третьим импульсом может быть закодирован числом импульсов N_2 и т.д. (см. фиг.2д). Поскольку при таком кодировании временных интервалов T_1 , T_2 , и т.д. необходимо использовать большое количество символов в коде (число десятичных символов равно количеству импульсов N_1 , N_2 , N_3 и т.д.), то в блоке измерения и кодирования 9 использован иной тип кодирования. Его сущность состоит в том, что минимально возможный интервал времени $T_{\min} = N_{\min} \cdot T$ кодируется символом "0", а наибольший интервал времени между импульсами модуляции $T_{\max} = N_{\max} \cdot T$ кодируется числом импульсов

$$N_{\max} - N_{\min} = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T}.$$

В случае выполнения равенства $T_{\max} - T_{\min} = T$ отношение $\frac{T_{\max} - T_{\min}}{T} = 1$, при этом $N_{\max} - N_{\min} = 1$, что соответствует минимальному количеству в коде: интервал $T_{\min} = N_{\min} \cdot T$ кодируется символом "0", а интервал $T_{\max} = N_{\max} \cdot T$ - кодируется символом "1".

Поскольку при частотно-импульсной модуляции возможны интервалы T_1 между импульсами, не точно равные T_{\max} или T_{\min} , то в блоке измерения и кодирования предусмотрено образованию кода "0", если

$$T_1 < T_{\min} + \frac{T}{2} \text{ и образование кода "1", если } T_1 \geq T_{\min} + \frac{T}{2}, \text{ так как } T_{\max} - T_{\min} = T.$$

Образованный в блоке измерения и кодирования 9 код записывается в устройство записи кода 10. Записанные коды содержат информацию о временных интервалах между импульсами частотной модуляции сигнала (фиг.2г) (эти интервалы такие же, как и интервалы у дискретного эквивалентного сигнала на выходе вычитателя 13). Декодирование записанной информации сводится к восстановлению исходных интервалов времени между импульсами и воспроизведению сигнала частотно-импульсной модуляции в том же виде, в котором он был на выходе формирователя 8 (такие же интервалы времени между импульсами сигнала на выходе вычитающего устройства 13).

Для воспроизведения звукового сигнала без искажения и шума импульсную последовательность, модулированную по частоте, с выхода формирователя 8 подают на вход усилителя 11, после этого усиленные импульсы подают на вход вычитателя 13, на второй вход которого подают постоянную величину напряжения, задаваемую источником 12, и получают на выходе вычитателя 13 разностный сигнал $U_{\text{вых}}(t)$ (фиг.2е), который через переключатель 14 (находящийся в положении "а"), поступает на устройство воспроизведения звука 15 (громкоговоритель или телефон). При этом звуковой эффект получается тот же, что и при положении "б" переключателя 14, когда на звуковоспроизводящее устройство 15 подается аналоговый электрический сигнал непосредственно с выхода микрофонного усилителя 2.

Конкретность предлагаемого способа авторами подтверждена экспериментально. При определенных параметрах преобразования (модуляции), характерных для слуха человека, наблюдалась полная идентичность слухового восприятия двух различных сигналов:

1) импульсного сигнала, поданного на громкоговоритель 15 (положение ключа "а") с выхода вычитателя 13;

2) непрерывного исходного сигнала звука, поданного с выхода микрофонного усилителя 2 на громкоговоритель 15 (положение ключа "б").

Экспериментально установлено, что неискаженное и незашумленное воспроизведение звука наблюдается при выполнении условий

$$T_{\max} \leq a; T \leq b \cdot T_{\min},$$

где a и b - константы слуха человека;

T_{\max} и T_{\min} - соответственно наибольший и наименьший интервалы времени между соседними импульсами сигнала частотно-импульсной модуляции звука;

T - интервал времени между соседними отметками дискретного времени (период тактовых импульсов).

Минимум количества символов в коде звука, обеспечивающих отсутствие потери информации о звуке при кодировании достигается при следующих параметрах преобразования;

$$T_{\max} = a; T_{\min} = a/(1+b); T = a \cdot b/(1+b).$$

Для лиц с нормальным слухом, согласно проведенным авторами экспериментам, получены следующие численные величины вышеуказанных параметров: $a = 50\text{мкс}$; $b = 0,02\text{мкс}$; $T_{\max} = 50\text{мкс}$; $T_{\min} = 49\text{мкс}$; $T = 1\text{мкс}$. Как показали проведенные эксперименты, при указанных параметрах преобразования обеспечивается неискаженное и незашумленное воспроизведение звука и, кроме того, обеспечивается минимизация символов (двоичных знаков) в коде звука.

