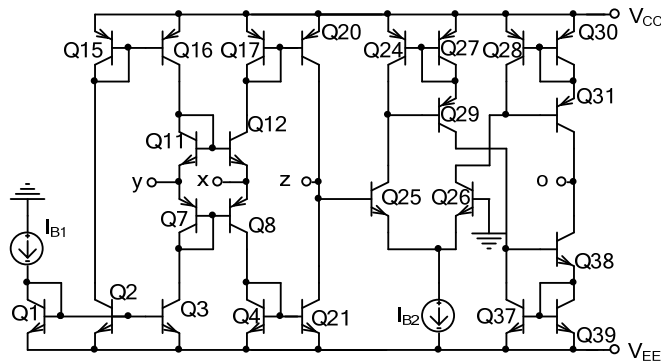


บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวงจรเลียนแบบอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้ในทางทฤษฎีกับการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice

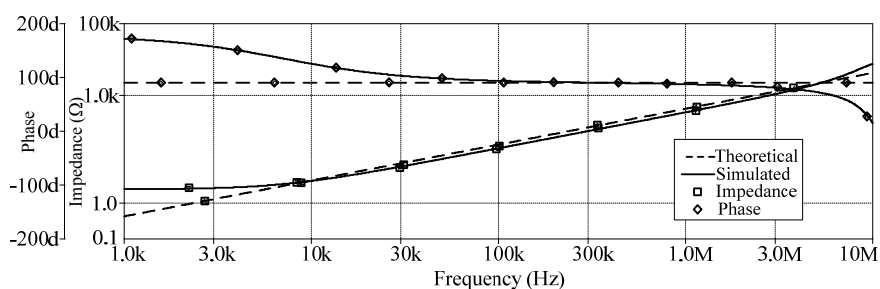
เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของวงจรที่ได้สังเคราะห์และออกแบบไว้ในบทที่ผ่านมา ในลำดับแรกจะใช้การทดสอบการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์ (PSpice) มาช่วยตรวจสอบการทำงานของวงจรที่ได้วิเคราะห์ไว้ตามทฤษฎี ซึ่งในการจำลองนี้ได้ใช้พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ตามลำดับ ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T (Frey 1993) ที่สามารถทำงานได้จนถึงย่านความถี่สูงมาก (Ultra high frequency) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์แสดงตามเอกสารในภาคผนวก ก วงจรทำงานที่แหล่งจ่าย ± 2.5 โวลต์ โดยใช้โครงสร้างภายในของ CCCCTA ในภาพที่ 4.1



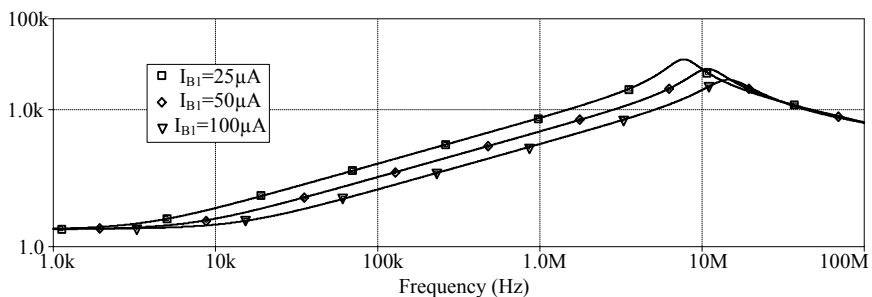
ภาพที่ 4.1 โครงสร้างภายในของ CCCCTA ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

ลำดับแรกจะจำลองการทำงานของวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำแบบต่อลงกราวด์ในภาพที่ 3.1 โดยปรับ $I_{B1} = 50\mu A$, $I_{B2} = 200\mu A$ และ $C = 1nF$ ตามลำดับ ภาพที่ 4.2 แสดงผลการจำลองการ

