

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

**Направление** 11.03.02 - Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи

**Профиль** Системы радиосвязи и радиодоступа

**Факультет** РТ

**Кафедра** РЭС

*К защите допустить*

Зав. кафедрой

Малышев В.Н.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
БАКАЛАВРА**

**Тема: РАЗРАБОТКА ЦИКЛА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
«МОДЕЛИРОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ»**

Студентка \_\_\_\_\_ Дмитриева В.  
*подпись*

Руководитель \_\_\_\_\_ Бабушкина О.А.  
к.т.н.  
(Уч. степень, уч. звание) *подпись*

Консультант \_\_\_\_\_ Иванов А.Н.  
к.т.н., доцент  
(Уч. степень, уч. звание) *подпись*

Санкт-Петербург

2018

## ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

Утверждаю  
Зав. кафедрой РЭС  
\_\_\_\_\_ Малышев В.Н.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Студентка Дмитриева В. Группа 4181  
Тема работы: Разработка цикла лабораторных работ «Моделирование аналоговых устройств»

Место выполнения ВКР: кафедра РЭС СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Исходные данные (технические требования): программа по дисциплинам «Основы компьютерного проектирования и моделирования телекоммуникационных систем», «Моделирование микроволновых устройств»

Содержание ВКР: глава 1 – обзор литературы, глава 2 – лабораторная работа № 1. глава 3 – лабораторная работа № 2. глава 4 – лабораторная работа № 3

Перечень отчетных материалов: текст ВКР, иллюстративный материал, приложения.

Дополнительные разделы: Безопасность жизнедеятельности

Дата выдачи задания  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Дата представления ВКР к защите  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Студентка \_\_\_\_\_ Дмитриева В.

Руководитель к.т.н. \_\_\_\_\_ Бабушкина О.А.

Консультант к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Иванов А.Н.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ  
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

Утверждаю

Зав. кафедрой РЭС

\_\_\_\_\_ Малышев В.Н.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Студентка Дмитриева В.

Группа 4181

Тема работы: Разработка цикла лабораторных работ «Моделирование аналоговых устройств»

№ п/п	Наименование работ	Срок выполнения
1	Обзор литературы по теме работы	20.02-10.03
2	Лабораторная работа №1 Источники питания	15.03-03.04
3	Лабораторная работа №2 Исследование транзисторного усилителя	03.04-17.04
4	Лабораторная работа №4 Моделирование генераторов	17.04-05.05
5	Оформление пояснительной записки	07.05-30.05
6	Оформление иллюстративного материала	30.05-04.06

Студентка

\_\_\_\_\_

Дмитриева В.

Руководитель

к.т.н.

\_\_\_\_\_

Бабушкина О.А.

Консультант

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_

Иванов А.Н.

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 87 стр., 83 рис., 7 табл., 16 ист., 6 прил.

NI MULTISIM 14.0, ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА, ВЫПРЯМИТЕЛЬ, СТАБИЛИЗАТОР, ТРАНЗИСТОРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ, ГЕНЕРАТОР, АНАЛОГОВЫЕ УСТРОЙСТВА, ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ.

Объектом разработки являются лабораторные работы по дисциплинам «Основы компьютерного проектирования и моделирования телекоммуникационных систем», «Моделирование микроволновых устройств» адаптированные к новой программной среде.

Цель работы – разработка цикла лабораторных работ «Моделирование аналоговых устройств» в программной среде NI Multisim.

Выпускная квалификационная работа представляет собой часть разрабатываемого курса лабораторных работ. Указанный курс состоит из двух частей, одна из которых – «Моделирование аналоговых устройств», представленная в данной работе. Указанная часть лабораторного практикума является модернизированной версией методического пособия к лабораторным работам «Проектирование РЭС в пакетах OrCAD и Microwave Office».

Целью данной работы была не только адаптация старого курса к новой программной среде, но и получения полезных навыков в области моделирования аналоговых устройств студентами факультета радиотехники и телекоммуникаций СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

В данном курсе работ моделирование выполняется с помощью программного обеспечения - NI Multisim 14.0. ВКР содержит руководство по выполнению трёх лабораторных работ, для каждой из них подробно описан алгоритм действий выполнения работы и приведены теоретические выкладки. Результатом проделанной работы является часть нового методического пособия по моделированию аналоговых устройств в ПО NI Multisim 14.0.

## **ABSTRACT**

This paper is the part of a laboratory casebook and is devoted to the modeling of analog devices. It is a modernized version of the casebook for laboratory practices in the discipline "Basics of Computer Design and Modeling of Telecommunication Systems".

As a result of the work, the manual was adapted to the new software environment - NI Multisim 14.0. The use of modern software will allow us to obtain new useful skills in modeling analog devices for students of the Faculty of Radio Engineering and Telecommunications of ETU "LETI"

## СОДЕРЖАНИЕ

Реферат .....	4
Abstract .....	5
Определения, обозначения и сокращения .....	8
Введение.....	9
Глава 1. Обзор литературы.....	12
Глава 2. Лабораторная работа №1. Моделирование источников питания..	15
2.1 Основные теоретические положения .....	15
2.2 Основные характеристики виртуального осциллографа - XSC1 .....	17
2.3 Моделирование выпрямителя .....	18
2.4 Моделирование стабилизатора напряжения.....	20
2.5 Отчёт по лабораторной работе №1 .....	22
Глава 3. Моделирование транзисторного усилителя Лабораторная работа №2 .....	23
3.1 Основные теоретические положения .....	23
3.2 Использование в работе анализатора спектра сигналов .....	25
3.3 Моделирование транзисторного усилителя в частотной области.....	27
3.4 Моделирование переходных процессов.....	29
3.5 Моделирование влияния разбросов параметров .....	33
3.6 Отчёт по лабораторной работе №2 .....	35
Глава 4. Моделирование генераторов. Лабораторная работа № 3.....	36
4.1 Основные теоретические положения .....	36
4.2 Моделирование мультивибратора .....	38
4.3 Моделирование генератора Колпитца.....	40
4.4 Моделирование кварцевого генератора на инверторах.....	41
4.5 Отчёт по лабораторной работе.....	43
Глава 5. Безопасность жизнедеятельности.....	44
5.1 Опасные и вредные производственные факторы.....	44

5.2 Эргономика взаимодействия человек-система. Принципы организации диалога.....	45
5.3 Эргономика взаимодействия человек-система. Элементы графического пользовательского интерфейса.....	48
5.4 Эргономика взаимодействия человек-система. Руководство по индивидуализации программного обеспечения.....	50
Заключение .....	52
Список использованных источников .....	53
Приложение А .....	56
Приложение Б .....	66
Приложение В.....	95
Приложение Г .....	100
Приложение Д.....	114
Приложение Е.....	118

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

В настоящей пояснительной записке применяют следующие термины с соответствующими определениями:

NI – National Instruments

ВКР – выпускная квалификационная работа

ОЭ – общий эмиттер

ОБ – общая база

ОК – общий коллектор

ПО – программное обеспечение

РЭС - радиоэлектронные средства



## ВВЕДЕНИЕ

Компьютерное моделирование стало важной составной частью проектирования электронных устройств. Программы схемотехнического анализа радиоэлектронных средств представляют собой виртуальные лаборатории, имеющие в своём составе библиотеки серийных электронных компонентов. Они позволяют инженеру проверить, удовлетворяет ли спроектированное им устройство требованиям технического задания, и отладить его перед изготовлением опытного образца. Многие программы дают возможность автоматизировать все стадии проектирования устройства, такие как подготовка принципиальных схем, моделирование различных процессов в аналоговых и цифровых цепях, компоновку и трассировку печатных плат, редактирование и расширение библиотеки компонентов.

В настоящее время для студентов факультета радиотехники СПбГЭТУ «ЛЭТИ» разработан и успешно внедрен курс лабораторных работ «Проектирование РЭС в пакетах OrCAD и Microwave Office», автором которого является Головкин А.А.[1].

Существует большое количество пакетов схемотехнического анализа, схожих с указанным выше пакетом, например, Micro-CAP от Spectrum Software, McCAD EDA Tools, NI Multisim, Protel DXP и др. [2]. В связи с этим различные компании используют какой-либо конкретный пакет программ или несколько. Знание принципов работы и опыт разработки в нескольких средах моделирования становятся очевидным плюсом для соискателей, которыми являются выпускники СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Также владение сразу несколькими специализированными пакетами позволяет сократить время разработки и повысить качество спроектированного устройства, путём подбора для конкретной задачи оптимального инструмента моделирования.

Таким образом, для повышения ценности на рынке труда выпускающихся специалистов и развития профессиональных навыков студентов возникла необходимость адаптации существующего курса

лабораторных работ по схемотехническому моделированию к новому программному инструменту.

Одним из современных пакетов, позволяющих моделировать электронные схемы, является NI Multisim. Указанный набор программ обладает простым наглядным интерфейсом, содержит мощные средства анализа результатов моделирования. Данный продукт разработан известным производителем измерительного оборудования National Instruments [3]. В нем содержатся модели виртуальных измерительных приборов, копирующих реальные аналоги. Тесное сотрудничество с производителями электронных компонентов позволило собрать внушительную библиотеку: более чем 2000 SPICE-моделей Analog Devices, Phillips, NXP и др. Таким образом, NI Multisim даёт возможность объединить процессы разработки электронных устройств и тестирование на основе технологии виртуальных приборов для учебных и производственных целей.

Вышесказанное позволило сделать выбор в пользу NI Multisim в качестве инструмента для выполнения лабораторных работ.

Целью работы является – модернизация методического пособия к лабораторным работам «Проектирование РЭС в пакетах OrCAD и Microwave Office» с помощью программного обеспечения - NI Multisim 14.0. ВКР содержит 3 лабораторные работы с подробно описанным алгоритмом действий и теоретические выкладки для каждого представленного объекта моделирования. Первая лабораторная работа посвящена моделированию источников питания. В данной работе необходимо подробно ознакомиться с такими устройствами как: выпрямитель и стабилизатор напряжения.

Во второй лабораторной работе описываются различные методы моделирования транзисторного усилителя с последующим тестированием приборов, повторяющих реальные аналоги осциллографа, спектроанализатора и анализатора амплитудных и фазочастотных характеристик – Bode Plotter.

Лабораторная работа № 3 «Моделирование генераторов» содержит 3 модели генераторов с различными способами возбуждения. Данная лабораторная работа способствует дальнейшему знакомству студента с виртуальными измерительными приборами и различными методами анализа.

В конце каждого руководства к выполнению лабораторной работы представлен отчёт по выполнению данной работы, содержащий необходимые графики и таблицы.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

На сегодняшний день существует множество программ схемотехнического проектирования радиоэлектронных устройств, которые также обладают возможностью моделирования. Широкое применение в сфере схемотехнического анализа получили программы, такие как MicroCAP от Spectrum Software, McCAD EDATools, NI Multisim, Protel DXP и др.

Рассмотрим некоторые из них. MicroCAP – система моделирования, предназначенная для анализа аналоговых, цифровых и смешанных аналого-цифровых устройств [4]. Данная программа легко усваиваемая, за счёт удобного и простого интерфейса. Так же она не предъявляет завышенных требований к программно-аппаратным средствам ПК, что и делает её востребованной. В основном Micro-CAP пользуется спросом среди студентов, благодаря простоте в использовании. Более сложной автоматизированной системой, состоящей, из нескольких автономных программных модулей является система OrCAD [5]. Основными компонентами данной системы являются: графический редактор – Capture, графический редактор печатных плат – Layout и программа моделирования электронных устройств – PSpice. Наличие графического редактора - Layout, говорит о возможности трассировки печатных плат, которой лишена система MicroCAP. Система OrCAD может проводить несколько типов анализа схем, такие как анализ переходных процессов, фурье анализ, анализ внутренних шумов, параметрический анализ и др. Эти же самые типы анализа можно встретить в программе NI Multisim [6]. Она в свою очередь обладает высокой функциональностью, в отличие от MicroCAP, разработчики которой стремились к компромиссу между функциональностью и простотой, получив нечто среднее. Программа имеет на своём счету более 2000 компонентов мировых производителей, таких как Analog Devices, Phillips, NXP и др. Данная платформа отличается от вышеописанных программ схемотехнического анализа предоставлением возможности пользователю объединить процессы разработки электронных устройств и тестирование на

основе технологии виртуальных приборов. Необходимо так же выделить, что все перечисленные программы являются коммерческими и их легальные версии недоступны для многих учреждений ввиду большой стоимости. Но в 2018 году у студентов факультета радиотехники СПбГЭТУ «ЛЭТИ» появилась возможность изучения программы NI Multisim, что вызвало необходимость адаптации к новой системе моделирования ныне существующего курса лабораторных работ «Проектирование РЭС в пакетах OrCAD и MicroWaveOffice», автором которого является Головков А.А. [1].

В настоящее время изучением программного обеспечения NI Multisim, с последующей разработкой методических пособий к лабораторным работам в данной среде, занимались Б.Л. Резников, В.Н. Попов [7]. Методическое пособие содержит 4 лабораторные работы, первая из которых посвящена изучению схем на полупроводниковых диодах. В данной работе подробно рассматривается классификация полупроводниковых диодов, а так же принцип работы и методы моделирования основных типов схем выпрямительного устройства. В последних лабораторных работах приводятся описания полевых и биполярных транзисторов, различных схем операционных усилителей и базовых логических элементов ТТЛ логики. Рассматриваемое методическое пособие в большей степени направлено на изучение принципов работы исследуемого устройства и его математического описания. В меньшей степени направлено на изучение типов анализ в используемой программной среде и их применения к исследуемым устройствам.

Рассмотрению данного вопроса также был посвящен лабораторный практикум, авторами которого являются А.Л. Марченко, С.В. Освальд [8]. Данный практикум состоит из 4 лабораторных комплексов, содержащих 37 лабораторных работ. В книге имеется описание схем исследуемых устройств, приведены краткие теоретические сведения, сформулированы задания на проведение экспериментов и даны рекомендации к их выполнению. Один из разделов учебного пособия выделен для изучения аналоговых электронных

приборов и устройств. Но данный раздел не содержит некоторых лабораторных работ, описанных в ВКР.

Аналогичные задачи решал В.Б. Терехин [9]. Им было написано практическое руководство к лабораторным работам по курсу «Прикладная электроника» в среде разработки Multisim. Он содержит 7 лабораторных работ, полностью посвященных исследованию логических элементов, за исключением первого раздела, в котором подробно описан виртуальный осциллограф: назначение каждого компонента прибора, его внешний вид и предназначение.

Также существует труд А.Н. Шестеркина, содержащий материал необходимый для освоения компьютерной системы моделирования и анализа схем NI Multisim [10]. Справочник состоит из 7 разделов. В первой главе описаны основные установки программы, которые необходимо определить перед началом работы. Для полного изучения возможностей программы написана вторая глава. Она создана в основном для начинающих пользователей, её изучение делает работу более эффективной. Полезными так же являются четвёртая и пятая главы, в которых кратко описаны виртуальные измерительные приборы и типы анализа радиоэлектронных устройств.

## ГЛАВА 2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

### 2.1 Основные теоретические положения

Источники электрического питания являются главной составной частью любого радиоэлектронного устройства, ведь без источника питания не станет работать ни одна схема. Для преобразования сетевого напряжения в необходимый потребителю постоянный или переменный ток, используются специальные устройства, такие как стабилизатор переменного напряжения, сглаживающий фильтр, трансформатор, выпрямитель. Рассмотрим некоторые из них.

Выпрямитель – статическое устройство, необходимое для преобразования входного переменного напряжения в постоянное напряжение [11]. Диоды и тиристоры - приборы с односторонней проводимостью - лежат в основе выпрямителей. Именно они позволяют протекать току в нагрузочной цепи только в одном направлении, то есть, выпрямляют его. Схема выпрямителя также содержит силовой трансформатор и нагрузку. Силовой трансформатор – устройство, необходимое для повышения или понижения напряжения питающей сети. По типу схемы выпрямителей разделяют на однополупериодные, двухполупериодные со средней точкой, мостовые и схемы с умножением напряжения.

Рассмотрим однофазную мостовую схему выпрямителя, изображенную на рисунке 2.1

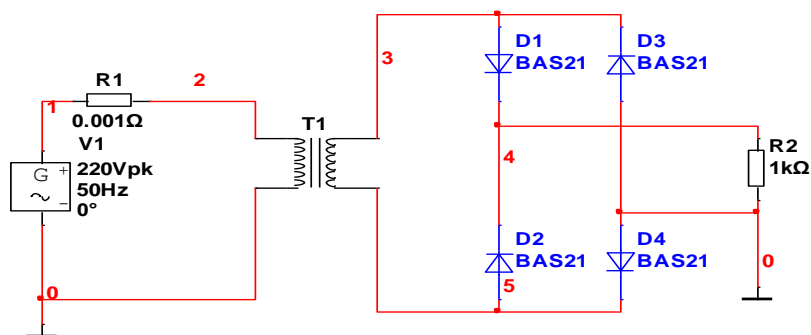


Рисунок 2.1 – Схема выпрямителя

Представленная схема состоит из четырёх диодов, включенных по мостовой схеме, источника синусоидального напряжения, трансформатора и выходной нагрузке. Характеристики, используемых диодов марки BAS21, приведены в приложении А. В одну из диагоналей моста включена выходная нагрузка, в другую – вторичная обмотка трансформатора. Общая точка катодов диодов D1, D2 представляет собой положительный полюс выпрямителя, а общая точка анодов диодов D3, D4 является отрицательным полюсом.

Во вторичной обмотке трансформатора полярность напряжения меняется с частотой питающей сети. В данной схеме диоды работают парами поочередно. В момент прохождения положительного полупериода напряжения  $U_2$  проводят ток диоды D1 и D4, в отрицательный – ток проводят диоды D2 и D3. Ток нагрузки проходит постоянно в одном направлении. Т.к. на нагрузке выделяется два полупериода сетевого напряжения, схема выпрямителя - двухтактная.

Стабилизатор напряжения – устройство, предназначенное для автоматической стабилизации выходного напряжения в узких пределах, при существенном изменении входного напряжения.

В данной работе используется стабилизатор LM1084IS-ADJ/NOPB – низковольтный регулятор постоянного напряжения, способный регулировать выходное напряжения, даже если оно близко по значению к напряжению питания. Подробно его характеристики описаны в приложении Б. Стабилизатор имеет два входа. Вход IN предназначен для подключения напряжения питания, ADJ – регулируемый вход, используется для подключения опорного напряжения, равного 1.25 В, которое развивается между выходом и регулировочным штифтом стабилизатора. Рассматриваемый стабилизатор является понижающим: его выходное стабилизированное напряжение всегда ниже входного.

В работе также предлагается провести измерения характеристик исследуемых устройств с помощью виртуального прибора – осциллографа.



## 2.2 Основные характеристики виртуального осциллографа - XSC1

Осциллограф – прибор, необходимый для исследования амплитудных и временных характеристик электрического сигнала, подаваемого на его вход. Набор инструментов используемого пакета содержит двухканальный и четырёхканальный осциллографы. В данной лабораторной работе применяется двухканальный осциллограф, имеющий канал А и канал В (Channel A, Channel B) с отдельными регулировками чувствительности в диапазоне от 10 мкВ/дел до 5 кВ/дел и смещения по вертикали (Y Position). Чувствительность каналов и положения изображений сигналов регулируются с помощью кнопок «увеличить» и «уменьшить», появляющиеся при щелчке по полю, где отображаются значения чувствительности и смещения. Информационные входы для каждого канала обозначены символом «+», символом «-» обозначены общие входы – «земля».

На условном обозначении осциллографа отмечены несколько типов развёртки Y/T, Add, V/A, A/V. В основном используется режим Y/T – режим, при котором по вертикали отображается напряжение сигнала, по горизонтали – время. Режим Add необходим для воспроизведения суммы каналов А и В. В режиме V/A воспроизводится сигнал канала В по вертикали, по горизонтали – сигнал канала А. В случае использования режима A/V соответственно наоборот.

В ждущем режиме (Trigger) запуск развёртки (Edge) может осуществляться по фронту или срезу запускающего сигнала при регулируемом уровне Level запуска, в режиме Auto (от канала А или В), от канала А, от канала В или от внешнего источника (Exit).

Осциллограф снабжён двумя визирами (T1, T2), необходимыми для проведения измерений. Их положение оцифровывается – под экраном осциллографа для каждого визира отображаются значения напряжения и времени для каналов А и В. В строчке T1-T2 вычисляются значения разности времён и напряжений для моментов времени, определённых визирами. Для

управления визирами можно воспользоваться командами контекстного меню, которое вызывается щелчком по правой кнопке мыши.

### **2.3 Моделирование выпрямителя**

- 1 Запустить программу NI Multisim 14.0.
- 2 Используя набор библиотек программы NI Multisim 14.0, построить схему, показанную на рисунке 2.1. Для этого необходимо обратиться к библиотекам:
  - Sources, семейство SIGNAL\_VOLTAGE\_SOURCES и выбрать компонент AC\_VOLTAGE – источник переменного синусоидального напряжения. В семействе POEWR\_SOURCES выбрать компонент GROUND;
  - Basic, семейство RESISTOR и выбрать резисторы необходимых номиналов. В семействе TRANSFORMER выбрать компонент COUPLED\_INDUCTORS;
  - Diodes, семейство SWITCHING\_DIODE выбрать 4 компонента модели BAS21.
- 3 Сохранить файл, присвоив ему подходящее имя с помощью команды File → Save as.
- 4 Установить индикаторы напряжения на вход и выход устройства.
- 5 Для получения графиков входного напряжения и напряжения на нагрузке выбрать в строке меню опцию Simulate → Analyses and Simulate, и установить тип анализа Transient. В поле Initial Conditions (начальные условия) из раскрывающегося списка выбрать User-defined (начальные условия, определенные пользователем). В поле TSTART(Start time) установить время начала анализа – 0 с. Время завершения анализа TSTOP – 60мс. Здесь же выбрать вкладку output и задать необходимые переменные PR1, PR2. После установки параметров нажать кнопку Run. При отсутствии ошибок на экране появится график временной зависимости входного и выходного напряжения.

6 С помощью команды Cursor → Show cursors, установить курсор 1 на максимум входного напряжения, курсор 2 установить на максимум выходного напряжения. Для точной установки курсоров можно воспользоваться командами контекстного меню, путём нажатия правой кнопки мыши на курсор и выполнить команду «Go to next YMAX». Зафиксировать результаты. Скопировать график можно с помощью команды Edit → Copy graph.

7 Определить предельное значение входного сигнала для данного типа диодов, увеличивая его значение.

8 Определить влияние на работу выпрямителя значения коэффициента трансформации, путём изменения индуктивности обмоток трансформатора.

9 Последовательно с нагрузкой включить индуктивность. Для этого необходимо открыть библиотеку Basic, семейство INDUCTOR, выбрать индуктивность  $L = 1000\text{мГн}$ .

10 Для исследования входного и выходного напряжения на осциллографе необходимо подключить его к схеме. Для этого выполним команду simulation → instruments → oscilloscope. Информационный вход канала А подключить к входной цепи, информационный вход канала В подключить к выходной. Вход с символом «-» подключить к земле. Подключение осциллографа к схеме, изображено на рисунке 2.2.

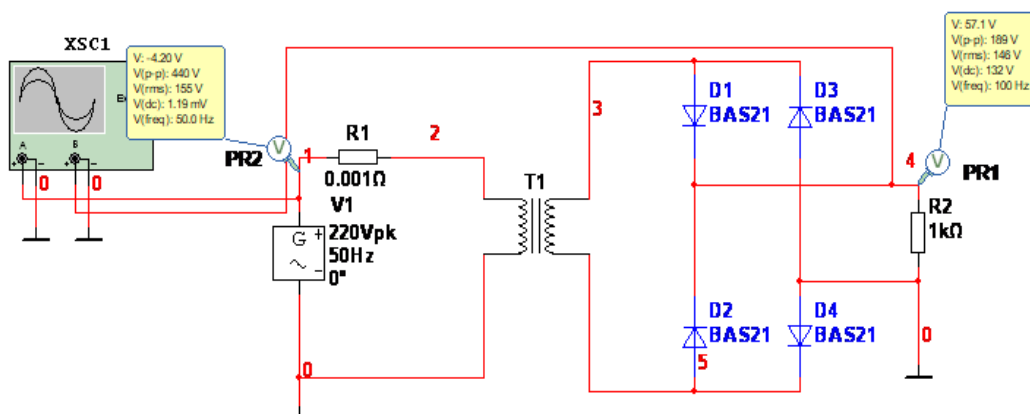


Рисунок.2.2 – Схема выпрямителя с измерительным прибором

11 Запустить команду simulation → analyses and simulation и выбрать тип анализа Interactive analyses. Закрывать окно нажатием кнопки Save.

12 Дважды левой кнопкой мыши нажать на подключенный к схеме осциллограф XSC1. В правом нижнем углу в секции Timebase выбрать режим развёртки – Y/T - режим, в котором по вертикали отображается напряжение сигнала, по горизонтали – время. В той же секции выбрать Scale – 10ms/Div. Чувствительность (Scale) и смещение по вертикали (Y Position) для обоих каналов подстраиваются так, чтобы графики было удобно исследовать на экране. Рекомендуется задать Chanal A Scale -100ms/Div. Chanal B Sscale – 100ms/Div. В секции Trigger выбрать Single. Выбрать для каналов A и B тип развёртки – DC. После выполнения настроек осциллографа нажать кнопку Run.

13 Выполнить измерения для канала A. Для этого установить тип развёртки канала B - . Установить курсор на максимум входного напряжения, для этого нажать правой кнопкой мыши на курсор и выполнить команду « Go to next Y MAX ». Зафиксировать результаты.

14 Выполнить измерения для канала B. Зафиксировать результаты.

Сравнить полученные результаты при моделировании схемы выпрямителя с использованием типа анализа – Transient и виртуального осциллографа.

## 2.4 Моделирование стабилизатора напряжения

1 Запустить программу NI Multisim 14.0.

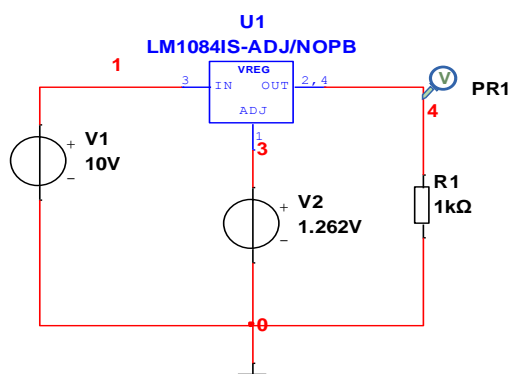


Рисунок 2.3 – Схема стабилизатора напряжения

2 Построить схему, показанную на рисунке 2.3. Для этого использовать библиотеки:

- Sources, семейство POWER\_SOURCES и выбрать два компонента DC\_POWER – источник постоянного напряжения. В семействе POWER\_SOURCES выбрать компонент GROUND;
- Basic, семейство RESISTOR, выбрать резистор необходимого номинала;
- Power, семейство VOLTAGE\_REGULATOR выбрать компонент LM1084IS-ADJ/NOPB.

3 Установить значение напряжения  $V1 = 10V$ ,  $V2 = 1.26V$ .

Установить индикатор напряжения перед нагрузкой R1.

4 Установить тип анализа DC Sweep. Для этого во вкладке Analysis parameters поставить галочку в поле Use source 2. Задать линейное изменение источника напряжения V1 в пределах от 0В до 29В с шагом 0,1В. Также задать линейное изменение источника постоянного напряжения V2 в пределах от 1,1В до 1,3В с шагом 0,1В. Нажать кнопку Run.

5 Исследовать нагрузочную характеристику стабилизатора. Для этого необходимо использовать тип анализа – Parameter Sweep. Открыть вкладку Analysis parameters. В разделе Sweep parameters указать в поле Device Type (тип элемента) Resistor; name – R1; parameter – resistance. В разделе Point to sweep(закон изменения параметра) выбрать способ изменения параметра – Linear(линейный). Изменение параметра произвести в пределах от 100Ом до 1кОм с шагом 180Ом. В разделе More options (дополнительные возможности) из развёртывающегося списка выбрать режим исследования по постоянному току – DC Operating Point. Поставить галочку в поле Group all traces on one plot. Поставить галочку в поле Display resultson a graph.

6 Выполнить моделирование. При отсутствии ошибок на экране появится семейство графиков стабилизированного напряжения.

## **2.5 Отчёт по лабораторной работе №1**

*/Изъято согласно Заявлению/*

## **ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**

### **3.1 Основные теоретические положения**

Транзисторный усилитель – усилитель, основанный на применении транзисторов в качестве усилительных элементов [12]. Транзисторные усилители классифицируют по форме электрических сигналов как:

- усилители постоянного тока – усилители непрерывных сигналов;
- усилители переменного тока - усилители сигналов с несущим гармоническим процессом. Из них выделяют узкополосные или избирательные, усиливающие только одну гармоническую составляющую из ряда гармоник периодического тока;
- импульсные усилители – широкополосные усилители импульсных сигналов;
- усилители среднего значения тока – усилители, преобразующие изменение амплитуды или фазы гармонического сигнала в зависимости от изменения значения и знака постоянного тока

Схемотехнику усилителей на транзисторах можно разделить на три основные схемы, именно они лежат в основе более сложных схем транзисторного усилителя:

- усилитель с общим эмиттером (ОЭ);
- усилитель с общей базой (ОБ);
- усилитель с общим коллектором (ОК).

Основной усилительный элемент – транзистор содержит три вывода, поэтому один из его выводов необходимо использовать одновременно для подключения источника сигнала и подключения нагрузки. Тогда получается, что схема с общим эмиттером является усилителем, где эмиттер транзистора используется как для подключения входного сигнала, так и для подключения нагрузки.

