

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Институт радиоэлектроники и информационной безопасности
Кафедра радиоэлектроники и телекоммуникаций

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
и индивидуальные задания
для выполнения лабораторных работ по дисциплине
«ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ РЭС»
для студентов очной и заочной форм обучения
направления 11.03.01 — «Радиотехника»
и специальности 11.05.01 — «Радиоэлектронные системы и
комплексы»

Севастополь

2016

УДК 621.396

Методические рекомендации и индивидуальные задания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основы компьютерного проектирования и моделирования РЭС» для студентов очной и заочной форм обучения направления 11.03.01 «Радиотехника» и специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» / СевГУ; сост. А.Г. Бадалов, В.Г. Слезкин, П.П. Ермолов, М.А. Дурманов. — Севастополь: изд-во СевГУ, 2016. — 70 с.

Целью методических рекомендаций является оказание помощи студентам при выполнении лабораторного практикума по изучению системы автоматизированного проектирования *P-CAD* 2006 и получение начальных навыков практической работы по проектированию печатных плат при выполнении индивидуальных заданий.

Методические рекомендации рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций « 26 » мая 2016 г., протокол № 8.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций Савочкин А.А.

Ответственный за выпуск: и.о. заведующего кафедрой радиоэлектроники и телекоммуникаций, д-р техн. наук, профессор Афонин И.Л.

Издательский номер 273/16

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Лабораторная работа №1. Основы работы с программами <i>Schematic</i> и <i>PCB</i> в САПР <i>P-CAD</i> 2006.....	5
2. Лабораторная работа №2. Создание условных графических обозначений радиокомпонентов в САПР <i>P-CAD</i> 2006 с помощью редактора <i>Symbol Editor</i>	8
3. Лабораторная работа №3. Создание посадочных мест радиокомпонентов в САПР <i>P-CAD</i> 2006 с помощью редактора <i>Pattern Editor</i>	12
4. Лабораторная работа №4. Создание библиотеки радиоэлектронных компонентов в САПР <i>P-CAD</i> 2006 с помощью менеджера библиотек <i>Library Executive</i>	15
5. Лабораторная работа №5. Создание принципиальных схем и печатных плат в САПР <i>P-CAD</i> 2006.....	17
6. Лабораторная работа №6. Оптимизация связей между радиокомпонентами при трассировке печатных плат в САПР <i>P-CAD</i> 2006.....	21
Библиографический список.....	27
Приложение А. Таблица индивидуальных заданий	28
Приложение Б. Спецификации интегральных микросхем	29
Приложение В. Спецификации аналоговых транзисторов.....	49
Приложение Г. Условные графические обозначения радиокомпонентов	69

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания представляют комплекс лабораторных заданий, ориентированных на практическое закрепление знаний, получаемых при изучении системы автоматизированного проектирования (САПР) *P-CAD 2006* как в часы аудиторных занятий, так и при самостоятельной работе студентов.

Для выполнения каждой лабораторной работы студенту выдается индивидуальное задание и определяется порядок его выполнения. При необходимости, приводятся краткие методические рекомендации по особенностям выполнения работы, формулируются требования к материалам отчета и предлагаются контрольные вопросы для подготовки к защите результатов выполнения лабораторной работы.

Следует отметить, что необходимым элементом подготовки к выполнению каждого лабораторного задания является самостоятельная проработка студентом соответствующих разделов методических рекомендаций по изучению пакета *P-CAD 2006* [1], учебной и справочной литературы [2].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.
ОСНОВЫ РАБОТЫ С РЕДАКТОРАМИ *SCHEMATIC* И *PCB*
В САПР *P-CAD* 2006

Цель работы:

Получение начальных практических навыков самостоятельной работы при создании электрической принципиальной схемы с помощью редактора *Schematic* и проектировании печатной платы с помощью редактора *PCB*.

Задание:

1. Оформить принципиальную схему в графическом редакторе *Schematic* (пример оформления схемы приведен на рис. 1.1) и сформировать файл списка соединений цепей (*netlist*), необходимый для создания печатной платы (ПП).

2. Разработать топологию печатной платы, принципиальная схема которой создана согласно п.1, в графическом редакторе *PCB*.

Примечание. Указанные действия следует выполнять в соответствии с методическими указаниями «Проектирование функциональных узлов РЭА в программной среде автоматизированного проектирования *P-CAD* 2006» [1].

Порядок выполнения:

1. Загрузить и настроить графический редактор *Schematic* [1, с. 15].
2. Разместить и проименовать символы радиокомпонентов (РК) на рабочем поле редактора [1, с. 23].
3. Ввести электрические соединения и проименовать цепи и шины [1, с. 27].
4. Задать имена цепей, входящих в шины [1, с. 29].
5. Ввести цепи питания (+5V, *GND* и т.д.) [1, с. 30].
6. Сохранить принципиальную электрическую схему в виде файла с расширением **.sch**. В качестве имени символа следует использовать буквенно-цифровое обозначение, начинающееся с буквы латинского алфавита и характеризующее функциональные особенности проектируемой схемы.
7. Загрузить и настроить графический редактор *PCB* [1, с. 46].

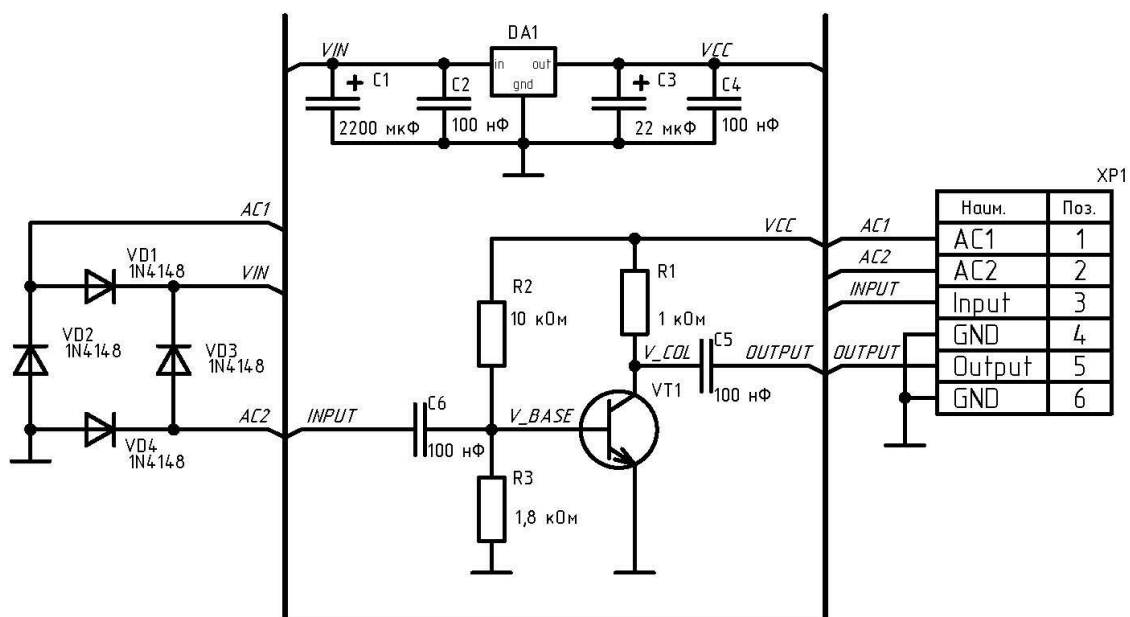
8. Создать конструктив печатной платы [1, с. 46].
9. Упаковать РК на ПП с подключенными соединителями (связями) [1, с. 44—45].
10. Разместить РК на печатной плате [1, с. 47—48].
11. Произвести трассировку печатных проводников между РЭК [1, с. 49—51].
12. Сохранить топологию ПП как файл с расширением **.pcb**.
13. Подготовить к печати принципиальную схему [1, с. 34], а также печатную плату послойно: слои *Top+Board*, *Bottom+Board*, *TopSilk+ Board*, *BottomSilk+ Board* [1, с. 52].

Состав отчета:

1. Принципиальная схема электронного узла (рис. 1.1), выполненная в редакторе *Schematic*.
2. Распечатки комбинаций слоев *Top+Board*, *Bottom+Board*, *TopSilk+Board*, *BottomSilk+Board*, выполненные в редакторе *PCB*.
3. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Для чего предназначена система автоматизированного проектирования печатных плат *P-CAD 2006*?
2. Какие действия выполняются при настройке редактора *Schematic*?
3. Как в редакторе *Schematic* выполняется ввод соединений и прокладка проводников?
4. Что такое слои в *P-CAD 2006* и для чего они предназначены?
5. В каких слоях создается посадочное место компонента?
6. Какие режимы прокладки печатных проводников применяются в редакторе *PCB*?

Подп. и датаИнв. № 2454Взам. инв.Подп. и датаИнв. № под

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Иванов		10.14
Проб.		Петров		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

СеВГУ

Принципиальная схема
микросхемы и транзистора,
выполненная в редакторе
Schematic

Лист.			Масса	Максимум
Листов 1			Листов 1	

Копировал

Формат А4

Рис. 1.1 — Пример электрической принципиальной схемы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.
СОЗДАНИЕ УСЛОВНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ
РАДИОКОМПОНЕНТОВ В САПР P-CAD 2006 С ПОМОЩЬЮ
РЕДАКТОРА *SYMBOL EDITOR*

Цель работы:

Получение практических навыков создания графических символов аналоговых и цифровых компонентов, используемых в качестве библиотечных элементов в системе P-CAD 2006, с помощью редактора *Symbol Editor*.

Задание:

1. Создать условно-графическое обозначение (УГО) транзистора и микросхемы, для чего выбрать индивидуальное задание в соответствии с таблицей вариантов (Приложение А).

2. Ознакомиться с назначением выводов радиокомпонентов, УГО которых необходимо создать (Приложения Б, В).

3. Вычертить графические образы заданных радиокомпонентов, ввести их атрибуты, точки привязки и т.д.

4. Проверить созданные УГО на наличие ошибок.

5. Сохранить созданные УГО как библиотечные элементы в файлах с расширением **.sym**. В качестве имени символа следует использовать буквенно-цифровое обозначение, начинающееся с буквы латинского алфавита и характеризующее функциональные или конструктивные особенности проектируемого РК;

6. Подготовить отчет.

Примечание. Указанные действия следует выполнять в соответствии с методическими указаниями «Проектирование функциональных узлов РЭА в программной среде автоматизированного проектирования P-CAD 2006» [1].

Методические рекомендации:

Создание условного графического обозначения (символа) радиокомпонента необходимо выполнять в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации (ЕСКД) [2].

Примеры УГО радиокомпонентов, выполненные по ЕСКД, приведены в Приложении Г.

Радиокомпонент может состоять из нескольких секций (вентилей), где каждая секция — это отдельная схемная единица в одном корпусе. Компонент с одинаковыми секциями в терминологии *P-CAD* называется однородным (гомогенным). Для таких компонентов символьное изображение создается только для одной секции. Если секции компонента различаются между собой, то такой компонент в *P-CAD* называется неоднородным (гетерогенным), и в этом случае символ создается для каждой его секции отдельно (как в примере с электромагнитным реле, рассмотренным в методических указаниях [1]). Количество выводов создаваемого символа должно соответствовать количеству выводов в корпусе радиокомпонента (т.е. незадействованные выводы компонента все равно изображаются в его символе, так как при повторном использовании компонента могут быть задействованы как все выводы, так и иные, по сравнению с первичным использованием). Это необходимо для ведения библиотек — чтобы каждому компоненту соответствовал один элемент библиотеки, созданный в полном соответствии с требованиями ЕСКД.

При настройке редактора *Symbol Editor* и установке используемой системы единиц измерения необходимо выбрать метрическую систему, поскольку в соответствии с ЕСКД (ГОСТ 2.747, 2.728, 2.730) размеры условного графического обозначения компонента и шаг между его выводами кратны 5 мм. При выборе шага координатной сетки в качестве основного рекомендуется выбрать значение 2,5 мм (а также абсолютный тип сетки).

Рекомендуемые размеры символа микросхемы: длина вывода 5 мм; расстояние между выводами символа микросхемы 5 мм; ширина символа должна быть необходима и достаточна для ввода функционального значения компонента и имен выводов; длина символа определяется количеством выводов, выступ за

крайние выводы должен составлять не менее 2,5 мм; толщина линии контура символа 0,5 мм.

Для создания символьного изображения микросхем удобно использовать мастер создания *Symbol Wizard*, символы других компонентов создаются вручную.

Порядок выполнения:

1. Загрузить графический редактор *Symbol Editor* [1, с. 60].
2. Установить метрическую систему единиц [1, с. 60].
2. Установить необходимый шаг координатной сетки [1, с. 61].
3. Установить привязку к сетке. Приблизить кнопкой «+» изображение настолько, чтобы явно было видно перемещение курсора по сетке.
4. Создать УГО компонентов с помощью команд: *Place Pin*, *Place Line*, *Place Arc*, расположенных на инструментальной панели [1, с. 62]. При этом выводы следует размещать по сетке с шагом 2,5 мм. При создании графики символа и размещении его атрибутов, возможно, возникнет необходимость изменить шаг координатной сетки. При изменении шага необходимо соблюдать кратность шагов (если основной шаг 2,5 мм, то вспомогательные шаги, как правило, выбирают: 1,25; 0,5 мм).
5. Ввести необходимые атрибуты командой *Place Attribute* [1, с. 61].
6. Задать точку привязки командой *Place Ref Point*.
7. Произвести проверку правильности созданных УГО с помощью кнопки *Validate Symbol* на панели системных команд. Обнаруженные ошибки — исправить.
8. Сохранить созданные символы компонента в виде в виде файлов ***filename.sym*** с помощью команды *Symbol/Save To File As* в рабочей папке студента.
9. Подготовить к печати созданные УГО с учетом рекомендаций [1, с. 34].

Состав отчета:

1. Распечатка УГО транзистора, выполненная в редакторе *Symbol Editor* согласно индивидуальному заданию.
2. Распечатка УГО микросхемы, выполненная в редакторе *Symbol Editor* согласно индивидуальному заданию.
3. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Для чего предназначена система *P-CAD* 2006, какие основные подпрограммы она включает?
2. Для чего создается УГО радиокомпонента?
3. Что входит в состав УГО компонента, являющегося библиотечным элементом *P-CAD* 2006?
4. Какие требования необходимо выполнять при создании символа компонента?
5. Что такое вентиль компонента?
6. Какие настройки следует изменить в программе, чтобы на принципиальной электрической схеме отображались имена выводов символа компонента?
7. В какой программе создается УГО компонента?
8. Какие команды используются при ручном создании символа компонента?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.
СОЗДАНИЕ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ
РАДИОКОМПОНЕНТОВ В САПР P-CAD 2006
С ПОМОЩЬЮ РЕДАКТОРА *PATTERN EDITOR*

Цель работы:

Получение практических навыков создания посадочных мест аналоговых и цифровых компонентов, используемых в качестве библиотечных элементов в системе P-CAD 2006 с помощью редактора *Pattern Editor*.

Задание:

1. Использовать в качестве индивидуального задания при создании посадочных мест транзистор и микросхему, символы которых были созданы в ЛР №2.
2. Ознакомиться с чертежами радиокомпонентов, посадочные места которых необходимо создать (Приложения Б, В).
3. Определить вариант установки компонента на печатной плате.
4. Вычертить графические образы посадочных мест радиокомпонентов, ввести их атрибуты, точки привязки и т.д.
5. Проверить созданные посадочные места на наличие ошибок.
6. Сохранить созданные посадочные места как библиотечные элементы в файлах с расширением *.pat*.
7. Подготовить отчет.

Примечание. Указанные действия следует выполнять в соответствии с методическими указаниями «Проектирование функциональных узлов РЭА в программной среде автоматизированного проектирования P-CAD 2006» [1].

Методические рекомендации:

Посадочное место (конструктивный шаблон) радиокомпонента (РК) создается на основании его чертежа. Посадочное место компонента состоит из набора контактных площадок и конструктива корпуса компонента (вид сверху).

Конструктив корпуса изображается упрощенно по известным габаритным размерам. Диаметр отверстия и контактной площадки (КП) для штыревого вывода выбирается из таблицы 1.1 (все размеры в таблице приведены в миллиметрах).

Для возможности пайки РК в технологии поверхностного монтажа размеры планарной КП под компонент увеличивают относительно максимальных размеров металлизированной контактной поверхности по длине на 0,3 мм в обе стороны, по ширине — на 0,1 мм, тоже в обе стороны (при этом желательно, чтобы зазор между КП был не менее 0,2 мм).

Таблица 1.1 — Рекомендуемые размеры контактных площадок и металлизированных отверстий для РК со штыревыми выводами

Диаметр вывода, не более, мм	Номинальный диаметр металлизированного отверстия, мм	Минимальный диаметр контактной площадки, мм
0,4	0,6	1,1
0,5	0,8	1,3
0,7	1,0	1,5
0,8	1,3	1,8
1,0	1,5	2,0
1,2	1,8	2,3
1,5	2,0	3,7

Порядок выполнения:

1. Загрузить графический редактор *Pattern Editor* [1, с. 67].
2. Установить метрическую систему единиц [1, с. 68].
3. Установить необходимый шаг координатной сетки [1, с. 68].
4. Установить привязку к сетке. Приблизить кнопкой «+» изображение настолько, чтобы явно было видно перемещение курсора по сетке.

5. Создать изображение посадочных мест заданных РК с помощью команд *Place Pad*, *Place Via*, *Place Line*, *Place Attribute* и других, имеющихся на инструментальной панели [1, с. 70]. При создании посадочных мест обратить

внимание на задание значений шага координатной сетки. В качестве основного шага задается значение 2,54 мм, а для вспомогательных шагов — 1,27 мм и 0,635 мм.

5. Ввести необходимые атрибуты командой *Place Attribute* [1, с. 72].

6. Задать точку привязки командой *Place Ref Point* [1, с. 72].

7. Произвести проверку правильности созданного компонента с помощью кнопки *Validate Pattern* на панели системных команд. При наличии ошибок необходимо их исправить.

8. Сохранить созданное посадочное место компонента в виде **.pat** с помощью команды *Pattern /Save To File As* в рабочей папке студента. Пример имени для посадочного места резистора номинальной мощностью до 0,25 Вт — REZ025W.

9. Подготовить к печати созданные посадочные места.

Состав отчета:

1. Распечатка посадочного места транзистора, выполненного в редакторе *Pattern Editor* согласно индивидуальному заданию.

2. Распечатка посадочного места микросхемы, выполненного в редакторе *Pattern Editor* согласно индивидуальному заданию.

3. Скриншот экрана компьютера, выполненный при сохранении созданных посадочных мест в библиотеку.

4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Для чего предназначена система *P-CAD* 2006, какие основные подпрограммы она включает?

2. Для чего создается посадочное место радиокомпонента?

3. Что входит в состав посадочного места компонента, являющегося библиотечным элементом *P-CAD* 2006?

4. Какие требования необходимо выполнять при создании посадочного места компонента?

5. Что такое слои в *P-CAD* 2006 и для чего они предназначены?
6. В каких слоях создается посадочное место компонента?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.

СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ РАДИОКОМПОНЕНТОВ В САПР P-CAD 2006 С ПОМОЩЬЮ МЕНЕДЖЕРА БИБЛИОТЕК *LIBRARY EXECUTIVE*

Цель работы:

Получение практических навыков работы с библиотеками компонентов в системе P-CAD 2006, а также изучение способов создания и редактирования библиотечных компонентов.

Задание:

1. Использовать в качестве индивидуального задания при создании новых библиотечных компонентов транзистор и микросхему, символы и посадочные места которых были созданы в ЛР №2 и ЛР №3.
2. Ознакомиться с назначением радиокомпонента, расположением его выводов и типом корпуса (Приложения Б, В).
3. Ввести информацию о компоненте в соответствующем окне *Library Executive* [1, с.75].
4. Объединить созданные ранее символ и посадочное место в единый компонент с помощью таблицы соединений [1, с. 83].
5. Проверить созданный компонент на наличие ошибок [1, с. 84].
6. Сохранить созданный компонент в указанную преподавателем библиотеку.
7. Подготовить отчет, в котором должны присутствовать скриншоты основных окон менеджера библиотек для каждого из созданных компонентов.

Методические рекомендации:

Процесс создания компонентов и все операции, которые необходимо выполнить при этом, а также их последовательность, подробно рассмотрены в разделе 7 методических указаний «Проектирование функциональных узлов РЭА в программной среде автоматизированного проектирования P-CAD 2006» [1]. Для успешного выполнения данной работы следует выполнить в заданном порядке все указанные в методических рекомендациях действия.

Состав отчета:

1. Скриншот экрана компьютера при выполнении каждого этапа создания библиотечного элемента согласно индивидуальному заданию.
2. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. В какой подпрограмме системы *P-CAD* 2006 создаются и редактируются библиотеки радиокомпонентов?
2. Какие бывают стили компонентов, в чем их отличие?
3. Что такое эквивалентность выводов и вентилях компонента?
4. Что входит в состав библиотечного элемента?
5. С каким расширением сохраняются файлы библиотек, символьных изображений и конструктивных шаблонов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.

СОЗДАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ И ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В САПР P-CAD 2006

Цель работы:

Закрепить и систематизировать навыки работы с САПР P-CAD 2006, полученные студентами в процессе выполнения предыдущих лабораторных работ.

Задание:

Разработать принципиальную схему и печатную плату электронного узла по индивидуальному заданию (рис. 5.1, 5.2) с использованием библиотечных компонентов, созданных в лабораторной работе № 4.

Примечание. Указанные действия следует выполнять в соответствии с методическими указаниями «Проектирование функциональных узлов РЭА в программной среде автоматизированного проектирования P-CAD 2006» [1].

Порядок выполнения:

1. Загрузить схемный редактор *Schematic* и выполнить его начальную настройку [1, с. 15—23].

2. На одном листе в редакторе *Schematic* изобразить принципиальную схему, состоящую из двух модулей. Первый модуль должен состоять из цифровой микросхемы, библиотечный компонент которой создан в процессе выполнения предыдущих лабораторных работ, с выделением цепей питания и разъемов, к которым подключаются входы и выходы микросхемы. Второй модуль состоит из фрагмента принципиальной схемы, указанного преподавателем (см. рис. 5.1) и содержащего разработанный ранее компонент транзистора.

3. Выполнить перенумерацию позиционных обозначений элементов полученной принципиальной схемы. Пример выполнения принципиальной схемы электронного блока показан на рис. 5.2.

4. Сохранить принципиальную электрическую схему в виде файла с расширением **.sch**.

5. После выполнения перенумерации следует создать файл соединений **.net**.

6. Загрузить файл соединений, полученный в редакторе *Schematic*, в редактор печатных плат *PCB* (предварительно настроив его [1, с. 46]). Далее в слое *Board* следует создать контур будущей платы [1, с. 46], после чего выполнить размещение компонентов электронного блока.

7. После окончания размещения компонентов электронного блока следует произвести трассировку печатной платы [1, с. 49—51]. После окончания трассировки печатной платы следует сохранить ее как файл **.pcb** в рабочей папке студента.

