ปีการศึกษา 2532

ปริญญานิพนธ์ เครื่องกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ด้วย โอที่เอ
และ เครื่องกันสัญญาณหอน ของ ไมโครโฟน

โดย

นาย กฤษดา เรืองโชติวิทย์ 291010

นางสาว ฉัตรสุดา จันทร์เลิศฟ้า 291031

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดอกเตอร์ สิทธิชัย โภไคยอุดม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2532

ภาควิชา อิเลคทรอนิคส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านโดยใช้โอทีเอ (Capacitance Only OTA Lowpass Filter) และเครื่องกันสัญญาณหอนของไมโครโฟน (Feedback Blocking)

ผู้จัดทำ

1. นาย กฤษดา เรืองโชติวิทย์ 291010
2. นางสาว ฉัตรสุดา จันทร์เลิศฟ้า 291031

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. สิทธิชัย โภไคยอุดม)

026948

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2532

เรื่อง เครื่องกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน
ด้วย โอทีเอ (CAPACITANCE ONLY OTA LO
WPASS FILTER) และ เครื่องกันสัญญาณหอน
ของ ไมโครโฟน (FEEDBACK BLOCKING)

ผู้จัดทำ

นาย กฤษดา เรืองโชติวิทย์ 291010

นางสาว ฉัตรสุดา จันทร์เลิศฟ้า 291031

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.สิทธิชัย โภไคยอุดม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญ

บทที่ ๑ วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านโดยใช้โอทีเอและตัวเก็บประจุ

๑ บทนำ ๒

๒ ทฤษฎี ๔

๓ การคำนวณค่า ๑๙

๔ การทดลองและการนำโอทีเอไปใช้งาน ๒๔

๕ สรุปผลและวิเคราะห์ ๓๕

๖ หนังสืออ้างอิง ๓๘

บทที่ ๒ เครื่องกันสัญญาณหอนของไมโครโฟน

๑ บทนำ ๔๑

๒ วงจรแบนด์รีเจคฟิลเตอร์ ๔๖

๓ วงจรโลพาสฟิลเตอร์ ๕๓

๔ วงจรอื่นๆ ๖๓

๕ สรุป ๗๓

๖ หนังสืออ้างอิง ๗๔

กิตติกรรมประกาศ ๗๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เครื่องกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านโดยใช้ โอทีเอ

(Capacitance Only OTA Lowpass Filter)

นาย กฤษดา เรืองโชติวิทย์ ๒๕๑๐๑๐
นางสาว ฉัตรสุดา จันทร์เสิศฟ้า ๒๕๑๐๓๑
อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร. สิทธิชัย โภไคยอุดม
ปีการศึกษา ๒๕๓๒

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีลักษณะเป็นงานวิจัยในการนำ โอทีเอ (Operational Transconductance Amplifier) ใช้ร่วมกับตัวเก็บประจุ เป็นวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแทนการใช้ ออปแอม (Operational Amplifier) อาศัยคุณสมบัติพิเศษของ โอทีเอ ที่ สามารถปรับค่า ทรานสคอนดัคแทนซ์ (Transconductance) ได้อย่างเชิงเส้นในช่วงกว้าง และ สามารถปรับค่า ทรานสคอนดัคแทนซ์ ได้ด้วยค่ากระแส หรือ ค่าความต่างศักย์ จากภายนอก ซึ่งผลที่ได้ คือ เราจะได้วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านลำดับสูง ๆ ที่สามารถปรับค่าความถี่คัทออฟ (Cut off) ได้ง่าย และ ยังมีข้อดีอีกประการหนึ่งคือ ค่าเซนสิทิวิตี้ (Sensitivity) ของวงจรก็ยังต่ำกว่าวงจรที่ใช้ ออปแอม อย่างธรรมดา เพราะว่ามีอุปกรณ์ที่ใช้ต่อร่วมในวงจรน้อยตัวกว่า

