

# 1 Lichtmessung mittels LED's

Hierbei geht es darum Licht mittels einer LED Licht zu messen. Ziel der Übung ist es eine LED oder vielleicht eine Lampe mittel Catroid ein bzw. auszuschalten. Da wir eine Testdriven Programmierstruktur haben, werde ich versuchen mittels Hardware nachzuweisen ob Licht eingeschaltet ist oder nicht.

## 1.1 Beweisführung durch Hardware

Hierfür habe ich eine Darlington-Schaltung verwendet und benutze eine LED als Lichtsensor. Dieser Lichtsensor steuert die Helligkeit einer LED. Wenn Licht auf den Sensor fällt, geht sie an, bei Dunkelheit bleibt sie aus. Eigentlich fließt durch eine Diode praktisch kein Strom, wenn sie in Sperrrichtung an eine Spannung gelegt wird. Tagsächlich findet man jedoch einen sehr kleinen Sperrstrom z.B. im Bereich von weniger Nanoampere, der im Normalfall zu vernachlässigen ist. Die hohe Verstärkung der Darlington-Schaltung erlaubt jedoch Experimente mit extrem kleinen Strömen. So ist z.B. der Sperrstrom einer Leuchtdiode selbst von der Beleuchtung abhängig. Eine LED ist damit zugleich eine Fotodiode. Der äußerst kleine Fotostrom der grüne LED wird mit zwei Transistoren so weit verstärkt, dass die rote Led Leuchtet.

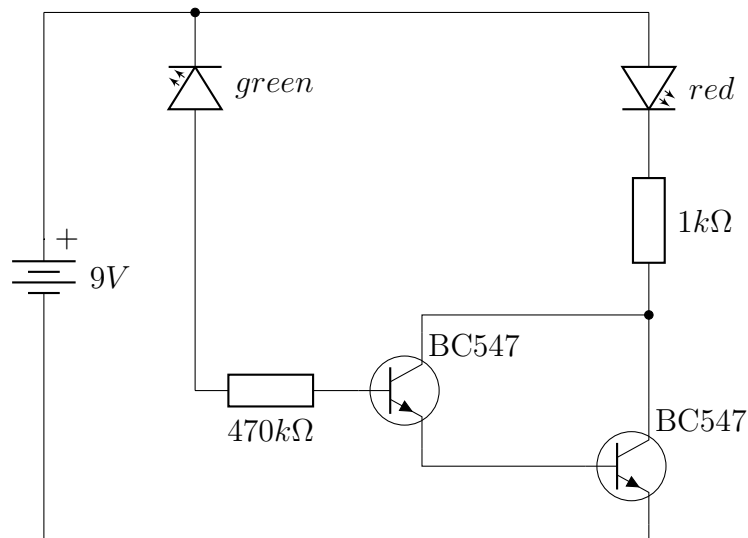


Abbildung 1: Verstärkung des LED-Sperrstroms mittels Darlington-Schaltung

Mittels diese Schaltung konnte man sehr gut sehen, wie schnell und wie die verschiedenen Abstufungen des Lichteinfalls durch die Verstärkerschaltung umgesetzt werden.

## 1.2 Beweisführung mittel Microcontroller

Hierfür habe ich den Microcontroller des Arduinoboards verwendet. Der Aufbau der Schaltung mittels Arduino und Schaltungsboard wurde folgendermaßen gemacht.

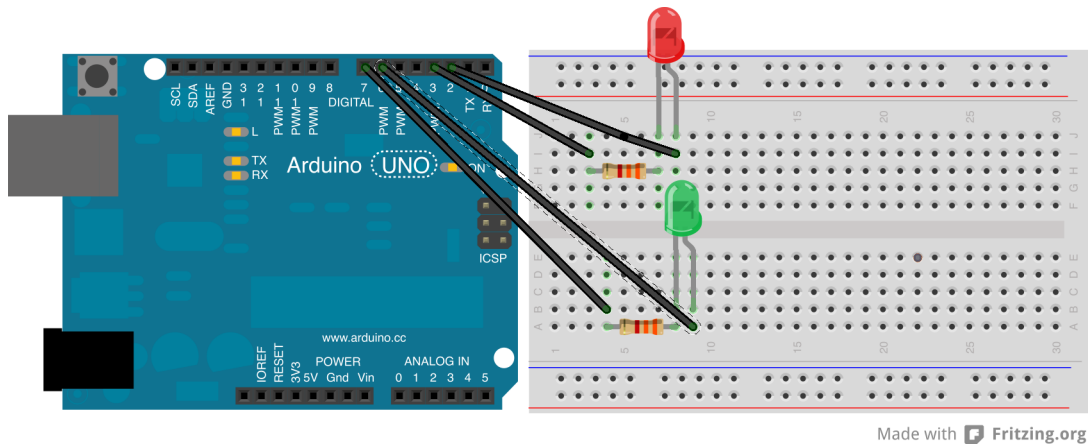


Abbildung 2: Lichtmessung via Arduinoboard und LED

Auch in diesem Versuchsaufbau wurde die Grüne LED in Sperrrichtung geschaltet. Darum kann die LED nicht leuchten, aber sie lädt sich an der N Seite auf. Diese Ladung kann man messen. Dabei tritt noch ein weiterer Effekt auf, durch Licht baut sich die Ladung schneller ab. Dies kann man nun verwenden und am Eingang die Zeit messen bis dieser auf logisch LOW geht. Anhand der Zeit kann man dann ablesen wie hell die LED beleuchtet wurde.

Mit der Zeit muß man ein wenig experimentieren, die ist je nach verwendeter LED unterschiedlich.

Der dafür notwendige Sourcecode stammt aus dem Arduino File: *“LED\_Lichtmesser\_Sensor.ino”*

```
static int LED1_Neg=6;
static int LED1_Pos=7;
static int LED2_Neg=2;
static int LED2_Pos=3;

void setup(){
  Serial.begin(9600); // um beobachten zu können wie sich die LED verhält kann später
  pinMode(LED2_Neg,OUTPUT);
  pinMode(LED2_Pos,OUTPUT);
```

```

}

void loop(){
    unsigned long zeit;
    //led 1 verkehrt herum geschaltet und aufladen
    pinMode(LED1_Neg,OUTPUT);
    pinMode(LED1_Pos,OUTPUT);
    digitalWrite(LED1_Neg,HIGH);
    digitalWrite(LED1_Pos,LOW);
    //n Seite der led zum eingang
    pinMode(LED1_Neg,INPUT);
    digitalWrite(LED1_Neg,LOW);
    //zeit messen bis low
    zeit=millis();
    while(digitalRead(LED1_Neg)==HIGH);
    zeit=millis()-zeit;
    //ausgabe an rechner
    Serial.print("TIME from high to low: ");
    Serial.println(zeit);

    if(zeit<5) {
        digitalWrite(LED2_Pos,HIGH); // Die zweite LED an
        digitalWrite(LED2_Neg,LOW);
    }
    else {
        digitalWrite(LED2_Pos,LOW); // oder aus
        digitalWrite(LED2_Neg,LOW);
    }
}

```

### 1.3 Weiterentwicklung der Beweisführung durch Hardware

Hier für wurde die Leuchtdiode, welche in Sperrrichtung geschaltet wurde durch einen Fototransistor (Siemens NPN-Silizium-Fototransistor BPX 81) ersetzt. Da dies ein Fototransistor ist kann in der neuen Schaltung auf einen Transistor verzichtet werden.

Hierbei konnte eine schnelle Reaktion des Phototransistors auf Lichteinwirkung fest-

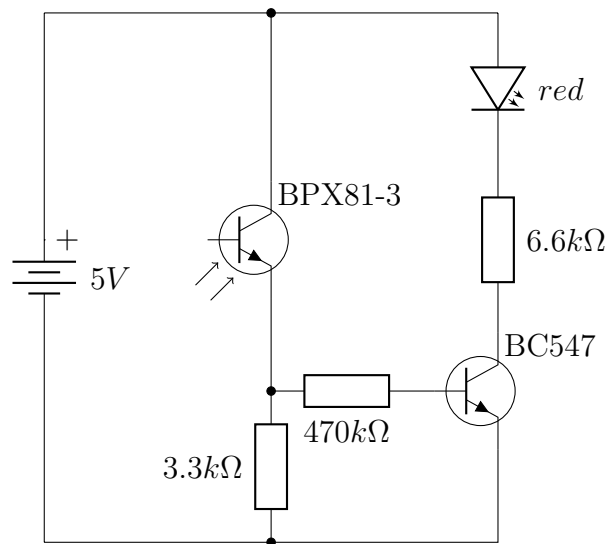


Abbildung 3: Darlington-Schaltung mit Phototransistor

gestellt werden. Die rote LED leuchtet immer intensiver je mehr Licht auf den Phototransistor einfällt. Somit kann gut gemessen werden ob Licht bzw. eine Leuchte leuchtet oder nicht.

Da der Phototransistor seine beste Leistung bei 850nm hat, siehe A.2, wurden weitere Tests mit einer Infrarot-Fernbedienung gemacht.

Der dafür notwendige Sourcecode stammt aus dem Arduino File: *“Is\_there\_light.ino”*

```
int sensePin = 3;

void setup()
{
  analogReference(DEFAULT);
  Serial.begin(115200);
}

void loop()
{
  //between 0 and 5 Volts are the values 0 to 1023
  Serial.println(analogRead(sensePin));
  //make decision if light is on or not
  if (analogRead(sensePin) > 0)
```

```

{
  Serial.println("There is light");
}
elseif (analogRead(sensePin) == 0)
{
  Serial.println("There is no light");
}
else
{
  Serial.print("Unkonwn !!!");
}
delay(20);
}

```

Der Versuchsaufbau sieht folgendermaßen aus:

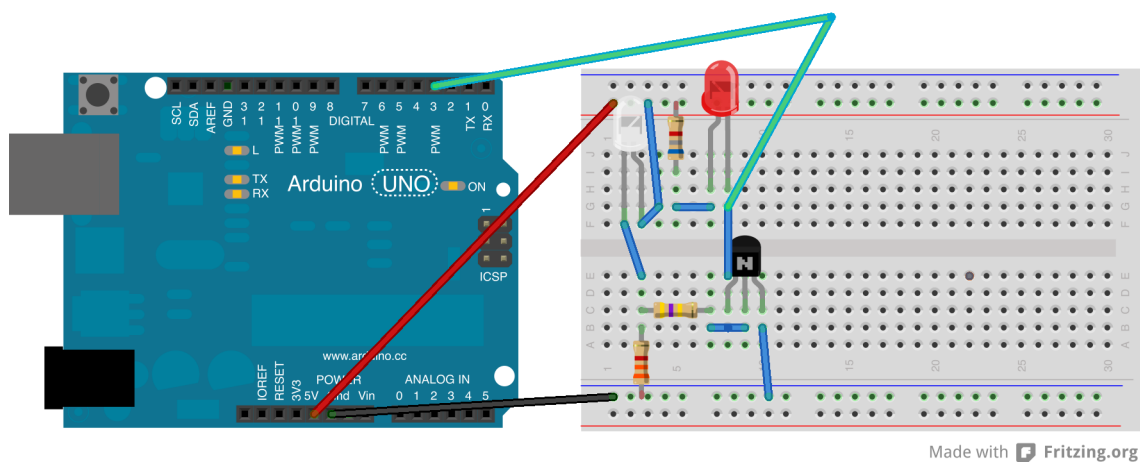


Abbildung 4: Lichtmessung via Arduinoboard und Darlington-Schaltung mit Phototransistor

## 1.4 Optimierung des Lichtmesser

Da bei der Darlington-Schaltung mit Phototransistor nur analog das Licht gemessen werden konnte, hab ich die Schaltung noch etwas optimiert. Hierbei wurde noch ein OPV dazu geschaltet, damit genau entschieden werden kann, ob Licht vorhanden ist. Da von der Versorgungsspannung 5 Volt geliefert werden, hab ich mich entschieden die Schwellwertspannung auf 2,5 Volt zu setzten. Dies bedeutet, dass ich eine ganz genaue Ent-

scheidung haben wollte. Es muss eine mindest Lichtstärke vorhanden sein, damit ich am Ausgang ein High anliegt und somit der beweis dass Licht leuchtet. Dies geschieht eben genau dann wenn der Phototransistor so viel Licht bekommt dass durch die Verstärkung 2,5 Volt oder hoher entsteht.

