

УДК 53

URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/phys/instph/1026.html>

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ УЗЛАМИ В СТОЯЧИХ ВОЛНАХ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭТОГО МЕТОДА

А.А. Кищенко

alexeysuper09@yandex.ru

МБОУ «Гимназия № 12»; МАУ ДО ЦТТ «Новолипецкий», Липецк, Российская Федерация

В работе проведено исследование эффекта стоячих волн, которые находят свое применение в различных областях науки и техники. В связи с большой популярностью использования стоячих волн и отсутствием простых решений для их измерения был предложен новый метод для измерения расстояния между узлами и пучностями в стоячих волнах и показано его практическое применение. Разработано компактное устройство, позволяющее измерять расстояние между узлами (пучностями) стоячих волн. Оно будет основой датчика структурного состояния звуковода, который в случае превышения температурой в любой точке заданного значения выдаст сигнал тревоги. Данное устройство планируется применять как погонный датчик изменения температуры. В отличие от имеющихся на рынке приборов, громоздких и требующих применения дополнительных приспособлений, разрабатываемое устройство будет компактным и доступным, представляющим собой погонный датчик температуры на основе эффекта стоячих волн, который позволит измерять температуру кабелей на больших расстояниях.

Ключевые слова: стоячие волны, узлы, пучности, колебания, погонный датчик, контроль температуры, коэффициент стоячей волны

Введение. Процесс распространения колебаний в упругой среде называют *механической волной*. Для механических волн обязательно нужна среда, которая должна обладать инертными и упругими свойствами. Различают *поперечные* и *продольные* волны. Продольные волны могут распространяться в любых средах: твердых, жидких и газообразных; поперечные — только в твердых средах. Как в поперечных, так и в продольных волнах переноса вещества в направлении распространения волны не происходит. Волны переносят энергию колебаний [1]. Колебательные движения тела в упругой среде служат источником механических волн. В однородной среде скорость распространения волн остается величиной постоянной. Расстояние, равное длине волны λ , волна пробегает за период T , следовательно, $\lambda = \nu T$, где ν — скорость распространения волны. При отражении от более плотной среды волна, изменив свое направление на обратное, меняет фазу на π , т. е. на противоположную [2].

В результате сложения падающих и отраженных волн образуется стоячая волна. В стоячей волне существуют подвижные точки, которые называют узлами. Посредине между узлами находятся точки, колеблющиеся с максимальной амплитудой. Эти точки называют пучностями. Расстояние между двумя соседними пучностями или между двумя соседними узлами равно $\lambda/2$. В стоячей волне нет потока энергии, только в каждом отрезке между двумя соседними узлами дважды за один период происходит превращение кинетической энергии в потенциальную и обратно, как в обычной колебательной системе. Отсутствие переноса энергии — отличительная черта стоячей волны [3].

Впервые стоячие волны были описаны Майклом Фарадеем в 1831 г. Он показал, что стоячие волны имеют определенную частоту и длину [2]. За прошедшее время было изготовлено множество различных приспособлений и всевозможных датчиков с использованием эффекта стоячих волн: например, всевозможные насосы для перегонки жидкости (газа) без использования подвижных или вращающихся частей, датчики локационного типа, измерители коэффициента стоячей волны (КСВ) для измерения эффективности антенной системы [4].

Интерес к стоячим волнам возник в процессе изготовления и апробации акустических систем (колонок). Они по-разному звучали в разных комнатах. Возникла идея определить, как и с какими потерями происходит отражение волн и т. д. Однако оказалось не так просто определить точки пучностей и узлов стоячих волн. В Интернете предлагались довольно сложные конструкции подобных устройств. На основе полученной информации о механических стоячих волнах было предположено, что энергия, затраченная на механические волны в узлах и пучностях, будет различной.

Схема установки. Для реализации этого предположения была разработана установка на микросхеме K561ЛН2 (рис. 1), внутри которой расположено шесть логических элементов «НЕ». На первых двух логических элементах организован перестраиваемый RC-генератор, на следующем элементе — буфер. Полученная импульсная последовательность через резистор $R4$ подается на так называемый двухполярный эмиттерный повторитель (усилитель мощности), который нагружен пьезоэлементом (выбранным среди доступных) с рабочей частотой 40 000 Гц. В отрицательную цепь усилителя мощности установлен стрелочный миллиамперметр с соответствующими резисторами $R5$ и $R6$ (для коррекции индикации). На оставшихся трех элементах «НЕ» микросхемы собран формирователь прямоугольных импульсов, полученные импульсы поступают на микроконтроллер LGT328.

