

กลุ่ม(เข้า-บ่าย) \_\_\_\_\_ กลุ่มที่ \_\_\_\_\_ ชั้นปีที่ \_\_\_\_\_ ห้อง \_\_\_\_\_  
รหัส \_\_\_\_\_ ชื่อ \_\_\_\_\_ วันเดือนปี \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### การทดลองที่ 6 Transistor (rev.06)

#### วัสดุประสงค์การทดลอง

- เพื่อศึกษา คุณลักษณะทรานซิสเตอร์ (Transistor characteristic)
- เพื่อศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสเบส และกระแสคอลเลกเตอร์
- เพื่อศึกษา วิธีการหาขา เบส(Base) อิมิตเตอร์(Emitter) และคอลเลคเตอร์(Collector) ด้วยมิเตอร์

#### อุปกรณ์เพิ่มเติม

- ไม่มี



#### วัสดุเพิ่มเติม

- Carbon film resistor 33k

เติม 10 คะแนน

#### 6.1 การตรวจสอบทรานซิสเตอร์ NPN ด้วย DMM

#### 6.2 NPN Transistor characteristic

#### 6.3 การต่อวงจรทรานซิสเตอร์ควบคุม รีเลย์

#### 6.4 Diode effect on Relay circuit

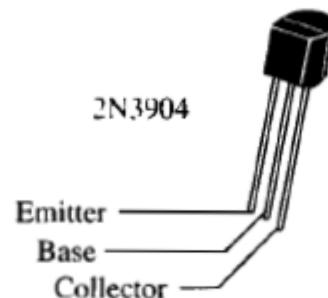
กลุ่ม(เข้า-บ่าย) \_\_\_\_\_ กลุ่มที่ \_\_\_\_\_ ชั้นปีที่ \_\_\_\_\_ ห้อง \_\_\_\_\_  
รหัส \_\_\_\_\_ ชื่อ \_\_\_\_\_

วันเดือนปี \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
รหัส \_\_\_\_\_ ชื่อ \_\_\_\_\_

### การทดลองที่ 6.2 การตรวจสอบทรานซิสเตอร์ NPN ด้วย DMM

#### ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ตั้ง DMM สำหรับวัดไดโอด
- 2) สายสีแดงของมิเตอร์ จ่ายไฟที่มีความต่างศักย์สูงกว่าสายสีดำ
- 3) วัดค่าต่าง ๆ ของ Transistor ตามตาราง
- 4) ในหัวข้อที่ 7 ให้ทำการใบอั้ส ขาเบสโดยใช้ นิวมีอแตะระหว่างขา Collector และ Base
- 5) ในหัวข้อที่ 8 ให้ทำการใบอั้ส ขาเบสโดยใช้ นิวมีอแตะระหว่างขา Emitter และ Base



No	จุดวัด (สายสีแดงไฟบวก – สายสีดำไฟลบ)	ค่าที่หน้าจอของ DMM	อธิบายคร่าวๆ
1	B-E (Forward)		
2	B-C (Forward)		
3	E-B (Reverse)		
4	C-B (Reverse)		
5	C-E (Reverse)		
6	E-C (Reverse)		
7	C-E (Forward)		
8	E-C (Reverse)		

➤ จงอธิบายการตรวจหาขาต่าง (Base, Collector, Emitter) ด้วย DMM

กลุ่ม(เข้า-บ่าย) \_\_\_\_\_ กลุ่มที่ \_\_\_\_\_ ชั้นปีที่ \_\_\_\_\_ ห้อง \_\_\_\_\_  
รหัส \_\_\_\_\_ ชื่อ \_\_\_\_\_

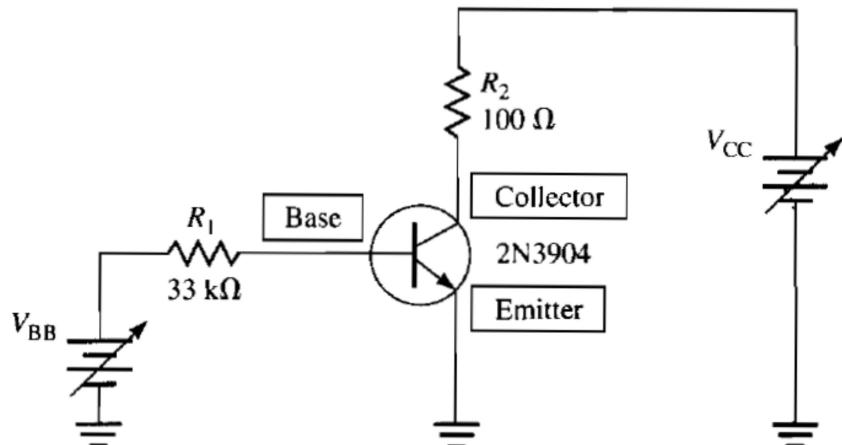
วันเดือนปี \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
รหัส \_\_\_\_\_ ชื่อ \_\_\_\_\_

