

## ТЕРМЕНВОКС НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ CY8C27443-24PI СО ВСТРОЕННЫМ СВЕТОДИОДНЫМ ИНДИКАТОРОМ ВЫСОТЫ ТОНА

*Веретейко Е.П., Евдокимова И.А.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Пискун Г.А. – канд.техн.наук, доцент*

**Аннотация.** Терменвокс является востребованным в эру сенсорных технологий. Установлено, что при минимальных массогабаритных размерах качество звука и его функциональность сохраняется. Актуальность прибора состоит в том, что звуки, которые при должной сноровке можно извлечь из терменвокса, используются для создания различных эффектов. Предложено естественное воздушное охлаждение, так как устройство не испытывает перегрев.

**Ключевые слова:** терменвокс, микроконтроллер, качество звука

**Введение.** В современном мире достаточно большое разнообразие методов и средств генерации звуковых частот. Оно обусловлено большим изобилием звуков, различным характером их проявления во времени, различными требованиями к точности воспроизведения, разнообразием способов получения результатов. Звук можно представить в виде бесконечного количества волн различной частоты и амплитуды. Звук – физическое явление, представляющее собой распространение в виде упругих волн механических колебаний в твёрдой, жидкой или газообразной среде. Как и любая волна, он характеризуется амплитудой и частотой. Амплитуда характеризует громкость звука. Частота определяет тон, высоту. Обычный человек способен слышать звуковые колебания в диапазоне частот от 16–20 Гц до 15–20 кГц. Звук ниже диапазона слышимости человека называют инфразвуком; выше: до 1 ГГц, – ультразвуком, от 1 ГГц – гиперзвуком. Громкость звука сложным образом зависит от эффективного звукового давления, частоты и формы колебаний, а высота звука – не только от частоты, но и от величины звукового давления. В данной статье автором показано, что при минимальных массогабаритных размерах качество звука и функциональность инструмента сохраняются. Также рассмотрен принцип работы данного устройства [1].

**Основная часть.** Терменвокс – музыкальный инструмент, который можно применять абсолютно в любых музыкальных направлениях, является предшественником современных синтезаторов. Он состоит из двух генераторов (один с постоянной, другой с переменной частотой колебаний), детектора, преобразующего их сигналы в звуковые, двух антенн и системы усилителей. Высота и громкость звука меняется в зависимости от приближения рук к антеннам. Звуковой диапазон очень широк.

Игра на терменвоксе заключается в изменении музыкантом расстояния от его рук до антенн инструмента, за счет чего изменяется емкость колебательного контура и, как следствие, частота звука. Вертикальная прямая антенна отвечает за тон звука, горизонтальная подковообразная – за его громкость. Для игры на терменвоксе необходимо обладать идеальным слухом, так как во время игры музыкант не касается инструмента и поэтому может фиксировать положение рук относительно него, полагаясь только на свой слух. Принцип действия этого инструмента основан на изменении электрического поля, которое создается вокруг ЭМИ от перемещений человеческого тела. Изменяя положение туловища или отдельных его частей, например, рук, исполнитель тем самым воздействует на пространственную картину поля. ЭМИ воспринимает эти влияния и преобразует их в звуковые сигналы, тональность которых зависит от манипуляций человека и становится выше или ниже в такт с его движениями [2].

«Moog Etherwave Theremin Standard» – электронный музыкальный инструмент для бесконтактного исполнения. Подводя руку на определённое расстояние к левой антенне можно изме-

нять амплитуду, а к правой – высоту звука. Модель имеет 4 элемента управления помимо антенн: регулятор громкости, регулятор высоты тона, регулятор формы волны (плавно изменяет форму волны от пилообразной до прямоугольной), регулятор яркости (управляет частотой среза высоких частот фильтром).