Рассмотрим схему транзисторного усилителя с общим эмиттером, представленную на рисунке 3.1

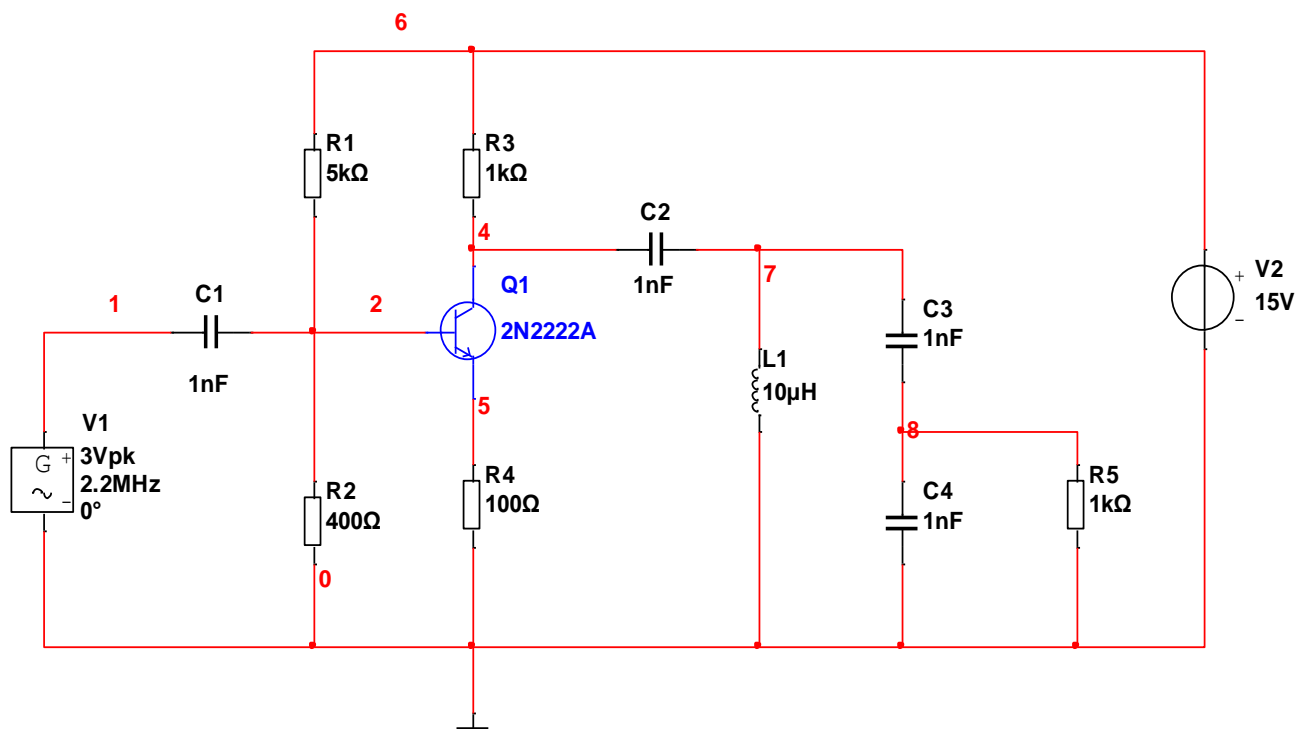


Рисунок 3.1 – Схема транзисторного усилителя

Главным элементом схемы является транзистор. В данной работе используется биполярный транзистор марки 2N2222A – кремниевый NPN транзистор с металлическим корпусом, его характеристики подробно описаны в приложении В. Он рассчитан на высокую скорость переключения при токе коллектора до 500мА. Конденсатор  $C_1$  выбирают таким образом, чтобы фильтр высоких частот, образованный последовательным соединением этого конденсатора с резисторами смещения базы, пропускал все нужные частоты. Иначе говоря, делитель напряжения, образованный за счёт резисторов  $R_1$  и  $R_2$  используется для смещения транзистора, т.е. напряжение, проходящее через  $R_2$ , будет напряжением на базе транзистора, которое смещает своё соединение базы-эмиттера. В схеме транзисторного усилителя присутствует также колебательный контур, представляющий собой колебательный контур.

В работе предлагается провести измерения характеристик исследуемых устройств с помощью виртуальных приборов, таких как анализатор спектра, осциллограф, анализатор амплитудных и фазочастотных характеристик.



### 3.2 Использование в работе анализатора спектра сигналов

Спектроанализатор – прибор, предназначенный для измерения и отображения спектра исследуемого сигнала – зависимость амплитуд гармонических составляющих от частоты. [1313]. Условное обозначение прибора показано на рисунке 3.2.

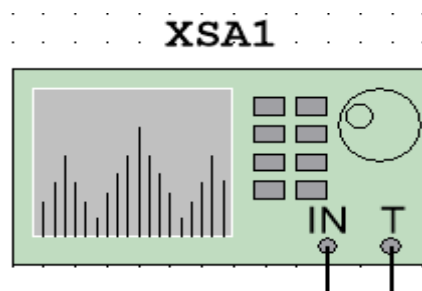


Рисунок 3.2 – Условное обозначение спектроанализатора

Для проведения исследований необходимо подключить информационный вход прибора (IN) к источнику сигнала и задать настройки удобные для его исследования. Внешний вид прибора показан на рисунке 3.3.

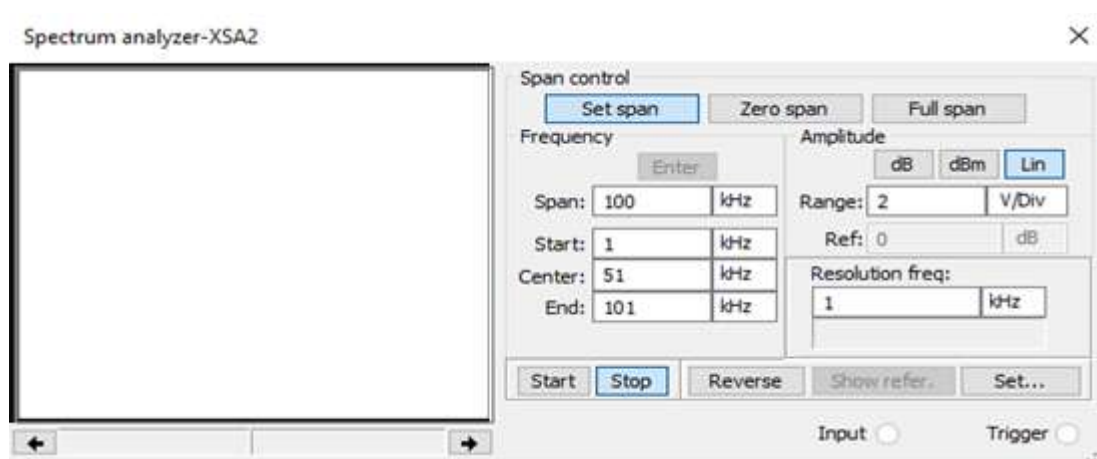


Рисунок 3.3 – Внешний вид спектроанализатора

Для получения спектрограммы исследуемого сигнала необходимо выполнить настройки в поле Frequency:

- указать контрольную частоту Span;
- задать начальное (Run) и конечное (End) значение частот, после этого становится активна кнопка «Enter», при нажатии которой автоматически устанавливается среднее значение частоты (Center).

Для удобного восприятия результатов исследования в поле Amplituda подбирается:

- масштаб, полученного изображения по амплитуде (Range);
- способ представления амплитуд гармоник – линейный (Lin) в вольтах или логарифмический в децибелах. При выборе логарифмического способа представления есть возможность задать линию отсчёта (Ref);
- разрешение прибора по частоте (ResolutionFreq). Минимальное значение разрешения по умолчанию составляет конечную частоту, деленную на 1024 – FFT Points.

Можно изменить число точек, нажав кнопку Set, выбрав одно из значений раскрывающегося списка. В этом же диалоговом окне определяется:

- источник синхронизирующих сигналов внешний (External) или внутренний (Internal);
- способ синхронизации – Triggermode – непрерывным или одиночным сигналом (Continuous – Single);
- Порог синхронизирующего сигнала (Threshold)

В поле управления диапазоном исследуемых частот (Spancontrol) при выборе:

- Zero Span (Центральная частота) пользователь может установить только среднюю частоту (Center);
- Full Span (Полный диапазон частот) гармоники определяются в диапазоне от 0 Гц до 4 МГц;
- Set Span - все необходимые настройки задаются посредством выбора пользователя.

Запускается анализатор кнопкой «Start» на лицевой панели прибора. С помощью визира, расположенного в левом верхнем углу, можно оцифровать значение амплитуды и частоты.

### 3.3 Моделирование транзисторного усилителя в частотной области

- 1 Запустить программу NI Multisim 14.0.
- 2 Построить схему, показанную на рисунке 3.1. Для размещения на рабочем поле графического образа источников напряжения необходимо в библиотеке sources семейства power\_sources выбрать компонент DC\_Power – источник постоянного тока и компонент AC\_Voltage – источник переменного напряжения, принадлежащий семейству signal\_voltage\_sources. Конденсатор типа C, резистор типа R и индуктивность типа L находятся в библиотеке Basic. Биполярный транзистор типа Q2N2222A – в библиотеке Transistors, заземление типа GROUND – в библиотеке Sources. Для источника V1 задать амплитуду сигнала 3 В и частоту 2.2 МГц.
- 3 Сохранить схему с помощью пункта меню File → Save As.
- 4 Смоделировать схему по постоянному току в рабочей точке.
- 5 Войти в режим управления моделированием и включить анализ по переменному току с помощью команды Simulate → Analysis and Simulate → AC Sweep и задать в его параметрах линейное изменение частоты от 10 Гц до 5 МГц. Установить индикатор напряжения (Voltage - V(PR1)) на нагрузку усилителя (резистор R5).
- 6 Установить индикатор напряжения V(PR2) на вход цепи. Выполнить команду Simulate → Analysis and Simulate → AC Sweep, открыть вкладку output и нажать кнопку Add expression. В появившемся окне диалога Analysis Expression в поле Expression задать отношение выходного и входного напряжения. Нажать кнопку Run.
- 7 При отсутствии ошибок, появится семейство частотных характеристик входного, выходного и их отношения. Выполнить команду Cursor → Show cursors. Появятся два визира, установить один из них на максимальное значение амплитуды отношения входного и выходного напряжения. Результат зафиксировать.

8 Нажав правой кнопки мыши на график ФЧХ, установить визир на фрагмент кривой соответствующий частоте 2.2МГц. Результат зафиксировать.

9 Изучить режим модификации параметров элементов. Для этого выполнить команду Simulate → analyses and simulate → Parameter Sweep. Окно диалога Parameter Sweep содержит три раздела. В разделе Sweep parameters в поле Sweep parameters из развёртывающегося списка выбрать Device parameter. В поле Device type – Resistor, Name – R5, Parameter – resistance. В разделе Points to sweep задать линейное изменение глобального параметра R5 в диапазоне от 50 Ом до 1 кОм через 200 Ом;

10 Изучить режим анализа шумов. Установить маркер напряжения на коллектор транзистора. Выполнить команду Simulate → analyses and simulate → Noise. В первой вкладке Analysis Parameters задать в качестве выходного напряжения (Output Voltage) напряжение на коллекторе транзистора V(Q1:c), а в качестве внешнего источника - источник V1. Для этого в поле Input noise reference source выбрать - V1, output node - V(PR2). Во вкладке Frequency parameters задать настройки анализа переменного тока AC Sweep, для этого необходимо нажать кнопку Reset to main AC values. Во вкладке output задать onoise для всех элементов и нажать Run.

11 Для исследования вклада элементов схемы в выходной шум указать во вкладке output на необходимость вывода графиков суммарной спектральной плотности выходного шума onoise\_spectrum и спектральной плотности шумов элементов onoise\_rr1, onoise\_rr2, onoise\_rr3, onoise\_rr4.

12 Удалить график, соответствующий элементу, вносящему наименьший вклад в шумовые характеристики схемы.

13 Выполнить команду Simulate → analyses and simulate → Interactive Simulation. Закрыть диалоговое окно нажатием кнопки Save.

14 Изучить принцип работы виртуального анализатора амплитудных и фазочастотных характеристик – Bode Plotter. Для размещения прибора на рабочем поле выполнить команду Simulate → Instruments → BodePlotter.

Левые клеммы подключить к входам исследуемой цепи, правые подключить к выходам.

15 Измерить АЧХ исследуемого сигнала. Нажатием кнопки Magnitude, воспроизвести на экране прибора амплитудную характеристику исследуемого устройства. Установить диапазон частот в окне параметров Horizontal. От начальной частоты (Initial= 3 mHz) до конечной (Final = 3MHz). В поле Vertical установить минимальное (I=0) и максимальное (F=5) значение коэффициента передачи. Установить по горизонтали и вертикали линейный масштаб – Lin. С помощью визира измерить значение амплитуды соответствующее частоте сигнала 2.2МГц и зафиксировать его.

16 Измерить ФЧХ исследуемого сигнала. Нажатием кнопки Phase, воспроизвести на экране прибора фазовую характеристику исследуемого устройства. Установить диапазон частот в окне параметров Horizontal. От начальной частоты (Initial = 3 mHz) до конечной (Final = 3 MHz). В поле Vertical установить минимальное (I=-720°) и максимальное (F=720°) значение. Установить по горизонтали и вертикали линейный масштаб – Lin. С помощью визира установить максимальное значение фазы соответствующее частоте сигнала 2.2МГц и зафиксировать его.

17 Сравнить полученные результаты с помощью моделирования схемы транзисторного усилителя при использовании типа анализа – AC Sweep и при использовании виртуального анализатора амплитудных и фазочастотных характеристик – Bode Plotter.

### **3.4 Моделирование переходных процессов**

- 1 Построить схему, показанную на рисунке 3.1.
- 2 Сохранить схему с помощью пункта меню File → Save As.
- 3 Войти в режим управления моделированием с помощью команды Simulate → Analysis and Simulate, включить моделирование переходных процессов Transient и задать в его параметрах время моделирования Final Time 3 мкс. Установить индикаторы напряжения на вход и выход усилителя.

4 Выполнить моделирование командой Run. При отсутствии ошибок на экране появятся временные зависимости входного и выходного напряжения. Измерить, полученные графики с помощью курсоров. Результаты зафиксировать.

5 Выполнить команду Simulate → Analysis and Simulate → Transient, открыть вкладку output и с помощью кнопки Add добавить ток коллектора. Входное и выходное напряжение удалить с помощью кнопки Remove. Закрыть диалоговое окно нажатием кнопки Run. Проанализировать полученные результаты и определить режим работы транзистора.

6 Выполнить преобразование Фурье для данных графиков и получить их спектральное представление. Для этого выполнить команду Simulate → Analysis and Simulate → Fourier. Установить разрешение по частоте (Frequency resolution) 2.2 МГц, число, вычисляемых гармоник-20. Время, в течение которого будет производиться дискретизация – 2 мкс. В поле Display в раскрывающемся списке выбрать опцию Chart and Graph. Выбрать масштаб, используемый при воспроизведении амплитуда (фазы) – линейный. Во вкладке output указать в поле Selected variables for analysis входное напряжение или индикатор напряжения (PR1).

7 При отсутствии ошибок на экране появится спектрограмма и таблица анализа гармонических составляющих. Экспортировать таблицу, выполнив команду Tools → Export to Excel. Сохранить график, выполнив команду Edit → Copy Graph.

8 Выполнить п. 6, п. 7 для выходного напряжения и для тока коллектора.

9 Удалить индикаторы напряжений, и установить индикатор тока между конденсатором C2 и индуктивностью L1. Выполнить команду View → Circuit Parameters. В правом нижнем углу в поле Name задать имя глобального параметра. Нажав дважды на источник синусоидального напряжения в поле voltage также указать имя глобального параметра. Выполнить команду Simulate → analyses and simulate → Parameter Sweep. В

разделе Sweep parameters в поле Sweep parameters из развёртывающегося списка выбрать Circuit Parameter. Parameter – имя глобальной переменной. Тип анализа – Transient, время анализа – 2мкс. Способ изменения параметра выбрать линейный. Изменять от 0 до 3 с шагом 0.5.

10 Выполнить моделирование. На экране появится семейство переходных процессов при разных амплитудах входного воздействия. Зафиксировать результат.

11 Для исследования входного и выходного напряжения на осциллографе необходимо подключить его к схеме. Для этого выполним команду simulation → instruments → oscilloscope. Информационный вход канала А подключить к входной цепи, информационный вход канала В подключить к выходной. Вход с символом « - » подключить к земле. Подключение осциллографа к цепи, изображено на рисунке 3.4.

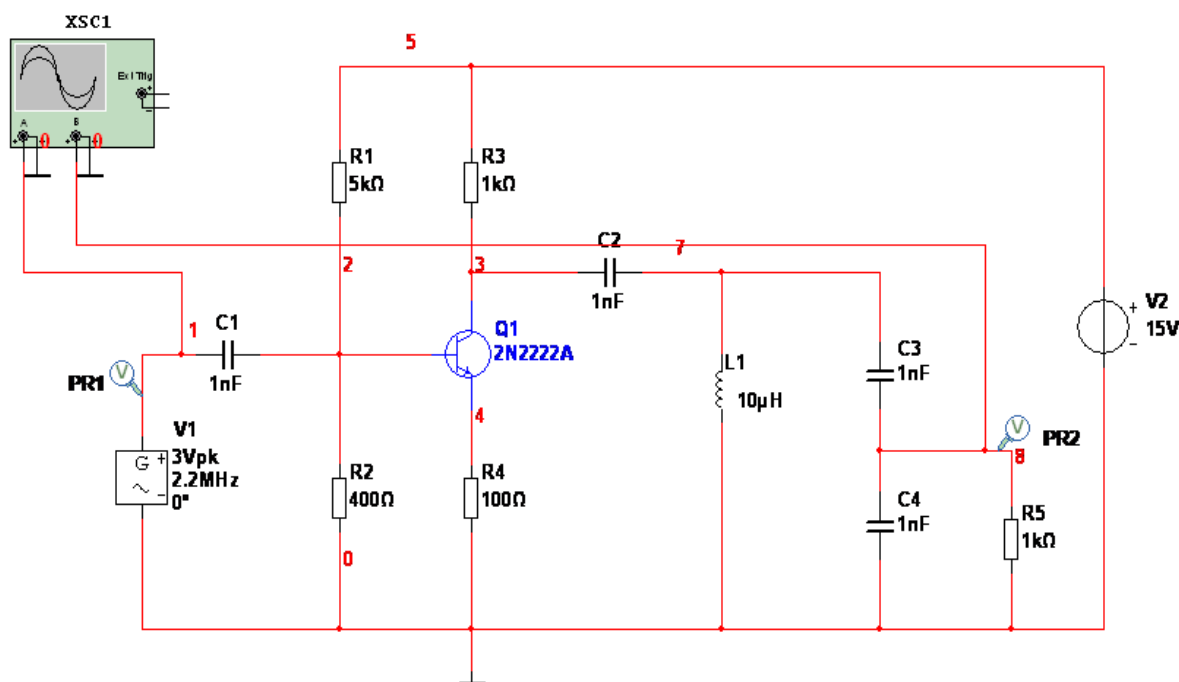


Рисунок 3.4 – Схема транзисторного усилителя с осциллографом

12 Дважды левой кнопкой мыши нажать на подключенный к схеме осциллограф - XSC1. В правом нижнем углу в секции Timebase выбрать режим развёртки – Y/T – режим, в котором по вертикали отображается напряжение сигнала, по горизонтали – время. В той же секции выбрать Scale 500ns/Div. Чувствительность (Scale) и смещение по вертикали (Y Position)

для обоих каналов подстраиваются так, чтобы графики было удобно исследовать на экране. Рекомендуется задать Chanal A Scale - 2V/Del. Chanal B Scale – 2V/Del. В секции Trigger выбрать Single. Выбрать для каналов А и В тип развёртки – DC. После выполнения настроек осциллографа нажать кнопку Run и Start на лицевой панели прибора.

13 Выполнить измерения для канала А. Для этого установить тип развёртки канала В - . Установить курсор на максимум входного напряжения, для этого нажать правой кнопкой мыши на курсор и выполнить команду « Go to next Y MAX ». Зафиксировать результаты.

14 Выполнить измерения для канала В. Зафиксировать результаты.

15 Сравнить полученные результаты с помощью моделирования схемы транзисторного усилителя при использовании типа анализа – Transient и при использовании виртуального осциллографа.

16 Для исследования спектра входного сигнала использовать виртуальный измерительный прибор – Анализатор спектра. Выполнить команду simulation → instruments → Spectrumanalyzer. Информационный вход IN подключить к входной цепи, вход T подключить к земле.

Подключение анализатора спектра к схеме, изображено на рисунке 3.5.

17 Выполнить настройки спектроанализатора. Для этого задать Span – 2МГц, диапазон частот от 2МГц до 5МГц, средняя частота – 2.5МГц, масштаб изображения по амплитуде – 0,5V/Del. Способ представления амплитуд гармоник – линейный (Lin), разрешение прибора по частоте (Resolution Freq) - 15,925кГц. С помощью визира измерить амплитудное значение гармонической составляющей на частоте 2.2МГц. Результаты зафиксировать.



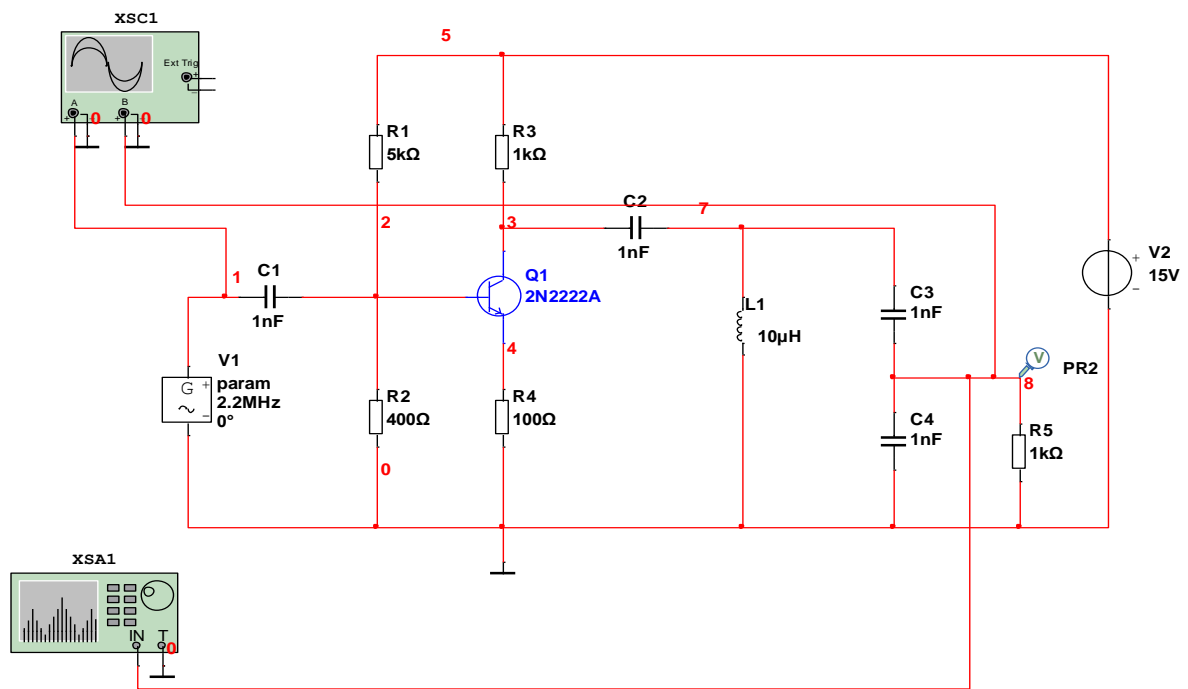


Рисунок 3.5 – Схема транзисторного усилителя с осциллографом и спектроанализатором

18 Повторить п.15, п.16 для исследования выходного сигнала.

Результаты зафиксировать.

19 Сравнить полученные результаты с помощью моделирования схемы транзисторного усилителя при использовании типа анализа – Fourier и при использовании виртуального анализатора спектра.

### 3.5 Моделирование влияния разбросов параметров

1 Построить схему, показанную на рисунке 3.1.

2 Сохранить схему с помощью пункта меню File → Save As

3 Установить индикатор напряжения на нагрузку транзисторного усилителя. Включить режим моделирования по переменному току и выполнить его в диапазоне от 10Гц до 5МГц, число точек – 10000. Тип развёртки и вертикальный масштаб выбрать линейный. Во вкладке output выходная переменная задана по умолчанию – V(PR1). После выполнения настроек, нажать кнопку Run.

4 Установить для всех резисторов предел разброса сопротивления TOLERANCE равным 10% на схеме, дважды нажав на необходимый

компонент. С помощью команды Simulate → analyses and simulate включить режим статистического анализа Monte-Carlo. Во вкладке TOLERANCE с помощью кнопки Add tolerance добавить в поле tolerancelist поочередно все резисторы, имеющиеся в схеме. Задать в поле tolerance value – 10%, в поле Description из раскрывающегося списка выбрать UNIFORM (равномерное распределение). Во вкладке Analysis parameters указать:

- число статистических испытаний – 10;
- тип анализа – AC. Далее слева нажать кнопку Edit analysis в появившемся окне нажать кнопку Reset to main AC values, закрыть окно нажатием кнопки ОК;
- выходную переменную – выходное напряжение – V(PR1).

5 Выполнить моделирование. На экране появится график семейства статистических характеристик выходного напряжения и таблица статистического анализа. Сохранить графики и экспортировать результирующую таблицу в Excel.

6 Повторить п.4, п.5, изменив вид распределения в поле Description на Gaussian. Выполнить моделирование. Зафиксировать, полученные результаты.

7 Выполнить расчет оценки наихудшей комбинации значений параметров. Для этого в окне параметров режима указать:

- способ анализа – метод Worst Case;
- тип анализа – AC, выходная переменная – выходное напряжение – PR1;
- направление отклонения от номинала – вверх (High);
- разброс параметров сопротивлений – 10%.

8 Выполнить моделирование. На экране появятся две частотные характеристики выходного напряжения – для номинальных значений параметров и для наихудшей комбинации при максимальных, в пределах разброса, значениях всех параметров. Зафиксировать результаты.

9 Повторить п.7, п.8, изменив направление отклонения от номинала Low (вниз). Зафиксировать результаты.

### **3.6 Отчёт по лабораторной работе №2**

*/Изъято согласно Заявлению/*

## ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

#### 4.1 Основные теоретические положения

Генератор – устройство, которое преобразует механическую энергию, полученную из внешнего источника, в электрическую энергию.

В данной лабораторной работе будут рассмотрены такие генераторы как:

- Мультивибратор
- Генератор Колпитца
- Кварцевый генератор на инверторах

*Мультивибратор* – генератор прямоугольных импульсов, работающий в режиме автогенератора. Схема мультивибратора основана на двух транзисторах или логических схемах с дополнительными элементами. Можно сказать, что мультивибратор представляет собой двухкаскадный усилитель с цепью положительной обратной связи. Благодаря наличию положительной обратной связи усилитель превращается в генератор.

Существуют симметричные и несимметричные мультивибраторы.

Рассмотрим симметричный мультивибратор, показанный на рисунке 4.1

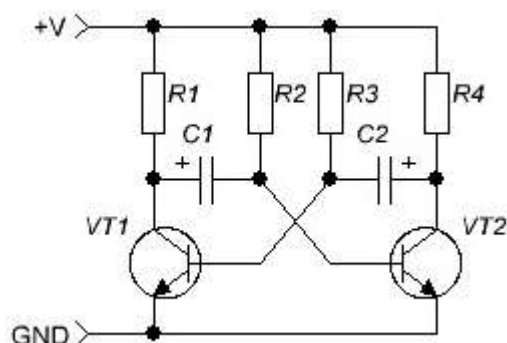


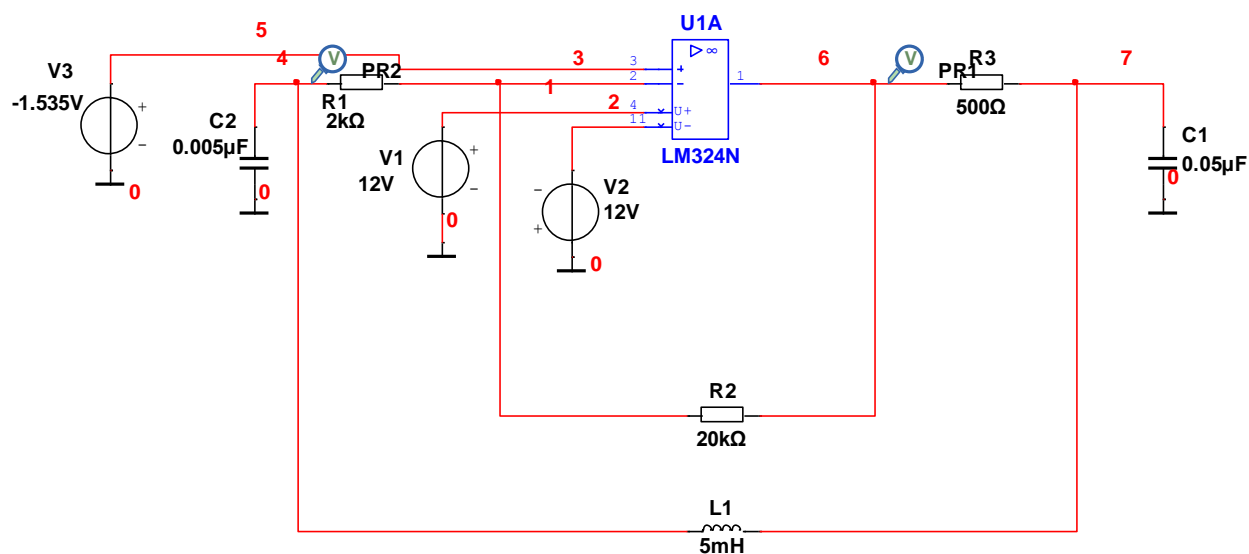
Рисунок 4.1 – Схема мультивибратора

Номиналы элементов каждого из двух плеч симметричного мультивибратора совпадают:  $R1=R4$ ,  $R2=R3$ ,  $C1=C2$ . На осциллограмме выходного сигнала симметричного мультивибратора можно легко заметить,

что прямоугольные импульсы и паузы между ними равны. Его работа основана на зарядно-разрядных процессах конденсаторов, которые вместе с резисторами образуют RC- цепочки.

*Генератор Колпитца или LC-генератор* – является одной из схем генераторов, использующих комбинацию индуктивности и ёмкости для определения частоты.

Рассмотрим генератор Колпитца собранный на операционном усилителе, показанный на рисунке 4.2



*Рисунок 4.2 – Генератор Колпитца*

Использование в работе LC-генератора позволяет получить высокочастотные синусоидальные колебания. Они возникают за счёт LC-контра, который настроен на определенную частоту и подключен к усилительной схеме, чтобы обеспечить необходимое усиление на его резонансной частоте. Петля обратной связи применяется для поддержания колебаний на резонансной частоте колебательного контура LC. В схему включен операционный усилитель марки LM324N – четырёх ядерный операционный усилитель, работающий при напряжении питания до 3В. Подробно его технические характеристики описаны в приложении Г.

*Кварцевый генератор* – автогенератор, предназначенный для получения колебаний фиксированной частоты, в состав которой входит

кварцевый резонатор. На рисунке 4.3 представлена схема кварцевого генератора на инверторах.

