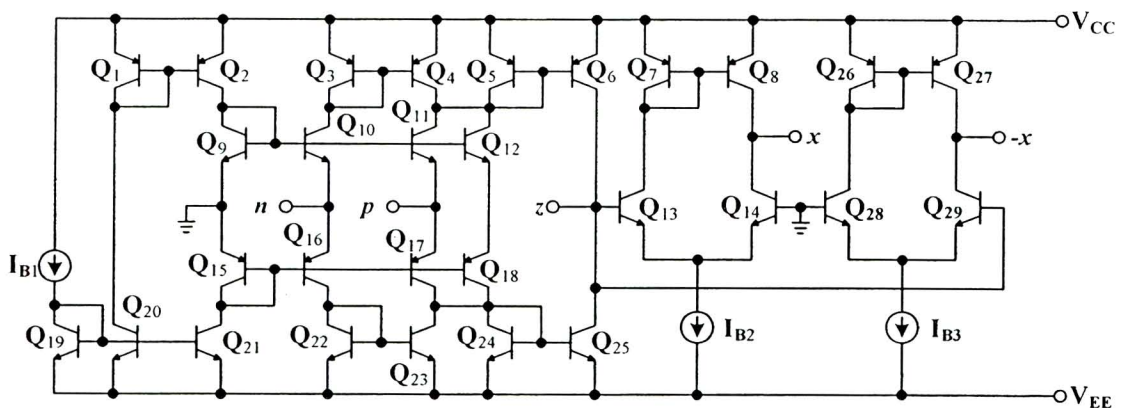


บทที่ 4

ผลการจำลองและทดลองการทำงาน

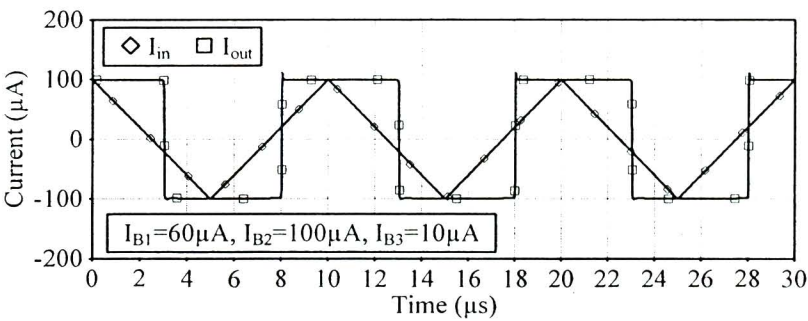
เพื่อเป็นการทดสอบสมรรถนะของวงจรชนิดทรานซิสเตอร์ที่ใช้ MO-CCCDTA และวงจรประยุกต์ใช้งานที่ได้จากการวิจัยไว้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด จึงได้จำลองการทำงานและการทดสอบวงจรจริงจากที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 โดยการจำลองการทำงานของวงจรกระทำด้วยโปรแกรม PSpice สำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรได้ใช้พารามิเตอร์ของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ตามลำดับซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T (Frey, 1993) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ทั้งหมดแสดงในภาคผนวก (ข) พร้อมทั้งการทดสอบต่อวงจรจริง ในภาพที่ 4-1 เป็นโครงสร้างภายในของ MO-CCCDTA ที่ใช้ในการทดสอบการทำงานทั้งหมด โดยกำหนดให้วงจรทำงานที่แรงดันไฟเลี้ยง $\pm 1.5V$ โดยได้ทำการทดสอบผลของงานวิจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้



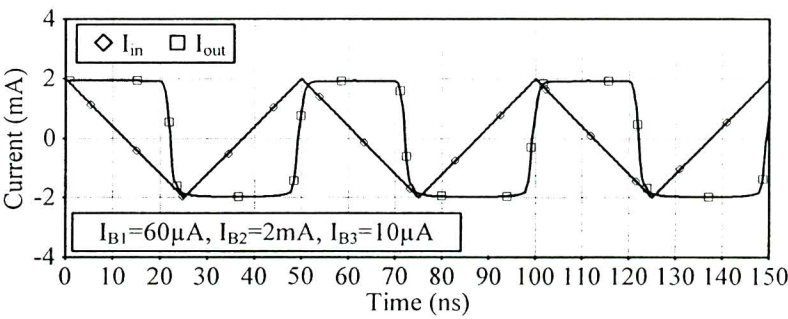
ภาพที่ 4-1 โครงสร้างภายในของ MO-CCCDTA ที่ใช้ทดสอบการทำงาน

4.1 ผลการจำลองและทดลองการทำงานของวงจรชนิดตัวทริกเกอร์ที่ใช้ MO-CCCDTA

4.1.1 ผลการจำลองการทำงานของวงจรชนิดตัวทริกเกอร์ที่ใช้ MO-CCCDTA



(ก)

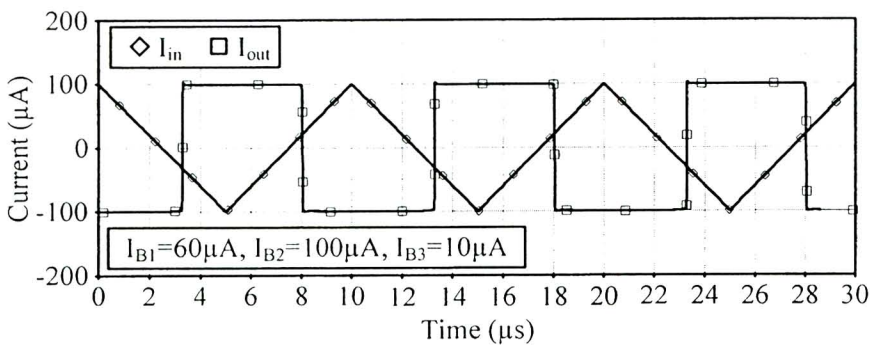


(ข)

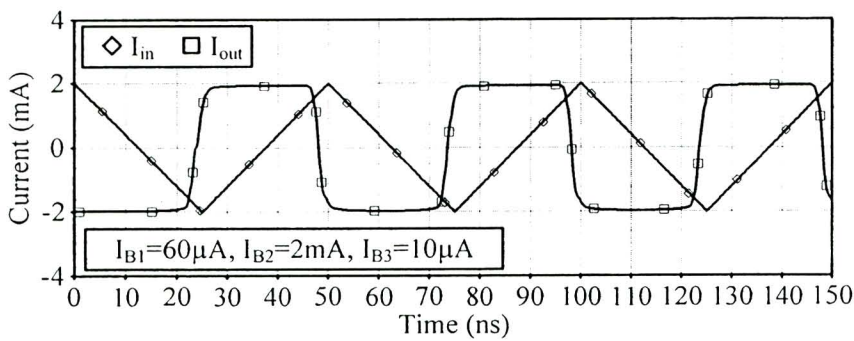
ภาพที่ 4-2 การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตของวงจรชนิดตัวทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณอินพุต ที่ (ก) 100kHz (ข) 20MHz

หัวข้อนี้แสดงผลการจำลองการทำงานของวงจรชนิดตัวทริกเกอร์โหมดกระแสที่แสดงในภาพที่ 3-2 จากผลการจำลองภาพที่ 4-2 และ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตที่ได้จากวงจรชนิดตัวทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาและแบบตามเข็มนาฬิกา ตามลำดับ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณอินพุต จะเห็นได้ว่า วงจรที่ได้จากการวิจัยสามารถทำงานได้ในย่านความถี่กว้างถึงระดับ 20MHz โดยสัญญาณไม่ผิดเพี้ยน ส่วนภาพที่ 4-4 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรที่ได้จากการวิจัย พบว่าวงจรชนิดตัวทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกามีความถี่คัตออฟที่ได้จากการจำลองประมาณ 37.12MHz ส่วนของวงจรชนิดตัวทริกเกอร์แบบตามเข็มนาฬิกาเท่ากับ

35.61MHz ภาพที่ 4-4 และ 4-5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตและลักษณะสมบัติการส่งถ่ายทางไฟตรงตามลำดับ เมื่อมีการแปลงค่า I_{B2} สามค่า $30\mu A$ $60\mu A$ และ $90\mu A$ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ขนาดสัญญาณเอาต์พุตสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B2} ซึ่งสอดคล้องที่วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 ผลการจำลองที่แสดงสัญญาณเอาต์พุตและกราฟลักษณะสมบัติของวงจรที่ได้จากการวิจัย เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B3} ดังภาพที่ 4-7 และ 4-8 ตามลำดับ จะพบว่ากระแสขีดเริ่มต้นด้านสูงและต่ำสามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดย I_{B3} และจากผลการจำลองที่แสดงไว้ในภาพที่ 4-5 ถึง 4-8 สามารถสรุปได้ว่าการควบคุมขนาดของสัญญาณเอาต์พุต กระแสขีดเริ่มต้นด้านสูงและต่ำ สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์และเป็นอิสระจากกัน โดยขนาดและกระแสขีดเริ่มต้นสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ

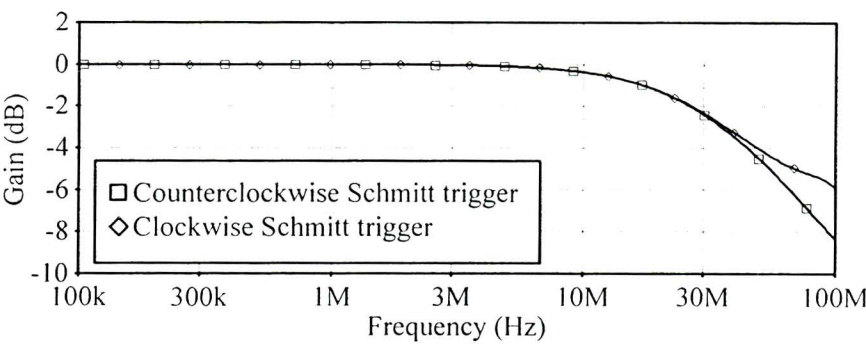


(ก)

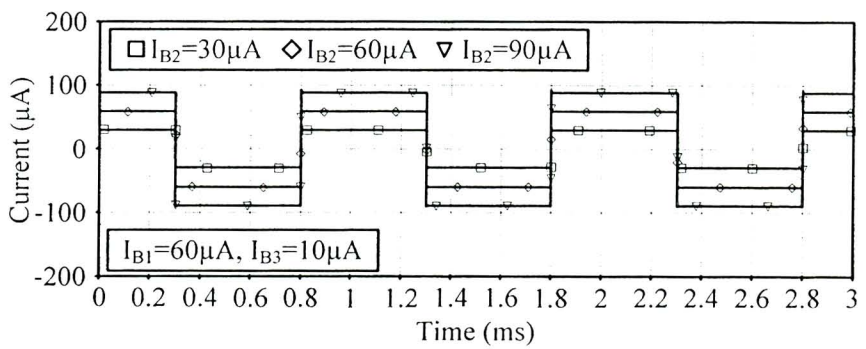


(ข)

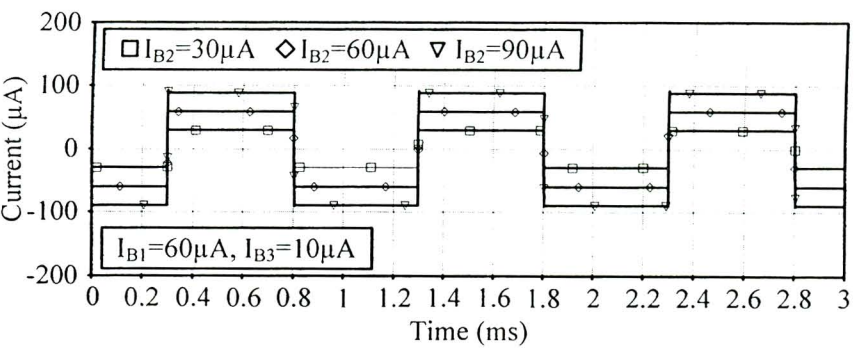
ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตของวงจรชนิดทรานซิสเตอร์แบบตามเข็มนาฬิกาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณอินพุต ที่ (ก) 100kHz (ข) 20MHz



