

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ข้อมูล

1. กล่าวนำ

สำหรับในบทนี้ จะเป็นการนำแนวทางการทดลองตามที่ได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 3 มาให้นักศึกษาได้ทดลองตามลำดับขั้นในแต่ละหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยได้ใช้กลุ่มนักศึกษาจำนวน 2 กลุ่มที่แตกต่างกัน กล่าวคือ

กลุ่มที่ 1 เป็นนักศึกษาในชั้นปีที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2555 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม (หลักสูตรปริญญาตรี 4 ปีปกติ เทียบโอนรายวิชา) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่เรียนวิชาอิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรมที่มีเข้าฟังบรรยายและลงมือปฏิบัติโดยใช้การทดลองจริงเป็นหลัก

กลุ่มที่ 2 เป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2556 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม (หลักสูตรปริญญาตรี 4 ปีปกติ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ โดยทั้ง 2 กลุ่มนั้นสอนโดยให้อาจารย์ที่สอนเป็นตัวแปรคงที่ (สอนโดยอาจารย์คนเดียวกัน เพื่อเป็นการจำกัดตัวแปรในการทดลอง)

การดำเนินการวิจัยให้ได้ว่าซึ่งผลการศึกษาของทั้งกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.กันต์พงษ์ ศรีสถิตย์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้สอนในรายวิชา ENG 2135 อิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม โดยได้นำแนวทางการทดลองในงานวิจัยนี้ไปทดลองใช้ในการสอนเพื่อเก็บข้อมูลประกอบการวิจัย โดยพยายามอ้างอิงกับเนื้อหาในรายวิชาที่มีอยู่เดิมให้มากที่สุด โดยผู้วิจัยได้ขอเข้าไปสังเกตการณ์ให้ทราบว่าเกิดปัญหาอย่างไรบ้าง เพื่อให้เป็นตามแนวคิดของผู้วิจัยให้ได้มากที่สุด

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

➔ 1 tab
เรื่องการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าพื้นฐานของไดโอด

➔ 1 tab
ผลการจำลองคุณสมบัติทางไฟตรงพื้นฐานของไดโอด

จากผลการนำวิธีดำเนินการวิจัยไปใช้กับนักศึกษา เนื่องจากการทดลองในช่วงแรกๆ ที่นักศึกษาเพิ่งจะใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ทำให้การเซตค่าตัวแปรต่างๆ ไม่ทราบว่าจะเลือกใช้แหล่งกำเนิดอย่างไร ให้มีความเหมาะสมกับการทดลอง ดังนั้นผู้วิจัยขอแยกเป็นประเด็นย่อยๆ ได้ เพื่อเป็นข้อสังเกตให้กับผู้ที่นำวิธีดำเนินการวิจัยไปใช้ ดังนี้

- 1) นักศึกษาบางคนหาตัวอุปกรณ์ไม่พบ เนื่องจากไม่ได้เพิ่มไลบรารี (library) ของตัวอุปกรณ์ที่จะใช้งาน
- 2) นักศึกษาบางคนเลือกใช้อุปกรณ์ไม่ตรงตามเบอร์ที่กำหนดให้
- 3) เลือกแหล่งกำเนิดไม่ถูกต้องตามที่โจทย์กำหนด
- 4) เซตค่าตัวแปรไม่เหมาะสม
- 5) เลือกชนิดของการจำลองการทำงาน (simulate) ไม่ถูกต้อง
- 6) ไม่สามารถแก้ปัญหาข้อผิดพลาดที่เกิดจากการวาดลงจริงได้
- 7) พล็อตความสัมพันธ์ไม่ตรงตามต้องการ
- 8) ไม่สามารถอ่านค่าได้ แม้ว่าจะมีกราฟความสัมพันธ์แล้วก็ตาม

ผลการวัดคุณสมบัติทางไฟตรงพื้นฐานของไดโอด

เนื่องจากการออสซิลโลสโคปทั้งสองแขนแนลโดยเลือกอินพุตแบบ Dual นั้น แล้วใช้การอ่านค่าด้วยตาเปล่าของนักศึกษาเอง ผลจากการทดลองพบว่า สามารถเห็นกราฟการนำกระแสของไดโอดขณะที่ได้รับไบอัสตรงและได้รับไบอัสกลับ ผู้อ่านค่าจะต้องปรับสเกลของออสซิลโลสโคปให้เหมาะสมเพื่อที่จะอ่านค่าได้ใกล้เคียงเหมาะสมกับการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม

แต่เมื่อเปลี่ยนเบอร์ของไดโอด ก็จะต้องปรับสเกลของออสซิลโลสโคปใหม่อีกครั้ง เพื่อให้กราฟที่ได้เหมาะสมและถูกต้องโดยจะต้องปรับระดับการเลื่อนขึ้น-ลงของกราฟด้วย