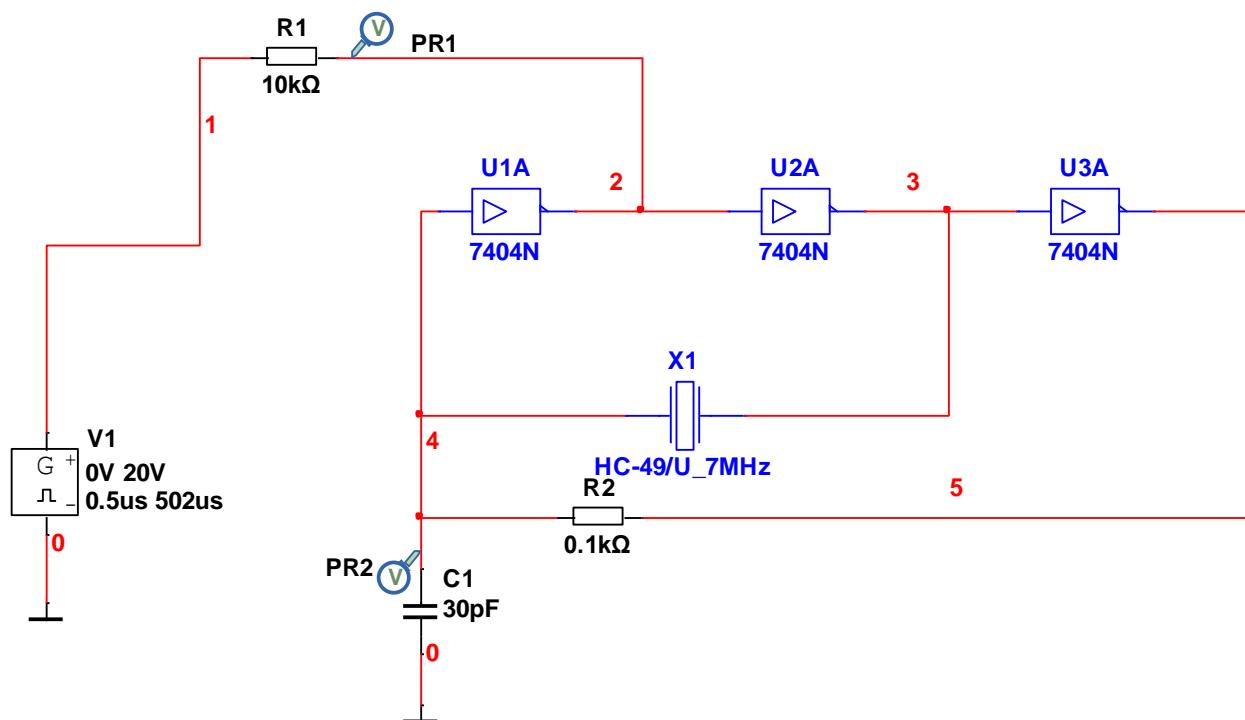


Рисунок 4.3 – Кварцевый генератор на инверторах

Главным элементом схемы является кварцевый резонатор марки HC-49U\_7MHz. Его основные характеристики описаны в приложении Д. Он предназначен для стабилизации и выделения электрических колебаний определенной частоты. Стоит отметить, что кварцевый резонатор имеет лучшие характеристики, чем другие приборы для стабилизации частоты, такие как стабильность по частоте и температуре. Ещё одним важным элементом схемы являются инверторы марки 7404N, характеристики которых описаны в приложении Е, предназначенные для изменения фазы выходного сигнала на  $180^\circ$  относительно входного.

## 4.2 Моделирование мультивибратора

- 1 Запустить программу NI Multisim 14.0.
- 2 Построить схему, показанную на рисунке 4.4. Для этого необходимо, используя библиотеки Sources, Basic, Transistors расположить элементы типа – Pulse\_Voltage – генератор прямоугольных импульсов

напряжения; R – резисторы с номиналами 1k, 100k, 750; C – конденсаторы с номиналами 0.01uF; 2Q2222A – два биполярных транзистора. Элемент ground также находится в библиотеке Source. Установить индикаторы PR1, PR2, PR3.

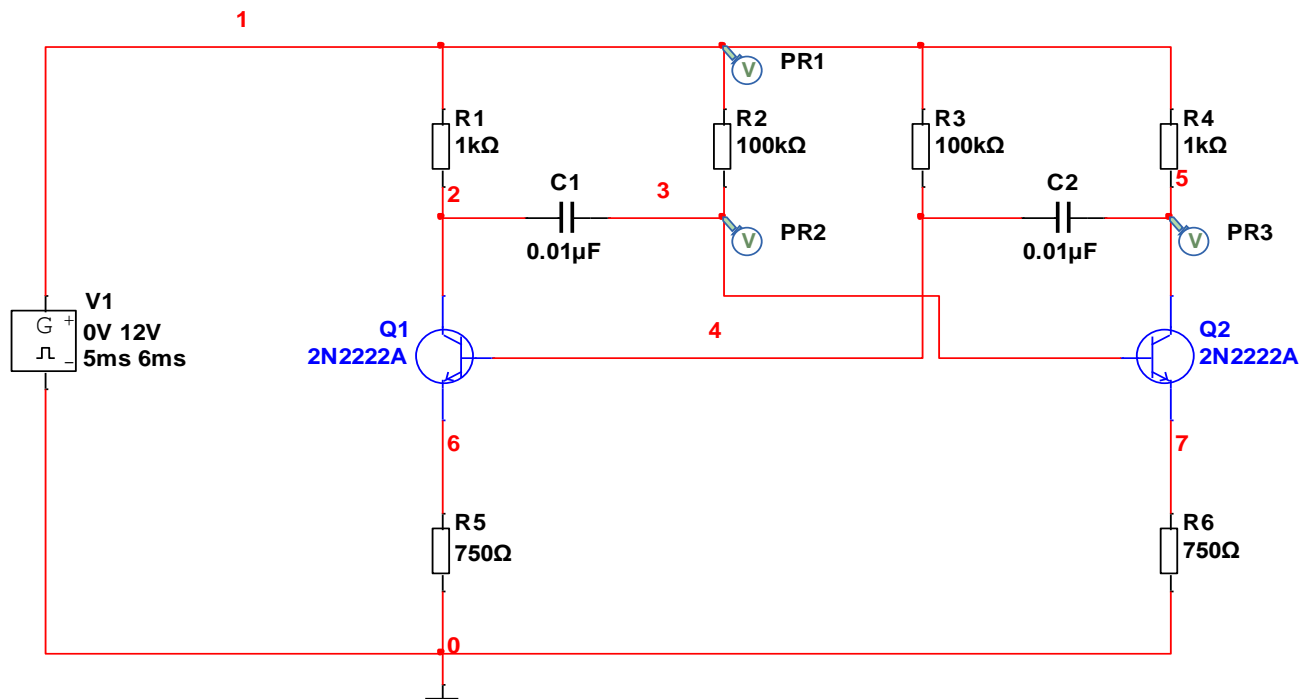



Рисунок 4.4 – Схема мультивибратора с импульсным источником

- 3 Сохранить схему с помощью пункта меню File → Save As.
- 4 Проверить при какой несимметрии появляются возбуждения, уменьшая значение резистора R5. Для этого воспользуемся типом анализа – TransientAnalysis. Выполнить команду Simulate → analyses and simulate → Transient. Из раскрывающегося списка « начальные условия » выбрать « Calculate DC operating point » (начальные условия устанавливаются на основе расчёта рабочего режима по постоянному току). Время моделирования – 5мс. Во вкладке output в поле Selected variables for analysis по умолчанию установлены индикаторы V(PR1), V(PR2), V(PR3).
- 5 Выполнить моделирования. На экране появятся график временных зависимостей напряжений в точках установки индикаторов V(PR1), V(PR2), V(PR3).

- 6 Уменьшая значение резистора R5, добиться появления возбуждений. Результаты зафиксировать.
- 7 После подбора значения сопротивления R5, измерить амплитуду установившихся колебаний с помощью курсоров. Результаты зафиксировать.
- 8 Выполнить команду Simulate → analyses and simulate → Interactive Simulation. Закрыть диалоговое окно нажатием кнопки Save.
- 9 Подключить осциллограф к схеме. Для этого выполнить команду simulation → instruments → oscilloscope. Информационный вход канала A подключить к точке установки индикатора V(PR1), информационный вход канала B подключить к точке установки индикатора V(PR3). Вход с символом « - » подключить к земле.
- 10 Дважды левой кнопкой мыши нажать на подключенный к схеме осциллограф -XSC1. В правом нижнем углу в секции Timebase выбрать режим развёртки Y/T - режим в котором по вертикали отображается напряжение сигнала, по горизонтали – время. В той же секции выбрать Scale 200us/Div. Чувствительность (Scale) и смещение по вертикали ( YPosition) для обоих каналов подстраиваются так, чтобы оба графика было удобно исследовать на экране. Рекомендуется задать Chanal A Scale - 5V/Div. Chanal B Sscale – 5V/Div. В секции Trigger выбрать Single. Выбрать для каналов A и B тип развёртки – DC. После выполнения настроек осциллографа нажать кнопку Run.
- 11 Выполнить измерения напряжения V(3). Для этого установить тип развёртки канала B - . Установить курсор на максимальное значение амплитуды напряжения, для этого нажать правой кнопкой мыши на курсор и выполнить команду « Go to next Y MAX ». Зафиксировать результаты.
- 12 Выполнить измерения напряжения V(5). Зафиксировать результаты.

### **4.3 Моделирование генератора Колпитца.**

- 1 Запустить программу NI Multisim 14.0.



2 Построить схему, показанную на рисунке 4.2. Для этого обратимся к библиотекам:

- Sources, выберем источники постоянного тока - DC\_Power с номиналами ( $V1=12V$ ,  $V2=12V$ ,  $V3=-1.535$ ); GROUND;
- Analog, выберем операционный усилитель Opamp – LM324N;
- Basic, выберем резисторы Resistors ( $R1 = 2K$ ,  $R2= 2k$ ,  $R3=500$ ), конденсаторы Capacitor ( $C1=0.05$ ,  $C2=0.005$ ) и катушку индуктивности Inductor ( $L1=5mH$ ).

3 Войти в режим управления моделированием с помощью команды Simulate → Analysis and Simulate, включить моделирование переходных процессов Transient и задать в его параметрах время моделирования End Time 800 мкс. Установить индикаторы напряжения Voltage на указанные в схеме точки.

4 Выполнить моделирование. При отсутствии ошибок на экране появится график временной зависимости напряжений  $V(PR1)$ ,  $V(PR2)$ . Результаты зафиксировать.

5 Увеличивая значение напряжения источника  $V(3)$  в пределах от  $-1.535V$  до  $1.535V$ , исследовать изменение поведения кривых  $V(PR1)$ ,  $V(PR2)$ . Результаты зафиксировать.

#### **4.4 Моделирование кварцевого генератора на инверторах**

1 Запустить программу NI Multisim 14.0.

2 Построить схему, показанную на рисунке 4.3. Для этого выбрать следующие библиотеки и компоненты:

- Mick, семейство CRYSTAL и выбрать компонент - HC-49/U\_7MHz;
- TTL, семейство 74STD, компонент - 7404N;
- Source, семейство Signal\_Voltage\_Sources, компонент – Pulse\_Voltage;
- Basic, семейство Resistor, компоненты –  $R1 = 10k$ ,  $R2 = 0.1k$ ;
- Basic, семейство CAPACITOR, компонент -  $C1 = 30pF$ ;

- Sources, компонент GROUND.
- 3 Сохранить схему с помощью пункта меню File → Save As.
  - 4 Войти в режим управления моделированием с помощью команды Simulate → Analysis and Simulate, включить моделирование переходных процессов Transient и задать в его параметрах время анализа End Time 2 мкс. Установить индикаторы напряжения Voltage на схему в соответствии с рисунком 4.3. Выполнить моделирование. При отсутствии ошибок на экране появится график временной зависимости напряжений V(PR1), V(PR2).
    - 5 С помощью курсоров, измерить периоды  $T_u$  напряжений в точках V(PR1), V(PR2). Результаты зафиксировать.
    - 6 Для данных графиков выполнить преобразование Фурье и получить их спектральное представление. Для этого выполнить команду Simulate → Analysis and Simulate → Fourier. Установить разрешение по частоте (Frequency resolution) 100кГц, число вычисляемых гармоник - 300. Время, в течении которого будет производиться дискретизация – 2нс. В поле Display в раскрывающемся списке выбрать опцию Graph. Выбрать масштаб, используемый при воспроизведении амплитуда (фазы)–линейный. Во вкладке output указать в поле Selected variables for analysis индикатор напряжения (PR1).
      - 7 При отсутствии ошибок на экране появится спектрограмма индикатор напряжения (PR1). Измерить с помощью курсоров частоту сигнала  $F_u$ . Сохранить график, выполнив команду Edit → Copy Graph и показание курсоров.
      - 8 Повторить п.6, п.7 для индикатора напряжения (PR2). Зафиксировать результаты.
      - 9 Внимательно изучить показание курсоров (п.5 и п.7). Проверить выполняется ли условие:  $F_u = \frac{1}{T_u}$ , где  $F_u$  – частота сигнала,  $T_u$  – период сигнала.

## **4.5 Отчёт по лабораторной работе**

*/Изъято согласно Заявлению/*

## **ГЛАВА 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Темой данной ВКР является «Разработка цикла лабораторных работ по моделирование аналоговых устройств». Она подразумевает под собой проектирование и моделирование схем исследуемых устройств с помощью программы NI Multisim. Результатом работы является часть методического пособия, в которой представлено руководство по выполнению трёх лабораторных работ. Все лабораторные работы выполняются с помощью персонального компьютера. Выполнение каждой из них, в лучшем случае, рассчитано на пару академических часов, в зависимости от успеваемости студента. Известно, что при длительном использовании компьютера, он становится источником вредного воздействия на здоровье человека и, как следствие, источником профессиональных заболеваний. Для того чтобы уменьшить пагубное воздействие вредных факторов, необходимо соблюдать меры защиты, оговоренные в разделах БЖД.

Безопасность жизнедеятельности – наука, подразумевающая под собой выполнения ряда правил, направленных на сохранения здоровья и создания комфортной рабочей среды. Целью изучения безопасности жизнедеятельности является формирования свода правил, направленных на снижение потерь здоровья людей от внешних факторов окружающей среды.

### **5.1 Опасные и вредные производственные факторы**

Для попытки исключения вредоносных факторов, нужно определить какие из них возникают, при длительной работе за компьютером. Стоит сразу отметить психофизические опасные факторы [1414]. К ним относятся физические и нервно-психические перегрузки. Они проявляются в виде умственного напряжение, перенапряжения зрительных и слуховых анализаторов, возникают эмоциональные перегрузки. Появлению утомления способствуют изменения в центральной нервной системе, возникающие при работе, что способствует снижению производительности труда. Кроме того долгое пребывание в одном и том же положение вызывает статическое

напряжение. Через некоторое время в клетках напряженной группы мышц запускается процесс торможения – клетки привыкают и стремятся поддерживать такое состояние. В результате развиваются болезни такие, как остеохондроз, грыжа межпозвоночных дисков, искривление позвоночника.

Наличие вредных факторов, уровни которых превышают принятые нормативы для допустимых условий труда, согласно документу [1515], соответствующие третьему классу второй степени вредности, оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье пользователя.

## **5.2 Эргономика взаимодействия человек-система.**

### **Принципы организации диалога**

В настоящем стандарте организация диалога интерпретируется как установка взаимодействия между человеком и интерактивной системой, подразумевая воздействия пользователя на систему и получения от неё ответной реакции для достижения установленных целей.

В стандарте установлено семь основных эргономических принципов создания интерактивной системы:

- приемлемость организации диалога для выполнения производственного задания;
- информативность;
- соответствие ожиданиям пользователя;
- пригодность для обучения;
- контролируемость;
- устойчивость к ошибкам;
- адаптация к индивидуальным особенностям пользователя.

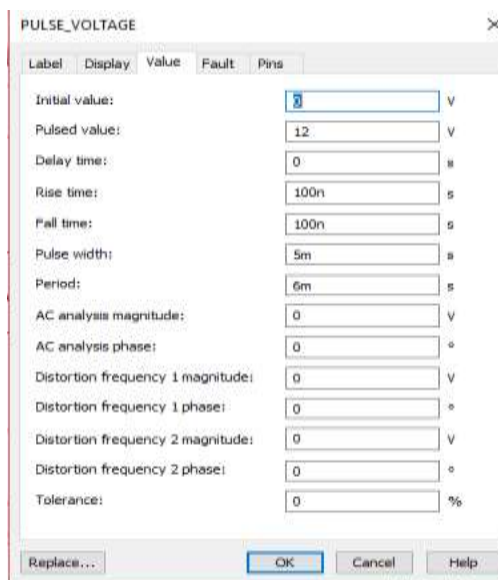
#### *5.2.1 Приемлемость организации диалога для выполнения производственного задания*

Необходимо, чтобы интерактивная система соответствовала производственному заданию. В качестве интерактивной системы выступает система анализа NI Multisim. В соответствие с требованиями

производственного задания на выходе необходимо получить требуемую информацию в виде графиков и таблиц, что удовлетворяет возможностям диалоговой системы. Это означает, что в процессе диалога пользователь получает информацию об успешном завершении задания. В данной программе предусмотрена поисковая система, которая освобождает пользователя от избыточной информации, тем самым ограничивая его от излишней умственной нагрузки. Поисковая система способна определять искомый компонент схемы по названию, типу, марки и т.д. Это экономит время. Формат ввода и вывода соответствует производственному заданию. Значение типовых настроек в программе устанавливается по умолчанию, что облегчает выполнения производственного задания. Использование «горячих клавиш» даёт дополнительные возможности пользователю при выполнении повторяющихся длинных команд. Система предусматривает также установку «горячих клавиш» на любую комбинацию команд необходимую пользователю для минимизации промежуточных этапов.

### *5.2.2 Информативность*

На любом этапе диалога информация, представленная пользователю, способствует завершению диалога. Этому свидетельствует наличие команды «применить», «отменить», «согласиться» при выполнении настроек. Программа NI Multisim содержит пункты меню, которые описывают характерные задания пользователя, поддерживаемые пакетом программ. Задавая определённый тип анализа, программа отображает все необходимые этапы, выполнение которых способствует получению результатов моделирования. В пакете присутствуют значки, изображающие аппаратное управление: «Run», «Pause», «Stop», с их помощью осуществляется управление процессом моделирования. Программа предоставляет пользователю информацию о единицах измерения, что показано на рисунке 5.1.



*Рисунок 5.1 – Окно основных характеристик источника напряжения*

### *5.2.3 Соответствие ожиданиям пользователя*

Соответствие ожидаемого диалога определяется посредством его предсказуемости и соответствия с принимаемым соглашением. ПО NI Multisim использует терминологию проектировщика, что удовлетворяет требованиям данного принципа. Установка обратной связи между пользователем и диалоговой системой проявляется в виде результатов моделирования. Пакет содержит европейский и американский стандарты, соответствующие культурным и лингвистическим соглашениям. Пользователь может выбрать любой из двух. Расположение кнопок команд «Ок» и «Отмена» соответствуют привычным для пользователя позициям. При размещении компонентов на рабочем поле и их последующее соединение можно прервать нажатием кнопки «Esc». В случае некорректного ввода информации для сохранения файла, появляется сообщение об ошибке. Это означает, что обратная связь, предоставляемая пользователю, представлена в объективном стиле.

### *5.2.4 Пригодность для обучения*

Программа содержит раздел «Help», имеющийся во всех диалоговых окнах. Он описывает, как необходимо выполнять задания с помощью пакета программы. Это позволяет создать собственный шаблон и более

эффективный способ для запоминания информации. Обратная связь помогает пользователю в формировании понимания изучаемой программы. Она подсказывает пользователю все действия, требуемые для получения результатов моделирования. ПО NI Multisim даёт возможность пользователю имитировать этапы диалога без отрицательных последствий. Это подтверждается наличием кнопки «Отмена», позволяющей отменить последовательность действий, влияющих на результаты моделирования.

Можно сделать вывод, что программа, рассмотренная выше полностью соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9241-110-2016.

### **5.3 Эргономика взаимодействия человек-система.**

#### **Элементы графического пользовательского интерфейса**

Необходимо установить взаимосвязь методов ввода и графических элементов интерфейса пользователя.

Работа пользователя с графическими элементами интерфейса осуществляется с помощью различных способов ввода, использующих следующие приёмы:

- ввод данных с клавиатуры;
- указания с помощью компьютерной мыши, ручки, распознавания жестов, отслеживание положения глазного яблока;
- речевой ввод с использованием голосовых команд, распознавания голоса;

Программа NI Multisim наделена двумя способами ввода информации, такими как ввод данных с клавиатуры и указания с помощью компьютерной мыши. Программа предоставляет пользователю возможность использовать оба метода. Для того чтобы использовать в качестве инструмента ввода информации клавиатуру, требуется чёткая визуализация места ввода, где происходит взаимодействие, что и показано на рисунке 5.2.



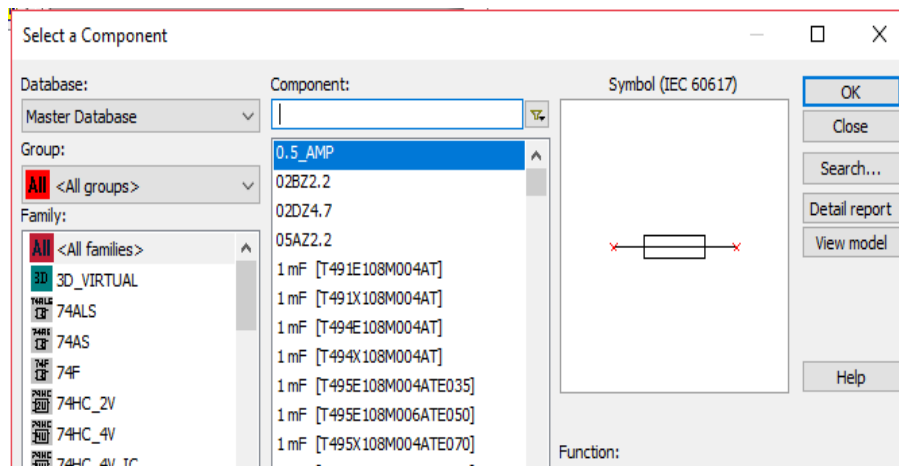


Рисунок 5.2 – Ввод информации с помощью клавиатуры

При использовании способа указания необходимо визуальное отображение указателя для определения виртуального положения устройства, что представлено на рисунке 5.3.

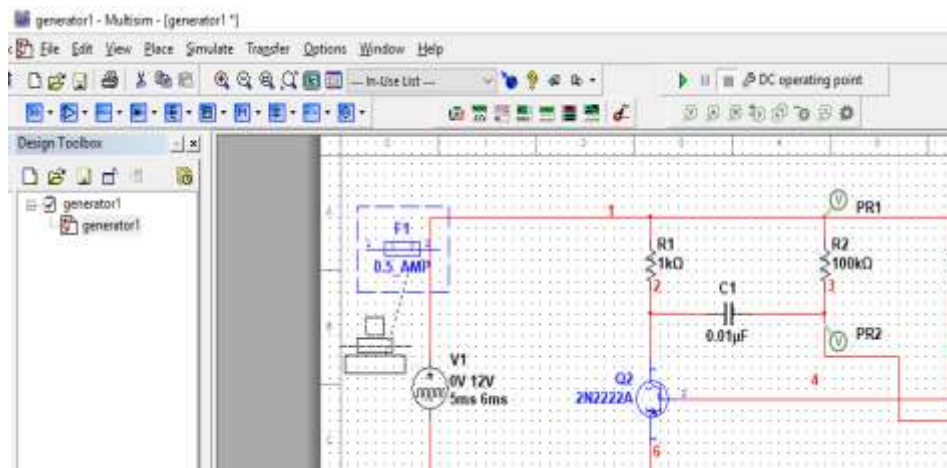


Рисунок 5.3 – Ввод информации с помощью компьютерной мыши

В программе встречаются графические элементы интерфейса, такие как

- гармошка – соединение нескольких развёртываемых секций, каждая из которых представляет собой группу элементов пользовательского интерфейса;
- слайдер – элемент интерфейса пользователя, позволяющий ему подбирать значение из непрерывного диапазона;
- карусель – набор элементов, отображаемых в круговом расположении, способствующие перемещению вперёд-назад;
- чек-бокс – элемент, используемый для выбора варианта, который может находиться в двух состояниях «положительное» или

«отрицательное» с подписью и индикатором, указывающим выбран параметр или нет.

Программа содержит все вышеперечисленные компоненты полностью удовлетворяющие требованиям ГОСТ Р ИСО 9241-161-2016.

#### **5.4 Эргономика взаимодействия человек-система.**

##### **Руководство по индивидуализации программного обеспечения**

Индивидуализация рассматривается как изменение поведения интерактивной системы во время её использования для обеспечения наиболее подходящих условий эксплуатации для отдельного пользователя. Она подразумевает организацию таких изменений, которые не требуют перепрограммирования пакета в виду уже встроенных возможностей индивидуализации.

Программа NI Multisim обладает некоторыми возможностями индивидуализации для удовлетворения требований пользователей, относящихся к различным категориям. Пользователь на своё усмотрения может изменить стандарт символа, выбрать язык ввода английский или немецкий, размер шрифта, цветовую гамму. Также он может располагать панель инструментов на рабочем поле или скрывать её. Расположение кратких характеристик компонентов также регулируются.

Все вышеперечисленные возможности программы свидетельствует тому, что ПО NI Multisim полностью удовлетворяет требованиям ГОСТ Р ИСО 9241-129-2014.

Для того чтобы сделать процесс работы студентов более эргономичным, в выпускной квалификационной работе были описаны методы упрощения работы в исследуемой среде разработки. Они включали в себя замену сложных команд, для выполнения определенного действия, на альтернативные команды, реализация которых может значительно сэкономить время.

В данном разделе были рассмотрены психофизические факторы, отрицательно влияющие на здоровье пользователя и причины их возникновения. Так же было установлено полное соответствие ПО NI Multisim с требованиями, описанных выше стандартов. Программа имеет интуитивно понятный интерфейс, пригодный для реализации поставленной задачи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлась разработка цикла лабораторных работ по дисциплинам «Основы компьютерного проектирования и моделирования телекоммуникационных систем», «Моделирование микроволновых устройств». Фактически необходимо было модернизировать методическое пособие к лабораторным работам «Проектирование РЭС в пакетах OrCAD и Microwave Office» с помощью программного обеспечения – NI Multisim 14.0.

В ходе выполнения работы были изучены принципы создания схемы устройства в NI Multisim, различные тип анализа исследуемых устройств: анализ переходных процессов, Фурье анализ, анализ по переменному току, статистическое моделирование и др. Также были рассмотрены различные группы базовой библиотеки элементов схем. Для каждой лабораторной работы были разобраны примеры применения виртуальных измерительных приборов для получения характеристик исследуемых устройств.

В результате написания ВКР разработан цикл лабораторных работ «моделирование аналоговых устройств». Цикл содержит в себе 3 лабораторные работы: «Моделирование источников питания», «Моделирование транзисторного усилителя», «Моделирование генераторов». Для каждой из работ описан подробный алгоритм действий по выполнению. Приведены возможные формы отчётов, содержащие результаты моделирования в виде графиков и таблиц. Полученные результаты моделирования полностью соответствуют теоретическим сведениям. Таким образом, цели ВКР достигнуты, поставленная задача выполнена.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

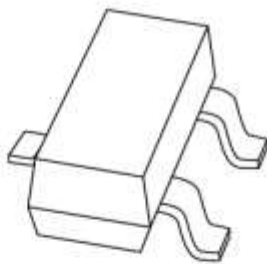
- 1 Проектирование РЭС в пакетах OrCAD и Microwave Office : метод. указания к лаб. работам / Головков А.А. и др. - СПб. : Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2008. - 32 с. : ил. – 270
- 2 Обзор пакетов прикладных программ электронного проектирования [Электронный ресурс]: В обзоре использованы материалы журналов: «Электронные компоненты», «CAD/CAM/CAE Observer», «EDA Express», сайтов: [www.rodnik.ru](http://www.rodnik.ru), [www.elcp.ru](http://www.elcp.ru), [www.eltm.ru](http://www.eltm.ru), [rk6.bmstu.ru](http://rk6.bmstu.ru), книги В.Разевига, В.Дьяконова. URL: [https://www.mirea-tu.ru/files/okp\\_i\\_mres/obzor.pdf](https://www.mirea-tu.ru/files/okp_i_mres/obzor.pdf) [дата обращения: 20.05.2018]
- 3 Сайт компании National Instruments [Электронный ресурс]: Multisim. URL: <http://www.ni.com/ru-ru/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-multisim.html>[дата обращения: 20.05.2018]
- 4 Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» [электронный ресурс] : офиц. сайт. М. URL: <https://mephi.ru/students/labs/chair8/MicroCAP.pdf> (дата обращения 20.05.18)
- 5 Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ. В 4 выпусках. - М.: «Радио и связь», 1992
- 6 Колесникова Т.А. Работа с виртуальными приборами в программной среде NI Circuit Design Suite – Multisim 12.0. Часть 1. // Компоненты и технологии. 2014. №1. с. 158 – 161.

- 7 Резников Б.Л. Лабораторные работы. Автоматизированная среда Multisim: учеб. пособие для вузов / Б.Л. Резников, В.Н. Попов. – М.: МГТУ ГА, 2008. – 72 с.
- 8 Лабораторный практикум по электротехнике и электронике в среде Multisim [Электронный ресурс] / Марченко А.Л., Освальд С.В. - М. : ДМК Пресс, 2010. -  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940745938.html> (дата обращения - 26.04.18)
- 9 Терёхин В.Б. Лабораторные работы в Multisim по курсу «Прикладная электроника»: практическое руководство/ В.Б. Терёхин. – Северск: Изд – во СГТА, 2009. – 87 с.
- 10 Шестёркин А. Н. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 360 с.
- 11 Схемы выпрямителей [Электронный ресурс]: Сайт компании Radio prog. URL: <http://radioprogram.ru/post/171> (дата обращение 20.05.18)
- 12 Транзисторные усилители [Электронный ресурс]:Сайт электрические приборы и машины. URL: <http://www.elel.ru/tranzistori.html> (дата обращения 20.05.18)
- 13 Раушер К., Йанссен Ф., Минихольд Р. Основы спектрального анализа / Пер. с англ. С. М. Смольского; Под редакцией Ю. А. Гребенко – 2-е изд., испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 226 с.: ил.
- 14 ГОСТ 12.0.003 – 2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М.: Стандартинформ, 2015

15 Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. [Текст]: - Введ.2005-11-01.

16 ГОСТ Р ИСО 14915-1-2016 Эргономика мультимедийных пользовательских интерфейсов. Часть 1. Принципы проектирования и структура. М.: Стандартинформ, 2015

# DATA SHEET



## **BAS19; BAS20; BAS21** General purpose diodes

Product data sheet  
Supersedes data of 1999 May 26

2003 Mar 20





## General purpose diodes

## BAS19; BAS20; BAS21

## FEATURES

- Small plastic SMD package
- Switching speed: max. 50 ns
- General application
- Continuous reverse voltage: max. 100 V; 150 V; 200 V
- Repetitive peak reverse voltage: max. 120 V; 200 V; 250 V
- Repetitive peak forward current: max. 625 mA.

## APPLICATIONS

- General purpose switching in e.g. surface mounted circuits.

## DESCRIPTION

The BAS19, BAS20 and BAS21 are general purpose diodes fabricated in planar technology, and encapsulated in a small SOT23 plastic SMD package.

## MARKING

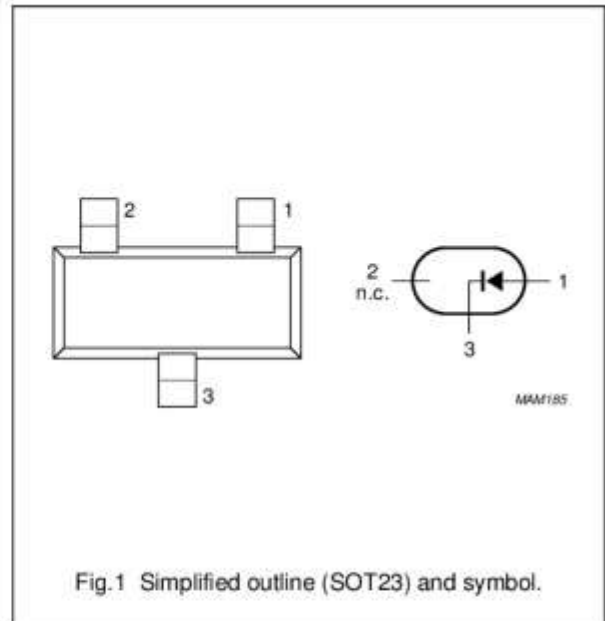
TYPE NUMBER	MARKING CODE <sup>(1)</sup>
BAS19	JP*
BAS20	JR*
BAS21	JS*

## Note

1. \* = p: Made in Hong Kong.  
 \* = t: Made in Malaysia.  
 \* = W: Made in China.

## PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	anode
2	not connected
3	cathode



## General purpose diodes

## BAS19; BAS20; BAS21

**LIMITING VALUES**

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{RRM}$	repetitive peak reverse voltage				
	BAS19		–	120	V
	BAS20		–	200	V
	BAS21		–	250	V
$V_R$	continuous reverse voltage				
	BAS19		–	100	V
	BAS20		–	150	V
	BAS21		–	200	V
$I_F$	continuous forward current	see Fig.2; note 1	–	200	mA
$I_{FRM}$	repetitive peak forward current		–	625	mA
$I_{FSM}$	non-repetitive peak forward current	square wave; $T_j = 25\text{ °C}$ prior to surge; see Fig.4			
		$t = 1\ \mu\text{s}$	–	9	A
		$t = 100\ \mu\text{s}$	–	3	A
		$t = 10\ \text{ms}$	–	1.7	A
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{amb} = 25\text{ °C}$ ; note 1	–	250	mW
$T_{stg}$	storage temperature		–65	+150	°C
$T_j$	junction temperature		–	150	°C

**Note**

1. Device mounted on an FR4 printed-circuit board.

## General purpose diodes

## BAS19; BAS20; BAS21

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MAX.	UNIT
$V_F$	forward voltage	see Fig.3 $I_F = 100\text{ mA}$ $I_F = 200\text{ mA}$	1 1.25	V V
$I_R$	reverse current	see Fig.5		
	BAS19	$V_R = 100\text{ V}$	100	nA
		$V_R = 100\text{ V}; T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	100	$\mu\text{A}$
	BAS20	$V_R = 150\text{ V}$	100	nA
		$V_R = 150\text{ V}; T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	100	$\mu\text{A}$
	BAS21	$V_R = 200\text{ V}$	100	nA
		$V_R = 200\text{ V}; T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	100	$\mu\text{A}$
$C_d$	diode capacitance	$f = 1\text{ MHz}; V_R = 0$ ; see Fig.6	5	pF
$t_{rr}$	reverse recovery time	when switched from $I_F = 30\text{ mA}$ to $I_R = 30\text{ mA}; R_L = 100\ \Omega$ ; measured at $I_R = 3\text{ mA}$ ; see Fig.8	50	ns

**THERMAL CHARACTERISTICS**

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-ip}$	thermal resistance from junction to tie-point		330	K/W
$R_{th\ j-a}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	500	K/W

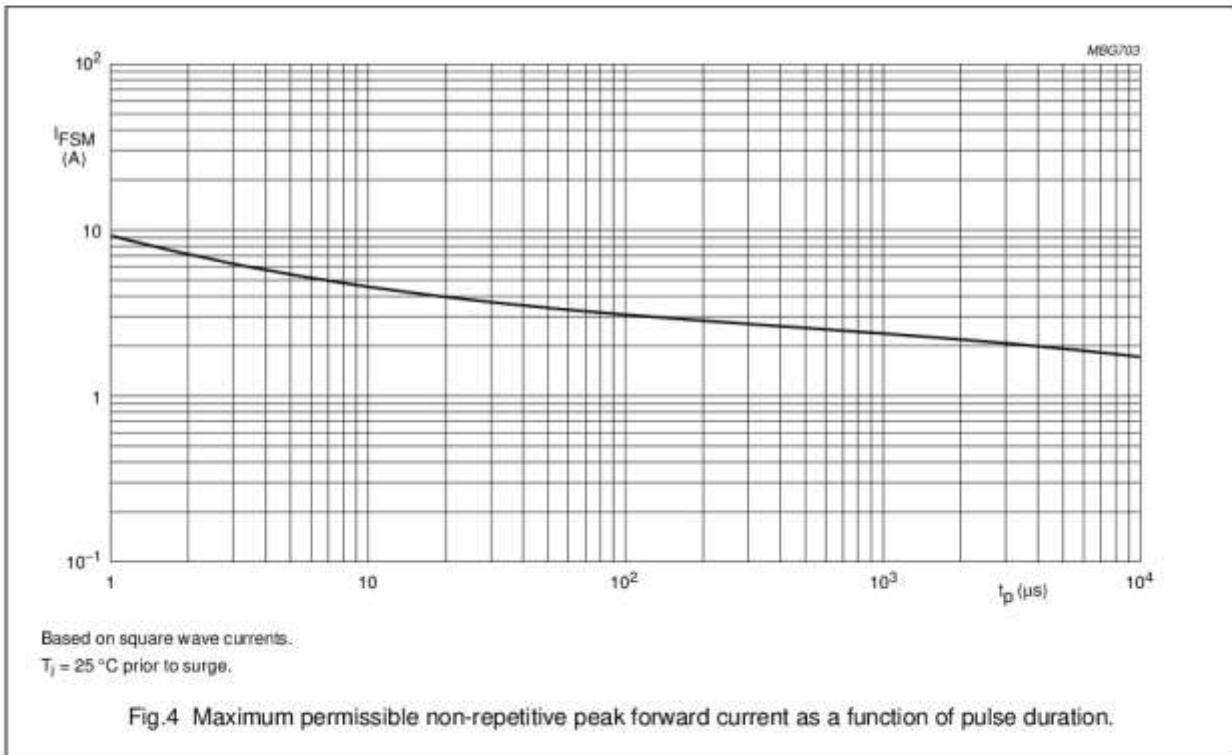
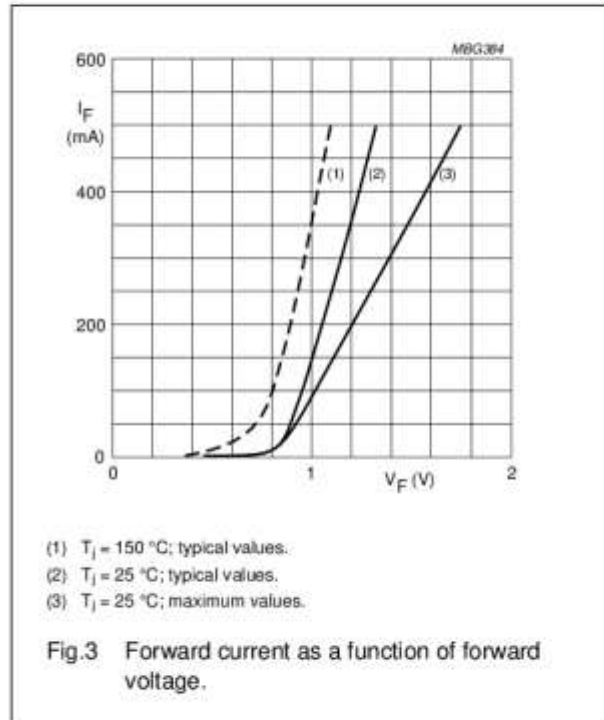
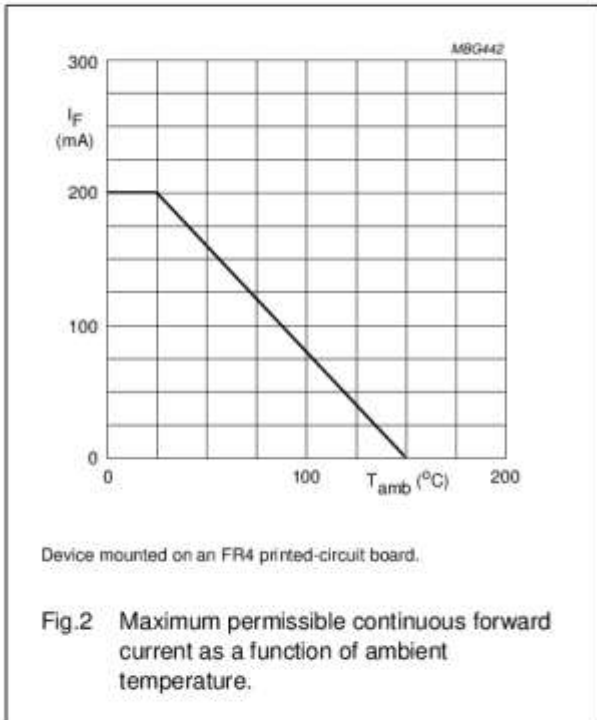
**Note**

1. Device mounted on an FR4 printed-circuit board.

General purpose diodes

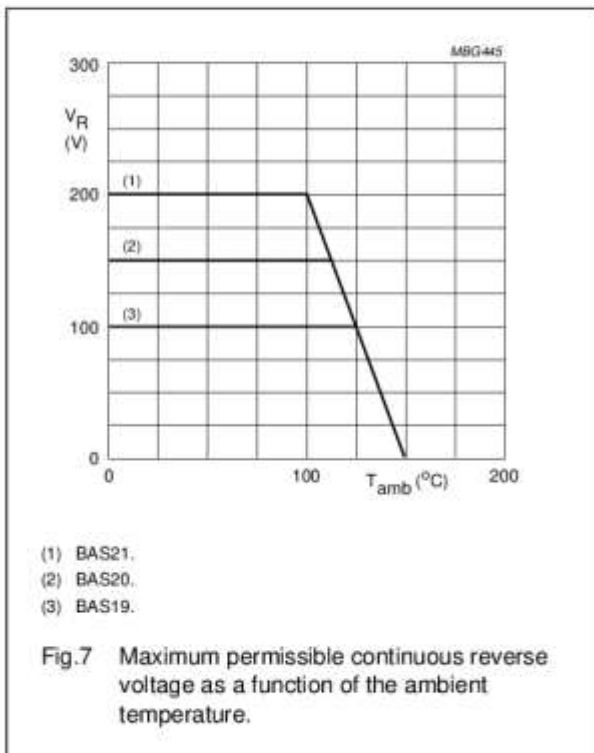
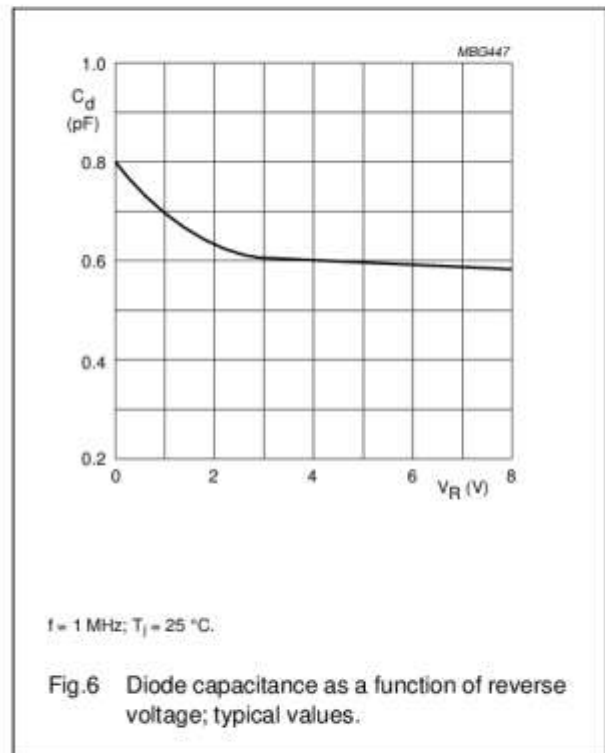
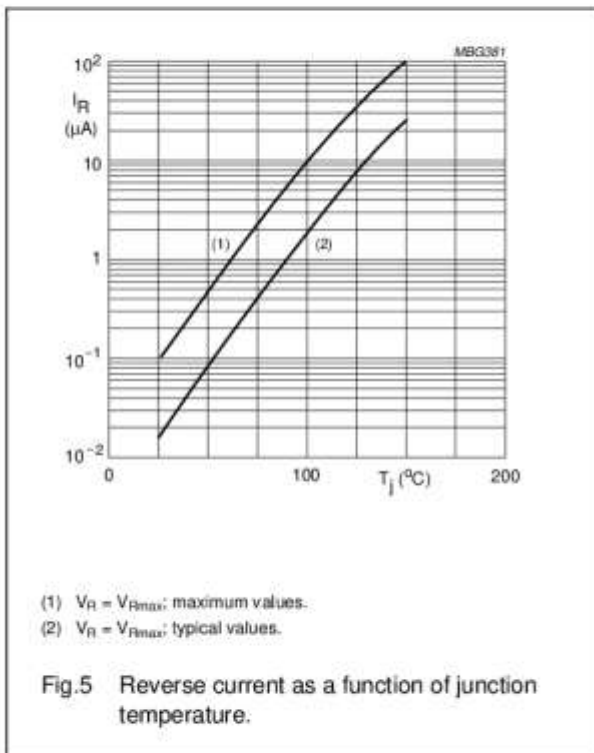
BAS19; BAS20; BAS21

GRAPHICAL DATA



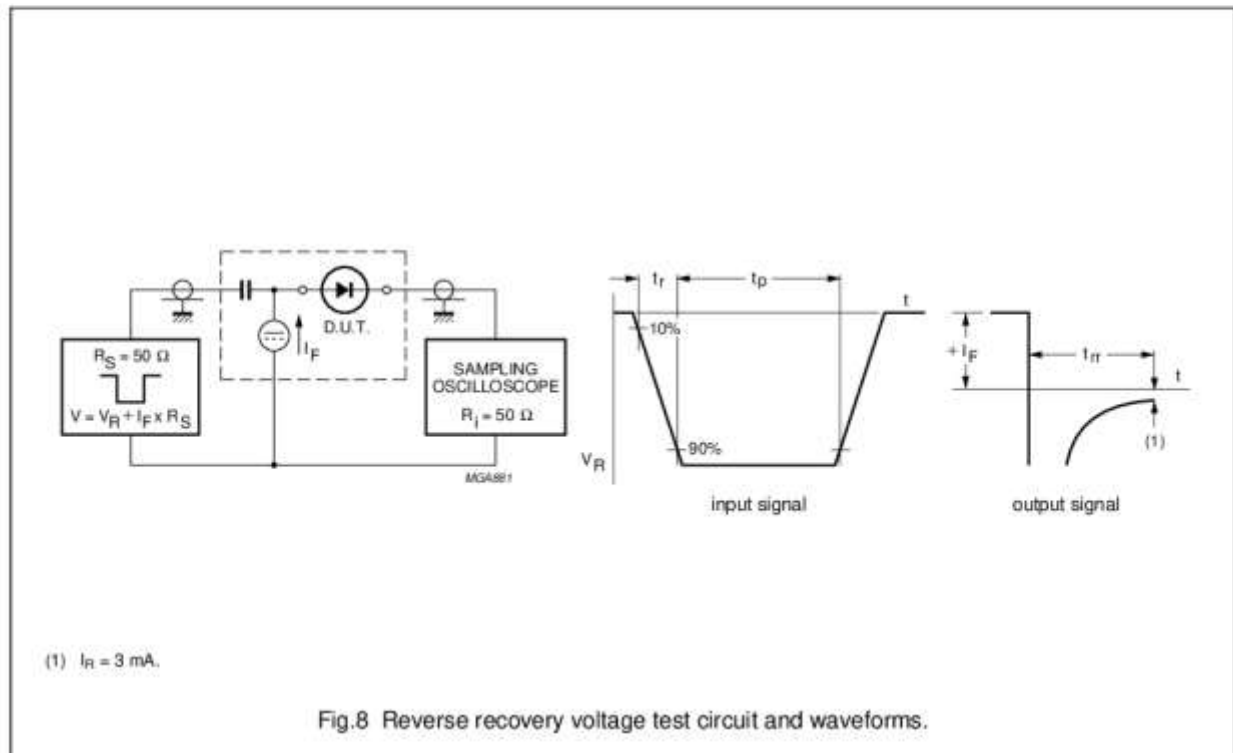
General purpose diodes

BAS19; BAS20; BAS21



General purpose diodes

BAS19; BAS20; BAS21



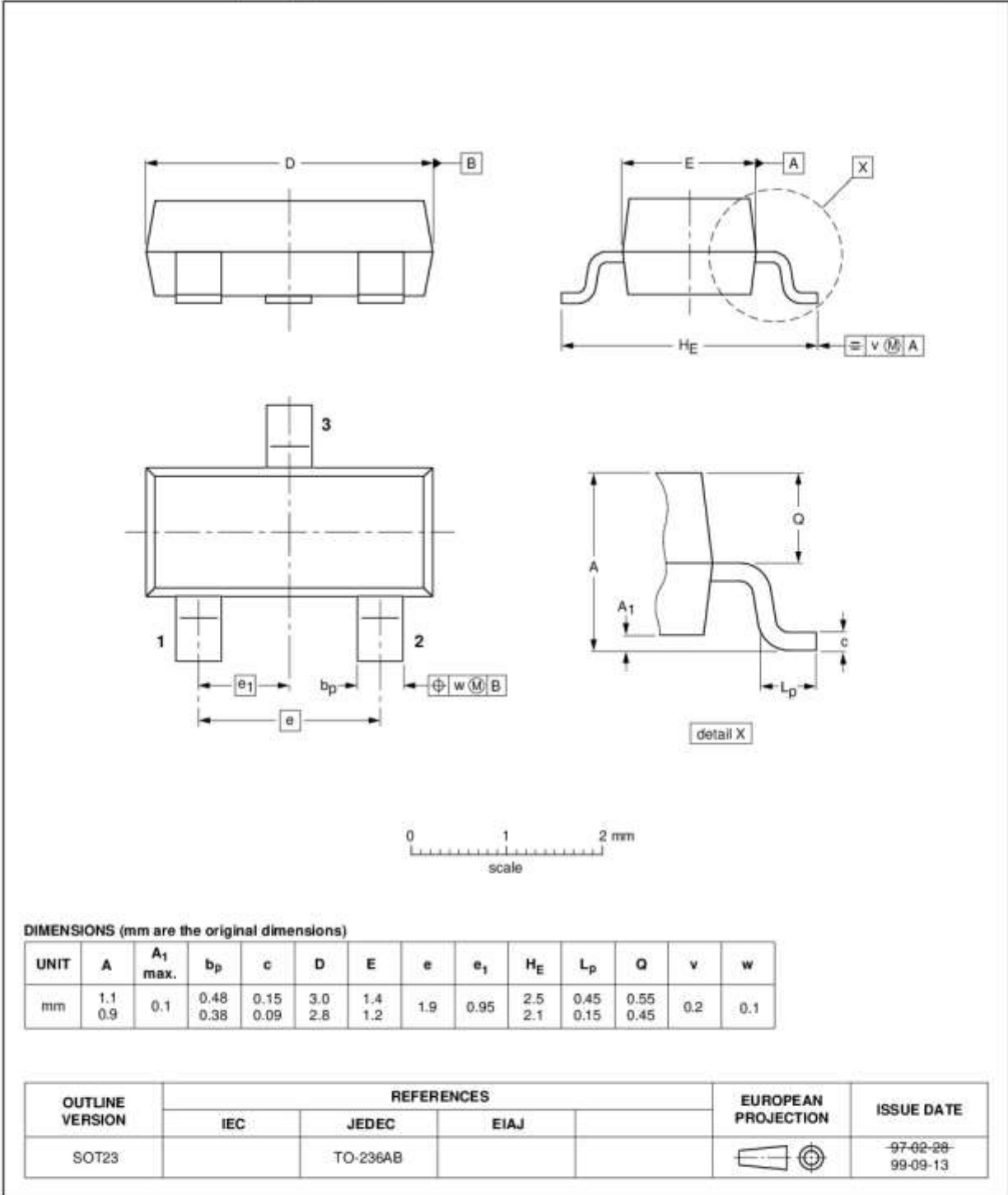
General purpose diodes

BAS19; BAS20; BAS21

PACKAGE OUTLINE

Plastic surface mounted package; 3 leads

SOT23



## General purpose diodes

## BAS19; BAS20; BAS21

## DATA SHEET STATUS

DOCUMENT STATUS <sup>(1)</sup>	PRODUCT STATUS <sup>(2)</sup>	DEFINITION
Objective data sheet	Development	This document contains data from the objective specification for product development.
Preliminary data sheet	Qualification	This document contains data from the preliminary specification.
Product data sheet	Production	This document contains the product specification.

## Notes

1. Please consult the most recently issued document before initiating or completing a design.
2. The product status of device(s) described in this document may have changed since this document was published and may differ in case of multiple devices. The latest product status information is available on the Internet at URL <http://www.nxp.com>.

## DISCLAIMERS

**General** — Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, NXP Semiconductors does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information.

**Right to make changes** — NXP Semiconductors reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

**Suitability for use** — NXP Semiconductors products are not designed, authorized or warranted to be suitable for use in medical, military, aircraft, space or life support equipment, nor in applications where failure or malfunction of an NXP Semiconductors product can reasonably be expected to result in personal injury, death or severe property or environmental damage. NXP Semiconductors accepts no liability for inclusion and/or use of NXP Semiconductors products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at the customer's own risk.

**Applications** — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. NXP Semiconductors makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

**Limiting values** — Stress above one or more limiting values (as defined in the Absolute Maximum Ratings System of IEC 60134) may cause permanent damage to

the device. Limiting values are stress ratings only and operation of the device at these or any other conditions above those given in the Characteristics sections of this document is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

**Terms and conditions of sale** — NXP Semiconductors products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale, as published at <http://www.nxp.com/profile/terms>, including those pertaining to warranty, intellectual property rights infringement and limitation of liability, unless explicitly otherwise agreed to in writing by NXP Semiconductors. In case of any inconsistency or conflict between information in this document and such terms and conditions, the latter will prevail.

**No offer to sell or license** — Nothing in this document may be interpreted or construed as an offer to sell products that is open for acceptance or the grant, conveyance or implication of any license under any copyrights, patents or other industrial or intellectual property rights.

**Export control** — This document as well as the item(s) described herein may be subject to export control regulations. Export might require a prior authorization from national authorities.

**Quick reference data** — The Quick reference data is an extract of the product data given in the Limiting values and Characteristics sections of this document, and as such is not complete, exhaustive or legally binding.



# ***NXP Semiconductors***

## **Customer notification**

This data sheet was changed to reflect the new company name NXP Semiconductors. No changes were made to the content, except for the legal definitions and disclaimers.

## **Contact information**

For additional information please visit: **<http://www.nxp.com>**

For sales offices addresses send e-mail to: **[salesaddresses@nxp.com](mailto:salesaddresses@nxp.com)**

© NXP B.V. 2009

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

613514/04/pp10

Date of release: 2003 Mar 20

Document order number: 9397 750 10961



# ПРИЛОЖЕНИЕ Б



LM1084

SNVS037G – SEPTEMBER 1989 – REVISED JANUARY 2015

## LM1084 5-A Low Dropout Positive Regulators

### 1 Features

- Available in 3.3-V, 5.0-V, and Adjustable Versions
- Current Limiting and Thermal Protection
- Output Current 5 A
- Industrial Temperature Range –40°C to 125°C
- Line Regulation 0.015% (Typical)
- Load Regulation 0.1% (Typical)

### 2 Applications

- Post Regulator for Switching DC-DC Converter
- High-Efficiency Linear Regulators
- Battery Chargers

### 3 Description

The LM1084 is a regulator with a maximum dropout of 1.5 V at 5 A of load current. The device has the same pinout as TI's industry standard LM317.

Two resistors are required to set the output voltage of the adjustable output voltage version of the LM1084. Fixed output voltage versions integrate the adjust resistors.

The LM1084 circuit includes a zener trimmed bandgap reference, current limiting, and thermal shutdown.

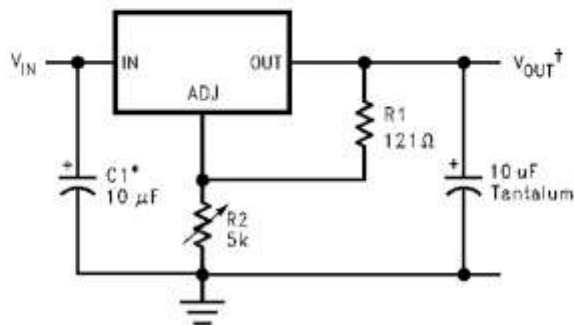
Refer to LM1085 for the 3A version, and the LM1086 for the 1.5A version.

#### Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM1084	TO-263 (3)	10.18 mm × 8.41 mm
	TO-220 (3)	14.966 mm × 10.16 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

#### Typical Application



\*NEEDED IF DEVICE IS FAR FROM FILTER CAPACITORS

$$V_{OUT}^{\dagger} = 1.25V \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

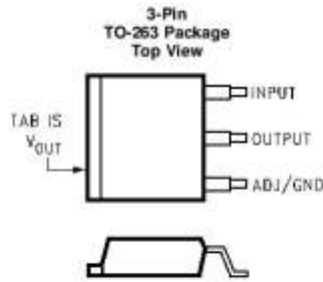
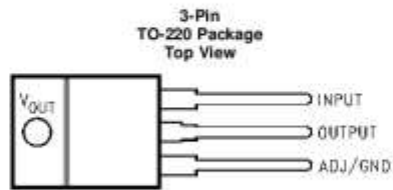
**Table of Contents**

<b>1 Features</b> .....	1	7.3 Feature Description.....	9
<b>2 Applications</b> .....	1	7.4 Device Functional Modes.....	11
<b>3 Description</b> .....	1	<b>8 Application and Implementation</b> .....	13
<b>4 Revision History</b> .....	2	8.1 Application Information.....	13
<b>5 Pin Configuration and Functions</b> .....	3	8.2 Typical Applications .....	13
<b>6 Specifications</b> .....	4	<b>9 Power Supply Recommendations</b> .....	20
6.1 Absolute Maximum Ratings .....	4	<b>10 Layout</b> .....	20
6.2 ESD Ratings .....	4	10.1 Layout Guidelines .....	20
6.3 Recommended Operating Conditions.....	4	10.2 Layout Example .....	20
6.4 Thermal Information .....	4	10.3 Thermal Considerations.....	20
6.5 Electrical Characteristics.....	5	<b>11 Device and Documentation Support</b> .....	22
6.6 Typical Characteristics .....	7	11.1 Trademarks .....	22
<b>7 Detailed Description</b> .....	9	11.2 Electrostatic Discharge Caution.....	22
7.1 Overview .....	9	11.3 Glossary.....	22
7.2 Functional Block Diagram .....	9	<b>12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information</b> .....	22

**4 Revision History**

Changes from Revision F (March 2013) to Revision G	Page
• Added <i>Pin Configuration and Functions</i> section, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section .....	1

## 5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
ADJ/GND	1	-	Adjust pin for the adjustable output voltage version. Ground pin for the fixed output voltage versions.
OUTPUT	2	O	Output voltage pin for the regulator.
INPUT	3	I	Input voltage pin for the regulator.

## 6 Specifications

### 6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>(1)(2)</sup>

	MIN	MAX	UNIT
Maximum Input to Output Voltage Differential			
LM1084-ADJ		29	V
LM1084-3.3		27	V
LM1084-5.0		25	V
Power Dissipation <sup>(3)</sup>		Internally Limited	
Junction Temperature (T <sub>J</sub> ) <sup>(4)</sup>		150	°C
Lead Temperature		260, 10 sec.	°C
Storage temperature, T <sub>stg</sub>	-65	150	°C

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. *Recommended Operating Conditions* indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not ensured. For ensured specifications and the test conditions, see the *Electrical Characteristics*.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) Power dissipation is kept in a safe range by current limiting circuitry. Refer to *Overload Recovery*.
- (4) The maximum power dissipation is a function of T<sub>J(max)</sub>, θ<sub>JA</sub>, and T<sub>A</sub>. The maximum allowable power dissipation at any ambient temperature is P<sub>D</sub> = (T<sub>J(max)</sub> - T<sub>A</sub>)/θ<sub>JA</sub>. All numbers apply for packages soldered directly into a PC board. Refer to *Thermal Considerations*.

### 6.2 ESD Ratings

	VALUE	UNIT
V <sub>(ESD)</sub> Electrostatic discharge Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 <sup>(1)</sup>	±2000	V

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

### 6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

	MIN	MAX	UNIT
Junction Temperature Range (T <sub>J</sub> ) <sup>(2)</sup>			
Control Section	-40	125	°C
Output Section	-40	150	°C

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. *Recommended Operating Conditions* indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not ensured. For ensured specifications and the test conditions, see the *Electrical Characteristics*.
- (2) The maximum power dissipation is a function of T<sub>J(max)</sub>, θ<sub>JA</sub>, and T<sub>A</sub>. The maximum allowable power dissipation at any ambient temperature is P<sub>D</sub> = (T<sub>J(max)</sub> - T<sub>A</sub>)/θ<sub>JA</sub>. All numbers apply for packages soldered directly into a PC board. Refer to *Thermal Considerations*.

### 6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)</sup>	LM1084		UNIT
	KTT	NDE	
	3 PINS	3 PINS	
R <sub>θJA</sub> Junction-to-ambient thermal resistance	40.4	22.7	°C/W
R <sub>θJC(top)</sub> Junction-to-case (top) thermal resistance	42.6	15.5	
R <sub>θJB</sub> Junction-to-board thermal resistance	23.0	4.1	
ψ <sub>JT</sub> Junction-to-top characterization parameter	9.8	2.1	
ψ <sub>JB</sub> Junction-to-board characterization parameter	22.0	4.1	
R <sub>θJC(bot)</sub> Junction-to-case (bottom) thermal resistance: Control Section/Output Section	0.65/2.7	0.65/2.7	

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, SPRA953.

## 6.5 Electrical Characteristics

 Typicals and limits apply for  $T_J = 25^\circ\text{C}$  unless specified otherwise.

	PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN <sup>(1)</sup>	TYP <sup>(2)</sup>	MAX <sup>(1)</sup>	UNIT
$V_{REF}$	Reference Voltage	LM1084-ADJ, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ , $V_{IN} - V_{OUT} = 3\text{ V}$ , $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$ , $1.5\text{ V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 25\text{ V}$ <sup>(3)</sup>	1.238	1.250	1.262	V
		LM1084-ADJ, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ , $V_{IN} - V_{OUT} = 3\text{ V}$ , $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$ , $1.5\text{ V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 25\text{ V}$ <sup>(3)</sup> , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	1.225	1.250	1.270	
$V_{OUT}$	Output Voltage <sup>(3)</sup>	LM1084-3.3, $I_{OUT} = 0\text{ mA}$ , $V_{IN} = 8\text{ V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$ , $4.8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 15\text{ V}$	3.270	3.300	3.330	V
		LM1084-3.3, $I_{OUT} = 0\text{ mA}$ , $V_{IN} = 8\text{ V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$ , $4.8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 15\text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	3.235	3.300	3.365	
		LM1084-5.0, $I_{OUT} = 0\text{ mA}$ , $V_{IN} = 8\text{ V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$ , $6.5\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$	4.950	5.000	5.050	V
		LM1084-5.0, $I_{OUT} = 0\text{ mA}$ , $V_{IN} = 8\text{ V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$ , $6.5\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	4.900	5.000	5.100	
$\Delta V_{OUT}$	Line Regulation <sup>(4)</sup>	LM1084-ADJ, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ , $1.5\text{ V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{ V}$		0.015%	0.2%	
		LM1084-ADJ, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ , $1.5\text{ V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$		0.035%	0.2%	
		LM1084-3.3, $I_{OUT} = 0\text{ mA}$ , $4.8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 15\text{ V}$		0.5	6	mV
		LM1084-3.3, $I_{OUT} = 0\text{ mA}$ , $4.8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 15\text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$		1.0	6	
		LM1084-5.0, $I_{OUT} = 0\text{ mA}$ , $6.5\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$		0.5	10	mV
		LM1084-5.0, $I_{OUT} = 0\text{ mA}$ , $6.5\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$		1.0	10	
$\Delta V_{OUT}$	Load Regulation <sup>(4)</sup>	LM1084-ADJ, $(V_{IN} - V_{OUT}) = 3\text{ V}$ , $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$		0.1 %	0.3%	
		LM1084-ADJ, $(V_{IN} - V_{OUT}) = 3\text{ V}$ , $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$		0.2%	0.4%	
		LM1084-3.3, $V_{IN} = 5\text{ V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$		3	15	mV
		LM1084-3.3, $V_{IN} = 5\text{ V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$		7	20	
		LM1084-5.0, $V_{IN} = 8\text{ V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$		5	20	mV
		LM1084-5.0, $V_{IN} = 8\text{ V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq I_{FULL\text{ LOAD}}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$		10	35	
	Dropout Voltage <sup>(5)</sup>	LM1084-ADJ, 3.3, 5, 12, $\Delta V_{REF}$ , $\Delta V_{OUT} = 1\%$ , $I_{OUT} = 5\text{ A}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$		1.3	1.5	V
$I_{LIMIT}$	Current Limit	LM1084-ADJ, $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	5.5	8.0		A
		LM1084-ADJ, $V_{IN} - V_{OUT} = 25\text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	0.3	0.6		
		LM1084-3.3, $V_{IN} = 8\text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	5.5	8.0		A
		LM1084-5.0, $V_{IN} = 10\text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	5.5	8.0		A
	Minimum Load Current <sup>(6)</sup>	LM1084-ADJ, $V_{IN} - V_{OUT} = 25\text{ V}$		5	10.0	mA
	Quiescent Current	LM1084-3.3, $V_{IN} = 18\text{ V}$		5.0	10.0	mA
LM1084-5.0, $V_{IN} \leq 20\text{ V}$			5.0	10.0	mA	
	Thermal Regulation	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , 30 ms Pulse		0.003	0.015	%/W

(1) All limits are specified by testing or statistical analysis.

(2) Typical Values represent the most likely parametric norm.

 (3)  $I_{FULL\text{ LOAD}}$  is defined in the current limit curves. The  $I_{FULL\text{ LOAD}}$  Curve defines the current limit as a function of input-to-output voltage. Note that 30W power dissipation for the LM1084 is only achievable over a limited range of input-to-output voltage.

(4) Load and line regulation are measured at constant junction temperature, and are ensured up to the maximum power dissipation of 30W. Power dissipation is determined by the input/output differential and the output current. ensured maximum power dissipation will not be available over the full input/output range.

(5) Dropout voltage is specified over the full output current range of the device.

(6) The minimum output current required to maintain regulation.



**LM1084**

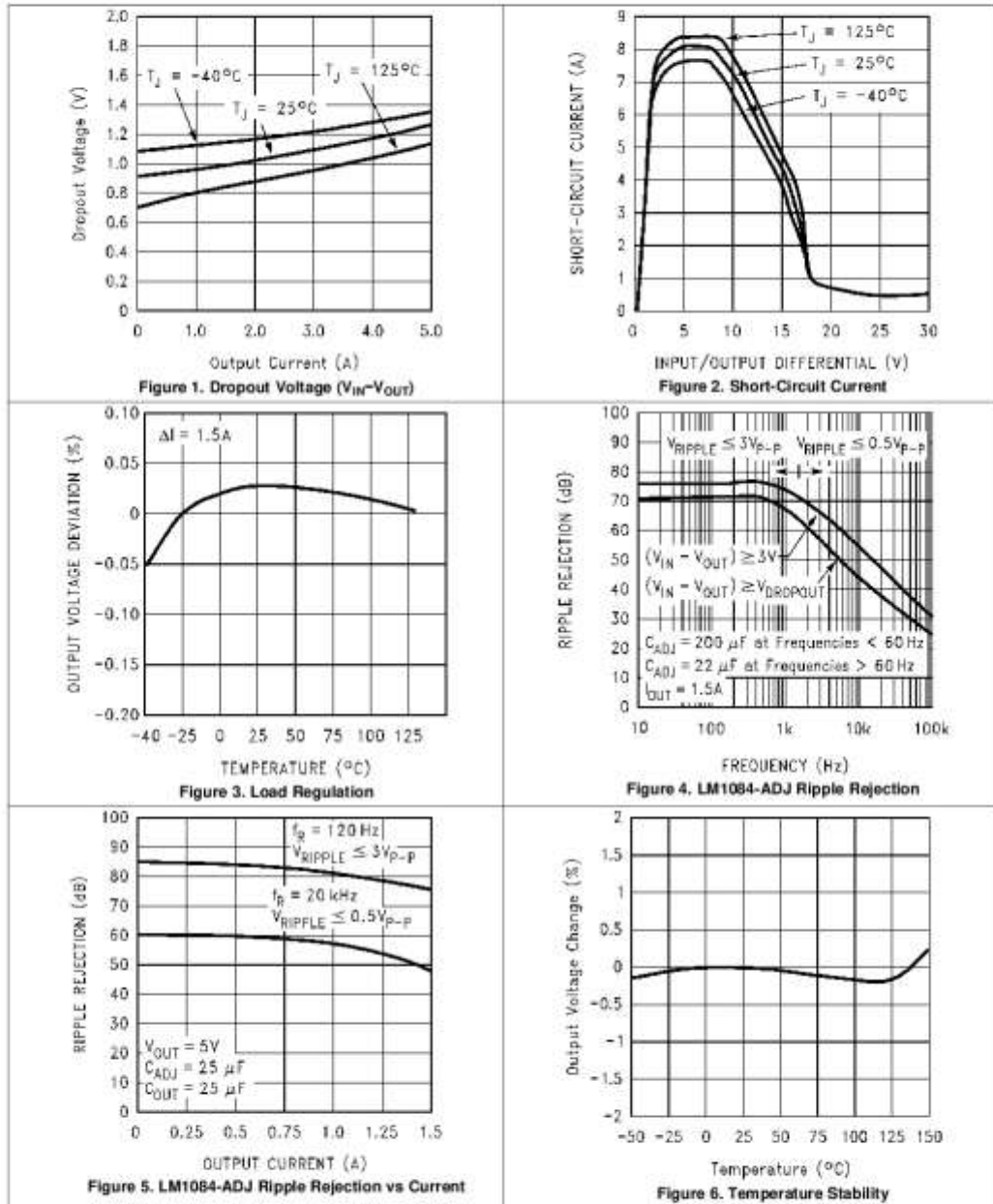
SNVS037G – SEPTEMBER 1999 – REVISED JANUARY 2015

[www.ti.com](http://www.ti.com)
**Electrical Characteristics (continued)**

 Typicals and limits apply for  $T_J = 25^\circ\text{C}$  unless specified otherwise.

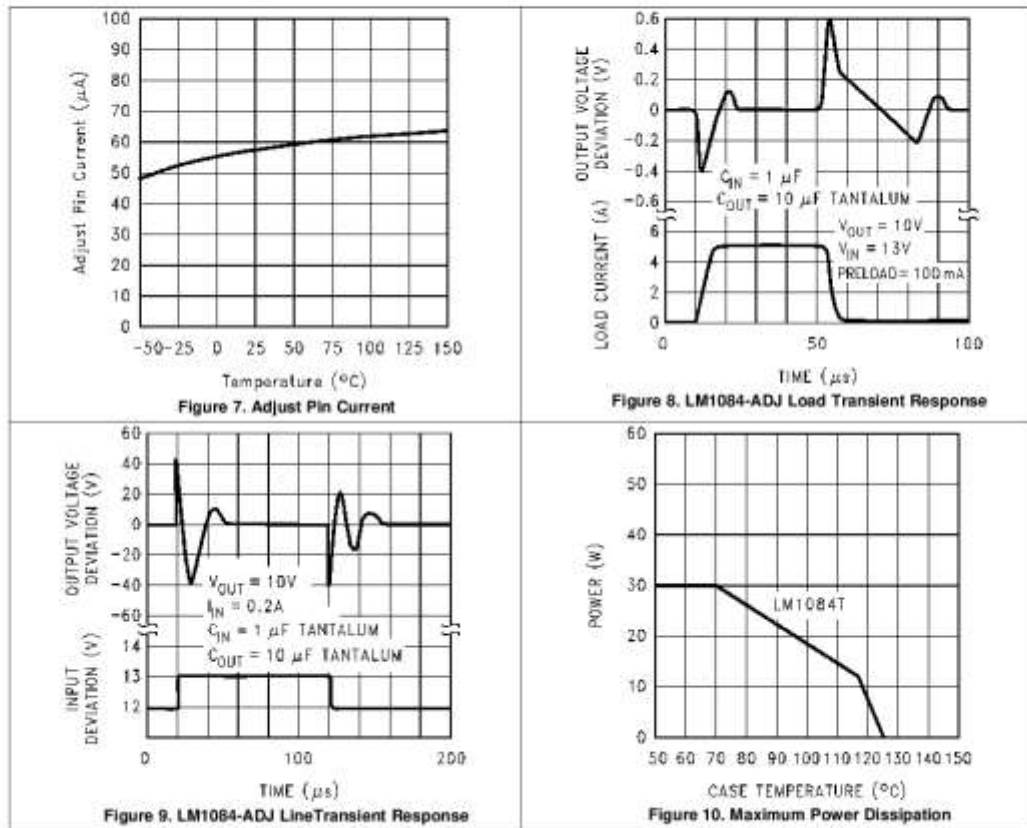
PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN <sup>(1)</sup>	TYP <sup>(2)</sup>	MAX <sup>(1)</sup>	UNIT
Ripple Rejection	$f_{\text{ripple}} = 120 \text{ Hz}$ , $C_{\text{OUT}} = 25 \mu\text{F}$ Tantalum, $I_{\text{OUT}} = 5 \text{ A}$				
	LM1084-ADJ, $C_{\text{ADJ}} = 25 \mu\text{F}$ , $(V_{\text{IN}} - V_{\text{O}}) = 3 \text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	60	75		dB
	LM1084-3.3, $V_{\text{IN}} = 6.3 \text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	60	72		dB
	LM1084-5.0, $V_{\text{IN}} = 8 \text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	60	68		dB
Adjust Pin Current	LM1084		55		$\mu\text{A}$
	LM1084, $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$			120	
Adjust Pin Current Change	$10 \text{ mA} \leq I_{\text{OUT}} \leq I_{\text{FULL LOAD}}$ , $1.5 \text{ V} \leq V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} \leq 25 \text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$		0.2	5	$\mu\text{A}$
Temperature Stability	$-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$		0.5%		
Long Term Stability	$T_A = 125^\circ\text{C}$ , 1000 Hrs		0.3%	1.0%	
RMS Output Noise (% of $V_{\text{OUT}}$ )	$10 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$		0.003%		

6.6 Typical Characteristics





Typical Characteristics (continued)



## 7 Detailed Description

### 7.1 Overview

A basic functional diagram for the LM1084-ADJ (excluding protection circuitry) is shown in Figure 11. The topology is basically that of the LM317 except for the pass transistor. Instead of a Darlington NPN with its two diode voltage drops, the LM1084 uses a single NPN. This results in a lower dropout voltage. The structure of the pass transistor is also known as a quasi LDO. The advantage of a quasi LDO over a PNP LDO is its inherently lower quiescent current. The LM1084 is ensured to provide a minimum dropout voltage of 1.5-V over temperature, at full load.

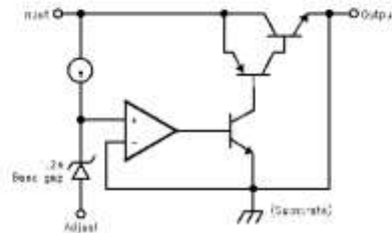
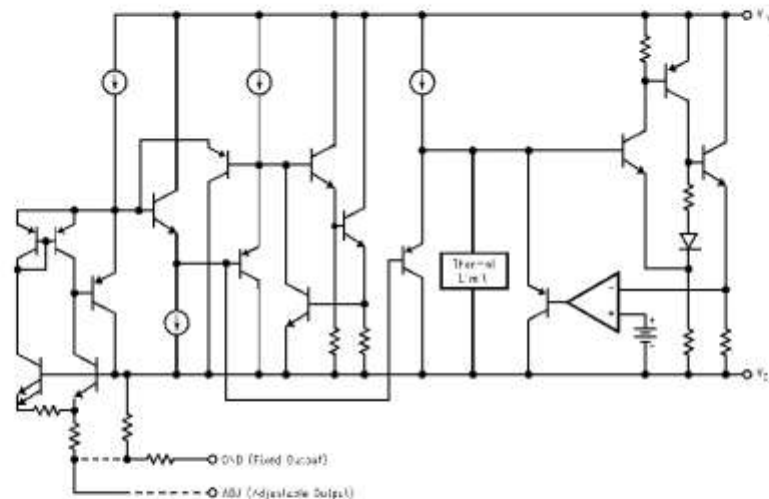


Figure 11. Basic Functional Diagram for the LM1084, Excluding Protection Circuitry

### 7.2 Functional Block Diagram



### 7.3 Feature Description

#### 7.3.1 Ripple Rejection

Ripple rejection is a function of the open loop gain within the feed-back loop (refer to Figure 11 and Figure 14). The LM1084 exhibits 75dB of ripple rejection (typ.). When adjusted for voltages higher than  $V_{REF}$ , the ripple rejection decreases as a function of adjustment gain:  $(1+R1/R2)$  or  $V_O/V_{REF}$ . Therefore a 5-V adjustment decreases ripple rejection by a factor of four (-12dB); Output ripple increases as adjustment voltage increases.

**Feature Description (continued)**

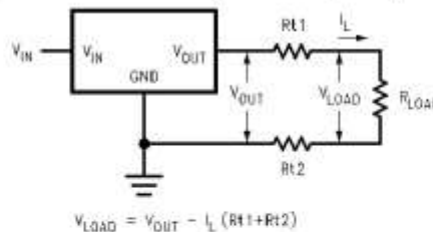
However, the adjustable version allows this degradation of ripple rejection to be compensated. The adjust terminal can be bypassed to ground with a capacitor ( $C_{ADJ}$ ). The impedance of the  $C_{ADJ}$  should be equal to or less than  $R_1$  at the desired ripple frequency. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased.

$$1/(2\pi \times f_{RIPPLE} \times C_{ADJ}) \leq R_1 \tag{1}$$

**7.3.2 Load Regulation**

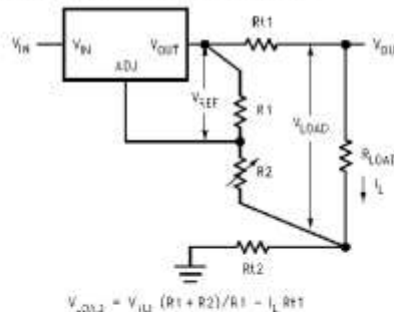
The LM1084 regulates the voltage that appears between its output and ground pins, or between its output and adjust pins. In some cases, line resistances can introduce errors to the voltage across the load. To obtain the best load regulation, a few precautions are needed.

Figure 12 shows a typical application using a fixed output regulator.  $R_{t1}$  and  $R_{t2}$  are the line resistances.  $V_{LOAD}$  is less than the  $V_{OUT}$  by the sum of the voltage drops along the line resistances. In this case, the load regulation seen at the  $R_{LOAD}$  would be degraded from the data sheet specification. To improve this, the load should be tied directly to the output pin on the positive side and directly tied to the ground pin on the negative side.



**Figure 12. Typical Application Using Fixed Output Regulator**

When the adjustable regulator is used (Figure 13), the best performance is obtained with the positive side of the resistor  $R_1$  tied directly to the output pin of the regulator rather than near the load. This eliminates line drops from appearing effectively in series with the reference and degrading regulation. For example, a 5-V regulator with  $0.05\Omega$  resistance between the regulator and load will have a load regulation due to line resistance of  $0.05\Omega \times I_L$ . If  $R_1$  ( $= 125\Omega$ ) is connected near the load the effective line resistance will be  $0.05\Omega (1 + R_2/R_1)$  or in this case, it is 4 times worse. In addition, the ground side of the resistor  $R_2$  can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.



**Figure 13. Best Load Regulation Using Adjustable Output Regulator**

## Feature Description (continued)

### 7.3.3 Overload Recovery

Overload recovery refers to regulator's ability to recover from a short circuited output. A key factor in the recovery process is the current limiting used to protect the output from drawing too much power. The current limiting circuit reduces the output current as the input to output differential increases. Refer to short circuit curve in the *Typical Characteristics* section.

During normal start-up, the input to output differential is small because the output follows the input. But, if the output is shorted, then the recovery involves a large input to output differential. Sometimes during this condition the current limiting circuit is slow in recovering. If the limited current is too low to develop a voltage at the output, the voltage will stabilize at a lower level. Under these conditions it may be necessary to recycle the power of the regulator in order to get the smaller differential voltage and thus adequate start up conditions. Refer to *Typical Characteristics* section for the short circuit current vs. input differential voltage.

## 7.4 Device Functional Modes

### 7.4.1 Output Voltage

The LM1084 adjustable version develops a 1.25-V reference voltage, ( $V_{REF}$ ), between the output and the adjust pin. As shown in Figure 14, this voltage is applied across resistor R1 to generate a constant current I1. This constant current then flows through R2. The resulting voltage drop across R2 adds to the reference voltage to sets the desired output voltage.

The current  $I_{ADJ}$  from the adjustment terminal introduces an output error. But because it is small (120  $\mu$ A max), it becomes negligible when R1 is in the 100  $\Omega$  range.

For fixed voltage devices, R1 and R2 are integrated inside the devices.

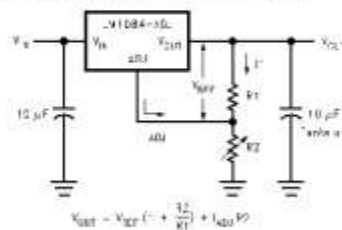


Figure 14. Basic Adjustable Regulator

### 7.4.2 Stability Consideration

Stability consideration primarily concerns the phase response of the feedback loop. In order for stable operation, the loop must maintain negative feedback. The LM1084 requires a certain amount series resistance with capacitive loads. This series resistance introduces a zero within the loop to increase phase margin and thus increase stability. The equivalent series resistance (ESR) of solid tantalum or aluminum electrolytic capacitors is used to provide the appropriate zero (approximately 500 kHz).

Aluminum electrolytics are less expensive than tantalums, but their ESR varies exponentially at cold temperatures; therefore requiring close examination when choosing the desired transient response over temperature. Tantalums are a convenient choice because their ESR varies less than 2:1 over temperature.

The recommended load/decoupling capacitance is a 10- $\mu$ F tantalum or a 50- $\mu$ F aluminum. These values will assure stability for the majority of applications.

The adjustable versions allow an additional capacitor to be used at the ADJ pin to increase ripple rejection. If this is done the output capacitor should be increased to 22  $\mu$ F for tantalum or to 150  $\mu$ F for aluminum.

Capacitors other than tantalum or aluminum can be used at the adjust pin and the input pin. A 10- $\mu$ F capacitor is a reasonable value at the input. See *Ripple Rejection* section regarding the value for the adjust pin capacitor.



## LM1084

SNVS037G – SEPTEMBER 1999 – REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

### Device Functional Modes (continued)

It is desirable to have large output capacitance for applications that entail large changes in load current (microprocessors for example). The higher the capacitance, the larger the available charge per demand. It is also desirable to provide low ESR to reduce the change in output voltage:

$$\Delta V = \Delta I \times \text{ESR} \quad (2)$$

It is common practice to use several tantalum and ceramic capacitors in parallel to reduce this change in the output voltage by reducing the overall ESR.

Output capacitance can be increased indefinitely to improve transient response and stability.

### 7.4.3 Protection Diodes

Under normal operation, the LM1084 regulator does not need any protection diode. With the adjustable device, the internal resistance between the adjustment and output terminals limits the current. No diode is needed to divert the current around the regulator even with a capacitor on the adjustment pin. The adjust pin can take a transient signal of  $\pm 25$  V with respect to the output voltage without damaging the device.

When an output capacitor is connected to a regulator and the input is shorted, the output capacitor will discharge into the output of the regulator. The discharge current depends on the value of the capacitor, the output voltage of the regulator, and rate of decrease of  $V_{IN}$ . In the LM1084 regulator, the internal diode between the output and input pins can withstand microsecond surge currents of 10A to 20A. With an extremely large output capacitor ( $\geq 1000 \mu\text{f}$ ), and with input instantaneously shorted to ground, the regulator could be damaged. In this case, an external diode is recommended between the output and input pins to protect the regulator, shown in Figure 15.

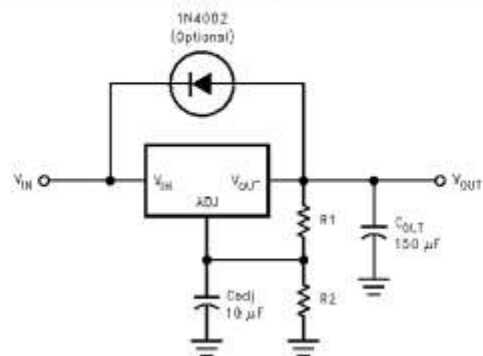


Figure 15. Regulator with Protection Diode

## 8 Application and Implementation

### NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

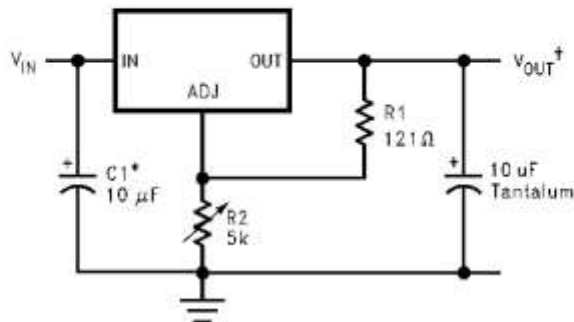
### 8.1 Application Information

The LM1084 is versatile in its applications, including uses in programmable output regulation and local on-card regulation. Or, by connecting a fixed resistor between the ADJUST and OUTPUT terminals, the LM1084 can function as a precision current regulator. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The ADJUST terminal can be bypassed to achieve very high ripple-rejection ratios, which are difficult to achieve with standard three-terminal regulators. Please note, in the following applications, if ADJ is mentioned, it makes use of the adjustable version of the part, however, if GND is mentioned, it is the fixed voltage version of the part.

### 8.2 Typical Applications

#### 8.2.1 1.2-V to 15-V Adjustable Regulator

This part can be used as a simple low drop out regulator to enable a variety of output voltages needed for demanding applications. By using an adjustable R2 resistor a variety of output voltages can be made possible as shown in Figure 16 based on the LM1084-ADJ.



\*NEEDED IF DEVICE IS FAR FROM FILTER CAPACITORS

$$V_{OUT}^{\dagger} = 1.25V \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

Figure 16. 1.2-V to 15-V Adjustable Regulator

##### 8.2.1.1 Design Requirements

The device component count is very minimal, employing two resistors as part of a voltage divider circuit and an output capacitor for load regulation.

##### 8.2.1.2 Detailed Design Procedure

The voltage divider for this part is set based on the equation shown in Figure 16, where R1 is the upper feedback resistor and R2 is the lower feedback resistor.

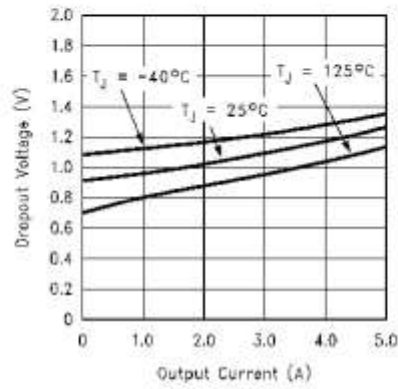
LM1084

SNVS037G – SEPTEMBER 1999 – REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

Typical Applications (continued)

8.2.1.3 Application Curve



8.2.2 Adjustable at 5 V

The application shown in Figure 17 outlines a simple 5 V output application made possible by the LM1084-ADJ. This application can provide 5 A at high efficiencies and very low drop-out.

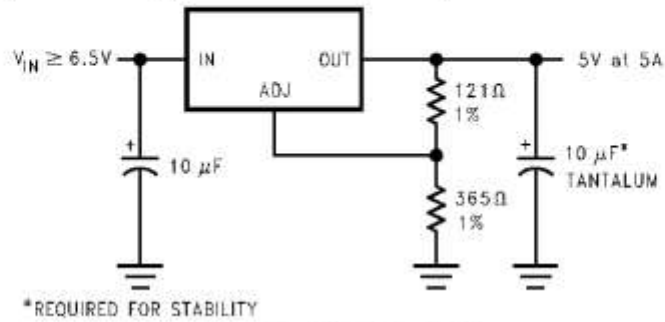


Figure 17. Adjustable @ 5 V

Typical Applications (continued)

8.2.3 5-V Regulator With Shutdown

A variation of the 5 V output regulator application with shutdown control is shown in Figure 18 based on the LM1084-ADJ. It uses a simple NPN transistor on the ADJ pin to block or sink the current on the ADJ pin. If the TTL logic is pulled high, the NPN transistor is activated and the part is disabled, outputting approximately 1.25 V. If the TTL logic is pulled low, the NPN transistor is unbiased and the regulator functions normally.

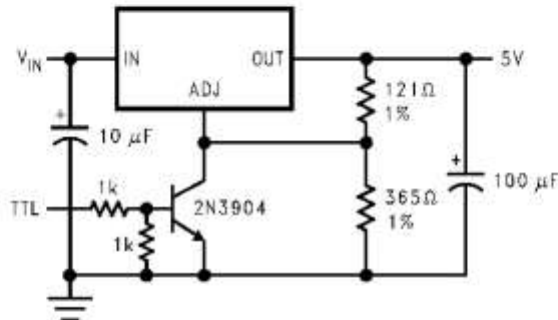


Figure 18. 5-V Regulator with Shutdown

8.2.4 Battery Charger

The LM1084-ADJ can be used as a battery charger to regulate the charging current required by the battery bank as shown in Figure 19. In this application the LM1084 acts as a constant voltage, constant current part by sensing the voltage potential across the battery and compensating it to the current voltage. To maintain this voltage, the regulator delivers the maximum charging current required to charge the battery. As the battery approaches the fully charged state, the potential drop across the sense resistor,  $R_S$ , reduces and the regulator throttles back the current to maintain the float voltage of the battery.

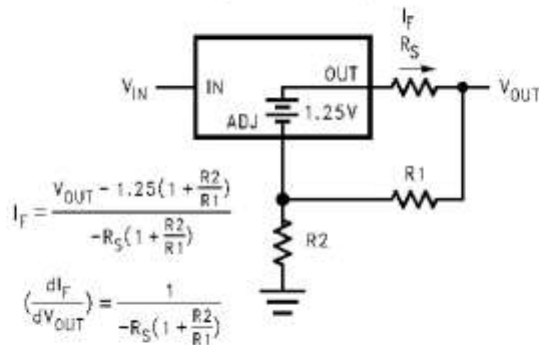


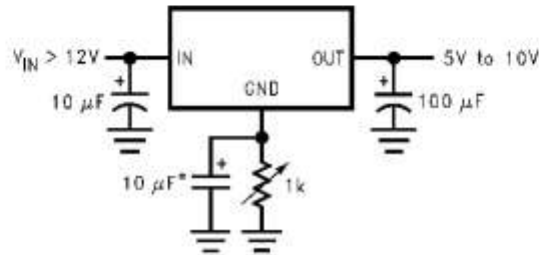
Figure 19. Battery Charger



**Typical Applications (continued)**

**8.2.5 Adjustable Fixed Regulator**

A simple adjustable, fixed range output regulator can be made possible by placing a variable resistor on the ground of the device as shown in Figure 20 based on the fixed output voltage LM1084-5.0. The GND pin has a small quiescent current of 5 mA typical. Increasing the resistance on the GND pin increases the voltage potential across the resistor. This potential is then mirrored on to the output to increase the total output voltage by the potential drop across the GND resistor.

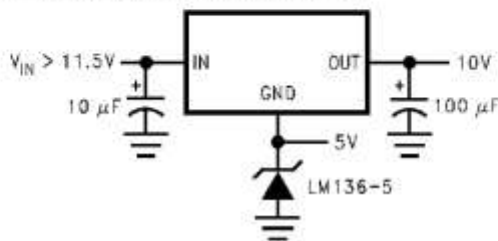


\*OPTIONAL IMPROVES RIPPLE REJECTION

**Figure 20. Adjustable Fixed Regulator**

**8.2.6 Regulator with Reference**

A fixed output voltage version of the LM1084-5.0 can be employed to provide an output rail and a reference rail at the same time as shown in Figure 21. This simple application makes use of a reference diode, the LM136-5, to regulate the GND voltage to a fixed 5 V based on the quiescent current generated by the GND pin. This voltage is then added onto the output to generate a total of 10 V out.



**Figure 21. Regulator with Reference**

Typical Applications (continued)

8.2.7 High Current Lamp Driver Protection

A simple constant current source with protection can be designed by controlling the impedance between the lamp and ground. The LM1084-ADJ shown in Figure 22 makes use of an external TTL or CMOS input to drive the NPN transistor. This pulls the output of the regulator to a few tenths of a volt and puts the part into current limit. Releasing the logic will reduce the current flow across the lamp into the normal operating current thereby protecting the lamp during startup.

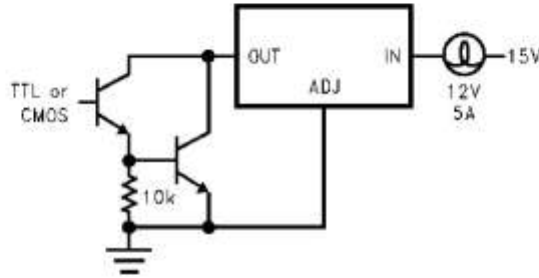


Figure 22. High Current Lamp Driver Protection

8.2.8 Battery Backup Regulated Supply

A regulated battery backup supply can be generated by using two fixed output voltage versions of the part as shown in Figure 23. The top regulator supplies the Line voltage during normal operation, however when the input is not available, the second regulator derives power from the battery backup and regulates it to 5 V based on the LM1084-5.0. The diodes prevent the rails from back feeding into the supply and batteries.