ภาพที่ 4-4 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรหิมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาและแบบตามเข็มนาฬิกา



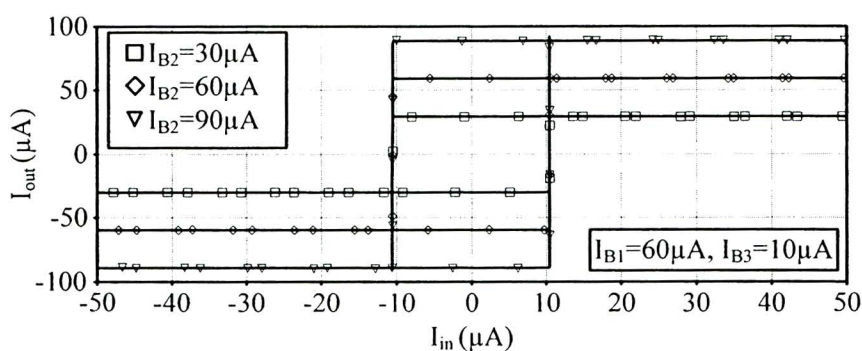
(ก)



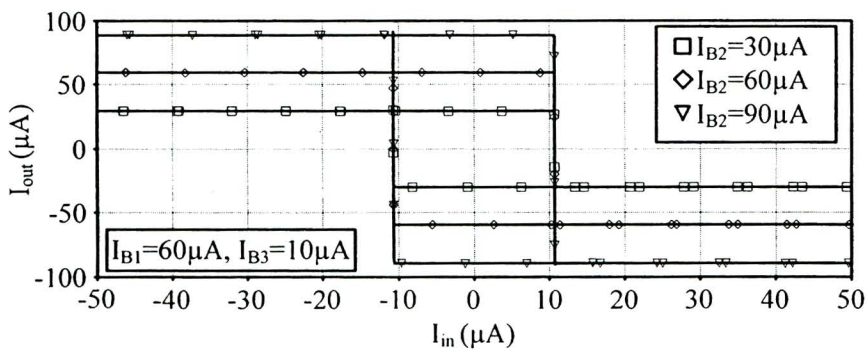
(ข)

ภาพที่ 4-5 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2} ของ (ก) วงจรหิมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกา (ข) วงจรหิมิตต์ทริกเกอร์แบบตามเข็มนาฬิกา

ภาพที่ 4-9 แสดงสัญญาณเอาต์พุตเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ส่วนภาพที่ 4-10 และ 4-11 แสดงอัตรา
การคลาดเคลื่อนของขนาดและกระแสขีดเริ่มของสัญญาณเอาต์พุต พบว่าขนาดและกระแสขีดเริ่ม
ของสัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทั้งนี้
เนื่องจากความไม่เป็นอุดมคติของ MO-CCCDTA ที่ได้วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 ซึ่งทั้งสองวงจรมี
อัตราการคลาดเคลื่อนของขนาดสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับ -0.645% ถึง 1.226% ส่วนอัตรา
การคลาดเคลื่อนของกระแสขีดเริ่มด้านสูงและต่ำของทั้งสองวงจรเท่ากับ -1.218% ถึง 2.502% และ-
2.314% ถึง 0.523% ตามลำดับ และผลการจำลองที่แสดงขนาดของกระแสขีดเริ่มด้านสูงและต่ำของ
วงจรมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B3} จาก $0\mu A$ ถึง
 $100\mu A$ ดังภาพที่ 4-12

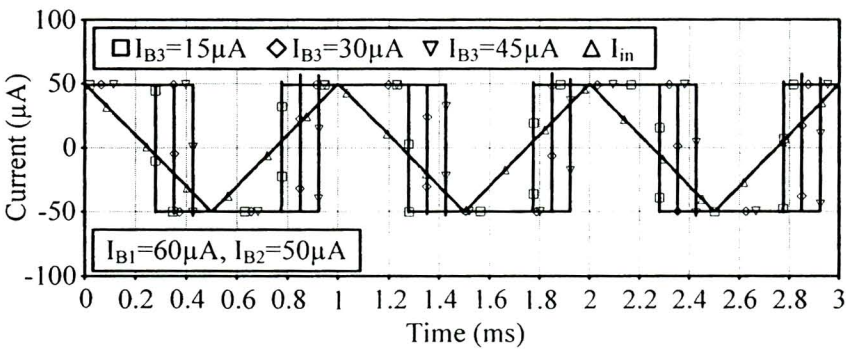


(ก)

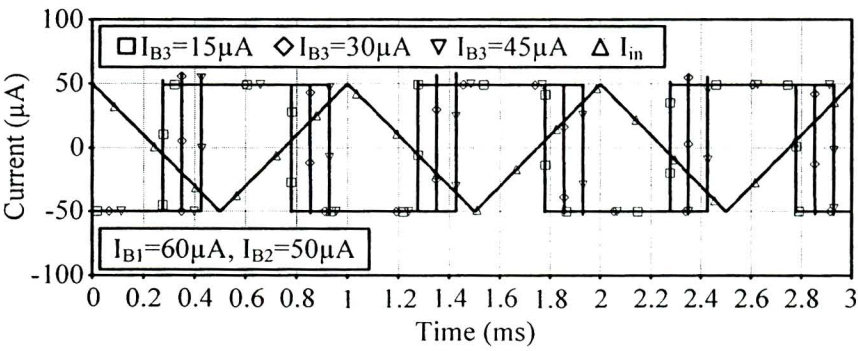


(ข)

ภาพที่ 4-6 กราฟลักษณะสมบัติถ่ายโอนทางไฟตรง เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2} ของ (ก) วงจรมิตต์ทริก
เกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกา (ข) วงจรมิตต์ทริกเกอร์แบบตามเข็มนาฬิกา

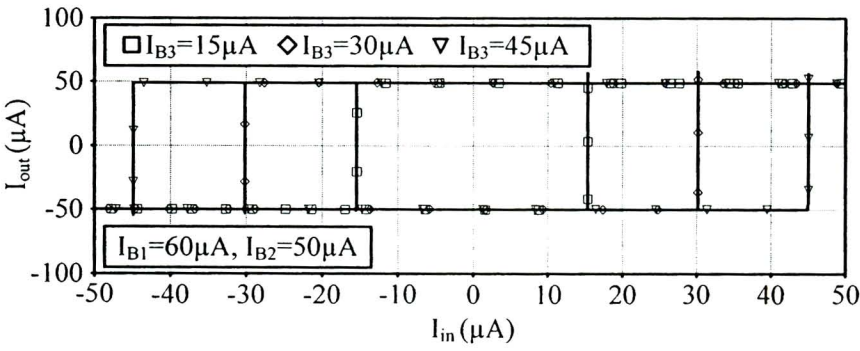


(ก)



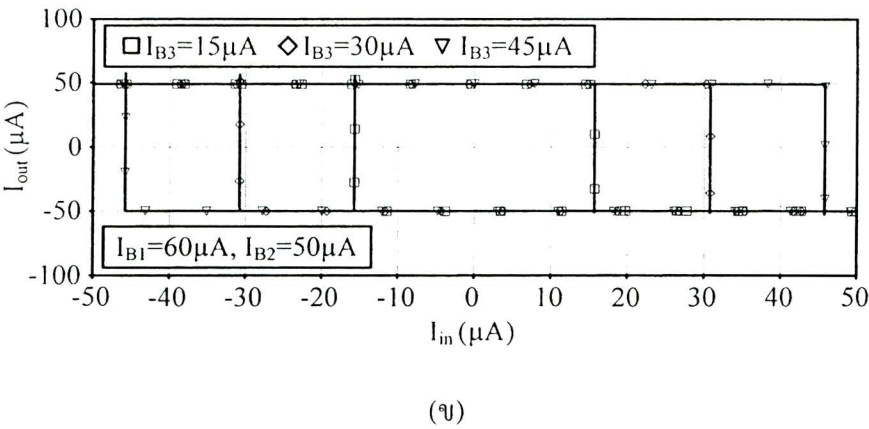
(ข)

ภาพที่ 4-7 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B3} ของ (ก) วงจรสมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกา
นาฬิกา (ข) วงจรสมิตต์ทริกเกอร์แบบตามเข็มนาฬิกา

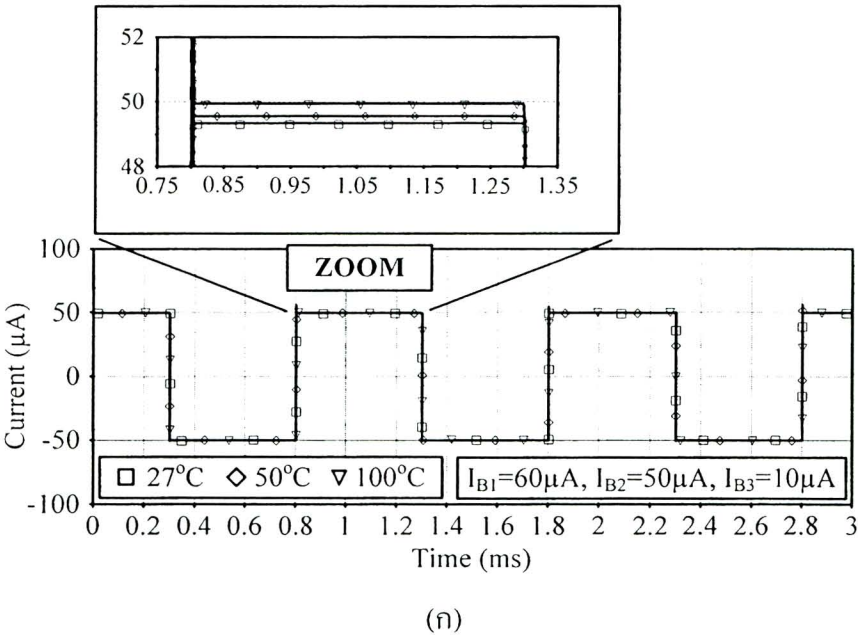


(ก)

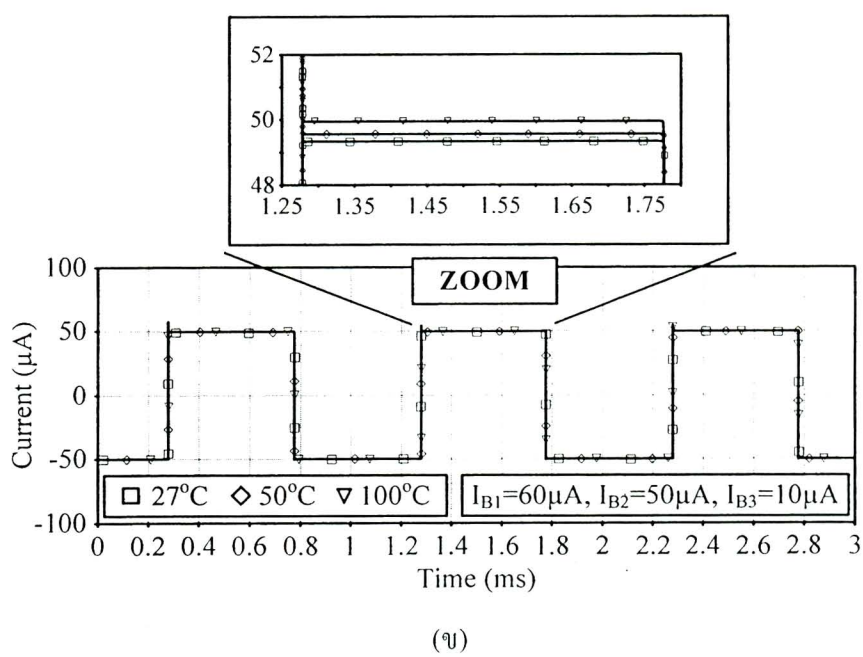
ภาพที่ 4-8 กราฟลักษณะสมบัติถ่ายโอนทางไฟตรงเมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B3} ของ (ก) วงจรสมิตต์ทริก
เกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกา (ข) วงจรสมิตต์ทริกเกอร์แบบตามเข็มนาฬิกา



