บทที่ 3

แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์

3.1 บทนำ

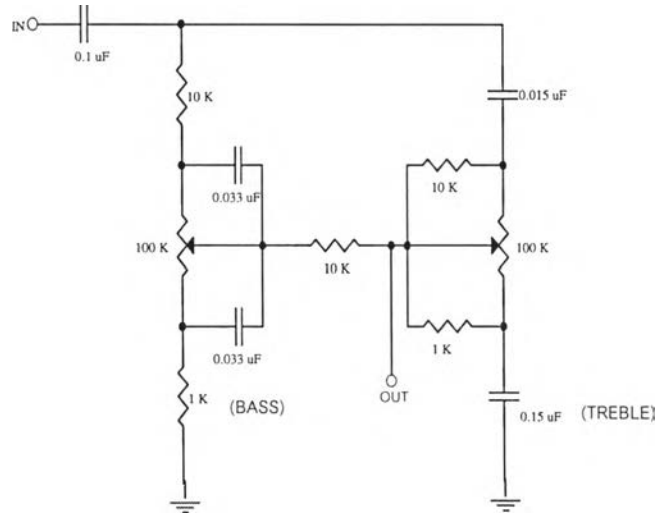
เพื่อที่จะพิสูจน์ผลการออกแบบวงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์ ว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้และสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงจำลองการทำงานของวงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ก่อนที่จะประกอบวงจรจริง เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและปลอดภัยต่ออุปกรณ์ โดยใช้โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้นแบบท่อน (LEK 6.0 , เอกชัย ลีลารัศมี, 2536)

ซึ่งในบทนี้ได้แยกการทดสอบวงจรโดยคอมพิวเตอร์ออกเป็น 5 ส่วนหลัก ดังนี้

1. แบบจำลองการทำงานวงจร โทน คอนโทรล
2. แบบจำลองการทำงานวงจรกรองแบบเรียบสุด
3. แบบจำลองการทำงานวงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์ทำงานแบบวงรอบเปิด
4. แบบจำลองการทำงานวงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์ทำงานแบบวงรอบปิด

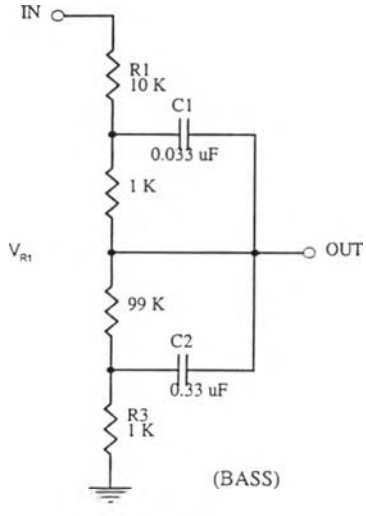
3.2 แบบจำลองวงจรโทน คอนโทรล

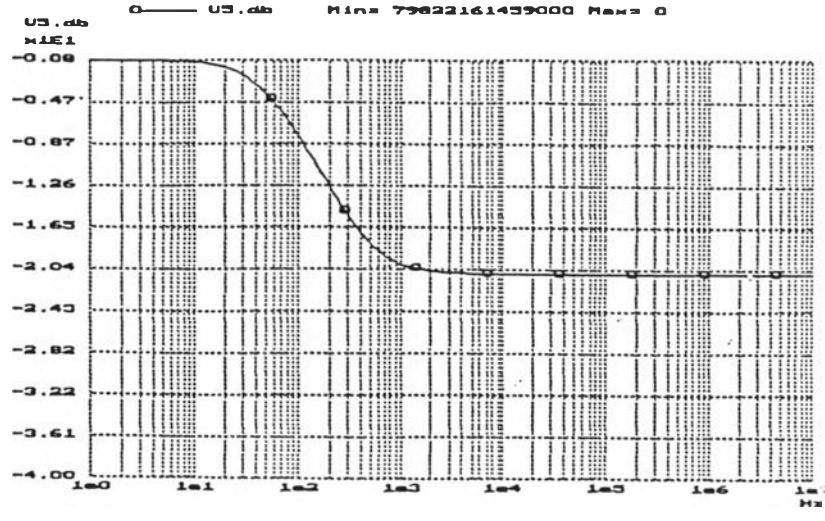
จากการออกแบบในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3.4 สามารถนำมาจำลองการทำงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปวงจรปรับเสียงทุ้ม - แหลม ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 แบบจำลองวงจรปรับเสียงทุ้มกรณี เพิ่ม - ลด เสียงทุ้ม

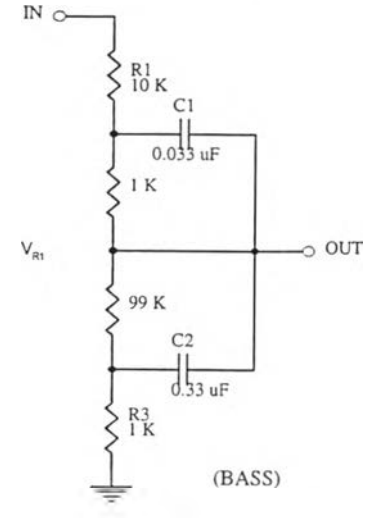


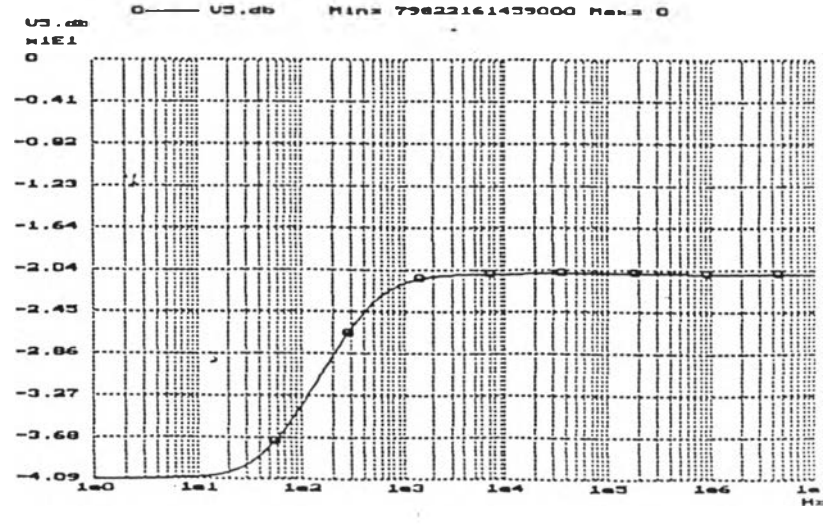


ก. แบบจำลองวงจรปรับเสียงทุ้ม (BASS) กรณีเพิ่มเสียงทุ้ม

ข. ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรปรับเสียงทุ้มกรณีเพิ่มเสียงทุ้ม

รูปที่ 3.2 รูปแบบจำลองวงจรและผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรปรับเสียงทุ้ม กรณีเพิ่มเสียงทุ้ม



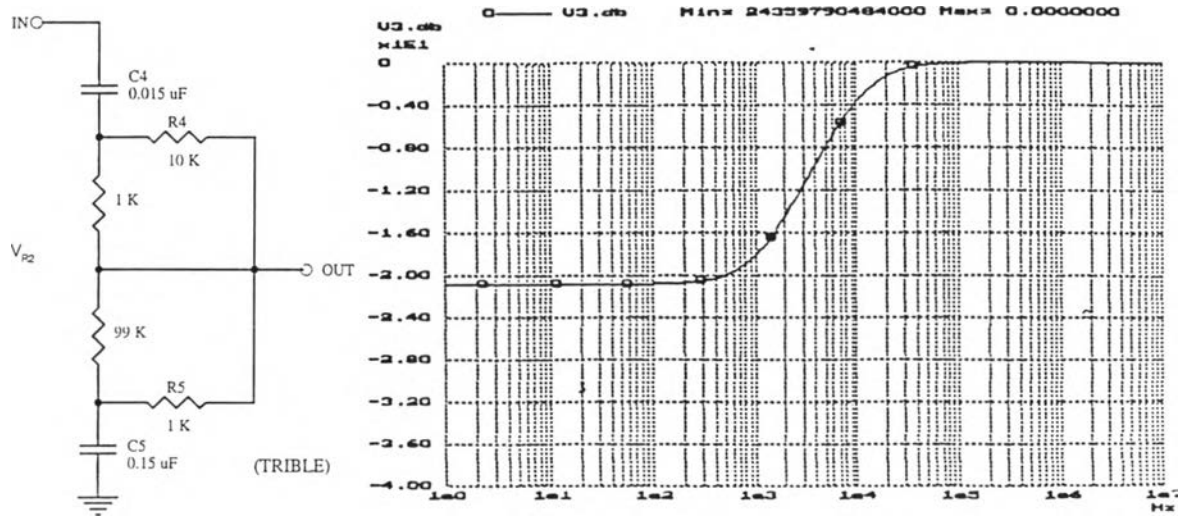


ก. แบบจำลองวงจรปรับเสียงทุ้ม (BASS) กรณีลดเสียงทุ้ม

ข. ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรปรับเสียงทุ้มกรณีลดเสียงทุ้ม

รูปที่ 3.3 รูปแบบจำลองวงจรและผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรปรับเสียงทุ้ม กรณีลดเสียงทุ้ม

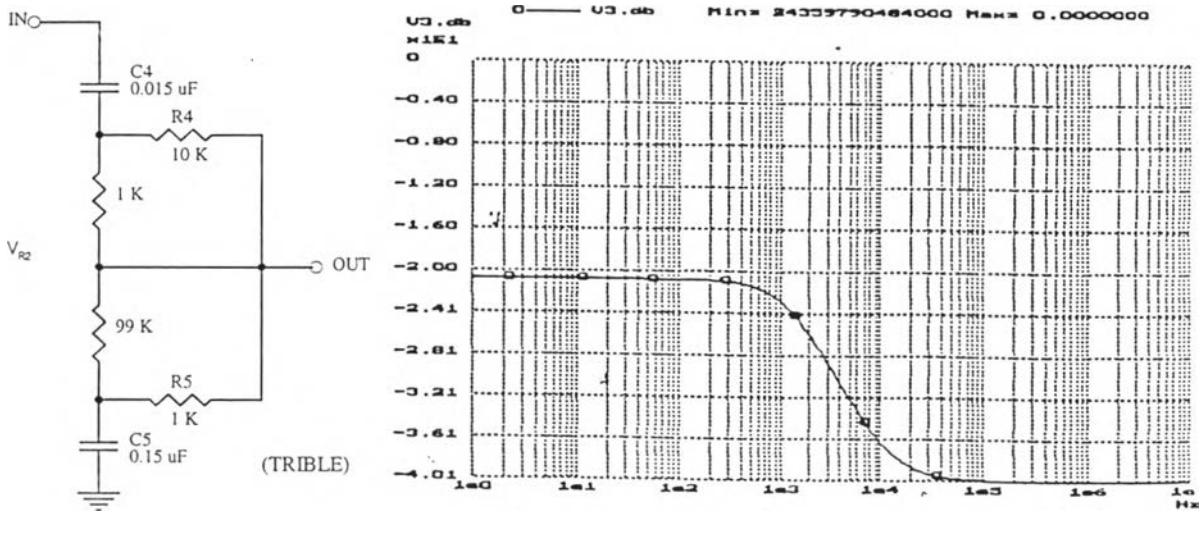
3.2.2 แบบจำลองวงจรปรับเสียงแหลมกรณี เพิ่ม - ลด เสียงแหลม