9. Подготовить к печати разработанную печатную плату послойно: слои *Top+Board*, *Bottom+Board*, *TopSilk+Board*, *BottomSilk+Board* [1, с. 52—53].

Состав отчета:

1. Чертеж принципиальной схемы разработанного электронного узла, выполненной в редакторе *Schematic* [1, с. 54—57].

2. Распечатки комбинаций слоев *Top+Board*, *Bottom+Board*, *TopSilk+Board*, *BottomSilk+ Board*, выполненные в редакторе *PCB*.

3. Чертеж печатной платы разработанного электронного узла.

4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Для чего предназначена система автоматизированного проектирования печатных плат *P-CAD 2006*?

2. Какие основные подпрограммы системы *P-CAD 2006* Вам известны?

3. Из каких основных элементов состоит библиотечный компонент в системе *PCAD 2006*?

4. Что такое слои в *P-CAD 2006* и для чего они предназначены?

5. В каких слоях создается посадочное место компонента?

6. Что такое *DRC* и *ERC*?

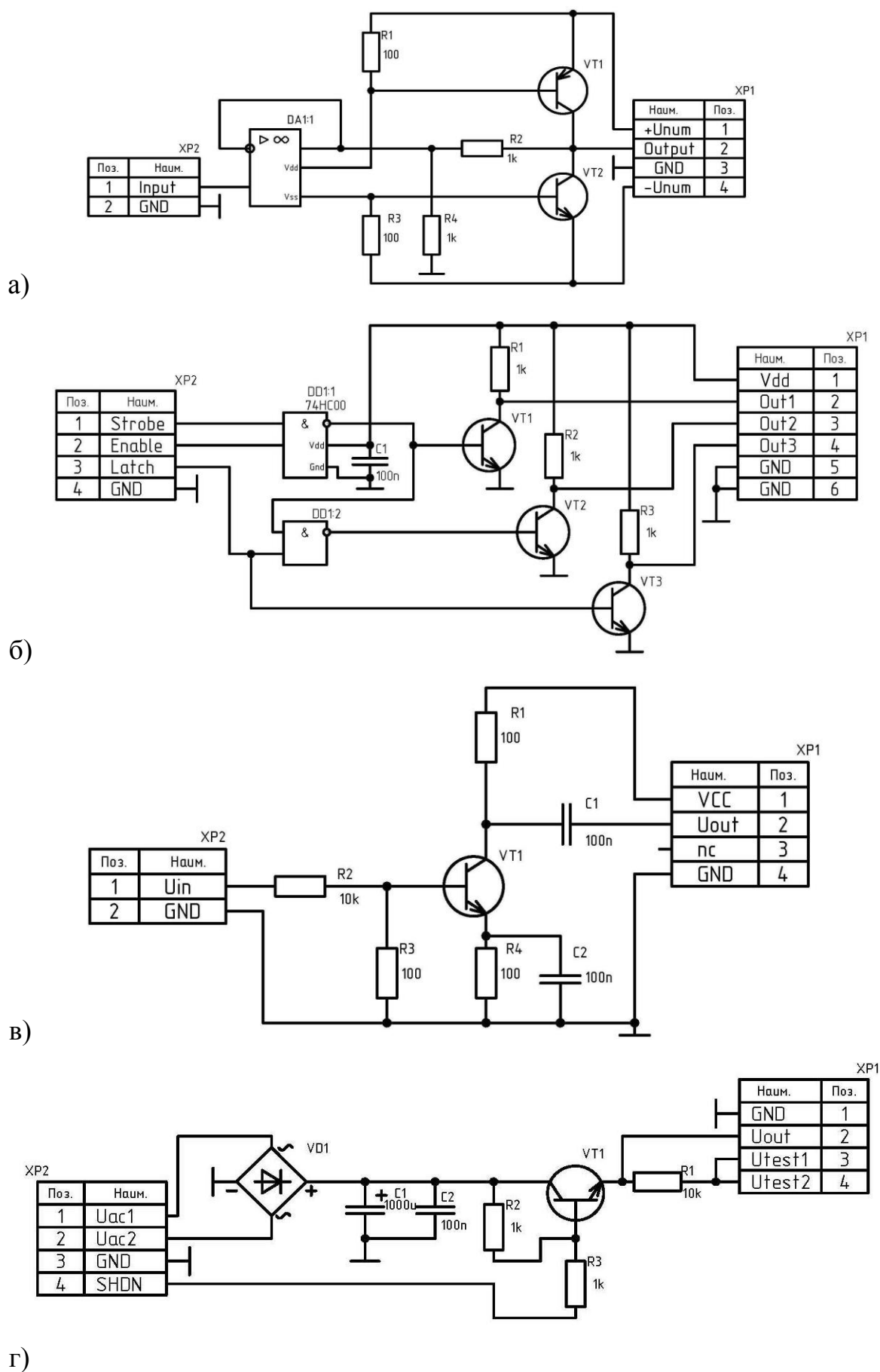


Рис. 5.1 — Варианты индивидуальных заданий

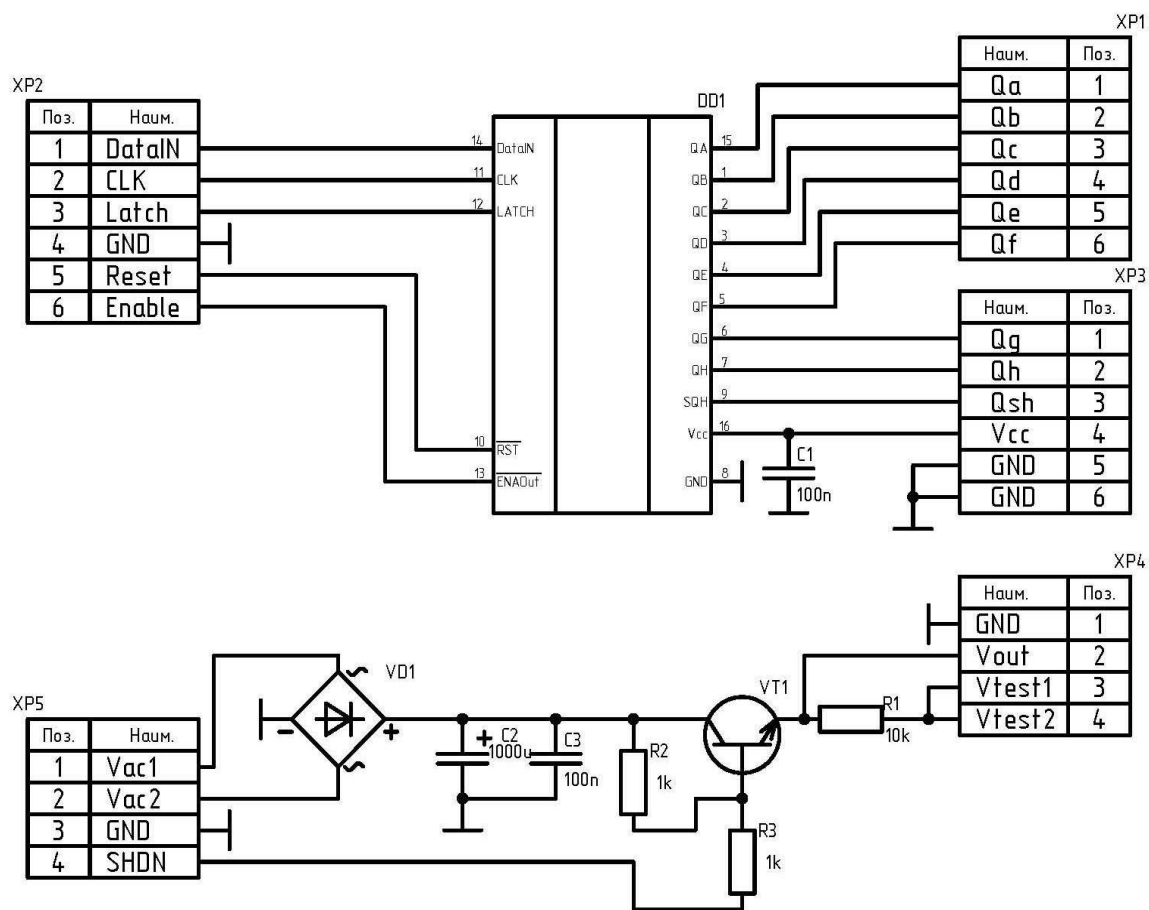


Рис. 5.2 — Пример выполнения принципиальной схемы
по индивидуальному заданию

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6.
ОПТИМИЗАЦИЯ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ РАДИОКОМПОНЕНТАМИ
ПРИ ТРАССИРОВКЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
В САПР P-CAD 2006

Цель работы:

Получение практических навыков работы по оптимизации связей между радиокомпонентами (РК) при трассировке печатных плат.

Задание:

1. Создать конструктив печатной платы (ПП), руководствуясь результатами выполнения ЛР №5.
2. Упаковать РК на ПП с подключенными соединителями (связями).
3. Разместить РК на печатной плате.
4. Оптимизировать связи между РК, сохранить сообщение о результатах оптимизации.
5. Сохранить топологию ПП до и после оптимизации как файлы с расширением **.pcb** (**name1.pcb** и **name2.pcb**).
6. Сохранить принципиальную схему до и после оптимизации связей между радиокомпонентами как файлы с расширением **.sch** (**name1.sch** и **name2.sch**).

Примечание. Указанные действия следует выполнять в соответствии с методическими указаниями «Проектирование функциональных узлов РЭА в программной среде автоматизированного проектирования P-CAD 2006» [1].

Порядок выполнения:

1. Загрузить графический редактор *PCB* и выполнить его настройку [1, с. 37—41].
2. Подключить библиотеки с помощью команды *Library/Setup*.
3. При необходимости установить привязку к сетке *View/Snap to Grid*.
4. Загрузить список РК и электрических связей в топологию командой

Utils/Load Netlist. В окне команды *Load Netlist* необходимо выбрать свой файл списка соединений, сформированный при выполнении ЛР №5, установив формат *P-CAD ASCII*.

5. Установить шаг координатной сетки.

6. Начертить контур ПП в слое *Board* с помощью команды *Place Board Outline*.

7. Разместить РК на плате, ориентируясь на компоновку, полученную при выполнении ЛР №5 (см. методические рекомендации к данной ЛР).

8. Провести оптимизацию связей между компонентами (см. методические рекомендации к данной ЛР).

9. Подготовить к печати принципиальную схему [1, с. 34], ее возможную корректировку после оптимизации связей между компонентами, а также варианты печатных плат до и после оптимизации послойно: слои *Top+Board*, *Bottom+Board*, *TopSilk+Board*, *BottomSilk+Board* [1, с. 52—53].

Методические рекомендации:

Размещение (компоновка) радиокомпонентов на печатной плате определяет результаты ее трассировки, поэтому перед расположением компонентов рекомендуется изучить их связи на ПП и размещать компоненты с учетом минимизации длины соединений и количества переходных отверстий.

При компоновке РК можно скрыть или сделать видимыми электрические связи для одной или нескольких цепей, переименовать одну цепь или группу цепей, отредактировать значения их атрибутов. Для этих и других целей служит диалоговое окно команды *Edit/Nets* (рис. 6.1). В окне *Nets* отображены имена всех цепей проекта, а в окне *Net Nodes* указаны имена элементов и номера их контактов, связанные с выделенной в окне *Nets* цепью. Можно выделить все цепи списка (кнопка *Set All*). Нажатие на кнопку *Set By Attribute* позволяет установить требуемое значение атрибута для выделяемых цепей (например, одинаковую ширину проводника *Width*). Снятие выделения всех цепей производится кнопкой *Clear All*.

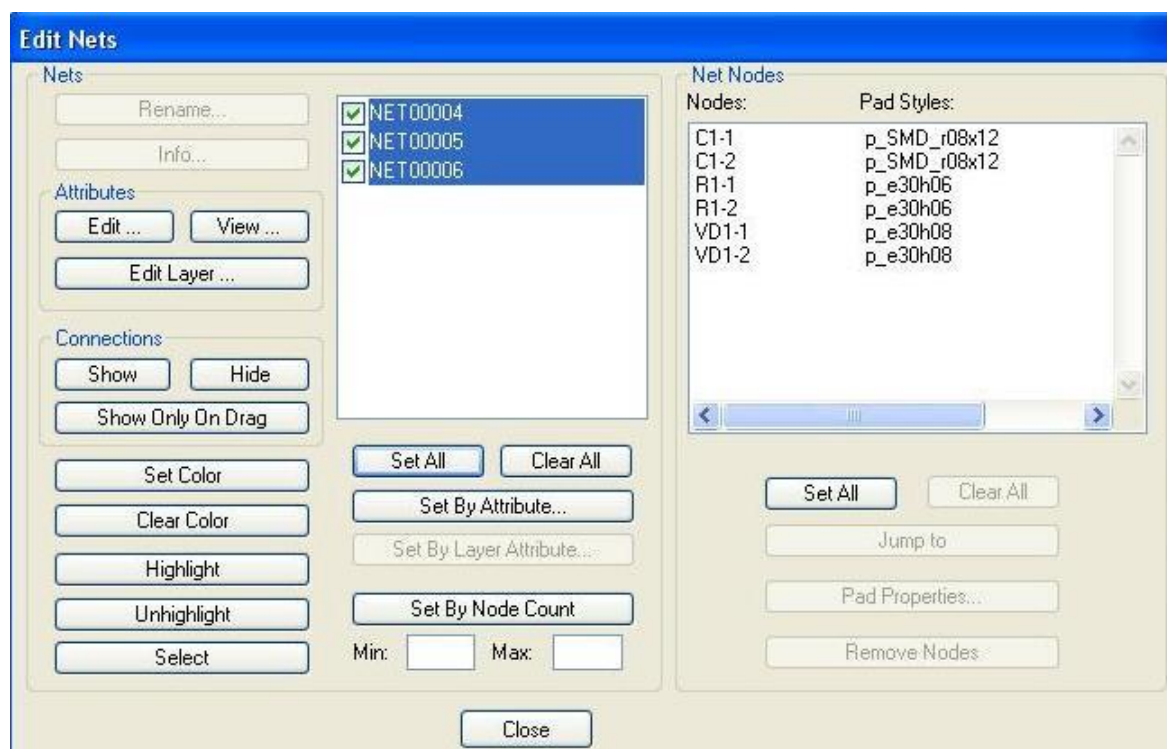


Рис. 6.1 — Окно редактирования электрических связей

P-CAD 2006 позволяет задавать индивидуальный цвет для каждой цепи. При этом такие элементы, как контактные площадки, переходные отверстия и участки металлизации, подсоединенные к этой цепи, приобретут цвет, указанный для цепи. При необходимости всегда можно перейти на «общий» цвет, указанный в настройках отображения.

Результаты предварительного размещения РК нужно сохранить в файле в формате данных *ASCII*.

После размещения радиокомпонентов проводится оптимизация электрических связей между ними.

Внимание! Оптимизация связей проводится перед началом трассировки соединений.

Цель оптимизации — минимизация общей длины физических связей между РК и минимизация плотности связей. В ходе выполнения данной процедуры возможно изменение подключения секций (вентилей), корпусов и контактов на принципиальной схеме. Поэтому после оптимизации размещения РК должны быть внесены соответствующие изменения в принципиальную схему. Для этого нужно вести протокол перестановок, который после окончания оптимизации записывается в специальный текстовый файл с расширением *.eco*.

Приведем порядок действий в ходе выполнения оптимизации связей между компонентами.

Вначале необходимо включить запись протокола перестановки командой *Utils/Record ECOs*. Затем выбрать команду *Utils/Optimize Nets* и установить параметры оптимизации в соответствии с рис. 6.2. В появившемся окне выделены две группы параметров. Первая группа — методы оптимизации: *Auto* — автоматическая оптимизация, *Manual Gate Swap* — ручная парная перестановка эквивалентных секций, *Manual Pin Swap* — ручная парная перестановка эквивалентных контактов. Вторая группа параметров — это опции автооптимизации, где режим *Entire Design* означает оптимизацию связей применительно ко всему проекту.



Рис. 6.2 — Окно параметров оптимизации электрических связей

После нажатия кнопки ОК появится сообщение о том, что данная операция необратима, и запрос о продолжении; после утвердительного ответа начнется процесс оптимизации.

Когда программа выполнит работу (появится надпись «*Net Optimize Complite*»), необходимо зафиксировать для отчета следующие данные, расположенные в зоне *Cumulative Status*: число переставленных секций — *Numbers of gates Swapped*, число переставленных выводов — *Numbers of pins Swapped*, общая длина цепей до оптимизации — *All net total length before*, общая длина цепей после оптимизации — *All net total length after*, относительное изменение общей длины цепей после оптимизации — *All net total length changed*.

Затем надо закрыть окно с результатами оптимизации. Далее сохранить файл под отдельным именем; в конце сохранения откроется окно, в котором с помощью кнопки «*ECO Filename*» надо задать имя файла изменений (с расширением *.eco*) и нажать кнопку «*Append ECOs to File*».

Далее необходимо внести изменения в электрическую принципиальную схему. Для этого надо открыть редактор *Schematic*. Задать команду *Utils/Import ECOs*, выбрать файл изменений с помощью кнопки «*ECO Filename*» и нажать кнопку ОК.

Внимание! Изменения вносятся в схему только при полном соответствии в файлах *.pcb* и *.sch* до изменений (по типам РК и их связям).

При возникновении ошибок надо проверить *pcb*-файл (начальный файл, без оптимизации связей) на соответствие со схемой, используя команду *Utils/Compare Netlist*. В окне *Netlist Compare* посредством кнопки *Netlist Filename* указать путь к файлу списка цепей (с расширением *.net*), а в зоне *Attributes* выделить категории *Component* и *Net* и, нажав кнопку *>>*, переместить их в окно *Compare*. При наличии ошибок выводится сообщение об ошибке и предлагается их просмотр, нажатие кнопки «Да» выводит отчет об ошибках, которые необходимо исправить. После исправления ошибок надо сделать проверку снова. Сообщение «*Nets are identical*» говорит о соответствии списка в файлах *.pcb* и *.sch*. После этого надо провести оптимизацию заново.

При корректном внесении изменений в схему появится сообщение: *Importing ECO file completes successfully*. После внесения изменений надо сохранить файл *.sch* (рекомендуется с новым именем).

Как правило, на данном этапе файл *.sch* приходится редактировать, так как после внесения изменений на схеме появляется множество портов, которые затрудняют чтение схемы, а также надписи и порты могут быть наложены друг на друга. В ходе редактирования необходимо соединить цепи в соответствии с нумерацией портов и придать схеме удобочитаемый вид.

Состав отчета:

1. Сообщение редактора *PCB* о результатах оптимизации.

2. Чертежи печатных плат разработанных узлов до и после оптимизации послойно: слои *Top+Board*, *Bottom+Board*, *TopSilk+Board*, *BottomSilk+Board*.

3. Чертежи принципиальных схем разработанных электронных узлов до и после оптимизации.

4. Скриншот экрана компьютера после успешного импортирования файла изменений *filename.eso* в редактор *Schematic*.

5. Выводы по работе, содержащие анализ полученных результатов оптимизации.

Контрольные вопросы:

1. Сформулировать цель оптимизации связей между РК и привести алгоритм ее выполнения.

2. Привести внешний вид диалогового окна программы при выполнении команды *Edit/Nets*, описать структурные элементы окна.

3. Что такое файл перестановок и для чего он ведется при оптимизации связей?

4. Описать последовательность действий при внесении изменений в принципиальную схему после оптимизации связей между РК.

5. Описать структуру рабочих окон при настройке параметров оптимизации и получении ее результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разработка функциональных узлов РЭА в программной среде автоматизированного проектирования *P-CAD* 2006: методические указания по дисциплине «Основы компьютерного проектирования и моделирования РЭС» для студентов очной и заочной форм обучения направления 11.03.01 «Радиотехника» и специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» / СевГУ; сост. А.Г. Бадалов, В.Г. Слёзкин, П.П. Ермолов. — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2015. — 90 с.
2. Усатенко, С.Т. Графическое изображение электрорадиосхем: справочник / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. — Киев: Техника, 1986. — 113 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ТАБЛИЦА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Таблица А1— Индивидуальные задания для выполнения лабораторных работ

$\begin{matrix} M \\ N \end{matrix}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1/20	1/19	1/18	1/17	1/16	2/15	2/14	2/13	2/12	2/11
1	3/10	3/9	3/8	3/7	3/6	4/5	4/4	4/3	4/2	4/1
2	5/20	5/19	5/18	5/17	5/16	6/15	6/14	6/13	6/12	6/11
3	7/10	7/9	7/8	7/7	7/6	8/5	8/4	8/3	8/2	8/1
4	9/20	9/19	9/18	9/17	9/16	10/15	10/14	10/13	10/12	10/11
5	11/10	11/9	11/8	11/7	11/6	12/5	12/4	12/3	12/2	12/1
6	13/20	13/19	13/18	13/17	13/16	13/15	14/14	14/13	14/12	14/11
7	15/10	15/9	15/8	15/7	15/6	16/5	16/4	16/3	16/2	16/1
8	17/20	17/19	17/18	17/17	17/16	18/15	18/14	18/13	18/12	18/11
9	19/10	19/9	19/8	19/7	19/6	20/5	20/4	20/3	20/2	20/1

Примечание 1: Номера индивидуальных заданий выбираются по предпоследней М и последней N цифрам номера индивидуального плана (зачетной книжки) студента (XXXXMN). Например, если номер зачетной книжки 902978, то студенту предстоит выполнить индивидуальное задание 18/13, где 18 — номер варианта в Приложении Б, а 13 — номер варианта в Приложении В.

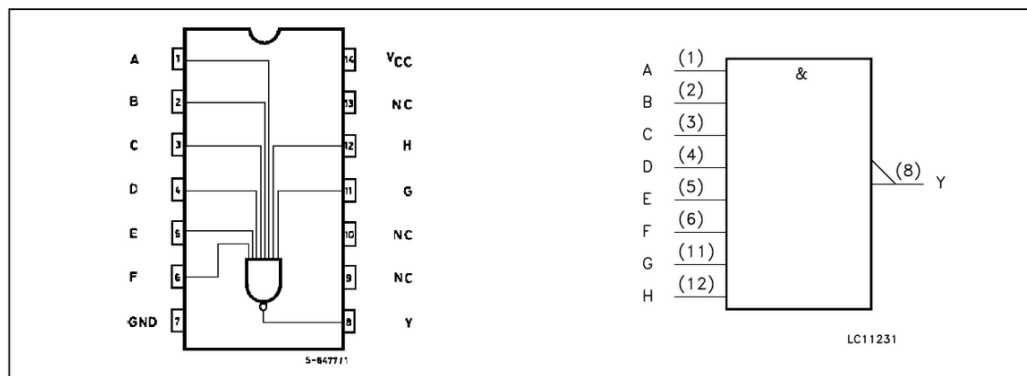
Примечание 2: Представленные в Приложениях Б и В варианты микросхем и транзисторов отражают их функциональные и конструктивные особенности при возможном отклонении графических изображений этих компонентов от норм ЕСКД. При выполнении лабораторных заданий **обязательным** является изображение УГО в соответствии с нормами, изложенными в [2].