«*Moog Etherwave Theremin Standard*» предназначен для исполнения любых (классических, эстрадных, джазовых) музыкальных произведений в профессиональной и самодеятельной музыкальной практике, а также для создания различных звуковых эффектов, которые могут использоваться при озвучивании кинофильмов, в театральных постановках, цирковых программах и т.д. Имеется два генератора, к каждому из которых присоединена антенна. Вертикальная прямая антенна отвечает за тон звука, горизонтальная подковообразная – за его громкость. Генераторы вырабатывают электрические колебания высокой частоты, которую можно повышать или понижать, если двигать рукой возле антенны (меняя таким образом параметры электромагнитного поля). Затем сигналы с обоих генераторов смешиваются, вырабатывая звук [3].

Согласно принципу действия терменвокса, в нём происходит взаимодействие двух сигналов, создаваемых образцовым и перестраиваемым генераторами. Если на тактовый вход *SCB* подать сигнал от одного из них, а на сигнальный вход – от другого, на выходе получим биения разностной частоты. Если последующую обработку (например, формантную фильтрацию) выполнять блоками *SCB*, работающими на той же тактовой частоте, то новым интерференционным частотам взяться просто неоткуда. В микросхеме *PsoC* имеется внутренняя шина «искусственной земли», на которой обычно установлено напряжение, равное половине напряжения питания микросхемы. Оно служит образцовым для всей её аналоговой части. Фирма Cypress рекомендует в ответственных случаях включать режим *AGND bypass*, соединяющий эту шину с выводом *P2[4]* микросхемы, и подключить к этому выводу конденсатор большой ёмкости. На практике это не даёт ощутимого эффекта. Звуковой сигнал, генерируемый терменвоксом, должен ослабевать вплоть до полного исчезновения по мере приближения руки исполнителя к антенне громкости. На раннем этапе разработки регулировать громкость предполагалось тоже средствами *PSoC*. Это позволило бы построить терменвокс всего на одной микросхеме, мощности аналоговых выходов которой вполне достаточно для головных телефонов. В микросхеме *PSoC*, как и во многих других микроконтроллерах, для получения высокой внутренней тактовой частоты использованы относительно низкочастотный генератор и система умножения частоты его сигнала в петле ФАПЧ [4].

Согласно принципиальной схеме основного блока, кварцевый генератор *G1* вырабатывает частоту для микросхемы *PSoC DD1*. На ней построены делители частоты, смеситель, узлы формантной фильтрации, а также реализованы управление и индикация. На её вход *P1[7]* поступает сигнал от перестраиваемого генератора на транзисторе *VT1*. Его схема аналогична применённой в терменвоксе «*Paradox*», но добавлен индивидуальный параллельный стабилизатор напряжения питания на микросхеме *DA1*, резисторах *R9*, *R11*, *R12* и конденсаторе *C6*. Параллельное соединение резисторов *R9* и *R11* потребовалось для более точной установки напряжения стабилизации. Ещё одно отличие – оперативная регулировка начальной частоты осуществляется не конденсатором переменной ёмкости, а изменением индуктивности катушки *L1*. После деления частоты сигнал перестраиваемого генератора, имеющий прямоугольную форму, поступает с вывода *P0[6]* микросхемы *DD1* на фильтр с переключаемой частотой среза *L2L3L15–C17*, а затем для гетеродинирования возвращается обратно в микросхему *DD1* через вывод *P0[1]*. Если частота среза фильтра выбрана равной частоте сигнала, то прямоугольный сигнал превращается в синусоидальный, если выше – на его перепадах появляются выбросы, амплитуда которых может превысить допустимое входное напряжение микросхемы. Чтобы этого не случилось, применён делитель напряжения *R14R17*. Через резистор *R18* на аналоговый вход *P0[1]* поступает с вывода *P2[4]* постоянное смещение, равное половине напряжения питания. Его сглаживают конденсаторы большой ёмкости *C4* и *C7*. Во время отладки конденсаторы *C4* и *C7* отключались от линии *P2[4]*, а взамен их устанавливались резисторы сопротивлением по 10 кОм. Сформированный звуковой сигнал с выхода *P0[2]* микросхемы *DD1* поступает на регулятор уровня *R21* и далее через ФНЧ – делитель напряжения *R24C19R25C20R23*, на управляемый усилитель *DA2*. Здесь использована микросхема *TDA7056A*, отличающаяся от применённой в терменвоксе «*Paradox*» *AN5265* суще-