### การทดลองที่ 6.2 การทดลองทดสอบ กระแสเบสและกระแสคอลเลกเตอร์

#### ขั้นตอนการทดลอง

- 1) วัดค่าความต้านทาน บันทึกผล

	Listed Value	Measured Value
$R_1$	33 kΩ	
$R_2$	100 Ω	

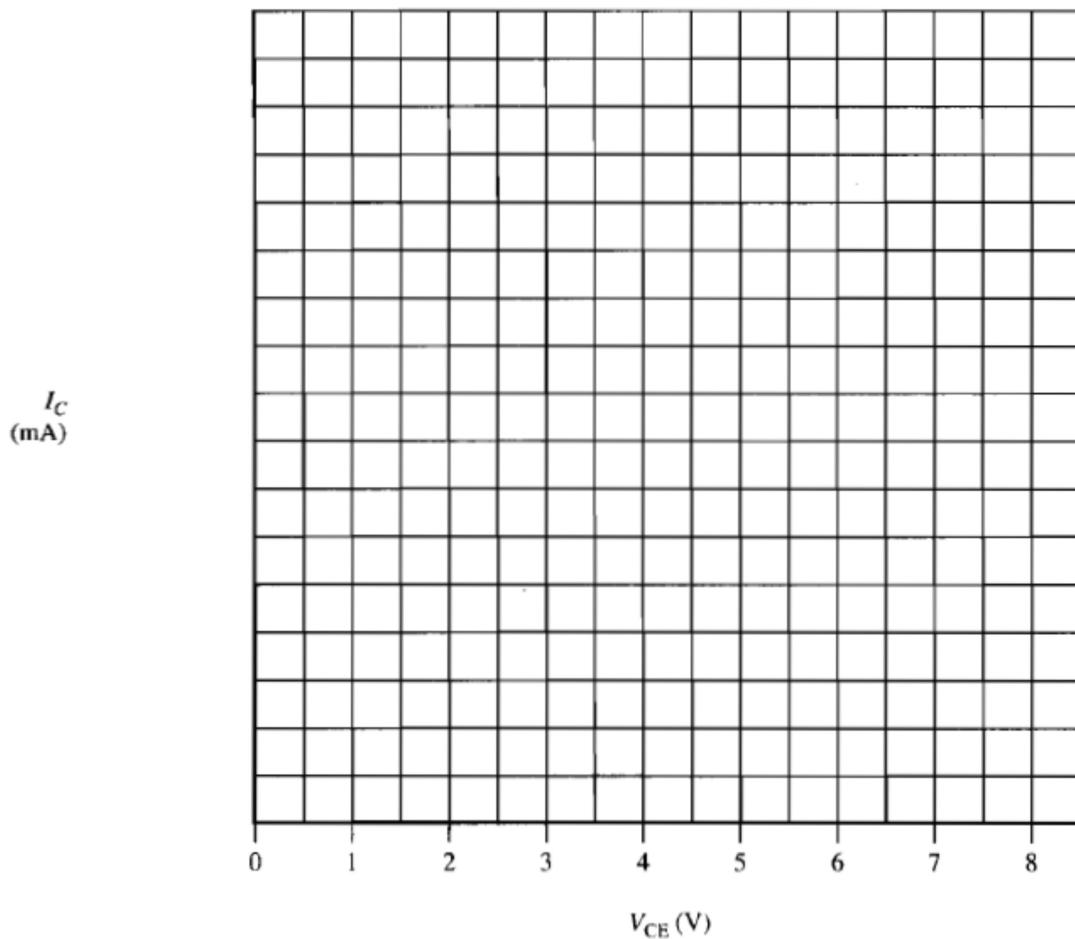


- 2) ต่อวงจร Common Emitter ตามรูป เริ่มต้นให้  $V_{BB}$  และ  $V_{CC}$  เท่ากับ ศูนย์ โวลต์  $R_1$  มีไว้เพื่อจำกัดค่าของกระแสเบส และ เอาคำนวนหา กระแสเบส เพิ่มค่า  $V_{BB}$  จนกระทั่ง  $VR_1 = 1.65$  V. เป็นการทำให้กระแส = 50 μA.
- 3) ค่อย ๆ เพิ่มค่า  $V_{CC}$  จนกระทั่ง  $V_{CE} = 2.0$  V. วัดค่า  $VR_2$  บันทึกผล ในคอลัมน์ Base Current = 50 μA.
- 4) คำนวนค่า  $I_C$  โดยใช้ Ohm's law
- 5) ปรับค่า  $V_{CC}$  ให้ได้  $V_{CE}$  ตามตาราง (2.0 , 4.0 , 6.0 , 8.0) บันทึกผล
- 6) ปรับค่า  $V_{CC}$  และ  $V_{BB}$  เป็น 0 V.
- 7) ปรับ  $V_{BB}$  ให้ได้ Base Current 100 μA. แล้วค่อย ๆ เพิ่มค่า  $V_{CC}$  จนกระทั่ง  $V_{CE} = 2.0$  V. วัดค่า  $VR_2$  บันทึกผล ในคอลัมน์ Base Current = 100 μA.
- 8) ปรับค่า  $V_{CC}$  ให้ได้  $V_{CE}$  ตามตาราง (2.0 , 4.0 , 6.0 , 8.0) บันทึกผลในคอลัมน์ Base Current = 100 μA.
- 9) ปรับ  $V_{BB}$  ให้ได้ Base Current 150 μA. แล้วค่อย ๆ เพิ่มค่า  $V_{CC}$  จนกระทั่ง  $V_{CE} = 2.0$  V. วัดค่า  $VR_2$  บันทึกผล ในคอลัมน์ Base Current = 150 μA
- 10) ปรับค่า  $V_{CC}$  ให้ได้  $V_{CE}$  ตามตาราง (2.0 , 4.0 , 6.0 , 8.0) บันทึกผลในคอลัมน์ Base Current = 150 μA

	$I_B = 50\mu A$			$I_B = 100\mu A$			$I_B = 150\mu A$		
$V_{CE}$	$VR_2$	$I_C$	$\beta_{dc}$	$VR_2$	$I_C$	$\beta_{dc}$	$VR_2$	$I_C$	$\beta_{dc}$
2.0V									
4.0V									
6.0V									
8.0V									

กลุ่ม(ເຫົ້າ-ບ່າຍ) \_\_\_\_\_ กลุ่มທີ \_\_\_\_\_ ຂັນປີທີ \_\_\_\_\_ ມັງ \_\_\_\_\_  
 รหัส \_\_\_\_\_ ຊື່ອ \_\_\_\_\_ รหัส \_\_\_\_\_ ຊື່ອ \_\_\_\_\_

11) นำผลลัพธ์ທີ່ໄດ້ ມາພລູຕກຮາຟ



12) ໃຊ້ກາຟທີ່ພລູຕ ດຳນວນຄ່າແລະ ໂດມໃນຕາຮາງ

Current Gain, $\beta_{dc}$			
$V_{CE}$	$I_B = 50 \mu A$	$I_B = 100 \mu A$	$I_B = 150 \mu A$
3.0 V			
5.0 V			

กลุ่ม(ເຫົາ-ປ່າຍ) \_\_\_\_\_ กลุ่มທີ \_\_\_\_\_ ຂັນປີທີ \_\_\_\_\_ ອັດງ \_\_\_\_\_  
ຮ້າສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_

ວັນເດືອນປີ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
ຮ້າສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_

ສຽບແລກການທດລອງ

.....

.....

.....

.....