นักศึกษาจะต้องพล็อตกราฟการตอบสนองด้วยตนเองบนกระดาษให้สอดคล้องกับหน้าจอออสซิลโลสโคปเพื่อที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของกราฟที่เกิดขึ้น ซึ่งจะพบว่าเมื่อไดโอดเป็นเบอร์ที่ต่างกันกราฟที่ได้ก็จะมีค่าต่างกันด้วย

ข้อพึงระวัง

ข้อสังเกตให้กับผู้ที่จะนำวิธีดำเนินการวิจัยไปใช้ ดังนี้

- 1) นักศึกษาจะต้องปรับสเกลของออสซิลโลสโคปทั้งแกนตั้งและแกนนอนพร้อมทั้งบันทึกสเกลที่ปรับด้วย เพื่อประกอบการอ่านค่าให้ได้ถูกต้อง
- 2) เนื่องจากต้องใช้ออสซิลโลสโคปทั้งสองแขนแนล ผู้สอนจะต้องกำชับนักศึกษาไม่ให้สลับแขนแนลของออสซิลโลสโคปอย่างเด็ดขาด มิฉะนั้นจะทำให้ผลการทดลองที่ได้ผิดไป
- 3) หากค่าเบรกดาวนของไดโอดมีค่าต่ำมากๆ (ติดลบมากๆ) เครื่องมือวัดอาจจะไม่สามารถแสดงให้เห็นจริงได้ด้วยวิธีการที่ดำเนินการวิจัย

ผลการจำลองคุณสมบัติการสวิตช์ของไดโอด

เนื่องจากการทดสอบคุณสมบัติการสวิตช์ของไดโอด ดังนั้น สัญญาณที่ใช้ในการทดสอบจึงเป็นสัญญาณรูปเหลี่ยม ความถี่ต่ำ ซึ่งในการจำลองนี้ได้สมมติให้ไดโอดนำกระแสที่แรงดันไบอัสตรง

เท่ากับ 0.7 โวลต์ การพล็อตกราฟแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างจุด A และจุด B จะช่วยหาค่าเวลา t_s ได้อย่างไรก็ดี หากเปลี่ยนไดโอดเป็นเบอร์อื่นๆ แล้วค่าเวลา t_s ที่ได้ก็จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

ผลการวัดคุณสมบัติการสวิตช์ของไดโอด

เราใช้สัญญาณทดสอบคุณสมบัติการสวิตช์ของไดโอดเป็นสัญญาณรูปเหลี่ยมเหมือนกับการจำลองด้วยโปรแกรม โดยให้สัญญาณที่แสดงบนหน้าจอออสซิลโลสโคปนั้นมีเพียง 1-2 ลูกคลื่นเท่านั้น เพื่อความสะดวกในการอ่านค่าเวลา t_s โดยอาจารย์ผู้สอนจะต้องกำชับนักศึกษาให้บันทึกสเกลทั้งในแกนนอนและแกนตั้งของออสซิลโลสโคปให้เหมาะสม จากนั้นหาค่าเวลา t_s จากกราฟที่บันทึกได้ อีกทั้งให้นักศึกษาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลา t_s (แกนตั้ง) กับค่า I_r / I_f (แกนนอน) ของไดโอดตามเบอร์ที่กำหนด โดยใช้กระดาษเคมีล๊อค

การเปลี่ยนไดโอดเป็นเบอร์อื่นจะช่วยให้นักศึกษาเข้าใจการหาค่าเวลา t_s ได้ดียิ่งขึ้น ด้วยการทำซ้ำวิธีการเดิม การเปรียบเทียบค่าเวลา t_s ของไดโอดจะช่วยให้เข้าใจได้ว่าไดโอดเบอร์อะไรมีความเหมาะสมในการใช้งานเป็นสวิตช์ (พิจารณาจากค่าเวลา t_s ที่น้อยๆ นั่นเอง)

เรื่องการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าพื้นฐานของไดโอด

ผลการจำลองคุณสมบัติทางสัญญาณระดับต่ำของไดโอด

การจำลองในหัวข้อการหาคุณสมบัติทางสัญญาณระดับต่ำของไดโอดนี้ เราใช้สัญญาณทดสอบเป็นสัญญาณแบบไซน์ที่มีขนาดแรงดันต่ำ เช่น 10 มิลลิโวลต์ แล้วค่อยๆ ปรับเพิ่มความถี่ไปเรื่อยๆ โดยในแต่ละความถี่อาจารย์ผู้สอนจะต้องให้นักศึกษาวัดแรงดันอินพุตและเอาต์พุตแบบพีก (peak voltage) พร้อมทั้งอ่านค่าความต่างเฟสของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่เกิดขึ้นในแต่ละความถี่ด้วย บันทึกค่าเพื่อพล็อตกราฟอัตราขยายของสัญญาณเทียบกับแต่ละความถี่ พร้อมพล็อตเฟสของสัญญาณเทียบกับความถี่ด้วย