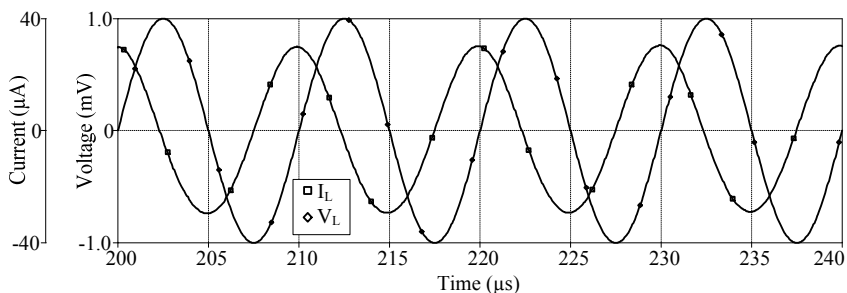
ทำงานของวงจรเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์และเฟสของตัวเหนี่ยวนำในทางทฤษฎีดังสมการที่ (3.9) จากผลการจำลองพบว่าย่านความถี่ที่ใช้งานได้จะอยู่ในช่วงประมาณ 10kHz – 2MHz โดยในช่วงนี้ ค่าความเหนี่ยวนำที่ได้จากการจำลองจะเบี่ยงเบนไปจากค่าในทางอุดมคติประมาณ 10.923% ส่วนภาพที่ 4.3 แสดงผลการปรับกระแสไบแอส I_{B1} ซึ่งพบว่าสามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำได้ด้วย กระแสไบแอสดังที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการที่ (3.10)



ภาพที่ 4.2 ค่าอิมพีแดนซ์อินพุตและเฟสของวงจรในภาพที่ 3.1



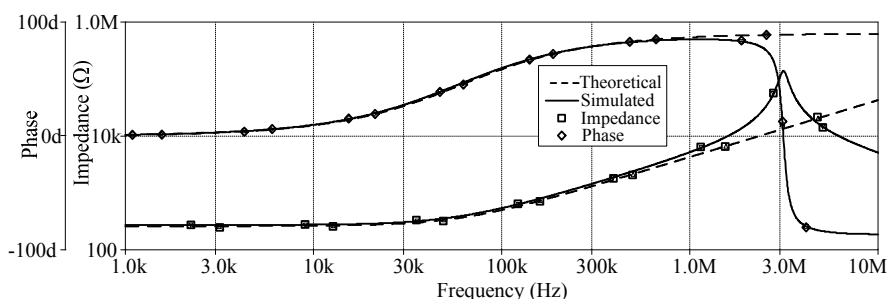
ภาพที่ 4.3 ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรในภาพที่ 3.1 เมื่อเปลี่ยนค่ากระแสไบแอส I_{B1}



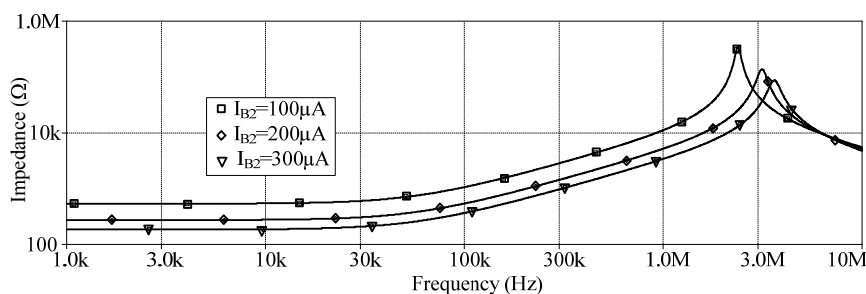
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันในวงจรถ่ายแบบตัวเหนี่ยวนำในภาพที่ 3.1

ในขณะที่ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของวงจรถ่ายแบบตัวเหนี่ยวนำเมื่อป้อนอินพุตเป็นสัญญาณไซน์ขนาด 1mV ความถี่ 100kHz ซึ่งพบว่ากระแสจะนำหน้าแรงดัน 90° ซึ่งสอดคล้องกับตัวเหนี่ยวนำในอุดมคติ