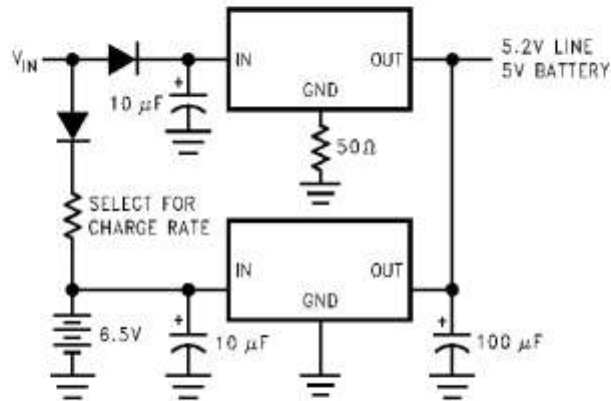
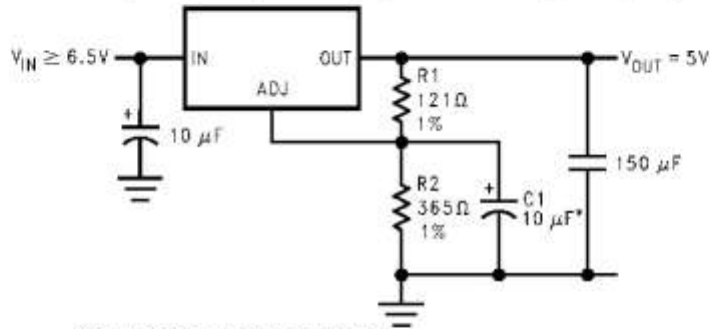


Figure 23. Battery Backup Regulated Supply

Typical Applications (continued)

8.2.9 Ripple Rejection Enhancement

A very simple ripple rejection circuit is shown in Figure 24 using the LM1084-ADJ. The capacitor C1 smooths out the ripple on the output by cleaning up the feedback path and preventing excess noise from feeding back into the regulator. Please remember  $X_{C1}$  should be approximately equal to R1 at the ripple frequency.



\*C1 IMPROVES RIPPLE REJECTION.  
 $X_{C1}$  SHOULD BE  $\approx R1$  AT RIPPLE FREQUENCY

Figure 24. Ripple Rejection Enhancement

8.2.10 Automatic Light Control

A common street light control or automatic light control circuit is designed in Figure 25 based on the LM1084-ADJ. The photo transistor conducts in the presence of light and grounds the ADJ pin preventing the lamp from turning on. However, in the absence of light, the LM1084 regulates the voltage to 1.25V between OUT and ADJ, ensuring the lamp remains on.

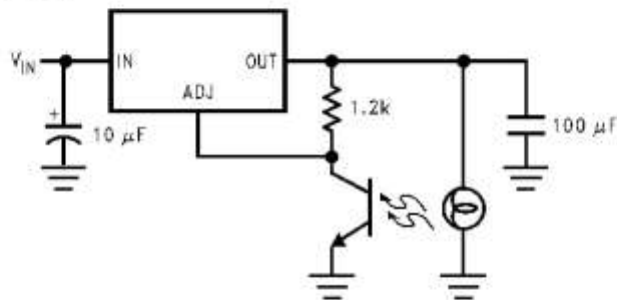
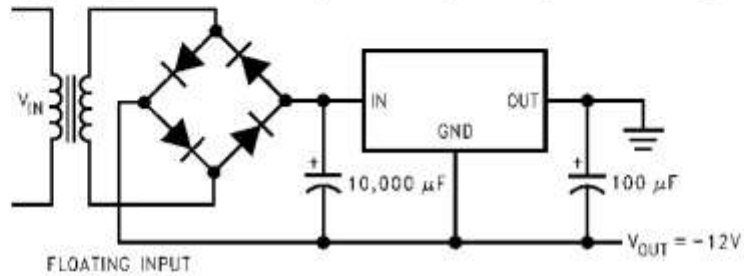


Figure 25. Automatic Light Control

**Typical Applications (continued)**

**8.2.11 Generating Negative Supply Voltage**

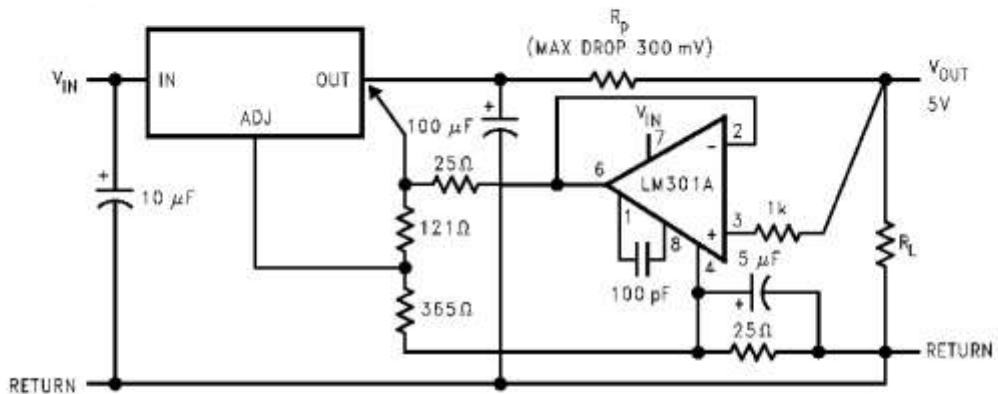
A quick inverting output rail or negative output rail is shown in Figure 26 using the LM1084 fixed output part. By tying the output to GND, the GND node is at a relatively more negative potential than the output. This is then interfaced to the negative application such as an operational amplifier or any other rail needing negative voltage.



**Figure 26. Generating Negative Supply Voltage**

**8.2.12 Remote Sensing**

Remote sensing is a method of compensating the output voltage to a very precise degree by sensing the output and feeding it back through the feedback. The circuit implementing this is shown in Figure 27 using the LM1084-ADJ. The output of the regulator is fed into a voltage follower to avoid any loading effects and the output of the op-amp is injected into the top of the feedback resistor network. This has the effect of modulating the voltage to a precise degree without additional loading on the output.



**Figure 27. Remote Sensing**

## 9 Power Supply Recommendations

The linear regulator input supply should be well regulated and kept at a voltage level such that the maximum input to output voltage differential allowed by the device is not exceeded. The minimum dropout voltage ( $V_{IN} - V_{OUT}$ ) should be met with extra headroom when possible in order to keep the output well regulated. A 10  $\mu\text{F}$  or higher capacitor should be placed at the input to bypass noise.

## 10 Layout

### 10.1 Layout Guidelines

For the best overall performance, some layout guidelines should be followed. Place all circuit components on the same side of the circuit board and as near as practical to the respective linear regulator pins. Traces should be kept short and wide to reduce the amount of parasitic elements into the system. The actual width and thickness of traces will depend on the current carrying capability and heat dissipation required by the end system. An array of plated vias can be placed on the pad area underneath the TAB to conduct heat to any inner plane areas or to a bottom-side copper plane.

### 10.2 Layout Example

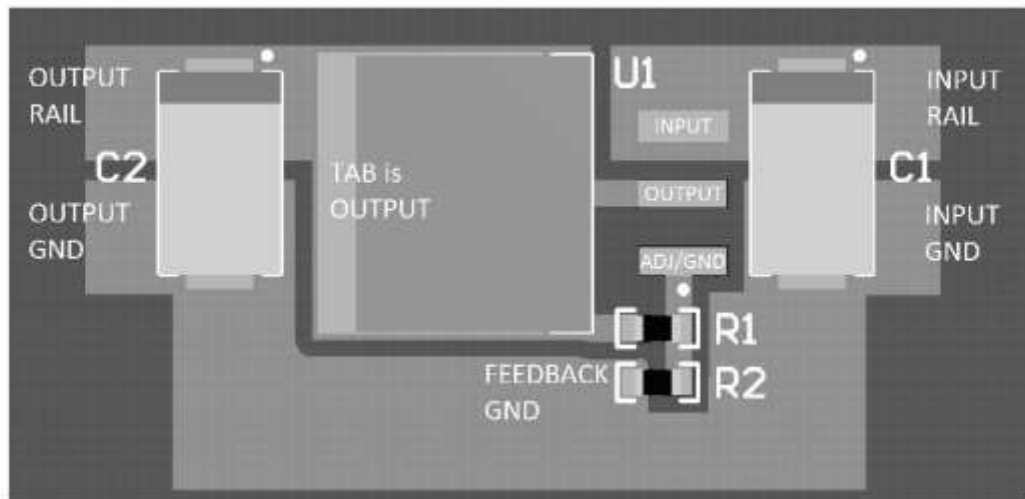


Figure 28. Layout Example

### 10.3 Thermal Considerations

ICs heats up when in operation, and power consumption is one factor in how hot it gets. The other factor is how well the heat is dissipated. Heat dissipation is predictable by knowing the thermal resistance between the IC and ambient ( $\theta_{JA}$ ). Thermal resistance has units of temperature per power (C/W). The higher the thermal resistance, the hotter the IC.

The LM1084 specifies the thermal resistance for each package as junction to case ( $\theta_{JC}$ ). In order to get the total resistance to ambient ( $\theta_{JA}$ ), two other thermal resistance must be added, one for case to heat-sink ( $\theta_{CH}$ ) and one for heatsink to ambient ( $\theta_{HA}$ ). The junction temperature can be predicted as follows:

$$T_J = T_A + P_D (\theta_{JC} + \theta_{CH} + \theta_{HA}) = T_A + P_D \theta_{JA} \quad (3)$$

$T_J$  is junction temperature,  $T_A$  is ambient temperature, and  $P_D$  is the power consumption of the device. Device power consumption is calculated as follows:

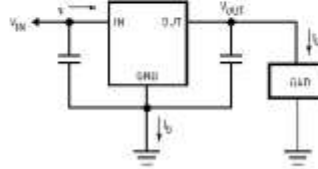


**Thermal Considerations (continued)**

$$I_{IN} = I_L + I_G \tag{4}$$

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) I_L + V_{IN} I_G \tag{5}$$

Figure 29 shows the voltages and currents which are present in the circuit.



**Figure 29. Power Dissipation Diagram**

Once the device's power is determined, the maximum allowable ( $\theta_{JA(max)}$ ) is calculated as:

$$\theta_{JA(max)} = T_{J(max)} / P_D = T_{A(max)} / P_D \tag{6}$$

The LM1084 has different temperature specifications for two different sections of the IC: the control section and the output section. The *Thermal Information* table shows the junction to case thermal resistances for each of these sections, while the maximum junction temperatures ( $T_{J(max)}$ ) for each section is listed in the *Absolute Maximum Ratings* section of the datasheet.  $T_{J(max)}$  is 125°C for the control section, while  $T_{J(max)}$  is 150°C for the output section.

$\theta_{JA(max)}$  should be calculated separately for each section as follows:

$$\theta_{JA(max, CONTROL SECTION)} = (125^\circ\text{C} - T_{A(max)}) / P_D \tag{7}$$

$$\theta_{JA(max, OUTPUT SECTION)} = (150^\circ\text{C} - T_{A(max)}) / P_D \tag{8}$$

The required heat sink is determined by calculating its required thermal resistance ( $\theta_{HA(max)}$ ).

$$\theta_{HA(max)} = \theta_{JA(max)} - (\theta_{JC} + \theta_{CH}) \tag{9}$$

( $\theta_{HA(max)}$ ) should also be calculated twice as follows:

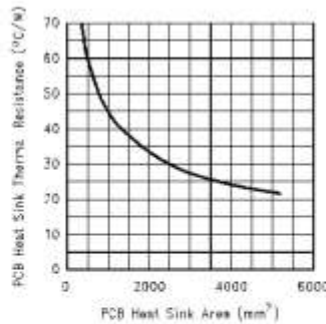
$$(\theta_{HA(max)}) = \theta_{JA(max, CONTROL SECTION)} - (\theta_{JC (CONTROL SECTION)} + \theta_{CH}) \tag{10}$$

$$(\theta_{HA(max)}) = \theta_{JA(max, OUTPUT SECTION)} - (\theta_{JC (OUTPUT SECTION)} + \theta_{CH}) \tag{11}$$

If thermal compound is used,  $\theta_{CH}$  can be estimated at 0.2 C/W. If the case is soldered to the heat sink, then a  $\theta_{CH}$  can be estimated as 0 C/W.

After,  $\theta_{HA(max)}$  is calculated for each section, choose the lower of the two  $\theta_{HA(max)}$  values to determine the appropriate heat sink.

If PC board copper is going to be used as a heat sink, then Figure 30 can be used to determine the appropriate area (size) of copper foil required.



**Figure 30. Heat Sink Thermal Resistance vs Area**

## 11 Device and Documentation Support

### 11.1 Trademarks

All trademarks are the property of their respective owners.

### 11.2 Electrostatic Discharge Caution



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

### 11.3 Glossary

[SLYZ022](#) — *TI Glossary*.

This glossary lists and explains terms, acronyms, and definitions.

## 12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information

The following pages include mechanical, packaging, and orderable information. This information is the most current data available for the designated devices. This data is subject to change without notice and revision of this document. For browser-based versions of this data sheet, refer to the left-hand navigation.

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Package Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish <sup>(6)</sup>	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>	Op Temp (°C)	Device Marking <sup>(4,5)</sup>	Samples
LM1084IS-3.3/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	3	45	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM1084 IS-3.3	Samples
LM1084IS-5.0/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	3	45	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM1084 IS-5.0	Samples
LM1084IS-ADJ	NRND	DDPAK/ TO-263	KTT	3	45	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM1084 IS-ADJ	
LM1084IS-ADJ/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	3	45	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM1084 IS-ADJ	Samples
LM1084ISX-3.3/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	3	500	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM1084 IS-3.3	Samples
LM1084ISX-5.0/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	3	500	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM1084 IS-5.0	Samples
LM1084ISX-ADJ/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	3	500	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM1084 IS-ADJ	Samples
LM1084IT-3.3/NOPB	ACTIVE	TO-220	NDE	3	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLJM	-40 to 125	LM1084 IT-3.3	Samples
LM1084IT-5.0/NOPB	ACTIVE	TO-220	NDE	3	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLJM	-40 to 125	LM1084 IT-5.0	Samples
LM1084IT-ADJ/NOPB	ACTIVE	TO-220	NDE	3	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLJM	-40 to 125	LM1084 IT-ADJ	Samples

<sup>(1)</sup> The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBSOLETE:** TI has discontinued the production of the device.

<sup>(2)</sup> Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

**TBD:** The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

**Pb-Free (RoHS):** TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

**Pb-Free (RoHS Exempt):** This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

**Green (RoHS & no Sb/Br):** TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

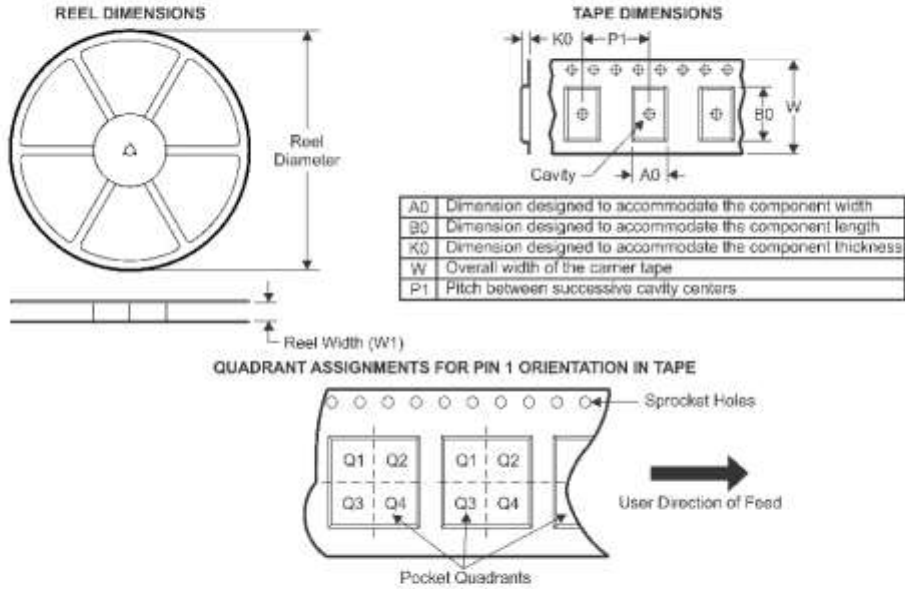


- 
- (3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.
- (4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.
- (5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "-" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.
- (6) Lead/Ball Finish - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

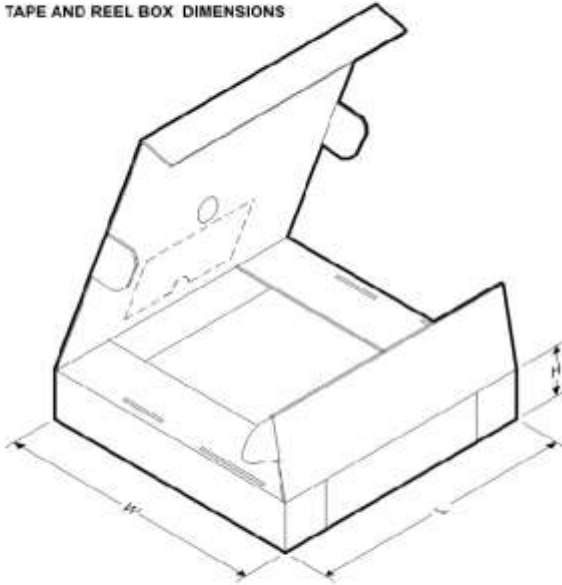
TAPE AND REEL INFORMATION



\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM1084ISX-3.3/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	3	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2
LM1084ISX-5.0/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	3	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2
LM1084ISX-ADJ/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	3	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2

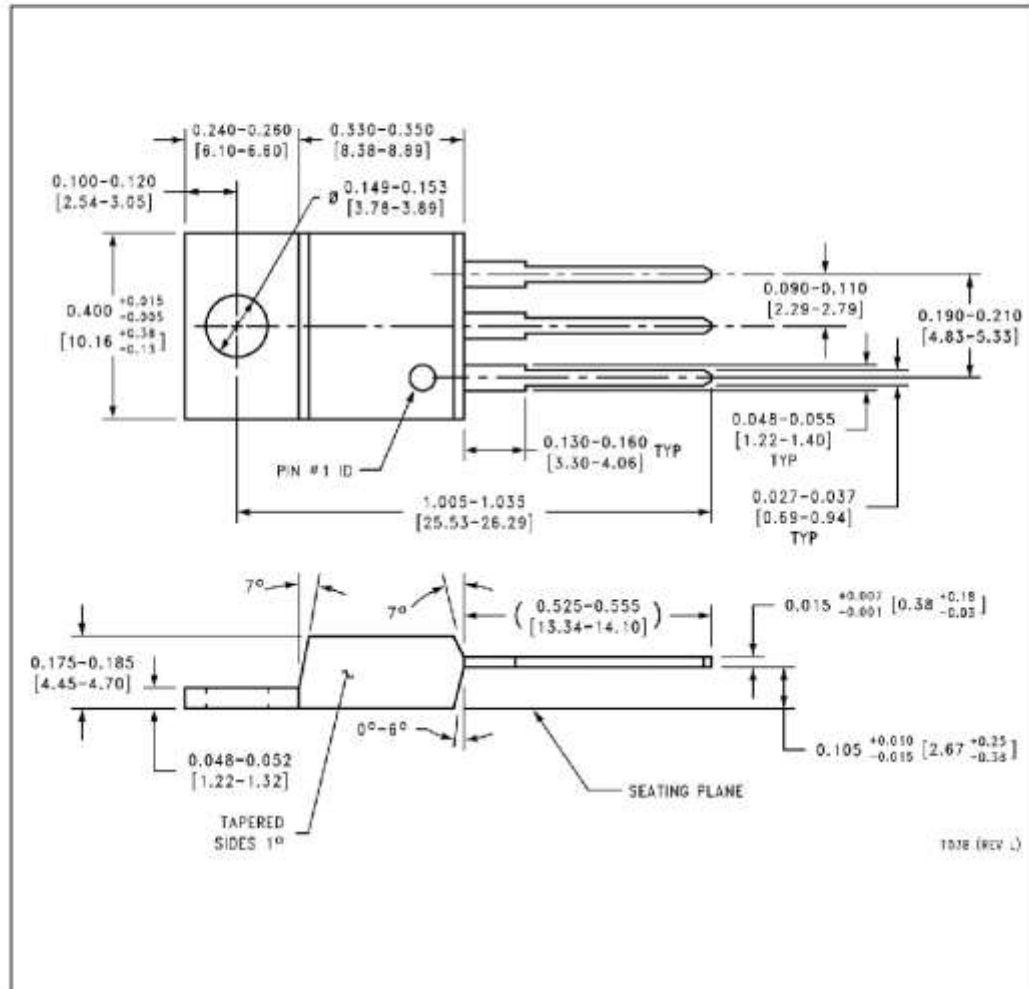
**TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS**



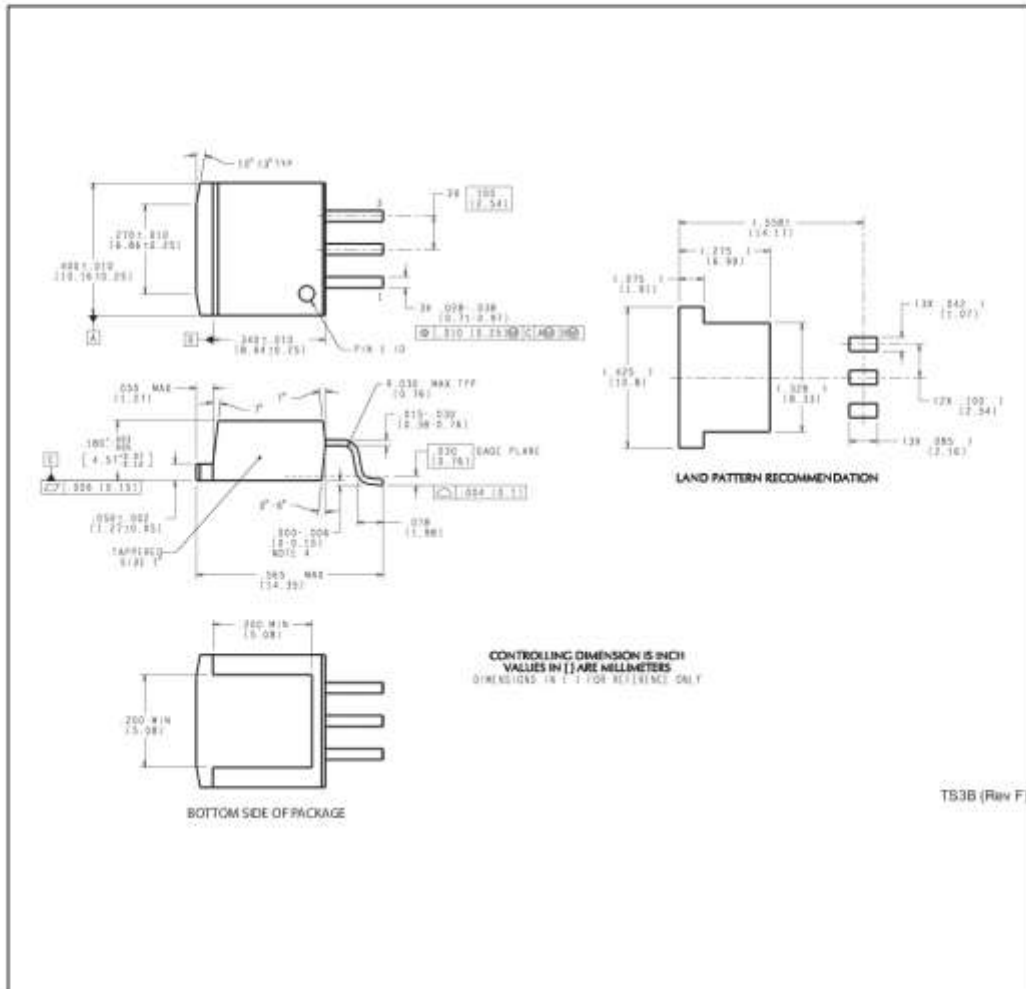
\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM1064ISX-3.3/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	3	500	367.0	367.0	45.0
LM1064ISX-5.0/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	3	500	367.0	367.0	45.0
LM1064ISX-ADJ/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	3	500	367.0	367.0	45.0

NDE0003B



KTT0003B



## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have **not** been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

### Products

Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DLP® Products	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
Clocks and Timers	<a href="http://www.ti.com/clocks">www.ti.com/clocks</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
RFID	<a href="http://www.ti-rfid.com">www.ti-rfid.com</a>
OMAP Applications Processors	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>
Wireless Connectivity	<a href="http://www.ti.com/wirelessconnectivity">www.ti.com/wirelessconnectivity</a>

### Applications

Automotive and Transportation	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
Communications and Telecom	<a href="http://www.ti.com/communications">www.ti.com/communications</a>
Computers and Peripherals	<a href="http://www.ti.com/computers">www.ti.com/computers</a>
Consumer Electronics	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
Energy and Lighting	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
Industrial	<a href="http://www.ti.com/industrial">www.ti.com/industrial</a>
Medical	<a href="http://www.ti.com/medical">www.ti.com/medical</a>
Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
Space, Avionics and Defense	<a href="http://www.ti.com/space-avionics-defense">www.ti.com/space-avionics-defense</a>
Video and Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>

### TI E2E Community

[e2e.ti.com](http://e2e.ti.com)

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

## 2N2222A

### Small Signal Switching Transistor

NPN Silicon

#### Features

- MIL-PRF-19500/255 Qualified
- Available as JAN, JANTX, and JANTXV

#### MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Collector – Emitter Voltage	$V_{CE0}$	50	Vdc
Collector – Base Voltage	$V_{CB0}$	75	Vdc
Emitter – Base Voltage	$V_{EB0}$	6.0	Vdc
Collector Current – Continuous	$I_C$	800	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_T$	500	mW
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	$P_T$	1.0	W
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

#### THERMAL CHARACTERISTICS

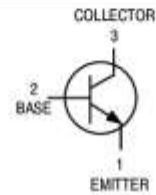
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	325	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	150	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



TO-18  
CASE 206AA  
STYLE 1

#### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
JAN2N2222A	TO-18	Bulk
JANTX2N2222A		
JANTXV2N2222A		

## 2N2222A

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>				
Collector-Emitter Breakdown Voltage (I <sub>C</sub> = 10 mA <sub>dc</sub> )	V <sub>(BR)CEO</sub>	50	-	V <sub>dc</sub>
Collector-Base Cutoff Current (V <sub>CB</sub> = 75 V <sub>dc</sub> ) (V <sub>CB</sub> = 60 V <sub>dc</sub> )	I <sub>CBO</sub>	-	10 10	μA <sub>dc</sub> nA <sub>dc</sub>
Emitter-Base Cutoff Current (V <sub>EB</sub> = 6.0 V <sub>dc</sub> ) (V <sub>EB</sub> = 4.0 V <sub>dc</sub> )	I <sub>EBO</sub>	-	10 10	μA <sub>dc</sub> nA <sub>dc</sub>
Collector-Emitter Cutoff Current (V <sub>CE</sub> = 50 V <sub>dc</sub> )	I <sub>CES</sub>	-	50	nA <sub>dc</sub>
<b>ON CHARACTERISTICS (Note 1)</b>				
DC Current Gain (I <sub>C</sub> = 0.1 mA <sub>dc</sub> , V <sub>CE</sub> = 10 V <sub>dc</sub> ) (I <sub>C</sub> = 1.0 mA <sub>dc</sub> , V <sub>CE</sub> = 10 V <sub>dc</sub> ) (I <sub>C</sub> = 10 mA <sub>dc</sub> , V <sub>CE</sub> = 10 V <sub>dc</sub> ) (I <sub>C</sub> = 150 mA <sub>dc</sub> , V <sub>CE</sub> = 10 V <sub>dc</sub> ) (I <sub>C</sub> = 500 mA <sub>dc</sub> , V <sub>CE</sub> = 10 V <sub>dc</sub> )	h <sub>FE</sub>	50 75 100 100 30	- 325 - 300 -	-
Collector-Emitter Saturation Voltage (I <sub>C</sub> = 150 mA <sub>dc</sub> , I <sub>B</sub> = 15 mA <sub>dc</sub> ) (I <sub>C</sub> = 500 mA <sub>dc</sub> , I <sub>B</sub> = 50 mA <sub>dc</sub> )	V <sub>CE(sat)</sub>	-	0.3 1.0	V <sub>dc</sub>
Base-Emitter Saturation Voltage (I <sub>C</sub> = 150 mA <sub>dc</sub> , I <sub>B</sub> = 15 mA <sub>dc</sub> ) (I <sub>C</sub> = 500 mA <sub>dc</sub> , I <sub>B</sub> = 50 mA <sub>dc</sub> )	V <sub>BE(sat)</sub>	0.6	1.2 2.0	V <sub>dc</sub>
<b>SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS</b>				
Magnitude of Small-Signal Current Gain (I <sub>C</sub> = 20 mA <sub>dc</sub> , V <sub>CE</sub> = 20 V <sub>dc</sub> , f = 100 MHz)	h <sub>fe</sub>	2.5	-	-
Small-Signal Current Gain (I <sub>C</sub> = 1.0 mA <sub>dc</sub> , V <sub>CE</sub> = 10 V <sub>dc</sub> , f = 1 kHz)	h <sub>fe</sub>	50	-	-
Input Capacitance (V <sub>EB</sub> = 0.5 V <sub>dc</sub> , I <sub>C</sub> = 0, 100 kHz ≤ f ≤ 1.0 MHz)	C <sub>ibo</sub>	-	25	pF
Output Capacitance (V <sub>CB</sub> = 10 V <sub>dc</sub> , I <sub>E</sub> = 0, 100 kHz ≤ f ≤ 1.0 MHz)	C <sub>obo</sub>	-	8.0	pF
<b>SWITCHING (SATURATED) CHARACTERISTICS</b>				
Turn-On Time (Reference Figure in MIL-PRF-19500/255)	t <sub>on</sub>	-	35	ns
Turn-Off Time (Reference Figure in MIL-PRF-19500/255)	t <sub>off</sub>	-	300	ns

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.