ผลการวัดคุณสมบัติทางสัญญาณระดับต่ำของไดโอด

เราใช้วิธีการเช่นเดียวกับการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม เพียงแต่การอ่านค่าความต่างเฟสของสัญญาณจะใช้วิธีลิสซาสจอส เท่านั้น ส่วนการพล็อตกราฟก็ทำเช่นเดียวกัน แต่อย่างลืมว่าให้พล็อตกราฟลงบนกระดาษเคมีล๊อคเท่านั้น จากนั้นก็เปลี่ยนไดโอดเป็นเบอร์อื่นๆ ทำวิธีการเช่นเดียวกัน ข้อพึงระวังในการอ่านค่าจะต้องปรับออสซิลโลสโคปให้แสดงอย่างเหมาะสมเพื่อที่จะอ่านค่าได้อย่างชัดเจน

เรื่องคุณลักษณะบางประการของออปแอมป์ที่แตกต่างจากอุดมคติ

ผลการจำลองคุณสมบัติกระแสไบอัสด้านเข้าของออปแอมป์

เนื่องจากในทางอุดมคติกระแสที่ไหลเข้าทั้งขาบวกและขาลบของออปแอมป์มีค่าเป็นศูนย์ แต่ด้วยความไม่สมดุลของวงจรภายในออปแอมป์เอง ทำให้เกิดกระแสไหลเข้าที่ขาบวกและขาลบของออปแอมป์ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ไม่ต้องการ ดังนั้นในที่นี้จึงต้องหาแรงดันที่ขาบวกและขาลบของออปแอมป์ภายใต้แรงดันไฟเลี้ยงที่จะใช้งาน โดยการต่อความต้านทานที่ขาบวกและขาลบค่าสูงๆ เช่น 200 กิโลโอห์ม เพื่อที่จะใช้คำสั่ง probe ในการวัด จากนั้นใช้ความสัมพันธ์กฎของโอห์มในการหากระแสที่ไหลเข้าและออกจากออปแอมป์ทั้งสองขา โดยหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต

ผลการวัดคุณสมบัติกระแสไบอัสด้านเข้าของออปแอมป์

ให้นักศึกษาต่อความต้านทานค่าสูงๆ เช่น 200 กิโลโอห์ม เข้าที่ขาบวกและขาลบของออปแอมป์ โดยต่อไฟเลี้ยงให้กับออปแอมป์ให้เหมือนกับที่จะนำออปแอมป์ไปใช้งาน ใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันที่ขาบวก และขาลบเทียบกราวด์ โดยจะต้องปรับสเกลในแกนตั้งและแกนนอนของออสซิลโลสโคปให้เหมาะสมเพื่อที่จะอ่านค่าได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม จากนั้นใช้กฎของโอห์มในการหาค่ากระแสที่ไหลเข้าและออกจากออปแอมป์ทั้งด้านขาบวกและขาลบ บันทึกค่ากระแสเฉลี่ยแบบเลขคณิตที่ได้ ทำเช่นเดียวกันนี้กับออปแอมป์เบอร์อื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบค่ากระแสด้านเข้าของออปแอมป์ ให้นักศึกษาบอกด้วยว่าออปแอมป์ที่ได้ทดสอบเบอร์ไหนดีกว่ากัน (พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของกระแสด้านเข้าที่ต่ำที่สุด)

เรื่องคุณลักษณะบางประการของออปแอมป์ที่แตกต่างจากอุดมคติ

ผลการจำลองคุณสมบัติแรงดันออฟเซตทางอินพุตของออปแอมป์

เนื่องจากในทางอุดมคติหากแรงดันทางด้านอินพุตของออปแอมป์เท่ากับศูนย์แล้วจะทำให้แรงดันทางเอาต์พุตมีค่าเท่ากับศูนย์ด้วย แต่เนื่องจากผลความไม่สมดุลของกระแสไบอัสทางด้านขาเข้าของออปแอมป์จึงทำให้เกิดแรงดันออฟเซตทางด้านอินพุตขึ้นมา ดังนั้น ในการใช้งานออปแอมป์จึงต้องหาแรงดันอินพุตออฟเซตนี้ วิธีการคือจะต้องป้อนแรงดันอินพุตเริ่มจากค่าเท่ากับศูนย์เพิ่มขึ้นทีละน้อยแล้ววัดแรงดันที่ได้ทางเอาต์พุตทีละค่า เราเรียกแรงดันที่ป้อนทางอินพุต ที่ทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับศูนย์ว่าเป็นแรงดันอินพุตออฟเซต บันทึกค่าที่ได้

ผลการวัดคุณสมบัติแรงดันออฟเซตทางอินพุตของออปแอมป์

เนื่องจากแรงดันอินพุตออฟเซตมีค่าน้อย ในที่นี้จึงต้องต่อความต้านทานขนาด 1 กิโลโอห์มที่ขาลบเทียบกราวด์แล้วใช้วิธีการเช่นเดียวกับการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมในการหาค่าแรงดันอินพุตออฟเซต เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานและการวัดด้วยออสซิลโลสโคป จากนั้นเปลี่ยนออปแอมป์เป็นเบอร์อื่น เทียบค่าแรงดันอินพุตออฟเซตที่หาค่าได้พร้อมกับบอกด้วยว่าออปแอมป์เบอร์อะไรที่ใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติที่เข้าใกล้อุดมคติมากกว่า