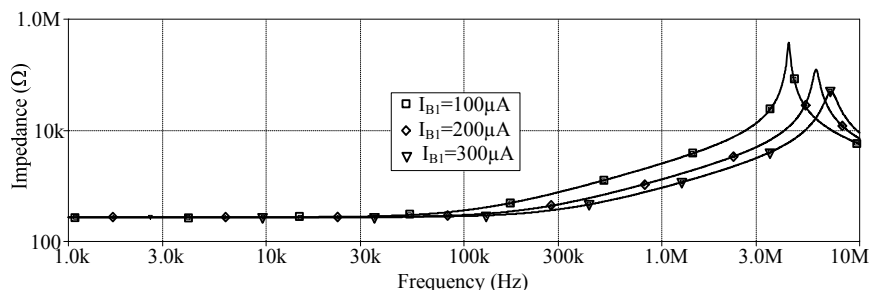
ส่วนผลการจำลองการทำงานของวงจรถ่ายแบบตัวเหนี่ยวนำอนุกรมกับตัวต้านทานแบบต่อลงกราวด์ในภาพที่ 3.2 โดยปรับ $I_{B1} = 50\mu A$, $I_{B2} = 200\mu A$ และ $C = 10nF$ ตามลำดับ ภาพที่ 4.5 แสดงผลการจำลองการทำงานของวงจรถ่ายแบบค่าอิมพีแดนซ์และเฟสของตัวเหนี่ยวนำในทางทฤษฎีดังสมการที่ (3.17) จากผลการจำลองพบว่าย่านความถี่ที่ใช้งานได้จะอยู่ในช่วงประมาณ 1kHz - 2MHz โดยในช่วงนี้ค่าความเหนี่ยวนำที่ได้จากการจำลองจะเบี่ยงเบนไปจากค่าในทางอุดมคติประมาณ 8.353% ส่วนภาพที่ 4.6 แสดงผลการปรับกระแสไบแอส I_{B2} ซึ่งพบว่าสามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำและค่าความต้านทานสามารถปรับได้ด้วยกระแสไบแอสดังที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการที่ (3.18) และ (3.19) ในขณะที่การปรับกระแสไบแอส I_{B1} จะส่งผลเฉพาะต่อค่าความเหนี่ยวนำดังที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการที่ (3.19) ซึ่งผลการจำลองดังภาพที่ 4.7



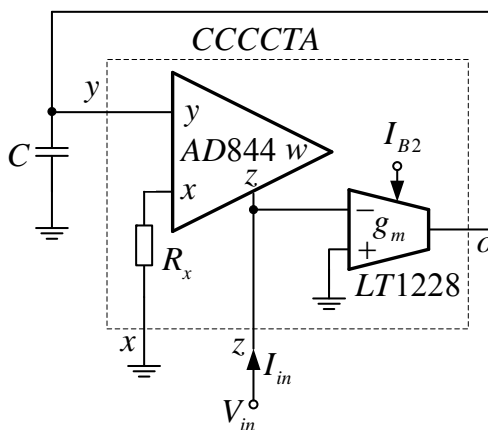
ภาพที่ 4.5 ค่าอิมพีแดนซ์อินพุตและเฟสของวงจรถ่ายในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 4.6 ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรในภาพที่ 3.2 เมื่อเปลี่ยนค่ากระแสไบอัส I_{B2}



ภาพที่ 4.7 ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรในภาพที่ 3.2 เมื่อเปลี่ยนค่ากระแสไบอัส I_{B1}

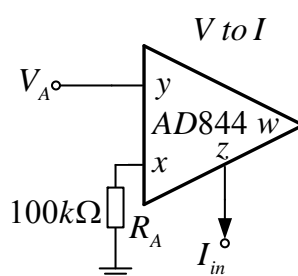


ภาพที่ 4.8 วงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดลองจริง

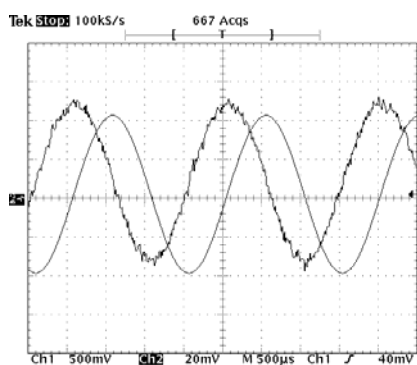
4.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวงจรเลียนแบบอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้ในทางทฤษฎีกับการทดลองต่อวงจรจริง