Um dies zu verdeutlichen habe ich am Ausgang des OPV's noch eine grüne LED installiert, welche leuchtet, wenn genug Licht gemessen wird. Im Vergleich kann man die rote LED beobachten, welche ja nach Lichtmenge heller oder dunklerleuchtet.

Aufgrund dieser Optimierung ist mir dann eine neue Idee gekommen welche ich dann im nächsten Punkt umgesetzt habe.

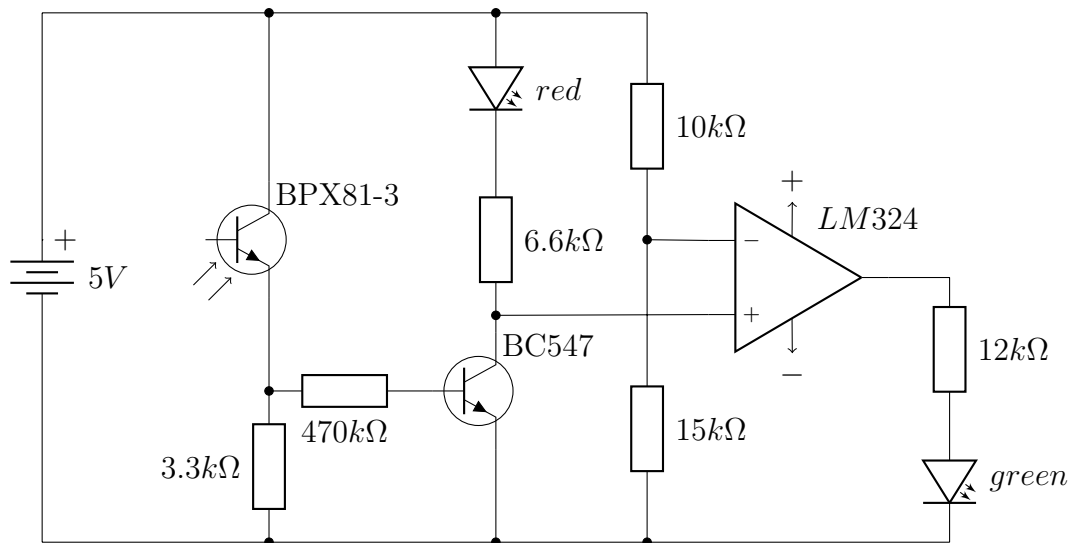


Abbildung 5: Darlington-Schaltung mit Phototransistor und Komparator OPV

Um dies zu verdeutlichen habe ich am Ausgang des OPV's noch eine grüne LED installiert, welche leuchtet, wenn genug Licht gemessen wird. Im Vergleich kann man die rote LED beobachten, welche ja nach Lichtmenge heller oder dunklerleuchtet.

Aufgrund dieser Optimierung ist mir dann eine neue Idee gekommen welche ich dann im nächsten Punkt umgesetzt habe.

## 2 Datensender und Datenempfänger

Dank eines meiner Freunde sind wir auf die Idee gekommen nicht nur Licht zu messen, sondern eventuell auch etwas sinnvolles mit Licht anzustellen. Die Idee besteht darin, dass wenn man mittels des Komparator genau entscheiden kann, ob ein oder aus ist, könnte man doch auch Bits versenden.

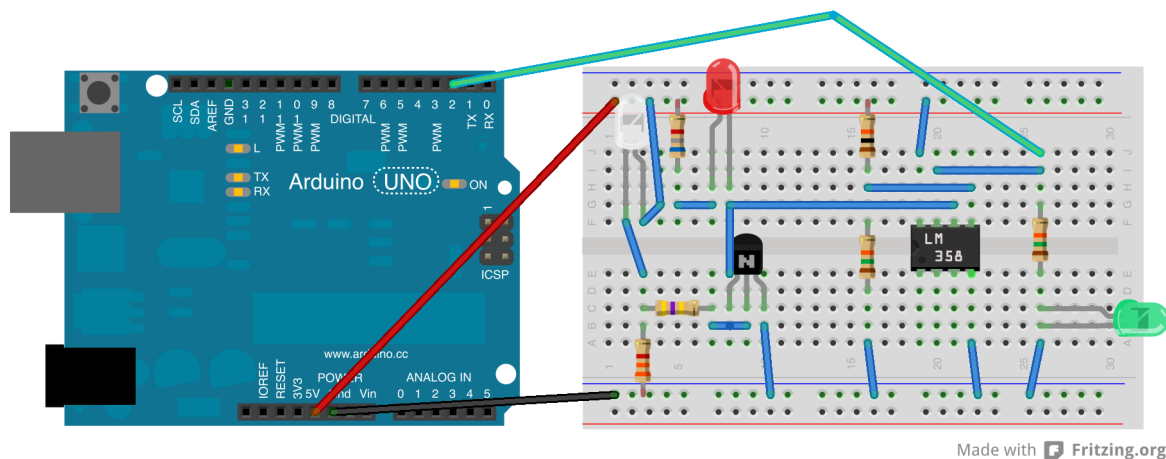


Abbildung 6: Lichtmessung via Arduinoboard und Darlington-Schaltung mit Phototransistor und Komparator

Aus dieser Idee habe ich dann gleich angefangen einen Datenempfänger zu basteln. Ziel ist es mittels zwei Arduinoboards Daten von einem Rechner zu einem anderen über die Lichterücke zu senden.

## 2.1 Hardware

Aufgrund dessen, dass es bei der Lichterücke keine Sicherheitsabfragen gibt, muss die Sende-LED direkt genau über dem Phototransistor platziert werden. Es könnten sonst Bits verloren gehen. Dieser Fehler würde dann zu einer Fehlübertragung kommen, dh das gesendet kann nicht mehr richtig zusammen gesetzt werden. Sollt man noch Sicherheitsratfragen machen wollen, würde es wahrscheinlich den Rahmen meiner Arbeit sprengen. Im Grunde soll ja nur gezeigt werden, dass es recht einfach geht, Daten über eine Lichtbrücke zu versenden.

Um das ganze zu vereinfachen habe ich die Sende-LED und den Empfängertransistor gemeinsam auf das Breadboard gesteckt.

An der Darlington-Schaltung mit Phototransistor und Komparator wurde so weit nichts verändert. Es werden lediglich einen weitere LED mit Vorwiderstand und zwei Arduinoboards benötigt, welche dann von Rechner A nach Rechner B Daten senden. Um das ganze etwas zu veranschaulichen habe ich hier den Schaltungsaufbau.

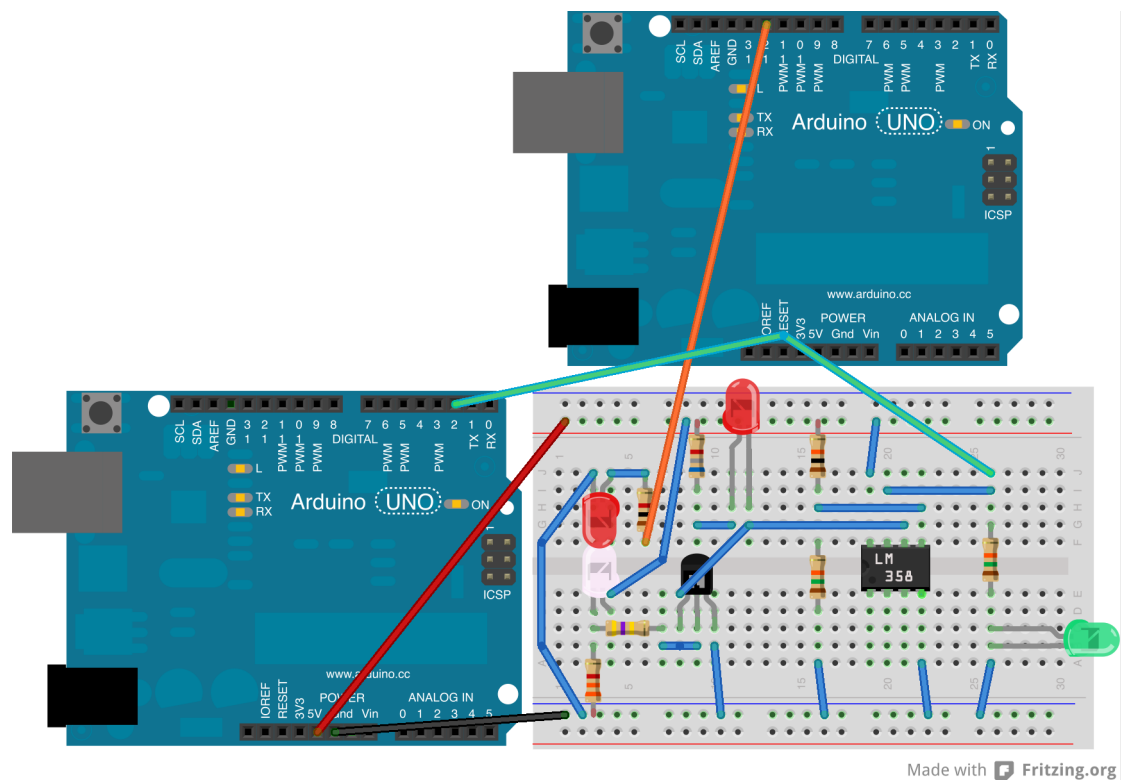


Abbildung 7: Aufbau des Datenempfängers/senders

## 2.2 Software

Hierfür gibt es nun zwei Arduino Files. Eines für den Empfänger und eines für den Sender.

### 2.2.1 Sender

Am Sender Arduino Board wird die sende LED auf dem Pin 12 angesteckt. Danach werden die Daten, welche in der Konsole eingegeben werden eingelesen und mittels einer Bitmaske in einzelne Bits auf gespalten. Es werden 8 Bit für einen Character versendet. Um ein Bit zu versenden werden 3 Millisekunden benötigt. Für eine 1 wird die LED 2 ms auf High (die LED leuchtet) und danach 1 ms auf Low (LED ist aus) geschaltet. Um eine 0 zu versenden ist die LED nur 1 ms an und 2 ms aus.

Der Sourcecode wurde im Arduino File: *"tx\_for\_the\_light.ino"* gespeichert.

```
int ledPin = 12;
```

```
void setup()
```



```

{
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    Serial.begin(115200);
}

void loop()
{
    unsigned char data;

    // receive char from serial port

    if (Serial.available() > 0)
    {
        data = Serial.read();
        sendChar(data);
    }
}

void sendBit(int data)
{
    //Serial.println(data);
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    delay(1 + data);
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    delay(2 - data);
}

void sendChar(unsigned char data)
{
    unsigned char mask = 0x80;
    int i;
    for (i=0;i<8;i++)
    {
        if (data & mask)
            sendBit(1);
    }
}

```

```

        else
            sendBit(0);
        mask = mask /2;
    }
}

```

### 2.2.2 Empfänger

Am Empfänger Arduino Board wird der Pin 2 Eingang zum Empfang der Daten verwendet. Damit die Daten gut empfangen werden, wird bei dem Empfänger ein Interrupt benötigt. Dafür habe ich eine Zeitmessung installiert welche entscheidet ob die LED 1 oder 2 Millisekunden geleuchtet hat. Auf Grund dieser Entscheidung wird erkannt, ob eine 1 oder eine 0 gesendet wurde. Mittels einer Bitmaske werden die 8 Bit wieder zusammen gesetzt und es wurde somit ein Character empfangen.