Для измерения частоты и поступающих импульсов и вывода результатов на ЖК-дисплей автором была написана специальная программа. Кроме того,

в точке *A* через резистор *R7*, конденсатор *C3*, резистор *R8* был организован выход постоянной составляющей тока для подачи на аналоговый вход микроконтроллера. Это позволяет дублировать сигнал для получения более точных показаний. Кроме того, сигнал с провода, приходящий на порт *A3*, анализируется программой, и в случае выхода температуры из определенного диапазона микроконтроллер подает сигнал *SOS*.

Для дальнейших исследований, т. е. для изучения распространения волн в твердых предметах, была собрана вторая схема, состоящая из такого же генератора и усилителя, только к пьезоэлементу была припаяна стальная проволока, при различных воздействиях на которую (механическое воздействие, изменение температуры) в дальнейшем будем наблюдать возможное изменение в расстояниях между узлами и пучностями.

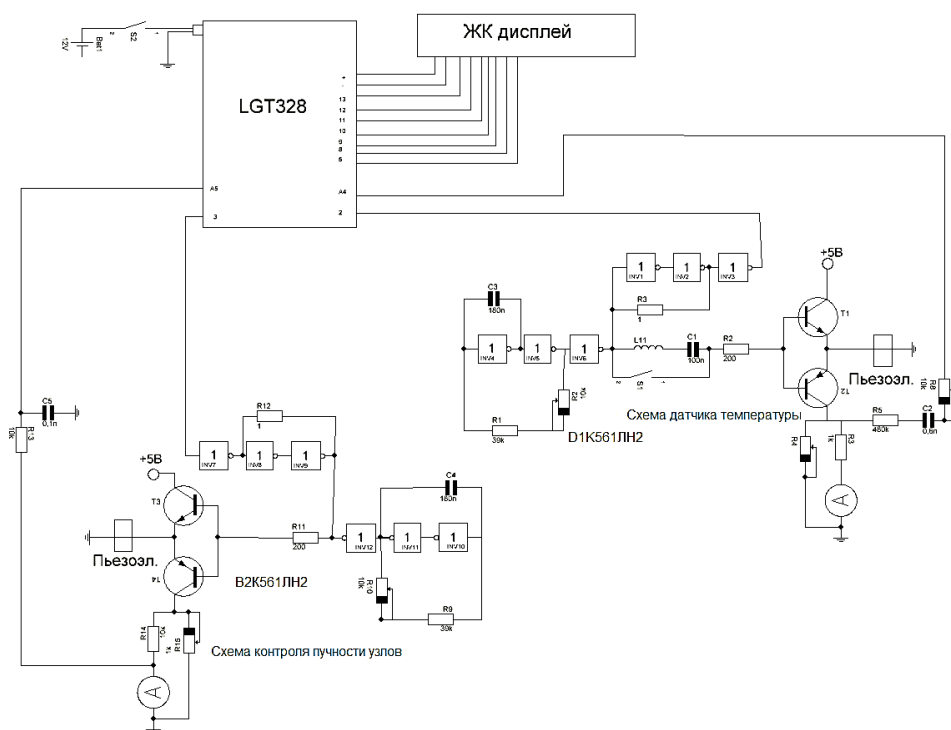


Рис. 1. Принципиальная схема установки

Порядок проведения эксперимента. Перед началом работы с установкой после включения устройства выдерживают 2–3 мин (для стабилизации параметров), далее, вращая ручку переменного резистора *R2*, добиваются от-

клонения стрелки на максимальное положение. Далее подносят к излучателю (пьезоэлементу) любой твердый предмет и, перемещая его вдоль продольной оси, наблюдают изменения в показаниях.

Рассмотрим самое простое устройство. Поместим линейку чуть ниже излучателя в направлении продольного излучения, на линейку поставим любой твердый предмет и начнем приближать его по линейке в сторону излучателя. Через определенное расстояние показания стрелки уменьшаются. Зная формулу определения расстояния между узлами, выполним вычисления при $f = 40\,000$ Гц, $T = 1 / 40\,000 = 0,25$ мс. Приняв скорость распространения волны равной 340 м/с, найдем длину волны: $\lambda = vT = 340 \cdot 0,00025 = 0,0085$ м. Расстояние между узлами $\lambda/2 = 4,2$ мм. Полученное значение совпадает с показаниями по шкале линейки.