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

СПЕЦИФИКАЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

№1 M74HC30

PIN CONNECTION AND IEC LOGIC SYMBOLS

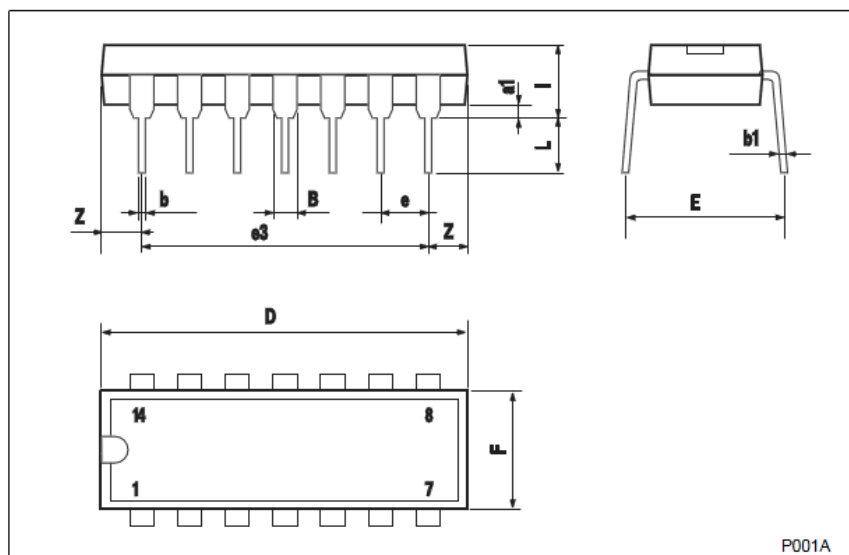


July 2001

1/8

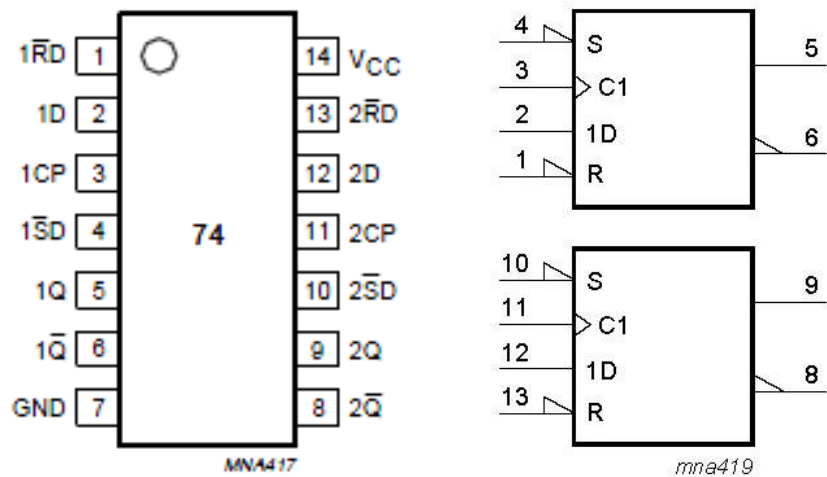
Plastic DIP-14 MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		15.24			0.600	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z	1.27		2.54	0.050		0.100



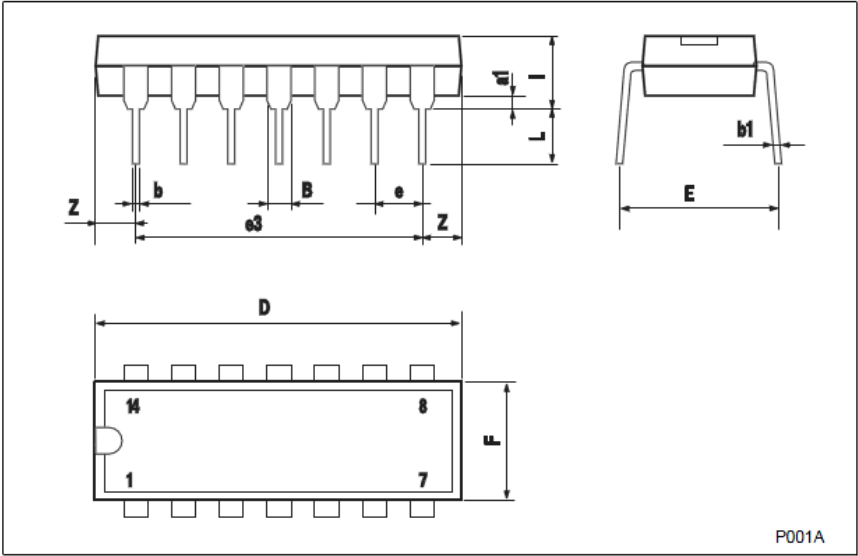
P001A

№2 74HC74



Plastic DIP-14 MECHANICAL DATA

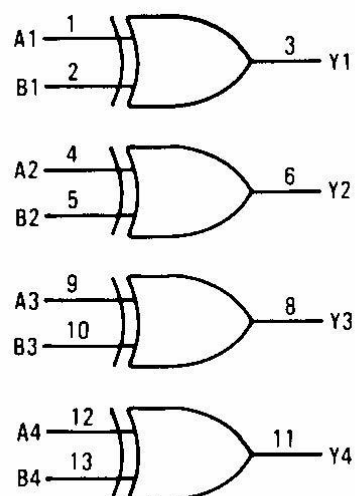
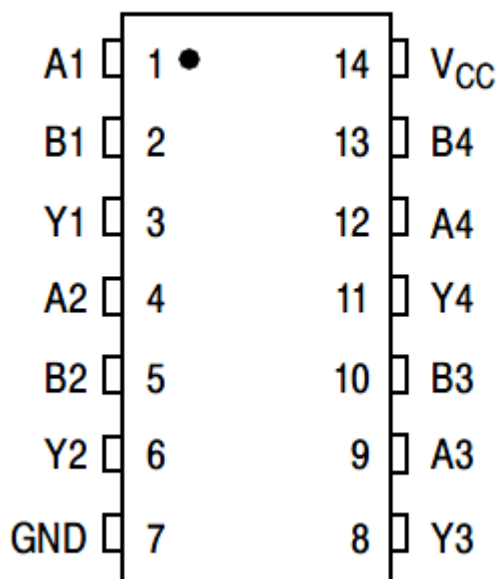
DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		15.24			0.600	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z	1.27		2.54	0.050		0.100



P001A

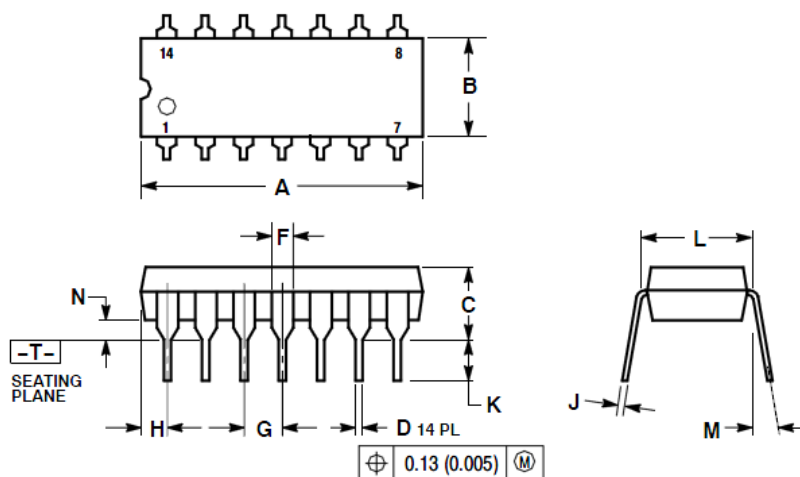
№3 74HC86A

PIN ASSIGNMENT



PIN 14 = V_{CC}
PIN 7 = GND

PDIP-14
CASE 646-06
ISSUE P



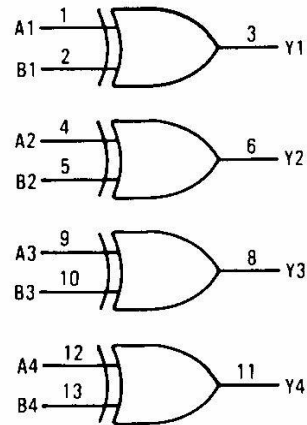
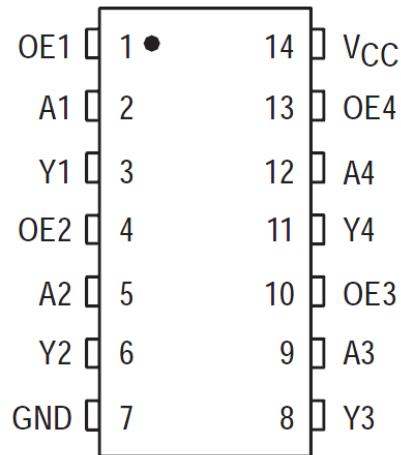
NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.715	0.770	18.16	19.56
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.145	0.185	3.69	4.69
D	0.015	0.021	0.38	0.53
F	0.040	0.070	1.02	1.78
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.052	0.095	1.32	2.41
J	0.008	0.015	0.20	0.38
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.290	0.310	7.37	7.87
M	---	10°	---	10°
N	0.015	0.039	0.38	1.01

№4 74HC86A

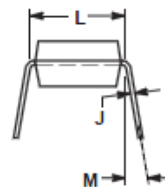
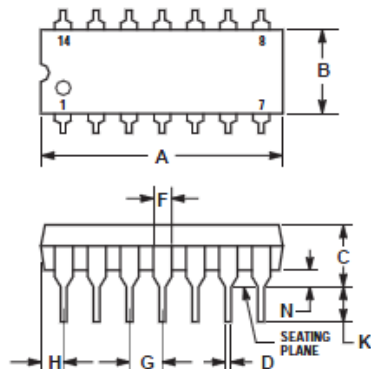
PIN ASSIGNMENT



PIN 14 = V_{CC}
PIN 7 = GND

PACKAGE DIMENSIONS

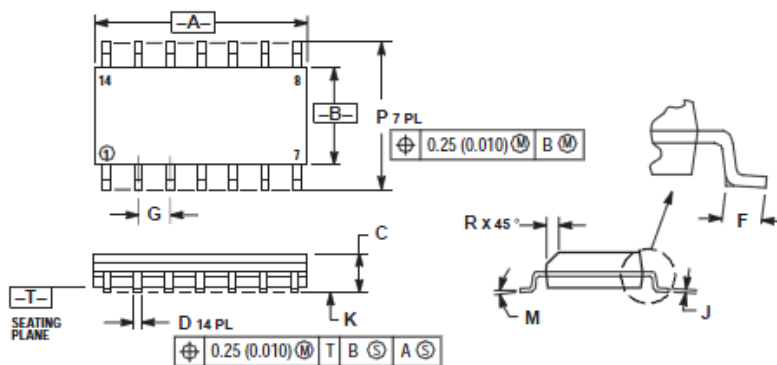
PDIP-14
N SUFFIX
CASE 646-06
ISSUE L



- NOTES:
- LEADS WITHIN 0.13 (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
 - DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
 - DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
 - ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.715	0.770	18.16	19.56
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.145	0.185	3.69	4.69
D	0.015	0.021	0.38	0.53
F	0.040	0.070	1.02	1.78
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.052	0.095	1.32	2.41
J	0.008	0.015	0.20	0.38
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	10°	0°	10°
N	0.015	0.039	0.39	1.01

SOIC-14
D SUFFIX
CASE 751A-03
ISSUE F

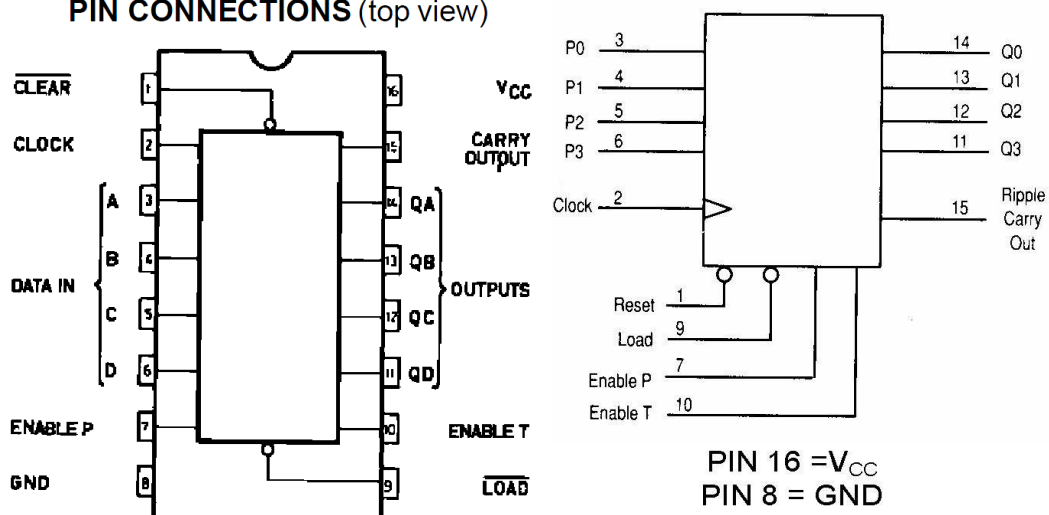


- NOTES:
- DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 - CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
 - DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 - MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
 - DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

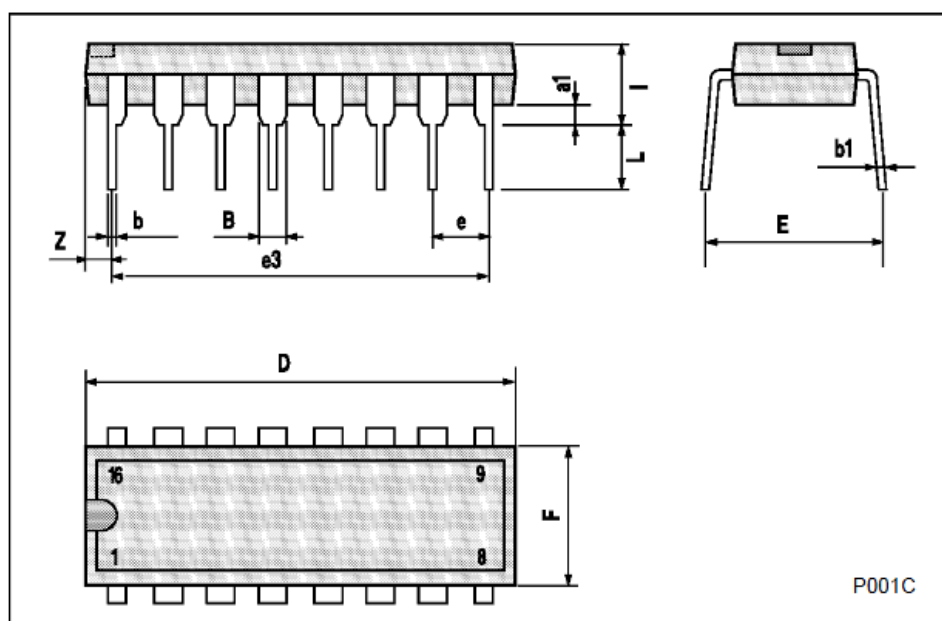
DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.55	8.75	0.337	0.344
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

№5 74HC161

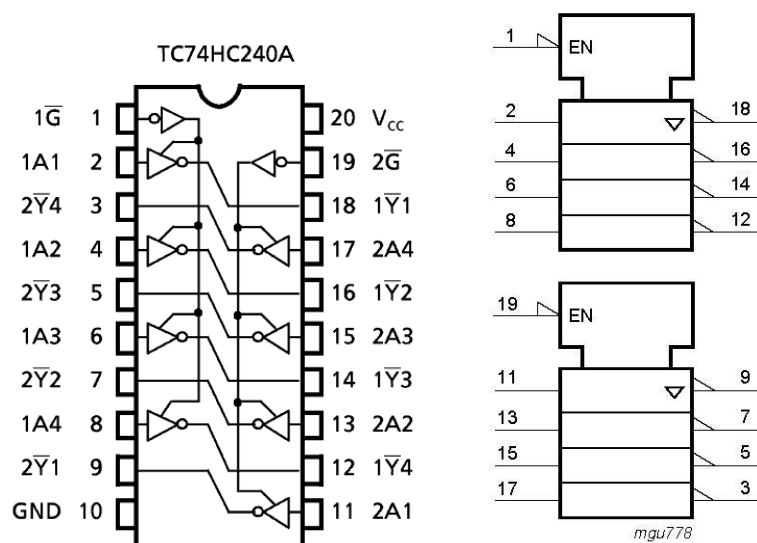
PIN CONNECTIONS (top view)



DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050

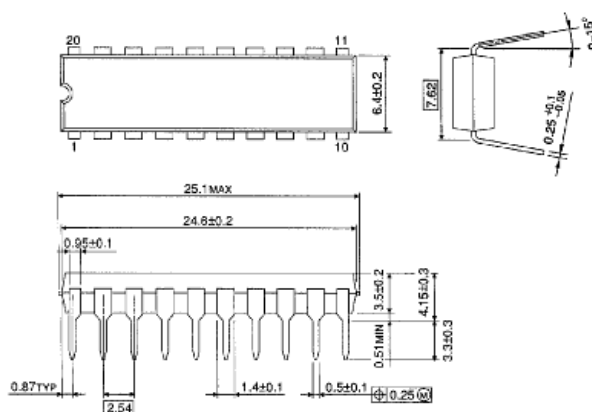


№6 74HC240



DIP 20PIN PACKAGE DIMENSIONS (DIP20-P-300-2.54A)

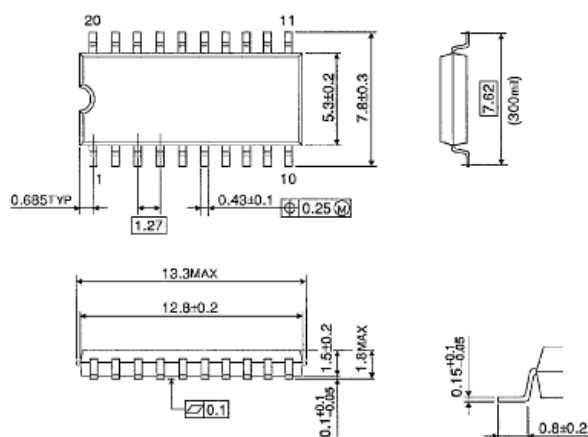
Unit in mm



Weight : 1.30g (Typ.)

SOP 20PIN (200mil BODY) PACKAGE DIMENSIONS (SOP20-P-300-1.27)

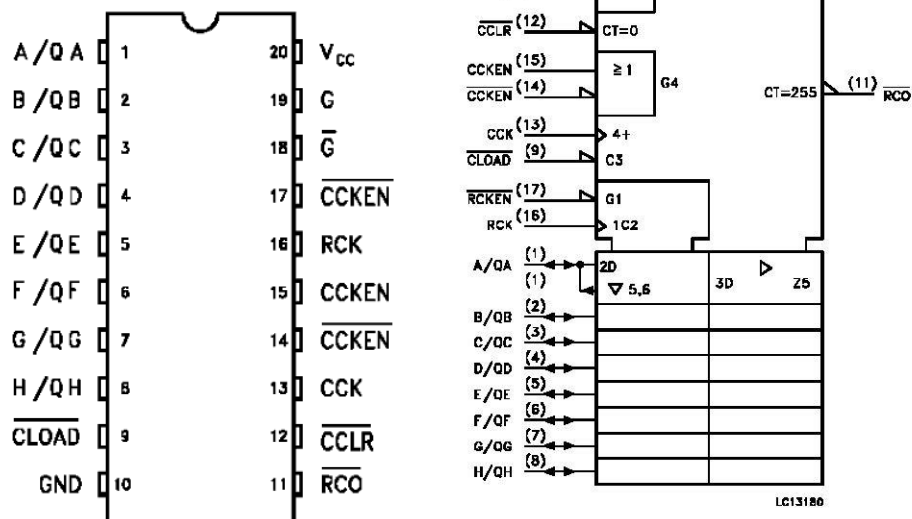
Unit in mm



Weight : 0.22g (Typ.)