Преимущество предлагаемого способа по сравнению с известными состоит в том, что он позволяет осуществлять кодирование с меньшим числом символов (двоичных знаков) и поэтому обеспечивает возможность осуществлять запись большого числа информации на магнитные диски или магнитные ленты.

Для подтверждения этого преимущества приведем результаты расчета для известного способа и предполагаемого.

Допустим, что известным способом мы произвели отсчеты звукового сигнала через равноотстоящие промежутки времени, равные Δt . Поскольку для звукового сигнала верхняя частота слышимых звуков равна $f_b = 20\text{кГц}$, то в соответствии с известной теоремой В.А. Котельникова интервал дискретизации, через который производятся отсчеты, составит величину

$$\Delta t = \frac{1}{2f_b} = \frac{1}{2 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

Если принять, что сила звукового давления сигнала будет меняться всего в десять раз, то в каждом отсчете будем иметь одну из одиннадцати цифр от 0 до 10, характеризующую звук. Если каждую из этих цифр представить в двоичной системе, то для каждой из этих цифр будем иметь разные сочетания нулевой и единиц (0 - "0"; 1 - "1"; 2 - "10"; 3 - "11"; 4 - "100"; 5 - "101" и т.д.), представляющих двоичный код в точках отсчета звукового сигнала.

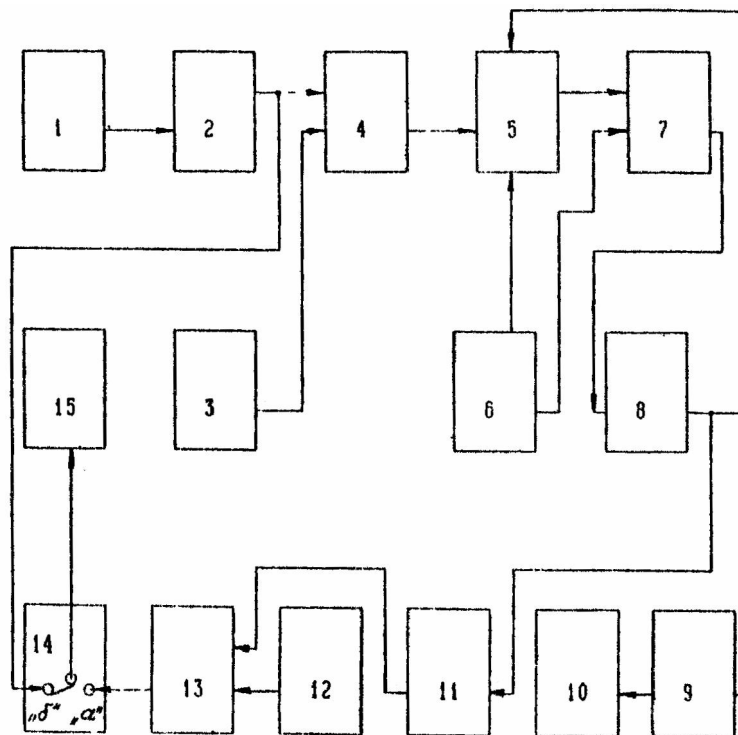
Для предполагаемого способа кодируемые интервалы времени (при $T_{\min} = 49\text{мкс}$, $T_{\max} = 50\text{мкс}$ и $T = T_{\max} - T_{\min} = 1\text{мкс}$) будут следовать через время, примерно равное

$$\Delta t = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \approx 50\text{мкс} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ с},$$