ก. แบบจำลองวงจรปรับเสียงแหลม (TREBLE) กรณีเพิ่มเสียงแหลม

ข. ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรปรับเสียงแหลมกรณีเพิ่มเสียงแหลม

รูปที่ 3.4 รูปแบบจำลองวงจรและผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรปรับเสียงแหลมกรณีเพิ่มเสียงแหลม



ก. แบบจำลองวงจรปรับเสียงแหลม (TREBLE) กรณีลดเสียงแหลม

ข. ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรปรับเสียงแหลมกรณีลดเสียงแหลม

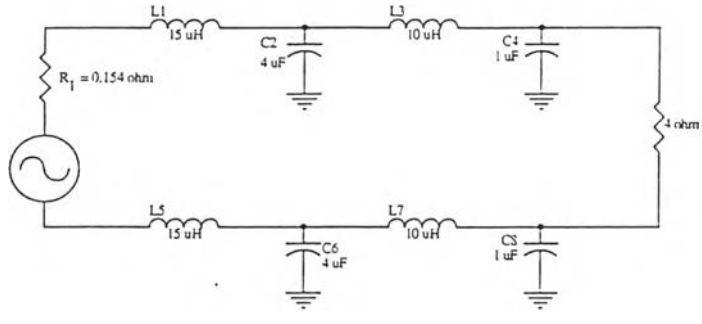
รูปที่ 3.5 รูปแบบจำลองวงจรและผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรปรับเสียงแหลมกรณีลดเสียงแหลม

สรุปผลการจำลองวงจรโทน คอนโทรล

จากการทดสอบแบบจำลองแบบวงจรปรับเสียงทุ้มกรณี เพิ่ม - ลด เสียงทุ้ม รูปที่ 3.2 ก. และรูปที่ 3.3 ก. การปรับเพิ่มหรือลด ทำได้โดยปรับความต้านทาน V_{R1} (ความต้านทานปรับค่า ได้ค่า 100 kΩ ถ้าปรับขากลาง V_{R1} ลงด้านล่างเป็นการยกระดับ(BOOST) เสียงทุ้มที่ความถี่ต่ำ (ดูรูปที่ 3.2 ข.) และถ้าปรับขากลาง V_{R1} ขึ้นด้านบน ผลเป็นการลดระดับ (CUT) เสียงทุ้มที่ความถี่ต่ำ (ดูรูปที่ 3.3 ข.)

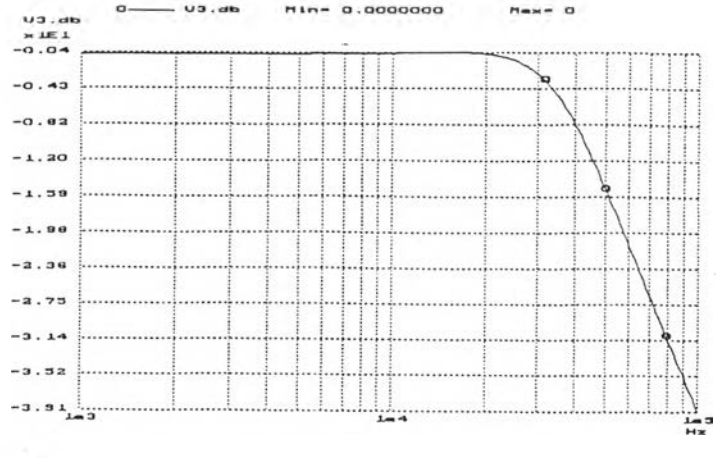
ทำนองเดียวกันในกรณีแบบจำลองวงจรปรับเสียงแหลมกรณี เพิ่ม - ลด เสียงแหลม รูปที่ 3.4 ก. และรูปที่ 3.5 ก. การปรับเพิ่มหรือลดเสียงแหลมทำได้โดยปรับ V_{R2} (ความต้านทานปรับค่าได้ค่า 100 kΩ) ถ้าปรับขากลาง V_{R2} ลงด้านล่าง ผลคือเป็นการยกระดับ (BOOST) เสียงแหลมที่ความถี่สูง (ดูรูปที่ 3.4 ข.) และถ้าปรับขึ้นด้านบนผลเป็นการลดระดับ (CUT) เสียงแหลมที่ความสูง (ดูรูปที่ 3.5 ข.)

3.3 แบบจำลองวงจรกรองแบบเรียบสุด อันดับ 4



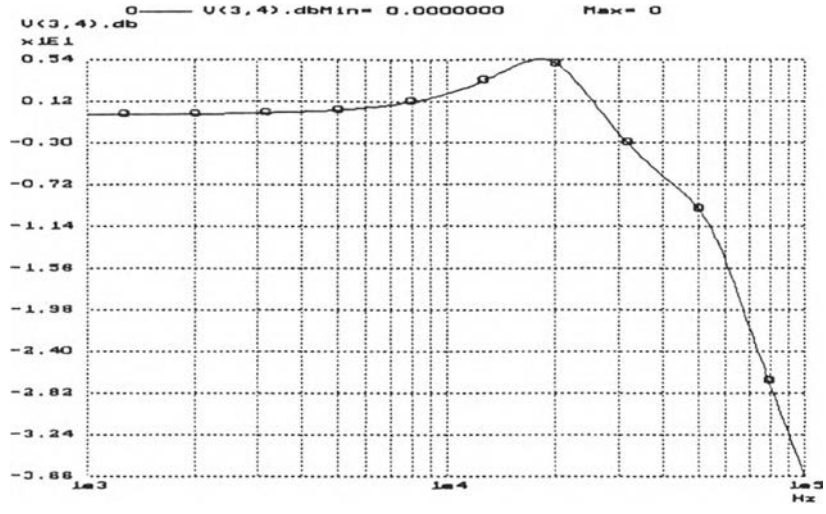
รูปที่ 3.6 แบบจำลองวงจรกรองแบบเรียบสุด f_c = 33 kHz

3.3.1 ผลการจำลองวงจรกรองแบบเรียบสุดกรณีโหลดเท่ากับ 4 โอห์ม



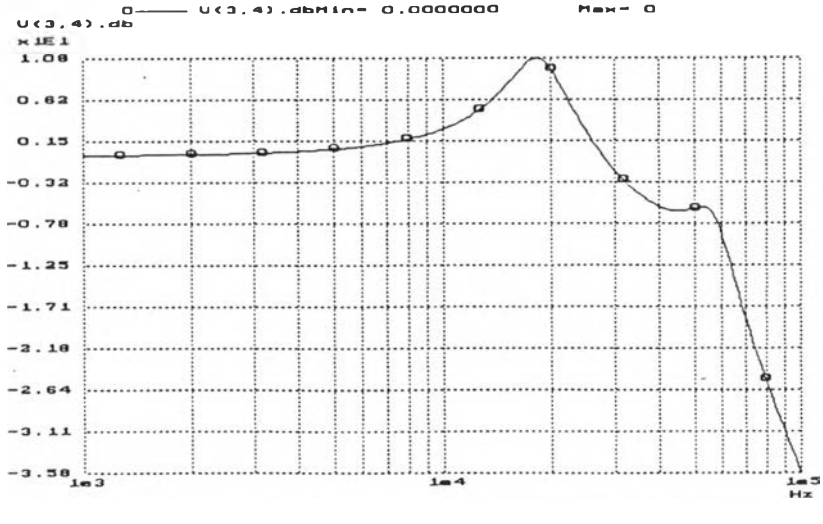
รูปที่ 3.7 แสดงผลการตอบสนองเชิงความถี่วงจรกรองแบบเรียบสุด อันดับ 4 กรณีโหลดเท่ากับ 4 โอห์ม

3.3.2 ผลการจำลองวงจรกรองแบบเรียบสุดกรณีโหลดเท่ากับ 8 โอห์ม



รูปที่ 3.8 แสดงผลการตอบสนองเชิงความถี่วงจรกรองแบบเรียบสุด อันดับ 4 กรณีโหลดเท่ากับ 8 โอห์ม

3.3.3 ผลการจำลองวงจรกรองแบบเรียบสุดกรณีโหลดเท่ากับ 16 โอห์ม

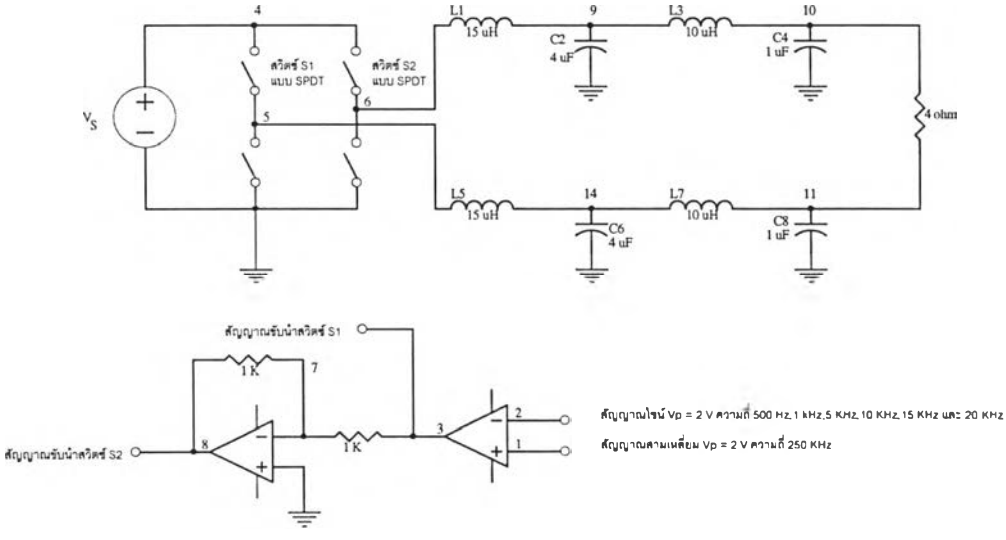


รูปที่ 3.9 แสดงผลการตอบสนองเชิงความถี่วงจรกรองแบบเรียบสุด อันดับ 4 กรณีโหลดเท่ากับ 16 โอห์ม

จากผลการทดสอบผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรกรองแบบเรียบสุด จะเห็นว่าเมื่อได้ออกแบบวงจรไว้ใช้กับโหลด (ลำโพง) 4 โอห์ม ก็ควรจะใช้กับโหลด 4 โอห์ม เท่านั้น เพื่อให้ผลการเชิงตอบสนองความถี่เรียบสุด ดูรูปที่ 3.7 และที่โหลดเท่ากับ 4 โอห์ม $f_{(-3dB)} \approx 33$ kHz ซึ่งตรงกับการ

ออกแบบในบทที่ 2 แต่ถ้าโหลดเท่ากับ 8 โอห์ม หรือ 16 โอห์ม ผลตอบสนองจะไม่ราบ คือเกิดเป็นค่ายอดขึ้นและการลดทอนความถี่ก็ไม่ชันตัวที่ต้องการ (ดูรูป 3.8 และ 3.9)

3.4<u>แบบจำลองการทำงาน วงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์ทำงานแบบวงรอบเปิด</u>



รูปที่ 3.10 แสดงแบบจำลองวงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์ทำงานแบบวงรอบเปิด

จากรูปที่ 3.10 แสดงแบบจำลองวงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์ทำงานแบบวงรอบเปิด โดยกำหนดแรงดัน V_s มีค่าเท่ากับ 40V สัญญาณสามเหลี่ยมมีแอมพลิจูดเท่ากับ 2.2 V

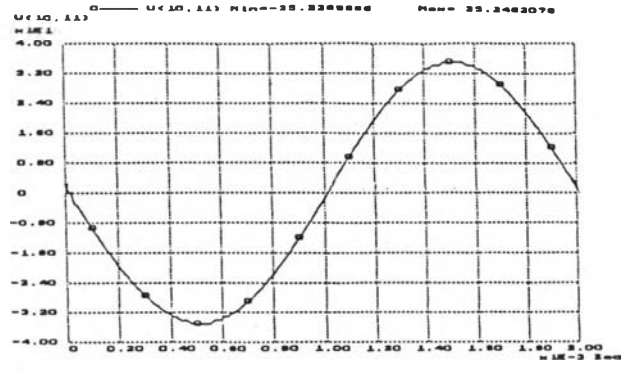
สามารถคำนวณหาค่าอัตราขยายแรงดัน (dB) = $20.\log\frac{V_S}{V_P}$

$$= 20.\log\frac{40}{2.2}$$

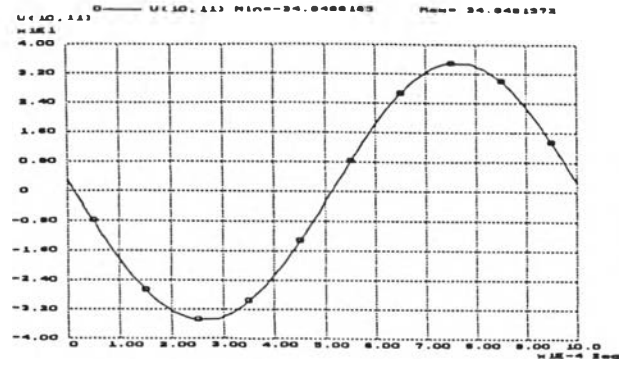
$$= 25.19 \text{ dB}$$

ความถี่การสวิตช์เท่ากับ 250 kHz สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไซน์ (แทนสัญญาณเสียง) มีแอมพลิจูดเท่ากับ 2 V, 1.5 V, 1 V, 0.5 V, 0.3 V และ 0.1 V ตามลำดับ ความถี่หลักมูลมีค่าเท่ากับ 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 15 kHz และ 20 kHz ตามลำดับ สังเกตรูปคลื่นแรงดันด้านออกของวงจรว่าเป็นรูปไซน์ มีแอมพลิจูดใกล้เคียงกันสำหรับแรงดันอินพุตคงตัว แต่เมื่อเพิ่มความถี่แรงดันด้านออกจะมีเฟสล้าหลังมากขึ้น (ในที่นี้ขอยกตัวอย่างรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.16 ซึ่งแสดงรูปคลื่นแรงดันด้านออกกรณีแรงดัน V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุต (สัญญาณไซน์) มีแอมพลิจูด 2 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 15 kHz และ 20 kHz ตามลำดับ)

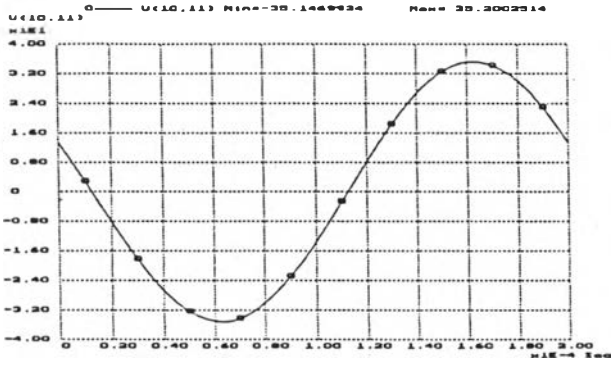
กรณีแรงดัน V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุต (สัญญาณไซน์) มีแอมพลิจูด 2 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 15 kHz, และ 20 kHz ตามลำดับ



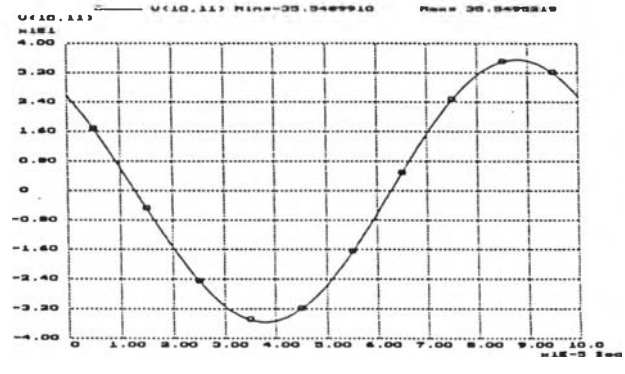
รูปที่ 3.11 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ 2 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 500 Hz



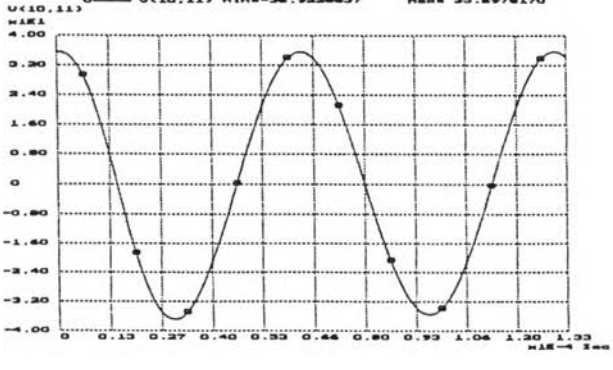
รูปที่ 3.12 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ 2 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 1kHz



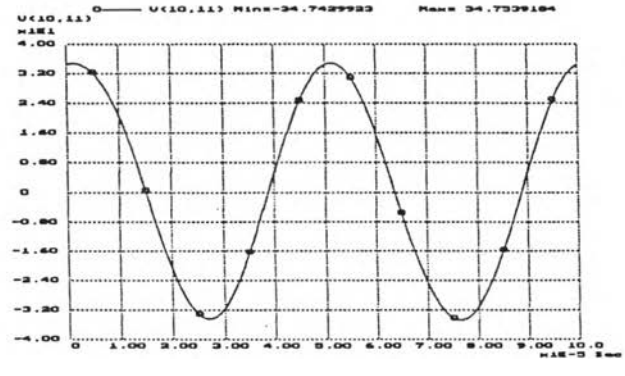
รูปที่ 3.13 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ 2 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 5 kHz



รูปที่ 3.14 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ 2 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 10 kHz



รูปที่ 3.15 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ 2 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 15 kHz



รูปที่ 3.16 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ 2 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 20 kHz

จากการซีมูเลตวงจรรูปที่ 3.10 สามารถนำค่าแรงดันด้านออกที่ได้มาคำนวณค่าอัตราขยายแรงดัน และนำไปเขียนเป็นตารางที่ 3.1 ถึง 3.6 และกราฟรูปที่ 3.17 ถึง 3.22

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าแรงดันด้านออกและค่าอัตราขยายแรงดันกรณี V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุตมีแอมพลิจูด 2 V

ความถี่หลักมูล (Hz)	500	1 K	5 K	10 K	15 K	20 K
แรงดันด้านออก (V)	35.2	34.8	35.2	35.5	35.6	34.7
อัตราขยายแรงดัน(dB)	24.91	24.81	24.91	24.98	25	24.78

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าแรงดันด้านออกและค่าอัตราขยายแรงดันกรณี V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุตมีแอมพลิจูด 1.5 V

ความถี่หลักมูล (Hz)	500	1 K	5 K	10 K	15 K	20 K
แรงดันด้านออก (V)	26.2	26.3	26.4	26.7	26.7	26
อัตราขยายแรงดัน(dB)	24.84	24.87	24.91	25	25	24.77

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าแรงดันด้านออกและค่าอัตราขยายแรงดันกรณี V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุตมีแอมพลิจูด 1 V

ความถี่หลักมูล (Hz)	500	1 K	5 K	10 K	15 K	20 K
แรงดันด้านออก (V)	14.9	14.8	14.5	14.7	14.8	14.3
อัตราขยายแรงดัน(dB)	25	25	24.8	24.95	25	24.76

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าแรงดันด้านออกและค่าอัตราขยายแรงดันกรณี V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุตมีแอมพลิจูด 0.5 V

ความถี่หลักมูล (Hz)	500	1 K	5 K	10 K	15 K	20 K
แรงดันด้านออก (V)	14.9	14.8	14.5	14.7	14.8	14.3
อัตราขยายแรงดัน(dB)	25	24.91	24.91	25	24.51	24.81