Выполняя различные исследования, пропуская полученный излучающий ультразвук через трубку и проводя измерения на конце трубки, автор статьи пришел к выводу, что при изменении структуры материала, для которого были получены стоячие волны, изменяется также потребляемая мощность усилителя.

Далее были получены стоячие волны в стальной проволоке. Для этого стрелочный прибор был настроен по максимальному показанию. После изменения температуры звуковода в дальней точке (при поднесении пламени зажигалки) показания стрелочного прибора изменились, т. е. возникла реакция на тепло. Настроив микроконтроллера таким образом, чтобы он программно реагировал на это изменение, удалось получить устройство, контролирующее изменение температуры в любой точке звуковода. Данное устройство можно применять для контроля температуры вдоль ответственных кабельных каналов или температуры в трубопроводах, резервуарах, а также различных агрегатах.

Были выведены следующие параметры разработанного устройства (для другого звуковода они будут иными): подача сигнала срабатывания SOS в случае превышения температурой значения 60 °С; продолжительность данного превышения 1–5 мин; время возвращения к исходным значениям температуры — не более 2 мин. Длина контролируемых объектов зависит от звуковода и системы излучения (мощности излучения) и мощности усилителя.

Изготовленное устройство (рис. 2) автономно, настольного типа, несложное в изготовлении, доступное по себестоимости.

Заключение. В ходе исследования было изготовлено устройство, которое позволяет в доступной форме измерять длину стоячих волн и тем самым поможет решить проблему отсутствия устройств подобного типа в широком доступе.

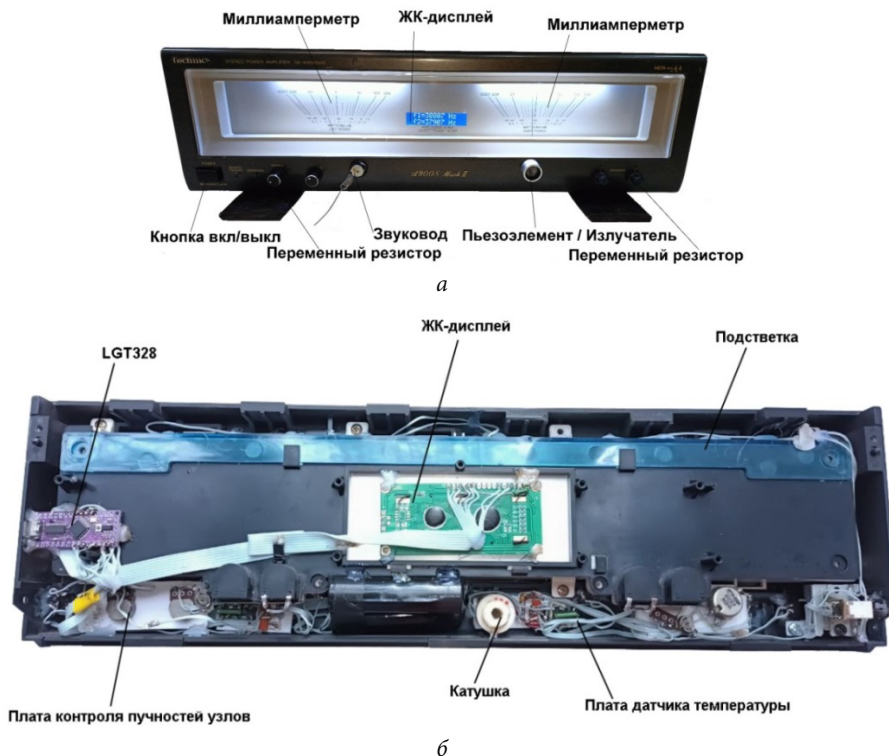


Рис. 2. Разработанное устройство:

а — вид снаружи; *б* — вид изнутри

Можно выделить основные пункты проведенного исследования:

1. Изучение схем и принципов работы подобных устройств.
2. Разработка схемы устройства раскачки без элемента на ультразвуковых частотах.
3. Разработка схемы контроля и индикации.
4. Изготовление печатных плат, монтаж устройства.
5. Исследование распространения волн и их отражения как в воздухе, так и в металле.
6. Оптимизация элементов схемы по наибольшей чувствительности индикации расстояния между пучностями.
7. Изготовление стального звуковода для погонного датчика изменения внутренней структуры.
8. Комплексные испытания устройства, доводка и устранение неполадок.

Сферы применения прибора крайне разнообразны: такие датчики служат важными элементами систем мониторинга и контроля технических процессов; находят применение в различных областях, включая энергетику,

транспорт, нефтяную и газовую промышленность [5]. Их применяют для контроля и предотвращения перегрева кабелей, что позволяет предотвратить возможные аварийные ситуации и повысить безопасность эксплуатации [6]. Кроме того, разрабатываемое устройство позволит экономить энергию и ресурсы, поскольку обеспечит более эффективный и точный контроль температуры. Благодаря своей способности осуществлять непрерывный контроль устройство позволит повысить безопасность и эффективность работы систем и оборудования.

Работа над данным проектом позволила автору расширить свои знания по физике, радиоэлектронике, программированию, приобрести навыки в радиоконструировании и дизайне радиоэлектронного оборудования.

Литература

- [1] Глущенко Е.П. *Стоячие волны в изотропных и невзаимных средах*. Самара, ПГУТИ, 2018, 16 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/182367> (дата обращения 15.04.2024).
- [2] Федин К.В. *Стоячие волны в геофизических исследованиях*. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2020, 56 с.
- [3] Федин К.В. *Практическое применение стоячих волн на инженерных сооружениях*. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2022, 44 с.
- [4] Куликовский А.Г., Свешникова Е.И. *Нелинейные волны в упругих средах*. Москва, Московский Лицей, 1998, 412 с.
- [5] Шерстобитова А.С. *Датчики физических величин*. Санкт-Петербург, Университет ИТМО, 2017, 57 с.
- [6] Виглеб Г. *Датчики*. Москва, Мир, 1989, 196 с.

Поступила в редакцию 15.05.2024

Кищенко Алексей Александрович — ученик 10-го класса, МБОУ «Гимназия № 12»; лаборатория радиоконструирования, МАУ ДО ЦТТ «Новолипецкий», Липецк, Российская Федерация.

Научный руководитель — Самохин Юрий Петрович, педагог дополнительного образования, МАУ ДО ЦТТ «Новолипецкий», Липецк, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Кищенко А.А. Разработка и изготовление устройства для определения расстояния между узлами в стоячих волнах и практическое применение этого метода. *Политехнический молодежный журнал*, 2025, № 01 (96). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/phys/instph/1026.html>

DESIGN, DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF A DEVICE TO DETERMINE THE DISTANCE BETWEEN NODES IN THE STANDING WAVES AND PRACTICAL APPLICATION OF THIS METHOD

A.A. Kishchenko

alexeysuper09@yandex.ru

MBEI "Gymnasium no. 12", MAU DO TsTT "Novolipetsky", Lipetsk, Russian Federation

The paper studies the standing wave effect, as it is used in various scientific and technology areas. Due to increased popularity of the standing waves and the missing simple solutions in their measurement, the paper proposes a new method for measuring the distance between the nodes and antinodes in the standing waves and demonstrates its practical application. A compact device was designed and developed making it possible to measure the distances between the nodes (antinodes) of the standing waves. The device would be a basis for the structural state sensor of the sound duct generating an alarm signal, if the temperature at any point exceeds the specified value. The device is planned for using as a linear temperature alteration sensor. Unlike the devices available in the market that are bulky and require using additional tools, the device being developed would be compact and affordable. It would be a linear temperature sensor based on the standing wave effect making it possible to measuring the cable temperature at large distances.

Keywords: standing waves, nodes, antinodes, oscillations, linear sensor, temperature control, standing wave ratio

Received 15.05.2024

Kishchenko A.A. — 10th Grade Student, MBEI "Gymnasium no. 12", Radio Engineering Laboratory, MAU DO TsTT "Novolipetsky", Lipetsk, Russian Federation.

Scientific advisor — Samokhin Yu.P., Teacher of the Additional Education, MAU DO TsTT "Novolipetsky", Lipetsk, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Kishchenko A.A. Design, development and manufacture of a device to determine the distance between nodes in the standing waves and practical application of this method. *Politekhnikheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2025, no. 01 (96). (In Russ.). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/phys/instph/1026.html>