ศึกษาผลของแรงดันออฟเซตทางอินพุตของออปแอมป์ต่อวงจรในทางปฏิบัติ

การจำลองผลของแรงดันออฟเซตทางอินพุตของออปแอมป์ต่อวงจรในทางปฏิบัติ

ตามแนวคิดของแรงดันอินพุตออฟเซตที่ได้ ใช้คำสั่ง probe วัดความแตกต่างของแรงดันระหว่างขาบวกและลบ แล้วใช้แรงดันดังกล่าวเป็นค่าอินพุตของวงจร พร้อมกับใช้คำสั่ง probe วัดค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจร จากนั้นหาอัตราขยายของวงจร บันทึกค่าที่ได้ โดยวงจรขยายที่ใช้ออปแอมป์แบบนี้จะต้องออกแบบให้มีอัตราขยายสูงๆ เพื่อประโยชน์ในการหาค่าอัตราขยาย

การวัดผลของแรงดันออฟเซตทางอินพุตของออปแอมป์ต่อวงจรในทางปฏิบัติ

ใช้ออสซิลโลสโคปทั้งสองแชนแนลวัดแรงที่ขาบวกและขาลบเพื่อหาค่าแรงดันอินพุต บันทึกค่าไว้ แล้วใช้ออสซิลโลสโคปแชนแนลใดก็ได้วัดแรงดันเอาต์พุต แต่ต้องตั้งค่าในการวัดเป็นแบบไฟตรง จากนั้นหาค่าอัตราขยายของวงจรที่ได้ เปรียบเทียบกับการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม

ศึกษาการแก้ค่าแรงดันออฟเซตในทางปฏิบัติ

การจำลองเพื่อแก้ค่าแรงดันออฟเซตในทางปฏิบัติ

การปรับความต้านทานแบบปรับค่าได้ตามรูปในการใช้โปรแกรมจะใช้คำสั่งที่ปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานในโปรแกรม เช่น parametric sweep เป็นต้น จะช่วยให้แรงดันออฟเซตมีค่าลดลงได้ โดยให้วัดแรงดันอินพุตออฟเซตตามการทดลองที่ผ่านมา

การวัดเพื่อแก้ค่าแรงดันออฟเซตในทางปฏิบัติ

การปรับค่าความต้านทานในทางปฏิบัติสามารถทำได้ด้วยการใช้ความต้านทานแบบปรับค่าได้ โดยต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟค่าลบ ปรับค่าความต้านทานไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้แรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์โวลต์ อย่างไรก็ตามหากไม่สามารถปรับให้ได้เท่ากับศูนย์โวลต์แล้วให้ปรับเปลี่ยนการต่อความต้านทานปรับค่าได้จากแหล่งจ่ายไฟค่าลบเป็นค่าบวก เปรียบเทียบแรงดันอินพุตที่ได้กับการจำลองด้วยโปรแกรม ให้นักศึกษาเปลี่ยนออปแอมป์เป็นเบอร์ใหม่แล้วทำซ้ำอีกครั้ง

ศึกษาอัตราสลับ

การจำลองอัตราสลับ

การจำลองอัตราสลับด้วยโปรแกรมนั้นให้ใช้สัญญาณรูปเหลี่ยมป้อนเข้าทางอินพุตของวงจร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ transient เพื่อหาค่า ΔV_{out} และ Δt ทางด้านเอาต์พุตของวงจร จากนั้นแทนค่าเข้าไปในสมการเพื่อหาอัตราสลับ

นอกจากนี้แล้ว เรายังสามารถหาอัตราสູว์ของออปแอมป์ได้จากการป้อนสัญญาณอินพุตแบบไซน์ โดยการเพิ่มขนาดให้มืค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสัญญาณเอาต์พุตถูกตัดยอດทั้งด้านบนและด้านล่าง จากนั้นหาค่า ΔV_{out} และ Δt ทางด้านเอาต์พุตเพื่อหาอัตราสູว์ของวงจร

การวัดอัตราสູว์

ให้นักศึกษาป้อนสัญญาณรูปเหลี่ยมเข้าทางด้านอินพุตของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (inverting amplifier) ใช้ข้อซิลิโอสโคปวัดสัญญาณทางเอาต์พุตประกอบการหาค่า ΔV_{out} และ Δt จากนั้นแทนค่าเข้าไปในสมการเพื่อหาอัตราสູว์ของวงจร