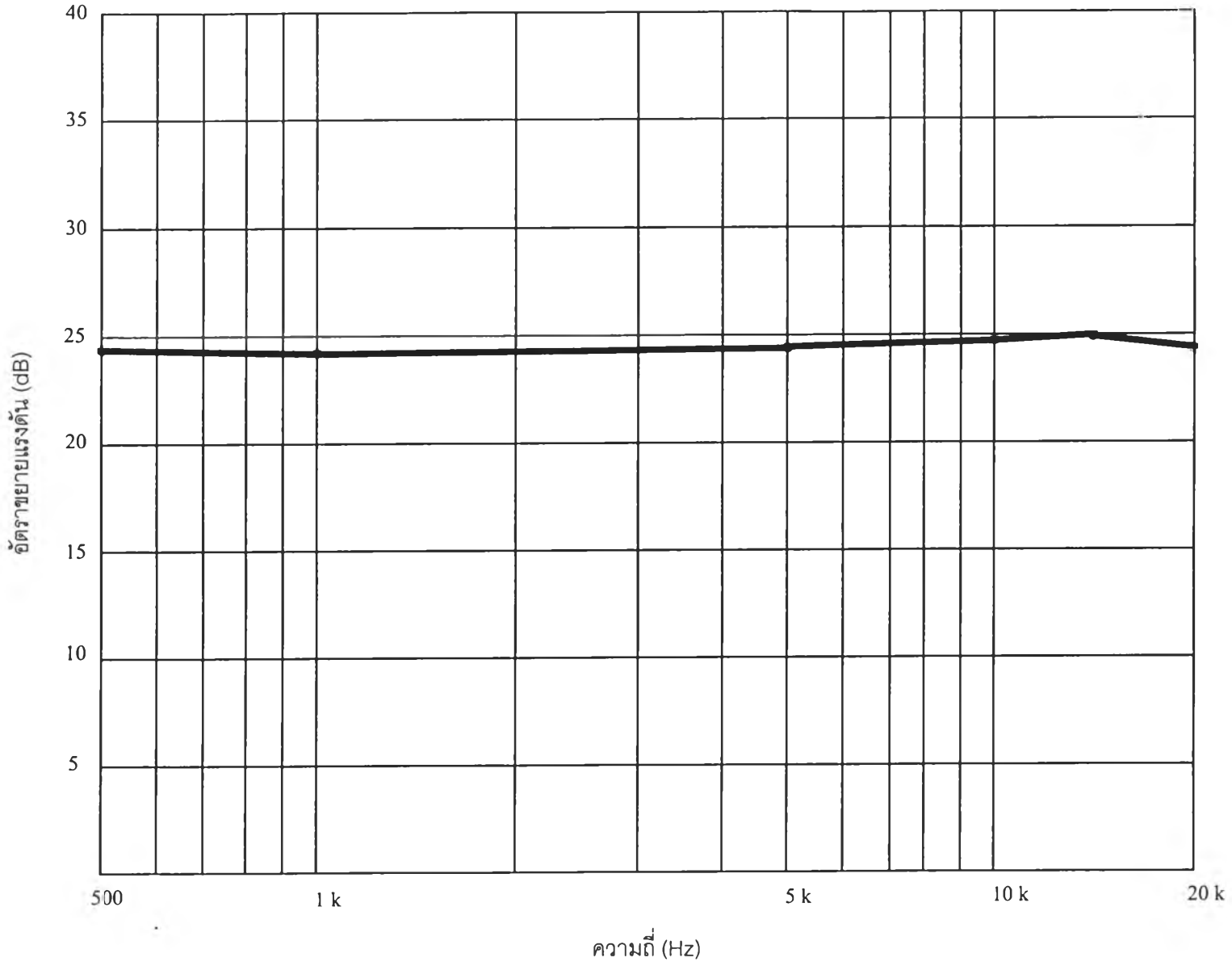
ตารางที่ 3.5 แสดงค่าแรงดันด้านออกและค่าอัตราขยายแรงดันกรณี V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุตมีแอมพลิจูด 0.3 V

ความถี่หลักมูล (Hz)	500	1 K	5 K	10 K	15 K	20 K
แรงดันด้านออก (V)	8.30	9.33	9.40	9.54	9.84	9.55
อัตราขยายแรงดัน(dB)	25.1	25.1	24.94	24.77	24.77	24.77

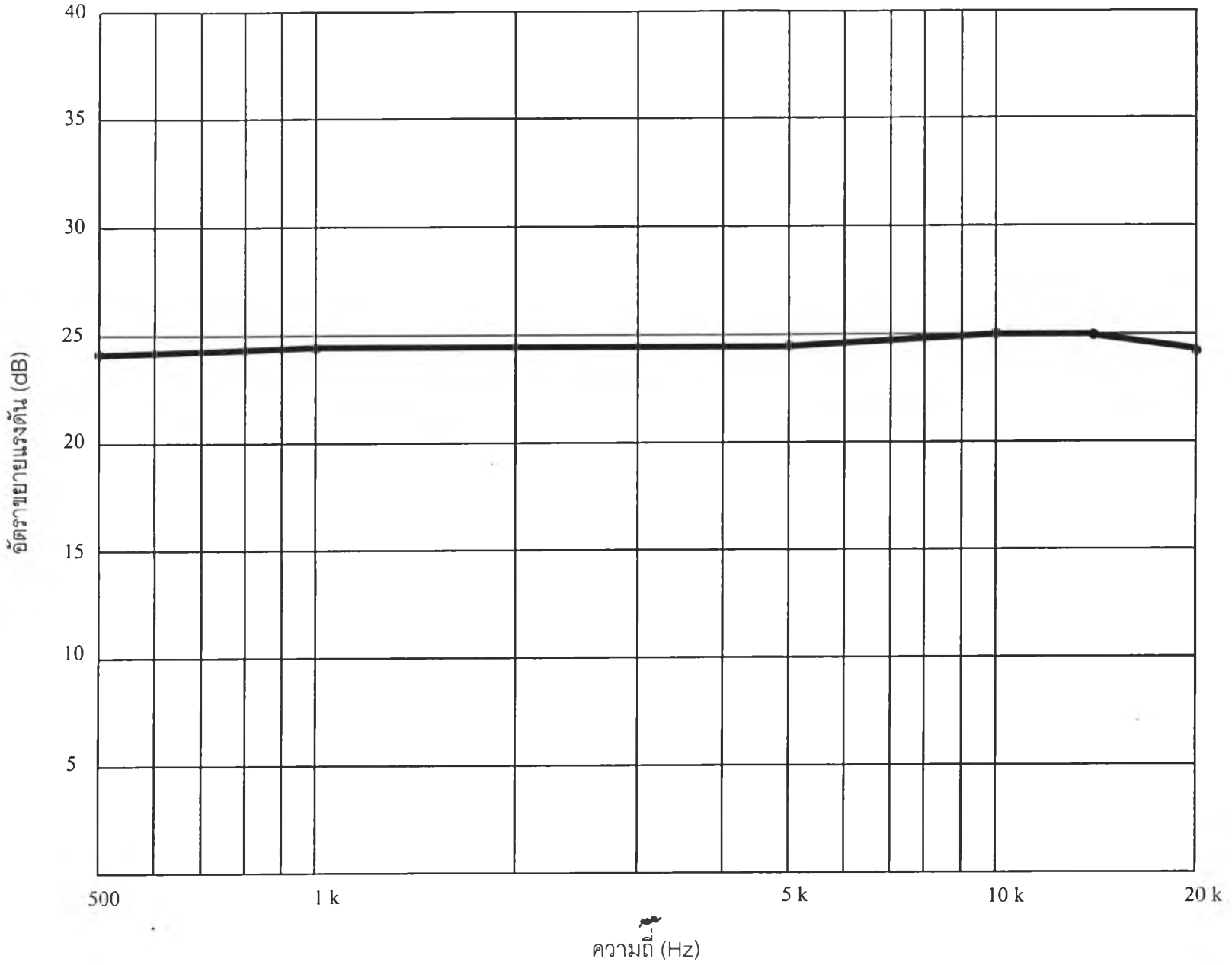
ตารางที่ 3.6 แสดงค่าแรงดันด้านออกและค่าอัตราขยายแรงดันกรณี V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุตมีแอมพลิจูด 0.1 V

ความถี่หลักมูล (Hz)	500	1 K	5 K	10 K	15 K	20 K
แรงดันด้านออก (V)	2.90	2.00	2.01	2.05	2.19	2.19
อัตราขยายแรงดัน(dB)	25.5	25.1	24.6	25.5	25.1	25.1