Der Sourcecode wurde im Arduino File: *"rx\_for\_the\_data.ino"* gespeichert.

```

int sensePin = 2;
volatile unsigned long ticks;
volatile int pFlag = 0;
unsigned char value;

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    // pinMode(sensePin, INPUT);
    attachInterrupt(0, timeMeasure, RISING);
    Serial.println("init ...");
}

void loop()
{
    value = receiveChar();
    // Serial.println(ticks);
    Serial.write(value);
}

```

```

void timeMeasure()
{
    ticks = 0;
    while (digitalRead(sensePin) == HIGH)
    {
        ticks++;
    }
    pFlag=1;
}

unsigned char receiveChar()
{
    unsigned char character = 0;
    int counter = 8;
    unsigned char mask = 0x80;

    for(int i = 0; i < counter; i++)
    {
        while (pFlag == 0);
        if(ticks > 280) //check if 0 or 1, 280 is a good meanvalue
        {
            // Serial.print("1");
            character |= mask;
        }
        else
        {
            // Serial.print("0");
        }
        pFlag = 0;
        mask = mask/2;
    }
    //print rx data in ASCII
    // Serial.println(character);
    return character;
}

```

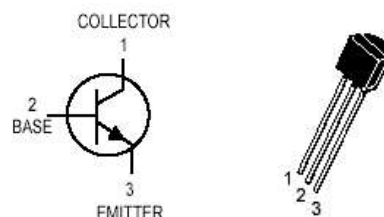
### **3 Arduino Roboter**

## A Datasheets

### A.1 Datenblatt BC547

NPN-Silizium-Epitaxie-Planar-Transistor für Verstärkeranwendungen im NF-Bereich und als Schalter.

Die Transistoren werden nach der Stromverstärkung in die drei Gruppen A, B, und C eingeteilt. Der BC 546 ist in den Gruppen A und B lieferbar. BC547 und 548 werden in allen drei Stromverstärkungsgruppen geliefert. Die Typen BC549 und BC550 sind rauscharm und werden in den Gruppen B und C geliefert. Als Komplementärtransistoren werden die Typen BC556 ... BC560 empfohlen.

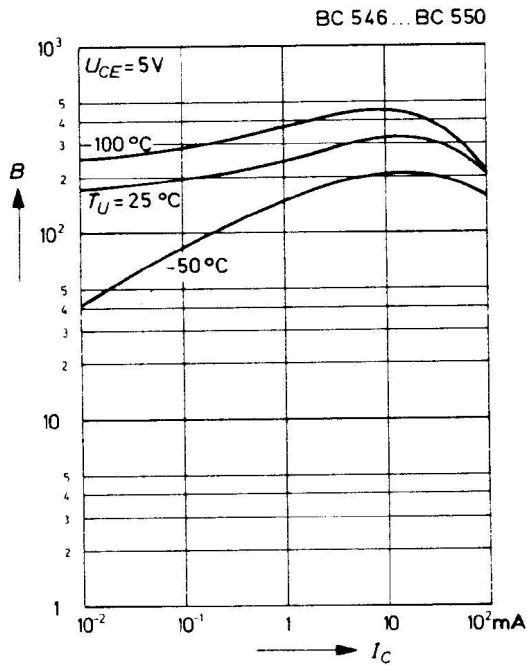


Gehäuse: TO-92

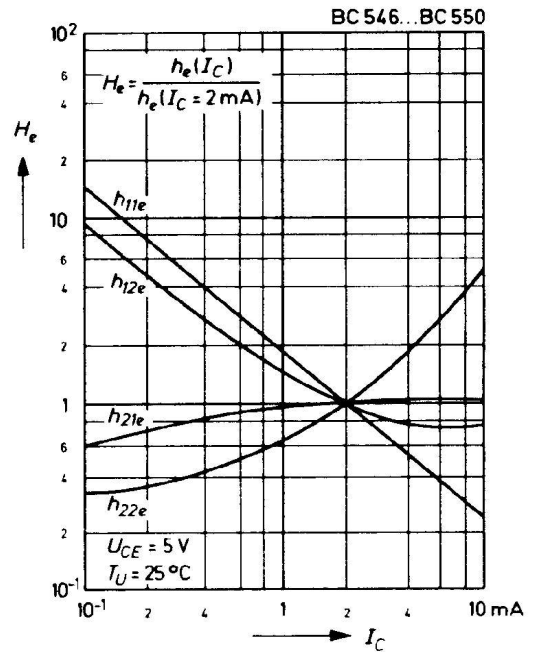
Grenzwerte		Symbol	Wert	Einheit
Kollektor-Basis-Spannung	BC546	$U_{CBO}$	80	V
	BC547, BC550	$U_{CBO}$	50	V
	BC548, BC549	$U_{CBO}$	30	V
Kollektor-Emitter-Spannung	BC546	$U_{CES}$	80	V
	BC547, BC550	$U_{CES}$	50	V
	BC548, BC549	$U_{CES}$	30	V
Kollektor-Emitter-Spannung	BC546	$U_{CEO}$	65	V
	BC547, BC550	$U_{CEO}$	45	V
	BC548, BC549	$U_{CEO}$	30	V
Emitter-Basis-Spannung	BC546, BC547	$U_{EBO}$	6	V
	BC548, BC549	$U_{EBO}$	5	V
	BC550			
Kollektorstrom		$I_C$	100	mA
Kollektor-Spitzenstrom		$I_{CM}$	200	mA
Basis-Spitzenstrom		$I_{BM}$	200	mA
Emitter-Spitzenstrom		$-I_{EM}$	200	mA
Verlustleistung bei $T_u = 25^\circ\text{C}$		$P_{tot}$	500	mW
Sperrschichttemperatur		$T_J$	150	$^\circ\text{C}$

Kennwerte bei $T_u = 25^\circ\text{C}$		Symbol	min.	typ.	max.	Einheit
h-Parameter bei $U_{CE} = 5\text{ V}$ , $I_C = 2\text{ mA}$ , $f = 1\text{ kHz}$						
Stromverstärkung $\beta$	Gruppe A	$h_{21e}$	-	220	-	-
	B	$h_{21e}$	-	330	-	-
	C	$h_{21e}$	-	600	-	-
Eingangswiderstand $r_{BE}$	Gruppe A	$h_{11e}$	1,6	2,7	4,5	k $\Omega$
	B	$h_{11e}$	3,2	4,5	8,5	k $\Omega$
	C	$h_{11e}$	6	8,7	15	k $\Omega$
Ausgangsleitwert $1/r_{CE}$	Gruppe A	$h_{22e}$	-	18	30	$\mu\text{S}$
	B	$h_{22e}$	-	30	60	$\mu\text{S}$
	C	$h_{22e}$	-	60	110	$\mu\text{S}$
Kollektor-Basis-Stromverstärkung bei $U_{CE} = 5\text{ V}$ , $I_C = 2\text{ mA}$	Gruppe A	B	110	180	220	-
	B	B	200	290	450	-
	C	B	420	500	800	-
Wärmewiderstand		$R_{thJU}$	-	-	250	K/W
Kollektor-Sättigungsspannung bei $I_C = 10\text{ mA}$		$U_{Cesat}$	-	90	250	mV
Bei $I_C = 100\text{ mA}$		$U_{Cesat}$	-	200	600	mV
Basis-Emitterspannung bei $U_{CE} = 5\text{ V}$ , $I_C = 2\text{ mA}$		$U_{BE}$	580	660	700	mV

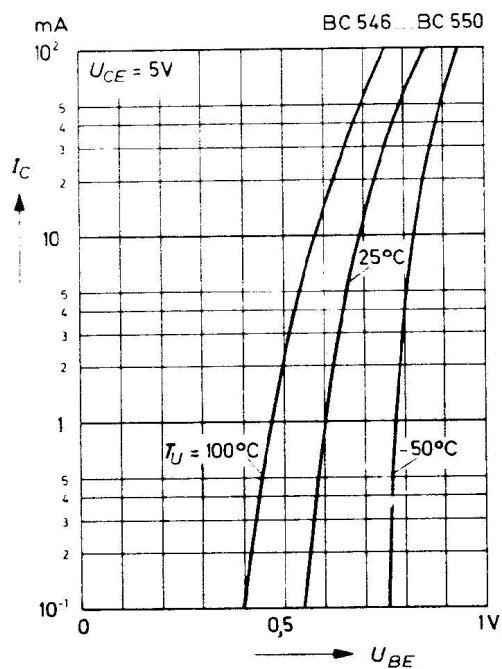
**Kollektor-Basis-Stromverhältnis  
in Abhängigkeit  
vom Kollektorstrom**



**h-Parameter in Abhängigkeit  
vom Kollektorstrom  
Relativwerte**

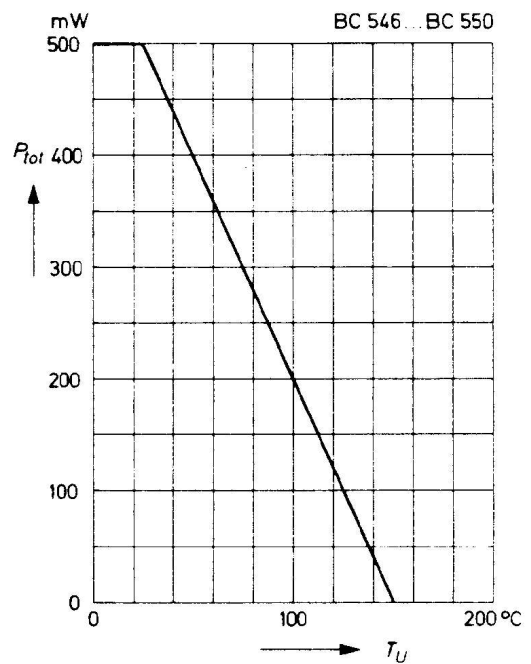


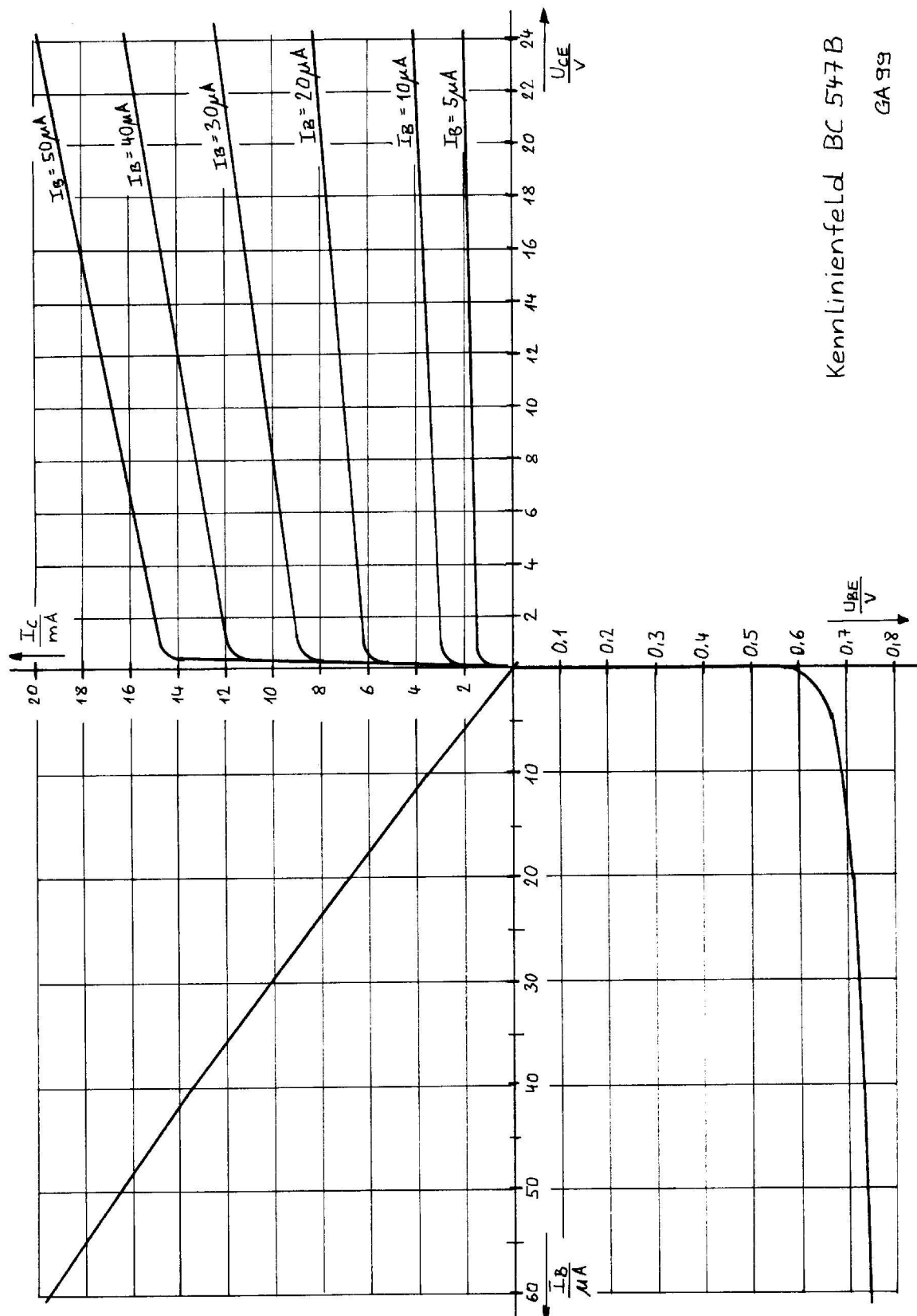
**Kollektorstrom  
in Abhängigkeit von der  
Basis-Emitter-Spannung**