2N2222A

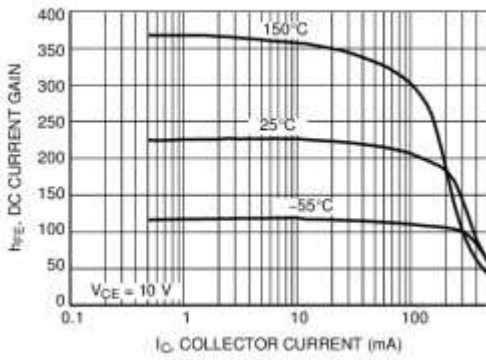


Figure 1. DC Current Gain

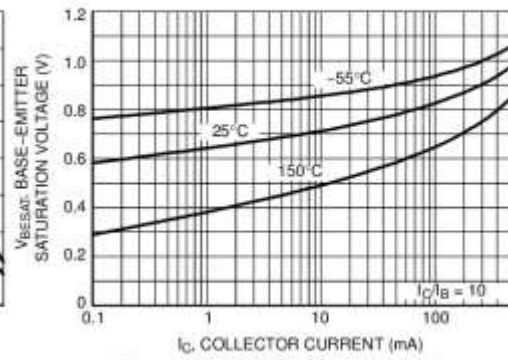


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage

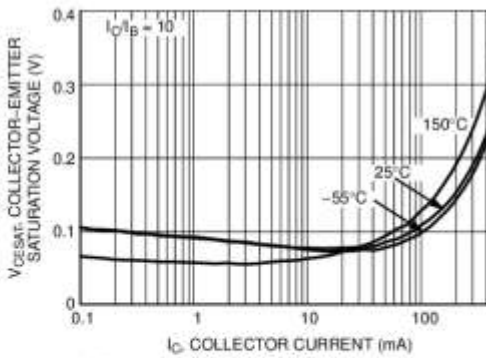


Figure 3. Collector-Emitter Saturation Voltage

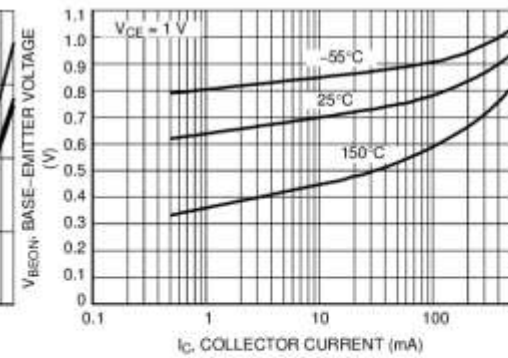


Figure 4. Base-Emitter Voltage

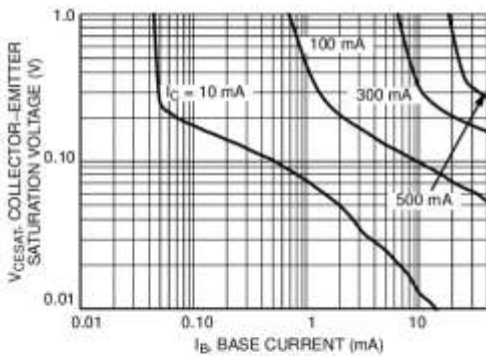


Figure 5. Collector Saturation Region

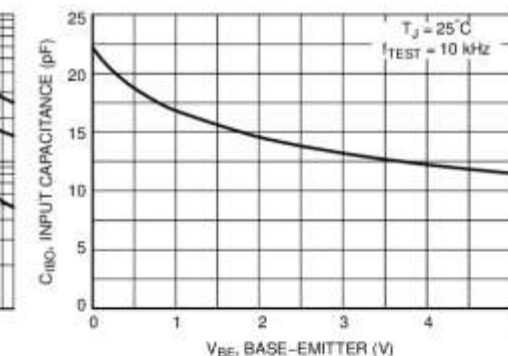


Figure 6. Input Capacitance

## 2N2222A

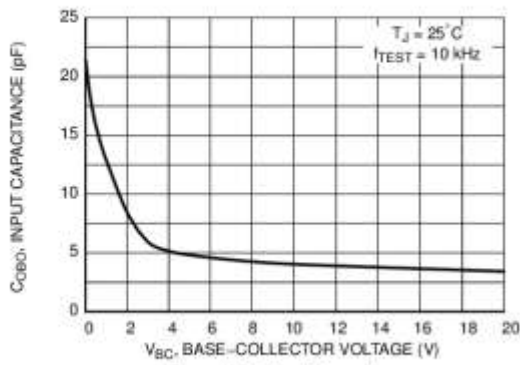


Figure 7. Output Capacitance

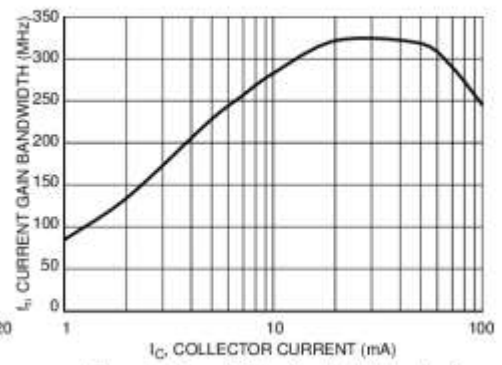
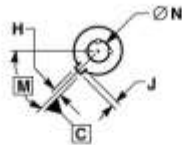
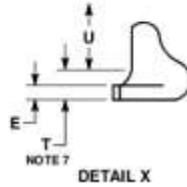
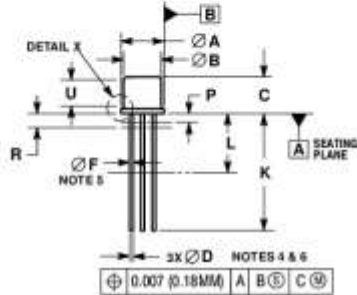


Figure 8. Current Gain Bandwidth Product

# 2N2222A

## PACKAGE DIMENSIONS

TO-18 3  
CASE 206AA  
ISSUE A



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCHES.
  3. DIMENSION J MEASURED FROM DIAMETER A TO EDGE.
  4. LEAD TRUE POSITION TO BE DETERMINED AT THE QUAG PLANE DEFINED BY DIMENSION R.
  5. DIMENSION F APPLIES BETWEEN DIMENSION P AND L.
  6. DIMENSION D APPLIES BETWEEN DIMENSION L AND K.
  7. BODY CONTOUR OPTIONAL WITHIN ZONE DEFINED BY DIMENSIONS A, B, AND T.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	5.31	5.84	0.209	0.230
B	4.52	4.95	0.178	0.195
C	4.30	5.33	0.170	0.210
D	0.61	0.93	0.024	0.037
E	---	0.76	---	0.030
F	0.61	0.90	0.024	0.035
H	0.91	1.17	0.036	0.046
J	0.71	1.02	0.028	0.040
K	12.70	19.05	0.500	0.750
L	5.33	---	0.210	---
M	45° RSC	---	45° RSC	---
N	2.94 BSC	---	0.100 BSC	---
P	---	1.27	---	0.050
R	1.07 BSC	---	0.054 BSC	---
T	---	0.76	---	0.030
U	2.64	---	0.100	---

- STYLE 1:
1. EMITTER
  2. BASE
  3. COLLECTOR

ON Semiconductor and are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of SCILLC's product/patent coverage may be accessed at [www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marketing.pdf](http://www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marketing.pdf). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

### PUBLICATION ORDERING INFORMATION

**LITERATURE FULFILLMENT:**  
Literature Distribution Center for ON Semiconductor  
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA  
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada  
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada  
Email: [orderlit@onsemi.com](mailto:orderlit@onsemi.com)

**N. American Technical Support:** 800-292-9855 Toll Free  
USA/Canada  
**Europe, Middle East and Africa Technical Support:**  
Phone: 421 33 790 29 10  
**Japan Customer Focus Center**  
Phone: 81-3-5617-1050

**ON Semiconductor Website:** [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)

**Order Literature:** <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative

2N2222A/D

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

### Single Supply Quad Operational Amplifiers

The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

#### Features

- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and PPAP Capable
- These Devices are Pb-Free, Halogen Free/BFR Free and are RoHS Compliant



ON Semiconductor®

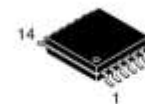
[www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)



PDIP-14  
N SUFFIX  
CASE 646

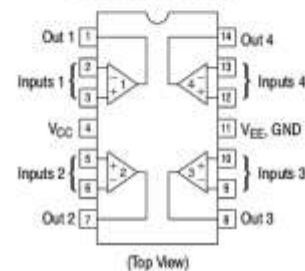


SOIC-14  
D SUFFIX  
CASE 751A



TSSOP-14  
DTB SUFFIX  
CASE 948G

#### PIN CONNECTIONS



#### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

#### DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.

## LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

**MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	$V_{CC}$ $V_{CC}, V_{EE}$	32 $\pm 16$	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	$V_{IDR}$	$\pm 32$	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	$V_{ICR}$	-0.3 to 32	Vdc
Output Short Circuit Duration	$t_{SC}$	Continuous	
Junction Temperature	$T_J$	150	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 2)	$R_{\theta JA}$	Case 64E Case 751A Case 948G 118 156 190	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	$T_A$	LM224 LM324, LM324A, LM324E LM2902, LM2902E LM2902V, NCV2902 (Note 3) -25 to +85 0 to +70 -40 to +105 -40 to +125	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

1. Split Power Supplies.
2. All  $R_{\theta JA}$  measurements made on evaluation board with 1 oz. copper traces of minimum pad size. All device outputs were active.
3. NCV2902 is qualified for automotive use.

### ESD RATINGS

Rating	HBM	MM	Unit
ESD Protection at any Pin (Human Body Model – HBM, Machine Model – MM)			
NCV2902 (Note 3)	2000	200	V
LM324E, LM2902E	2000	200	V
LM324DG/DR2G, LM2902DG/DR2G	200	100	V
All Other Devices	2000	200	V

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>CC</sub> = 5.0 V, V<sub>EE</sub> = GND, T<sub>A</sub> = 25°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324, LM324E			LM2902, LM2902E			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage V <sub>CC</sub> = 5.0 V to 30 V V <sub>ICR</sub> = 0 V to V <sub>CC</sub> - 1.7 V, V <sub>IO</sub> = 1.4 V, R <sub>B</sub> = 0 Ω T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>A</sub> = T <sub>High</sub> (Note 4) T <sub>A</sub> = T <sub>Low</sub> (Note 4)	V <sub>IO</sub>	-	2.0	5.0	-	2.0	3.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage T <sub>A</sub> = T <sub>High</sub> to T <sub>Low</sub> (Notes 4 and 6)	ΔV <sub>IO</sub> /ΔT	-	7.0	-	-	7.0	30	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	μV/°C
Input Offset Current T <sub>A</sub> = T <sub>High</sub> to T <sub>Low</sub> (Note 4)	I <sub>IO</sub>	-	3.0	30	-	5.0	30	-	5.0	50	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current T <sub>A</sub> = T <sub>High</sub> to T <sub>Low</sub> (Notes 4 and 6)	ΔI <sub>IO</sub> /ΔT	-	10	-	-	10	300	-	10	-	-	10	-	-	10	-	pA/°C
Input Bias Current T <sub>A</sub> = T <sub>High</sub> to T <sub>Low</sub> (Note 4)	I <sub>IB</sub>	-	-90	-150	-	-45	-100	-	-90	-250	-	-90	-250	-	-90	-250	nA
Input Common Mode Voltage Range (Note 5) V <sub>CC</sub> = 30 V T <sub>A</sub> = +25°C T <sub>A</sub> = T <sub>High</sub> to T <sub>Low</sub> (Note 4)	V <sub>ICR</sub>	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.3	V
Differential Input Voltage Range	V <sub>ICR</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ, V <sub>CC</sub> = 15 V, for Large V <sub>IO</sub> Swing T <sub>A</sub> = T <sub>High</sub> to T <sub>Low</sub> (Note 4)	A <sub>VOL</sub>	50	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Channel Separation 10 kHz ≤ f ≤ 20 kHz, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection, R <sub>B</sub> ≤ 10 kΩ	CMR	70	85	-	65	70	-	65	70	-	50	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	50	100	-	dB

4. LM224: T<sub>Low</sub> = -25°C, T<sub>High</sub> = +85°C  
 LM324/LM324A/LM324E: T<sub>Low</sub> = 0°C, T<sub>High</sub> = +70°C  
 LM2902/LM2902E: T<sub>Low</sub> = -40°C, T<sub>High</sub> = +105°C  
 LM2902V & NCV2902: T<sub>Low</sub> = -40°C, T<sub>High</sub> = +125°C  
 NCV2902 is qualified for automotive use.

5. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is V<sub>CC</sub> - 1.7 V, but either or both inputs can go to +32 V without damage, independent of the magnitude of V<sub>CC</sub>.
6. Guaranteed by design.

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>CC</sub> = 5.0 V, V<sub>EE</sub> = GND, T<sub>A</sub> = 25°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324, LM324E			LM2902, LM2902E			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage – High Limit V <sub>CC</sub> = 5.0 V, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ, T <sub>A</sub> = 25°C V <sub>CC</sub> = 30 V R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ (T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> ) (Note 7) V <sub>CC</sub> = 30 V R <sub>L</sub> = 10 kΩ (T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> ) (Note 7)	V <sub>OH</sub>	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	V
Output Voltage – Low Limit, V <sub>CC</sub> = 5.0 V, R <sub>L</sub> = 10 kΩ, T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> (Note 7)	V <sub>OL</sub>	–	5.0	20	–	5.0	20	–	5.0	20	–	5.0	100	–	5.0	100	mV
Output Source Current (V <sub>IO</sub> = +1.0 V, V <sub>CC</sub> = 15 V) T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> (Note 7)	I <sub>O+</sub>	20	40	–	20	40	–	20	40	–	20	40	–	20	40	–	mA
Output Sink Current (V <sub>IO</sub> = –1.0 V, V <sub>CC</sub> = 15 V) T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> (Note 7) (V <sub>IO</sub> = –1.0 V, V <sub>O</sub> = 200 mV, T <sub>A</sub> = 25°C)	I <sub>O–</sub>	10	20	–	10	20	–	10	20	–	10	20	–	10	20	–	mA
Output Short Circuit to Ground (Note 8)	I <sub>SC</sub>	–	40	60	–	40	60	–	40	60	–	40	60	–	40	60	mA
Power Supply Current (T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> ) (Note 7) V <sub>CC</sub> = 30 V V <sub>O</sub> = 0 V, R <sub>L</sub> = – V <sub>CC</sub> = 5.0 V, V <sub>O</sub> = 0 V, R <sub>L</sub> = –	I <sub>CC</sub>	–	–	3.0	–	1.4	3.0	–	–	3.0	–	–	3.0	–	–	3.0	mA

7. LM224: T<sub>low</sub> = –25°C, T<sub>high</sub> = +85°C  
 LM324/LM324A/LM324E: T<sub>low</sub> = 0°C, T<sub>high</sub> = +70°C  
 LM2902/LM2902E: T<sub>low</sub> = –40°C, T<sub>high</sub> = +105°C  
 LM2902V & NCV2902: T<sub>low</sub> = –40°C, T<sub>high</sub> = +125°C  
 NCV2902 is qualified for automotive use.

8. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is V<sub>CC</sub> – 1.7 V, but either or both inputs can go to +32 V without damage, independent of the magnitude of V<sub>CC</sub>.

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

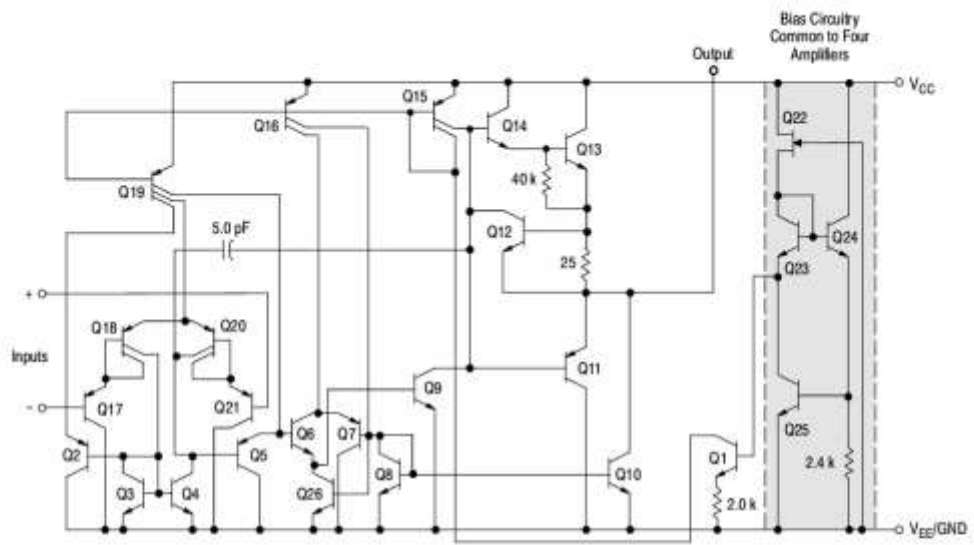


Figure 1. Representative Circuit Diagram  
(One-Fourth of Circuit Shown)



CIRCUIT DESCRIPTION

The LM324 series is made using four internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

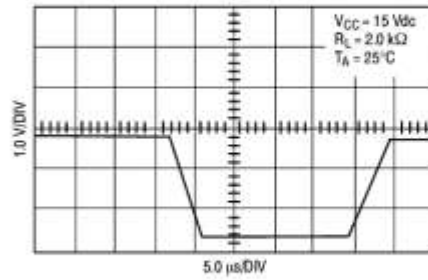


Figure 2. Large Signal Voltage Follower Response

Each amplifier is biased from an internal-voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.



Figure 3.

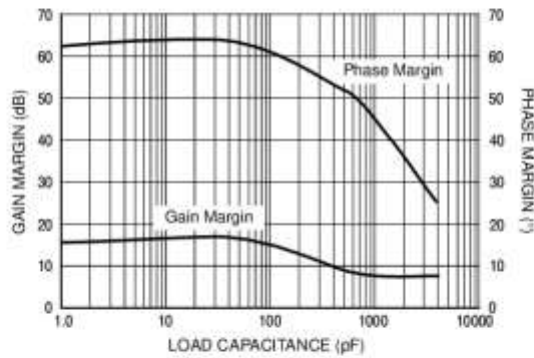


Figure 4. Gain and Phase Margin

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

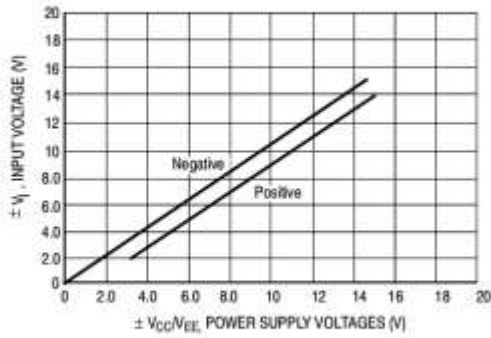


Figure 5. Input Voltage Range

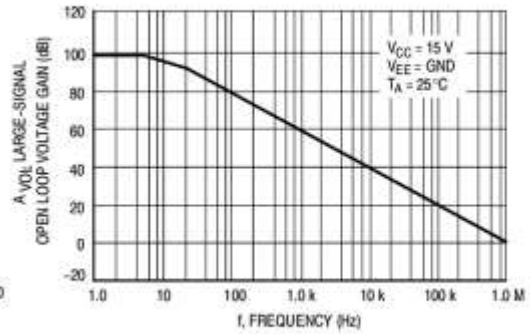


Figure 6. Open Loop Frequency

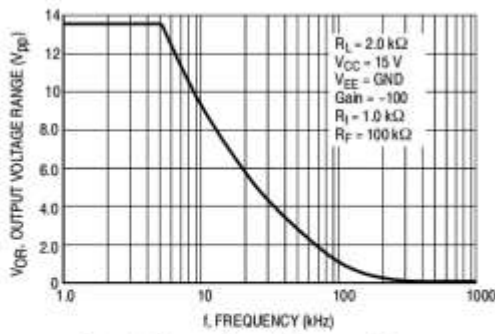


Figure 7. Large-Signal Frequency Response

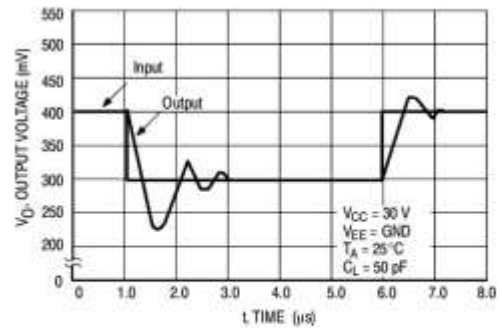


Figure 8. Small-Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)

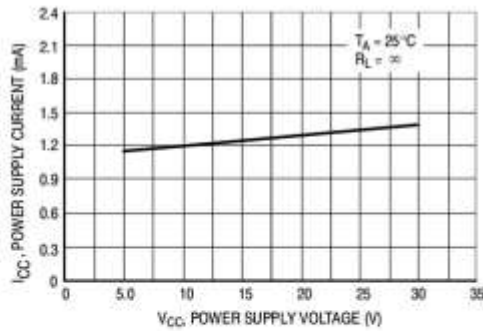


Figure 9. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

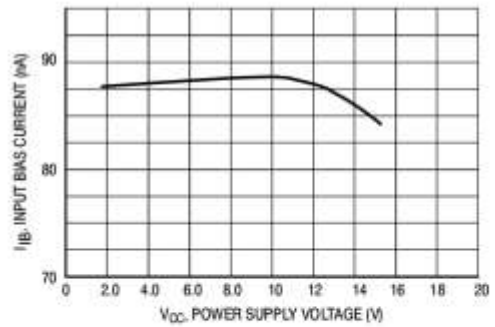


Figure 10. Input Bias Current versus Power Supply Voltage

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

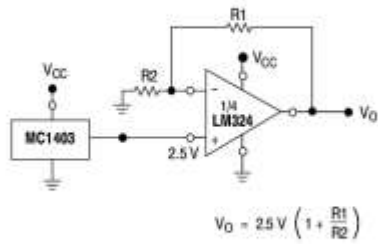


Figure 11. Voltage Reference

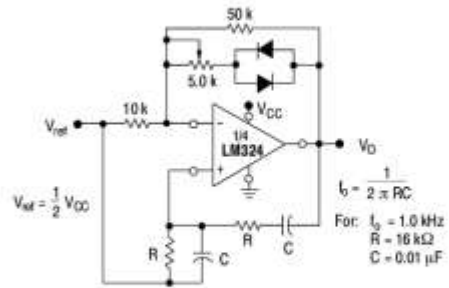


Figure 12. Wien Bridge Oscillator

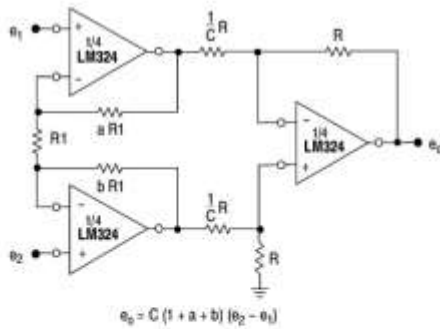


Figure 13. High Impedance Differential Amplifier

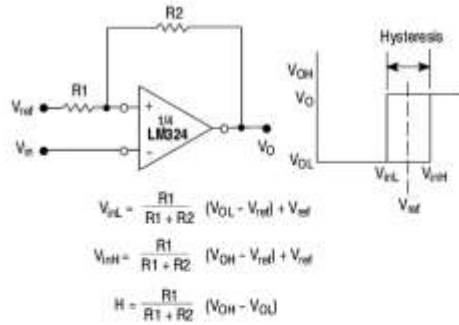


Figure 14. Comparator with Hysteresis

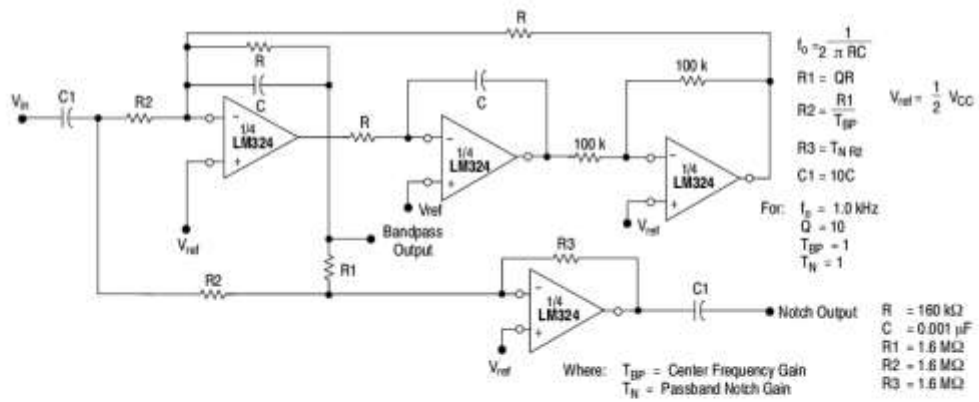


Figure 15. Bi-Quad Filter

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

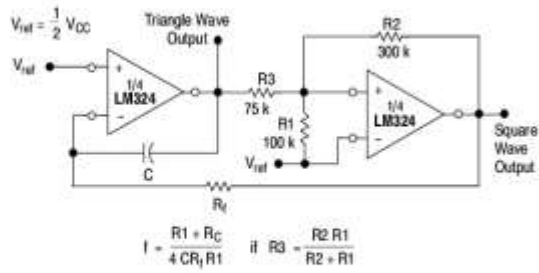


Figure 16. Function Generator

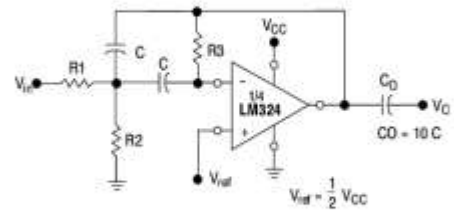


Figure 17. Multiple Feedback Bandpass Filter

Given:  $f_0$  = center frequency  
 $A(f_0)$  = gain at center frequency

Choose value  $f_0, C$

Then:  $R3 = \frac{Q}{\pi f_0 C}$

$R1 = \frac{R3}{2 A(f_0)}$

$R2 = \frac{R1 R3}{4Q^2 R1 - R3}$

For less than 10% error from operational amplifier,  $\frac{Q_2 f_0}{BW} < 0.1$   
 where  $f_0$  and  $BW$  are expressed in Hz.

If source impedance varies, filter may be preceded with voltage follower buffer to stabilize filter parameters.

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package	Shipping†	
LM224DG	-25°C to +85°C	SOIC-14 (Pb-Free)	55 Units/Rail	
LM224DR2G		SOIC-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel	
LM224DTBG		TSSOP-14 (Pb-Free)	96 Units/Tube	
LM224DTBR2G		TSSOP-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel	
LM224NG		PDIP-14 (Pb-Free)	25 Units/Rail	
LM324DG	0°C to +70°C	SOIC-14 (Pb-Free)	55 Units/Rail	
LM324DR2G		SOIC-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel	
LM324EDR2G		SOIC-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel	
LM324DTBG		TSSOP-14 (Pb-Free)	96 Units/Tube	
LM324DTBR2G		TSSOP-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel	
LM324NG		PDIP-14 (Pb-Free)	25 Units/Rail	
LM324ADG		SOIC-14 (Pb-Free)	55 Units/Rail	
LM324ADR2G		SOIC-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel	
LM324ADTBG		TSSOP-14 (Pb-Free)	96 Units/Tube	
LM324ADTBR2G		TSSOP-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel	
LM324ANG		PDIP-14 (Pb-Free)	25 Units/Rail	
LM2902DG		-40°C to +105°C	SOIC-14 (Pb-Free)	55 Units/Rail
LM2902DR2G			SOIC-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel
LM2902EDR2G			SOIC-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel
LM2902DTBG	TSSOP-14 (Pb-Free)		96 Units/Tube	
LM2902DTBR2G	TSSOP-14 (Pb-Free)		2500/Tape & Reel	
LM2902NG	PDIP-14 (Pb-Free)		25 Units/Rail	
LM2902VDG	-40°C to +125°C	SOIC-14 (Pb-Free)	55 Units/Rail	
LM2902VDR2G		SOIC-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel	
LM2902VDTBG		TSSOP-14 (Pb-Free)	96 Units/Tube	
LM2902VDTBR2G		TSSOP-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel	
LM2902VNG		PDIP-14 (Pb-Free)	25 Units/Rail	
NCV2902DR2G*		SOIC-14 (Pb-Free)	2500/Tape & Reel	
NCV2902DTBR2G*		TSSOP-14 (Pb-Free)		

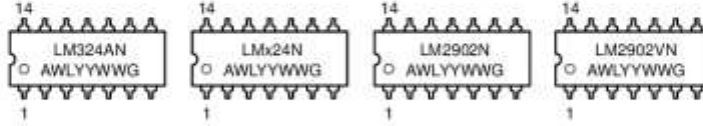
†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

\*NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and PPAP Capable.

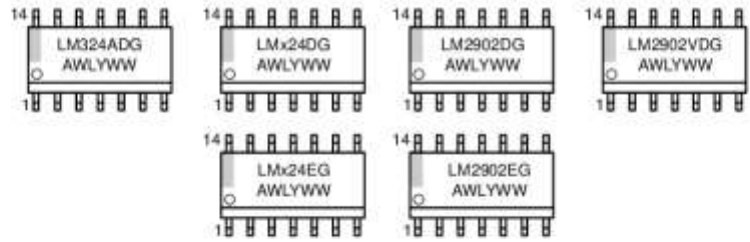
LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

MARKING DIAGRAMS

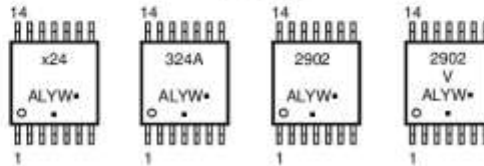
PDIP-14  
N SUFFIX  
CASE 646



SOIC-14  
D SUFFIX  
CASE 751A



TSSOP-14  
DTB SUFFIX  
CASE 948G



- x = 2 or 3
- A = Assembly Location
- WL, L = Wafer Lot
- YY, Y = Year
- WW, W = Work Week
- G or • = Pb-Free Package

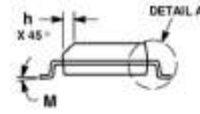
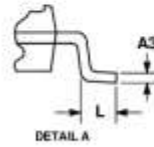
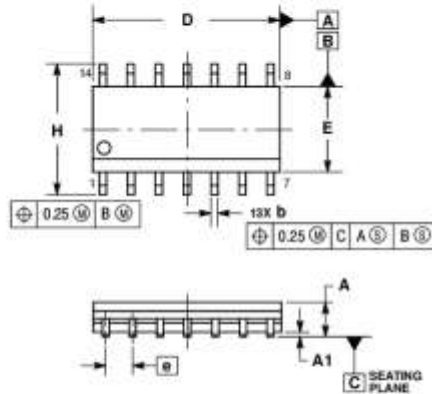
(Note: Microdot may be in either location)

\*This marking diagram also applies to NCV2902.