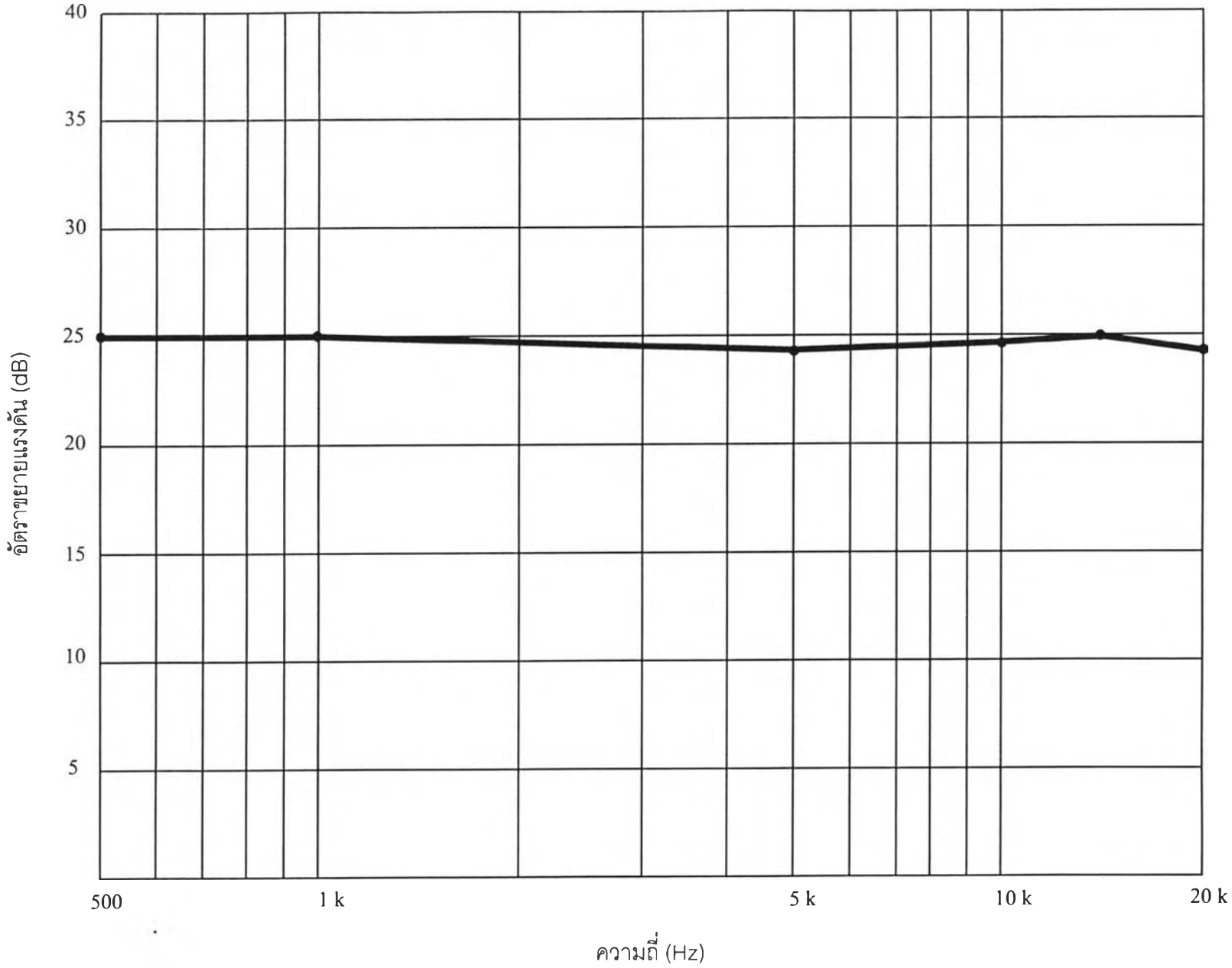
T 155627 4X



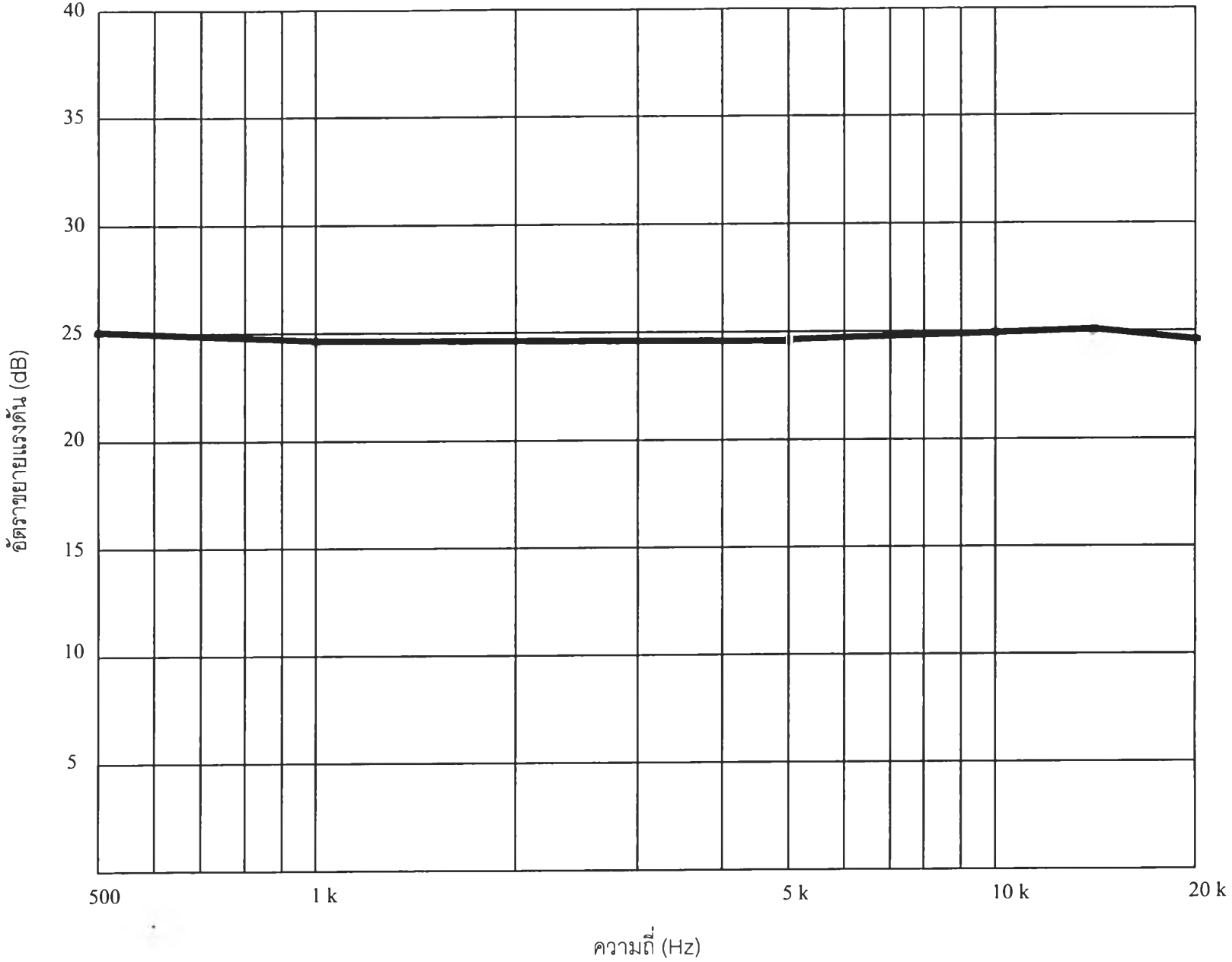
รูปที่ 3.17 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของอัตราขยายแรงดันกรณีแรงดันอินพุตเท่ากับ 2 V (อัตราการมอดูเลตเท่ากับ 0.9)



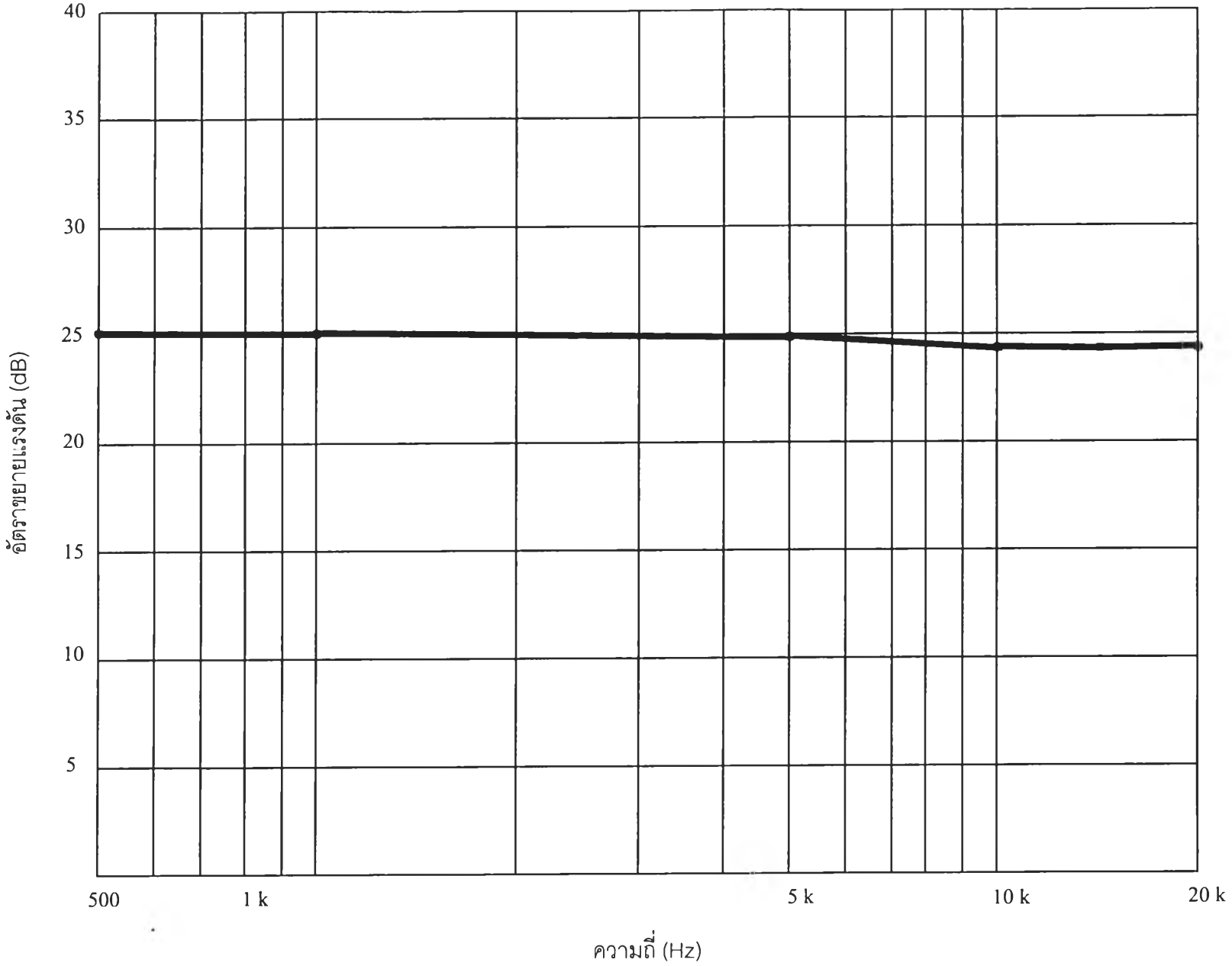
รูปที่ 3.18 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของอัตราขยายแรงดันกรณีแรงดันอินพุตเท่ากับ 1.5 V (อัตราการมอดูเลตเท่ากับ 0.68)



