

К. ф.-м. н. М. В. ДМИТРИЕВ, к. т. н. Л. И. ПАНОВ

Украина, Одесский национальный политехнический университет
E-mail: panov.leonid@gmail.com

Дата поступления в редакцию
13.12.2006—31.01.2008 г.

Оппоненты А. А. ТУРЧИН (ННЦ ХФТИ),
д. т. н. В. И. КАРПЕНКО (ХУВС, г. Харьков)

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ НАГРЕТОГО ТЕЛА

Экспериментально установлено, что акустические волны, генерируемые десятиваттным излучателем на частоте 60 Гц, снижают на одну треть температуру электронагревателя мощностью 10 Вт.

Цель работы состояла в определении возможности повышения эффективности принудительного охлаждения теплонагруженных интегральных схем современной электронной аппаратуры.

Известно, что использование для этого жидкостного охлаждения усложняет конструкцию, а применение традиционного принудительного воздушного охлаждения недостаточно эффективно в связи с дальнейшим повышением быстродействия микропроцессоров и соответствующим увеличением рассеиваемой ими мощности.

Нами были экспериментально опробованы различные методы интенсификации охлаждения таких объектов. При этом неожиданно было обнаружено, что воздействие звуковых волн (далее — озвучивание) на постоянно нагреваемое тело приводит к высокоэффективному снижению его температуры.

Экспериментально исследовано влияние низкочастотных акустических волн различной частоты и мощности на температуру нагретого тела.

В качестве излучателя акустических волн использовался низкочастотный диффузорный электродинамический громкоговоритель 10ГД-34. Его основные параметры согласно ГОСТ 9010-78: паспортная мощность 25 Вт, номинальная мощность 10 Вт, номинальное сопротивление 4 Ом, номинальный диапазон воспроизводимых частот 63—5000 Гц, частота основного резонанса 80 Гц, неравномерность амплитудно-частотной характеристики 6 дБ, среднее стандартное звуковое давление 0,1 Па, габаритные размеры — Ø125 мм, высота 75,5 мм.

В качестве имитатора микропроцессора служил электронагреватель без оребренного радиатора. Внутри его плоского корпуса из дюралюминия площадью 40×40 мм были просверлены в два яруса близкорасположенные горизонтальные сквозные отверстия, внутри которых монтировалась нихромовая проволока с керамическими трубчатыми изоляторами. Сверху с помощью теплопроводной пасты была приклеена медная пластина толщиной ≈3 мм. Между ней и корпусом в выфрезерованных пазах в цент-

ре и по диагонально расположенным углам крепились три откалиброванных платиновых резистора ТСП-100. Вместе со всеми проволочными выводами такая конструкция была помещена в текстолитовый короб с открытым верхом. Между коробом и корпусом имитатора снизу и по бокам был уложен теплоизолятор толщиной ≈7 мм из базальтового картона и асбеста. Температура определялась по величине сопротивления резисторов ТСП-100, измеряемого цифровым омметром Щ 306-1 (до шести значащих цифр), с использованием стандартных таблиц. Имитатор нагревался в процессе всего эксперимента. Его температура определялась перед и в конце воздействия акустических волн и приведена в **табл. 1** для стационарного режима. Измерения выполнены в термостатной комнате при температуре +14°C.

Таблица 1
Температура имитатора в конце разогрева (t_p^0) и в конце охлаждения (t_d^0) при озвучивании на разных частотах

№ ТСП-100	t_p^0 , °C	t_a^0 , °C					
		Частота генератора, Гц					
		30	50	60	70	80	100
1	145,5	104,8	97,6	97,0	97,7	98,3	100,8
2	154,3	112,4	104,8	104,3	105,4	106,0	108,4
3	143,7	101,1	92,8	92,6	93,4	94,0	96,6

Питание имитатора осуществлялось от стабилизированного источника постоянного тока Б5-34А. Мощность, потребляемая имитатором, P_n , во всех экспериментах составляла ≈10 Вт, что обеспечивалось напряжением питания 9,31 В.

На излучатель, расположенный над имитатором, подавалось напряжение U_r от генератора ГЗ-123.

Первый эксперимент проводился при условиях: зазор между излучателем и имитатором $\delta=40$ мм, напряжение $U_r=10$ В, переменный параметр — частота излучения f изменялась от 10 до 5000 Гц.