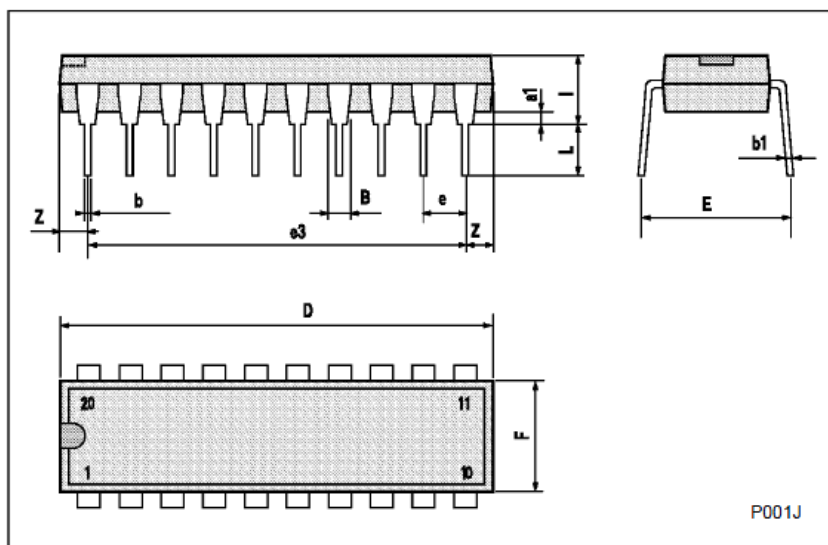
№8 74HC593

PIN CONNECTIONS (top view)



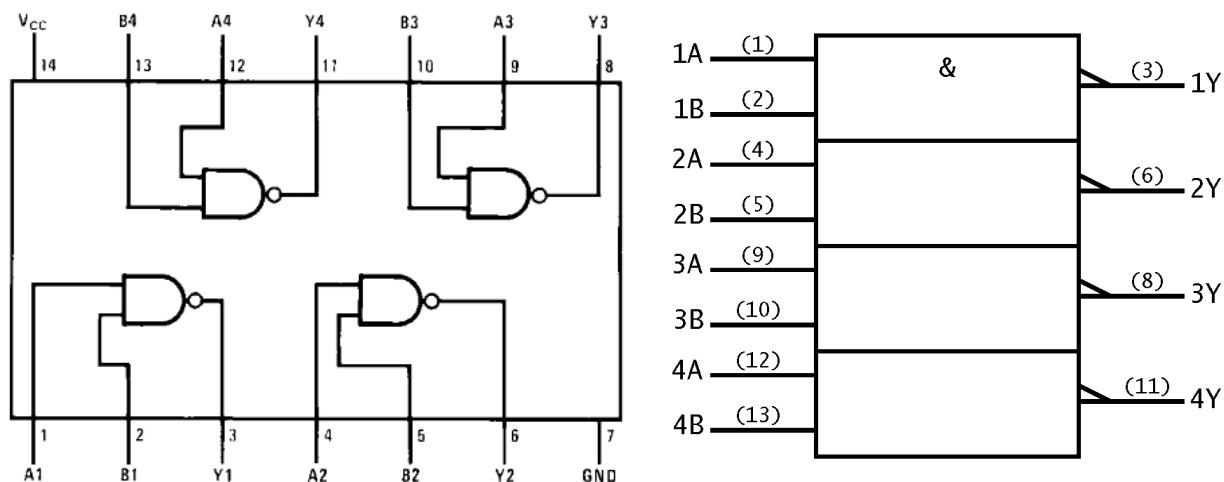
Plastic DIP20 (0.25) MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.254			0.010		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.45			0.018	
b1		0.25			0.010	
D			25.4			1.000
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		22.86			0.900	
F			7.1			0.280
I			3.93			0.155
L		3.3			0.130	
Z			1.34			0.053

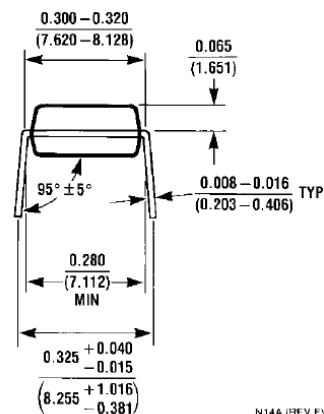
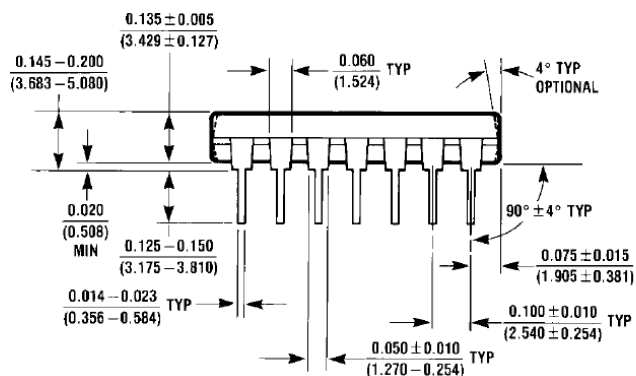
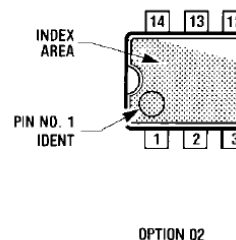
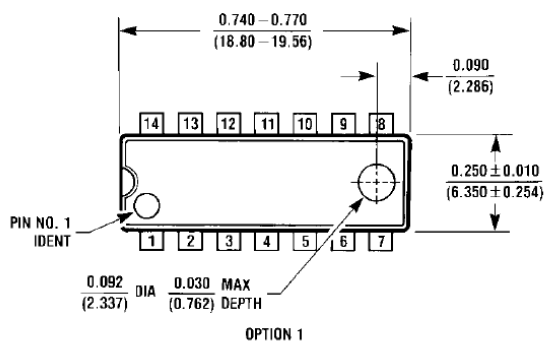


№9 74LS00

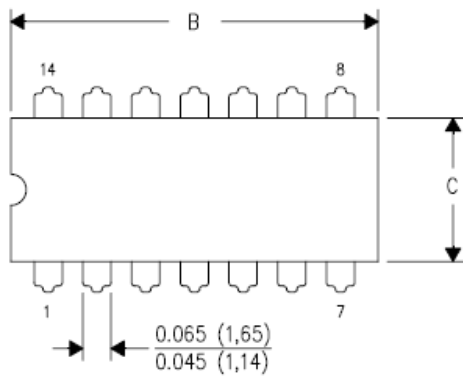
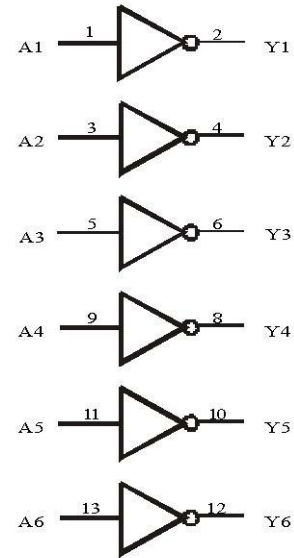
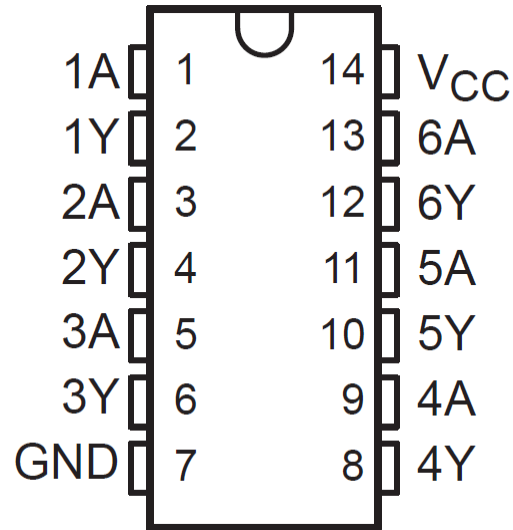
Connection Diagram



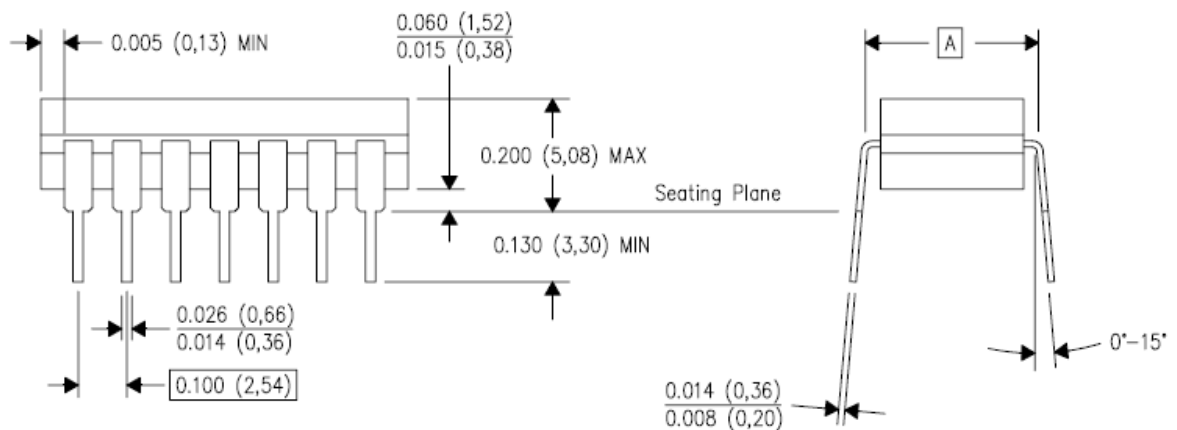
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



N14A (REV F)

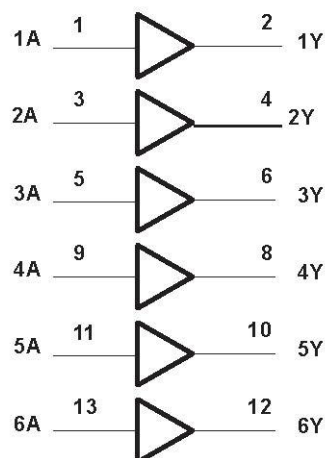
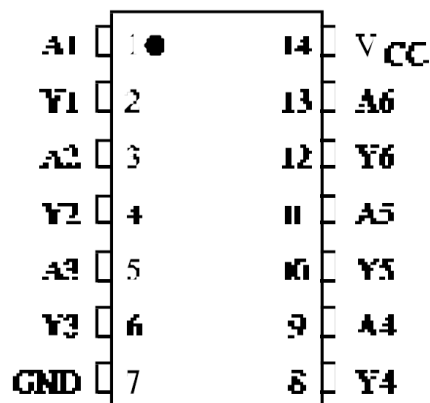


PINS **	14	16	18	20
DIM				
A	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC
B MAX	0.785 (19,94)	.840 (21,34)	0.960 (24,38)	1.060 (26,92)
B MIN	—	—	—	—
C MAX	0.300 (7,62)	0.300 (7,62)	0.310 (7,87)	0.300 (7,62)
C MIN	0.245 (6,22)	0.245 (6,22)	0.220 (5,59)	0.245 (6,22)



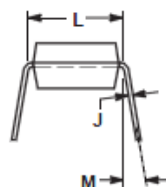
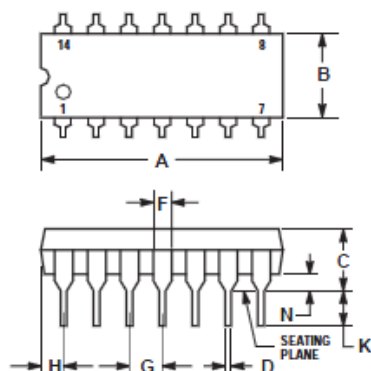
№11 74LS07

PIN ASSIGNMENT



PACKAGE DIMENSIONS

PDIP-14
N SUFFIX
CASE 646-06
ISSUE L

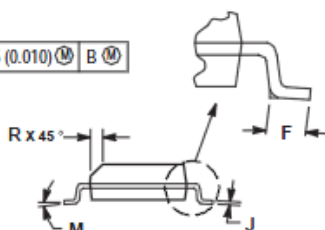
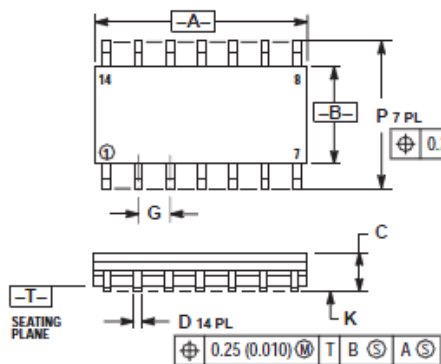


NOTES:

- LEADS WITHIN 0.13 (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
- DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
- DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
- ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.715	0.770	18.16	19.56
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.145	0.185	3.69	4.69
D	0.015	0.021	0.38	0.53
F	0.040	0.070	1.02	1.78
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.052	0.095	1.32	2.41
J	0.008	0.015	0.20	0.38
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	10°	0°	10°
N	0.015	0.039	0.39	1.01

SOIC-14
D SUFFIX
CASE 751A-03
ISSUE F



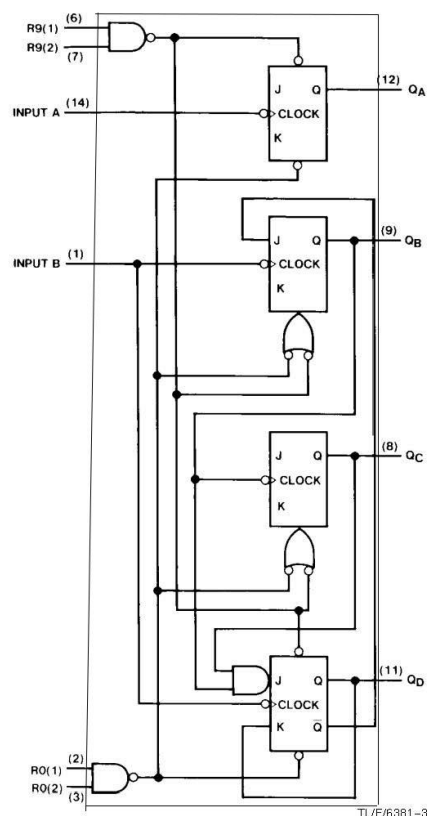
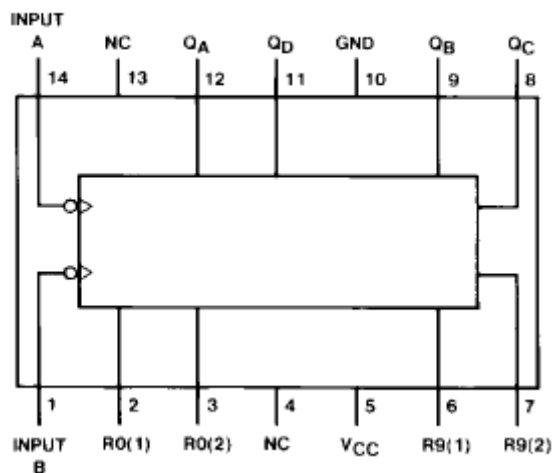
NOTES:

- DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
- CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
- DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
- MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
- DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

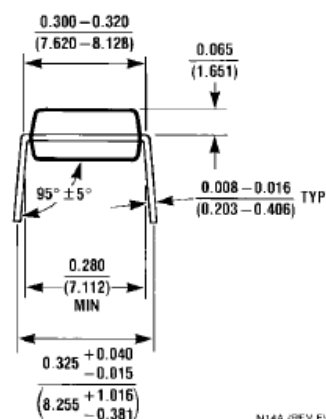
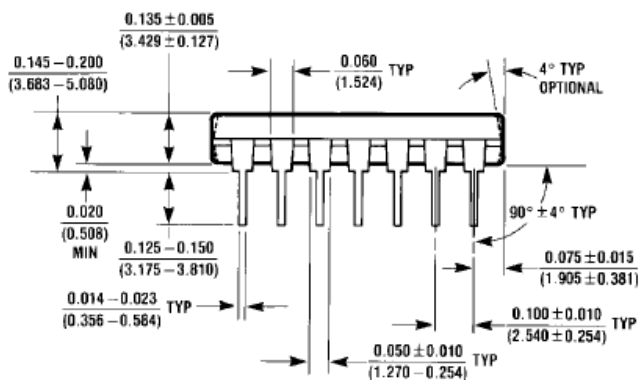
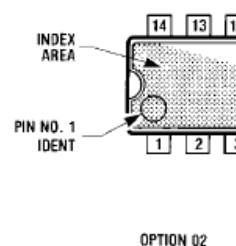
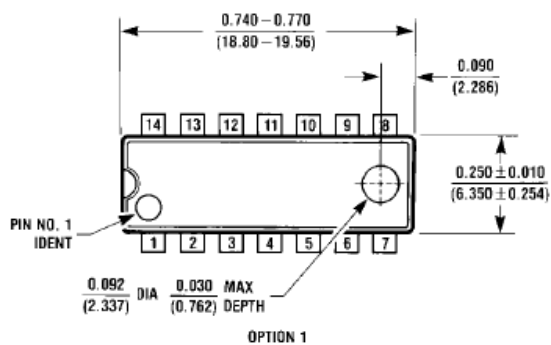
DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.55	8.75	0.337	0.344
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

№12 74LS90

Connection Diagram



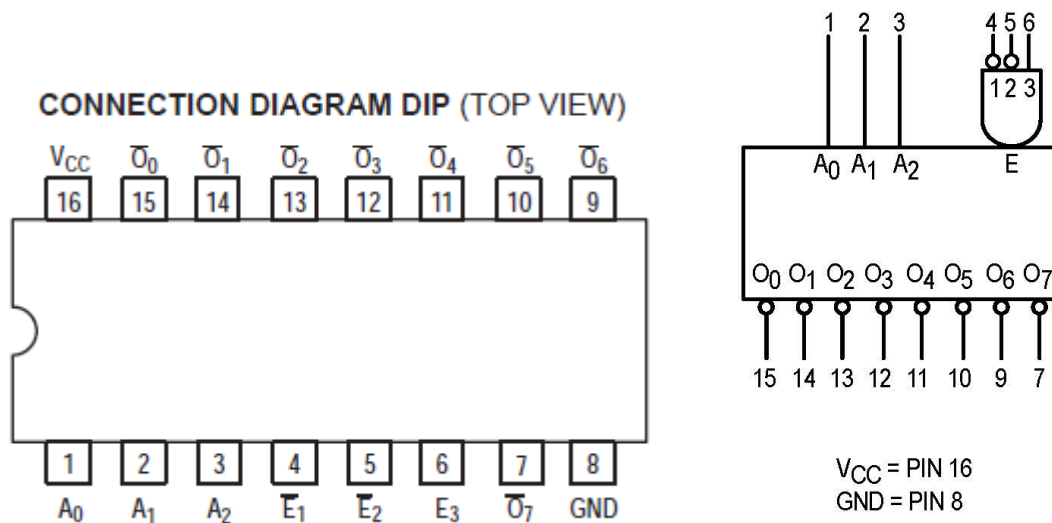
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



N14A (REV F)

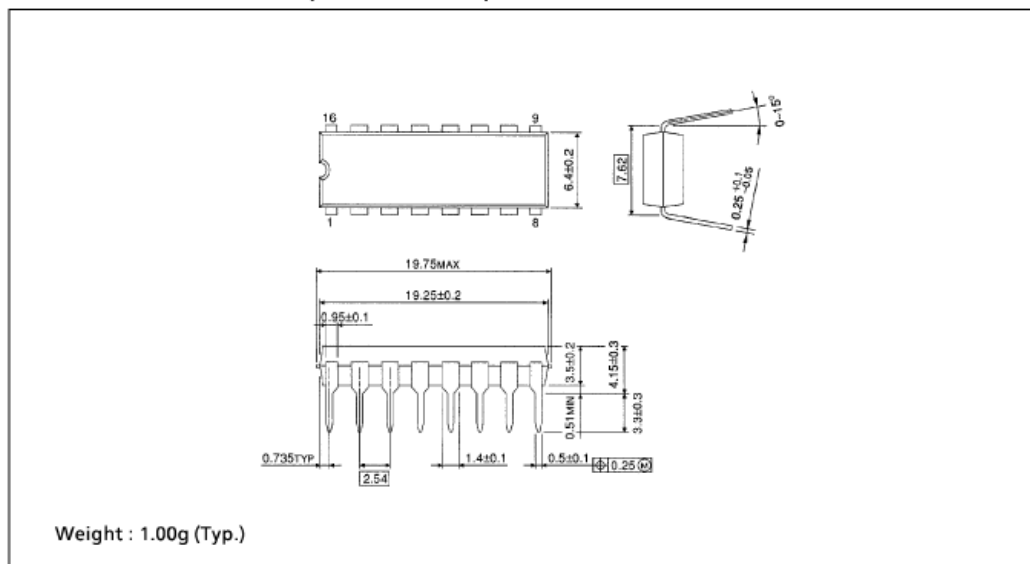
14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide
Package Number N14A

№13 74LS138



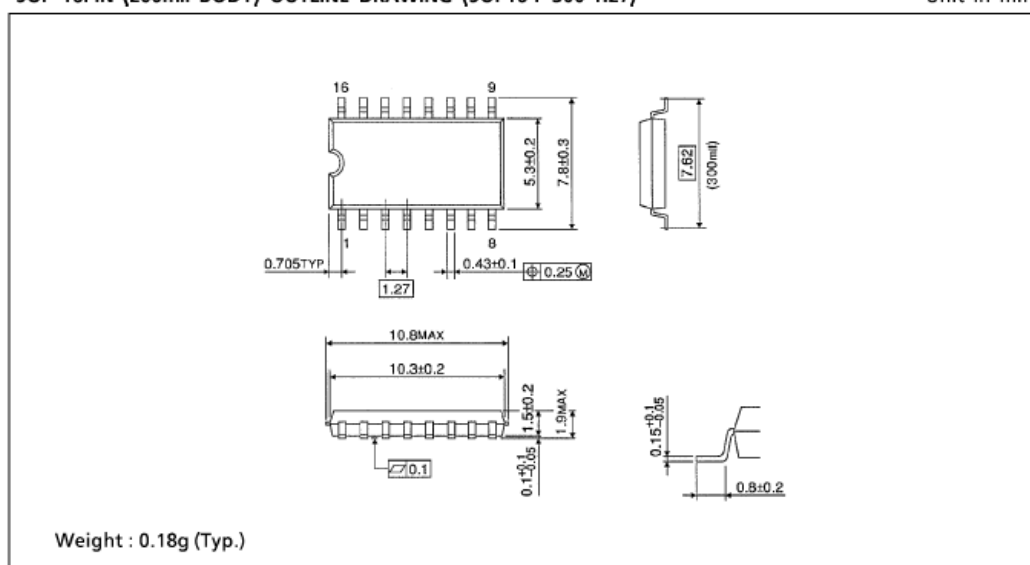
DIP 16PIN OUTLINE DRAWING (DIP16-P-300-2.54A)

Unit in mm

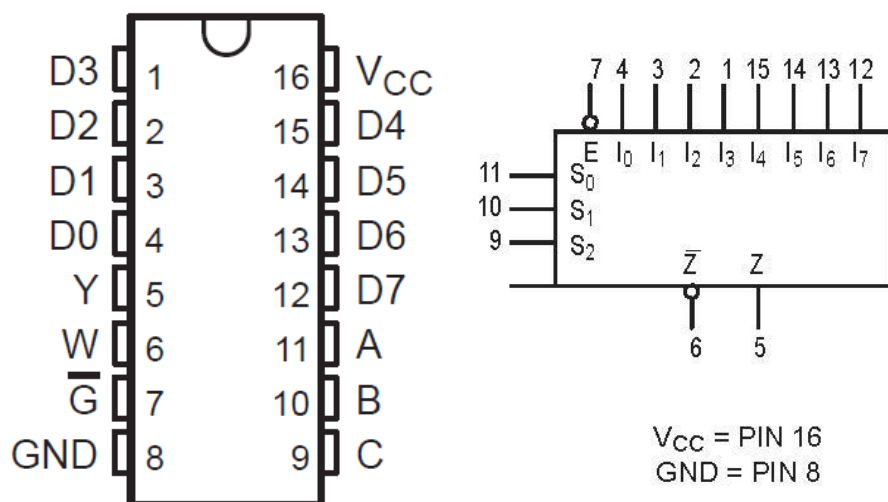


SOP 16PIN (200mil BODY) OUTLINE DRAWING (SOP16-P-300-1.27)