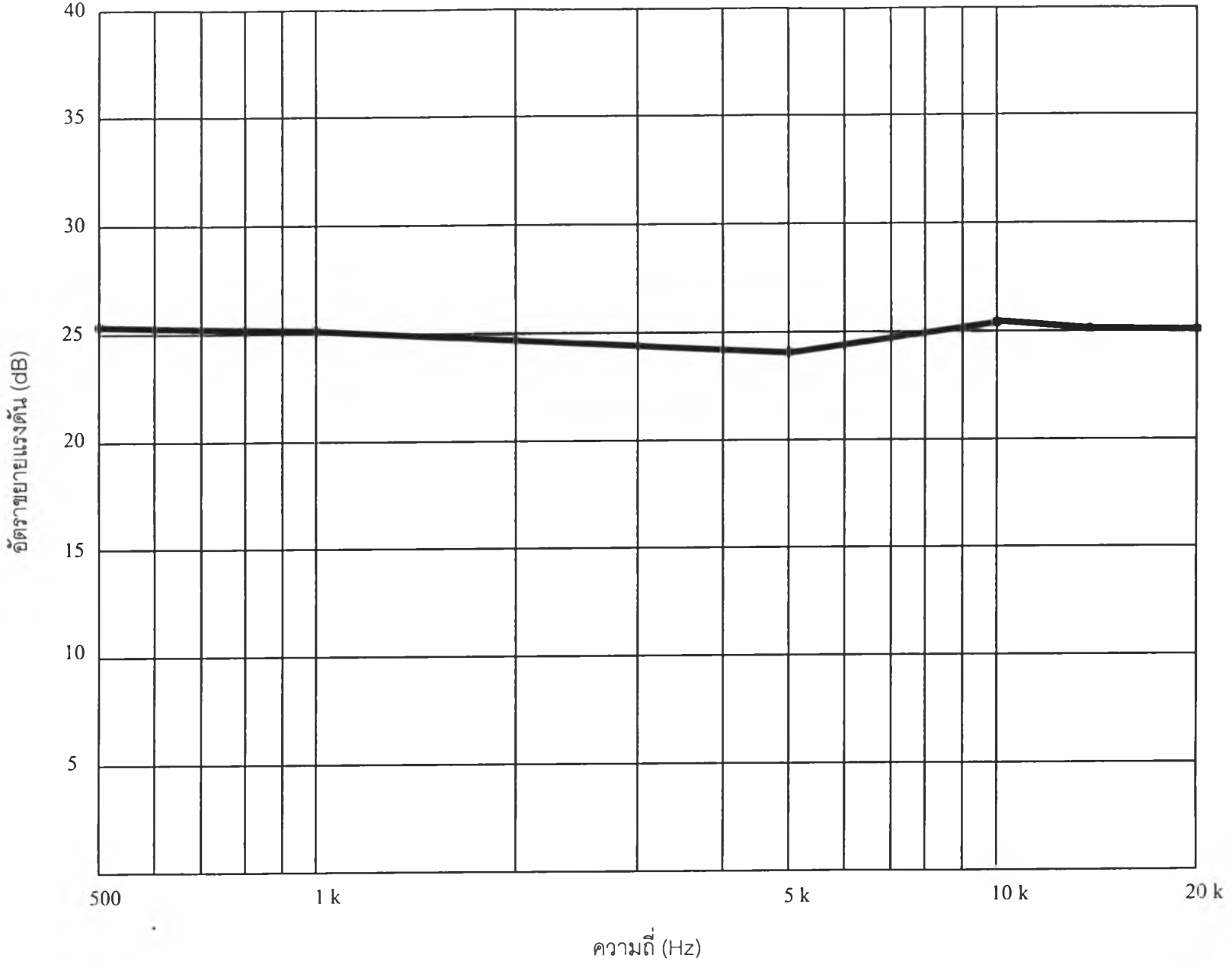
รูปที่ 3.19 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของอัตราขยายแรงดันกรณีแรงดันอินพุตเท่ากับ 1 V (อัตราการมอดูเลตเท่ากับ 0.45)



รูปที่ 3.20 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของอัตราขยายแรงดันกรณีแรงดันอินพุตเท่ากับ 0.5 V (อัตราการมอดูเลตเท่ากับ 0.22)



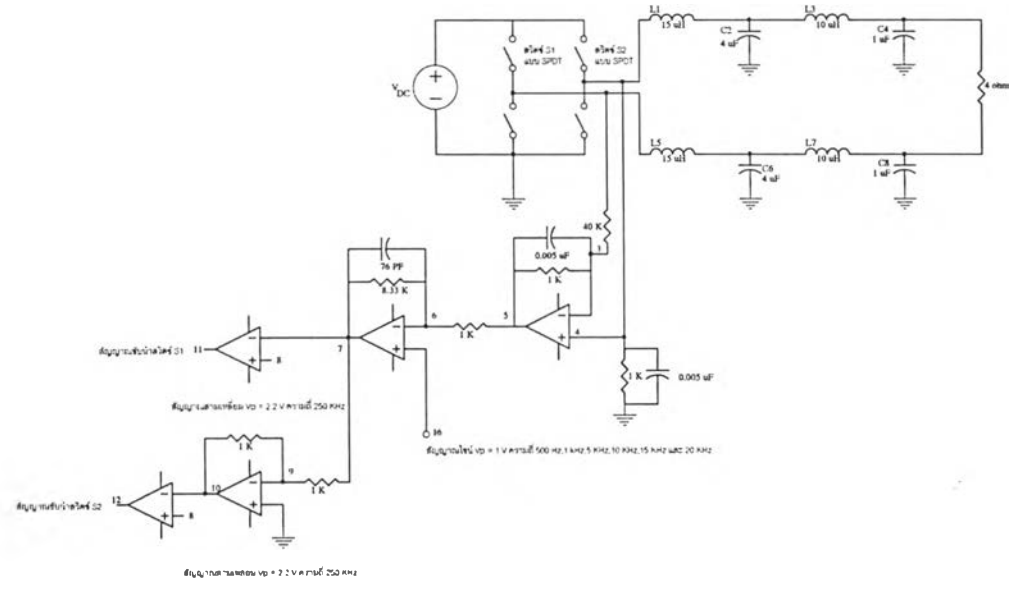
รูปที่ 3.21 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของอัตราขยายแรงดันกรณีแรงดันอินพุตเท่ากับ 0.3 V (อัตราการมอดูเลตเท่ากับ 0.136)



รูปที่ 3.22 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของอัตราขยายแรงดันกรณีแรงดันอินพุตเท่ากับ 0.1 V (อัตราการมอดูเลตเท่ากับ 0.04)

จากการจำลองวงจรการทำงานวงจรขยายแบบสวิตช์ทำงานแบบวงรอบเปิดดูตารางที่ 3.1 ถึง 3.6 หรือกราฟรูปที่ 3.17 ถึง 3.22 พบว่าไม่ว่าอัตราการมอดูเลตแรงดันจะมีค่าเท่าไรก็ตามผลคือ อัตราขยายแรงดันที่ได้จากการจำลองค่อนข้างคงที่และมีค่าประมาณเท่ากับที่คำนวณไว้คือ 25 dB ทั้งนี้ตลอดช่วงความถี่ระหว่าง 500 Hz ถึง 20 kHz แสดงว่าวงจรสามารถทำงานเป็นวงจรขยายแบบวิธีสวิตช์ อย่างเป็นเชิงเส้นและมีผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ดี

3.5 <u>แบบจำลองการทำงานวงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์ทำงานวงรอบปิด</u>



รูปที่ 3.23 แสดงแบบจำลองวงจรขยายเสียงวิธีสวิตช์ทำงานวงรอบปิด

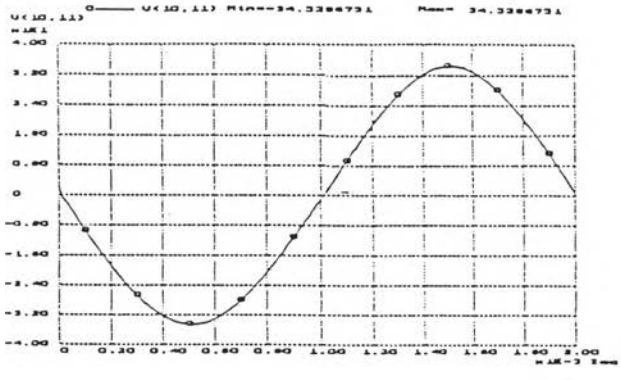
จากรูปที่ 3.23 แสดงแบบจำลองวงจรขยายเสียงวิธีสวิตช์ทำงานวงรอบปิด (มีการป้อนกลับ) สามารถคำนวณหาค่าอัตราขยายแรงดัน (dB) = 20 log $\frac{V_o}{V_r}$ ($\frac{V_o}{V_r}$ มาจากการแทนค่าสมการ 2.15)

= 20 log 35.3

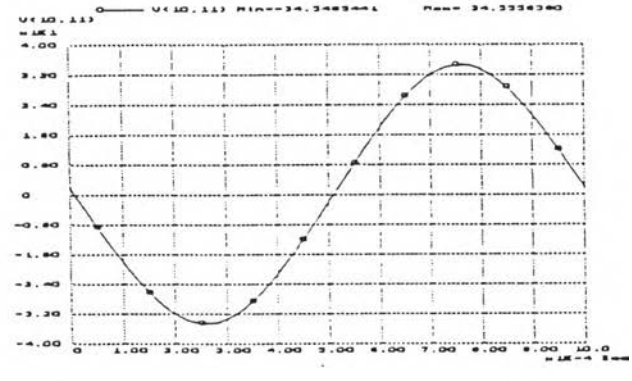
= 30.95 dB

โดยกำหนดแรงดัน V_S มีค่าเท่ากับ 40 V สัญญาณสามเหลี่ยมมีแอมพลิจูดเท่ากับ 2.2 V ความถี่การสวิตช์เท่ากับ 250 kHz สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไซน์ (แทนสัญญาณเสียง) มีแอมพลิจูดเท่ากับ 1 V, 0.5 V, 0.1 V, ความถี่หลักมูลเท่ากับ 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz,15 kHz และ 20 kHz ตามลำดับ สังเกตรูปคลื่นแรงดันด้านออกของวงจรว่าเป็นรูปไซน์มีแอมพลิจูดใกล้เคียงกันสำหรับแรงดันอินพุตคงตัว แต่เมื่อเพิ่มความถี่แรงดันด้านออกจะมีเฟสล้าหลังมากขึ้น ซึ่งก็คล้ายกับกรณีวงจรรอบเปิด (ในที่นี้ขอยกตัวอย่างรูปที่ 3.24 ถึง 3.29 ซึ่งแสดงรูปคลื่นแรงดันด้านออกกรณีแรงดัน V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุต(สัญญาณไซน์) มีแอมพลิจูด 1 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 15 kHz และ 20 kHz ตามลำดับ)

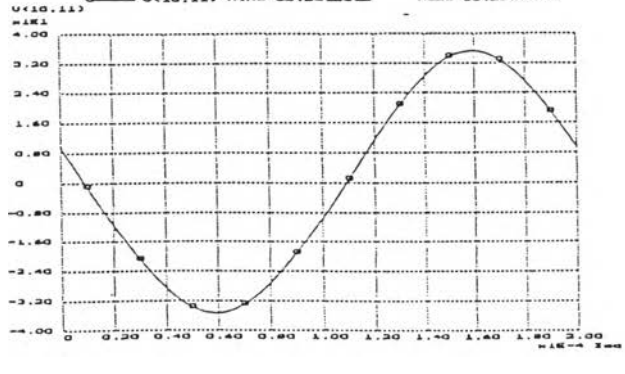
กรณีแรงดัน V_S เท่ากับ 40 V โหลดเท่ากับ 4 โอห์ม แรงดันอินพุต (สัญญาณไซน์) มีแอมพลิจูด 1 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 15 kHz และ 20 kHz ตามลำดับ