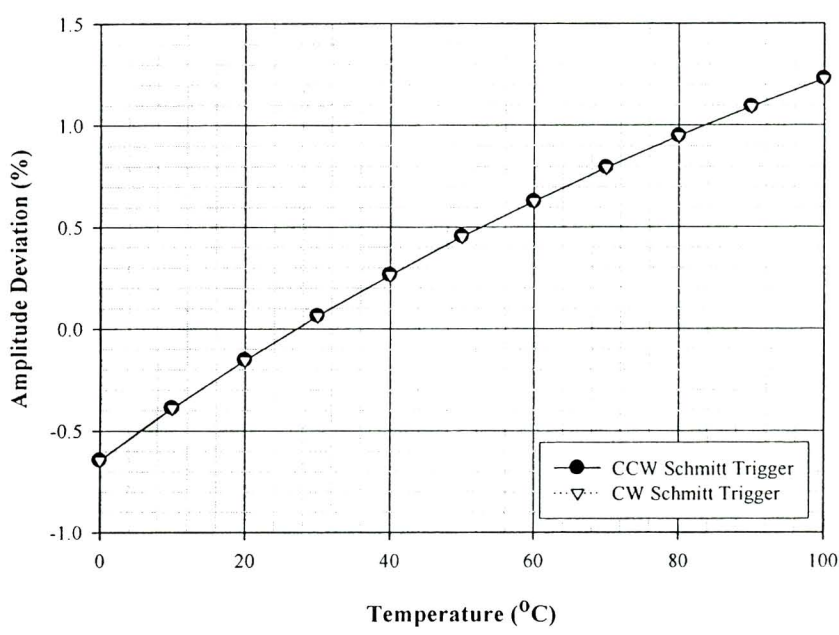
ภาพที่ 4-8 (ต่อ)



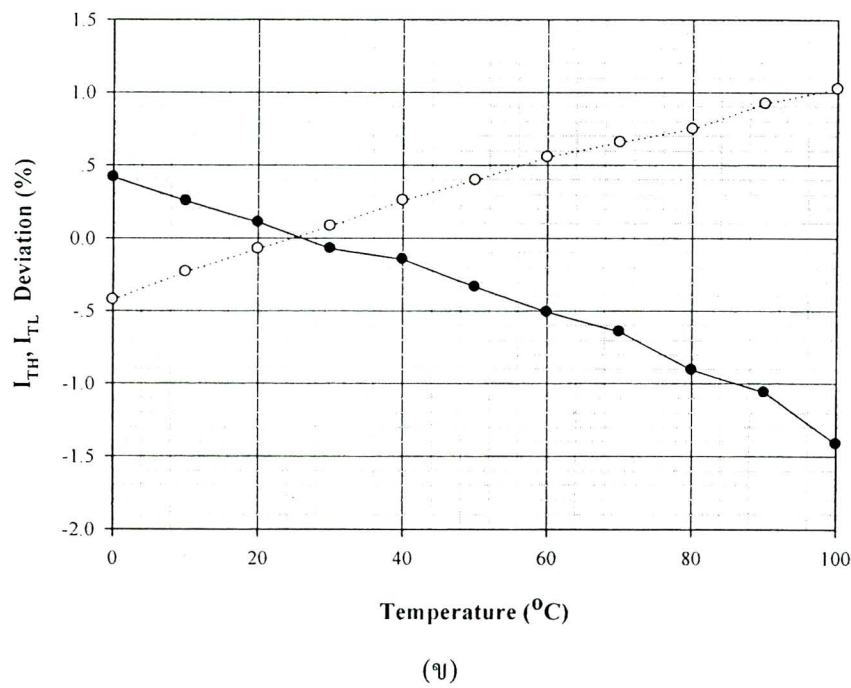
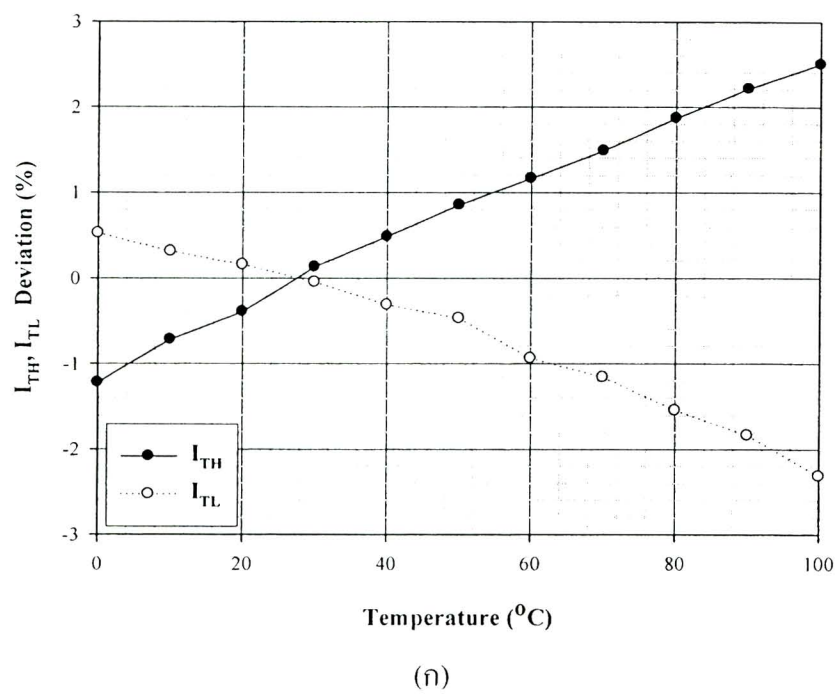
ภาพที่ 4-9 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ (ก) วงจรมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกา (ข) วงจรมิตต์ทริกเกอร์แบบตามเข็มนาฬิกา



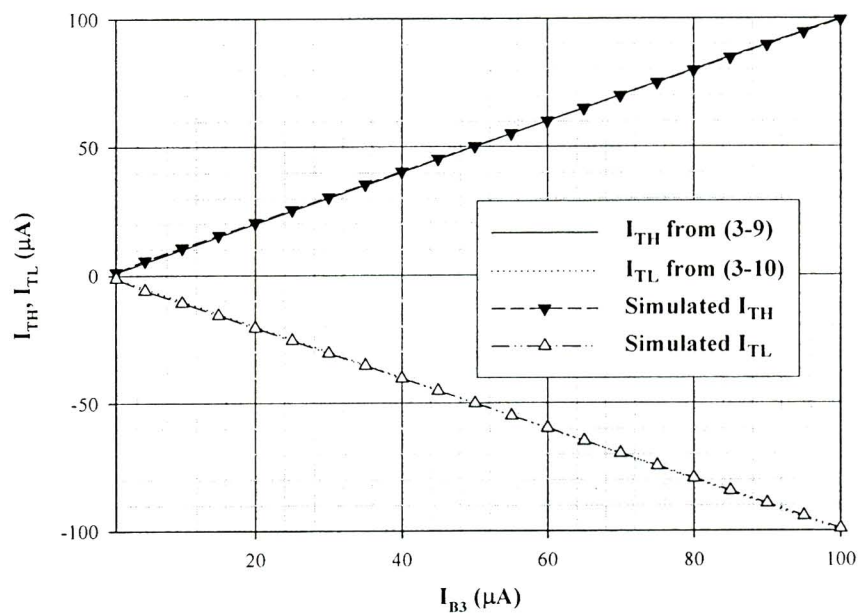
ภาพที่ 4-9 (ต่อ)



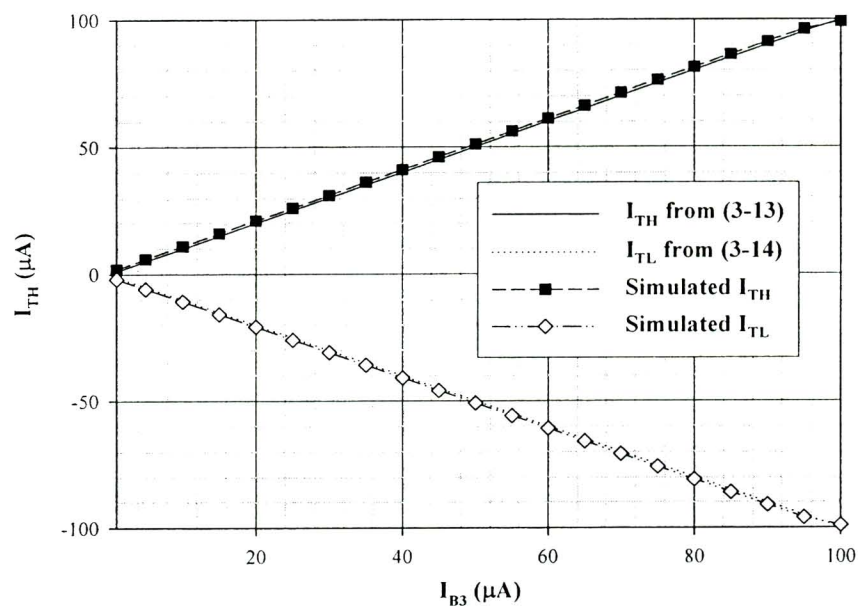
ภาพที่ 4-10 อัตราการคลาดเคลื่อนของขนาดสัญญาณเอาต์พุต เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก $0^{\circ}C$ ถึง $100^{\circ}C$ ของวงจรชmitt์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาและแบบตามเข็มนาฬิกา



ภาพที่ 4-11 อัตราการคลาดเคลื่อนของกระแสจิดเริ่มต้นสูงและต่ำ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก 0°C ถึง 100°C ของ (ก) วงจรมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกา (ข) วงจรมิตต์ทริกเกอร์แบบตามเข็มนาฬิกา

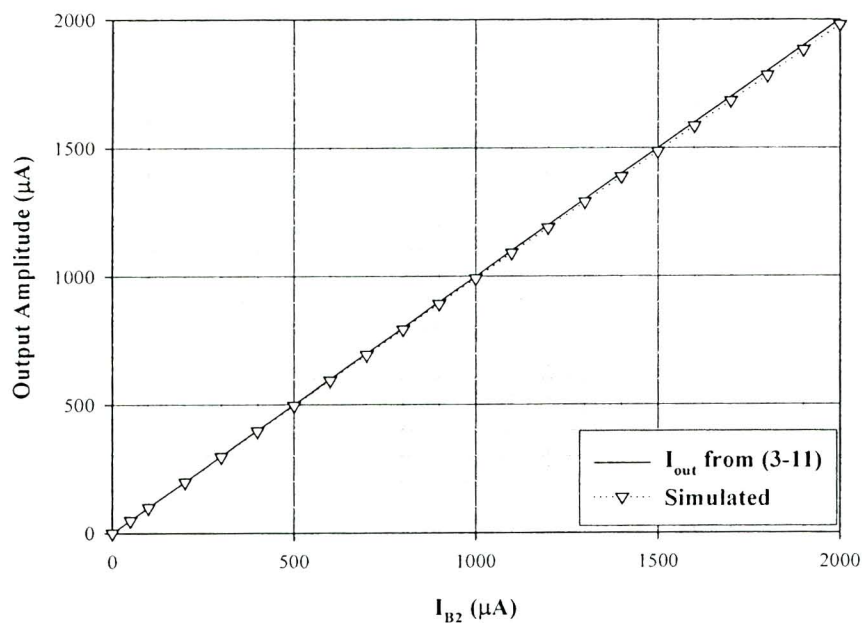


(ก)