ทำซ้ำข้างต้นหากแต่เปลี่ยนสัญญาณรูปเหลี่ยมเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์แล้วเพิ่มขนาดแรงดันอินพุตจนกระทั่งได้เอาต์พุตถูกตัดยอດด้านบนและด้านล่าง บันทึกค่า ΔV_{out} และ Δt ทางด้านเอาต์พุตเพื่อหาอัตราสູว์ของวงจร

ให้นักศึกษาลองเปรียบเทียบอัตราสູว์ที่ได้ทั้งสองกรณี พร้อมกับทำซ้ำทั้งสองกรณีกับออปแอมป์เบอร์อื่นๆ จากผลการทดลองที่ได้ให้เปรียบเทียบอัตราสູว์ของออปแอมป์เบอร์ต่างๆ ที่ได้ว่าเบอร์ใดมีค่าอัตราสູว์ที่สูงกว่า

ข้อพึงระวัง ให้นักศึกษาปรับออสซิลโลสโคปเป็นแบบวัดไฟตรง

ศึกษาค่าแบนด์วิทท์ของกำลัง

การจำลองค่าแบนด์วิทท์ของกำลัง

การศึกษาค่าแบนด์วิทท์กำลังของออปแอมป์นี้ ทำได้ด้วยการป้อนสัญญาณรูปไซน์ให้กับอินพุตของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (inverting amplifier) โดยเพิ่มขนาดสัญญาณทางด้านอินพุตไปเรื่อยๆ ใช้การวิเคราะห์สัญญาณแบบ transient และใช้คำสั่ง probe วัดสัญญาณเอาต์พุตจนกระทั่งได้ขนาด 10 โวลต์พีค-พีค จากนั้นปรับความถี่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสัญญาณทางเอาต์พุตเริ่มกลายเป็นรูปสามเหลี่ยม บันทึกขนาดและความถี่ที่ได้ จากนั้นเพิ่มขนาดของสัญญาณไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้สัญญาณทางเอาต์พุตมีขนาด 20 โวลต์พีค-พีค คำนวนหาค่าแบนด์วิทท์กำลังของออปแอมป์

ทำซ้ำกับออปแอมป์เบอร์อื่นๆ เปรียบเทียบค่าแบนด์วิทท์กำลังที่ได้ เบอร์ใดมีค่ามากกว่า ให้เรียงจากค่ามากไปหาค่าน้อย

การวัดค่าแบนด์วิทท์ของกำลัง

ทำเหมือนกับการจำลองการทำงานด้วยการใช้โปรแกรม แต่ป้อนสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณแล้วใช้ข้อซิลิโอสโคปวัดสัญญาณทางเอาต์พุต พร้อมกับคำนวณเพื่อหาค่าแบนด์วิทท์กำลัง

เปรียบเทียบค่าที่ได้กับการจำลองด้วยโปรแกรม จากนั้นทำเช่นเดียวกันกับออปแอมป์เบอร์อื่นๆ เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับการหาค่าแบนด์วิดท์กำลังของออปแอมป์

เรื่องทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์

ศึกษาคุณสมบัติทางไฟตรงของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์

การจำลองคุณสมบัติทางไฟตรงของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์

การศึกษาค้นสมบัติทางด้านเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ในที่นี้จะอาศัยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ของกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) เทียบกับแรงดันที่คอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ (V_{CE}) ที่กระแสเบสต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า ณ กระแสเบสสูงๆ จะทำให้กระแสคอลเลคเตอร์สูงตามไปด้วย ณ แรงดันคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์เพิ่มสูงขึ้น กระแสคอลเลคเตอร์ไม่ได้มีค่าคงที่ สังเกตได้จากกราฟที่ซึ่งมีความชัน ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าความต้านทานทางเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ไม่ได้มีค่าสูงเป็นอนันต์เหมือนดังเช่นในทฤษฎี นั่นเอง

ขณะที่หากเปลี่ยนกระแสเบสซึ่งต่อเข้ากับทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ทางอินพุตเป็นแรงดันไฟดีซีเข้าที่เบสเทียบกราวด์ แล้วค่อยๆ เพิ่มค่าแรงดันที่ละเล็กละน้อย การใช้คำสั่ง probe วัดปริมาณกระแสเบสของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ เราพบว่าการป้อนให้แรงดันที่คอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ค่าสูงจะทำให้ แรงดันที่เบสเทียบกราวด์มีค่าสูงตามไปด้วย

ศึกษาคุณสมบัติแบบจำลองไฮบริดของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์

การจำลองคุณสมบัติแบบจำลองไฮบริดของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์

การหาแบบจำลองไฮบริดของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์จะต้องไปอัสให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะทำงานตามแรงดันคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ และกระแสเบสตามที่กำหนด โปรแกรมวิเคราะห์จะช่วยหาค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองไฮบริดมาให้โดยนักศึกษาจะต้องใช้คำสั่ง Examine Output อย่างไรก็ดี หากนักศึกษาให้แรงดันคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ และกระแสเบสมีค่าเปลี่ยนไปจากเดิมค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองไฮบริดก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย โดยในการจำลองด้วยโปรแกรมนี้ นักศึกษาจะต้องอ่านค่าออกมาพร้อมกับระบุค่าในแบบจำลองตามพื้นที่ที่กำหนดให้ (วาดรูปแบบจำลองไฮบริดพร้อมระบุค่าพารามิเตอร์ด้วย)