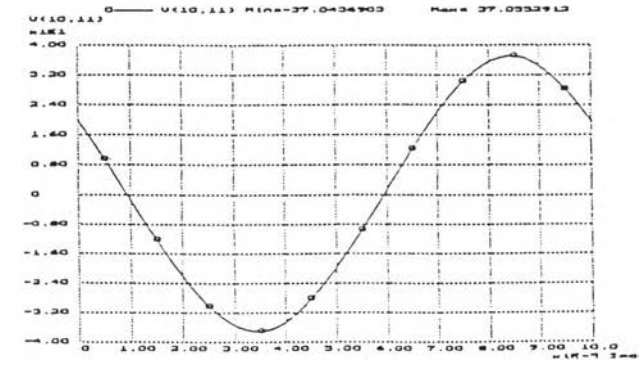
รูปที่ 3.24 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุต เท่ากับ 1 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 500 Hz



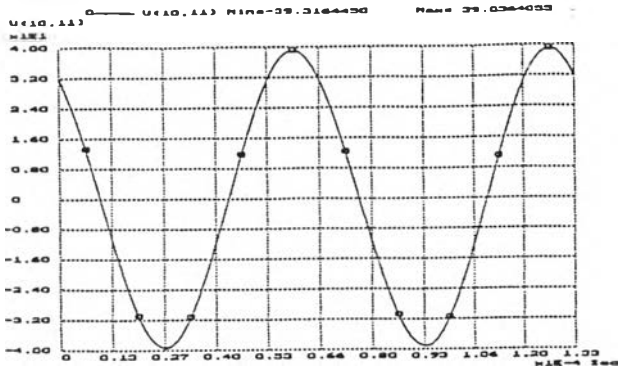
รูปที่ 3.25 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุต เท่ากับ 1 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 1 kHz



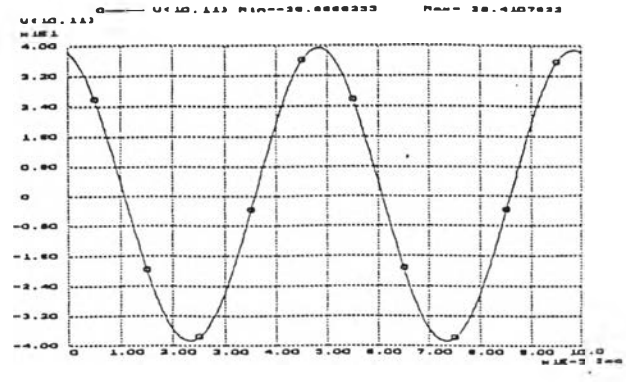
รูปที่ 3.26 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุต เท่ากับ 1 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 5 kHz



รูปที่ 3.27 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุต เท่ากับ 1 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 10 kHz



รูปที่ 3.28 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ 1 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 15 kHz



รูปที่ 3.29 รูปคลื่นแรงดันด้านออกตกคร่อมโหลด 4 โอห์ม เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ 1 V ความถี่หลักมูลเท่ากับ 20 kHz

จากการชีมูเลตวงจรรูปที่ 3.23 สามารถนำค่าแรงดันด้านออกที่ได้มาคำนวณค่าอัตราขยายแรงดันและนำไปเขียนเป็นตารางที่ 3.7 ถึง 3.9 และกราฟรูปที่ 3.30 ถึง 3.32

ตารางที่ 3.7 แสดงค่าแรงดันด้านออกและอัตราขยายแรงดันเมื่อมีการป้อนกลับ กรณี V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุตมีแอมพลิจูด 1 V

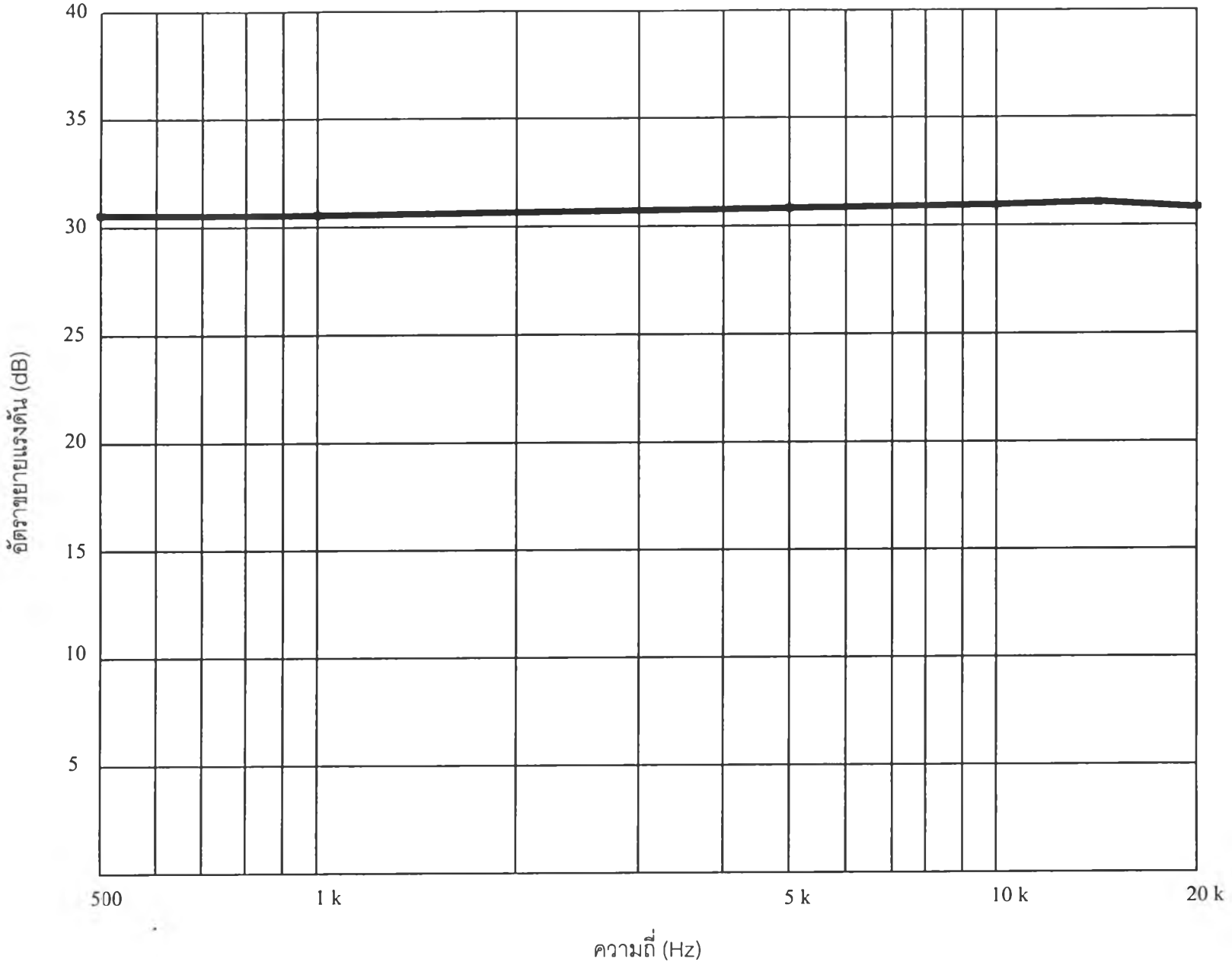
ความถี่หลักมูล (Hz)	500	1 K	5 K	10 K	15 K	20 K
แรงดันด้านออก (V)	34.5	34.5	35.2	35.4	35.5	34.8
อัตราขยายแรงดัน (dB)	30.75	30.75	30.93	30.98	31	30.83

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าแรงดันด้านออกและอัตราขยายแรงดันเมื่อมีการป้อนกลับ กรณี V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุตมีแอมพลิจูด 0.5 V

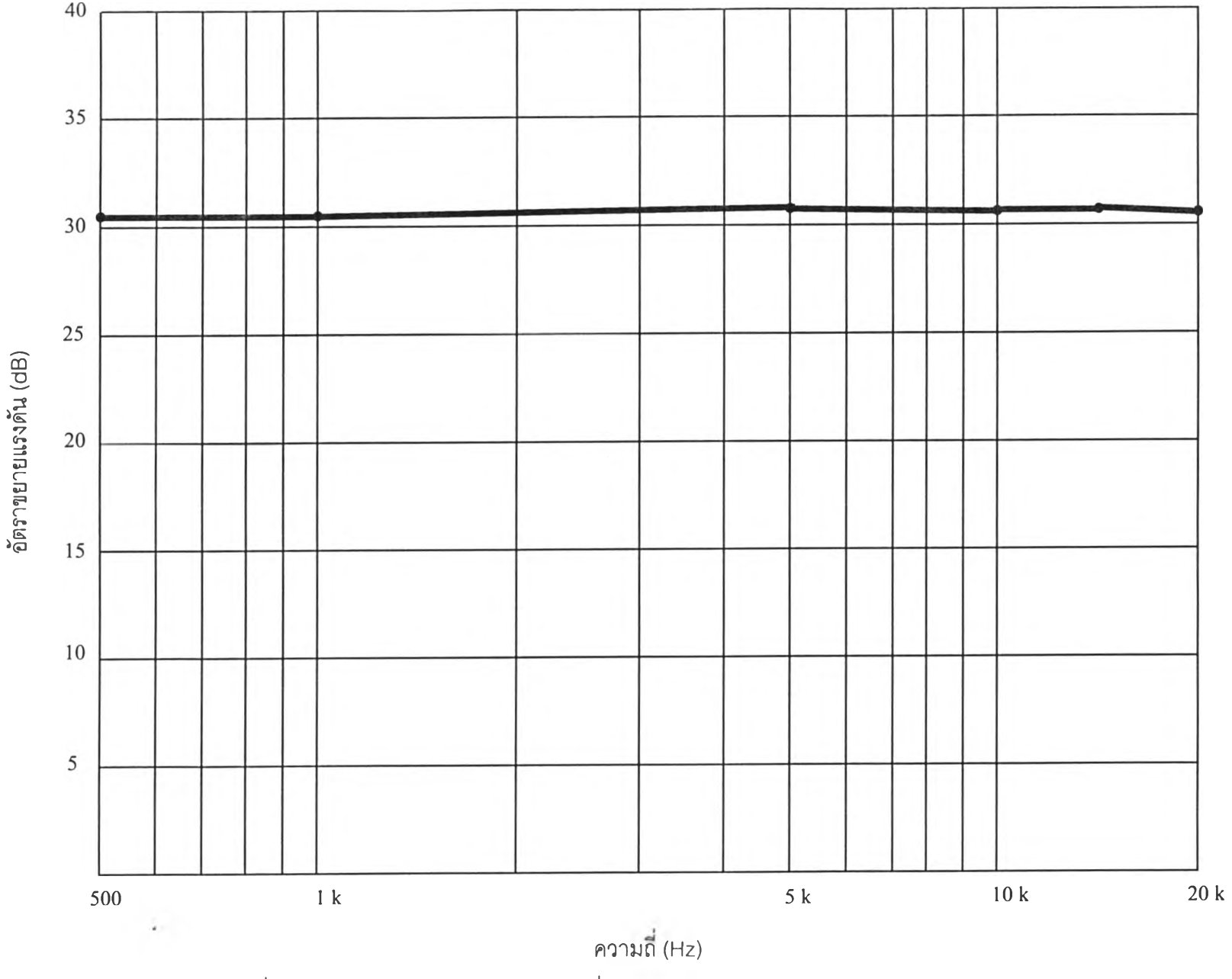
ความถี่หลักมูล (Hz)	500	1 K	5 K	10 K	15 K	20 K
แรงดันด้านออก (V)	16.7	16.7	17.9	17.7	17.7	17.4
อัตราขยายแรงดัน (dB)	30.47	30.47	31.07	30.98	30.98	30.83