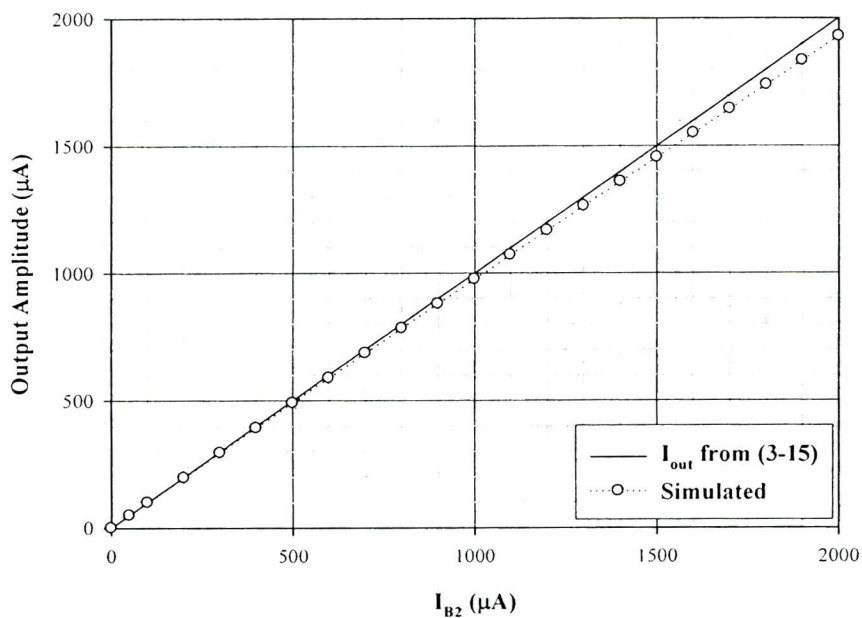


(ข)

ภาพที่ 4-12 ขนาดของกระแสขีดเริ่มด้านสูงและต่ำ เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B3} จาก $0\mu A$ ถึง $100\mu A$
ของ (ก) วงจรชนิดทรานซิสเตอร์แบบตามเข็มนาฬิกา (ข) วงจรชนิดทรานซิสเตอร์แบบทวน
เข็มนาฬิกา



(ก)



(ข)

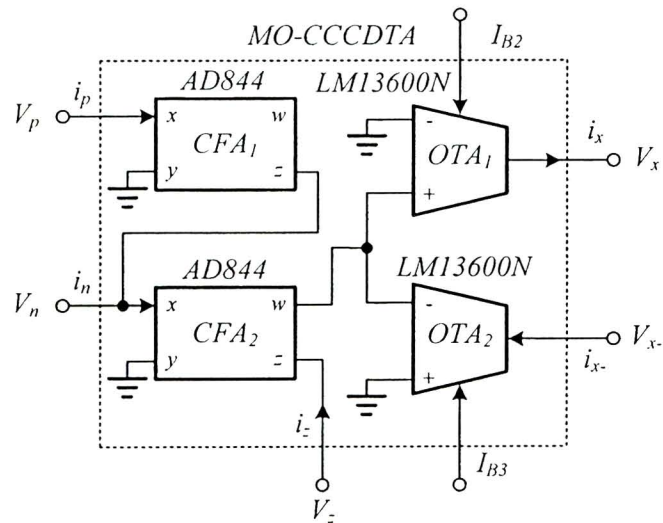
ภาพที่ 4-13 ขนาดของสัญญาณเอาต์พุต เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2} จาก $0\mu A$ ถึง $2mA$ ของ

(ก) วงจรสมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกา (ข) วงจรสมิตต์ทริกเกอร์แบบตามเข็มนาฬิกา

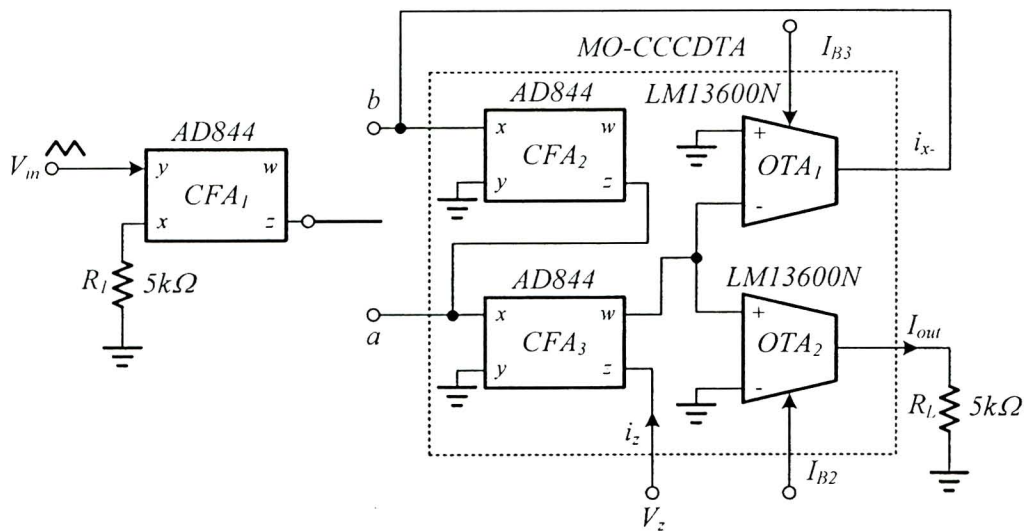
ส่วนภาพที่ 4-13 แสดงขนาดสัญญาณเอาต์พุตของทั้งสองวงจร เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2} จาก $0\mu A$ ถึง $2mA$ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ขนาดและกระแสขีดเริ่มของทั้งสองวงจรสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (3-9) ถึง (3-11) และ (3-13) ถึง (3-15) ที่วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 โดยกระแสขีดเริ่มด้านสูงและต่ำสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ $1\mu A$ ถึง $100\mu A$ ที่ขนาดของสัญญาณอินพุตเท่ากับ $100\mu A$ ส่วนขนาดของสัญญาณเอาต์พุตสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ $50nA$ ถึง $2mA$ จากผลการทดสอบคุณสมบัติสามารถที่จะสรุปเป็นสมรรถนะของวงจรขมิตต์ทริกเกอร์ทั้งสองชนิด ได้ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยรวมของวงจรขมิตต์ทริกเกอร์ที่ได้จากการวิจัย

ตัวแปร	วงจรขมิตต์เกอร์แบบทวน เข็มนาฬิกา	วงจรขมิตต์เกอร์แบบตาม เข็มนาฬิกา
แหล่งจ่ายแรงดัน	$\pm 1.5V$	$\pm 1.5V$
อัตราการบริโภคกำลังไฟฟ้า ($I_{B1} = 60\mu A$, $I_{B2} = 50\mu A$ และ $I_{B3} = 10\mu A$)	191 μW	235 μW
แบนด์วิธที่ -3dB	37.12MHz	35.61MHz
อัตราคลาดเคลื่อนของขนาด สัญญาณเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ (0-100 °C)	-0.645%-1.226%	-0.645%-1.226%
ย่านการควบคุมกระแสขีดเริ่ม	1 μA -100 μA @ $I_{in}=100\mu A$	1 μA -100 μA @ $I_{in}=100\mu A$
ย่านการควบคุมขนาดสัญญาณ เอาต์พุต	50nA-2mA	50nA-2mA



ภาพที่ 4-14 โครงสร้างของ MO-CCCDTA ที่สร้างจาก AD844 และ LM13600

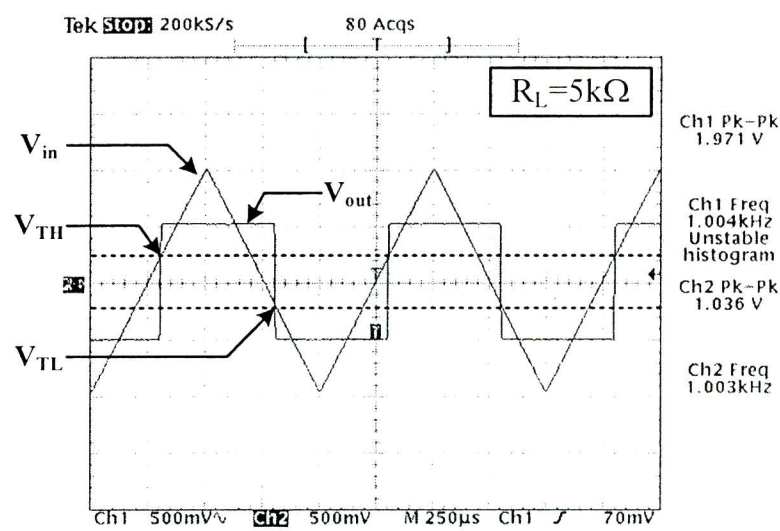


ภาพที่ 4-15 วงจรชนิดตรีโกณมิติที่สร้างจาก AD844 และ LM13600

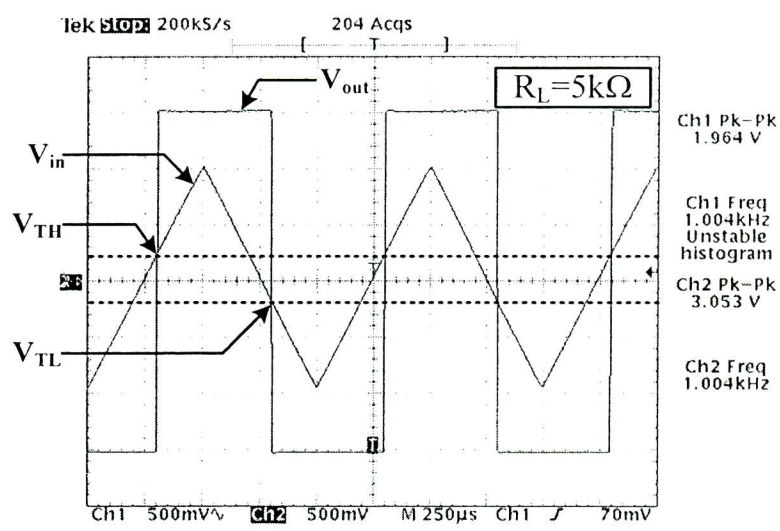
4.1.2 ผลการทดลองการทำงานของวงจรชนิดตรีโกณมิติที่ใช้ MO-CCCDTA

เนื่องจาก R_p และ R_n ไม่ส่งผลต่อการทำงานของวงจรชนิดตรีโกณมิติที่ได้จากการวิจัย ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงสามารถสร้าง MO-CCCDTA ได้ด้วยวงจรรวมเบอร์ AD844 และ LM13600 ดังแสดงดังภาพที่ 4-14 ส่วนภาพที่ 4-15 แสดงวงจรชนิดตรีโกณมิติที่ได้จากการวิจัย โดยสร้างจาก

วงจรรวมเบอร์ AD844 และ LM13600 เมื่อ CFA_1 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอินพุตที่เป็นแรงดันให้เป็นกระแส และ R_L เป็นภาระเพื่อวัดสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นแรงดันด้วยขอสซิลิโกสโคป



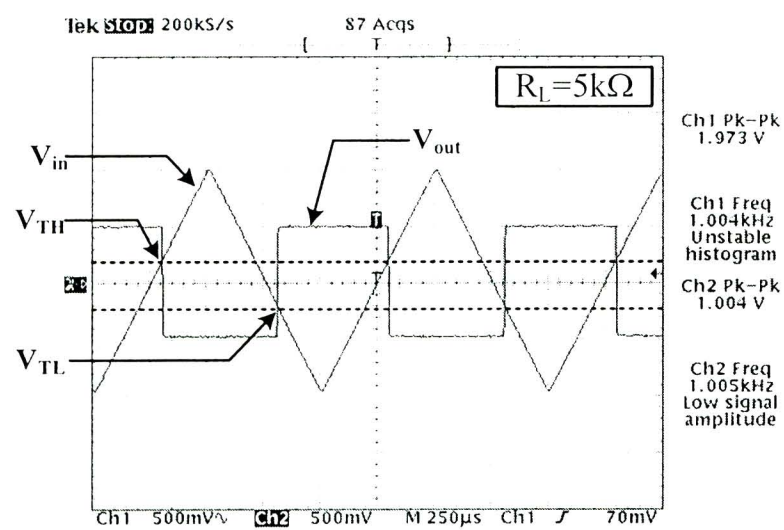
(ก)