ศึกษาค้นสมบัติวงจรขยายสัญญาณแบบอิมิตเตอร์ร่วม

การจำลองค่าทางไฟตรงและฟังก์ชันส่งผ่านของวงจรขยายสัญญาณแบบอิมิตเตอร์ร่วมอย่างง่าย

ในการจำลองการทำงานของวงจรขยายสัญญาณนี้เป็นการศึกษาค้นสมบัติทางไฟตรงและฟังก์ชันส่งผ่านของวงจรขยายสัญญาณแบบอิมิตเตอร์ร่วมอย่างง่าย ในการทดลองได้ใช้การดูผลลัพธ์จากการใช้คำสั่ง Examine Output ที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบกับ

คำนวณด้วยมือ เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ทั้งสองกรณีแล้ว พบว่ามีค่าที่เท่ากัน อีกทั้งการทดลองนี้ยังสอนให้นักศึกษารู้จักการเซตค่าฟังก์ชันส่งผ่านในโปรแกรม โดยการพิจารณาที่โหนดเอาต์พุตและการใช้ชื่อของแหล่งกำเนิดทางอินพุต จะทำให้เราสามารถหาค่าความต้านทานทางอินพุตของวงจรโดยการใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ทางวิศวกรรมช่วยได้อย่างรวดเร็ว

การจำลองวงจรขยายสัญญาณแบบอิมิตเตอร์ร่วมแบบมี R_E และ C_E

ผลจากการใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ในหัวข้อที่ผ่านมา จะช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเรานำการวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์มาประยุกต์ใช้ในหัวข้อนี้ ซึ่งจะเป็นการเริ่มวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟตรง การหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองไฮบริด และการป้อนสัญญาณเข้าไปทางอินพุตของวงจรหาฟังก์ชันส่งผ่านเพื่อหาความต้านทานทางอินพุตของวงจรขยายในกรณีนี้ พร้อมกับการใช้คำสั่ง probe ในการหาค่าแรงดันสัญญาณแบบ ac ที่โหนดต่างๆ ตามที่กำหนดจะทำให้เราสามารถหาอัตราขยายสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถหาอัตราขยายกระแสสัญญาณที่โหนดที่จุดใดๆ ได้ตามต้องการ

นอกจากนี้ หากป้อนสัญญาณอินพุตแบบไซน์ แล้วให้อุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณแบบชั่วขณะ ก็สามารถทดสอบอัตราขยายแรงดัน ณ ความถี่ที่เราป้อนเข้าไปได้ หมายรวมถึงการทดสอบความสัมพันธ์ในเชิงเฟสของสัญญาณระหว่างอินพุตและเอาต์พุตได้

อนึ่ง โปรแกรมยังให้ข้อมูลค่าความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกโดยรวมได้ (Total Harmonic Distortion: THD) จากการใช้คำสั่ง Examine Output ซึ่งค่าที่อ่านได้ การใช้เวลาในการรันโปรแกรมที่เหมาะสมจะช่วยให้ได้ค่า THD ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงได้ แต่ต้องปรับแลก (trade off) กับเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรม

อีกทั้ง การศึกษาผลกระทบจากตัวเก็บประจุที่ต่อขานานที่อิมิตเตอร์เทียบกราวด์โดยใช้อุปกรณ์วิเคราะห์นี้จะช่วยให้เห็นความแตกต่างของผลตอบสนองที่ได้ชัดเจน โดยการทำความเข้าใจวิธีการดังกล่าวข้างต้นโดยในขั้นตอนนี้นักศึกษาปลดตัวเก็บประจุ C_E ออกจากวงจร นั่นเอง

เรื่องทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า

ศึกษาคุณสมบัติทางไฟตรงของทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า

การจำลองคุณสมบัติทางไฟตรงทางเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางไฟตรงทางเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้านี้ หากเรากำหนดให้แรงดันที่ขาเกตเทียบขาซอร์สมีค่าคงที่ เราพบว่า ให้แรงดันไฟตรงที่ขาเดรนเทียบขาซอร์สมีค่าสูงขึ้น จะทำให้กระแสที่เดรนไหลเพิ่มตามด้วย อย่างไรก็ตาม หากทำให้แรงดันที่เกตเทียบขาซอร์สมีค่าสูงขึ้นจากเดิม เราก็จะพบว่ากระแสเดรนก็จะไหลเพิ่มสูงขึ้นอีกเช่นกัน โดยจะไหลมากกว่ากรณีที่แรงดันเกตเทียบขาซอร์สมีค่าต่ำกว่า นั่นเอง