ในส่วนการนำมาใช้นั้น ก็เป็นการใช้ ไมโครโปรเซสเซอร์ (Micro-Processor) ในที่นี้จะเลือกใช้เบอร์ เอ็มซีเอส ๕๑ (MCS-51) มาควบคุมค่าความถี่คัทออฟของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ทำให้สามารถควบคุมค่า ความถี่คัทออฟได้อย่างละเอียด และ ถูกต้องตามความต้องการ และ จะนำไปใช้กับ ระบบเครื่องเสียงทั่วไปได้ โดยอาศัยหลักการที่ว่า ที่ระดับความดังของเสียงปกติ หูของมนุษย์จะไม่สามารถได้ยินเสียงที่ความถี่สูง จะได้ยินเพียงเสียงความถี่ต่ำ ๆ แต่เมื่อระดับเสียงที่เปิดดังขึ้น หูของมนุษย์ก็จะได้ยินเสียงสูงมากขึ้น และเนื่องจากที่ระดับสัญญาณความดังปกติ สัญญาณความถี่สูงจะทำให้เกิดเสียงซ่ารบกวน ระบบนี้ก็จะทำการตัดสัญญาณความถี่สูงนั้นออกไป และ ถ้าระดับความดังของเสียงดังขึ้น ระบบก็จะขยายค่าความถี่คัทออฟกว้างออกไป ทำให้เราสามารถได้ยินเสียงความถี่สูงมากขึ้น ทำให้เราได้ระบบเสียง ที่ใามารถปรับค่าความถี่คัทออฟได้ตามความดังของเสียง และ ยังสามารถปรับค่าได้ละเอียดถูกต้อง ทำให้ได้เสียงจากเครื่องเสียงที่ไพเราะขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 1 บทนำ

โอทีเอเป็นวงจรที่มีฟังค์ชันเฉพาะตัว ได้ถูกศึกษาและสร้างขึ้น เป็นวงจรที่ใช้งานง่าย ในการควบคุม ตัวแปรของวงจรด้วยสัญญาณทางอิเลคทรอสิคส์จากภายนอก และใช้อุปกรณ์น้อยชิ้น มีค่า เซนสิทิวิตี (sensitivity) ต่ำ สามารถใช้แทนที่ออปแอมป์ได้ รวมถึงการปรับค่า ทรานสคอนดัคแทนซ์ (transconductance) ได้อย่างเชิงเส้นในช่วงกว้าง

ในระบบเครื่องเสียงในปัจจุบัน มักจะมีระบบวงจรกรองสัญญาณ ที่ใช้สำหรับกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออก (โดยเฉพาะสัญญาณรบกวน) ซึ่ง วงจรกรองสัญญาณที่ใช้เป็นแบบ วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

โดยอาศัยหลักการเกี่ยวกับการปรับค่าความดังกับการได้ยินเสียงที่ความถี่สูงของมนุษย์ ถ้าปรับเสียงดังมากก็จะได้ยินเสียงความถี่สูงขึ้น แต่ถ้าความดังน้อยความถี่เสียงที่ได้ยินก็จะไม่สูงมากนัก ซึ่งในส่วนนี้ก็จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเป็นเสียงซ่า จึงได้มีการพัฒนาระบบการปรับค่าความถี่คัทออฟของวงจรตามความดังของเสียงขึ้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่ จะเป็นการสร้างวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบแอคทีฟ (active) โดยใช้ออปแอมป์ แต่วงจรจะเปลี่ยนค่าความถี่คัทออฟได้โดยการปรับค่าแพสซิว อิลิเมนท์ (passive element,RC) ซึ่งไม่สะดวกในการใช้งาน อีกทั้งยังมีค่า เซนสิทิวิตี (seneitivity) ของวงจรสูงอีกด้วย และถ้าต้องการ วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านที่ลำดับสูง ๆ ก็ทำได้ยาก นอกจากนี้ยังเคยมีการทดลองทำโดยก คอลลิน เมนีซ และ โรเจอร์ คอทเอ (Collein Meniece and Roger Cota) ซึ่งสร้างวงจรโดยใช้ เฟท (FET) เป็นตัวป้อนกลับ ให้กับวงจร กรองความถี่ แต่ก็ยังไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร และอีกประการหนึ่งการใช้งาน เฟท ที่ความถี่สูง ค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ ของ ดฟท จะลดต่ำลงอย่างมากแบบ เอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential) จะทำให้เกิดการโหลดค่าของสัญญาณอีกด้วย