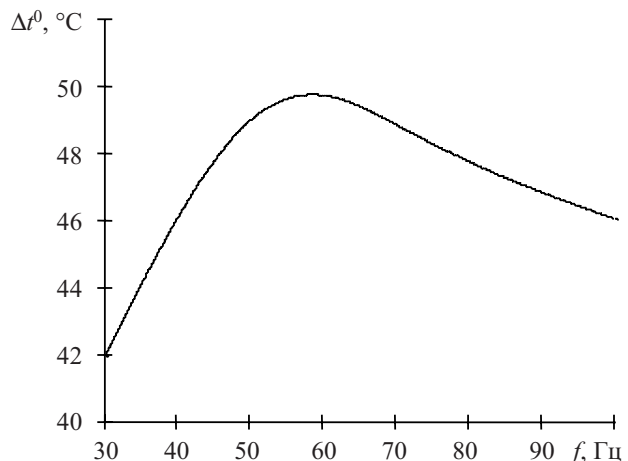
Результаты эксперимента:

— средняя температура имитатора t_p^0 при отсутствии озвучивания, измеренная в трех его точках, составляет $(147,8 \pm 4,3)^\circ\text{C}$ (табл. 1);

— частотная зависимость снижения температуры Δt^0 после воздействия акустических волн в диапазоне f от 30 до 100 Гц представлена в **табл. 2** и показана на **рисунке**;

Таблица 2
Снижение температуры имитатора при озвучивании (Δt^0)

№ ТСР-100	$\Delta t^0, ^\circ\text{C}$					
	Частота генератора, Гц					
	30	50	60	70	80	100
1	40,7	47,9	48,5	47,8	47,2	44,7
2	41,9	49,5	50,0	48,9	48,3	45,9
3	42,6	50,9	51,1	50,3	49,7	47,1



Частотная зависимость снижения температуры имитатора в его центре под действием акустического излучения

— снижение температуры Δt^0 в двух других точках имитатора примерно на 1—2 $^\circ\text{C}$ меньше, чем в центре;

— максимальное снижение температуры Δt^0_{max} имеет место при частоте $f=50\text{—}60$ Гц, что составляет примерно 1/3 от температуры t^0_p ;

— температура имитатора t^0_p не изменялась после воздействия акустических волн на частотах, не превышающих 10 Гц, и в диапазоне 200—5000 Гц.

Амплитуда возвратно-поступательного движения диффузора излучателя при $f=10$ Гц, когда принудительное охлаждение отсутствовало, была в несколько раз больше, чем в области частот $f \geq 60$ Гц. Это дает основание считать, что наблюдаемое охлаждение имитатора вызвано только акустическим излучением (эффект вентилятора отсутствует).

Второй эксперимент проводился при условиях: частота генерации акустических волн $f=60$ Гц, зазор δ между излучателем и имитатором 20 и 50 мм, переменный параметр — мощность излучения, задаваемая величиной напряжения питания излучателя U_r , равной 2—12 В.

Результаты эксперимента:

— уменьшение напряжения U_r от 12 до 2 В приводит к снижению температуры имитатора Δt^0 после озвучивания в 2,4 раза при $\delta=20$ мм и в 2 раза при $\delta=50$ мм;

— увеличение зазора δ от 20 до 50 мм при $U_r=12$ В приводит к уменьшению эффективности охлаждения на 9 %;

— при значениях δ 20 и 50 мм и при $U_r=12$ В температура имитатора после озвучивания уменьшается примерно на 1/3.

Наблюдаемые эффекты, по-видимому, можно объяснить следующим образом. В разные моменты времени приход к нагретой поверхности имитатора достаточно сжатых или разреженных участков звуковой волны обеспечивает:

— эффективный отбор тепла от поверхности имитатора к сжатому воздуху;

— эффективный отток предварительно нагретого поверхностью имитатора воздуха в сторону разреженного участка с рассеиванием его в окружающую среду.

Эффективное охлаждение имитатора ограничено довольно узким диапазоном низкочастотного излучения. При частоте более 60 Гц эффективность охлаждения снижается из-за инертности тепловых процессов: последние не успевают следовать за быстроменяемыми участками звуковой волны. При частоте меньше 60 Гц эффективность охлаждения также снижается, что обусловлено увеличением периода звуковых волн, сопровождаемого замедлением их генерации и уменьшением степени сжатия и разрежения воздуха.

Из проведенных экспериментов следует, что при сопоставимых напряжениях питания имитатора (9,31 В) и излучателя (12 В) акустические волны при частоте 60 Гц снижают температуру имитатора на 1/3. Однако эти данные не дают полного представления об эффективности охлаждения имитатора при определенной мощности акустических волн $P_{\text{ак}}$ и заданной мощности имитатора $P_{\text{н}} \approx 10$ Вт.

Величину $P_{\text{ак}}$ можно оценить при номинальной потребляемой мощности $P_{\text{ном}}=10$ Вт. Коэффициент полезного действия излучателей акустических волн, подобных используемому, характеризуется величиной порядка 1%. Поэтому мощность, сообщаемая при этом акустическим волнам $P_{\text{ак}}$, примерно в 100 раз меньше номинальной мощности $P_{\text{ном}}=10$ Вт и составляет величину порядка 0,1 Вт.

Остается определить величину относительного снижения температуры имитатора, соответствующую $P_{\text{ак}} \approx 0,1$ Вт и $P_{\text{н}} \approx 10$ Вт. Это можно сделать, если предварительно определить величину напряжения U_r , соответствующую $P_{\text{ном}}=10$ Вт.