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจ ในการจำลองการทำงานในหัวข้อนี้ได้ทดลองเปลี่ยน ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้าเป็นเบอร์อื่นๆ แล้วทำตามขั้นตอนทดลองที่ผ่านๆ มา การอภิปรายผล เปรียบกันจะช่วยให้นักศึกษาที่จำลองผลมีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น อาจารย์ผู้สอนต้องกำชับให้นักศึกษามี การอภิปรายเชิงเปรียบเทียบกับเพื่อนๆ นักศึกษาในห้องด้วย

การจำลองคุณสมบัติทางไฟตรงทางอินพุตของทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางไฟตรงทางอินพุตของทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า โดยการ กำหนดให้แรงดันที่ขาเดรนเทียบขาซอร์ส (ซึ่งในที่นี้เทียบกราวด์) มีค่าคงที่ การปรับเปลี่ยนแรงดันที่ ขาเกตเทียบขาซอร์สให้ค่อยๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อย โดยการสั่งให้โปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟตรง แล้วใช้ คำสั่ง probe ในการพล็อตกระแสเดรนที่ไหลในวงจร เราพบว่าหากทำให้แรงดันที่ขาเดรนเทียบขา ซอร์สมีค่าเพิ่มสูงขึ้น การทำให้กระแสเดรนไหลเท่าเดิมจะต้องลดแรงดันที่ขาเกตเทียบขาซอร์สให้ น้อยลง

นอกจากนี้ การเปลี่ยนทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้าให้เป็นเบอร์อื่นๆ จะมีส่วนช่วยให้ นักศึกษาได้เข้าใจการคุณสมบัติทางอินพุตของทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้าได้ดีขึ้น พร้อมกับจัดกลุ่ม อภิปรายผลที่ได้

ศึกษาคุณสมบัติวงจรขยายสัญญาณแบบซอร์สรวม

การจำลองคุณสมบัติวงจรขยายสัญญาณแบบซอร์สรวมโดยใช้แหล่งจ่าย ac เป็นสัญญาณอินพุต

จากการศึกษาคุณสมบัติวงจรขยายสัญญาณแบบซอร์สรวม โดยใช้แหล่งจ่าย ac เป็น สัญญาณอินพุตนั้น จะต้องใช้การวิเคราะห์ทางโปรแกรมทั้งแบบไฟตรง (DC analysis) และแบบ ac (AC analysis) เพื่อหาค่าทางไฟตรงและคุณสมบัติทางไฟสลับ (ac) ผลการศึกษาพบว่า เราสามารถ หาอัตราขยายแรงดันที่โหนดต่างๆ ของวงจร ณ ความถี่ใดๆ ก็ได้ ตามต้องการ

การจำลองคุณสมบัติวงจรขยายสัญญาณแบบซอร์สรวมโดยใช้แหล่งจ่ายรูปไซน์ เป็นสัญญาณ อินพุต

ในหัวข้อนี้ นักศึกษาจะได้ทราบวิธีการหาอัตราขยายของวงจรขยายสัญญาณ ณ ความถี่ที่ เราป้อนให้กับวงจร โดยที่สัญญาณอินพุตเป็นคลื่นรูปไซน์ โปรแกรมจะต้องวิเคราะห์แบบชั่วขณะ (transient analysis) แล้วใช้คำสั่ง probe วัดสัญญาณ ณ โหนดที่ต้องการวัดและทดสอบ ในที่นี้จะ วัดที่ความถี่ที่ป้อนให้กับวงจรและเป็นความถี่เดียวกับตัวอย่างที่ผ่านมา จากนั้นหาอัตราขยายสัญญาณ พบว่ามีค่าเท่ากับตัวอย่างที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นวงจรขยายสัญญาณเดียวกันและใช้ความถี่ทดสอบ เดียวกัน นั่นเอง อีกทั้งการหาค่าความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกส์โดยรวม (Total Harmonic Distortion:

THD) ก็มีความสำคัญเช่นกัน และเราก็สามารถหาได้อย่างง่ายดายโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์จากการพิจารณาค่าจากคำสั่ง Examine Output

3. กล่าวสรุป

ผลการศึกษาในส่วนของการทดลองด้วยโปรแกรม

จากการที่นักศึกษาใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองการทำงานของวงจร โดยในช่วงแรกเป็นการฝึกหัดใช้โปรแกรมเริ่มตั้งแต่การเรียกใช้งานโปรแกรม การเรียกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ออกมาวางในพื้นที่การวาดวงจร การกำหนดค่าอุปกรณ์ การต่ออุปกรณ์เข้าหากันผ่านทางสายเส้น (wire) การเลือกชนิดของการวิเคราะห์ให้ตรงกับความต้องการ