ственно меньшим напряжением управления громкость (1,4 В вместо 12 В) и мостовой выходной ступенью, позволяющей получать большую выходную мощность (это особенно важно при напряжении питания +5 В). Напряжение управления подано на выход 5 этой микросхемы от специального формирователя на транзисторе  $VT2$  [4]. Сигнал управления громкостью формируется путём возбуждения колебательного контура, в который входит собственная ёмкость антенны  $WA2$ . Поднося к ней руку, исполнитель рассматривает контур относительно частоты возбуждения, что приводит к уменьшению амплитуды протекающего через его элементы переменного тока. Специальный узел детектирует этот ток и подаёт пропорциональное ему напряжение на управляющий элемент. В терменвоксе «*Paradox*» детектировались импульсы тока, потребляемого буферной ступенью, «накачивающей» колебательный контур.

В ходе выполнения расчёта надёжности выявлено, что 94% исследуемых устройств должны работать безотказно в течении 1000 часов. Нарботка на отказ показывает, что среднее время безотказной работы между двумя соседними отказами будет составлять 17160,6 часов. Гамма-процентная наработка до отказа  $T_\gamma$  ( $\gamma=95\%$ ) означает, что у 95% исследуемых устройств в течении суммарной наработки, равной 880,2 часам, отказ не возникнет. Также показатель наработки на отказ имеет физический смысл только для восстанавливаемых устройств, а так, как мы имеем дело с восстанавливаемым изделием, то и в нашем случае показатель наработки на отказ имеет смысл.

**Заключение.** В ходе исследования выполнен схемотехнический анализ устройства. Также установлено, что температура нагретой зоны составляет порядка 58,5 °С, Температура поверхности микросхемы для нормальной работы не должна превышать 150 °С. Результаты расчётов демонстрируют, что при заданных условиях эксплуатации прибора обеспечивается нормальный тепловой режим радиоэлементов, которые применяются при его разработке, что означает, что выбранная конструкция корпуса и способ охлаждения не нуждаются в модернизации. Было предложено, на основе компоновочного расчёта выбрать размеры печатной платы. Терменвокс со встроенным индикатором высоты тона надёжен и конкурентоспособен.

Устройство соответствует всем требованиям конструирования РЭС: обеспечение минимальных габаритов и массы устройства, простота и удобство в эксплуатации, ремонтпригодность, надёжность.

### Список литературы

1. Звук. Википедия – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wik>.
2. Минутка необычной музыки – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://shadberrry-game.livejournal.com/71350.html>.
3. Mood Etherwave Thermin Standard – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://globalsound.by>.
4. Мамонтов, И. «*Paradox MX*» – терменвокс со встроенным индикатором высоты тона. // И. Мамонтов//Радио. – 2020. – №1. – с.30.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

## THERMENVOX ON MICROCONTROLLER CY8C27443-24PI WITH BUILT-IN LED TONE HEIGHT INDICATOR

*Vereteyko E.P., Evdokimova I.A.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Piskun G.A. – Candidate of Technical Sciences, associate professor*

**Annotation.** The theremin is in demand in the era of sensor technology. It is established that the sound quality and its functionality are preserved at the minimum weight and size dimensions. The relevance of the device is that sounds extracted from the theremin with proper skill are used to create various effects. Natural air cooling is suggested, since the device does not overheat. This article shows that with minimal weight and size dimensions, the sound quality and functionality of the instrument are preserved.

**Keywords.** theremin, microcontroller, sound quality