Unit in mm

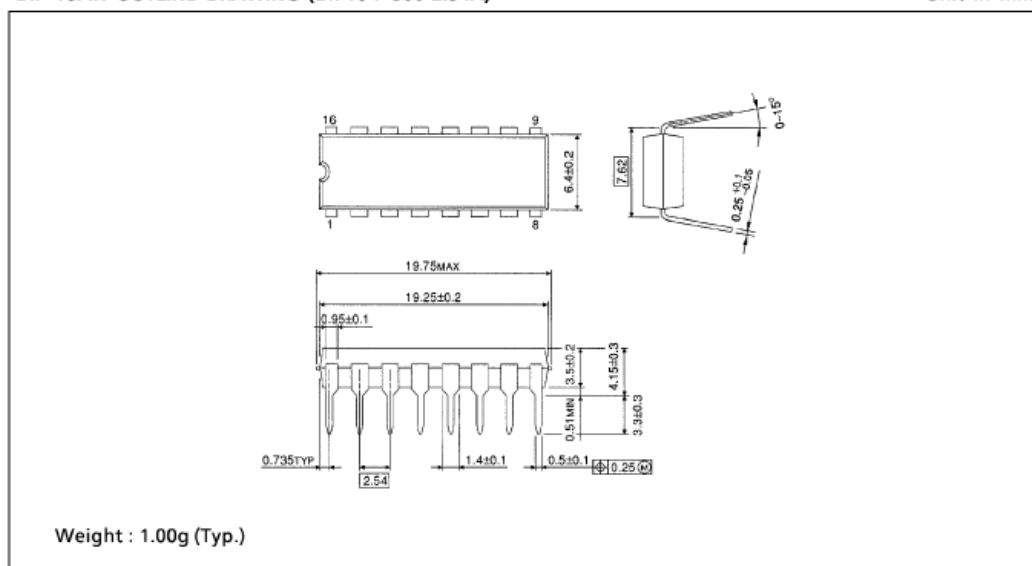


№14 74LS151



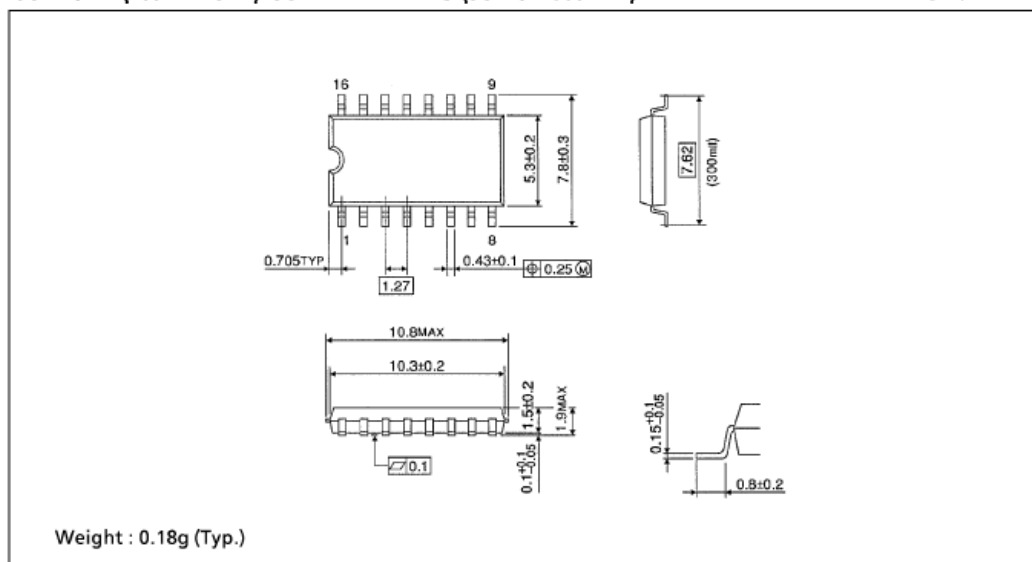
DIP 16PIN OUTLINE DRAWING (DIP16-P-300-2.54A)

Unit in mm

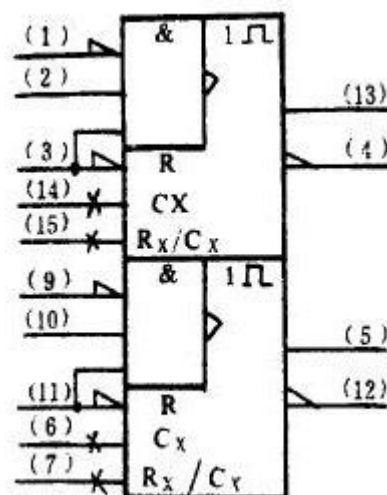
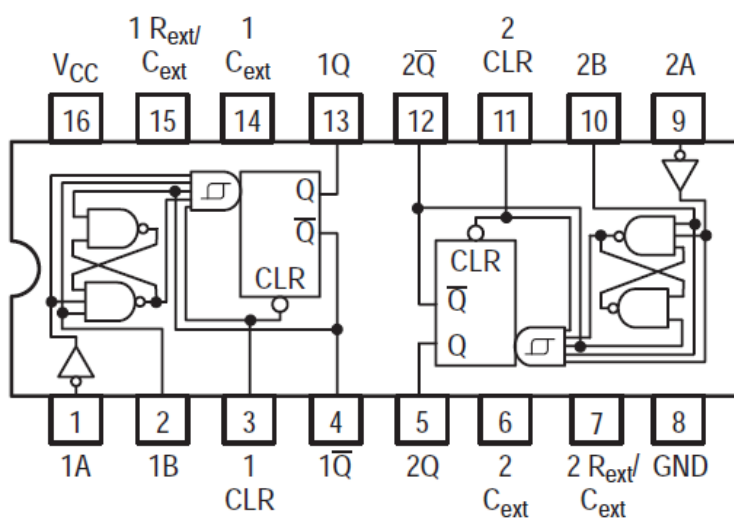


SOP 16PIN (200mil BODY) OUTLINE DRAWING (SOP16-P-300-1.27)

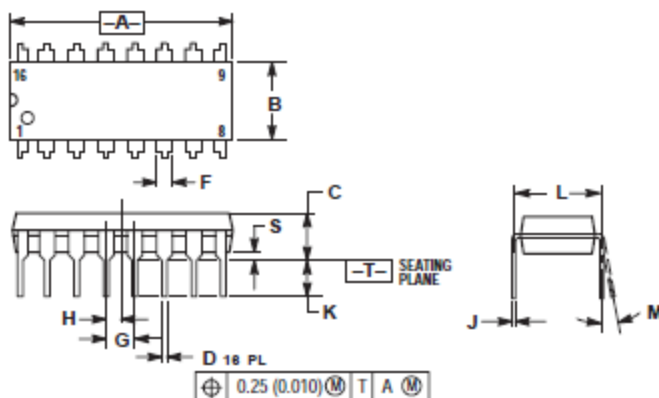
Unit in mm



№15 74LS221



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648-08
ISSUE R

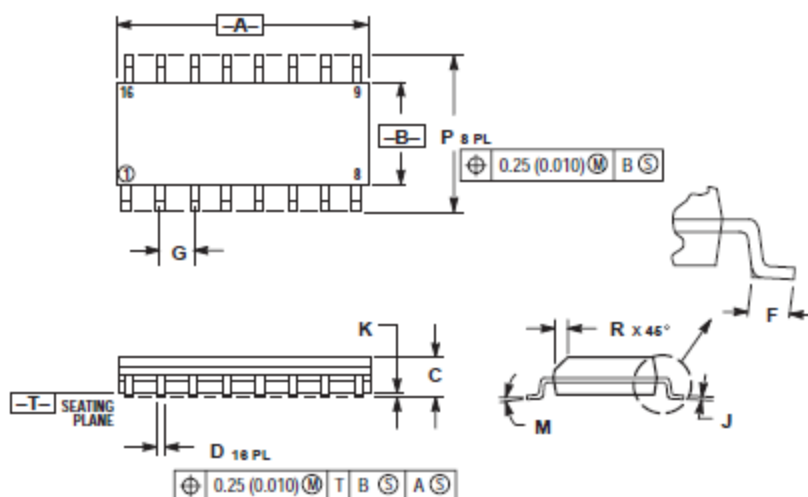


NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.240	0.270	6.10	6.85
B	0.250	0.270	6.35	6.85
C	0.145	0.175	3.69	4.44
D	0.015	0.021	0.39	0.53
F	0.040	0.70	1.02	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.050 BSC		1.27 BSC	
J	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.110	0.130	2.80	3.30
L	0.295	0.305	7.50	7.74
M	0°	10°	0°	10°
S	0.020	0.040	0.51	1.01

D SUFFIX
PLASTIC SOIC PACKAGE
CASE 751B-05
ISSUE J

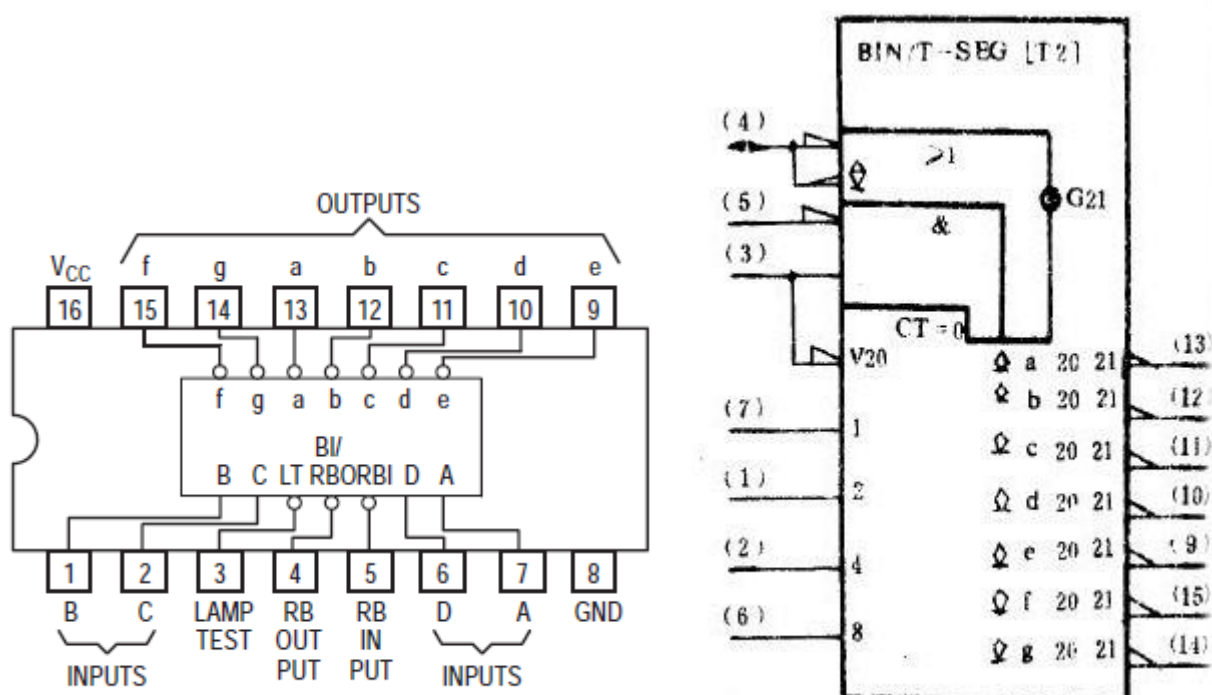


NOTES:

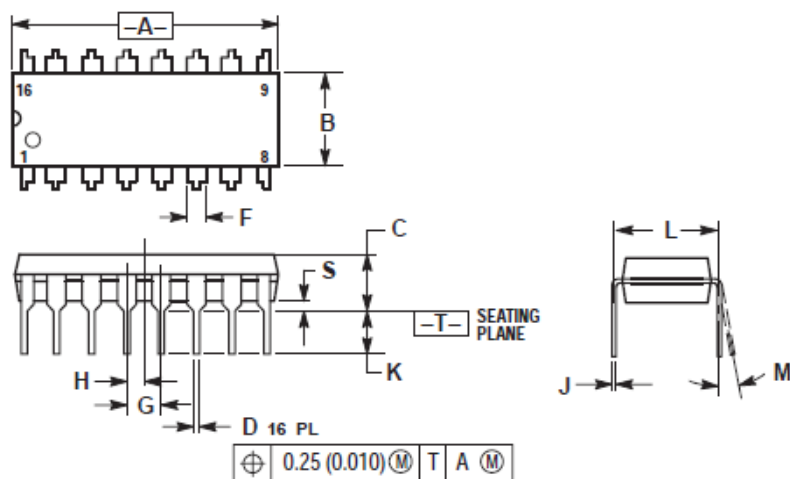
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.005) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.80	10.00	0.386	0.393
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.069
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

№16 74LS247



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648-08
ISSUE R

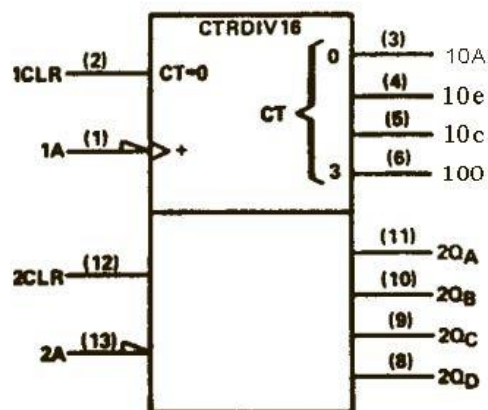
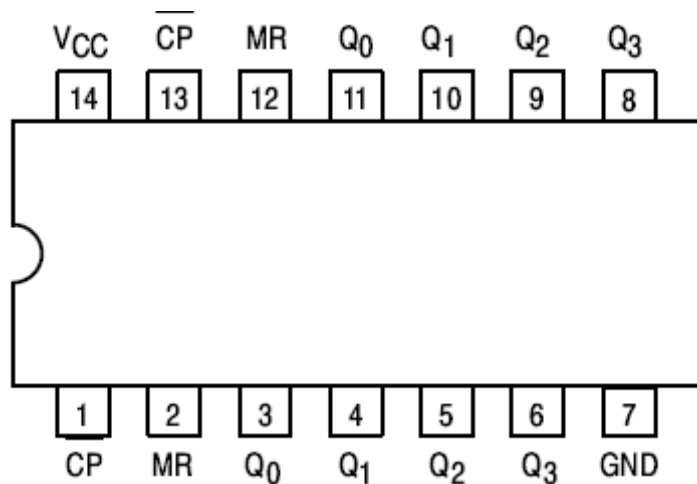


NOTES:

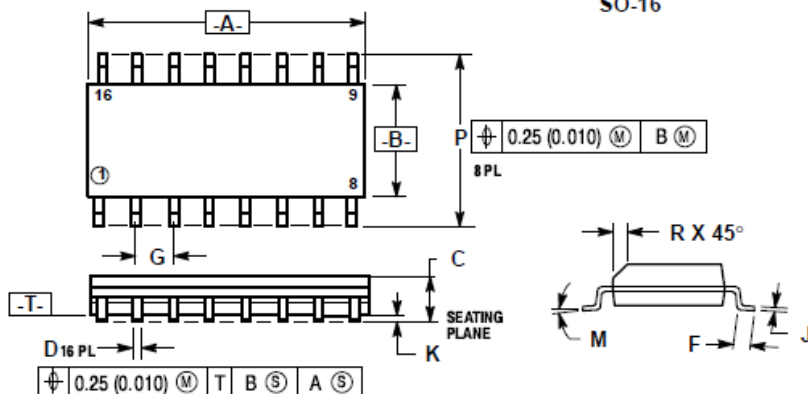
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.740	0.770	18.80	19.55
B	0.250	0.270	6.35	6.85
C	0.145	0.175	3.69	4.44
D	0.015	0.021	0.39	0.53
F	0.040	0.70	1.02	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.050 BSC		1.27 BSC	
J	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.110	0.130	2.80	3.30
L	0.295	0.305	7.50	7.74
M	0°	10°	0°	10°
S	0.020	0.040	0.51	1.01

№17 74LS393



Case 751B-03 D Suffix
16-Pin Plastic
SO-16

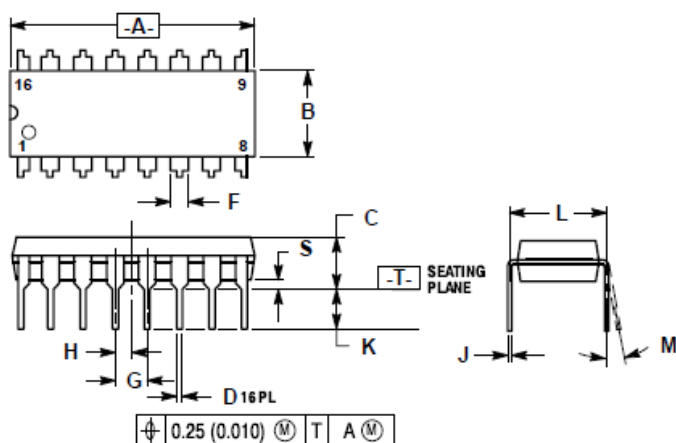


NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
5. 751B-01 IS OBSOLETE, NEW STANDARD 751B-03.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.80	10.00	0.386	0.393
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

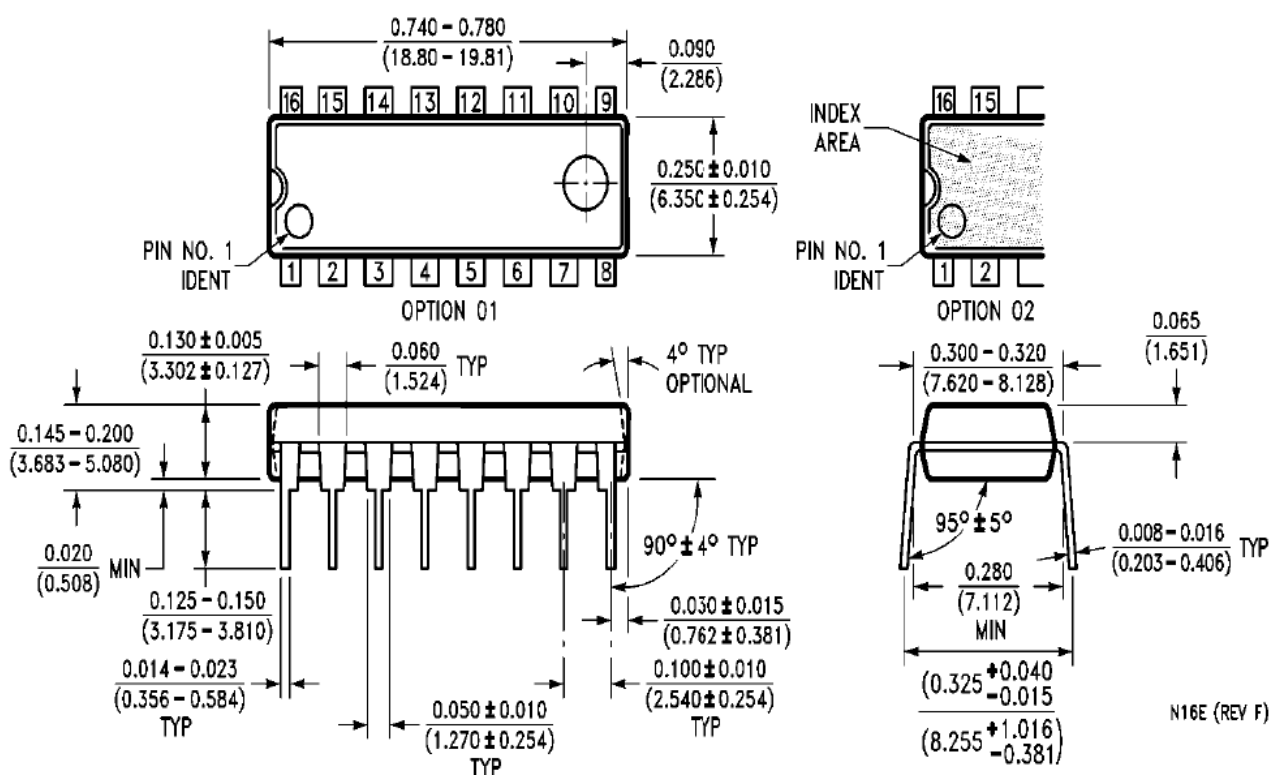
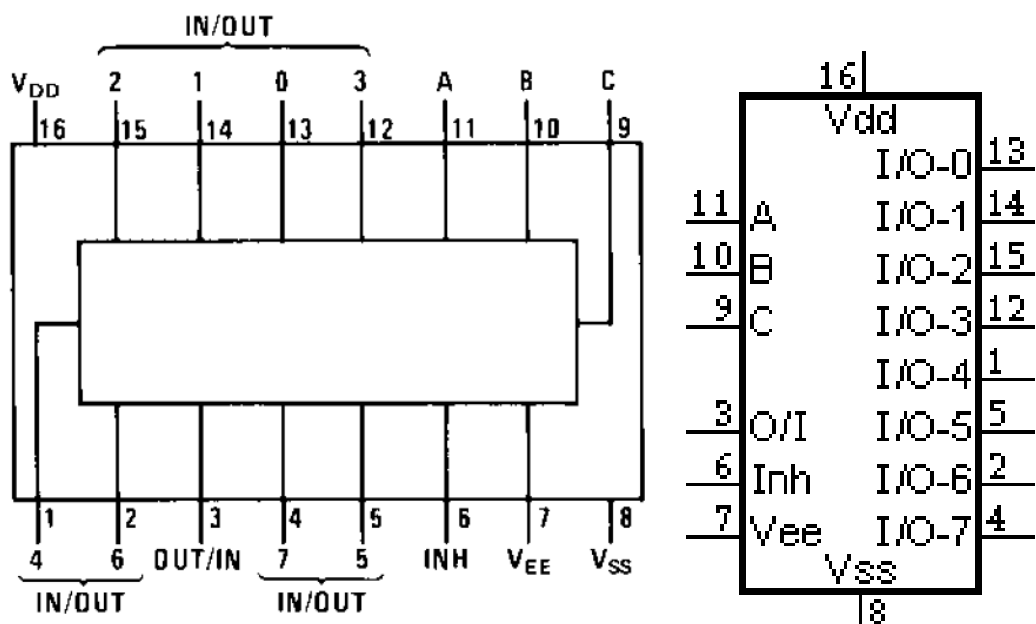
Case 648-08 N Suffix
16-Pin Plastic



NOTES:

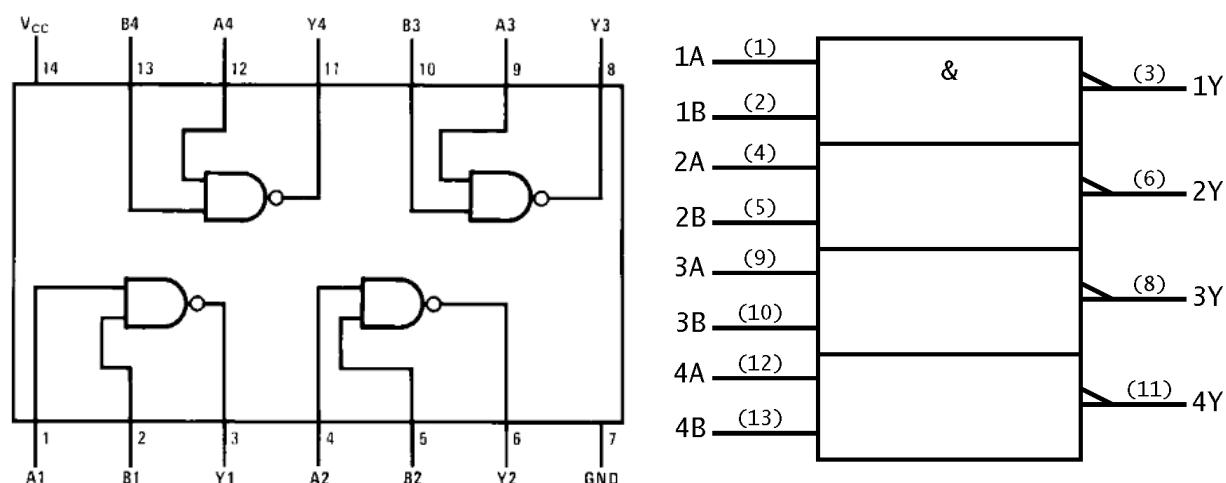
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION 'L' TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION 'B' DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.
6. 648-01 THRU -07 OBSOLETE, NEW STANDARD 648-08.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	18.80	19.55	0.740	0.770
B	6.35	6.85	0.250	0.270
C	3.69	4.44	0.145	0.175
D	0.39	0.53	0.015	0.021
F	1.02	1.77	0.040	0.070
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.21	0.38	0.008	0.015
K	2.80	3.30	0.110	0.130
L	7.50	7.74	0.295	0.305
M	0°	10°	0°	10°
S	0.51	1.01	0.020	0.040