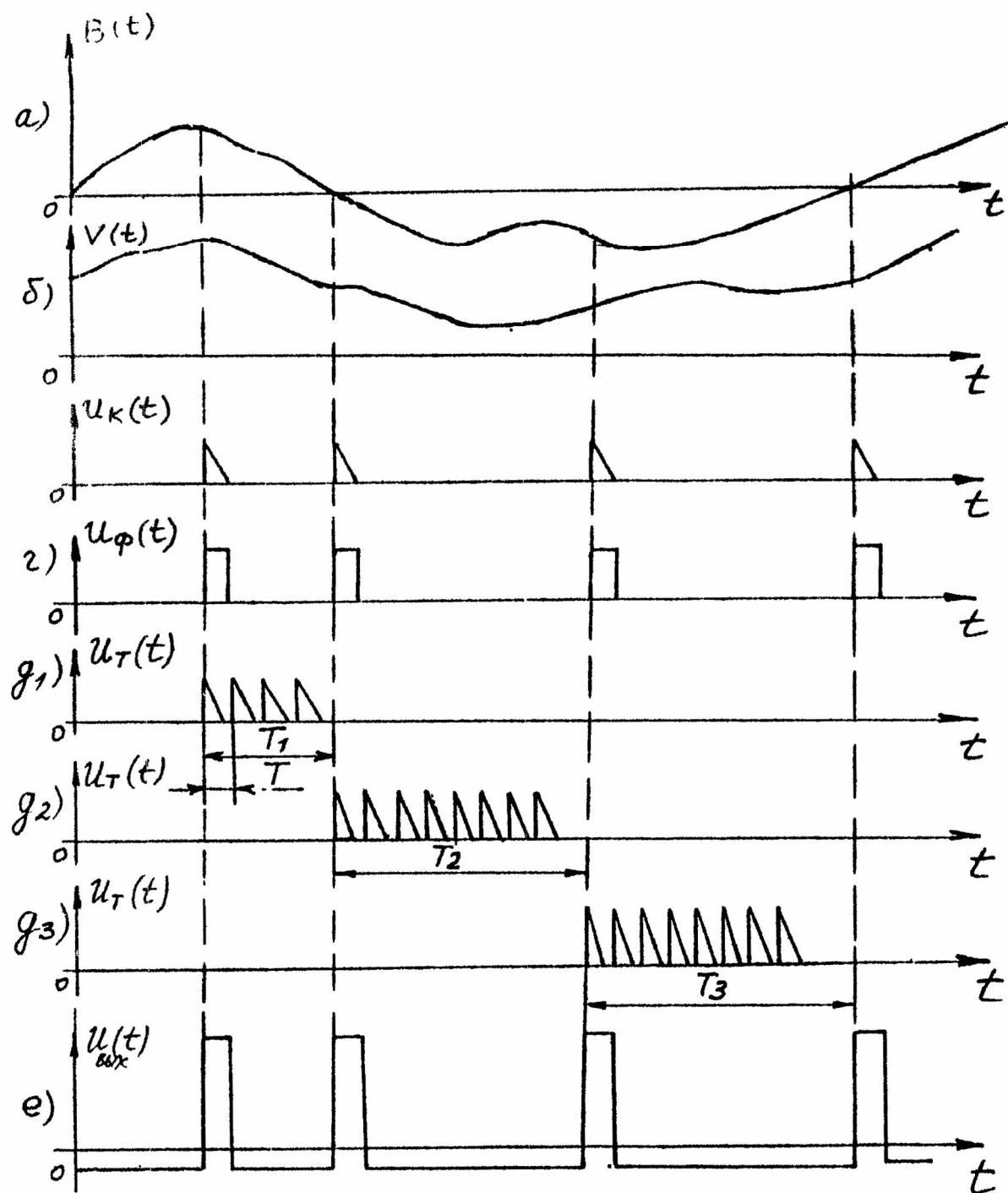
т.е. интервалы времени Δt , через которые берутся отсчеты времени (представляющие цифровой код дискретного сигнала, эквивалентного непрерывному) будут следовать в два раза реже, поэтому их будет в 2 раза меньше, чем у известного способа. Кроме того, при $T_{\max} = 50\text{мкс}$, $T_{\min} = 49\text{мкс}$; $E = 1\text{мкс}$ в двоичной системе отсчеты будут представлены либо нулем ("0" код), либо единицей ("1" код), а другие двоичные цифры не будут образовывать код.

Поскольку у предполагаемого способа по сравнению с известным количеством отсчетов в два раза меньше, и отсчитываемые коды представлены только двумя двоичными цифрами "0" или "1" то, очевидно, что у предлагаемого способа число символов (двоичных цифр) в коде звука будет существенно

меньшим, чем у известного способа. По оценкам авторов число символов (двоичных цифр) при кодировании одинаковой информации у предполагаемого способа меньше примерно в 5 - 7 раз по сравнению с известным способом. Это позволит записывать в 5 - 7 раз больше информации на магнитные носители.



Фиг. 1



Фиг. 2