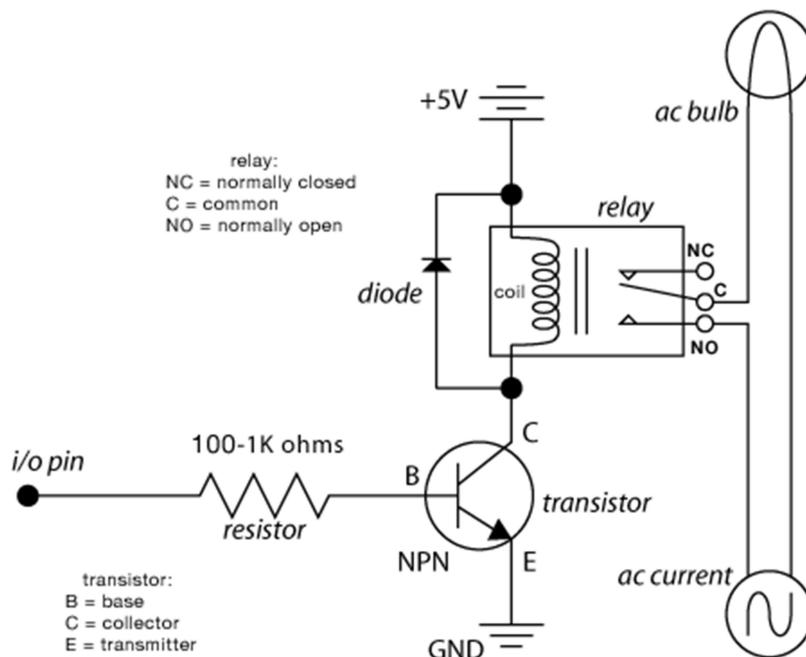
กลุ่ม(เข้า-บ่าย) \_\_\_\_\_ กลุ่มที่ \_\_\_\_\_ ชั้นปีที่ \_\_\_\_\_ ห้อง \_\_\_\_\_  
รหัส \_\_\_\_\_ ชื่อ \_\_\_\_\_

วันเดือนปี \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
รหัส \_\_\_\_\_ ชื่อ \_\_\_\_\_

### การทดลองที่ 6.3 การต่อวงจรทรานซิสเตอร์ควบคุม LED ด้วยรีเลย์

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานมากในการควบคุมการปิดเปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ลักษณะการใช้งานแม้จะคล้ายกับการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ แต่รีเลย์สามารถสวิตช์ได้กับทั้งไฟ AC และ DC ในขณะที่ทรานซิสเตอร์สามารถสวิตช์ได้เฉพาะไฟ DC อย่างเดียว จุดเด่นอีกประการหนึ่งของรีเลย์ คือ รีเลย์สามารถทนแรงดันและกระแสได้สูงกว่าทรานซิสเตอร์ ( $>5A$ ) ดังนั้น เราจึงสามารถใช้รีเลย์เป็นสวิตช์กับไฟที่มีแรงดันหรือกระแสสูงๆ ได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามข้อด้อยของรีเลย์เมื่อเทียบกับทรานซิสเซอร์ คือ รีเลย์มีขนาดที่ใหญ่กว่า มีความเร็วในการสัมผัติที่ช้ากว่า ไม่สามารถสัมผัติที่ความเร็วสูงได้ และการทำงานของรีเลย์ยังสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า

ในการการเชื่อมต่อวงจรกับรีเลย์ วงจรพื้นฐานแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการเชื่อมต่อ Relay

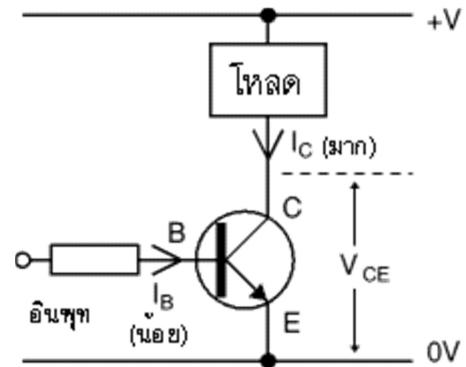
วงจรในรูปจะเห็นได้โดย 1 ตัว ไดโอดตัวนี้ เรียกว่า ไดโอดป้องกัน โดยกรณีที่โหลดของวงจรเป็นชุดลวด ไม่ว่าจะเป็น มอเตอร์ รีเลย์ หรือ โซลินอยด์ จะต้องต่อ ไดโอด คร่อมโหลด เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์ (และไอซี) เสียหาย ตอนที่มีการ “ตัด” (off) โหลด ซึ่งจะมีการเกิด Back EMF ในวงจรขึ้น ในรูปจะเห็นว่า ไดโอดป้องกัน มีการต่อกลับขั้วเอาไว้ ซึ่งตอนปกติไดโอดจะไม่นำกระแส ไดโอดจะนำกระแสเมื่อโหลดถูกตัด (off) ซึ่งในขณะนั้นกระแสที่เกิดการสะสมพลังงานในชุดลวดพยายามที่จะไหลผ่านชุดลวด และเนื่องจากทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาพว่างตัด (off) กระแสจะไหลไม่ได้ หากไม่มีไดโอด กระแสที่มีค่าสูงนี้อาจทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้ แต่หากต่อไดโอดป้องกันไว้ กระแสที่เกิดนี้จะไหลผ่านไดโอดไปได้ ทำให้ทรานซิสเตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่เสียหาย

กลุ่ม(เข้า-บ่าย) \_\_\_\_\_ กลุ่มที่ \_\_\_\_\_ ชั้นปีที่ \_\_\_\_\_ ห้อง \_\_\_\_\_  
รหัส \_\_\_\_\_ ชื่อ \_\_\_\_\_

วันเดือนปี \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
รหัส \_\_\_\_\_ ชื่อ \_\_\_\_\_

จากการจราจรตามรูปที่ 6 จะเห็นว่าเราใช้ทรานซิสเตอร์ในการขับโหลดที่เป็นรีเลย์ โดยเหตุผลที่จำเป็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์ เนื่องจาก โดยที่ไปแล้ว ขาเอาท์พุตของไอซิต่างๆ มักจะไม่สามารถจ่ายกระแสได้มาก (ไม่ต้องดู ATmega328 ในบอร์ด Arduino สามารถจ่ายกระแสได้ไม่เกิน 20 mA) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์ในการสวิตช์กระแสที่สูงพอสำหรับอุปกรณ์เอาท์พุต เช่น หลอดไฟ โมเตอร์ รีเลย์

ในวงจรจะเห็นรีลีสเตอร์ ( $R_B$ ) ต่ออยู่ที่ขาเบส ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสที่ไหลเข้าเบส ของทรานซิสเตอร์ เพื่อป้องกันไม่ให้เสียหาย โดย  $R_B$  ต้องมีค่าที่ต่ำกว่าพอที่จะทำให้มันใจได้ว่า ทรานซิสเตอร์จะทำงานในสถานะอิมตัว ในการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่มีลักษณะเป็นสวิตช์ นั้น ทรานซิสเตอร์จะต้องทำหน้าที่ ตัด (OFF) หรือ ต่อ (ON) โดยในสภาวะที่ต่อ (ON) นั้น แรงดัน  $V_{CE}$  ที่คร่อมทรานซิสเตอร์จะลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่า สถานะ อิมตัว (Saturated) เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านคอลเลคเตอร์ จะมากที่สุด จนไม่อาจจะมี กระแสคอลเลคเตอร์ ( $I_C$ ) ที่สูงกว่าที่ได้อีกแล้ว และจากแรงดัน  $V_{CE}$  ที่น้อยมาก จึงทำให้ พลังงาน (P) ที่เกิดขึ้นในทรานซิสเตอร์มีค่าน้อยตามไปด้วย โดย



- ในสภาวะตัด (OFF) : ค่าพลังงาน =  $I_C \times V_{CE}$  แต่เนื่องจาก  $I_C = 0$  พลังงานจึงเป็น 0
- ในสภาวะต่อ (ON) : ค่าพลังงาน =  $I_C \times V_{CE}$  แต่เนื่องจาก  $V_{CE}$  ใกล้ 0 พลังงานจึงน้อยมาก

ในสภาวะนี้ เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน จะไม่ร้อน ดังนั้นค่าสำคัญในวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ คือ กระแสคอลเลคเตอร์สูงสุด  $I_{Cmax}$  และค่า Gain กระแสต่ำสุด ( $h_{FE} min$ ) โดยปกติค่าที่ปลอดภัย คือ ต้องออกแบบวงจรให้กระแสเบส  $I_B$  สูงกว่า 5 เท่าของกระแสที่ทำให้ ทรานซิสเตอร์อิมตัว

ดังนั้นในการจะหาค่าความต้านทาน  $R_B$  ที่เหมาะสม จะต้องรู้ข้อมูลดังนี้

- รู้ความต้านทานของรีเลย์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นโหลดของวงจร ซึ่งจะทราบได้โดยการวัดโดยใช้มัลติมิเตอร์
- รู้ค่า  $I_{Cmax}$  และค่า  $h_{FE} min$  ของทรานซิสเตอร์ที่จะนำมาใช้งาน
- ค่าแรงดัน Input ของวงจร (ในกรณีที่ต่อจาก Arduino คือ +5V)

สมมติว่าค่าความต้านทานของรีเลย์ คือ 300 โอห์ม และสมมติว่าแรงดันที่จ่ายให้กับรีเลย์ คือ 5 V ดังนั้น

$$\text{กระแสโหลด } I_C = \frac{\text{แรงดันแหล่งจ่าย}}{\text{ความต้านทานโหลด}} = \frac{5V}{300\Omega} = 17mA \quad (\text{เพื่อความละเอียดใช้ } 20mA)$$

กลุ่ม(เข้า-บ่าย) \_\_\_\_\_ กลุ่มที่ \_\_\_\_\_ ชั้นปีที่ \_\_\_\_\_ ห้อง \_\_\_\_\_  
รหัส \_\_\_\_\_ ชื่อ \_\_\_\_\_

วันเดือนปี \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
รหัส \_\_\_\_\_ ชื่อ \_\_\_\_\_

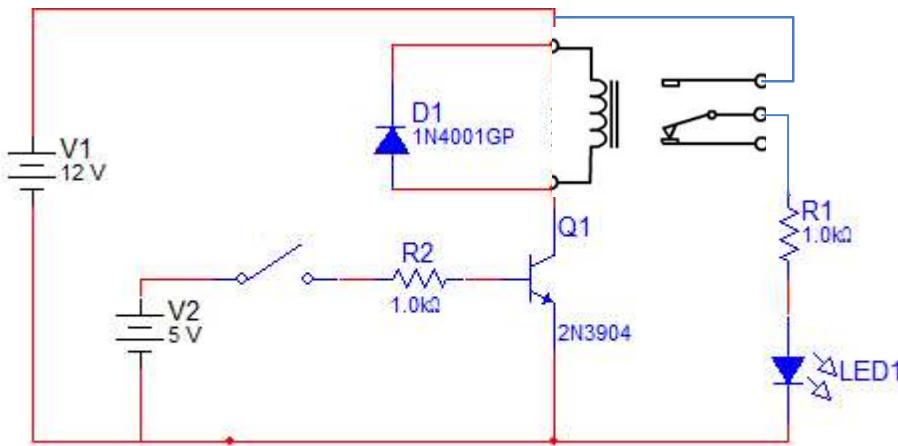
ซึ่งกระแส kollektör สูงสุด  $I_{Cmax}$  ของทรานซิสเตอร์จะต้องมากกว่ากระแส kollektör  $I_C$  ซึ่งจะต้องเพื่อไว้สำหรับกรณีที่นำไปใช้กับรีเลย์ที่มีความต้านทานน้อยกว่านี้ เช่น อาจกำหนดไว้ 100 mA จากนั้นก็หาทรานซิสเตอร์ที่มีค่า  $I_{Cmax}$  ตามที่ต้องการ สำหรับทรานซิสเตอร์เบอร์ BC547 มีค่า  $I_{Cmax}$  อยู่ที่ 100 mA จึงสามารถใช้กับวงจรนี้ได้

จากนั้นก็หาค่า Gain กระแสต่ำสุด  $h_{FE}(min)$  ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งอย่างน้อยต้องมีค่าเป็น 5 เท่าของกระแส kollektör  $I_C$  หากด้วยกระแส เอกาท์พุทสูงสุดของไอซี =  $5 \times 20 \text{ mA} / 20 \text{ mA} = 5$  เท่า สำหรับทรานซิสเตอร์ที่เราใช้ในการทดลองนี้ คือเบอร์ BC547 มีค่า  $h_{FE}(min)$  เท่ากับ 110 จึงสามารถใช้กับวงจรนี้ได้

จากนั้นก็มาคำนวณค่าความต้านทานที่เบส  $R_B$  โดย  $R_B = 0.2 \times R_L \times H_{FE}$  หรือ  $R_B = V \times H_{FE} / (5 \times I_C)$  กรณีของงจรที่มีค่า  $R_L = 300 \Omega$   $R_B = 0.2 \times 300 \times 110 = 6.6 \text{ k}\Omega$  ซึ่งหมายความว่าค่า  $R_B$  ต้องไม่เกิน 6.6 kΩ โดยอาจใช้น้อยกว่านี้ได้ แต่หากน้อยเกินไป จะทำให้เกิดภาระกับไอซีที่จ่ายกระแส  $I_B$  ได้

#### ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ต่อวงจรดังรูป



- 2) ทดลองเปิดปิด s1 ไฟ LED สว่าง – ดับ ตามจังหวะการ เปิดปิด s1 หรือไม่ (ต้องทำให้ได้ก่อน)

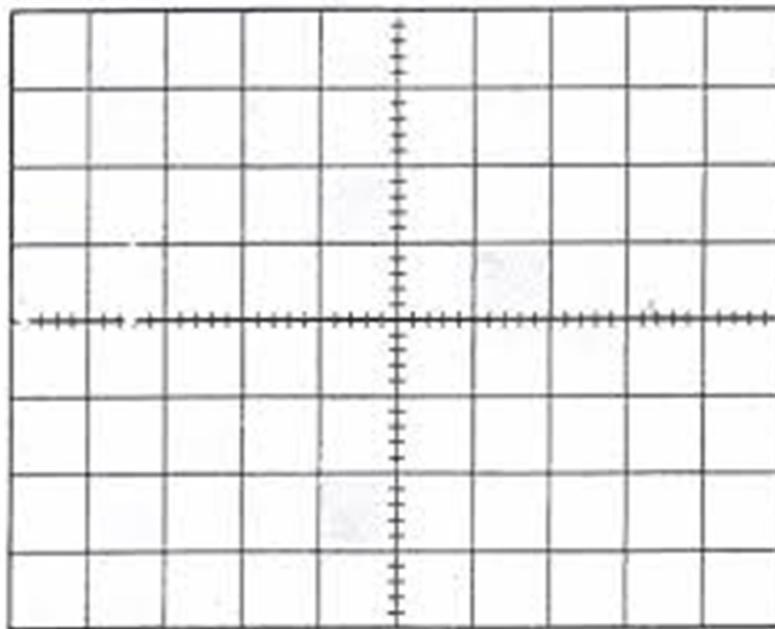
- 3) ใช้ DMM วัดไฟต่าง ๆ ตามตาราง

S1	$V_{BE}$	$V_{CE}$	$V_{BC}$
ไม่มีข้อมูล			
เข้มต่อ			

- 4) ขณะ S1 เข้มต่อ คำนวณหากระแส  $I_B = \dots$  กระแส  $I_C = \dots$

- 5) นำอุปกรณ์มาเชื่อมต่อ คอลล์ค็อกปั๊บระหว่าง คอลล์ของรีเลย์ โดยให้ ground ของสโคลปต่อที่ จุดเข้มต่อระหว่างชุดลวดและทรานซิสเตอร์ ใช้ mode sweep single จับสัญญาณขณะ ไฟ LED เปลี่ยนสถานะจาก ไฟสว่าง เป็น ไฟดับ วัดรูปที่ได้

กลุ่ม(ເຫົ້າ-ບ່າຍ) \_\_\_\_\_ กลุ่มທີ \_\_\_\_\_ ຂັນປີທີ \_\_\_\_\_ ອົງ \_\_\_\_\_  
 รหັສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_ รหັສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_ ວັນເດືອນປີ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_



CH1 = .....V / div

Timebase

= ..... s/div

**Trigger**

Mode = .....

Sweep = .....

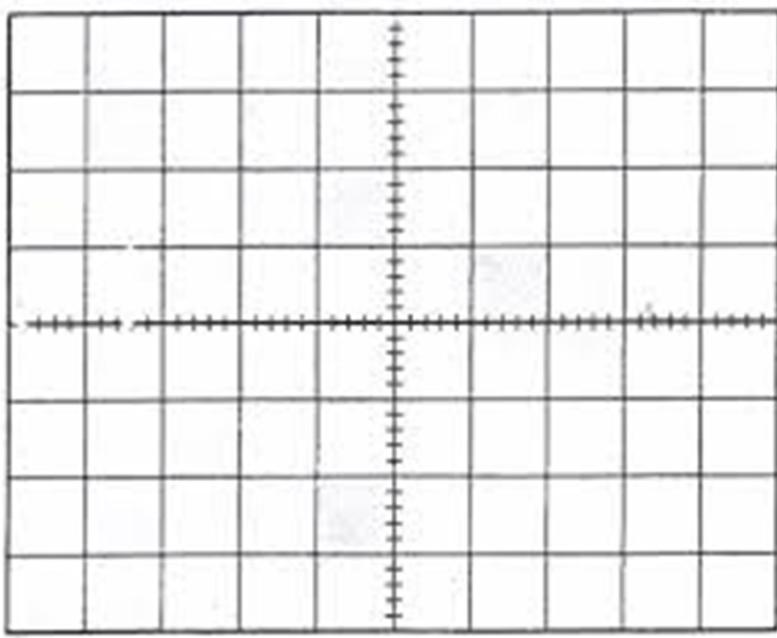
Trigger Level

= .....

.....

.....

- 6) ນຳ D1 ອອກ ແລະ ຈັບສົງຄູມແບບຂຶ້ວ 5 ອົກຮັງໜີ່ (ຕຽບສອບ Back EMF)



CH1 = .....V / div

Timebase

= ..... s/div

**Trigger**

Mode = .....

Sweep = .....

Trigger Level

= .....

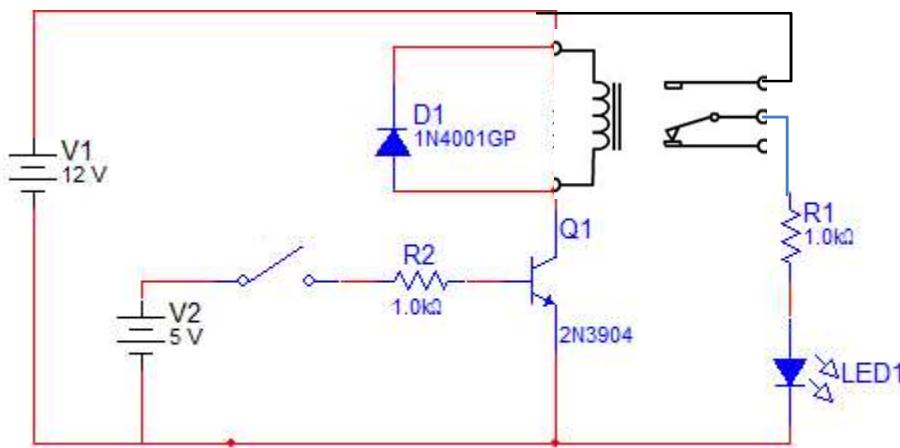
.....

.....

กลุ่ม(ເຫົາ-ບ່າຍ) \_\_\_\_\_ กลุ่มທີ \_\_\_\_\_ ຂັ້ນປີທີ \_\_\_\_\_ ອັດງ \_\_\_\_\_  
 ຮັດສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_ ຮັດສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_

ວັນເດືອນປີ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

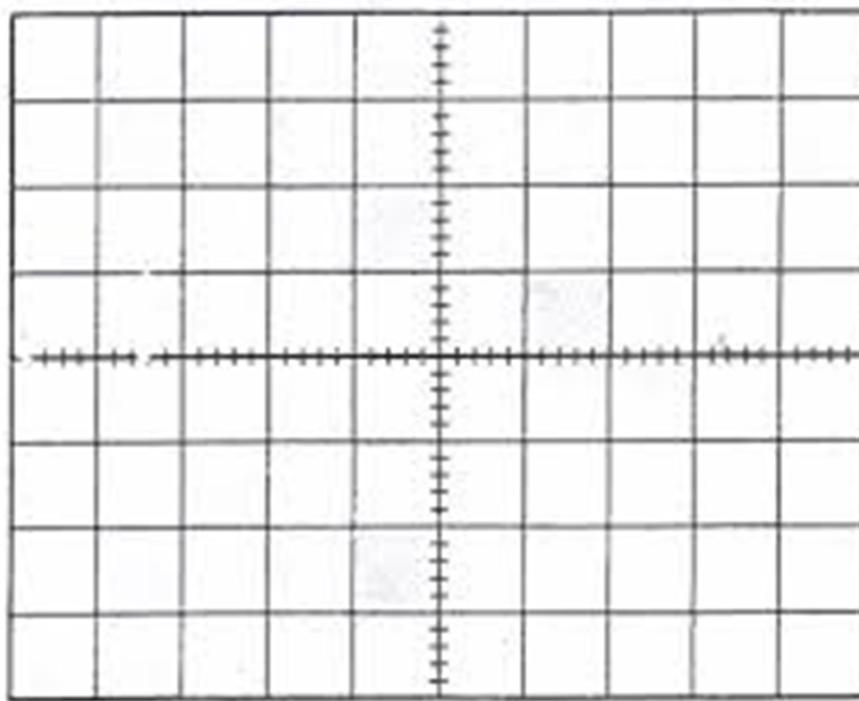
#### ການທົດລອງທີ 6.4 Diode effect on Relay circuit



#### ຂໍ້ມູນຕອນການທົດລອງ

- 1) ຕ່ອງຈະຮັດຈຳງຸປ່າ V2 ເປົ້າຢັ້ງເປັນ square wave 1 Hz. TTL ຈາກຊຸດ Logic Trainer
- 2) ວັດອຸນຫງມືຂອງ Transistor ບັນທຶກຜລ ..... ອົງສາເຊີລເຊີຍສ
- 3) ໃຊ້ Oscilloscope ຈັບສັງຄູນ ທີ່ທັກຄ່ອມຂດລວດຂອງຮີເລີຍ ບັນທຶກຜລ
- 4)  $V_{CE\max}$  ຂະນະມີ D1 ມີຄ່າເທົ່າກັບ ..... V. ຄ່າ  $V_{CE\max}$  ຂອງ 2N3904 ຄື້ອ ..... V.
- 5) ນຳ D1 ອອກຈາກວຽກ
- 6) ວັດອຸນຫງມືຂອງ Transistor ບັນທຶກຜລ ..... ອົງສາເຊີລເຊີຍສ
- 7) ໃຊ້ Oscilloscope ຈັບສັງຄູນ ທີ່ທັກຄ່ອມຂດລວດຂອງຮີເລີຍ ບັນທຶກຜລ
- 8) ຂະນະ Q1 ທຳມະນາ  $V_{BE} = \dots \text{V.}$   
 $I_B = \dots \text{A.}$
- 9)  $V_{CE\max}$  ຂະນະໄມ້ມີ D1 ມີຄ່າເທົ່າກັບ ..... V.

กลุ่ม(ເຫົ້າ-ບ່າຍ) \_\_\_\_\_ กลุ่มທີ \_\_\_\_\_ ຂັນປີທີ \_\_\_\_\_ ອັດ \_\_\_\_\_  
 รหສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_ ວັນເດືອນປີ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_



CH1 = .....V / div

Timebase

= ..... s/div

**Trigger**

Mode = .....

Sweep = .....

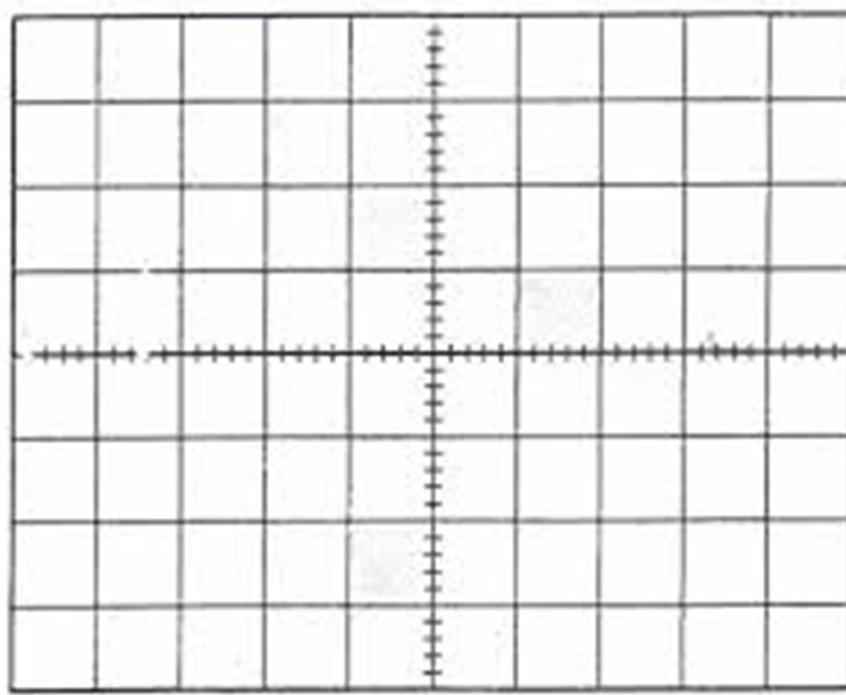
Trigger Level

= .....

.....

.....

ຮູບຄື່ນຂອງສັນຍານຄ່ອມບົດລວດຂອງເຣີເລີຍ ແບບມືໄດໂອດ D1



CH1 = .....V / div

Timebase

= ..... s/div

**Trigger**

Mode = .....

Sweep = .....

Trigger Level

= .....

.....

.....

ຮູບຄື່ນຂອງສັນຍານຄ່ອມບົດລວດຂອງເຣີເລີຍ ແບບໄມ່ມືໄດໂອດ D1

กลุ่ม(ເຫົາ-ປ່າຍ) \_\_\_\_\_ กลุ่ມທີ \_\_\_\_\_ ຂັນປີທີ \_\_\_\_\_ ອັດງ \_\_\_\_\_  
ຮທສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_ ຮທສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_

ວັນເດືອນປີ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

ຄໍາຖາມ

- 1) ໄດ້ໂອດ D1 ມີຜລອະໄຮກບວງຈຣ

.....  
.....  
.....

- 2) ຖ້າເຮົາໄມ້ເຕີ ໄດ້ໂອດ D1 ວົງຈຈະເປັນຍ່າງໃຈ

.....  
.....  
.....



กลุ่ม(ເຫົ້າ-ບ່າຍ) \_\_\_\_\_ กลຸມທີ \_\_\_\_\_ ຂັນປີທີ \_\_\_\_\_ ມັງ \_\_\_\_\_  
 ຮັດສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_ ຮັດສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_

ວັນເດືອນປີ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

October 2011

2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 — NPN General Purpose Amplifier

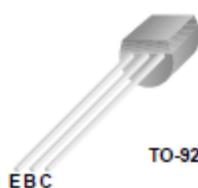


## 2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 NPN General Purpose Amplifier

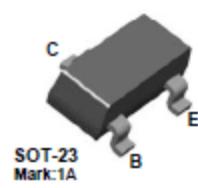
### Features

- This device is designed as a general purpose amplifier and switch.
- The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier.

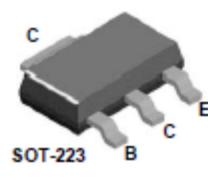
2N3904



MMBT3904



PZT3904



### Absolute Maximum Ratings\* $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage	40	V
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage	60	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage	6.0	V
$I_C$	Collector Current - Continuous	200	mA
$T_J, T_{stg}$	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

\* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

#### NOTES:

- These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

### Thermal Characteristics $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Max.			Units
		2N3904	*MMBT3904	**PZT3904	
$P_D$	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625 5.0	350 2.8	1,000 8.0	mW mW/°C
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			°C/W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	°C/W

\* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06".

\*\* Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6 cm<sup>2</sup>.

กลุ่ม(ເຫົ້າ-ບ່າຍ) \_\_\_\_\_ กลຸມທີ \_\_\_\_\_ ຂັນປີ \_\_\_\_\_ ມັງ \_\_\_\_\_  
ຮທສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_

ວັນເດືອນປີ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
ຮທສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_

**Electrical Characteristics**  $T_a = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
$V_{(\text{BR})\text{CEO}}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0\text{mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(\text{BR})\text{CBO}}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(\text{BR})\text{EBO}}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10\mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
$I_{BL}$	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{V}, V_{EB} = 3\text{V}$		50	nA
$I_{CEX}$	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{V}, V_{EB} = 3\text{V}$		50	nA
<b>ON CHARACTERISTICS*</b>					
$h_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = 0.1\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 1.0\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 50\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 100\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$	40 70 100 60 30	300	
$V_{CE(\text{sat})}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 1.0\text{mA}$ $I_C = 50\text{mA}, I_B = 5.0\text{mA}$		0.2 0.3	V V
$V_{BE(\text{sat})}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 1.0\text{mA}$ $I_C = 50\text{mA}, I_B = 5.0\text{mA}$	0.65	0.85 0.95	V V
<b>SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS</b>					
$f_T$	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 20\text{V}, f = 100\text{MHz}$	300		MHz
$C_{obo}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0\text{V}, I_E = 0, f = 1.0\text{MHz}$		4.0	pF
$C_{ibo}$	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{V}, I_C = 0, f = 1.0\text{MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure	$I_C = 100\mu\text{A}, V_{CE} = 5.0\text{V}, R_S = 1.0\text{k}\Omega, f = 10\text{Hz to } 15.7\text{kHz}$		5.0	dB
<b>SWITCHING CHARACTERISTICS</b>					
$t_d$	Delay Time	$V_{CC} = 3.0\text{V}, V_{BE} = 0.5\text{V}$		35	ns
$t_r$	Rise Time	$I_C = 10\text{mA}, I_{B1} = 1.0\text{mA}$		35	ns
$t_s$	Storage Time	$V_{CC} = 3.0\text{V}, I_C = 10\text{mA}, I_{B1} = I_{B2} = 1.0\text{mA}$		200	ns
$t_f$	Fall Time			50	ns

\* Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$

**Ordering Information**

Part Number	Marking	Package	Packing Method	Pack Qty
2N3904BU	2N3904	TO-92	BULK	10000
2N3904TA	2N3904	TO-92	AMMO	2000
2N3904TAR	2N3904	TO-92	AMMO	2000
2N3904TF	2N3904	TO-92	TAPE REEL	2000
2N3904TFR	2N3904	TO-92	TAPE REEL	2000
MMBT3904	1A	SOT-23	TAPE REEL	3000
MMBT3904_D87Z	1A	SOT-23	TAPE REEL	10000
PZT3904	3904	SOT-223	TAPE REEL	2500

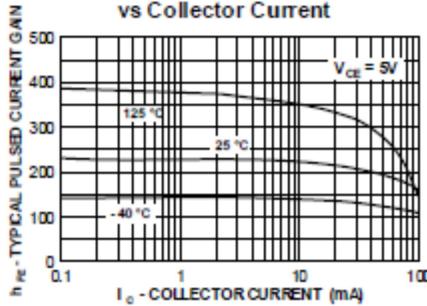
กลุ่ม(ເຂົ້າ-ບ່າຍ) \_\_\_\_\_ กลຸມທີ \_\_\_\_\_ ຂັນປົກທີ \_\_\_\_\_ ມົງ \_\_\_\_\_  
ຮທສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_

ວັນເດືອນປີ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
ຮທສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_

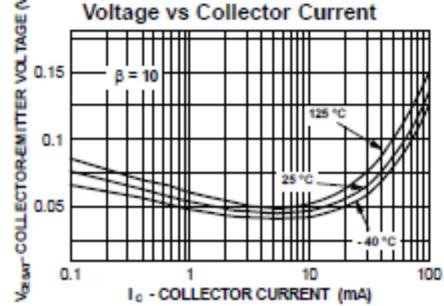
2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 — NPN General Purpose Amplifier

### Typical Performance Characteristics

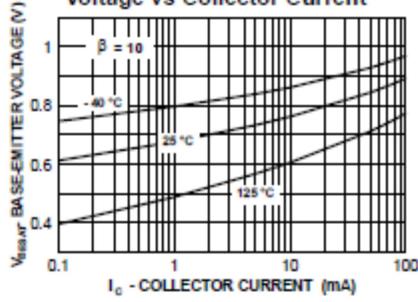
Typical Pulsed Current Gain vs Collector Current



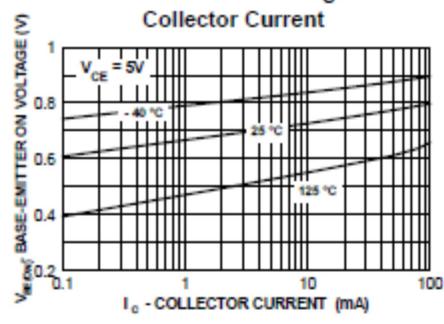
Collector-Emitter Saturation Voltage vs Collector Current



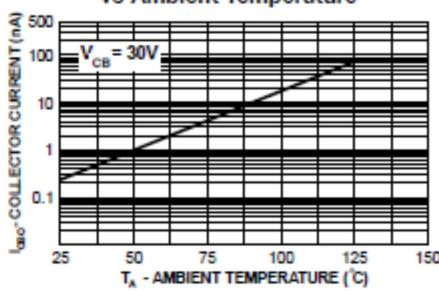
Base-Emitter Saturation Voltage vs Collector Current



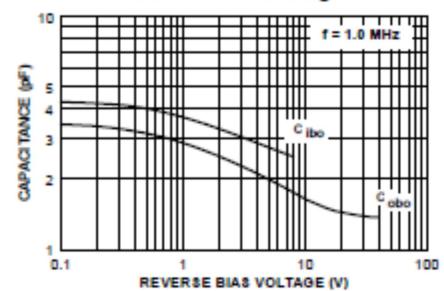
Base-Emitter ON Voltage vs Collector Current



Collector-Cutoff Current vs Ambient Temperature



Capacitance vs Reverse Bias Voltage



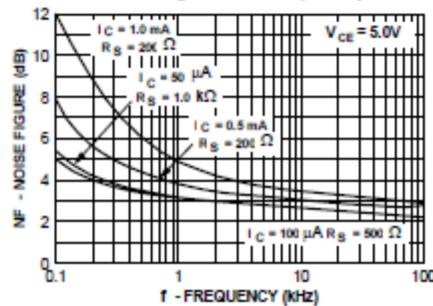
กลุ่ม(ເຫົ້າ-ບ່າຍ) \_\_\_\_\_ กลຸມທີ \_\_\_\_\_ ຂັນປີທີ \_\_\_\_\_ ມັງ \_\_\_\_\_  
ຮັກສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_

ວັນເດືອນປີ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
ຮັກສ \_\_\_\_\_ ຈື່ອ \_\_\_\_\_

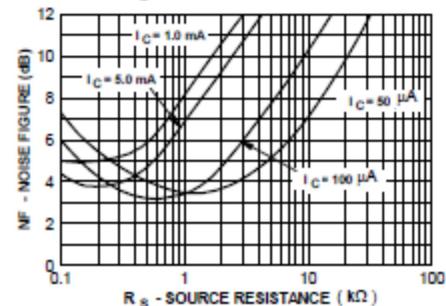
2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 — NPN General Purpose Amplifier

### Typical Performance Characteristics (continued)

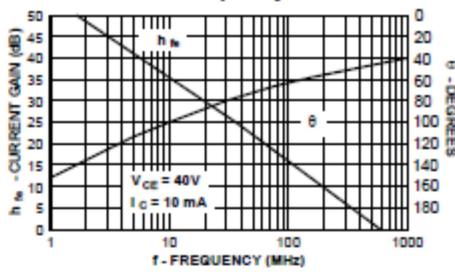
Noise Figure vs Frequency



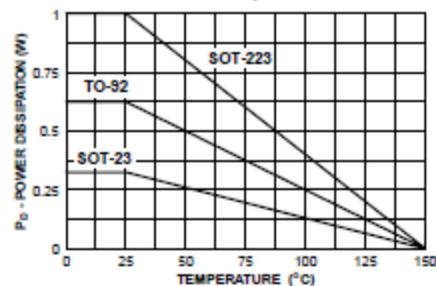
Noise Figure vs Source Resistance



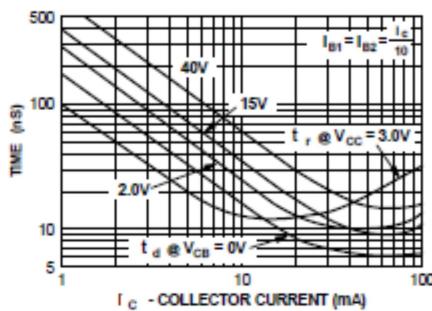
Current Gain and Phase Angle vs Frequency



Power Dissipation vs Ambient Temperature



Turn-On Time vs Collector Current



Rise Time vs Collector Current