**Zulässige Gesamtverlustleistung  
in Abhängigkeit von der  
Temperatur**

Dieser Wert gilt, wenn die Anschlußdrähte in 2 mm Abstand vom Gehäuse auf Umgebungstemperatur gehalten werden.





Kennlinienfeld BC 547 B

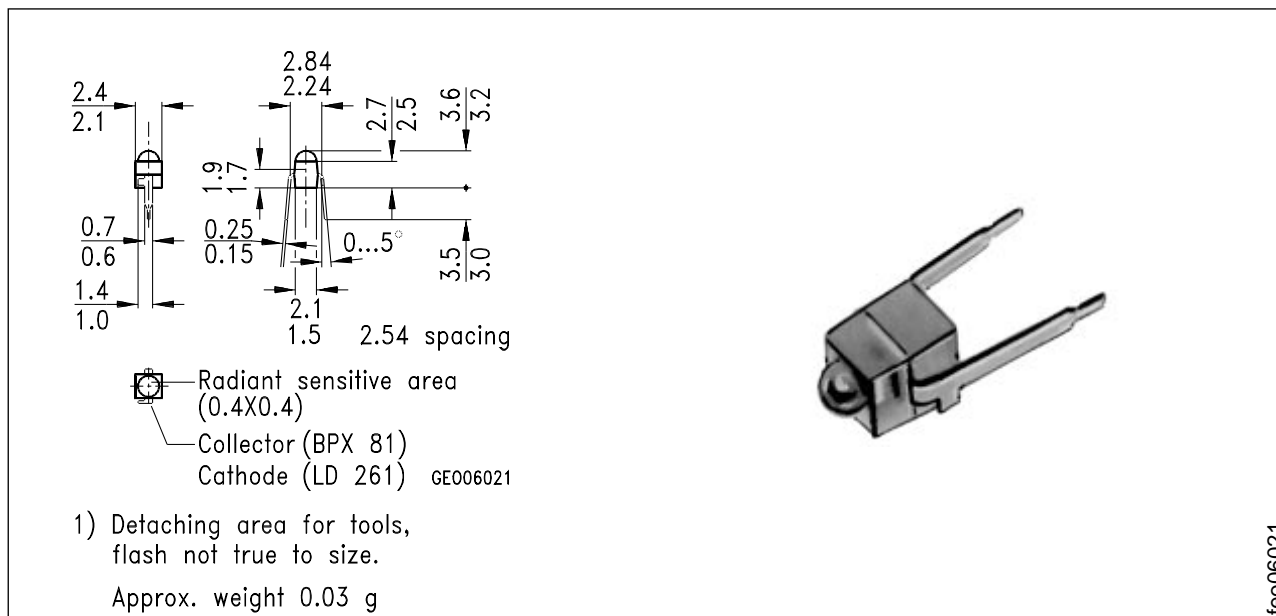
GA 99



## A.2 Datenblatt BPX81

## NPN-Silizium-Fototransistor Silicon NPN Phototransistor

**BPX 81**



Maße in mm, wenn nicht anders angegeben/Dimensions in mm, unless otherwise specified.

### Wesentliche Merkmale

- Speziell geeignet für Anwendungen im Bereich von 440 nm bis 1070 nm
- Hohe Linearität
- Einstellige Zeilenbauform aus klarem Epoxy
- Gruppiert lieferbar

### Anwendungen

- Computer-Blitzlichtgeräte
- Miniaturlichtschranken für Gleich- und Wechsellichtbetrieb
- Industrieelektronik
- "Messen/Steuern/Regeln"

### Features

- Especially suitable for applications from 440 nm to 1070 nm
- High linearity
- One-digit array package of transparent epoxy
- Available in groups

### Applications

- Computer-controlled flashes
- Miniature photointerrupters
- Industrial electronics
- For control and drive circuits

Typ Type	Bestellnummer Ordering Code
BPX 81	Q62702-P20
BPX 81-2	Q62702-P43-S2
BPX 81-3	Q62702-P43-S3

**Grenzwerte**  
**Maximum Ratings**

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	- 40 ... + 80	°C
Löttemperatur bei Tauchlötung Lötstelle $\geq 2$ mm vom Gehäuse, Lötzeit $t \leq 3$ s Dip soldering temperature $\geq 2$ mm distance from case bottom, soldering time $t \leq 3$ s	$T_S$	230	°C
Löttemperatur bei Kolbenlötung Lötstelle $\geq 2$ mm vom Gehäuse, Lötzeit $t \leq 5$ s Iron soldering temperature $\geq 2$ mm distance from case bottom, soldering time $t \leq 5$ s	$T_S$	300	°C
Kollektor-Emitterspannung Collector-emitter voltage	$V_{CE}$	32	V
Kollektorstrom Collector current	$I_C$	50	mA
Kollektorspitzenstrom, $\tau < 10 \mu s$ Collector surge current	$I_{CS}$	200	mA
Verlustleistung, $T_A = 25$ °C Total power dissipation	$P_{tot}$	90	mW
Wärmewiderstand Thermal resistance	$R_{thJA}$	750	K/W

**Kennwerte** ( $T_A = 25$  °C,  $\lambda = 950$  nm)

**Characteristics**

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	$\lambda_{S \max}$	850	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit $S = 10$ % von $S_{\max}$ Spectral range of sensitivity $S = 10$ % of $S_{\max}$	$\lambda$	440 ... 1070	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche Radiant sensitive area	$A$	0.17	mm <sup>2</sup>

**Kennwerte** ( $T_A = 25\text{ °C}$ ,  $\lambda = 950\text{ nm}$ )  
**Characteristics** (cont'd)

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Abmessung der Chipfläche Dimensions of chip area	$L \times B$ $L \times W$	$0.6 \times 0.6$	mm × mm
Abstand Chipoberfläche zu Gehäuseoberfläche Distance chip front to case surface	$H$	1.3 ... 1.9	mm
Halbwinkel Half angle	$\varphi$	$\pm 18$	Grad deg.
Kapazität Capacitance $V_{CE} = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ , $E = 0$	$C_{CE}$	6	pF
Dunkelstrom Dark current $V_{CE} = 25\text{ V}$ , $E = 0$	$I_{CEO}$	25 ( $\leq 200$ )	nA

**Die Fototransistoren werden nach ihrer Fotoempfindlichkeit gruppiert und mit arabischen Ziffern gekennzeichnet.**  
**The phototransistors are grouped according to their spectral sensitivity and distinguished by arabian figures.**

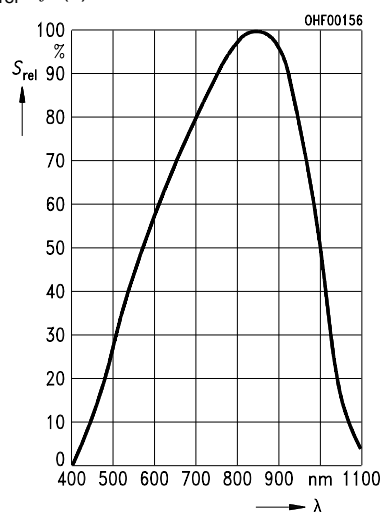
Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value			Einheit Unit
		-2	-3	-4	
Fotostrom, $\lambda = 950\text{ nm}$ Photocurrent $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2$ , $V_{CE} = 5\text{ V}$ $E_v = 1000\text{ lx}$ , Normlicht/standard light A, $V_{CE} = 5\text{ V}$	$I_{PCE}$ $I_{PCE}$	0.25 ... 0.50 1.4	0.40 ... 0.80 2.2	$\geq 0.63$ 3.4	mA mA
Anstiegszeit/Abfallzeit Rise and fall time $I_C = 1\text{ mA}$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ , $R_L = 1\text{ k}\Omega$	$t_r$ , $t_f$	5.5	6	8	$\mu\text{s}$
Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung Collector-emitter saturation voltage $I_C = I_{PCEmin}^{1)} \times 0.3$ $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2$	$V_{CEsat}$	150	150	150	mV

1)  $I_{PCEmin}$  ist der minimale Fotostrom der jeweiligen Gruppe

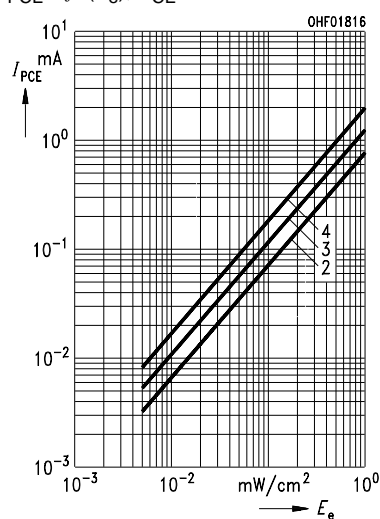
1)  $I_{PCEmin}$  is the min. photocurrent of the specified group

**Relative spectral sensitivity**

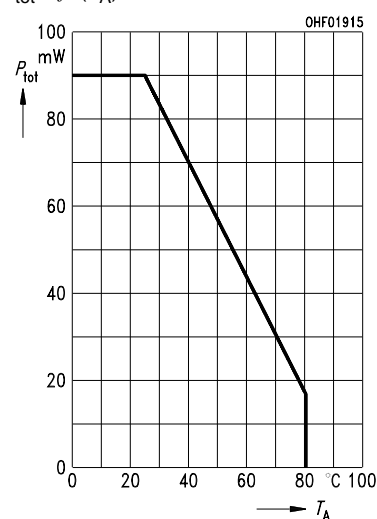
$S_{\text{rel}} = f(\lambda)$

**Photocurrent**

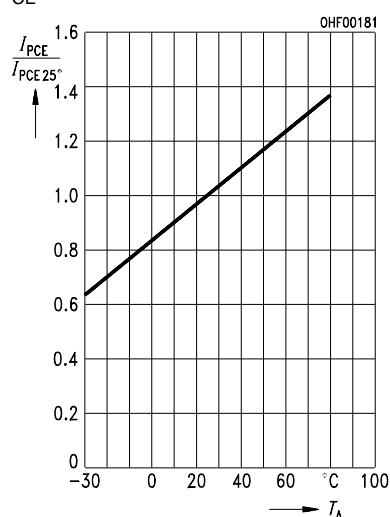
$I_{\text{PCE}} = f(E_e), V_{\text{CE}} = 5 \text{ V}$