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

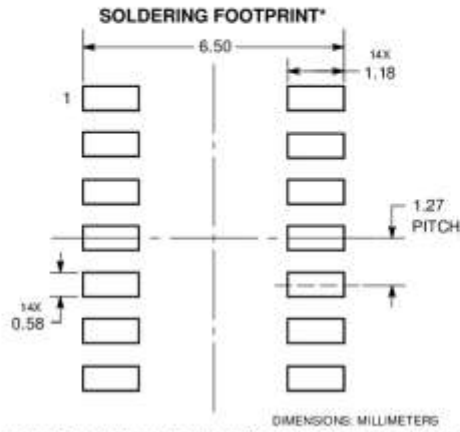
PACKAGE DIMENSIONS

SOIC-14  
CASE 751A-03  
ISSUE K



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
  2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETERS.
  3. DIMENSION b DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE PROTRUSION SHALL BE 0.13 TOTAL IN EXCESS OF AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
  4. DIMENSIONS D AND E DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSIONS.
  5. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 PER SIDE.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.25	1.75	0.054	0.069
A1	0.10	0.20	0.004	0.010
A3	0.15	0.25	0.006	0.010
b	0.35	0.49	0.014	0.019
D	6.53	8.75	0.257	0.344
E	3.80	4.30	0.150	0.167
e	1.27 BSC		0.050 BSC	
H	5.60	6.20	0.220	0.244
h	0.25	0.50	0.010	0.019
L	0.40	1.25	0.016	0.049
M	0°	7°	0°	7°



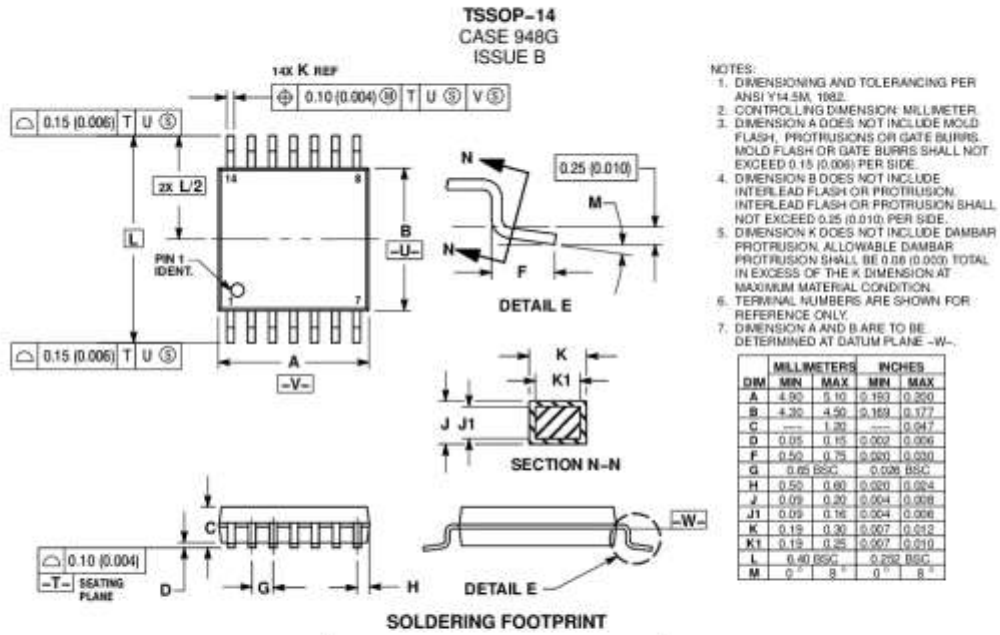
DIMENSIONS: MILLIMETERS

\*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

PACKAGE DIMENSIONS

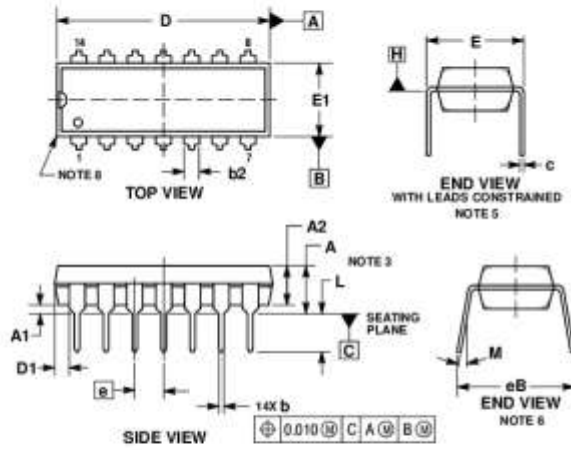




LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

PACKAGE DIMENSIONS

PDIP-14  
CASE 646-06  
ISSUE S



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCHES.
  3. DIMENSIONS A, A1 AND L ARE MEASURED WITH THE PACKAGE SEATED IN JEDEC SEATING PLANE GAUGE GS-3.
  4. DIMENSIONS D, D1 AND E1 DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS ARE NOT TO EXCEED 0.10 INCH.
  5. DIMENSION E IS MEASURED AT A POINT 0.015 BELOW DATUM PLANE H WITH THE LEADS CONSTRAINED PERPENDICULAR TO DATUM C.
  6. DIMENSION eB IS MEASURED AT THE LEAD TIPS WITH THE LEADS UNCONSTRAINED.
  7. DATUM PLANE H IS COINCIDENT WITH THE BOTTOM OF THE LEADS, WHERE THE LEADS EXIT THE BODY.
  8. PACKAGE CONTOUR IS OPTIONAL (ROUNDED OR SQUARE CORNERS).

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	—	0.250	—	6.50
A1	0.015	—	0.38	—
A2	0.115	0.195	2.92	4.93
b	0.014	0.022	0.35	0.56
b2	—	0.060 TYP	—	1.52 TYP
C	0.026	0.034	0.70	0.86
D	0.735	0.775	18.67	19.69
D1	0.056	—	1.43	—
E	0.320	0.325	8.13	8.28
E1	0.240	0.280	6.10	7.11
e	—	0.100 BSC	—	2.54 BSC
eB	—	0.430	—	10.92
L	0.115	0.150	2.92	3.81
M	—	10°	—	10°

ON Semiconductor and are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC d/b/a ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at [www.onsemi.com/pdf/patent/lookup.cfm](http://www.onsemi.com/pdf/patent/lookup.cfm). ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

**LITERATURE FULFILLMENT:**  
Literature Distribution Center for ON Semiconductor  
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA  
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada  
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada  
Email: [orderlit@onsemi.com](mailto:orderlit@onsemi.com)

**N. American Technical Support:** 800-292-9855 Toll Free  
USA/Canada  
**Europe, Middle East and Africa Technical Support:**  
Phone: 421 33 790 29 10  
**Japan Customer Focus Center**  
Phone: 81-3-5617-1050

**ON Semiconductor Website:** [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)

**Order Literature:** <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative

# ПРИЛОЖЕНИЕ Д

## HC49/U CRYSTAL

AB

 RoHS/RoHS II Compliant



Moisture Sensitivity Level (MSL) – This product is not Moisture Sensitive - MSL = 1

### FEATURES:

- High precision availability
- Resistance welded
- Ideal for large pullability application
- Wide frequency range

### APPLICATIONS:

- CPU, Memory
- Computer, printer
- Data communication (1MHz)
- Data input - output machine (1MHz)

### STANDARD SPECIFICATIONS:

Parameters	Minimum	Typical	Maximum	Units	Notes
Frequency Range	1.8432		160.000	MHz	
Operation Mode	Fundamental				1.8432MHz – 24.000MHz
	3 <sup>rd</sup> Overtone				24.01MHz – 66.00MHz
	5 <sup>th</sup> Overtone				66.01MHz – 122.00MHz
	7 <sup>th</sup> Overtone				122.01MHz – 160.00MHz
Operating Temperature	0		+70	°C	See options
Storage Temperature	-55		+125	°C	
Frequency Tolerance @+25°C	-50		+50	ppm	See options
Frequency Stability over the operating temperature (ref. to +25°C)	-100		+100	ppm	See options
Equivalent series resistance (R1)	See table 1 below			Ω	
Shunt capacitance (C0)			7	pF	
Load capacitance (CL)		18		pF	See options
Drive Level		100	1000	μW	
Aging@25°C±3°C			±5	ppm	First year
Insulation Resistance	500			M Ω	@100Vdc±15V
Drive level dependency (DLD), minimum 7 points tested: from 1μW to 500μW.	Change in frequency (Maximum - Minimum) over DLD range < ±10ppm; Change in ESR (Maximum - Minimum) over DLD range < 25% of Max ESR value; Maximum ESR over DLD range < Max ESR value.				

Table 1

FREQUENCY (MHz)	Operation Mode	ESR (Ω) max	
1.8432-1.999	HC49/U Fundamental	750	
2.000-2.399		550	
2.400-2.999		350	
3.000-3.699		200	
3.700-4.199		100	
4.200-4.899		70	
4.900-5.999		50	
6.000-7.999		40	
8.000-9.999		35	
10.000-12.499		30	
12.50-50.00		25	
24.00-66.00		HC49/U (3rd OT)	40
66.01-122.00		HC49/U (5th OT)	80
122.01-160.00	HC49/U (7th OT)	120	



5101 Hidden Creek Lane Spicewood TX 78669  
Phone: 512-371-6159 | Fax: 512-351-8858  
For terms and conditions of sale please visit:  
[www.abracon.com](http://www.abracon.com)

REVISED: 01.05.2017

ABRACON IS  
ISO9001:2008  
CERTIFIED

# HC49/U CRYSTAL

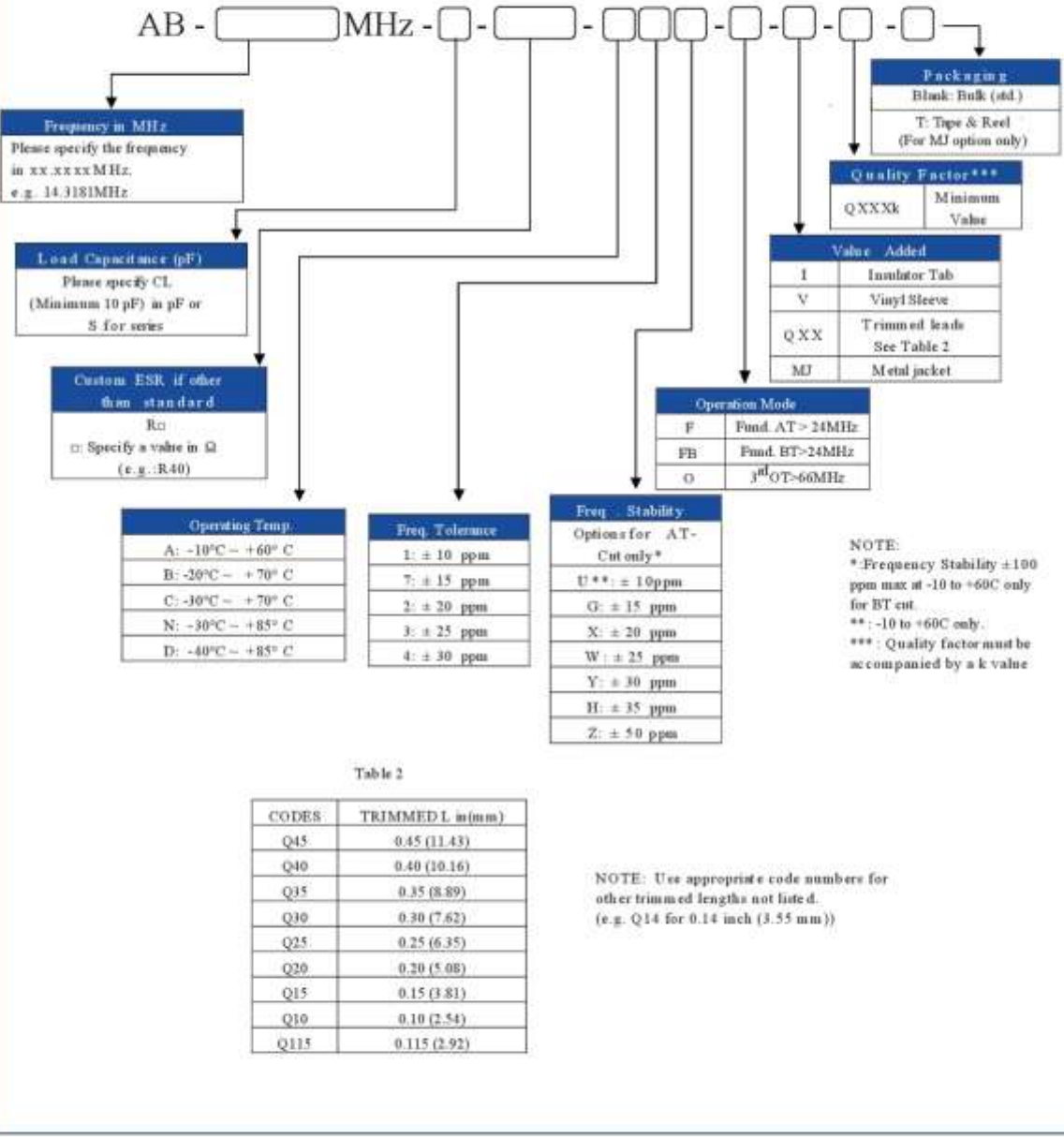
AB

 RoHS/RoHS II Compliant



## OPTIONS AND PART IDENTIFICATION:

(Left blank if standard)



**Table 2**

CODES	TRIMMED L in (mm)
Q45	0.45 (11.43)
Q40	0.40 (10.16)
Q35	0.35 (8.89)
Q30	0.30 (7.62)
Q25	0.25 (6.35)
Q20	0.20 (5.08)
Q15	0.15 (3.81)
Q10	0.10 (2.54)
Q115	0.115 (2.92)

**NOTE:** Use appropriate code numbers for other trimmed lengths not listed. (e.g. Q14 for 0.14 inch (3.55 mm))



5101 Hidden Creek Lane Spicewood TX 78669  
Phone: 512-371-6159 | Fax: 512-351-8858  
For terms and conditions of sale please visit:  
www.abracon.com

REVISED: 01.05.2017

ABRACON IS  
ISO9001-2008  
CERTIFIED

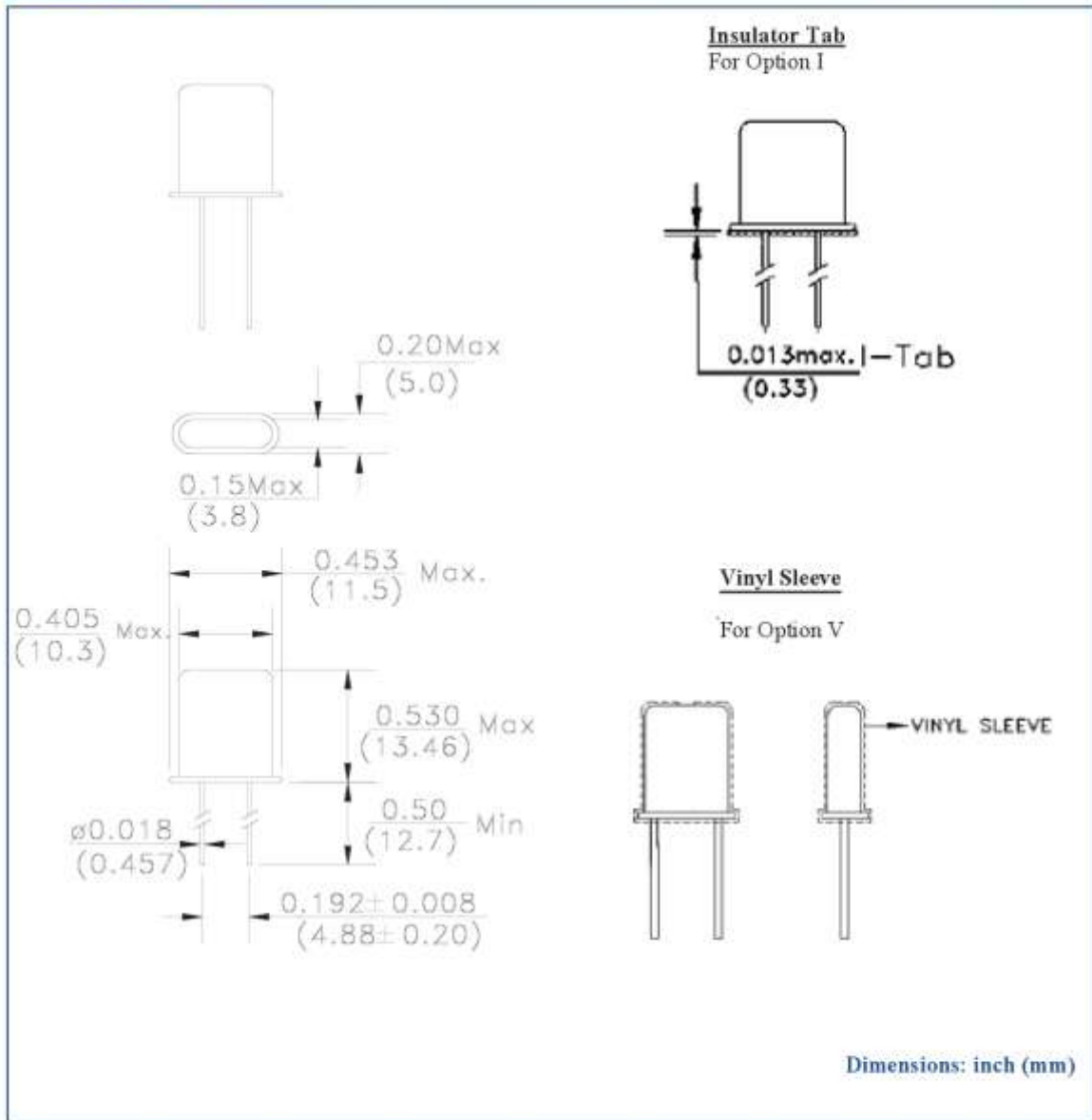
# HC49/U CRYSTAL

AB

 RoHS/RoHS II Compliant



## ▷ OUTLINE DRAWING:



5101 Hidden Creek Lane Spicewood TX 78669  
 Phone: 512-371-6159 | Fax: 512-351-8858  
 For terms and conditions of sale please visit:  
[www.abracon.com](http://www.abracon.com)

REVISED: 01.05.2017

ABRACON IS  
 ISO9001-2008  
 CERTIFIED

# HC49/U CRYSTAL

AB

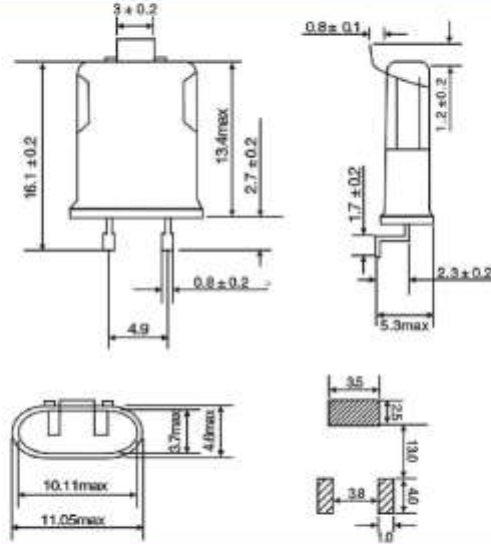
Pb RoHS/RoHS II Compliant



## OUTLINE DIMENSION CONTD...

### Metal Jacket Formed Leads

For Option MJ

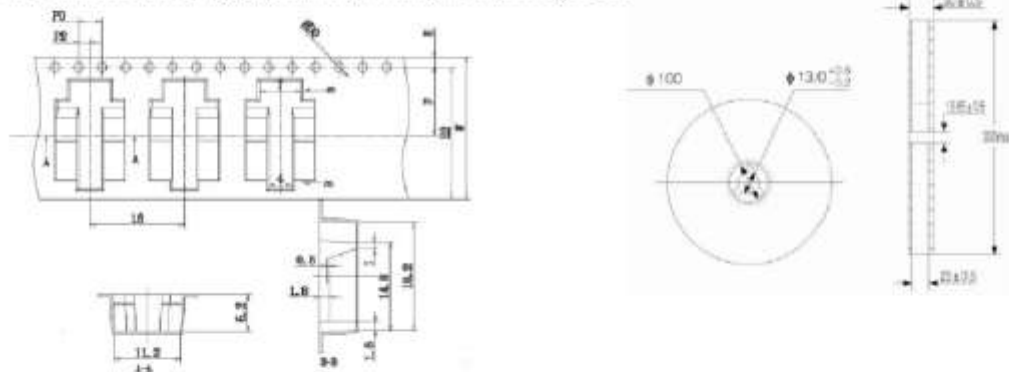


Dimensions: mm

## TAPE & REEL:

T: 1,000 pcs/reel

Tape and reel packaging applies only to MJ (metal jacket) option



E	E2	F	P2	ØD0	P0	W
1.75 ± 0.10	22.25 MIN.	11.5 ± 0.10	2.00 ± 0.10	1.50 ± 0.10	4.00 ± 0.10	24.00 ± 0.30

Dimensions: mm

**ATTENTION:** Abracon products are COTS – Commercial-Off-The-Shelf products, suitable for Commercial, Industrial and, where designated, Automotive Applications.

Abracon's products are not specifically designed for Military, Aviation, Aerospace, Life-dependent Medical applications or any application requiring high reliability where component failure could result in loss of life and/or property. For applications requiring high reliability and/or presenting an extreme operating environment, written consent and authorization from Abracon is required. Please contact Abracon for more information.



5101 Hicklin Creek Lane Spicewood TX 78669  
 Phone: 512-371-6159 | Fax: 512-351-8858  
 For terms and conditions of sale please visit:  
[www.abracon.com](http://www.abracon.com)

REVISED: 11/15/2016

ABRACON IS  
 ISO9001:2008  
 CERTIFIED



# ПРИЛОЖЕНИЕ Е

SDLS029

## SN5404, SN54LS04, SN54S04, SN7404, SN74LS04, SN74S04 HEX INVERTERS

DECEMBER 1983—REVISED MARCH 1988

- Package Options Include Plastic "Small Outline" Packages, Ceramic Chip Carriers and Flat Packages, and Plastic and Ceramic DIPs
- Dependable Texas Instruments Quality and Reliability

### description

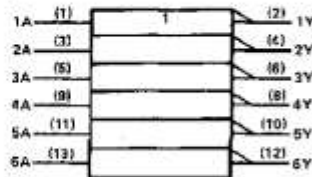
These devices contain six independent inverters.

The SN5404, SN54LS04, and SN54S04 are characterized for operation over the full military temperature range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ . The SN7404, SN74LS04, and SN74S04 are characterized for operation from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ .

FUNCTION TABLE (each inverter)

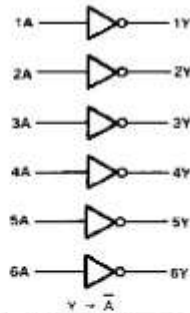
INPUTS		OUTPUT
A	Y	
H	L	H
L	H	L

### logic symbol†



†This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std. 91-1984 and IEC Publication 617-12. Pin numbers shown are for D, J, and N packages.

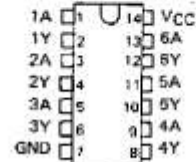
### logic diagram (positive logic)



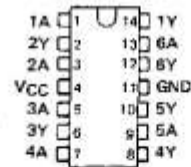
PRODUCTION DATA documents contain information current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS  
INSTRUMENTS  
POST OFFICE BOX 655312 • DALLAS, TEXAS 75265

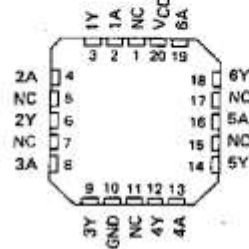
SN5404 . . . J PACKAGE  
SN54LS04, SN54S04 . . . J OR W PACKAGE  
SN7404 . . . N PACKAGE  
SN74LS04, SN74S04 . . . D OR N PACKAGE  
(TOP VIEW)



SN5404 . . . W PACKAGE  
(TOP VIEW)



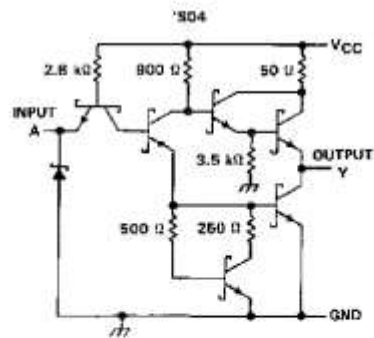
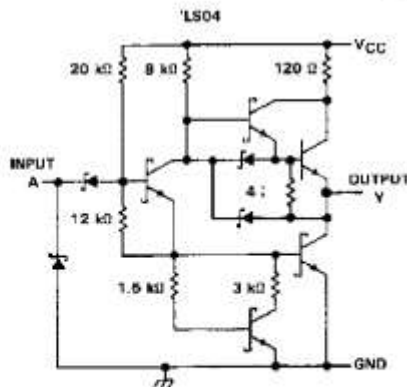
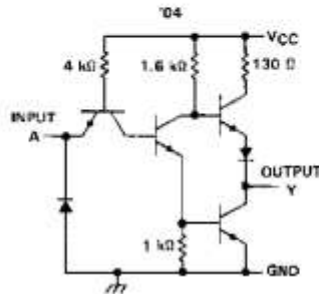
SN54LS04, SN54S04 . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



NC - No internal connection

**SN5404, SN54LS04, SN54S04,  
SN7404, SN74LS04, SN74S04  
HEX INVERTERS**

schematics (each gate)



Resistor values shown are nominal

**absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

Supply voltage, VCC (see Note 1)	7 V
Input voltage: '04, 'S04	5.5 V
'LS04	7 V
Operating free-air temperature range: SN54'	-55°C to 125°C
SN74'	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C

NOTE 1: Voltage values are with respect to network ground terminal.

**SN5404, SN7404  
HEX INVERTERS**

**recommended operating conditions**

	SN5404			SN7404			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
$V_{CC}$ Supply voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
$V_{IH}$ High-level input voltage	2			2			V
$V_{IL}$ Low-level input voltage	0.8			0.8			V
$I_{OH}$ High-level output current	-0.4			-0.4			mA
$I_{OL}$ Low-level output current	16			16			mA
$T_A$ Operating free-air temperature	-55			125			$^{\circ}$ C

**electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS <sup>†</sup>	SN5404		SN7404		UNIT	
		MIN	TYP <sup>‡</sup>	MAX	MIN		TYP <sup>‡</sup>
$V_{IK}$	$V_{CC} = \text{MIN.}$ , $I_I = -12 \text{ mA}$	-1.5		-1.5		V	
$V_{OH}$	$V_{CC} = \text{MIN.}$ , $V_{IL} = 0.8 \text{ V.}$ , $I_{OH} = -0.4 \text{ mA}$	2.4	3.4	2.4	3.4	V	
$V_{OL}$	$V_{CC} = \text{MIN.}$ , $V_{IH} = 2 \text{ V.}$ , $I_{OL} = 16 \text{ mA}$	0.2	0.4	0.2	0.4	V	
$I_I$	$V_{CC} = \text{MAX.}$ , $V_I = 5.5 \text{ V}$	1		1		mA	
$I_{IH}$	$V_{CC} = \text{MAX.}$ , $V_I = 2.4 \text{ V}$	40		40		$\mu$ A	
$I_{IL}$	$V_{CC} = \text{MAX.}$ , $V_I = 0.4 \text{ V}$	-1.6		-1.6		mA	
$I_{OS} \S$	$V_{CC} = \text{MAX.}$	20	-55	-18	-55	mA	
$I_{CCH}$	$V_{CC} = \text{MAX.}$ , $V_I = 0 \text{ V}$	8		8		12	mA
$I_{CCL}$	$V_{CC} = \text{MAX.}$ , $V_I = 4.5 \text{ V}$	18		18		33	mA

<sup>†</sup> For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

<sup>‡</sup> All typical values are at  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ .

<sup>§</sup> Not more than one output should be shorted at a time.

**switching characteristics,  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $T_A = 25^{\circ}\text{C}$  (see note 2)**

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$t_{PLH}$	A	Y	$R_L = 400 \Omega$ , $C_L = 15 \text{ pF}$	12		22	ns
$t_{PHL}$				8		16	ns

NOTE 2: Load circuits and voltage waveforms are shown in Section 1.



**SN54LS04, SN74LS04**  
**HEX INVERTERS**

**recommended operating conditions**

	SN54LS04			SN74LS04			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
$V_{CC}$ Supply voltage	4.5	5	6.5	4.75	5	6.25	V
$V_{IH}$ High-level input voltage	2			2			V
$V_{IL}$ Low-level input voltage	0.7			0.8			V
$I_{OH}$ High-level output current	-0.4			-0.4			mA
$I_{OL}$ Low-level output current	4			5			mA
$T_A$ Operating free-air temperature	-55		125	0		70	$^{\circ}$ C

**electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS †	SN54LS04		SN74LS04		UNIT
		MIN	TYP ‡	MAX	MIN	
$V_{IK}$	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_I = -15 \text{ mA}$			-1.5		V
$V_{OH}$	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $V_{IL} = \text{MAX}$ , $I_{OH} = -0.4 \text{ mA}$	2.5	3.4	2.7	3.4	V
$V_{OL}$	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $V_{IH} = 2 \text{ V}$ , $I_{OL} = 4 \text{ mA}$	0.25		0.4		V
	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $V_{IH} = 2 \text{ V}$ , $I_{OL} = 5 \text{ mA}$			0.25		0.5
$I_I$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 7 \text{ V}$	0.1		0.1		mA
$I_{IH}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 2.7 \text{ V}$	20		20		$\mu$ A
$I_{IL}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 0.4 \text{ V}$	-0.4		-0.4		mA
$I_{OS} §$	$V_{CC} = \text{MAX}$	-20	-100	-20	-100	mA
$I_{CCH}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 0 \text{ V}$	1.2	2.4	1.2	2.4	mA
$I_{CCL}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 4.5 \text{ V}$	3.6	6.6	3.6	6.6	mA

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ .

§ Not more than one output should be shorted at a time, and the duration of the short-circuit should not exceed one second.

**switching characteristics,  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $T_A = 25^{\circ}\text{C}$  (see note 2)**

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$t_{PLH}$	A	Y	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$ , $C_L = 15 \text{ pF}$	9			ns
$t_{PHL}$				10			ns

NOTE 2: Load circuits and voltage waveforms are shown in Section 1.

**SN54S04, SN74S04  
HEX INVERTERS**

**recommended operating conditions**

	SN54S04			SN74S04			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
$V_{CC}$ Supply voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
$V_{IH}$ High-level input voltage	2			2			V
$V_{IL}$ Low-level input voltage	0.8			0.8			V
$I_{OH}$ High-level output current	-1			1			mA
$I_{OL}$ Low-level output current	20			20			mA
$T_A$ Operating free-air temperature	-55			0			70 °C

**electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS †	SN54S04		SN74S04		UNIT	
		MIN	TYP ‡	MAX	MIN		TYP ‡
$V_{IK}$	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_I = -10 \text{ mA}$	-1.2		-1.2		V	
$V_{OH}$	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $V_{IL} = 0.8 \text{ V}$ , $I_{OH} = -1 \text{ mA}$	2.5	3.4	2.7	3.4	V	
$V_{OL}$	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $V_{IH} = 2 \text{ V}$ , $I_{OL} = 20 \text{ mA}$	0.5		0.5		V	
$I_I$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 5.5 \text{ V}$	1		1		mA	
$I_{IH}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 2.7 \text{ V}$	50		50		µA	
$I_{IL}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 0.8 \text{ V}$	-2		-2		mA	
$I_{OS} §$	$V_{CC} = \text{MAX}$	-40	-100	-40	-100	mA	
$I_{OCH}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 0 \text{ V}$	15		15		24	mA
$I_{OCL}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 4.5 \text{ V}$	30		30		54	mA

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

§ Not more than one output should be shorted at a time, and the duration of the short circuit should not exceed one second.

**switching characteristics,  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (see note 2)**

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$t_{PLH}$	A	Y	$R_L = 280 \Omega$ , $C_L = 15 \text{ pF}$	3		4.5	ns
$t_{PHL}$				3		5	ns
$t_{PLH}$			$R_L = 280 \Omega$ , $C_L = 50 \text{ pF}$	4.5			ns
$t_{PHL}$				5			ns

NOTE 2: Load circuits and voltage waveforms are shown in Section 1.



POST OFFICE BOX 655012 • DALLAS, TEXAS 75265

#### IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments (TI) reserves the right to make changes to its products or to discontinue any semiconductor product or service without notice, and advises its customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that the information being relied on is current.

TI warrants performance of its semiconductor products and related software to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

Certain applications using semiconductor products may involve potential risks of death, personal injury, or severe property or environmental damage ("Critical Applications").

TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, INTENDED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT APPLICATIONS, DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS.

Inclusion of TI products in such applications is understood to be fully at the risk of the customer. Use of TI products in such applications requires the written approval of an appropriate TI officer. Questions concerning potential risk applications should be directed to TI through a local SC sales office.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards should be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or services described herein. Nor does TI warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used.

#### **IMPORTANT NOTICE**

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

**CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.**

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated