

บทที่ 3

Bipolar Junction Transistor

1. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Bipolar Junction Transistor

2. บทนำ

ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อถูกค้นพบครั้งแรก โดยคณะทำงานห้องปฏิบัติการของบริษัทเบลเทเลโฟน(Bell Laboratories) ในปี ค.ศ. 1947 นับได้ว่าเป็นการปลุกโลกของวิวัฒนาการการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อ เรียกด้วยตัวย่อว่า BJT (Bipolar Junction Transistor) ทรานซิสเตอร์ (BJT) ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น วงจรขยายในเครื่องรับวิทยุและเครื่องรับโทรทัศน์หรือนำไปใช้ในวงจรถอยเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ (Switching) เช่น เปิด-ปิดรีเลย์ (Relay) เพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

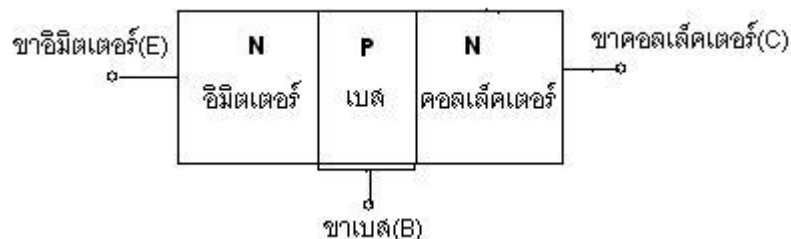
3. เนื้อหา

BJT

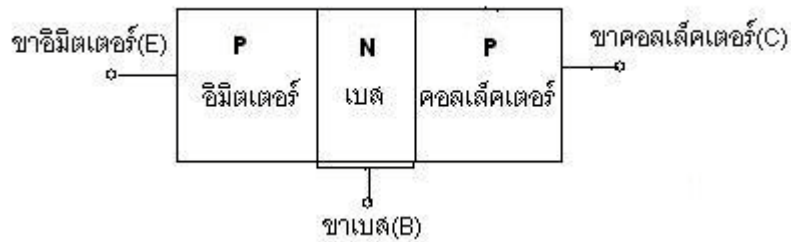
ทรานซิสเตอร์ (Transistor) คือสิ่งประดิษฐ์ทำจากสารกึ่งตัวนำมี 3 ขา กระแสหรือแรงดันเคลื่อนเพียงเล็กน้อยที่ขาหนึ่งจะควบคุมกระแสที่มีประมาณมากที่ไหลผ่านขาทั้งสองข้างได้ หมายความว่าทรานซิสเตอร์เป็นทั้งเครื่องขยายและสวิตช์ทรานซิสเตอร์

โครงสร้างทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อหรือ BJT นี้ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด p และ n ต่อกัน โดยการเติมสารเจือปน (Doping) จำนวน 3 ชั้น ทำให้เกิดรอยต่อ (Junction) ขึ้นจำนวน 2 รอยต่อ การสร้างทรานซิสเตอร์จึงสร้างได้ 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีสารชนิด N 2 ชั้นเรียกว่าชนิด NPN และชนิดที่มีสาร P 2 ชั้นเรียกว่าชนิด PNP ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

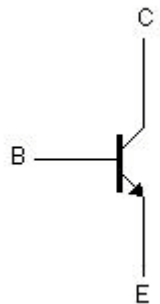


รูปที่ 3.2 โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด pnp

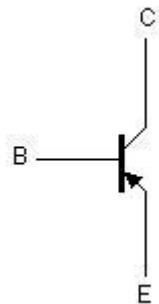
ขาทั้ง 3 ที่ต่อใช้งานของทรานซิสเตอร์ มีชื่อเรียกดังนี้

- ขาคอลเล็กเตอร์ (Collector) เรียกย่อๆ ว่า ขาซี (C) เป็นโครงสร้างที่มีชั้นสารขนาดใหญ่ที่สุด มักจะถูกโอบเป็นฐาน
- ขาอิมิตเตอร์ (Emitter) เรียกย่อๆ ว่า ขาอี (E) เป็นโครงสร้างที่มีชั้นสารขนาดรองลงมาและอยู่คนละด้านกับคอลเล็กเตอร์
- ขาเบส (Base) เรียกย่อๆ ว่า ขาบี (B) เป็นโครงสร้างที่มีชั้นสารขนาดแคบสุด เมื่อเทียบกับอีกสองส่วน และอยู่ระหว่างกลางของสารทั้งสอง

การดูจากสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ขาเบส (B) จะอยู่ตอนกลาง ขาที่มีหัวลูกศรกำกับไว้ คือ ขาอิมิตเตอร์ (E) ถ้าเป็นรูปลูกศรชี้เข้าเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP รูปลูกศรชี้ออกเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.3 สัญลักษณ์ npn



รูปที่ 3.4 สัญลักษณ์ pnp

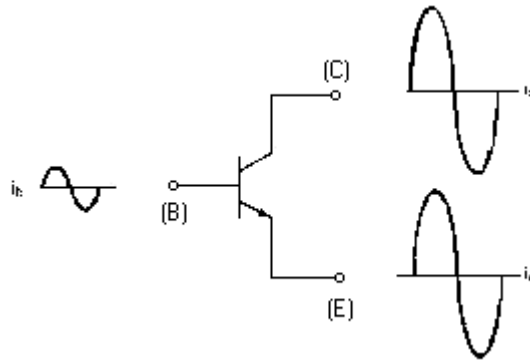
กระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์ (Transistor Current and Voltage)

เนื่องจากทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีขั้ว 3 ขั้วคือ ขั้วคอลเลคเตอร์, ขั้วเบส และขั้วอิมิตเตอร์ จึงมีกระแสและแรงดันทรานซิสเตอร์หลายค่า ดังนี้

- กระแสของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ซึ่งถูกควบคุมด้วยกระแสเบส (Base Current: I_B) กล่าวคือเมื่อ I_B มีการเปลี่ยนแปลง แม้เพียงเล็กน้อยก็จะทำให้กระแสอิมิตเตอร์ (Emitter Current: I_E) และกระแสคอลเลคเตอร์ (Collector Current: I_C) เปลี่ยนแปลงไปด้วย

นอกจากนี้ถ้าเราเลือกบริเวณการทำงาน (Operating Region) หรือทำการไบอัสที่รอยต่อของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตำแหน่งให้เหมาะสม ก็จะได้ I_E และ I_C ซึ่งมีขนาดมากขึ้นเมื่อเทียบกับ I_B



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของกระแสระหว่างขา C และ E

จากรูปที่ 3.5 เมื่อจ่ายสัญญาณกระแส AC ที่ขั้วเบส (I_B) หรือที่ด้านอินพุตของทรานซิสเตอร์ก็จะได้รับสัญญาณเอาต์พุตที่ขั้วอิมิตเตอร์และที่ขั้วคอลเลคเตอร์ มีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งมีสมการดังนี้

$$I_E = I_C + I_B \quad \text{----- (3.1)}$$

อัตราขยายเบต้าและอัลฟา

อัตราขยายทางกระแสของทรานซิสเตอร์ได้แก่ อัตราขยายในวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ ซึ่งเป็นวงจรที่นิยมใช้งานมากที่สุด ค่าอัตราขยายนี้ได้มาจากอัตราส่วนของกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) เทียบกับกระแสเบส (I_B) เราเรียกค่าอัตราขยายกระแส (Current Gain) นี้ว่าค่าเบต้า (β_{dc}) เช่นหากกระแสขาเข้าเป็นกระแสเบสกระแสออกเป็นกระแสคอลเลคเตอร์ หากกระแสเข้าเท่ากับ 1 mA กระแสออกเท่ากับ 100 mA เรียกว่าอัตราขยายเท่ากับ 100 เท่า ดังนั้นหากค่าอัตราขยายสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \quad \text{----- (3.2)}$$

โดยทั่วไปแล้วค่าอัตราขยาย β_{dc} จะอยู่ในช่วง 20 ถึง 200 เท่าหรือมากกว่านั้น นอกจากนี้แล้วยังมีอัตราขยายของวงจรที่จัดวงจรแบบคอมมอนเบส โดยถือว่าการกระแสเข้าคือกระแสอิมิตเตอร์ กระแสออกคือกระแสคอลเลคเตอร์ ค่าอัตราขยายดังกล่าวเรียกว่าค่าอัลฟา (α_{dc}) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} \quad \text{----- (3.3)}$$

แต่จากสมการทรานซิสเตอร์สมการที่ 3.1 และค่า I_C มีค่าประมาณใกล้เคียงกับค่า I_E แต่ไม่มากกว่าค่า I_E ดังนั้นค่าอัตราขยายของสมการนี้จึงมีค่าอยู่ในช่วง 0.95 ถึง 0.99 เท่าหรือมีค่าไม่เกิน 1 เท่า

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า β_{dc} และ α_{dc} จากสมการที่ 3.1 และนำ I_C หารสมการที่ 3.1

$$\begin{aligned} \frac{I_E}{I_C} &= \frac{(I_C + I_B)}{I_C} \\ &= \frac{I_C}{I_C} + \frac{I_B}{I_C} \\ &= 1 + \frac{I_B}{I_C} \end{aligned} \quad \text{----- (3.4)}$$

ซึ่งค่า $\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$ และค่า $\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E}$ ดังนั้นนำค่าทั้งสองแทนในสมการที่ 3.4 ได้ดังนี้

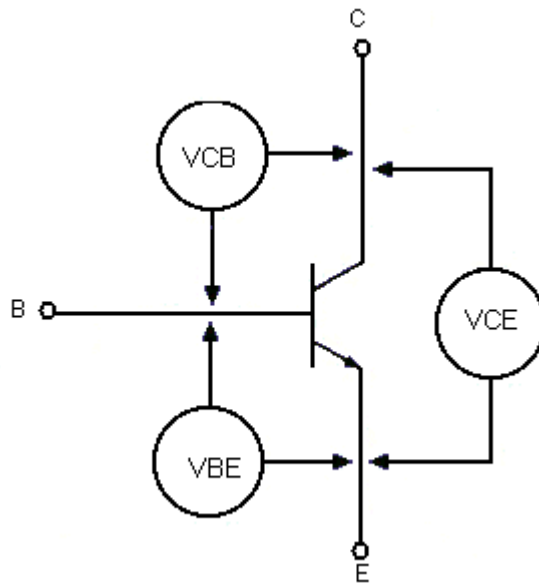
$$\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{\beta_{dc} + 1} \quad \text{----- (3.5)}$$

และ

$$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1 - \alpha_{dc}} \quad \text{----- (3.6)}$$

- แรงดันของทรานซิสเตอร์

ขณะต่อทรานซิสเตอร์เพื่อใช้กับงานจริง มีแรงดันไฟฟ้าหลายประการเกิดขึ้น ดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นของทรานซิสเตอร์

หลักการทํางาน

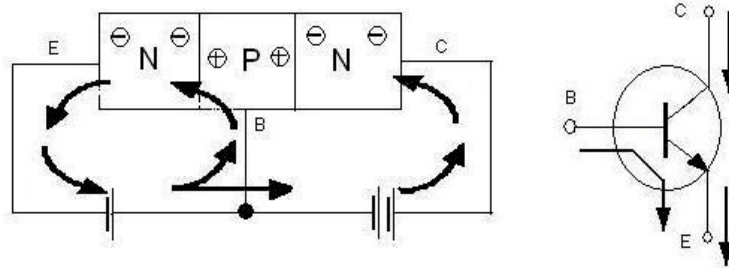
ทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และชนิด PNP เมื่อนําไปใช้งานไม่ว่าจะใช้อยู่ในวงจรรขยายสัญญาณ(Amplifier) หรือทํางานเป็นสวิตช์ จะต้องทํางานไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทํางานได้ โดยใช้หลักการไบอัส ดังนี้

- ไบอัสตรง (Forward Bias) ให้กับรอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับเบส
- ไบอัสกลับ (Reverse Bias) ให้กับรอยต่อระหว่างคอลเลคเตอร์กับเบส

หลักการของทรานซิสเตอร์คือ ต้องการที่จะให้กระแสทางด้านอินพุต สามารถควบคุมการไหลของกระแสเอาต์พุตได้ ดังนั้นการให้ไบอัสทางเอาต์พุตจึงต้องเป็นการให้ไบอัสเป็นแบบ Reverse Bias ถ้าเป็นแบบ Forward Bias กระแสด้านเอาต์พุตก็จะเป็นอิสระไม่สามารถควบคุมได้ และทางด้านอินพุตจะต้องให้ไบอัสเป็นแบบ Forward Bias ด้วยแรงดันไฟฟ้าต่ำๆ เพื่อที่จะไม่ทำให้กระแสเอาต์พุตเกิดการอิมิตตัวเสียก่อน

การทํางานของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

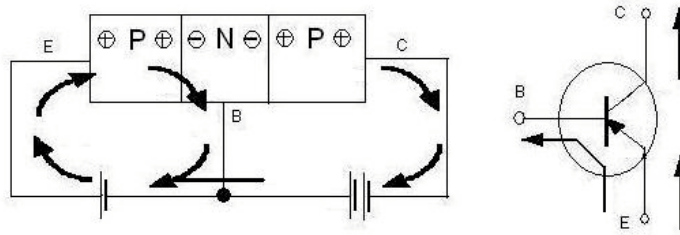
การป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN คือ การจ่ายไฟลบให้ขา E เมื่อเทียบกับไฟบวกที่จ่ายให้ขา B และจ่ายไฟบวกให้ขา C เมื่อเทียบกับไฟลบที่จ่ายให้ขา B มีทั้งไฟบวกและไฟลบ แต่การเทียบศักย์ Forward นั้นจะเทียบระหว่างขา B กับขา E เท่านั้นทำให้ขา B ซึ่งเป็นสาร P ได้รับแรงไฟ Forward คือเป็นไฟบวกเมื่อเทียบกับขา E เท่านั้นแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การทํางานของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

การทํางานของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

การป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับทรานซิสเตอร์ชนิด PNP โดยการจ่ายไฟบวกให้ขา E เมื่อเทียบกับไฟลบที่จ่ายให้ขา B และจ่ายไฟลบเข้าขา C เมื่อเทียบกับไฟบวกที่จ่ายให้ขา B ทำให้ขา B มีทั้งไฟลบและไฟบวก ทำให้ขา B ซึ่งเป็นสาร N ได้รับ Forward Bias คือ เป็นลบเมื่อเทียบกับขา E เท่านั้น แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

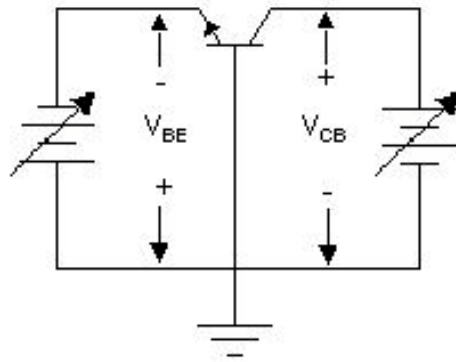
สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด PNP นั้นเมื่อขา B กับขา E ได้ Forward Bias และจากขา B กับขา C ได้ Reverse Bias จะทำให้มีกระแส (I_B) ไหลจากไฟบวกเข้าขา E ไปยังขา B และกระแสคอลเล็คเตอร์ (I_C) จะไหลจากไฟบวกเข้าขา E ออกมายังขา C ทิศทางการไหลของกระแสจะวิ่งไปตามทิศทางของลูกศร นอกจากการได้กระแสซึ่งจะไหลจากบวกไปยังลบแล้ว ยังมีการไล่กระแสจากขั้วลบไปขั้วบวกด้วย หรือเรียกว่า กระแสอิเล็กตรอน ทิศทางการไหลของกระแสจะไปในทิศทางย้อนลูกศร

การไหลของกระแสในทรานซิสเตอร์จะถูกกำหนดด้วยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขา B คือ ถ้าแรงดันไฟฟ้า Forward Bias ที่ขา B มากกระแส (I_B) จะไหลได้มาก ก็จะทำให้กระแสคอลเล็คเตอร์ (I_C) ไหลได้มากตาม ถ้าแรงดันไฟฟ้า Reverse Bias ที่ขา C มากก็ทำให้กระแสคอลเล็คเตอร์มากด้วย การที่กระแสในทรานซิสเตอร์จะไหลได้มากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้เป็นหลัก กล่าวคือ ถ้าให้ V_{BE} มาก I_B จะไหลมาก ความต้านทานในทรานซิสเตอร์ระหว่าง C – E ก็ต่ำลงมาก I_C ก็ไหลมาก และ I_E ก็ไหลได้มากด้วย ถ้าให้ V_{BE} น้อย I_B จะไหลน้อย ความต้านทานในทรานซิสเตอร์ระหว่าง C – E ก็สูง I_C ก็ไหลน้อยและ I_E ก็ไหลได้น้อยด้วย

การจัดโครงสร้างของทรานซิสเตอร์พื้นฐาน (Basic Transistor Configuration)

Common-base

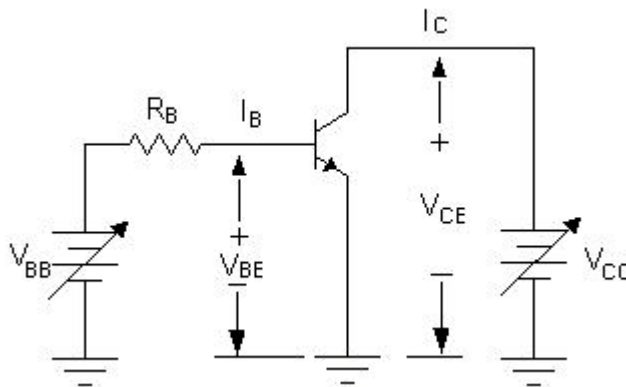
วงจรเบสร่วม เป็นวงจรที่มีการจ่ายอินพุตให้ขั้วอิมิตเตอร์ และเอาต์พุตออกจากขั้วคอลเล็คเตอร์ นั่นคือมีขั้วเบสเป็นจุดต่อร่วมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทั้งสองวงจร วงจรเบสร่วมต้องการความถี่สูง มีอัตราขยายกระแสไฟฟ้าต่ำ อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าสูง และแรงดัน AC อินพุตกับแรงดัน AC เอาต์พุต Inphase กัน



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างวงจร common-base

Common-emitter

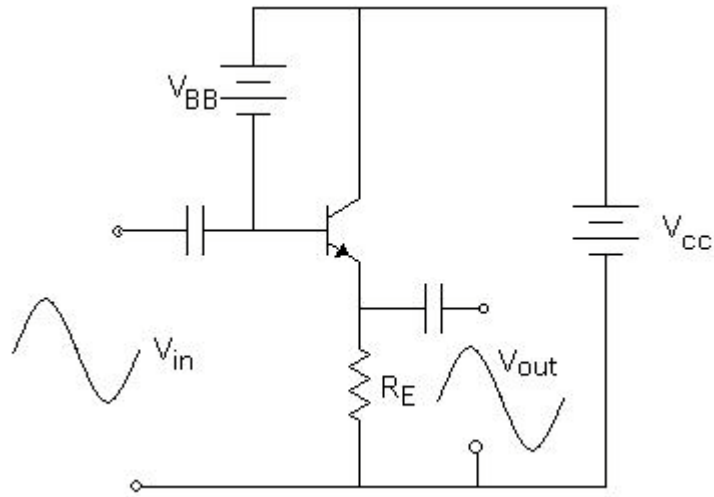
วงจรอิมิตเตอร์ร่วมเป็นวงจรที่การจ่ายอินพุตให้กับขั้วเบสและมีเอาต์พุตออกมาจากขั้วคอลเลคเตอร์ ซึ่งมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทั้งสองมีจุดต่ำร่วมกับขั้วอิมิตเตอร์ วงจรอิมิตเตอร์ร่วมมีอัตราขยายกระแสและอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าสูง และมีการเลื่อนเฟสแรงดัน AC อินพุตไปยังเอาต์พุตเป็นมุม 180 องศา



รูปที่3.10 ตัวอย่างวงจร Common-emitter

Common-Collector

วงจรรวมคอลเลคเตอร์ร่วมเป็นวงจรที่มีการจ่ายอินพุตให้ขั้วเบสและเอาต์พุตออกมาจากขั้วอิมิตเตอร์ วงจรรวมคอลเลคเตอร์ร่วมมีอัตราขยายกระแสไฟฟ้าสูง แต่อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าต่ำ แรงดัน AC อินพุตกับแรงดัน AC เอาต์พุตจะ inphase กัน



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างวงจร Common-collector

4. สรุป

- a. กระแสของทรานซิสเตอร์

$$I_E = I_C + I_B$$

- b. อัตราขยายกระแสดีซี

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$$

- c. อัตราขยายอัลฟา

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E}$$

- d. การเปลี่ยนจากค่า β_{dc} เป็น α_{dc}

$$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1 - \alpha_{dc}}$$

- e. การเปลี่ยนจากค่า α_{dc} เป็น β_{dc}

$$\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{\beta_{dc} + 1}$$

5. คำถามท้ายบท

1. จงอธิบายหลักการทำงานของทรานซิสเตอร์

6. อ้างอิง

- [1] <http://203.154.220.127/~elec2/worktr.php>, 01/12/2546
- [2] <http://taback.sripruetta.ac.th/~wichian/en2007/webcourse/transistor/lesson9.htm>,
01/12/2546
- [3] http://www.thai.net/comd_mtc/tr/tr.htm, 01/12/2546
- [4] เจน สงสมพันธุ์ “เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์” สถาบันอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพรังสิต หน้า
153-182