Воспользуемся тем, что полное входное номинальное сопротивление катушки излучателя $Z_{\text{вх.ном}}$ при согласовании с выходным сопротивлением генератора можно определить по формуле [3, с. 93]:

$$P_{\text{ном}} = U_{\text{г.ном}} I_{\text{ном}} = U_{\text{г.ном}}^2 / Z_{\text{вх.ном}},$$

где $U_{\text{г.ном}}$ — номинальное напряжение генератора;
 $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток в цепи катушки излучателя.

В нашем случае $Z_{\text{вх.ном}}=4$ Ом. Поэтому при $P_{\text{ном}}=10$ Вт $U_{\text{г.ном}} = \sqrt{Z_{\text{вх.ном}} P_{\text{ном}}} = \sqrt{40} = 6,3$ В.

По результатам второго из проведенных экспериментов следует, что при $U_r=6$ В эффективность охлаждения имитатора соответствует 25% при зазорах 20 и 50 мм.

Таким образом, акустические волны с частотой $f=60$ Гц, обладающие мощностью $P_{\text{ак}} \approx 0,1$ Вт, на 25%

снижают температуру имитатора теплонагруженной микросхемы с потребляемой мощностью 10 Вт. С повышением $P_{ак}$ снижение температуры увеличивается. Это наглядно свидетельствует в пользу эффективности исследованного метода акустического охлаждения нагретого тела.

Использование для охлаждения частот излучения 50 и 60 Гц позволяет вместо генератора применить трансформатор, питаемый от электросети с такими частотами.

Длина волны акустического излучения λ составляет 567 см на частоте 60 Гц и 680 см на частоте 50 Гц, поскольку скорость звука c в воздухе равна 34000 см/с и $\lambda=c/f$.

Большие величины λ позволяют при необходимости располагать детали малых размеров вдоль та-

кого излучения. Они легко огибаются звуковой волной. За ними не образуется «звуковая тень».

Повышения эффективности охлаждения нагретого тела можно ожидать при комбинировании озвучивания со струйным воздушным обдувом и при повышении мощности звуковых волн.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Lasance C. J. M., Simons R. E. Advances in high-performance cooling for electronics // Electronics Cooling.— 2005.— November.— Article 2.
2. Cami C., Herr F. Forced Convection heat transfer enhancement using a self-oscillating planar Jet // Journal of heat transfer, transaction of the ASME.— 2002.— Vol. 124.— P. 770—782.
3. Терещук Р. М., Терещук К. М., Седов С. А. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства. Справочник радиолобителя.— Киев: Наукова думка, 1981.— С. 93.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



Рабай Ж. М., Чандракасан А., Николич Б. Цифровые интегральные схемы: методология проектирования.— М.: Вильямс, 2007.— 912 с.

Книга будет чрезвычайно полезна разработчикам цифровых интегральных схем и инженерам, желающим лучше разобраться в структуре СБИС. В ней предлагается множество полезных примеров, которые вы можете использовать в своей работе, и учтены основные тенденции, существующие в современном мире разработки КМОП-устройств. Книгу можно использовать как учебник по микроэлектронике при подготовке студентов соответствующих специальностей или как справочник по интегральным схемам, который удобно всегда иметь под рукой. Она хорошо структурирована и достаточно понятна, хотя базовые знания о предметной области и используемом в ней математическом аппарате все же желательны.

НОВЫЕ КНИГИ



Медведев А. Сборка и монтаж электронных устройств.— М.: Техносфера, 2007.— 256 с.

Производство электронной аппаратуры неуклонно наращивается, увеличивается плотность компоновки, развиваются технологии поверхностного монтажа. Несмотря на это, в России отсутствуют специализированные издания, посвященные современным проблемам сборки и монтажа.

Предлагаемая книга написана по материалам зарубежной периодической печати, международных конференций и, что особенно ценно, по результатам работы самых высокотехнологичных отечественных предприятий.

Книга посвящена описанию процессов, материалов и оборудования, используемых в сборочно-монтажном производстве, и предназначена для начинающих специалистов в этой области технологий. Надеемся, что опытным специалистам она поможет в обучении персонала, сократив время вхождения в курс дела.

НОВЫЕ КНИГИ



Локтюхин В. Н., Челебаев С. В. Нейросетевые преобразователи импульсно-аналоговой информации: организация, синтез, реализация.— М.: Горячая линия—Телеком, 2008.— 144 с.

Рассмотрены вопросы организации, синтеза и реализации преобразователей частотно-временных параметров сигналов в код на основе нейросетевых технологий. Особое внимание уделено методике и процедурам синтеза нейросетевых структур аналого-цифровых преобразователей с настраиваемыми в ходе обучения сети синаптическими связями между ее элементами, даны примеры их реализации на ПЛИС фирмы Xilinx.