**Total power dissipation**

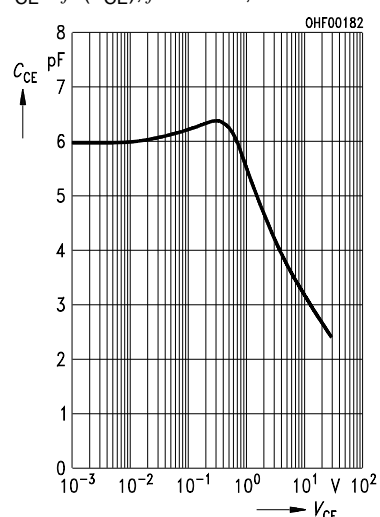
$P_{\text{tot}} = f(T_A)$

**Photocurrent  $I_{\text{PCE}}/I_{\text{PCE}25^\circ} = f(T_A)$** 

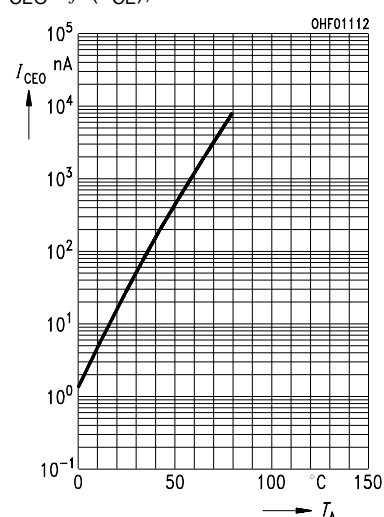
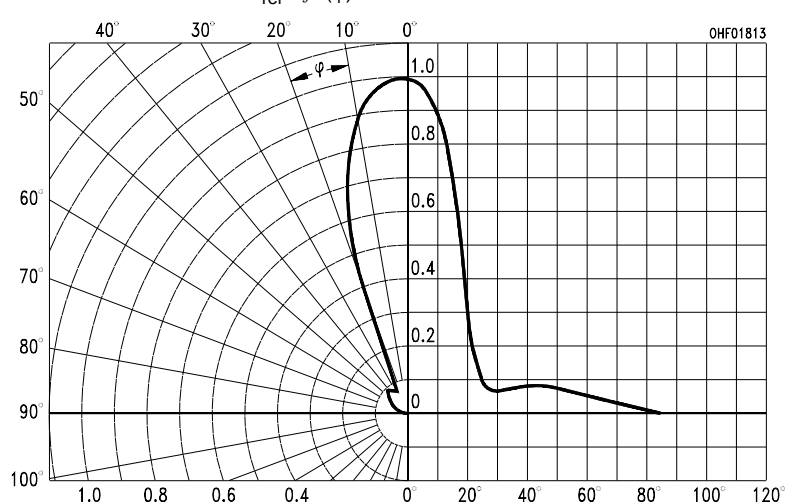
$V_{\text{CE}} = 5 \text{ V}$

**Collector-emitter capacitance**

$C_{\text{CE}} = f(V_{\text{CE}}), f = 1 \text{ MHz}, E = 0$

**Dark current**

$I_{\text{CEO}} = f(V_{\text{CE}}), E = 0$

**Directional characteristics  $S_{\text{rel}} = f(\varphi)$** 

### A.3 Datenblatt LM324



# LM124 LM224 - LM324

## LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375 $\mu$ A
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max.  
(for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max.)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :  
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V  
DUAL SUPPLIES :  $\pm 1.5$ V TO  $\pm 15$ V

### DESCRIPTION

These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

### ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	•	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•	•

Example : LM224N

N = Dual in Line Package (DIP)

D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)



**N**  
**DIP14**  
(Plastic Package)

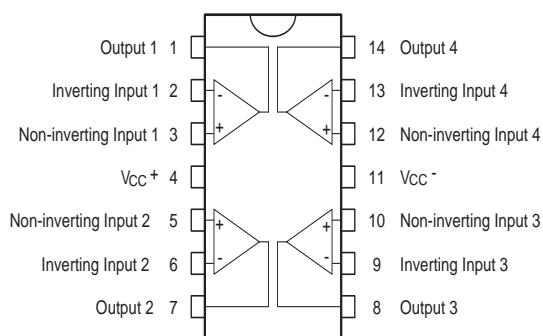


**D**  
**SO14**  
(Plastic Micropackage)

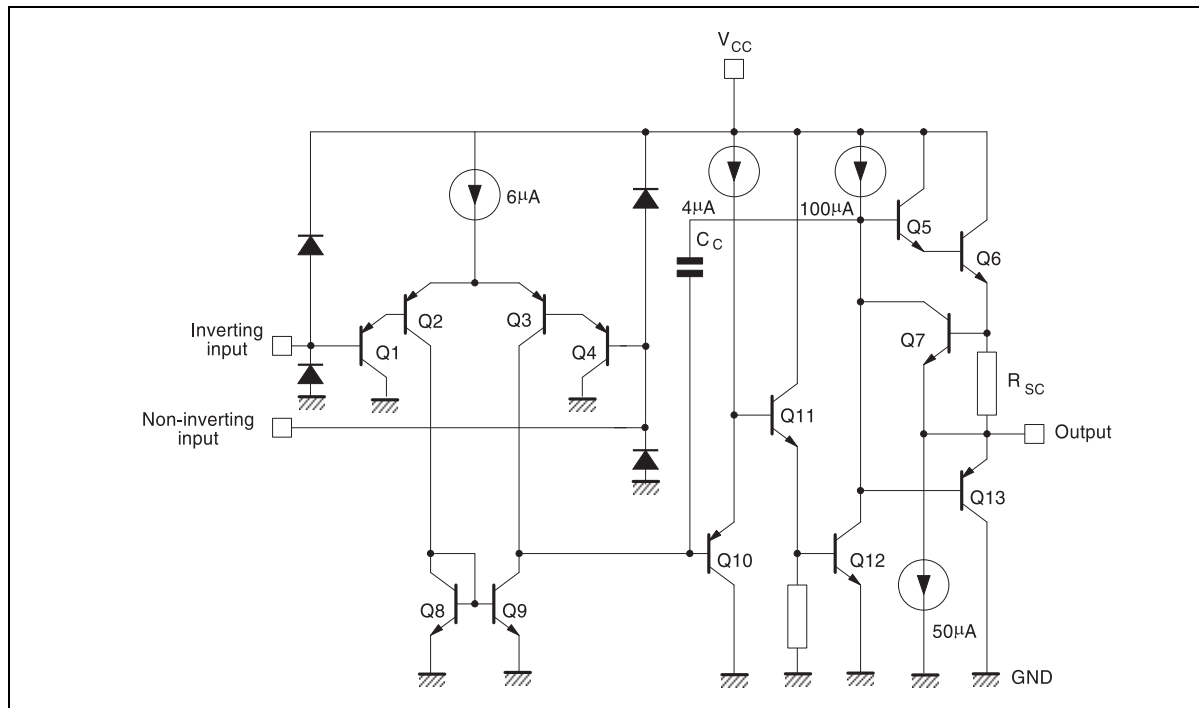


**P**  
**TSSOP14**  
(Thin Shrink Small Outline Package)

### PIN CONNECTIONS (top view)



SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM124	LM224	LM324	Unit
$V_{CC}$	Supply voltage	$\pm 16$ or 32			V
$V_i$	Input Voltage	-0.3 to +32			V
$V_{id}$	Differential Input Voltage <sup>1)</sup>	+32			V
$P_{tot}$	Power Dissipation	500	500	500	mW
	N Suffix		400	400	mW
	D Suffix				
	Output Short-circuit Duration <sup>2)</sup>	Infinite			
$I_{in}$	Input Current <sup>3)</sup>	50	50	50	mA
$T_{oper}$	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. Either or both input voltages must not exceed the magnitude of  $V_{CC}^+$  or  $V_{CC}^-$ .
2. Short-circuits from the output to  $V_{CC}$  can cause excessive heating if  $V_{CC} > 15V$ . The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of  $V_{CC}$ . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. this transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the  $V_{CC}$  voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative.  
This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.



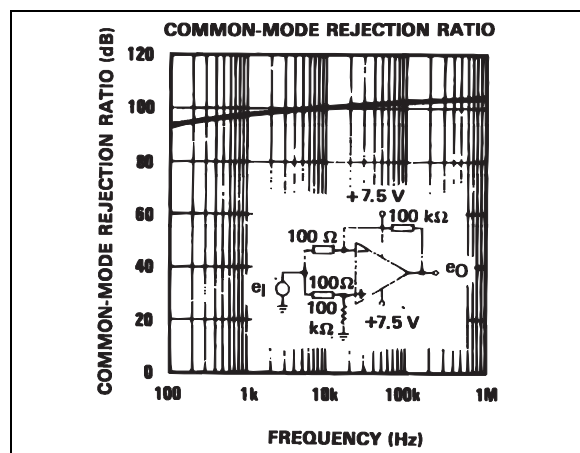
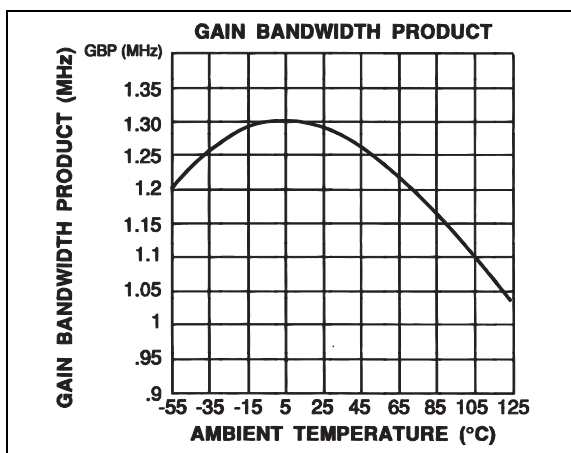
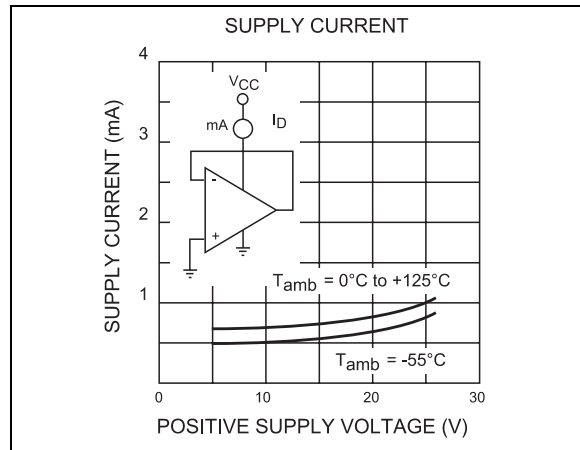
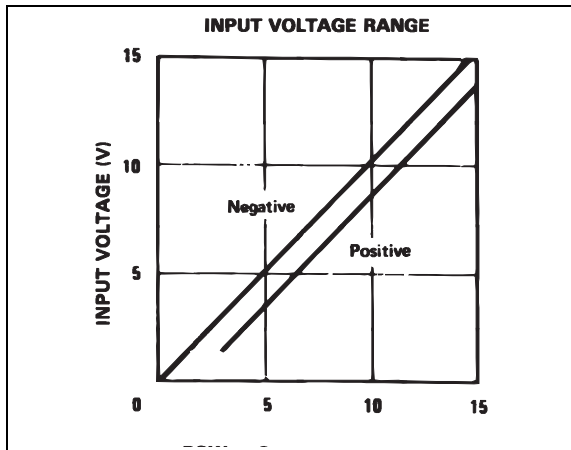
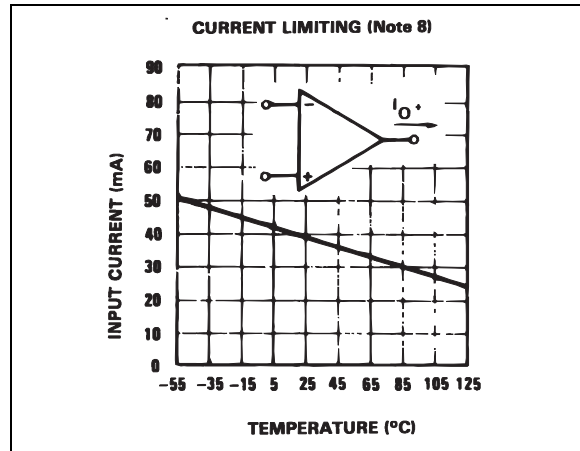
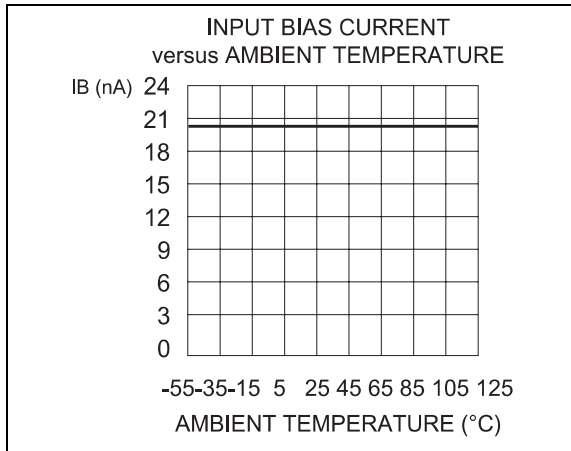
**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