เพื่อเป็นการแสดงถึงความสามารถในการทำงานของวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำในภาพที่ 3.1 ที่ได้สังเคราะห์และออกแบบไว้ จึงได้ทำการทดลองสร้างวงจรจริงขึ้น โดยจะใช้ไอซีสำเร็จรูป 2 เบอร์ ได้แก่ AD844 ซึ่งเป็นวงจรสายพานกระแสยุคที่สอง (CCII) และเบอร์ LT1228 ซึ่งเป็น OTA ดังภาพที่ 4.8 จากวงจรพบว่า CCCCTA ที่ใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วย AD844 และ LT1228 อย่างละหนึ่งตัว โดยค่าความนำถ่านโอนหรือ g_m ของ LT1228 จะมีค่าประมาณ $10I_B$

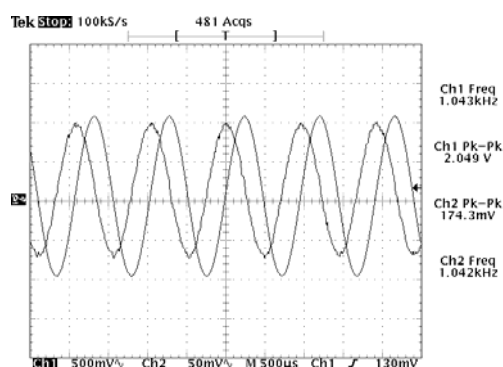
วงจรในภาพที่ 4.8 ใช้ไฟเลี้ยงวงจรเท่ากับ $\pm 12V$ ตัวเก็บประจุ $C = 0.1\mu F$, $I_{B2} = 100\mu A$ และ $R_x = 1k\Omega$ ในการทดสอบวงจรจะใช้วงจรแปลงแรงดันให้เป็นกระแส (V to I) ดังภาพที่ 4.9 เพื่อป้องกันกระแสอินพุตให้กับวงจร เมื่อป้อนสัญญาณอินพุต $V_A = 2V_{p-p}$ จะได้ $I_{in} = 200\mu A$ เปลี่ยนความถี่ 3 ค่า ได้แก่ 500Hz และ 1kHz แล้วทำการวัดสัญญาณ V_{in} เทียบกับ V_A จะได้สัญญาณดังแสดงในภาพที่ 4.10(ก)-(ข) ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสัญญาณมีเฟสต่างกัน 90 องศา



ภาพที่ 4.9 วงจรแปลงแรงดันให้เป็นกระแส



(ก)

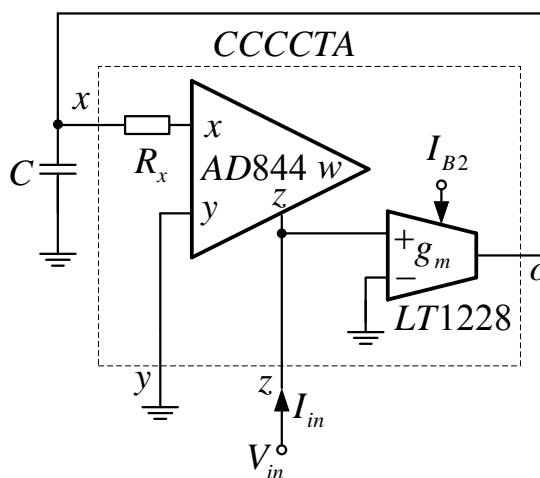


(ข)

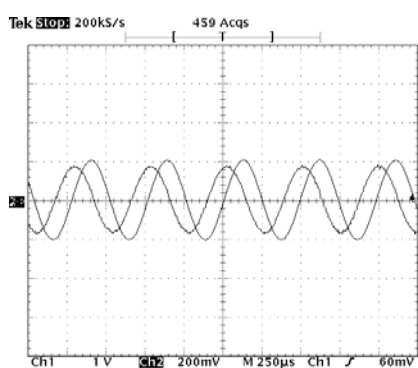
ภาพที่ 4.10 สัญญาณ V_{in} เทียบกับ V_A ของวงจรในภาพที่ 4.8 ที่ความถี่ (ก) 500 Hz (ข) 1kHz