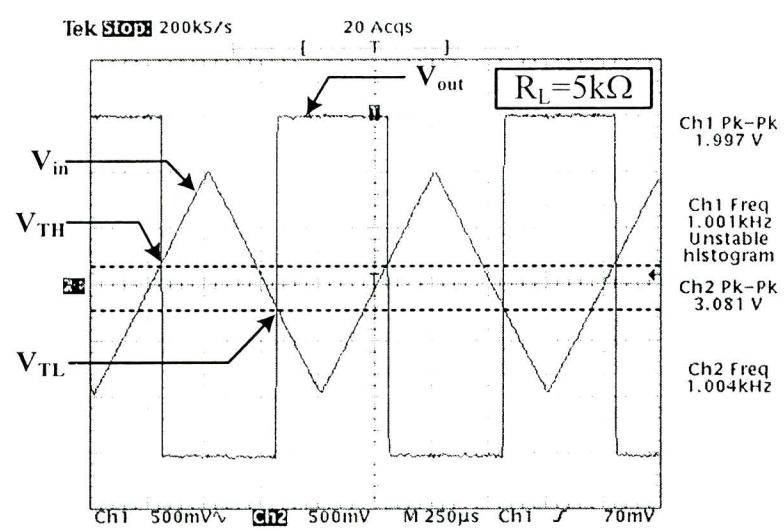
(ข)

ภาพที่ 4-16 ผลการทดลองวงจรชนิดตัวทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาเมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2}

(ก) $I_{B2} = 103\mu A$ (ข) $I_{B2} = 305\mu A$



(ก)



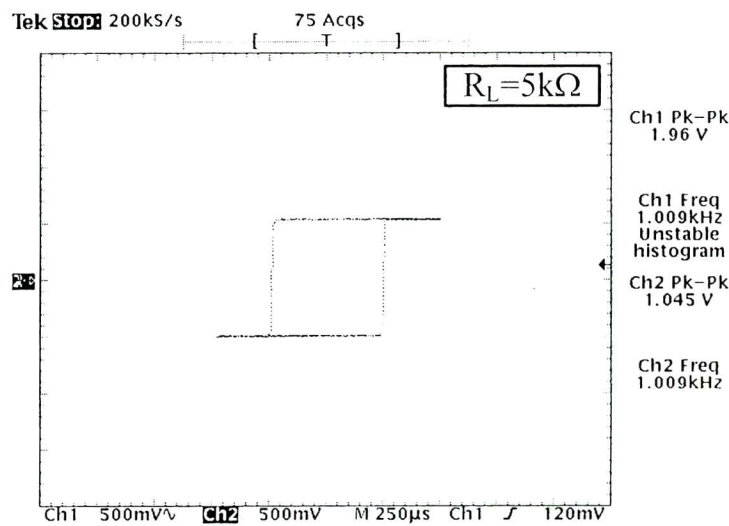
(ข)

ภาพที่ 4-17 ผลการทดลองวงจรชนิดตัวทริกเกอร์แบบตามเข็มนาฬิกาเมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2}

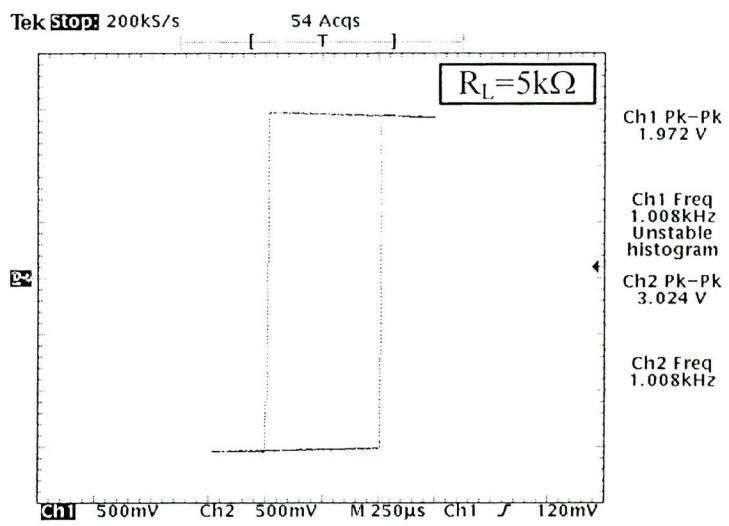
(ก) $I_{B2} = 100\mu A$ (ข) $I_{B2} = 308\mu A$

จากผลการทดลองที่แสดงในภาพที่ 4-16 ถึง 4-19 แสดงผลการทดลองของวงจรชนิดตัวทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาเมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2} จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B2} ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองการทำงานและที่

วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 ผลการทดลองของวงจรขมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาเมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B3} ที่แสดงในภาพที่ 4-20 ถึง 4-21 ตามลำดับ

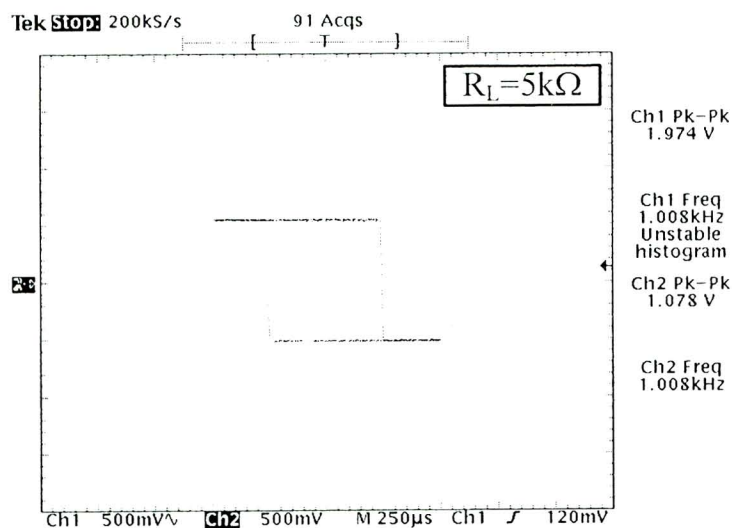


(ก)

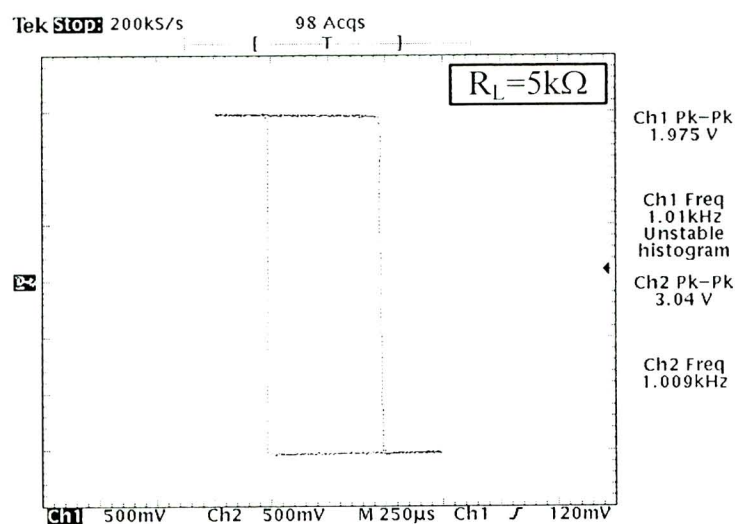


(ข)

ภาพที่ 4-18 กราฟลักษณะสมบัติถ่ายโอนทางไฟตรงของวงจรขมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาเมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2} (ก) $I_{B2} = 104\mu A$ (ข) $I_{B2} = 302\mu A$



(ก)

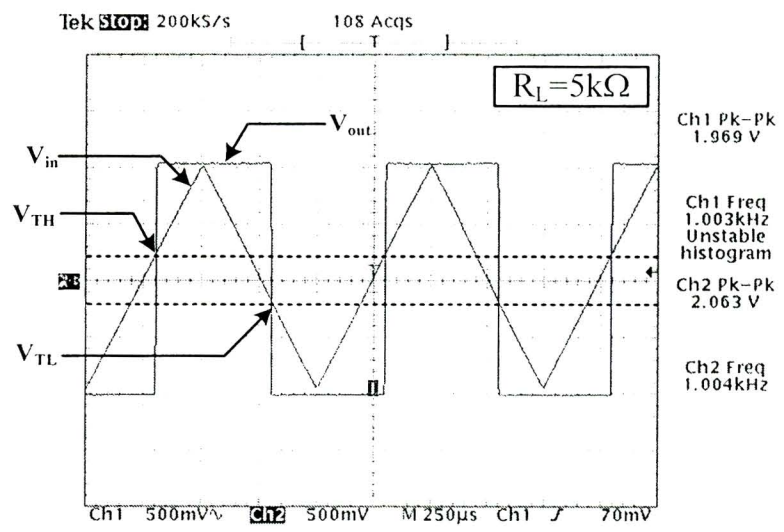


(ข)

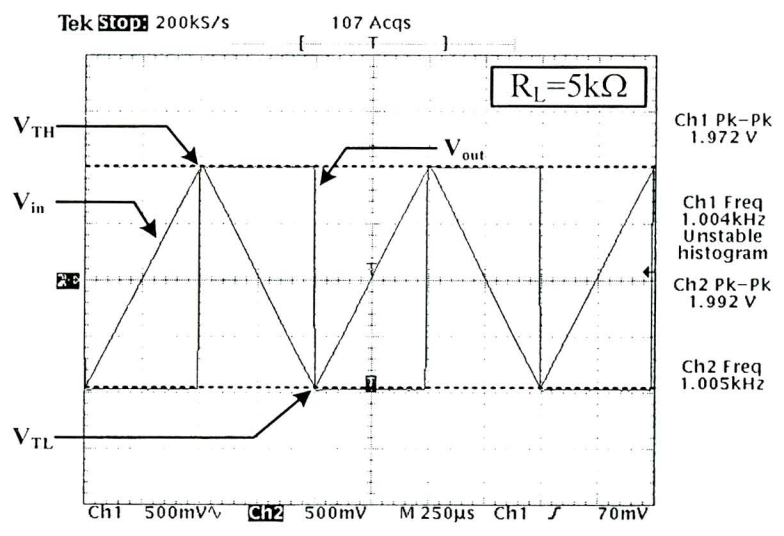
ภาพที่ 4-19 กราฟลักษณะสมบัติถ่ายโอนทางไฟตรงของวงจรชนิดทรานซิสเตอร์แบบตามเข็มนาฬิกา
เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2} (ก) $I_{B2} = 104\mu A$ (ข) $I_{B2} = 302\mu A$

ภาพที่ 4-22 ถึง 4-23 แสดงกราฟลักษณะสมบัติถ่ายโอนทางไฟตรงของชนิดทรานซิสเตอร์ทั้งสอง
แบบ เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B3} มีค่าเท่ากับ $40\mu A$ และ $180\mu A$ ซึ่งจากผลการทดลองในภาพที่ 4-16
ถึง 4-23 สามารถยืนยันได้ว่าขนาดของสัญญาณเอาต์พุตและกระแสขีดเริ่มด้านสูงและต่ำสามารถ

ควบคุมได้อย่างเป็นอิสระจากกัน ด้วย I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองการทำงานที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.1.1 และสมการที่ (3-9) ถึง (3-11) และ (3-13) ถึง (3-15) ที่วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3



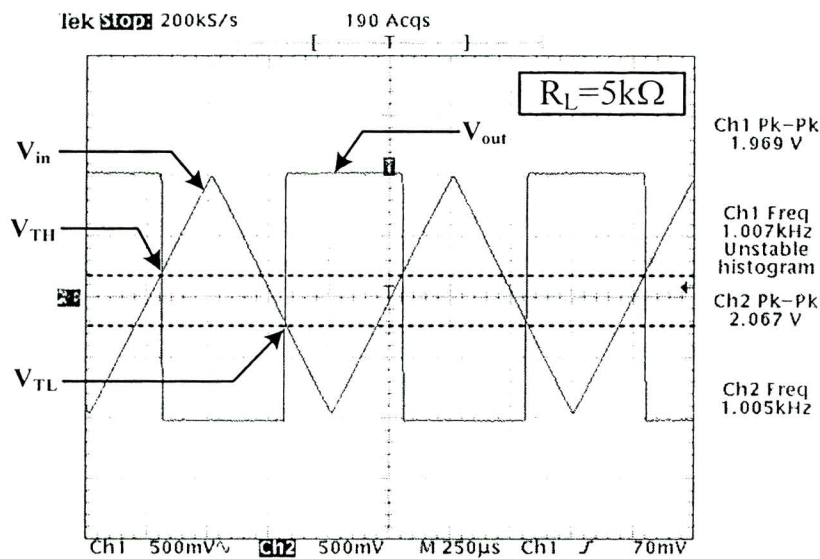
(ก)