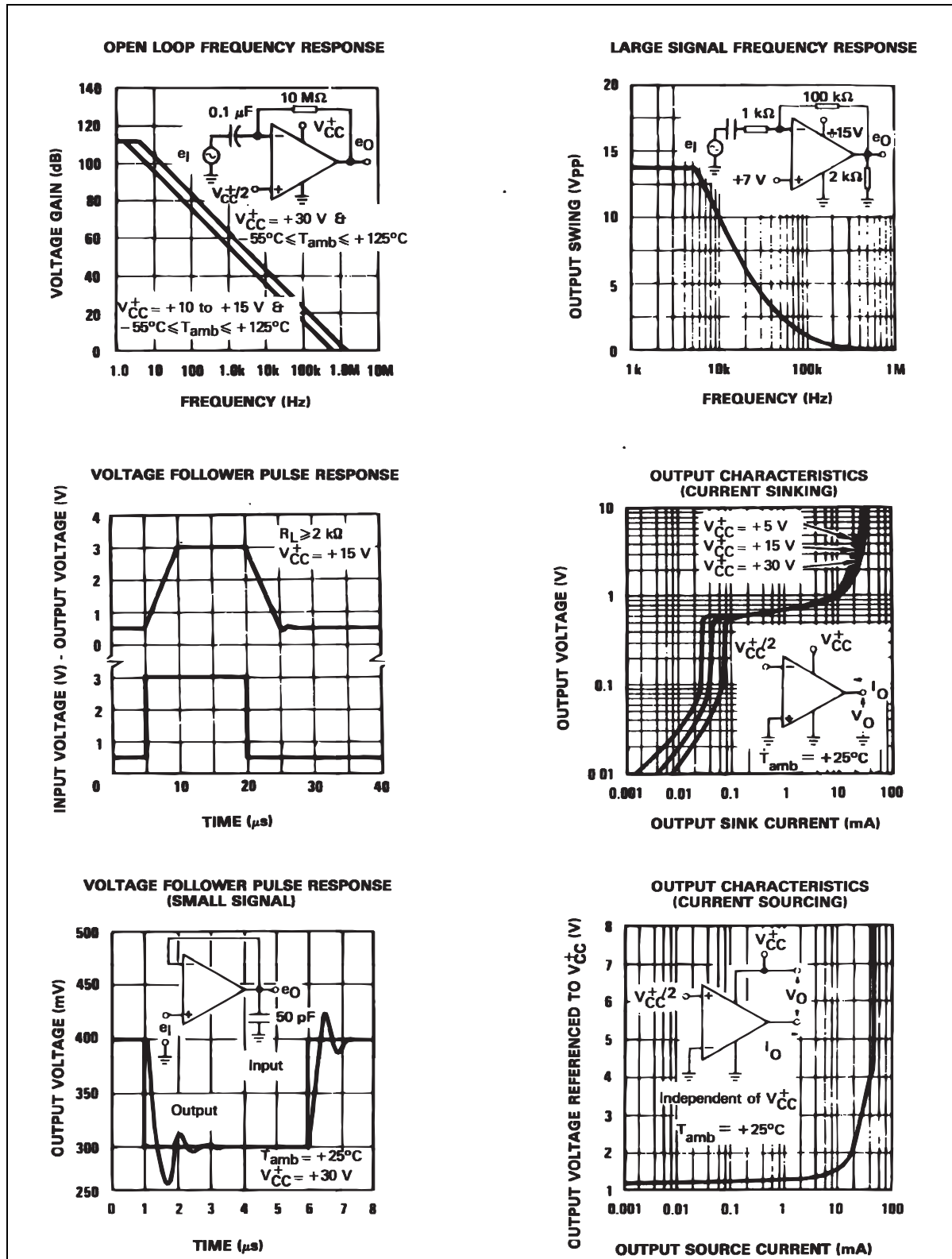
$V_{CC}^+ = +5V$ ,  $V_{CC}^- = \text{Ground}$ ,  $V_o = 1.4V$ ,  $T_{amb} = +25^\circ C$  (unless otherwise specified)

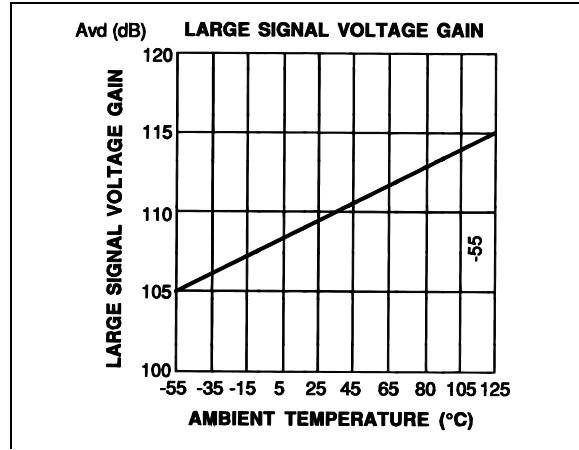
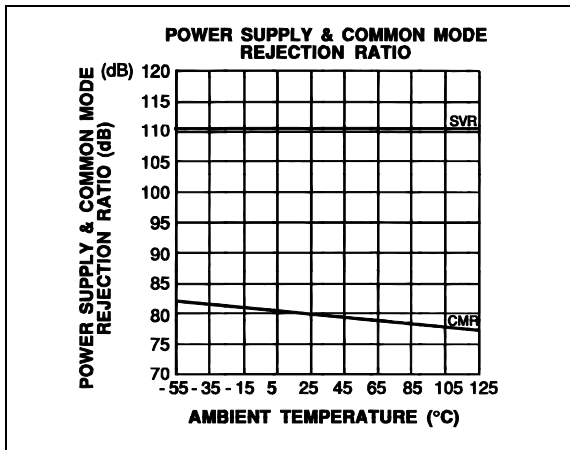
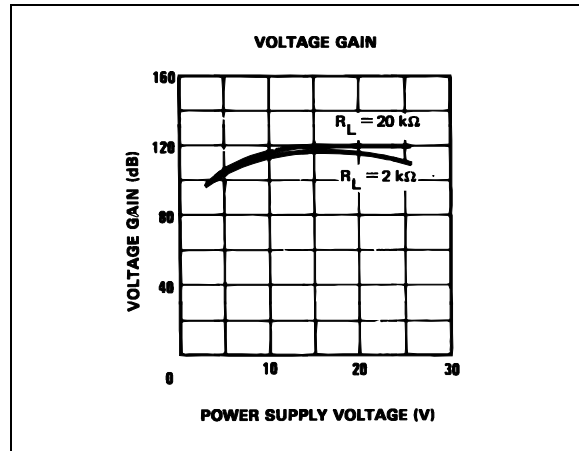
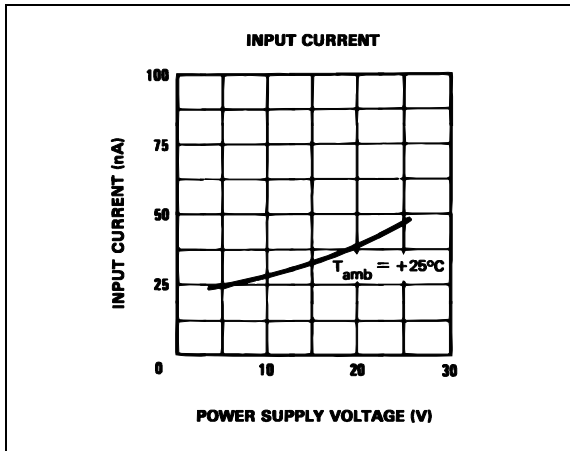
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{io}$	Input Offset Voltage - note <sup>1)</sup> $T_{amb} = +25^\circ C$ LM324 $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ LM324		2	5 7 7 9	mV
$I_{io}$	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	30 100	nA
$I_{ib}$	Input Bias Current - note <sup>2)</sup> $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	150 300	nA
$A_{vd}$	Large Signal Voltage Gain $V_{CC}^+ = +15V$ , $R_L = 2k\Omega$ , $V_o = 1.4V$ to $11.4V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ( $R_s \leq 10k\Omega$ ) $V_{CC}^+ = 5V$ to $30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	65 65	110		dB
$I_{CC}$	Supply Current, all Amp, no load $T_{amb} = +25^\circ C$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$		0.7 1.5 0.8 1.5	1.2 3 1.2 3	mA
$V_{icm}$	Input Common Mode Voltage Range $V_{CC} = +30V$ - note <sup>3)</sup> $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 2$	V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ( $R_s \leq 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 60	80		dB
$I_{source}$	Output Current Source ( $V_{id} = +1V$ ) $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +2V$	20	40	70	mA
$I_{sink}$	Output Sink Current ( $V_{id} = -1V$ ) $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +2V$ $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +0.2V$	10 12	20 50		mA $\mu A$
$V_{OH}$	High Level Output Voltage $V_{CC} = +30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 2k\Omega$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 10k\Omega$ $V_{CC} = +5V$ , $R_L = 2k\Omega$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	26 26 27 27 3.5 3	27 28		V

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage ( $R_L = 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	20 20	mV
SR	Slew Rate $V_{CC} = 15V$ , $V_i = 0.5$ to $3V$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , unity Gain		0.4		V/ $\mu s$
GBP	Gain Bandwidth Product $V_{CC} = 30V$ , $f = 100kHz$ , $V_{in} = 10mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$		1.3		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz$ , $A_v = 20dB$ , $R_L = 2k\Omega$ , $V_o = 2V_{pp}$ , $C_L = 100pF$ , $V_{CC} = 30V$		0.015		%
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz$ , $R_s = 100\Omega$ , $V_{CC} = 30V$		40		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
$DV_{io}$	Input Offset Voltage Drift		7	30	$\mu V/^\circ C$
$DI_{io}$	Input Offset Current Drift		10	200	pA/ $^\circ C$
$V_{o1}/V_{o2}$	Channel Separation - note <sup>4)</sup> $1kHz \leq f \leq 20kHz$		120		dB