เพื่อเป็นการแสดงถึงความสามารถในการทำงานของวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำอนุกรมกับตัวต้านทานในภาพที่ 3.2 ที่ได้สังเคราะห์และออกแบบไว้ จึงได้ทำการทดลองสร้างวงจรจริงขึ้น โดยจะใช้ไอซีสำเร็จรูป 2 เบอร์ ได้แก่ AD844 ซึ่งเป็นวงจรสายพานกระแสยุคที่สอง (CCII) และเบอร์ LT1228 ซึ่งเป็น OTA ดังภาพที่ 4.11

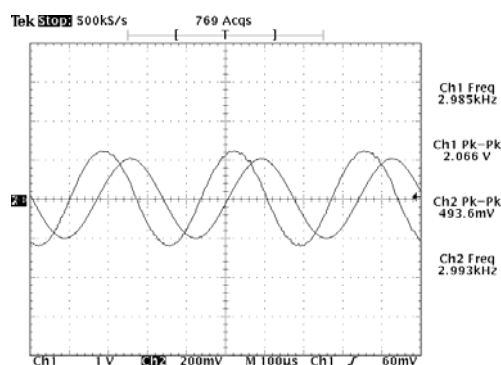
วงจรในภาพที่ 4.11 ใช้ไฟเลี้ยงวงจรเท่ากับ $\pm 12V$ ตัวเก็บประจุ $C = 0.1\mu F$, $I_{B2} = 100\mu A$ และ $R_x = 1k\Omega$ ในการทดสอบวงจรจะใช้วงจรแปลงแรงดันให้เป็นกระแส (V to I) ดังภาพที่ 4.9 เพื่อป้องกันกระแสอินพุตให้กับวงจร เมื่อป้อนสัญญาณอินพุต $V_A = 2V_{p-p}$ จะได้ $I_{in} = 200\mu A$ เปลี่ยนความถี่ 3 ค่า ได้แก่ 2kHz และ 3kHz แล้วทำการวัดสัญญาณ V_{in} เทียบกับ V_A จะได้สัญญาณดังแสดงในภาพที่ 4.12(ก)-(ข) ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสัญญาณมีเฟสต่างกัน 90 องศา



ภาพที่ 4.11 วงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำอนุกรมกับตัวต้านทานที่ใช้ในการทดลองจริง



(ก)



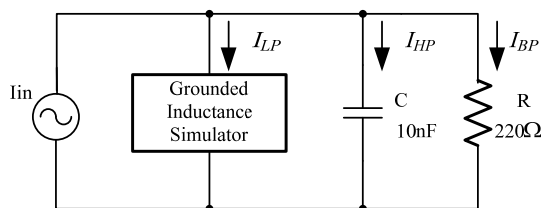
(ข)

ภาพที่ 4.12 สัญญาณ V_{in} เทียบกับ V_A ของวงจรในภาพที่ 4.11 ที่ความถี่ (ก) 2kHz (ข) 3kHz

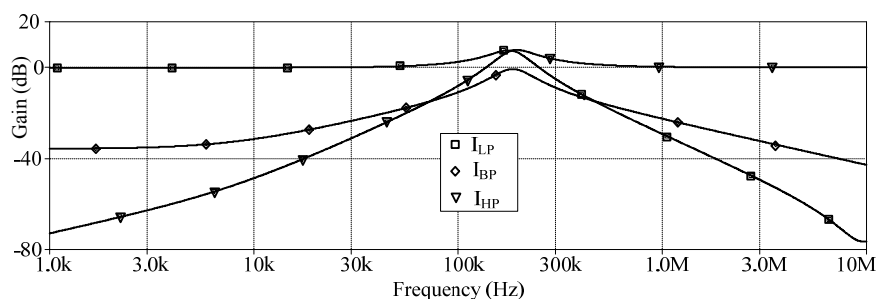
4.3 การสังเคราะห์และออกแบบวงจรประยุกต์ใช้งานวงจรเลียนแบบอุปกรณ์ในวงจรกรองความถี่

เพื่อเป็นการยืนยันถึงการนำไปใช้ประโยชน์ของวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำในภาพที่ 3.1 และ 3.2 ที่ได้นำเสนอ จึงขอกล่าวถึงตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้งานในวงจรกรองความถี่พร้อมการทดสอบการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice

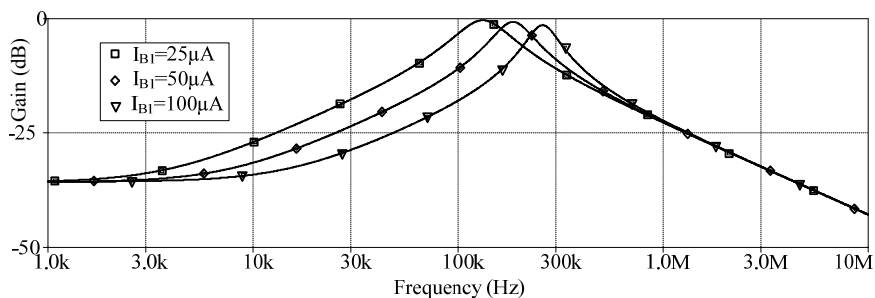
ภาพที่ 4.13 เป็นตัวอย่างการนำวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำไปต่อเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน RLC ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรในภาพที่ 4.13 ได้แก่ I_{LP} , I_{BP} และ I_{HP} แสดงดังภาพที่ 4.14 เมื่อวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำได้ปรับกระแสไบแอส $I_{B1} = 50 \mu A$, $I_{B2} = 200 \mu A$ และ $C = 1 \text{ nF}$ ส่วนภาพที่ 4.15 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ของ I_{BP} ของวงจรในภาพที่ 4.13 เมื่อเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B1}



ภาพที่ 4.13 การประยุกต์ใช้งานวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำในวงจรเรโซแนนซ์ขนาน RLC

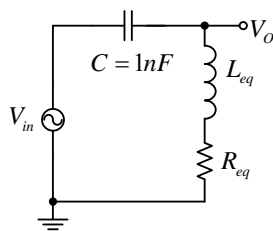


ภาพที่ 4.14 ผลตอบสนองทางความถี่ของ I_{LP} , I_{BP} และ I_{HP} ของวงจรในภาพที่ 4.13

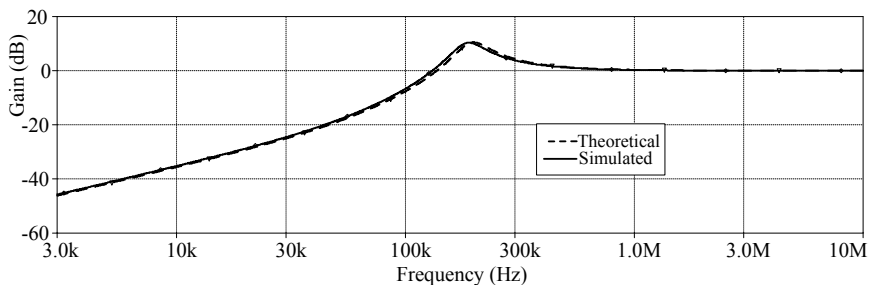


ภาพที่ 4.15 ผลตอบสนองทางความถี่ของ I_{BP} ของวงจรในภาพที่ 4.13 เมื่อเปลี่ยนแปลง I_{B1}

ภาพที่ 4.16 เป็นตัวอย่างการนำวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำอนุกรมกับตัวต้านทานแบบต่อลงกราวนด์ไปประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรความถี่สูงผ่าน (Highpass) ซึ่งการจำลองการทำงานของวงจรแสดงผลตอบสนองทางความถี่ได้ดังภาพที่ 4.17 เมื่อวงจรจำลองตัวเหนี่ยวนำ ปรับ $I_{B1} = 50 \mu A$, $I_{B2} = 200 \mu A$ และ $C = 10 nF$ ส่วนภาพที่ 4.18 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรในภาพที่ 4.16 เมื่อเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B1}



ภาพที่ 4.16 วงจรประยุกต์ใช้งานวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำอนุกรมกับตัวต้านทานในภาพที่ 3.2 ในวงจรกรองความถี่สูงผ่าน



ภาพที่ 4.17 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรในภาพที่ 4.16