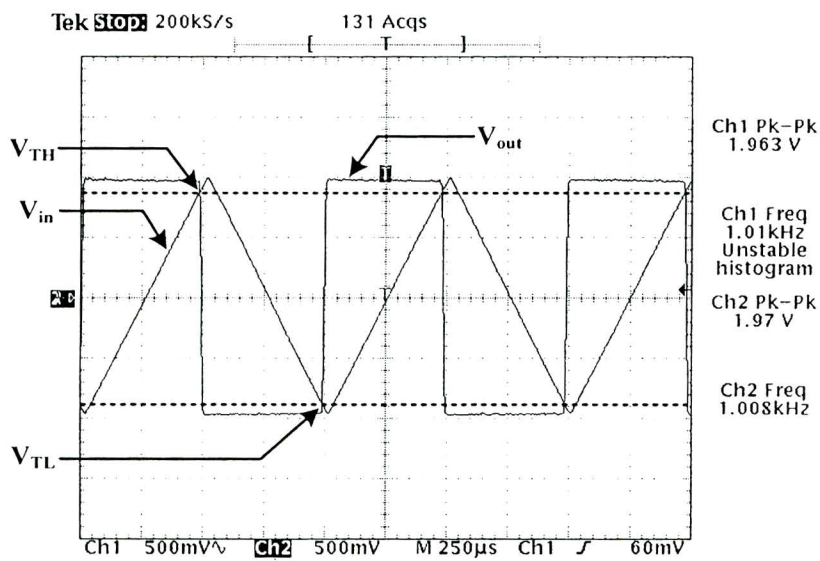
(ข)

ภาพที่ 4-20 ผลการทดลองวงจรชนิดทรานซิสเตอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาเมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B3}

(ก) $I_{B3} = 40\mu A$ (ข) $I_{B3} = 190\mu A$

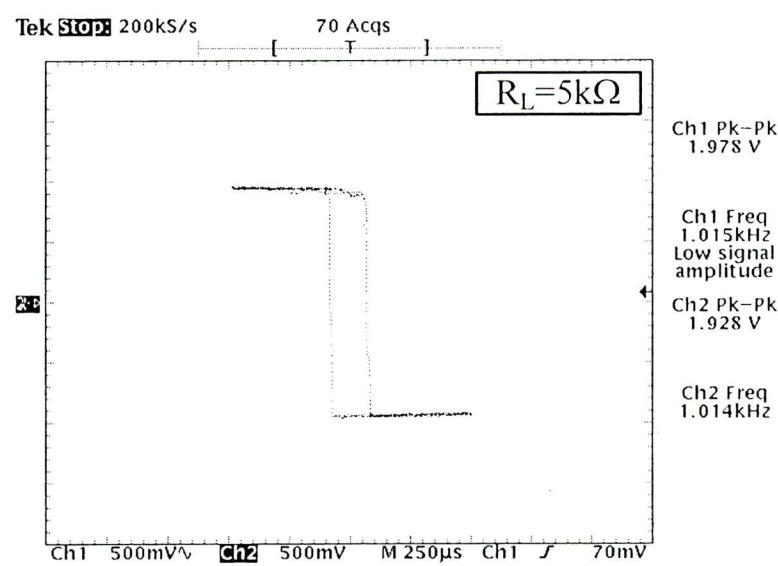


(ก)

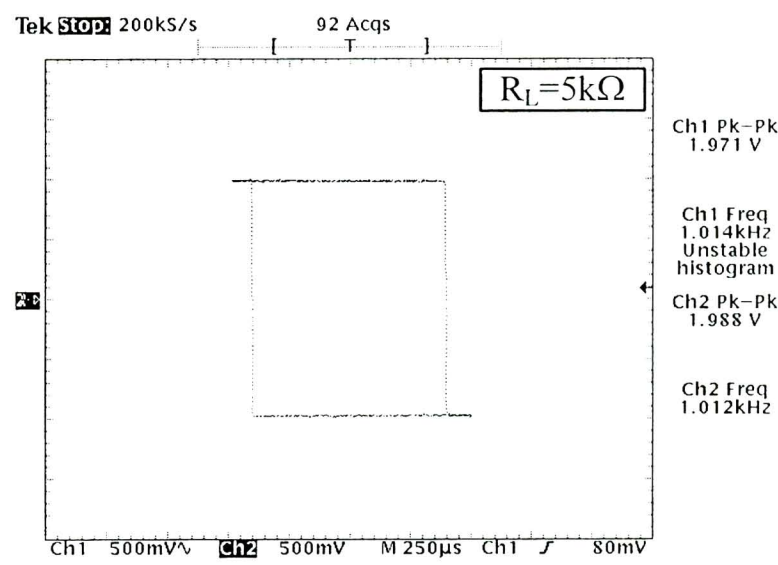


(ข)

ภาพที่ 4-21 ผลการทดลองวงจรขั้วทรานซิสเตอร์แบบตามเข็มนาฬิกา
เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B3} (ก) $I_{B3} = 40\mu A$ (ข) $I_{B3} = 190\mu A$

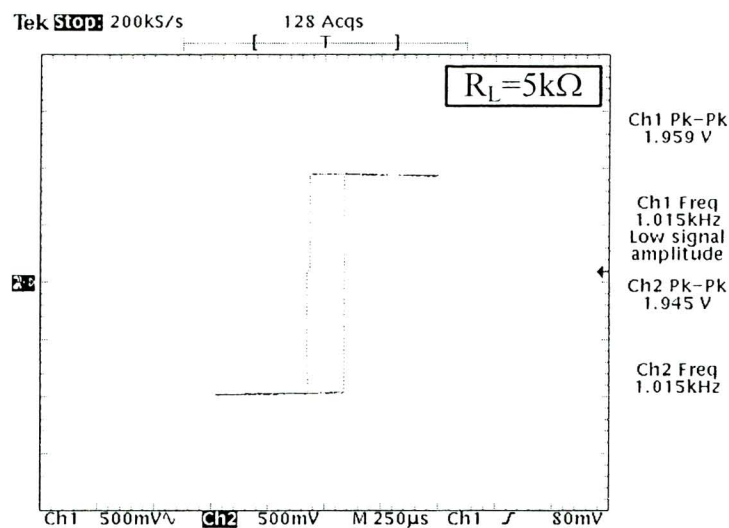


(ก)

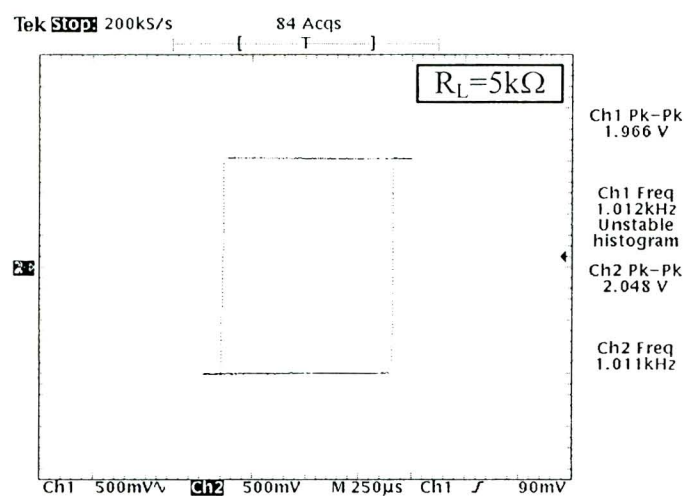


(ข)

ภาพที่ 4-22 กราฟลักษณะสมบัติถ่ายโอนทางไฟตรงของวงจรชนิดที่ริกเกอร์แบบตามเข็มนาฬิกา
เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B3} (ก) $I_{B3} = 40\mu A$ (ข) $I_{B3} = 180\mu A$



(ก)



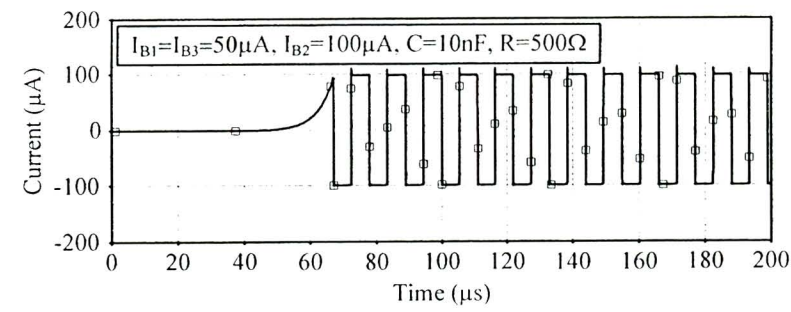
(ข)

ภาพที่ 4-23 กราฟลักษณะสมบัติถ่ายโอนทางไฟตรงของวงจรขมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกา
เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B3} ที่ (ก) $I_{B3} = 40\mu A$ (ข) $I_{B3} = 180\mu A$

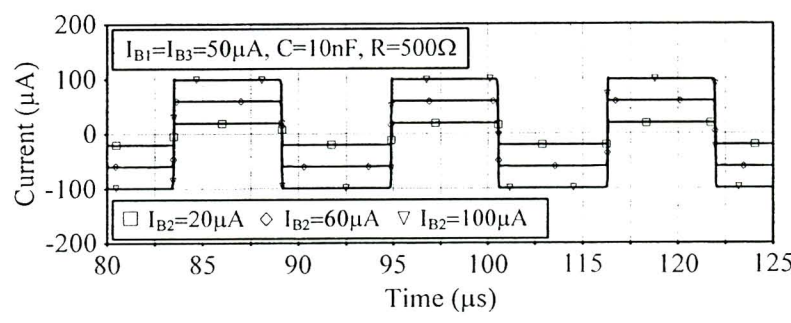
4.2 ผลการจำลองการทำงานของวงจรประยุกต์ใช้งาน

4.2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส

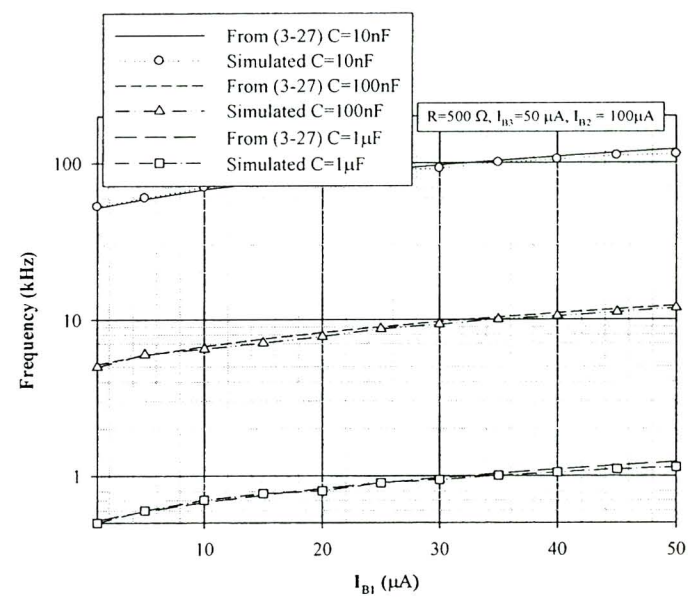
ผลการจำลองที่แสดงในหัวข้อนี้ เป็นผลการจำลองของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแสที่แสดงในภาพที่ 3-5 ส่วนภาพที่ 4-24 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแสในสภาวะเริ่มต้น



ภาพที่ 4-24 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแสในสภาวะเริ่มต้น