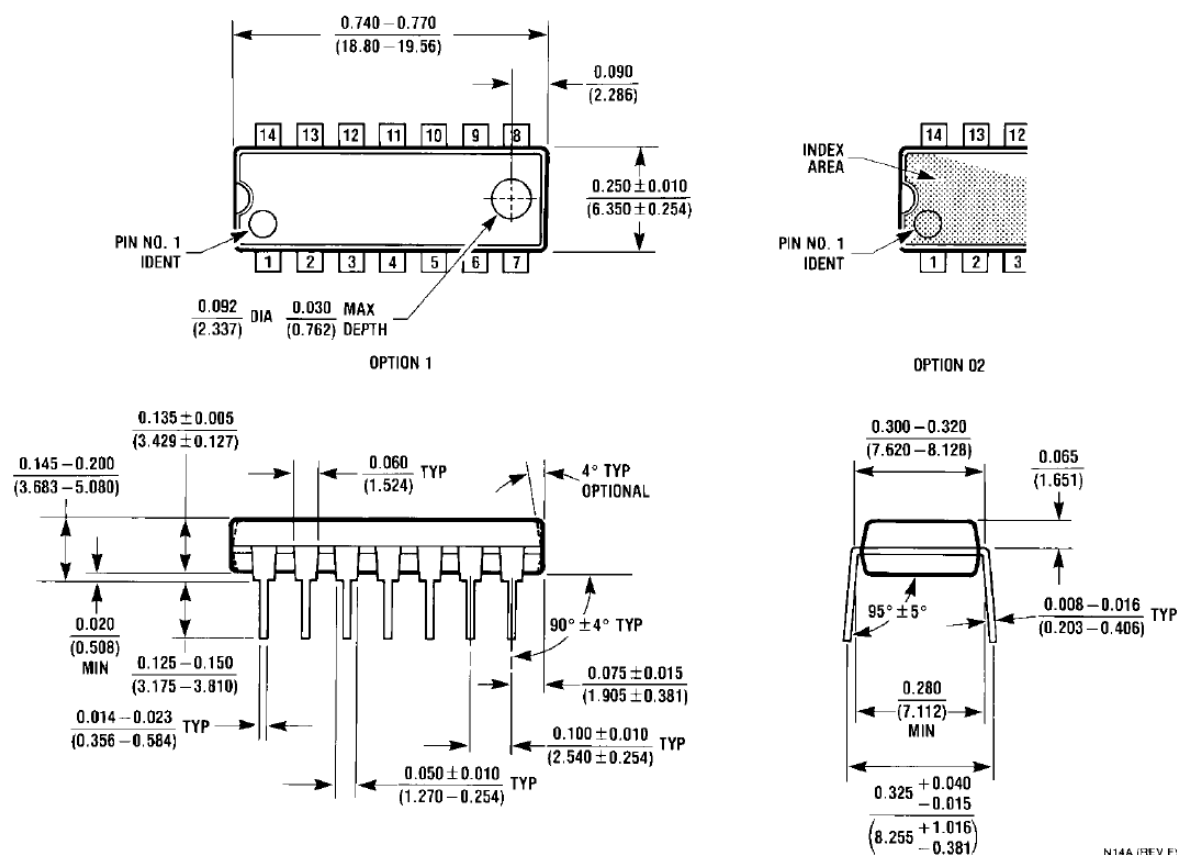


N16E (REV F)

Connection Diagram

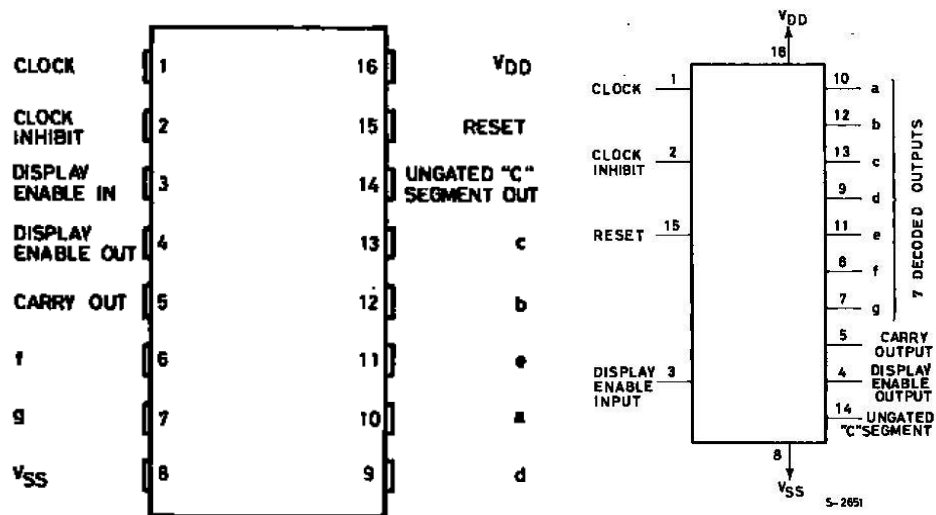


Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



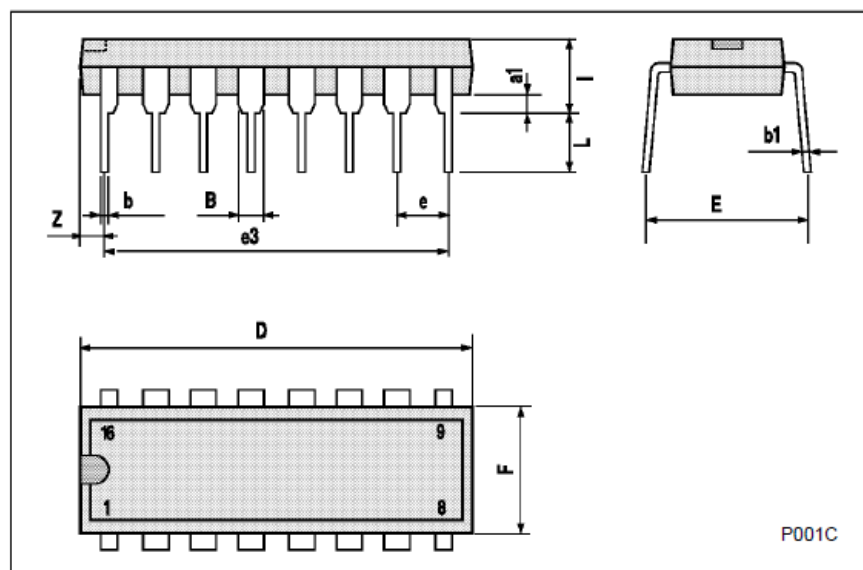
N14A (REV F)

N₂₀ HCC4026



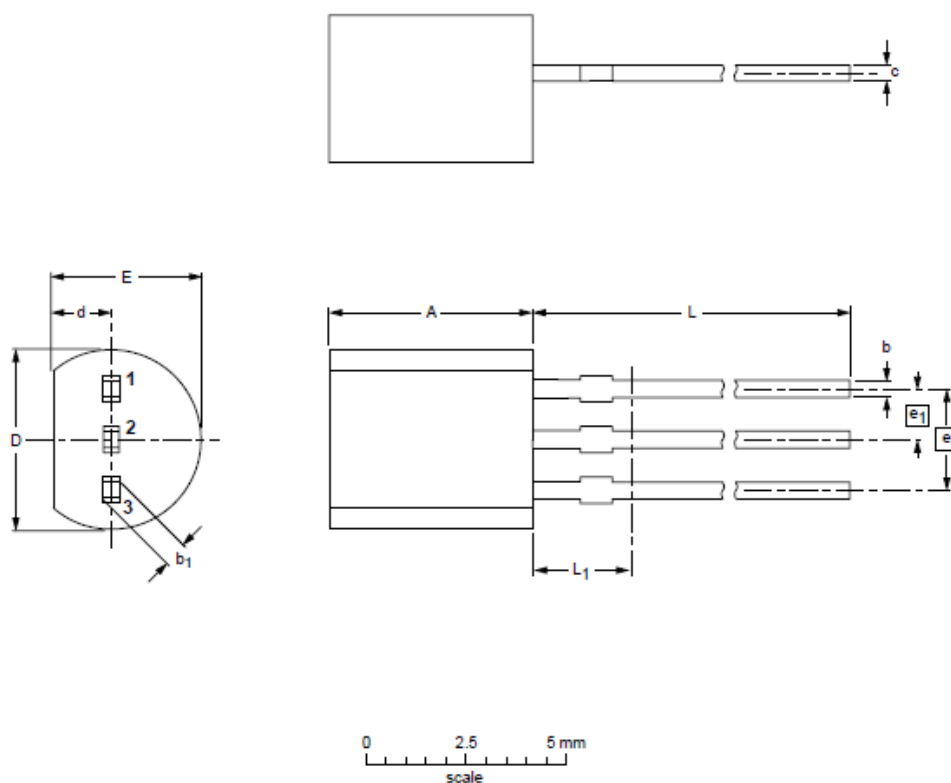
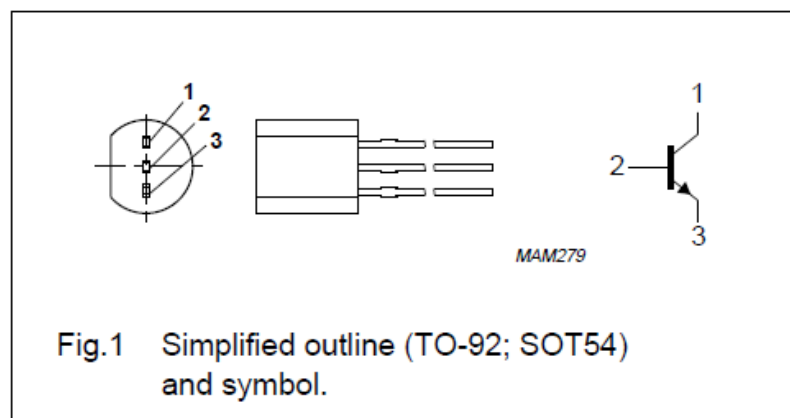
Plastic DIP16 (0.25) MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050



ПРИЛОЖЕНИЕ В **СПЕЦИФИКАЦИИ ТРАНЗИСТОРОВ** **№1 2N45551**

PIN	DESCRIPTION
1	collector
2	base
3	emitter



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b	b ₁	c	D	d	E	e	e ₁	L	L ₁ ⁽¹⁾
mm	5.2 5.0	0.48 0.40	0.66 0.56	0.45 0.40	4.8 4.4	1.7 1.4	4.2 3.6	2.54 2.54	1.27 1.27	14.5 12.7	2.5

№2 2N3904

PIN	DESCRIPTION
1	collector
2	base
3	emitter

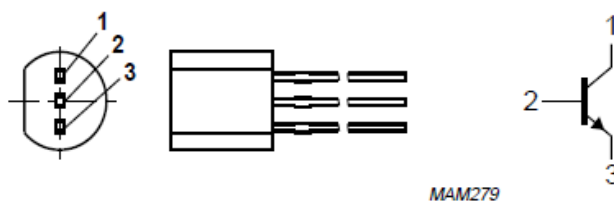
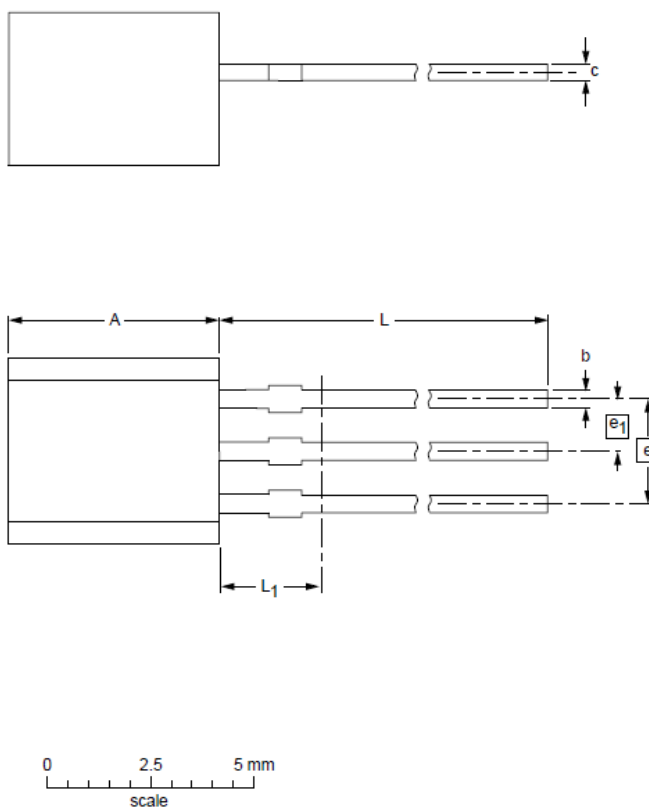


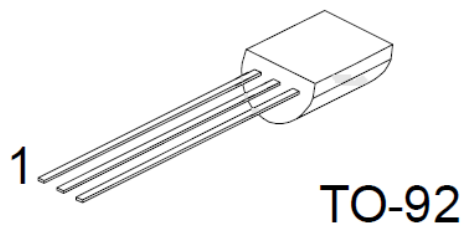
Fig.1 Simplified outline (TO-92; SOT54) and symbol.



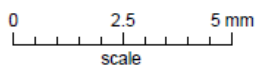
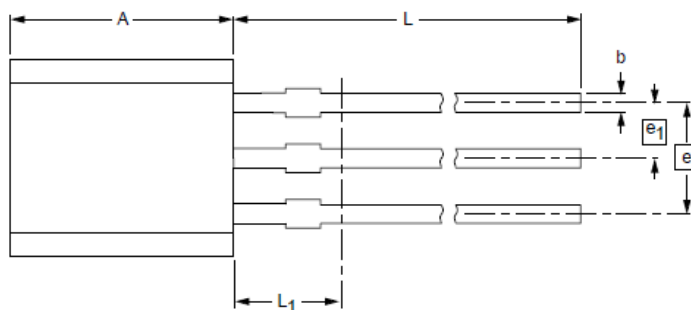
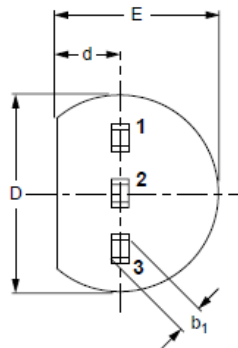
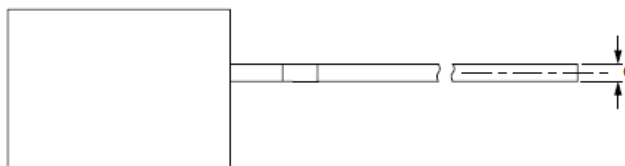
DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b	b ₁	c	D	d	E	e	e ₁	L	L ₁ ⁽¹⁾
mm	5.2 5.0	0.48 0.40	0.66 0.56	0.45 0.40	4.8 4.4	1.7 1.4	4.2 3.6	2.54	1.27	14.5 12.7	2.5

№3 2N3904



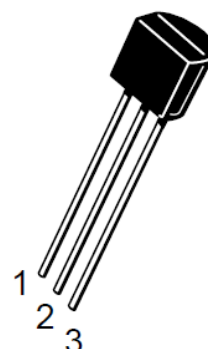
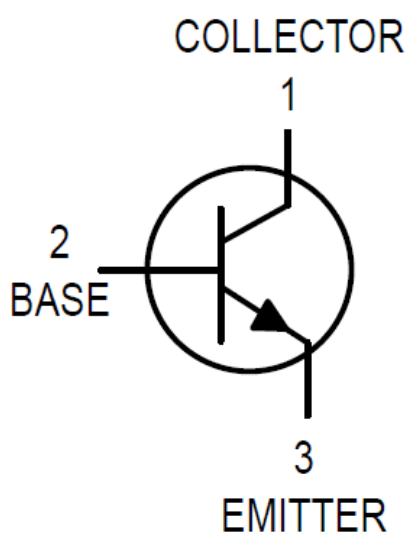
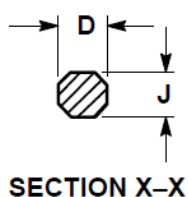
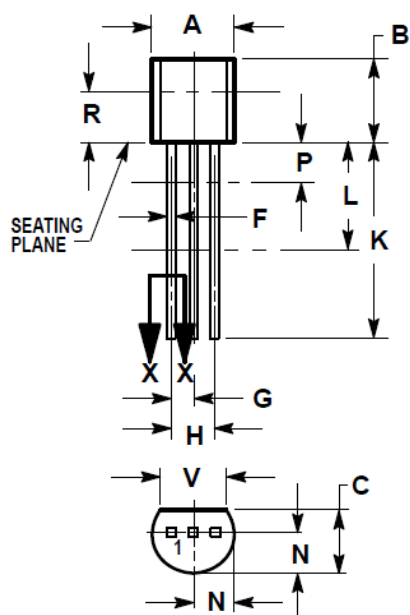
Pin Assignment		
1	2	3
B	C	E



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b	b ₁	c	D	d	E	e	e ₁	L	L ₁ ⁽¹⁾
mm	5.2 5.0	0.48 0.40	0.66 0.56	0.45 0.40	4.8 4.4	1.7 1.4	4.2 3.6	2.54	1.27	14.5 12.7	2.5

№4 2N3904


CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)


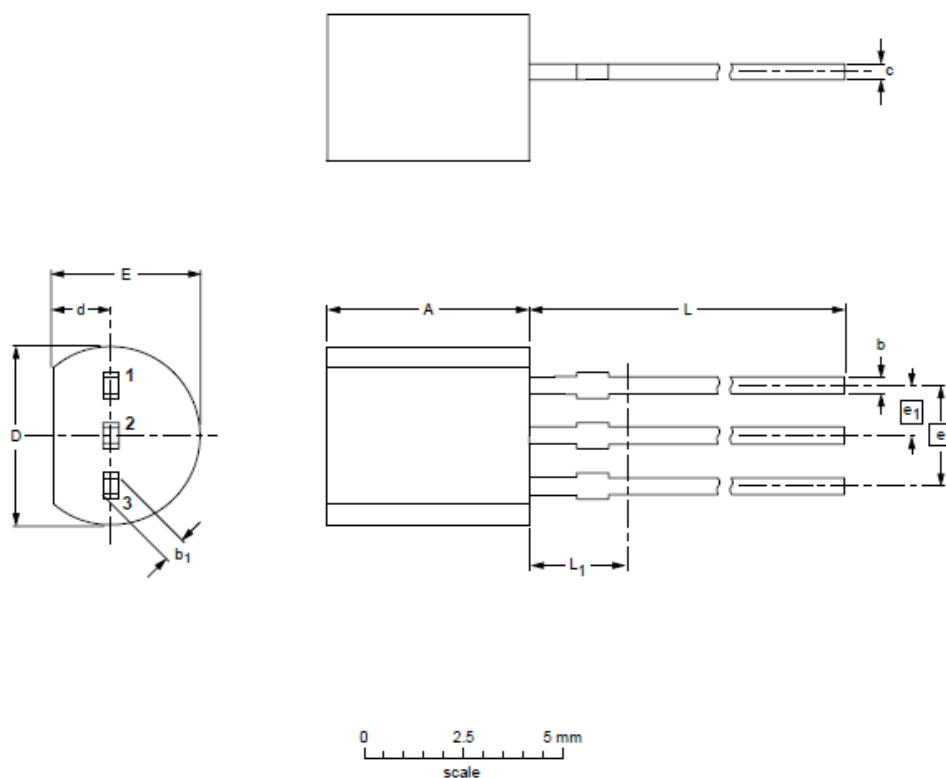
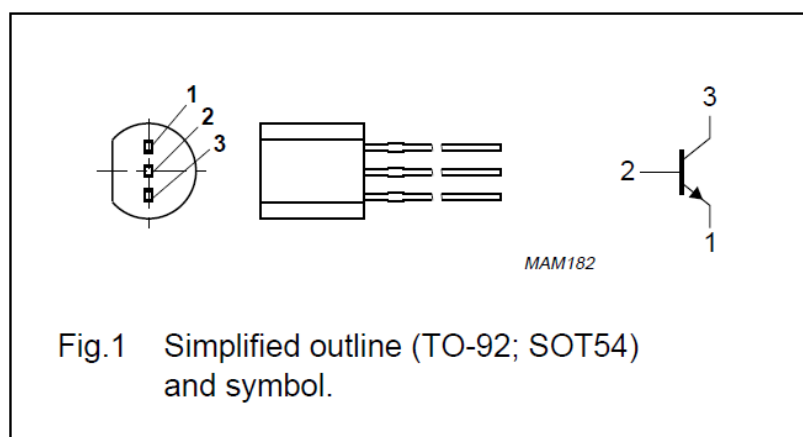
NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K MINIMUM. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.022	0.41	0.55
F	0.016	0.019	0.41	0.48
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

№5 BC550

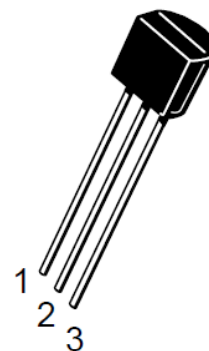
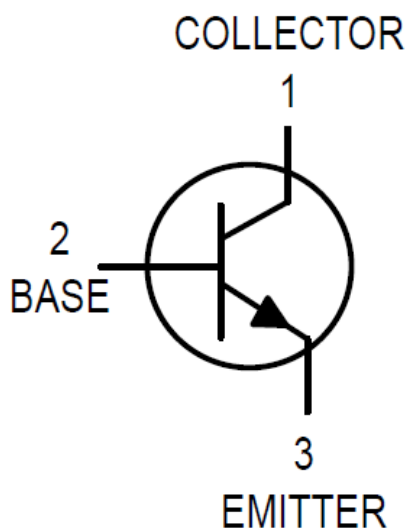
PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector



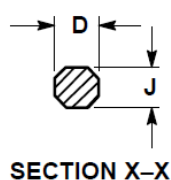
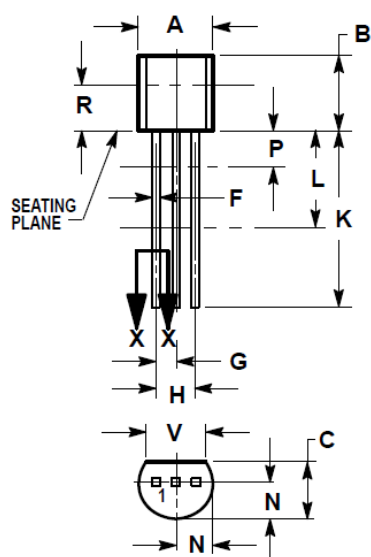
DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b	b ₁	c	D	d	E	e	e ₁	L	L ₁ (1)
mm	5.2 5.0	0.48 0.40	0.66 0.56	0.45 0.40	4.8 4.4	1.7 1.4	4.2 3.6	2.54	1.27	14.5 12.7	2.5

№6 BC560C



CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)

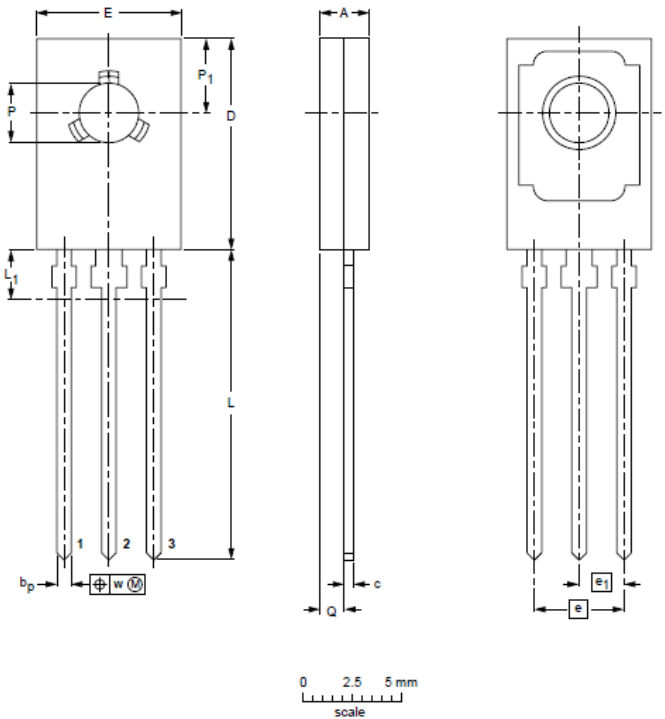
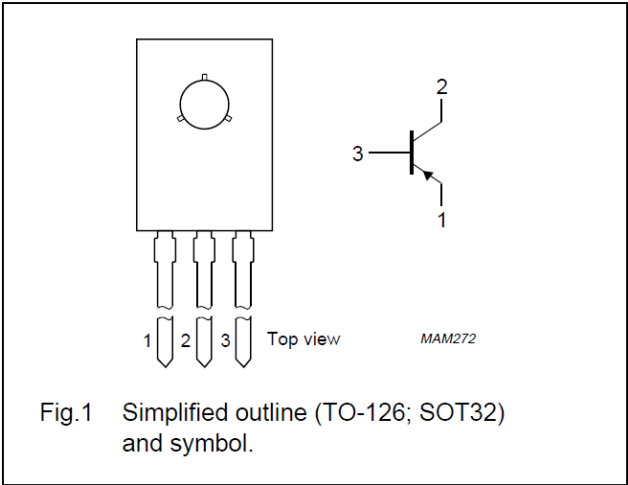


NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K. MINIMUM LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.022	0.41	0.55
F	0.016	0.019	0.41	0.48
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	collector, connected to metal part of mounting surface
3	base



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

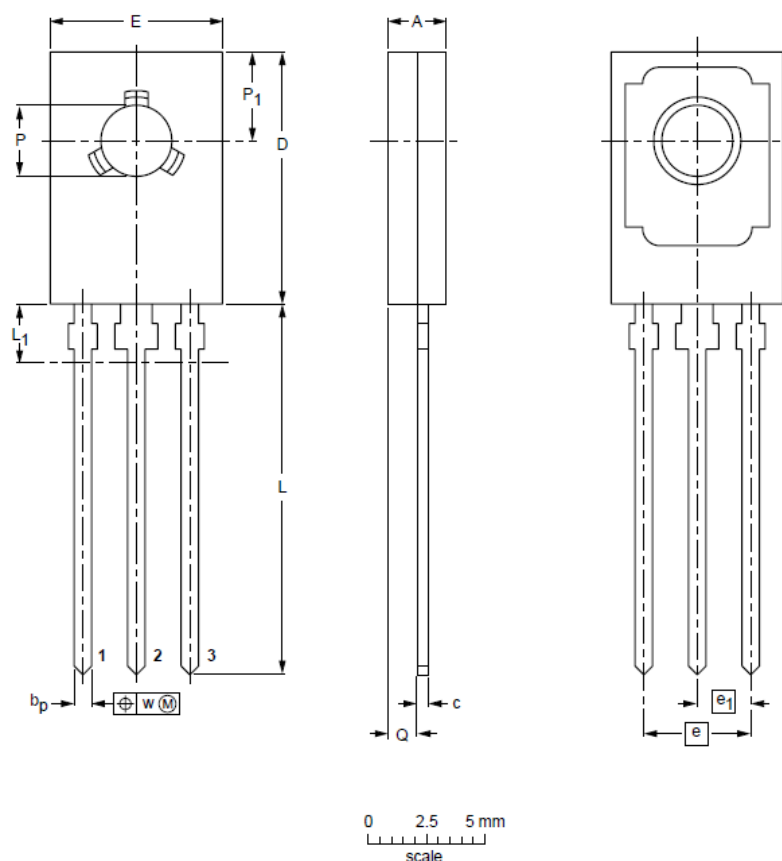
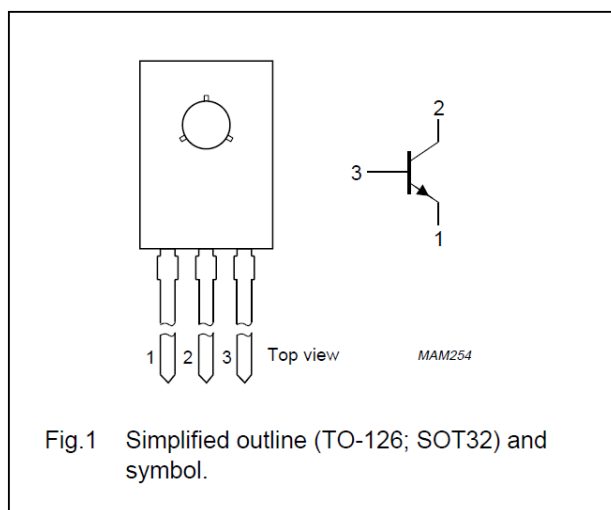
UNIT	A	b _p	c	D	E	e	e ₁	L	L ₁ ⁽¹⁾ max	Q	P	P ₁	w
mm	2.7 2.3	0.88 0.65	0.60 0.45	11.1 10.5	7.8 7.2	4.58	2.29	16.5 15.3	2.54	1.5 0.9	3.2 3.0	3.9 3.6	0.254

Note

1. Terminal dimensions within this zone are uncontrolled to allow for flow of plastic and terminal irregularities.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT32		TO-126				97-03-04

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	collector, connected to metal part of mounting surface
3	base

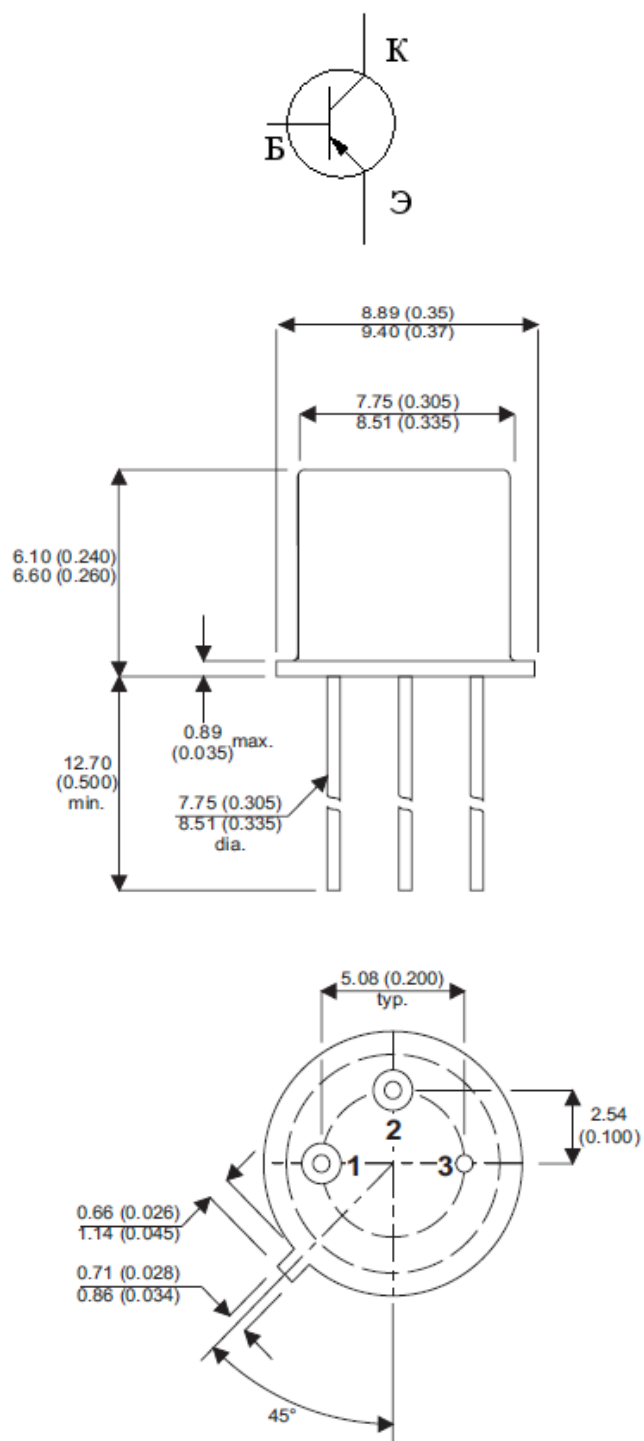


DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b _p	c	D	E	e	e ₁	L	L ₁ (1) max	Q	P	P ₁	w
mm	2.7 2.3	0.88 0.65	0.60 0.45	11.1 10.5	7.8 7.2	4.58	2.29	16.5 15.3	2.54	1.5 0.9	3.2 3.0	3.9 3.6	0.254

№9 BFX29

PNP SILICON EPITAXIAL TRANSISTOR

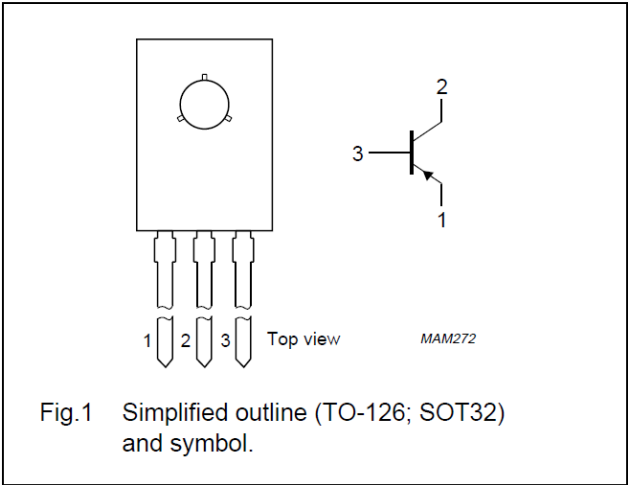


TO39 PACKAGE

Pin 1 = Emitter Pin 2 = Base Pin 3 = Collector

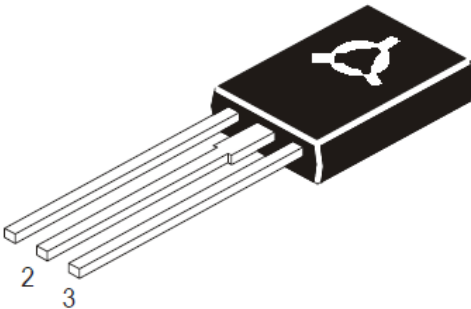
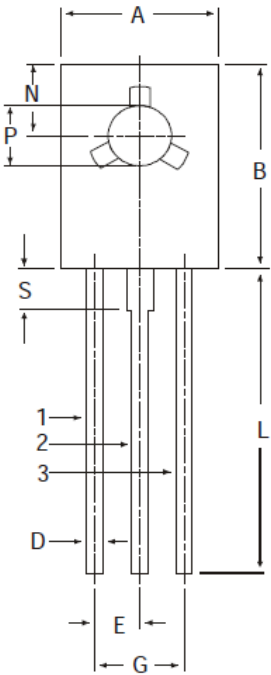
№10 BFX29

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	collector, connected to metal part of mounting surface
3	base



**TO126
Plastic Package**

TO-126 (SOT-32) Plastic Package



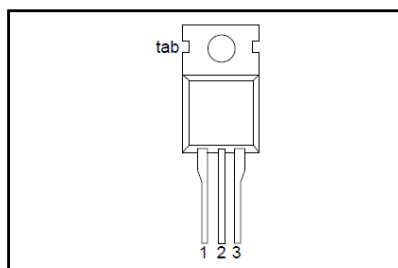
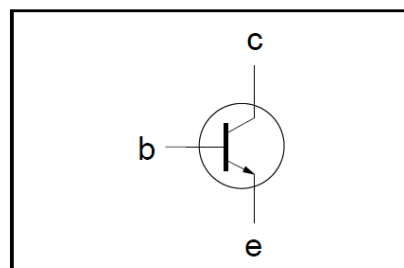
- Pin Configuration
- 1. Emitter
 - 2. Collector
 - 3. Base

DIM	MIN	MAX
A	7.4	7.8
B	10.5	10.8
C	2.4	2.7
D	0.7	0.9
E	2.25 TYP.	
F	0.49	0.75
G	4.5 TYP.	
L	15.7 TYP.	
M	1.27 TYP.	
N	3.75 TYP.	
P	3.0	3.2
S	2.5 TYP.	

All diminsions in mm.

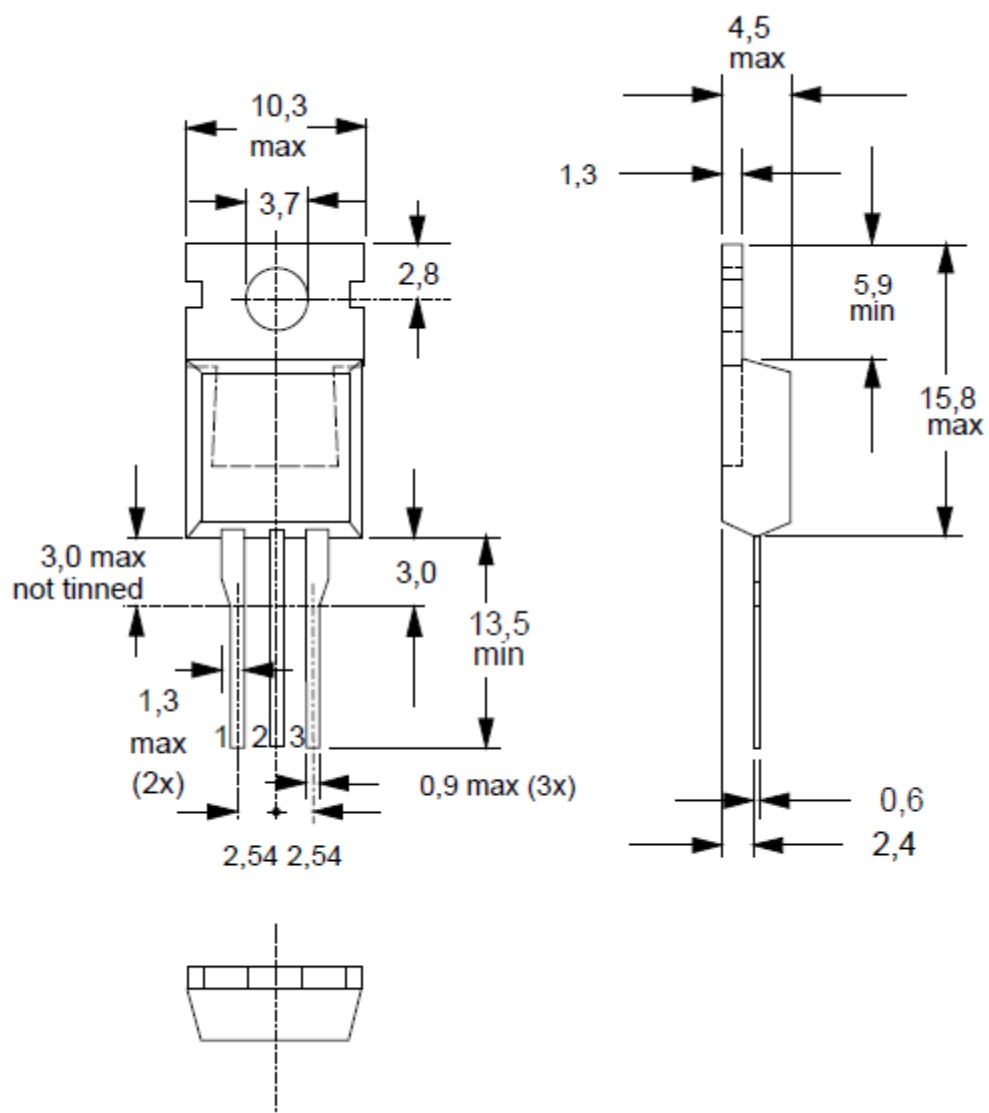
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	base
2	collector
3	emitter
tab	collector

PIN CONFIGURATION**SYMBOL**

Dimensions in mm

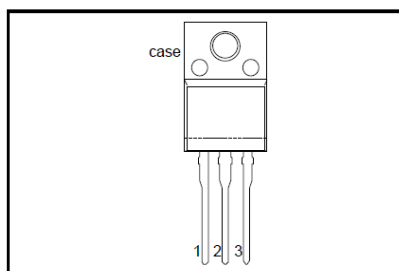
Net Mass: 2 g



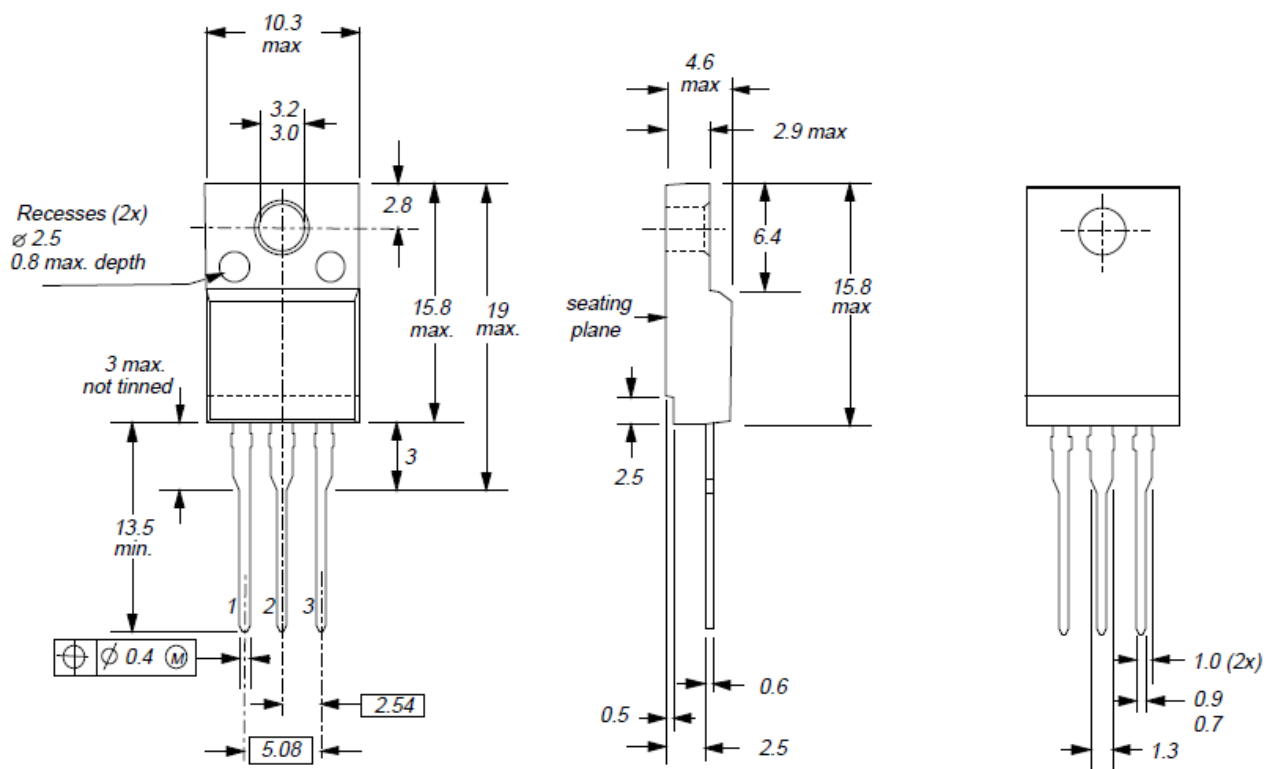
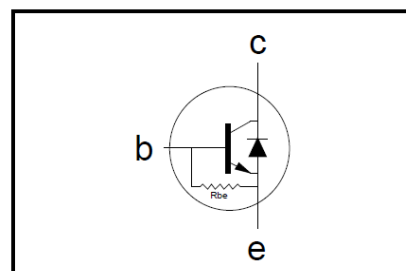
PINNING - SOT186A

PIN	DESCRIPTION
1	base
2	collector
3	emitter
case	isolated

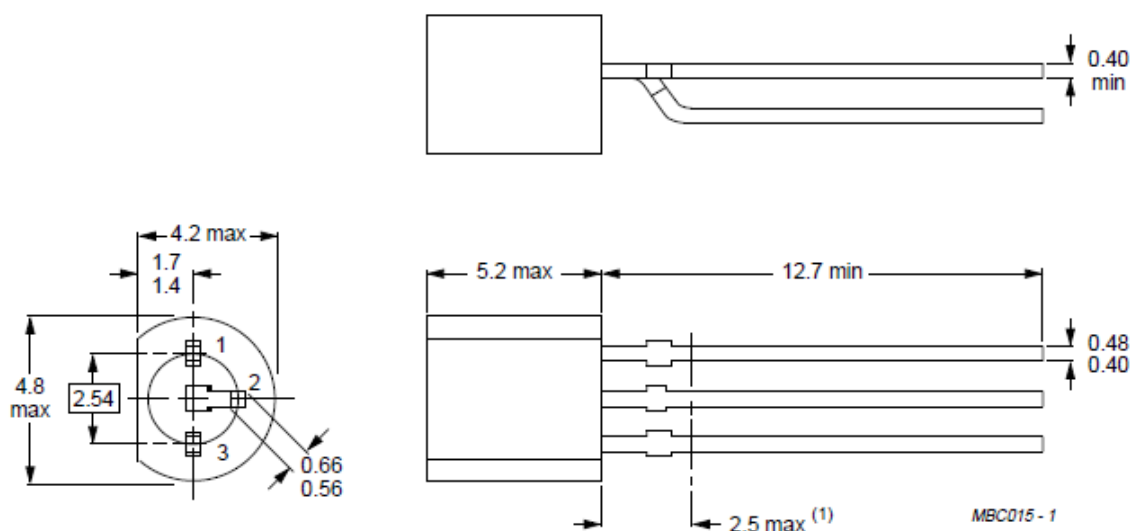
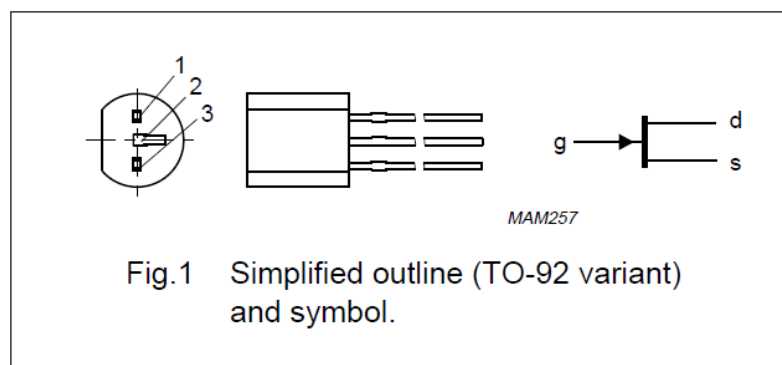
PIN CONFIGURATION



SYMBOL



PIN	SYMBOL	DESCRIPTION
BF246A; BF246B; BF246C		
1	d	drain
2	g	gate
3	s	source



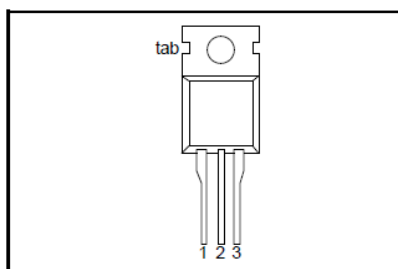
Dimensions in mm.