ตารางที่ 3.9 แสดงค่าแรงดันด้านออกและอัตราขยายแรงดันเมื่อมีการป้อนกลับ กรณี V_S เท่ากับ 40 V แรงดันอินพุตมีแอมพลิจูด 0.1 V

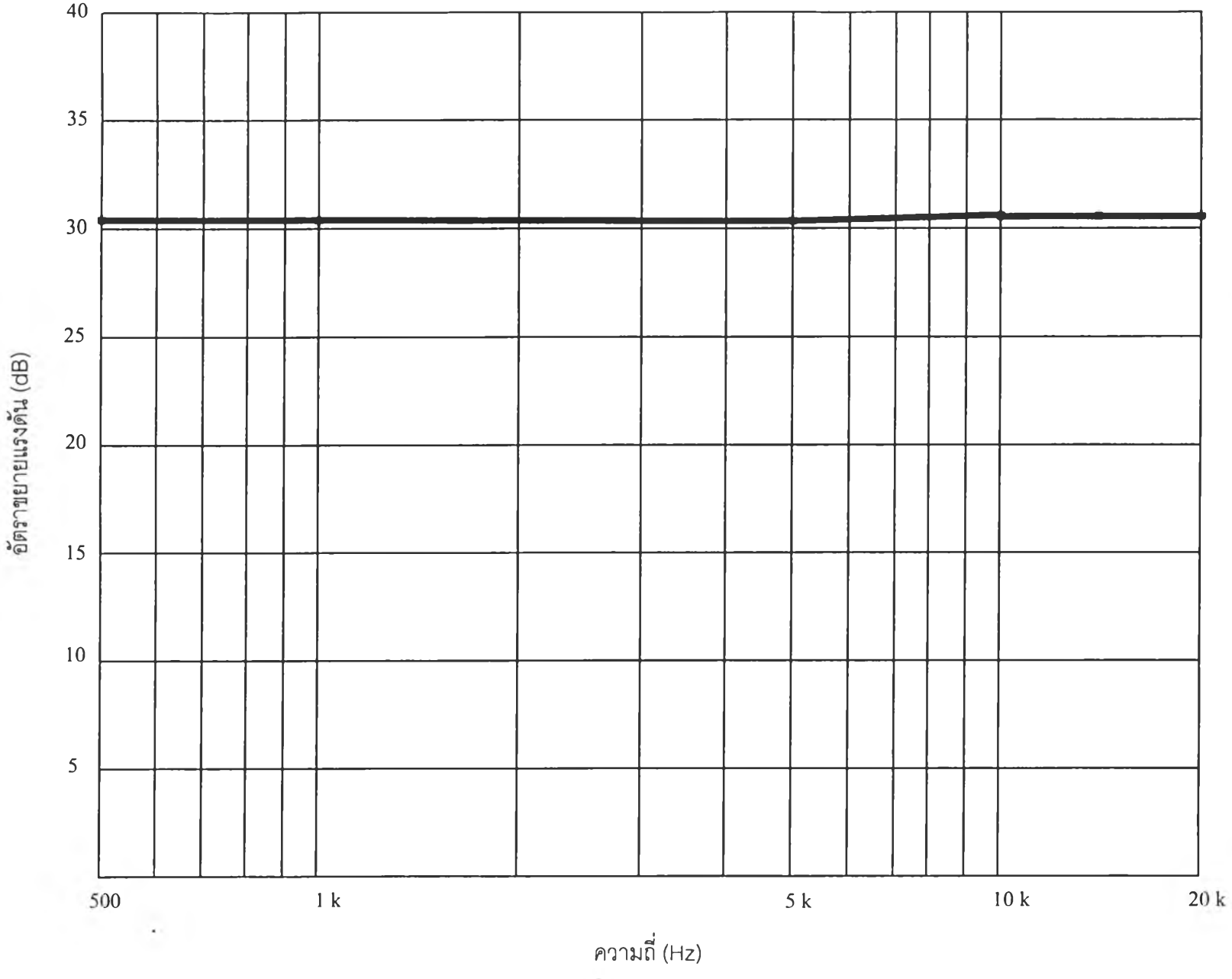
ความถี่หลักมูล (Hz)	500	1 K	5 K	10 K	15 K	20 K
แรงดันด้านออก (V)	3.3	3.3	3.3	3.5	3.5	3.5
อัตราขยายแรงดัน(dB)	30.37	30.37	30.37	30.88	30.88	30.88



รูปที่ 3.30 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของอัตราขยายแรงดันกรณีแรงดันอินพุตเท่ากับ 1 V



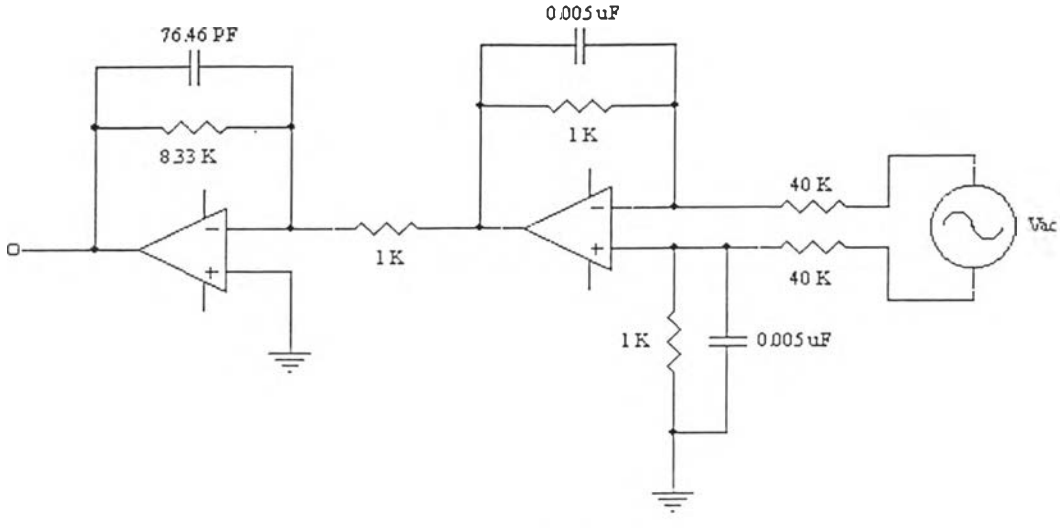
รูปที่ 3.31 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของอัตราขยายแรงดันกรณีแรงดันอินพุตเท่ากับ 0.5 V



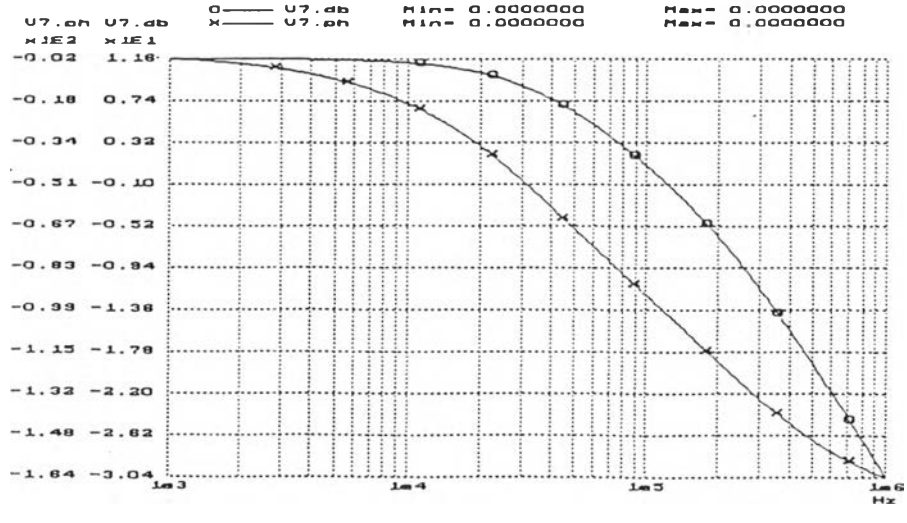
รูปที่ 3.32 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของอัตราขยายแรงดันกรณีแรงดันอินพุตเท่ากับ 0.1 V

จากการจำลองการทำงานวงจรขยายเสียงแบบวิธีสวิตช์ ทำงานแบบวงรอบปิด อธิบายได้ในทำนองเดียวกับกรณีวงรอบเปิด คือ แรงดันอินพุตค่าต่าง ๆ (1 V, 0.5 V และ 0.1 V) ให้อัตราขยายแรงดันคงที่ และมีค่าเท่ากับที่คำนวณไว้ตอนต้นคือ 31 dB และที่ความถี่ 20 kHz ผลตอบเชิงความถี่เรียบกว่า กรณีวงรอบเปิด

3.5.4 วงจรคุมค่าและผลตอบเชิงความถี่อัตราขยายวงรอบ



รูปที่ 3.33 แสดงวงจรคุมค่า



รูปที่ 3.34 แสดงผลตอบสนองความถี่ของอัตราขยายวงรอบของวงจรคุมค่า

ผลการซีมูเลตแสดงอยู่ในรูปที่ 3.34 สังเกตได้ว่าความถี่ตัดข้าม $f_c \approx 125$ kHz หรือ $\omega_c \approx 785.4$ kradxs^{-1} และช่วงเผื่อเฟส $\phi_m \approx 80^0$ การลดทอนที่ความถี่ 500 kHz ประมาณ -18 dB ปริมาณเหล่านี้มีค่าใกล้เคียงกับข้อกำหนดในการออกแบบ (ในบทที่ 2)