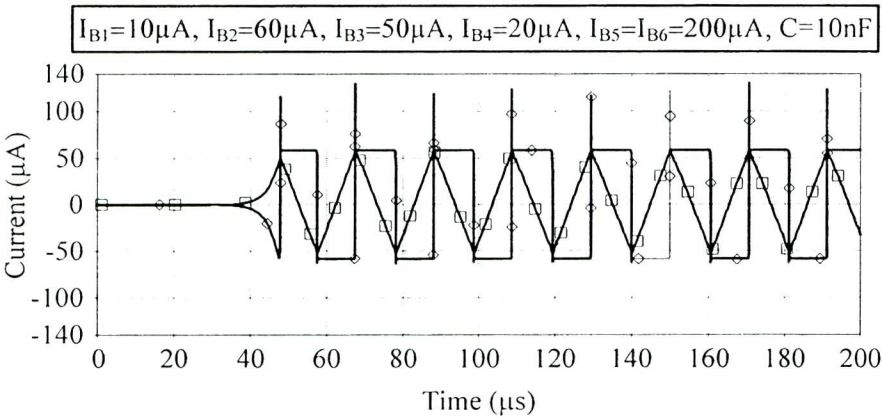
ภาพที่ 4-25 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2}



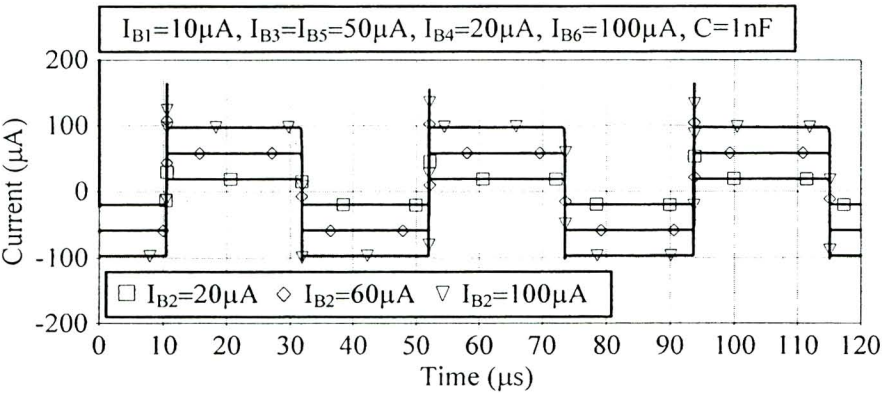
ภาพที่ 4-26 ความถี่ของการกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B1} จาก $0\mu A$ ถึง $50\mu A$ ที่ตัวเก็บประจุค่าต่างๆ

ภาพที่ 4-25 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2} จะเห็นได้ว่าขนาดของสัญญาณเอาต์พุตสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B2} และไม่ส่งผลกระทบต่อความถี่ และกราฟในภาพที่ 4-26 แสดงความถี่ของการกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม เมื่อ I_{B1} เปลี่ยนจาก $0\mu A$ ถึง $50\mu A$ ที่ตัวเก็บประจุค่าต่างๆ จากผลการจำลองสามารถยืนยันได้ว่าความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B1} และสอดคล้องกับสมการที่ (3-27) ที่วิเคราะห์ไว้

4.2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมโหมดกระแส

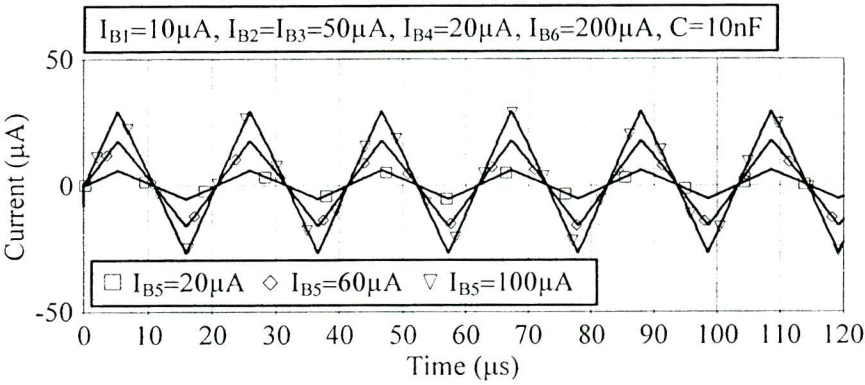


ภาพที่ 4-27 สัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมในสภาวะเริ่มต้น

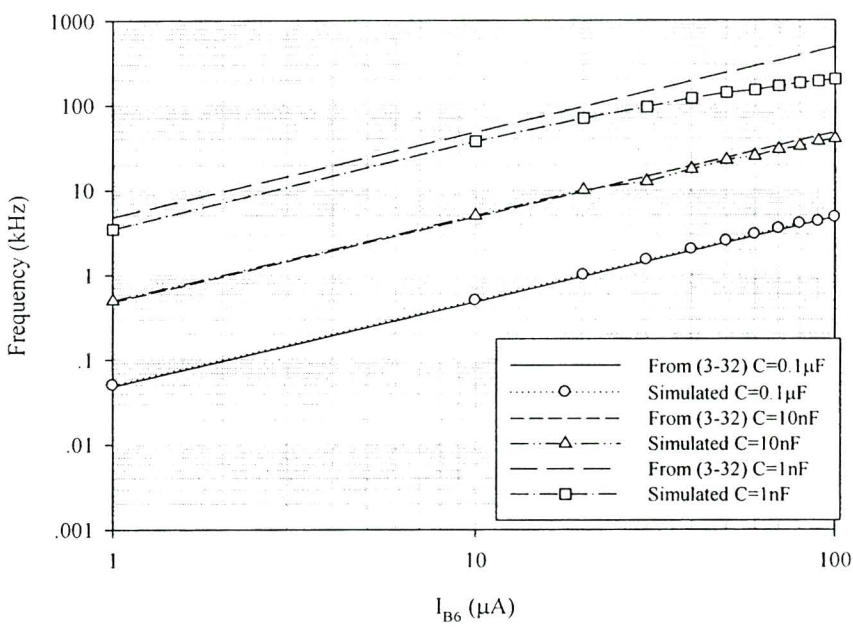


ภาพที่ 4-28 สัญญาณสี่เหลี่ยมเอาต์พุต เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2} โดยกำหนดให้ข้ามการกำเนิดสัญญาณช่วงเริ่มต้น

ผลการจำลองการทำงานหัวข้อนี้เป็นของวงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมโหมด กระแสสัญญาณดังแสดงในภาพที่ 3-6 สัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมในสภาวะเริ่มต้น ได้แสดง ในภาพที่ 4-27



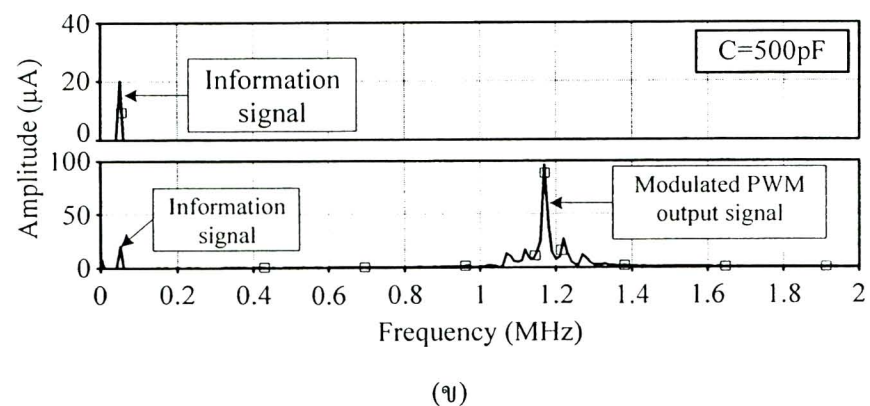
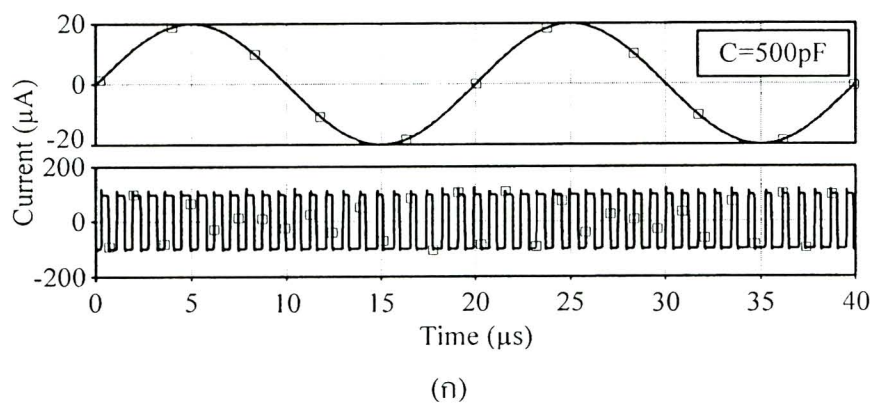
ภาพที่ 4-29 สัญญาณสามเหลี่ยมเอาต์พุต เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B5} โดยกำหนดให้ข้ามการกำเนิดสัญญาณช่วงเริ่มต้น



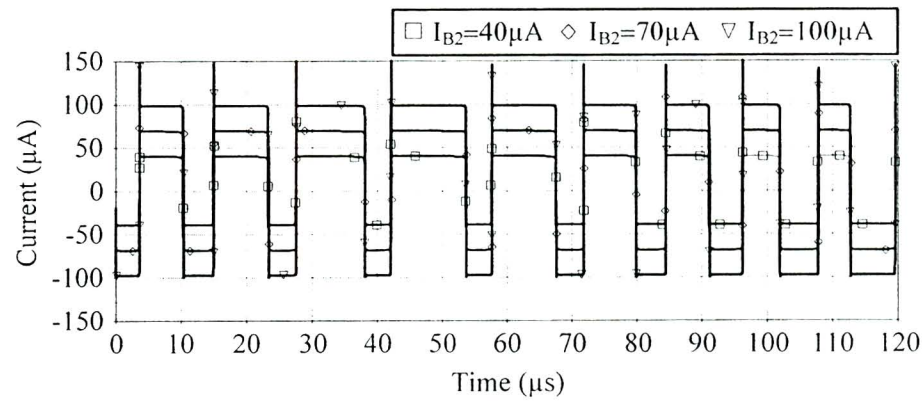
ภาพที่ 4-30 ความถี่ของการกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B6} จาก $1\mu\text{A}$ ถึง $100\mu\text{A}$ ที่ตัวเก็บประจุค่าต่างๆ

ภาพที่ 4-28 และ 4-29 แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยม เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B2} และสัญญาณสามเหลี่ยม เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B5} ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าขนาดของสัญญาณสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมสามารถปรับได้ด้วย I_{B2} และ I_{B5} ตามลำดับ และภาพที่ 4-30 แสดงกราฟความถี่ของการกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม เมื่อ I_{B6} เปลี่ยนจาก $0\mu A$ ถึง $50\mu A$ ที่ตัวเก็บประจุค่าต่างๆ จากผลการจำลองสามารถยืนยันได้ว่าความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B6} ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (3-32) ที่วิเคราะห์ไว้และ ความถี่สูงสุดที่สามารถควบคุมได้ดังแสดงในภาพที่ 4-30 อยู่ที่ 202kHz