- $V_o = 1.4V$ ,  $R_s = 0\Omega$ ,  $5V < V_{CC}^+ < 30V$ ,  $0 < V_{ic} < V_{CC}^+ - 1.5V$
- The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is  $V_{CC}^+ - 1.5V$ , but either or both inputs can go to +32V without damage.
- Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

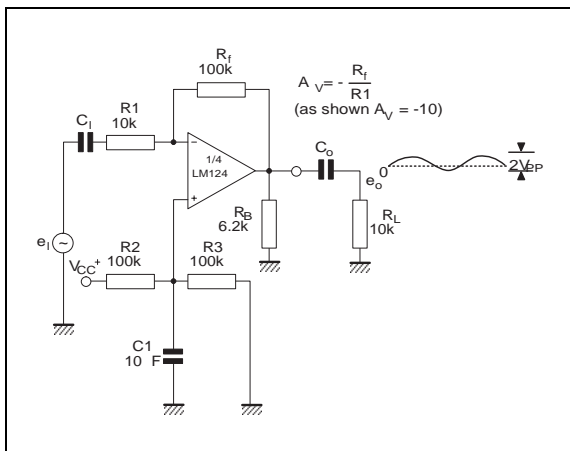




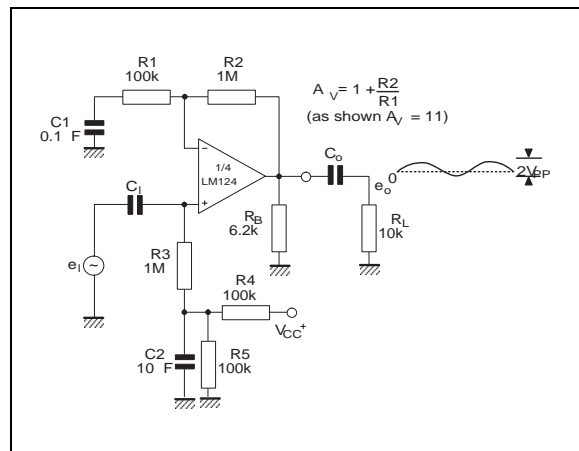


## TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

### AC COUPLED INVERTING AMPLIFIER

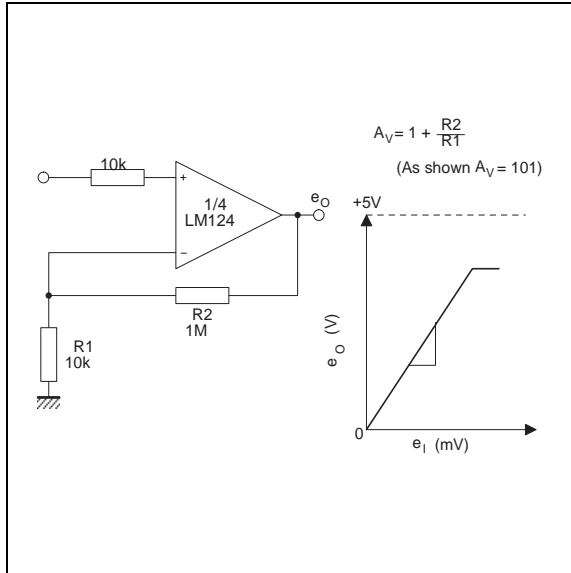


### AC COUPLED NON INVERTING AMPLIFIER

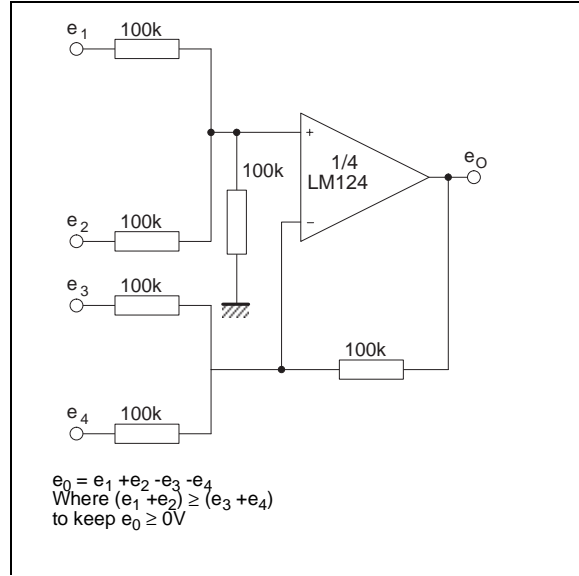


## TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

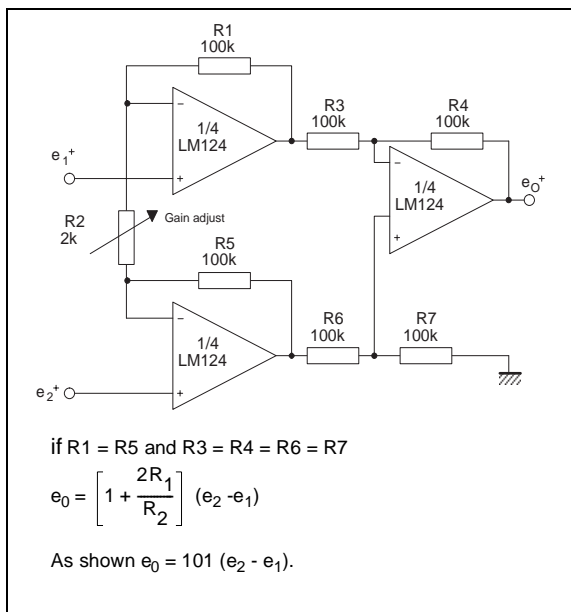
### NON-INVERTING DC GAIN



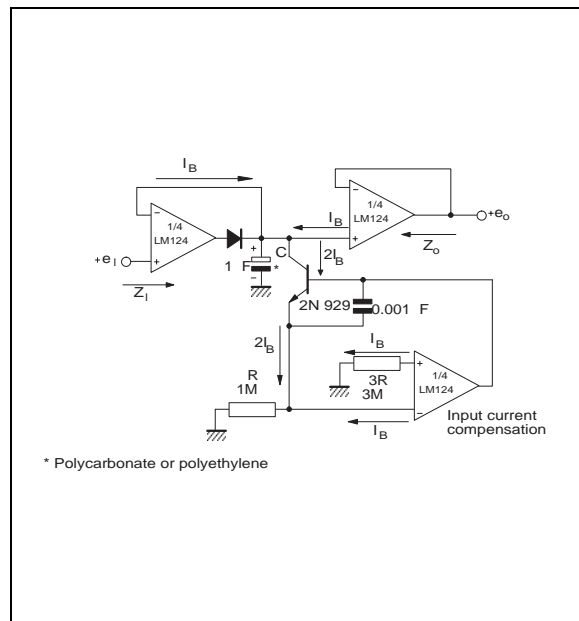
### DC SUMMING AMPLIFIER



### HIGH INPUT Z ADJUSTABLE GAIN DC INSTRUMENTATION AMPLIFIER

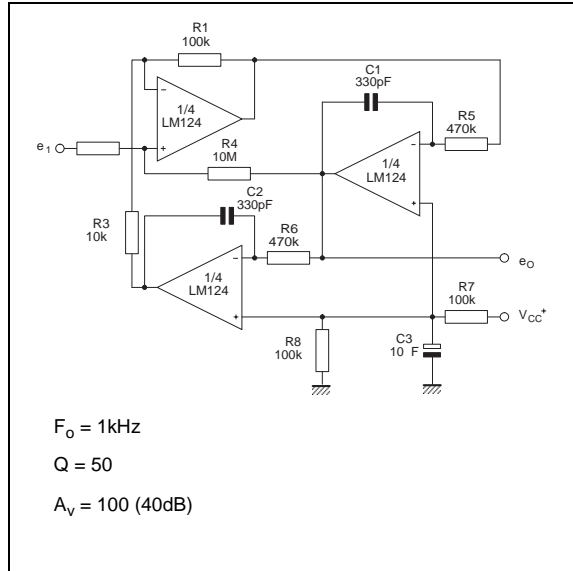


### LOW DRIFT PEAK DETECTOR

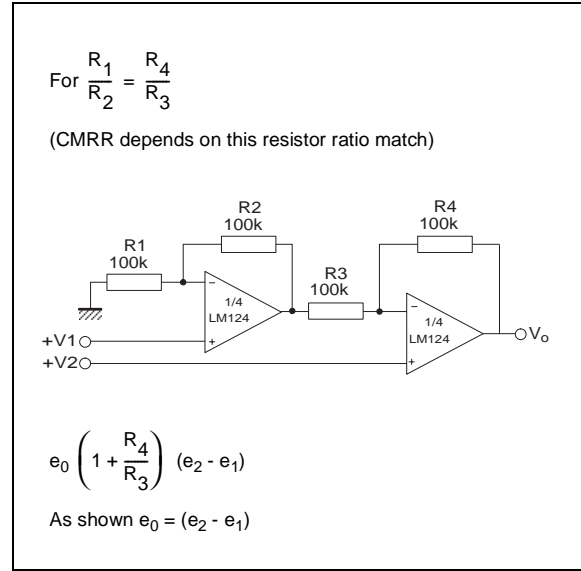


## TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

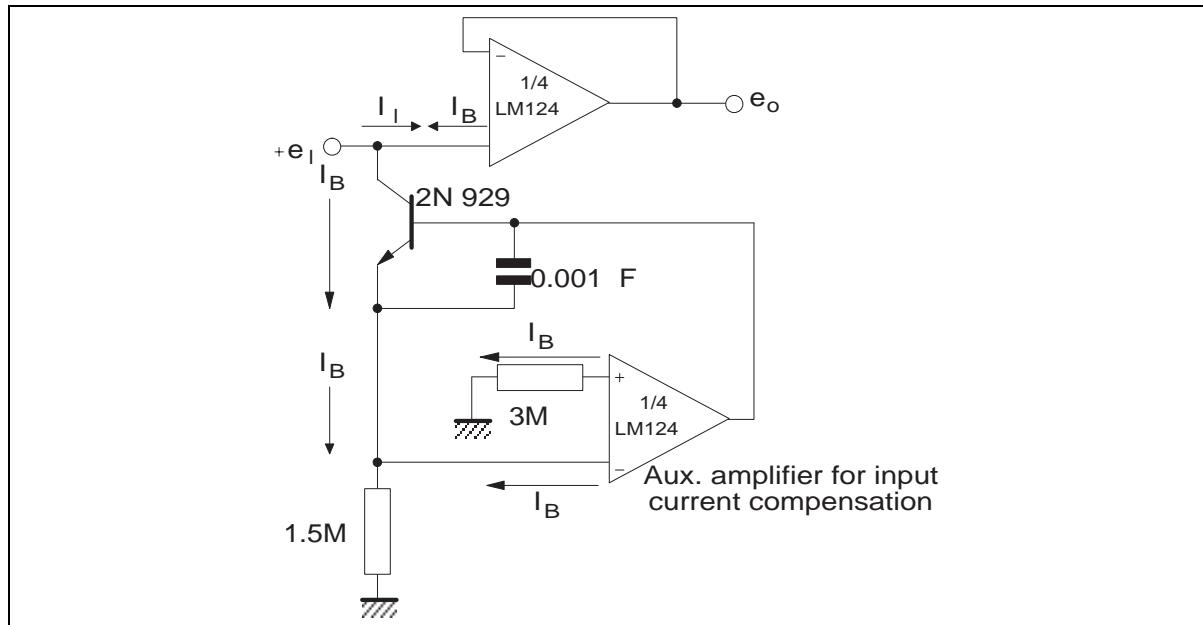
### ACTIVER BANDPASS FILTER



### HIGH INPUT Z, DC DIFFERENTIAL AMPLIFIER



### USING SYMETRICAL AMPLIFIERS TO REDUCE INPUT CURRENT (GENERAL CONCEPT)



## LM124-LM224-LM324

### MACROMODEL

\*\* Standard Linear lcs Macromodels, 1993.