(1) Terminal dimensions in this zone are uncontrolled.

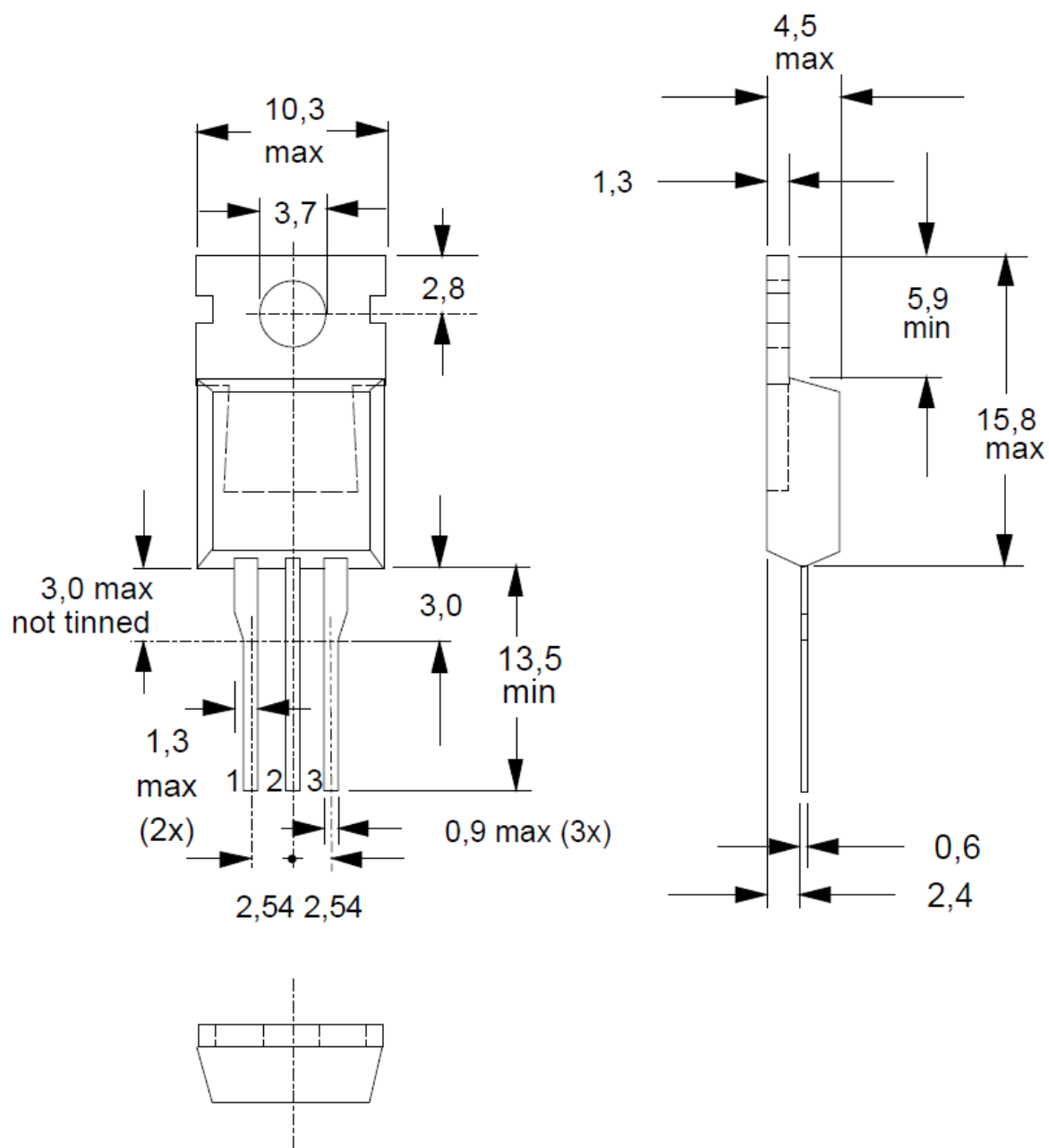
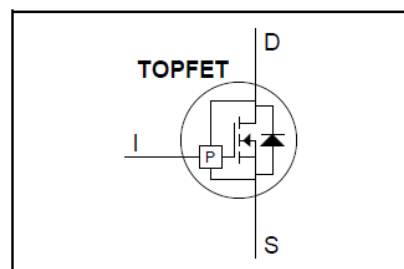
PINNING - TO220AB

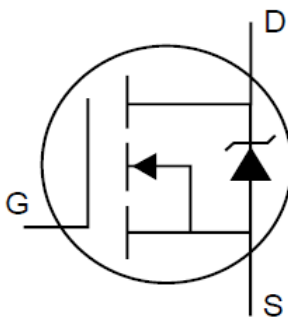
PIN	DESCRIPTION
1	input
2	drain
3	source
tab	drain

PIN CONFIGURATION



SYMBOL

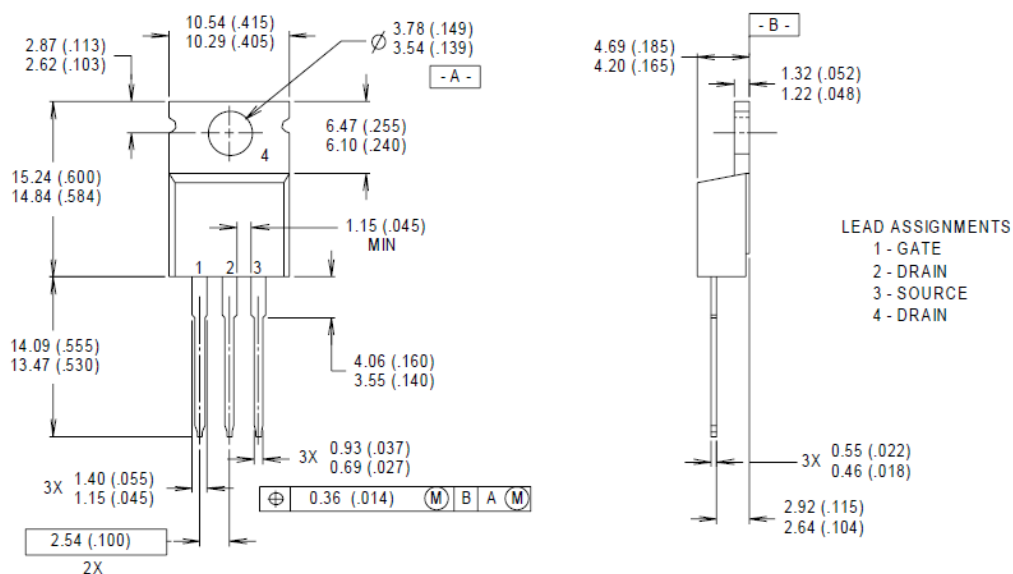




Package Outline

TO-220AB Outline

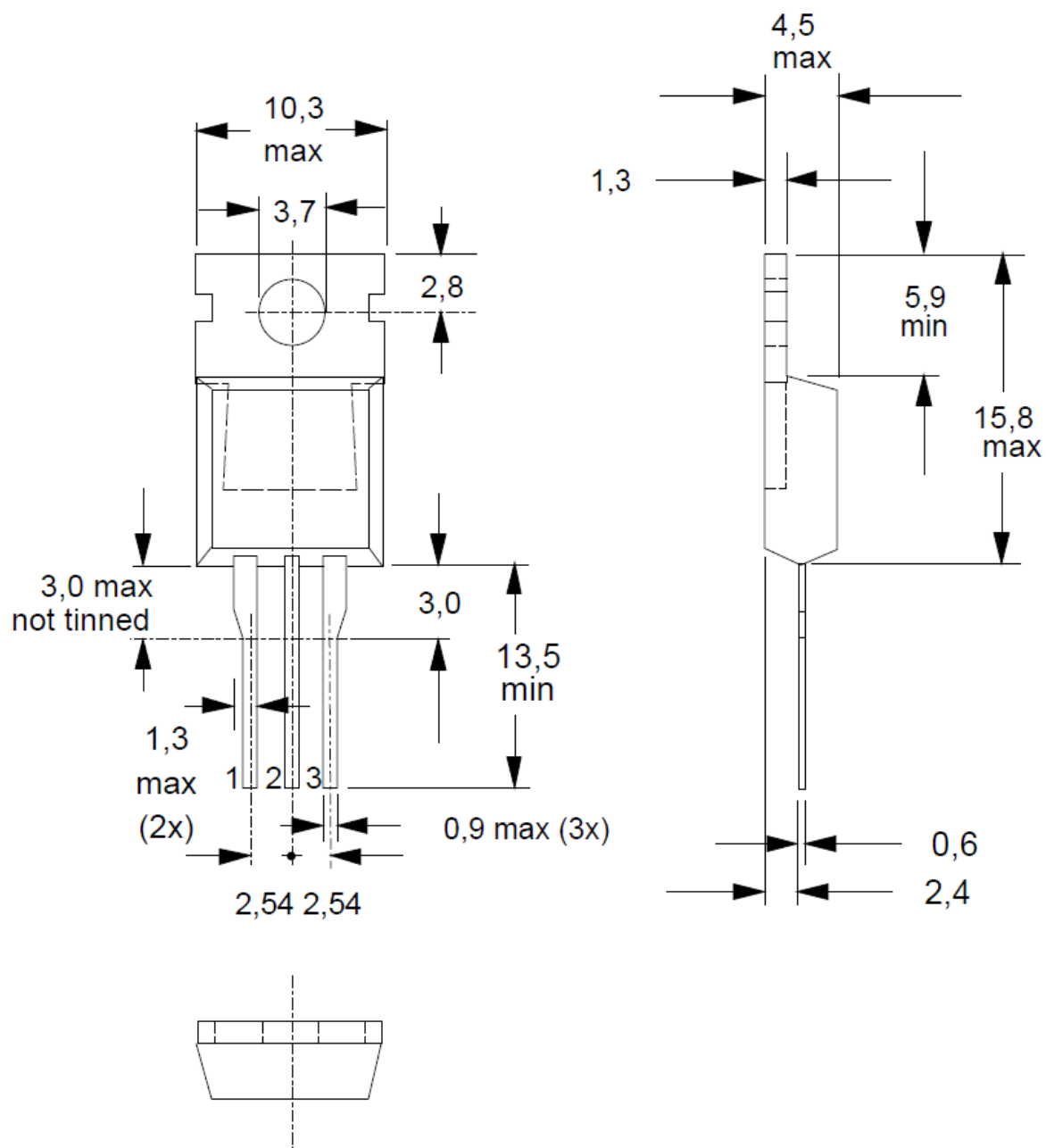
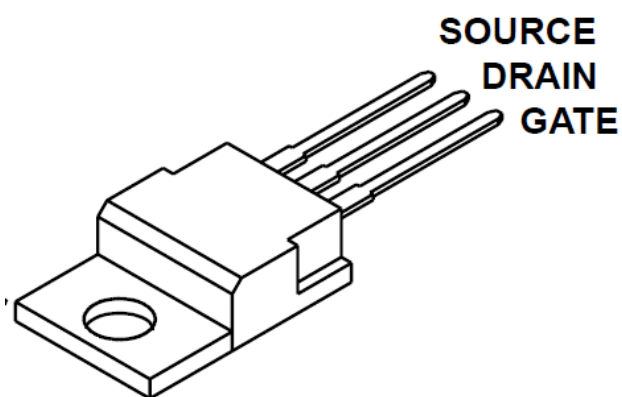
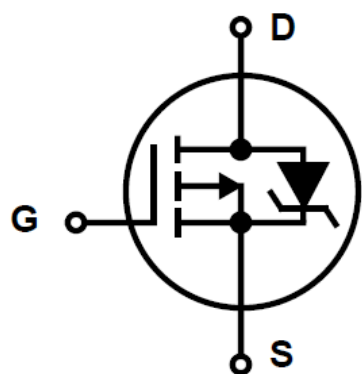
Dimensions are shown in millimeters (inches)



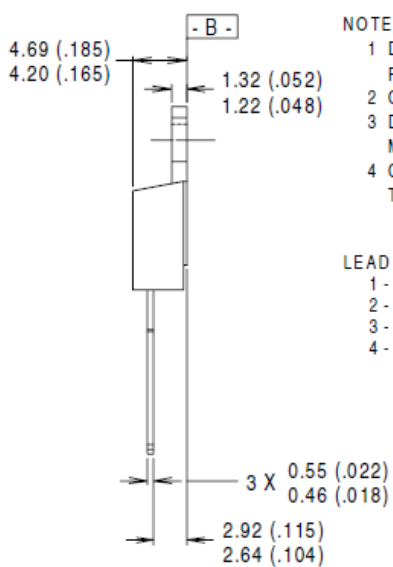
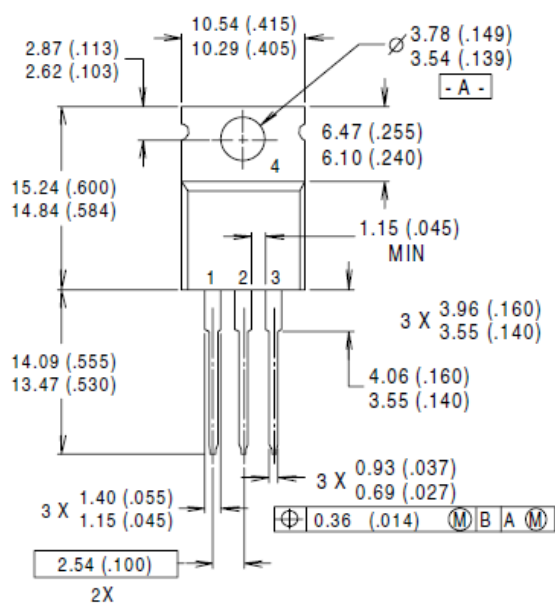
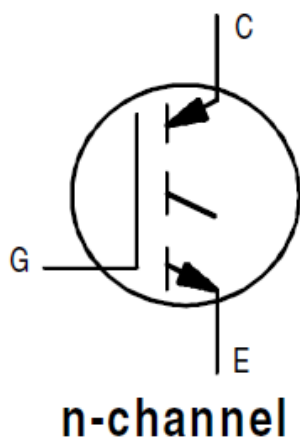
NOTES:

- 1 DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
- 2 CONTROLLING DIMENSION : INCH

- 3 OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-220AB.
- 4 HEATSINK & LEAD MEASUREMENTS DO NOT INCLUDE BURRS.



№18 IRFZ44



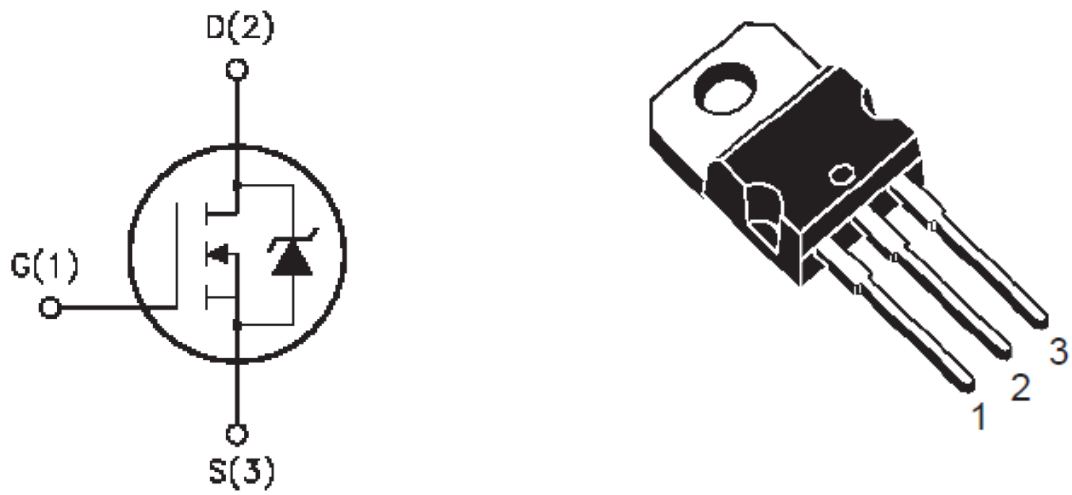
NOTES:

- 1 DIMENSIONS & TOLERANCING
PER ANSI Y14.5M, 1982.
- 2 CONTROLLING DIMENSION : INCH.
- 3 DIMENSIONS ARE SHOWN
MILLIMETERS (INCHES).
- 4 CONFORMS TO JEDEC OUTLINE
TO-220AB.

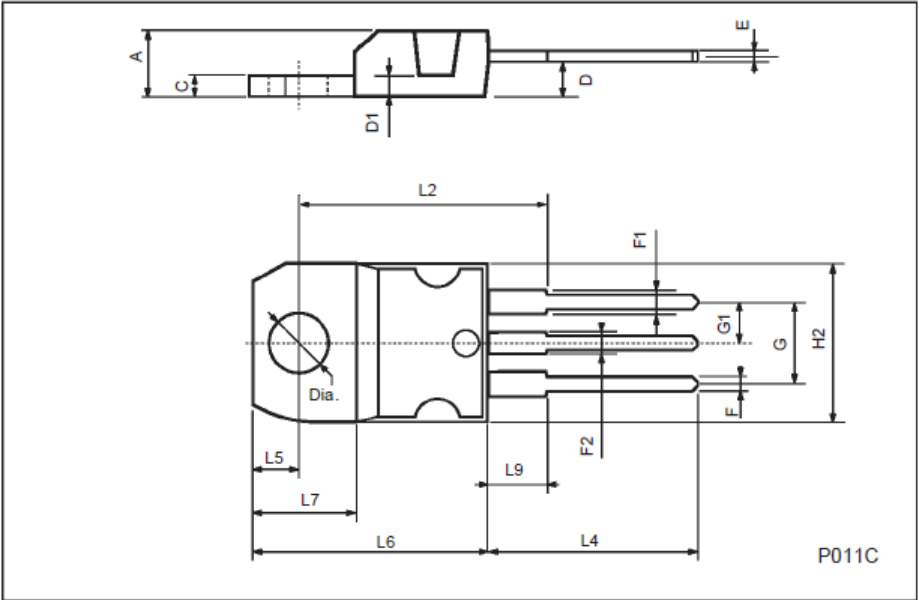
LEAD ASSIGNMENTS

- 1 - GATE
- 2 - COLLECTOR
- 3 - EMITTER
- 4 - COLLECTOR

№20 MTP3055F



DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
C	1.23		1.32	0.048		0.051
D	2.40		2.72	0.094		0.107
D1		1.27			0.050	
E	0.49		0.70	0.019		0.027
F	0.61		0.88	0.024		0.034
F1	1.14		1.70	0.044		0.067
F2	1.14		1.70	0.044		0.067
G	4.95		5.15	0.194		0.203
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H2	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16.4			0.645	
L4	13.0		14.0	0.511		0.551
L5	2.65		2.95	0.104		0.116
L6	15.25		15.75	0.600		0.620
L7	6.2		6.6	0.244		0.260
L9	3.5		3.93	0.137		0.154
DIA.	3.75		3.85	0.147		0.151



ПРИЛОЖЕНИЕ Г УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Резистор постоянный	Резистор постоянный	Резистор переменный	Резистор переменный двойной	Резистор переменный с замыкающим контактом	Резистор подстроечный
Резисторы нелинейные: терморезистор и варистор	Конденсатор постоянной емкости	Конденсаторы оксидные полярный и неполярный	Конденсатор подстроечный	Конденсатор переменной емкости (КПЕ)	Двойной блок КПЕ
Конденсаторы проходной и опорной	Катушка индуктивности, дроссель (L3 — с отводами)	Катушка, дроссель с магнитопроводом (L7 — с медным)	Трансформатор с тремя обмотками и электроста- тическим экраном	Диод, диодный мост	Стабилитрон (VD8 — двухходовый)
Диод Шоттки (VD9), ограничительный (VD10), варикап (VD11)	Варикапная матрица	Динистор (VS1), тристор (VS2, VS3), симистор (VS4)	Транзистор p-n-p	Транзистор n-p-n	Транзистор однопереходный
Транзистор полевой с p-каналом	Транзистор полевой с изолированным затвором и p-каналом	Транзистор полевой с двумя изолированными затворами и n-каналом	Фоторезистор	Фото- и светодиод	Фототранзистор
Оптрон резисторный	Оптрон диодный	Оптрон тиристорный	Оптрон транзисторный	Триод	Двойной триод
Пентод	Контакт замыкающий (выключатель)	Контакт размыкающий	Контакт переключающий	Геркон	Переключатель 2ПЗН
Переключатель 6П1Н	Переключатель 3П2Н (среднее положение — нейтральное)	Выключатель и переключатель кнопочные (с самовозвратом)	Выключатель и переключатель кнопочные с возвра- том в исх. положение повторным нажатием	Штырь и гнездо разъе- много соединителя (XW1— XW4 — коаксиального)	Вилка и розетка разъемного соединителя