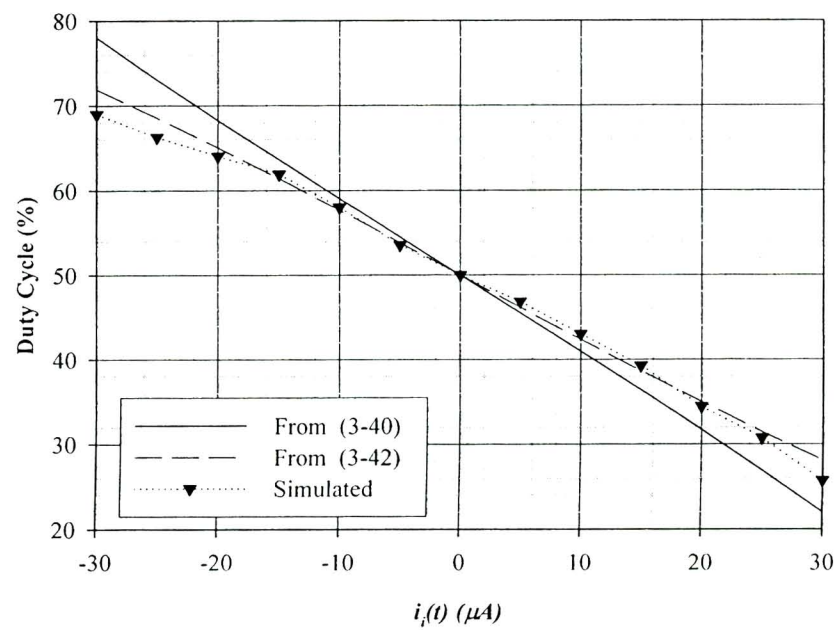
4.2.3 วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแส



ภาพที่ 4-31 สัญญาณอินพุตเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของ (ก) โดเมนของเวลา (ข) โดเมนของความถี่



ภาพที่ 4-32 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์ เมื่อเปลี่ยนค่ากระแส I_{B2}

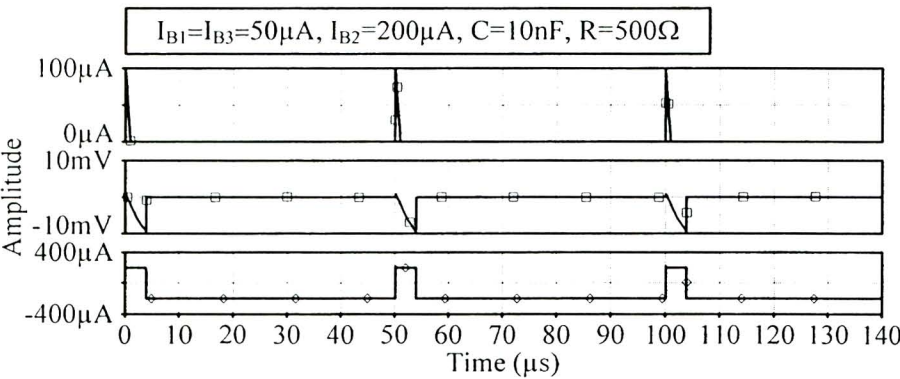


ภาพที่ 4-33 ค่าตัวชี้ไขเกิ้ล เมื่อเปลี่ยนแปลง i_L จาก $-30\mu\text{A}$ ถึง $30\mu\text{A}$

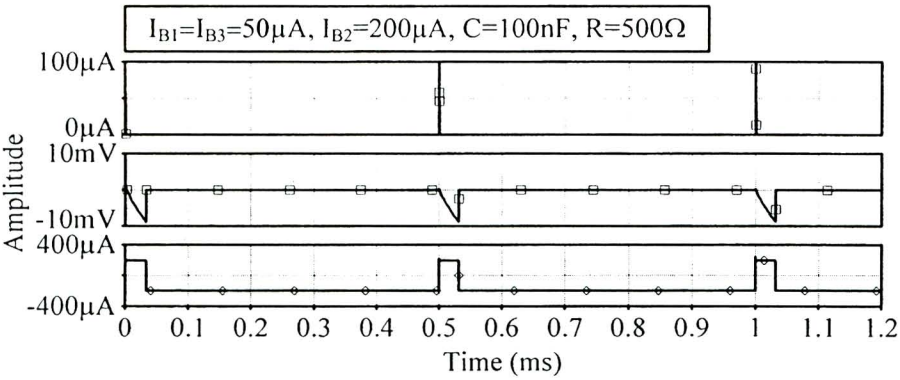
ผลการจำลองการทำงานของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแส ที่แสดงไว้ในภาพที่ 3-7 ได้แสดงในหัวข้อนี้ ภาพที่ 4-31 (ก) และ(ข) แสดงสัญญาณอินพุตเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่โคเมนของเวลาและความถี่ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตจะประกอบด้วยสองความถี่คือ ความถี่ข่าวสารและความถี่พาห์ เมื่อต้องการกู้ความถี่ข่าวสารกลับมา สามารถทำได้โดย

ใช้วงจรความถี่ต่ำผ่านเพื่อกู้ความถี่ข่าวสารกลับมา ส่วนภาพที่ 4-32 แสดงสัญญาณเอาต์พุต เมื่อเปลี่ยนค่ากระแส I_{B2} จากผลการจำลองการทำงานสามารถยืนยันได้ว่า ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตสามารถปรับได้ด้วย I_{B2} โดยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าคิวตี้ไซเกิ้ลและความถี่ และผลการจำลองการทำงานในภาพที่ 4-33 แสดงการเปลี่ยนของค่าคิวตี้ไซเกิ้ล เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า i , จาก $-30\mu A$ ถึง $30\mu A$ ค่าคิวตี้ไซเกิ้ลจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของ i , ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (3-40) และ (3-42) ที่วิเคราะห์ไว้และเมื่อขนาดของ i มีค่าเท่ากับศูนย์ ค่าคิวตี้ไซเกิ้ลจะมีค่าเท่ากับ 50% ซึ่งเป็นลักษณะทางเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์ทั่วไป

4.2.4 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแส

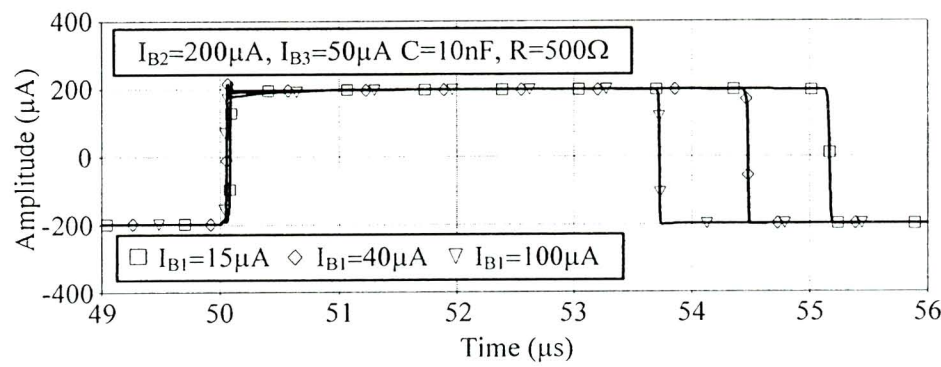


(ก)

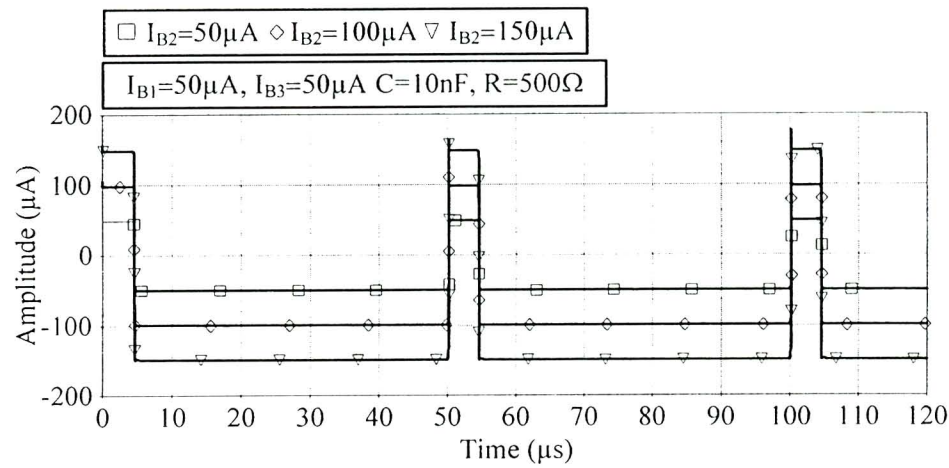


(ข)

ภาพที่ 4-34 สัญญาณเอาต์พุตที่จุดต่างของวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า
T (ก) $3.85\mu s$ (ข) $197.5\mu s$



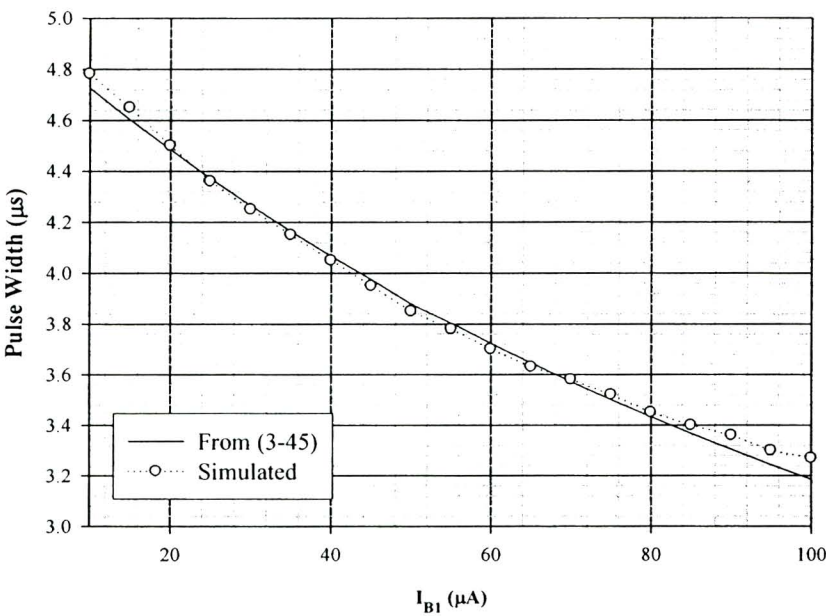
ภาพที่ 4-35 สัญญาณเอาต์พุตของวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า I_{B1}



ภาพที่ 4-36 สัญญาณเอาต์พุตของวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า I_{B2}

หัวข้อนี้แสดงผลการจำลองของวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ โหมดกระแสที่แสดงในภาพที่ 3-8 ผลการจำลองในภาพที่ 4-34(ก) และ(ข) แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่จุดต่างของวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า T เท่ากับ $3.85\mu s$ และ $197.5\mu s$ ตามลำดับ ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณกระตุ้น แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ และสัญญาณเอาต์พุต ส่วนสัญญาณเอาต์พุตของวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า I_{B1} ที่แสดงไว้ในภาพที่ 4-35 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ขนาดความกว้างของสัญญาณพัลส์สามารถควบคุมได้ด้วย I_{B1} และไม่มีผลต่อขนาดของสัญญาณเอาต์พุต และภาพที่ 4-36 แสดงสัญญาณเอาต์พุต เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า I_{B2}

จากผลการจำลองพบว่าขนาดของสัญญาณเอาต์พุตสามารถปรับได้ด้วย I_{B2} และไม่ส่งผลกระทบต่อความกว้างของสัญญาณพัลส์ ภาพที่ 4-37 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความกว้างของสัญญาณพัลส์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า I_{B1} พบว่าขนาดความกว้างของสัญญาณพัลส์เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของ I_{B1} ซึ่งสอดคล้องกับที่วิเคราะห์ไว้ในสมการที่ (3-45)



ภาพที่ 4-37 ความกว้างของสัญญาณพัลส์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า I_{B1} จาก $10\mu A$ ถึง $100\mu A$

4.3 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงผลการจำลองการทำงานของวงจรสมิตต์ทริกเกอร์และวงจรประยุกต์ใช้งาน ซึ่งประกอบด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์ และวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ด้วยโปรแกรม PSpice ที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 จากการจำลองพบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้ตามทฤษฎี โดยทุกวงจรสามารถควบคุมการทำงานได้ด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมอัตโนมัติ ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม ซึ่งวงจรสมิตต์ทริกเกอร์ที่ได้จากการ

วิจัยมีอัตราการบริโภคพลังงาน 235 μW และ 191 μW ที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า $\pm 1.5\text{V}$ และสามารถทำงานได้ในย่านความถี่สูงถึงระดับเมกะเฮิรตซ์