\*\* CONNECTIONS :

\* 1 INVERTING INPUT

\* 2 NON-INVERTING INPUT

\* 3 OUTPUT

\* 4 POSITIVE POWER SUPPLY

\* 5 NEGATIVE POWER SUPPLY

.SUBCKT LM124 1 3 2 4 5 (analog)

\*\*\*\*\*

.MODEL MDTH D IS=1E-8 KF=3.104131E-15  
CJO=10F

\* INPUT STAGE

CIP 2 5 1.000000E-12

CIN 1 5 1.000000E-12

EIP 10 5 2 5 1

EIN 16 5 1 5 1

RIP 10 11 2.600000E+01

RIN 15 16 2.600000E+01

RIS 11 15 2.003862E+02

DIP 11 12 MDTH 400E-12

DIN 15 14 MDTH 400E-12

VOFP 12 13 DC 0

VOFN 13 14 DC 0

IPOL 13 5 1.000000E-05

CPS 11 15 3.783376E-09

DINN 17 13 MDTH 400E-12

VIN 17 5 0.000000E+00

DINR 15 18 MDTH 400E-12

VIP 4 18 2.000000E+00

FCP 4 5 VOFP 3.400000E+01

FCN 5 4 VOFN 3.400000E+01

FIBP 2 5 VOFN 2.000000E-03

FIBN 5 1 VOFP 2.000000E-03

\* AMPLIFYING STAGE

FIP 5 19 VOFP 3.600000E+02

FIN 5 19 VOFN 3.600000E+02

RG1 19 5 3.652997E+06

RG2 19 4 3.652997E+06

CC 19 5 6.000000E-09

DOPM 19 22 MDTH 400E-12

DONM 21 19 MDTH 400E-12

HOPM 22 28 VOUT 7.500000E+03

VIPM 28 4 1.500000E+02

HONM 21 27 VOUT 7.500000E+03

VINM 5 27 1.500000E+02

EOUT 26 23 19 5 1

VOUT 23 5 0

ROUT 26 3 20

COUT 3 5 1.000000E-12

DOP 19 25 MDTH 400E-12

VOP 4 25 2.242230E+00

DON 24 19 MDTH 400E-12

VON 24 5 7.922301E-01

.ENDS

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

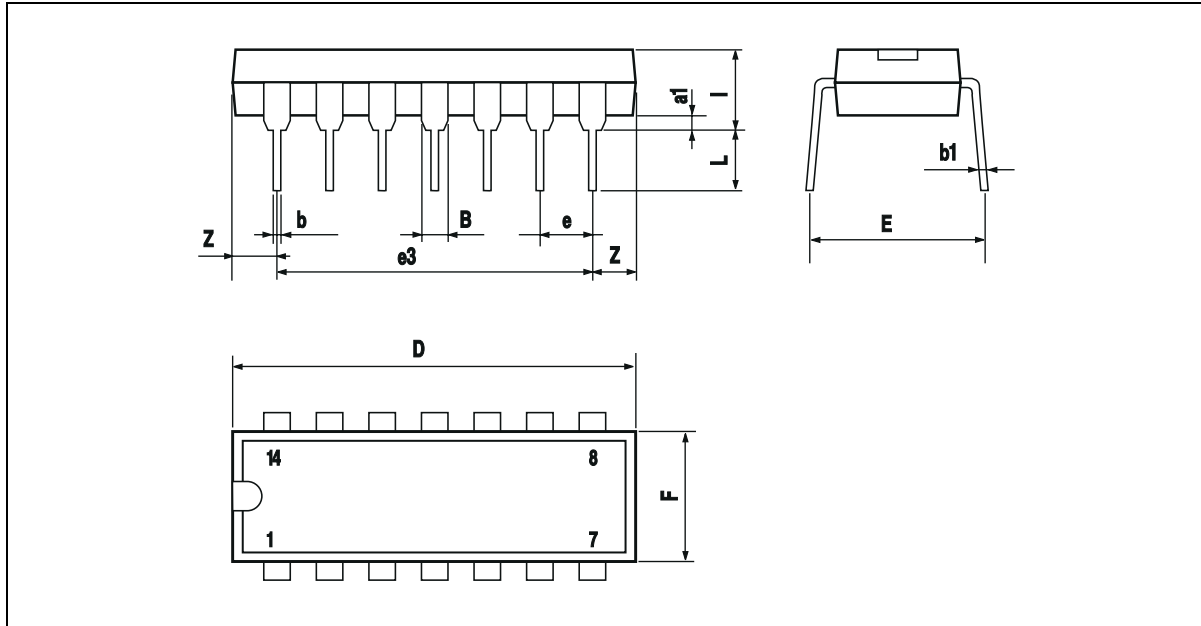
$V_{CC}^{+} = +15V$ ,  $V_{CC}^{-} = 0V$ ,  $T_{amb} = 25^{\circ}C$  (unless otherwise specified)

Symbol	Conditions	Value	Unit
$V_{io}$		0	mV
$A_{vd}$	$R_L = 2k\Omega$	100	V/mV
$I_{cc}$	No load, per amplifier	350	$\mu A$
$V_{icm}$		-15 to +13.5	V
$V_{OH}$	$R_L = 2k\Omega$ ( $V_{CC}^{+} = 15V$ )	+13.5	V
$V_{OL}$	$R_L = 10k\Omega$	5	mV
$I_{os}$	$V_o = +2V$ , $V_{CC} = +15V$	+40	mA
GBP	$R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$	1.3	MHz
SR	$R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$	0.4	V/ $\mu s$



**PACKAGE MECHANICAL DATA**

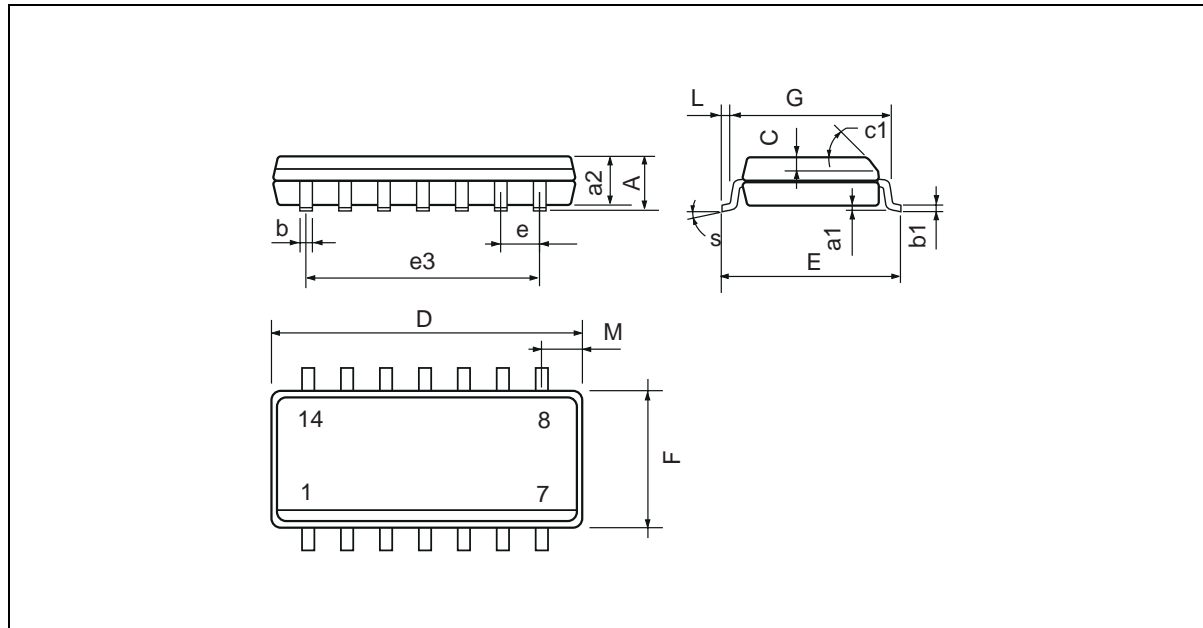
14 PINS - PLASTIC DIP



Dimensions	Millimeters			Inches		
	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

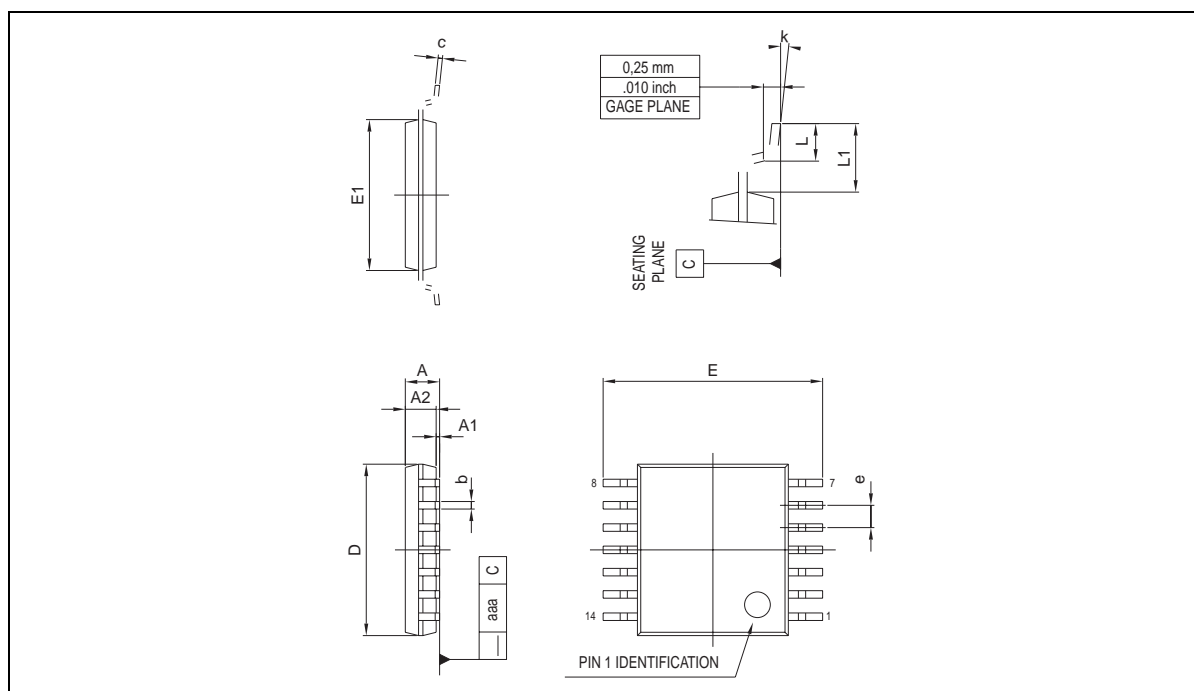
**PACKAGE MECHANICAL DATA**

14 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.2	0.004		0.008
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1	45° (typ.)					
D (1)	8.55		8.75	0.336		0.344
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		7.62			0.300	
F (1)	3.8		4.0	0.150		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.208
L	0.5		1.27	0.020		0.050
M			0.68			0.027
S	8° (max.)					

Note : (1) D and F do not include mold flash or protrusions - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm (.066 inc) ONLY FOR DATA BOOK.

**PACKAGE MECHANICAL DATA****14 PINS - THIN SHRINK SMALL OUTLINE PACKAGE (TSSOP)**

Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.20			0.05
A1	0.05		0.15	0.01		0.006
A2	0.80	1.00	1.05	0.031	0.039	0.041
b	0.19		0.30	0.007		0.15
c	0.09		0.20	0.003		0.012
D	4.90	5.00	5.10	0.192	0.196	0.20
E		6.40			0.252	
E1	4.30	4.40	4.50	0.169	0.173	0.177
e		0.65			0.025	
k	0°		8°	0°		8°
L	0.450	0.600	0.750	0.018	0.024	0.030
L1		1.00			0.039	
aaa			0.100			0.004

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved  
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia  
Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States

© <http://www.st.com>