ผลการเรียนรู้ของนักศึกษาในช่วงนี้ค่อนข้างช้า เนื่องจากนักศึกษามีข้อจำกัดทางด้านการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่ก็ได้รับความสนใจจากนักศึกษา มีการยกมือสอบถามเป็นระยะๆ เกี่ยวกับการเซตค่าตัวแปรต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการจำลองการทำงาน รวมไปถึงสอบถามเกี่ยวกับการเลือกชนิดของการวิเคราะห์ โดยนักศึกษาได้เรียนรู้ในช่วงแรกผ่านตัวอย่างประกอบง่ายๆ

ส่วนในการปฏิบัติการหลังจากนั้น จะอ้างอิงวิธีการทดลองในแต่ละหัวข้อที่ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 3 ตาม โดยแต่ละการทดลองจะใช้เวลาไม่มากนัก แต่นักศึกษาจะได้ใช้โปรแกรมอย่างเข้าใจ การต่อวงจรในโปรแกรมไม่ต้องกังวลว่าจะเกิดความเสียหายขึ้นกับตัวอุปกรณ์หรือเครื่องมือทดลองแต่อย่างใด

ดังนั้น ในการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมจึงมีความเหมาะสมมาก เช่น ถ้าต้องการจ่ายแรงดันไบอัสย้อนกลับค่ามากๆ ให้กับตัวไดโอดก็สามารถทำได้ รวมไปถึงการใช้คำสั่ง probe ช่วยในการวัดกระแสหรือแรงดันค่าต่างๆ เช่น กระแสไบอัสด้านเข้าที่ขาของออปแอมป์ เป็นต้น ข้อดีของการใช้โปรแกรมคือ ไม่มีข้อจำกัดทางด้านพิสัย (range) ของการวัดเลย ทำให้ค่าที่วัดโดยใช้คำสั่ง probe มีค่าถูกต้อง แม่นยำ ตรงตามทฤษฎีที่เรียนในห้องบรรยาย

โดยรวมแล้วนักศึกษามีความสนใจ ใส่ใจ และมีความกระตือรือร้นสูงมาก ในการซักถามเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมจำลองการทำงาน ซึ่งสังเกตได้จากการที่มีคำถามนอกห้องเรียนโดยเอาตัวอย่างต่างๆ มาถามเพื่อที่จะใช้โปรแกรมจำลองการทำงานกับวงจรที่นักศึกษาสนใจ

ผลการศึกษาในส่วนของการทดลองจริง

การทดลองจริงในห้องปฏิบัติการนั้น ได้ใช้การทดลองที่เหมือนและคล้ายกับการจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม พบว่าในช่วงแรกเริ่มนั้นต้องมีการอธิบายเครื่องมือวัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการว่าประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟตรง แหล่งกำเนิดสัญญาณและออสซิลโลสโคป ซึ่งโดยส่วนใหญ่ นักศึกษาได้ทราบข้อมูลการใช้งานเครื่องมือวัดมาแล้ว เพราะส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาที่เรียนจบในชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงทำให้สามารถใช้เครื่องมือวัดได้อย่างคล่องแคล่ว

อย่างไรก็ดี ผู้สอนต้องช่วยระวังการต่อวงจรมีฉนวนนั้นแล้วจะเกิดความเสียหายขึ้นกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ แต่มีการทดลองบางเรื่องไม่สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติจริงเช่น การทดลองหาแรงดันเบรกควาน์ของไดโอด เพราะต้องใช้แรงดันสูงมากป้อนให้กับไดโอดซึ่งถูกจำกัดด้วยแหล่งจ่ายไฟตรงที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการและไม่สามารถวัดได้เพราะอุปกรณ์ไดโอดจะเสียหายก่อนที่จะอ่านค่าได้

นอกจากนี้ การทดลองเรื่องคุณลักษณะบางประการของออปแอมป์ที่แตกต่างจากอุดมคตินักศึกษาต้อง setup ค่าพร้อมทั้งอ่านค่าอย่างระมัดระวังเพื่อให้ค่าที่อ่านได้มีความถูกต้อง ผิดพลาดน้อยที่สุด ก่อนที่จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม ในส่วนนี้ได้ผลที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม ทั้งนี้ ค่าความผิดพลาดเกิดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ ผู้อ่านค่าผลการทดลอง นักศึกษาเกิดทักษะการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ทั้งสองกรณี อีกทั้งนักศึกษาได้ทักษะการใช้ออสซิลโลสโคปเพิ่มขึ้น มีทักษะทางปฏิบัติ แต่ด้วยขีดจำกัดของเครื่องมือวัดและทดสอบในห้องปฏิบัติการจึงต้องแบ่งกลุ่มย่อยในการทดลองเพื่อให้ให้นักศึกษาได้ใช้เครื่องมือวัดกันทุกคน

ขณะเดียวกันการทดลองในส่วนของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์และแบบสนามไฟฟ้านั้น มีข้อจำกัดทางด้านตัวอุปกรณ์ที่ใช้และการปรับเปลี่ยนแรงดันไบอัสที่ต้องจ่ายให้กับวงจร ในที่นี้จึงมีเฉพาะผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรมเท่านั้น