จึงได้นำโอทีเอและตัวเก็บประจุ มาใช้ในการทำ วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งโอทีเอนี้ เป็น อุปกรณ์แบบเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ของสัญญาณเป็นกระแส (v_i to i converter) ซึ่งสามารถปรับค่า ทรานสคอนดัคแทนซ์ ได้อย่างเชิงเส้น

นำมาใช้โดยอาศัยหลักการที่ ค่าความต่างศักย์จากภายนอก (V_{DC}) สามารถปรับค่า ทรานสคอนดัคแทนซ์ ของโอทีเอ ซึ่งค่าทรานสคอนดัคแทนซ์นี้ก็จะนำมาใช้เป็นตัวควบคุมค่าความถี่คัทออฟของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งทำให้การปรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ความถี่คัทออฟสะดวก และถูกต้องมากขึ้น กว่าการใช่ออปแอมป์ธรรมดา

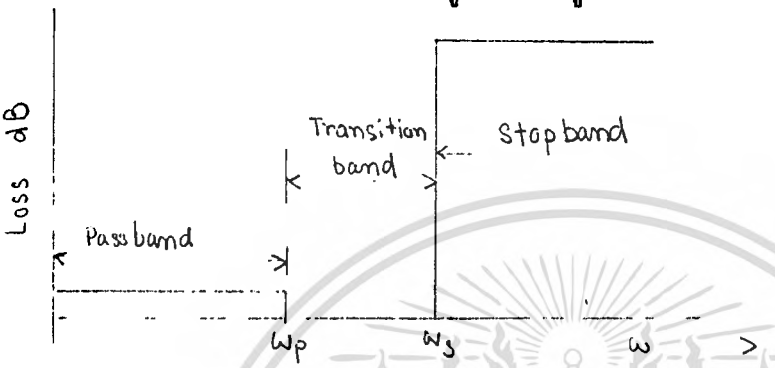
การนำไปใช้กับเครื่องเสียง โดยอาศัยการควบคุมจากไมโครโปรเซสเซอร์ (micro-processer) ในที่นี้จะเลือกใช้เบอร์ เอ็มซีเอส 51 (MCS-51) ควบคุมค่าความต่างศักย์จากภายนอก (V_{DC}) ใช้เป็นตัววิเคราะห์ค่าสัญญาณเสียงในขณะนั้น ว่ามีระดับสัญญาณขนาดใด แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบหาระดับความถี่คัทออฟที่เหมาะสม แล้วส่งค่าออกไป โดยส่งออกมาเป็นค่าสัญญาณ 8 บิท (bit) แล้วผ่านวงจร แปลงสัญญาณ ดิจิตอลเป็นอนาลอก (D / A) เป็นค่าความต่างศักย์ (V_{DC}) ที่จะไปควบคุม ค่าความถี่คัทออฟของวงจร ทำให้สามารถควบคุมค่าได้ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 2 ทฤษฎี

วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน เป็นวงจรที่ให้ความถี่ต่ำสามารถผ่านไปได้โดยมีค่าลดทอนต่ำ และจะลดทอนค่าความถี่สูง ๆ ดังรูป



วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน จะให้สัญญาณไฟตรง (DC) ขึ้นไปจนถึงค่าความถี่คัทออฟ (W_p) ช่วงความถี่ย่านนี้เรียกว่า ช่วงความถี่พาสแบนด์ (passband) และ ความถี่ช่วงที่เกินกว่า ความถี่หยุด (W_s) ขึ้นไปจนถึงอนันต์ เรียกว่า ช่วงสตอปแบนด์ (stopband) และในช่วงระหว่าง ความถี่คัทออฟ (W_p) จนถึงความถี่หยุด (W_s) เรียกว่า ช่วงทรานสิชั่นแบนด์ (transition band)

จะมีค่า ทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่น (transfer function) ในรูปทั่วไป คือ

$$T(s) = \left. \frac{a_0}{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + b_{n-2} s^{n-2} + \ldots + b_1 s + b_0} \right|_{s = \frac{s}{\omega_0}}$$

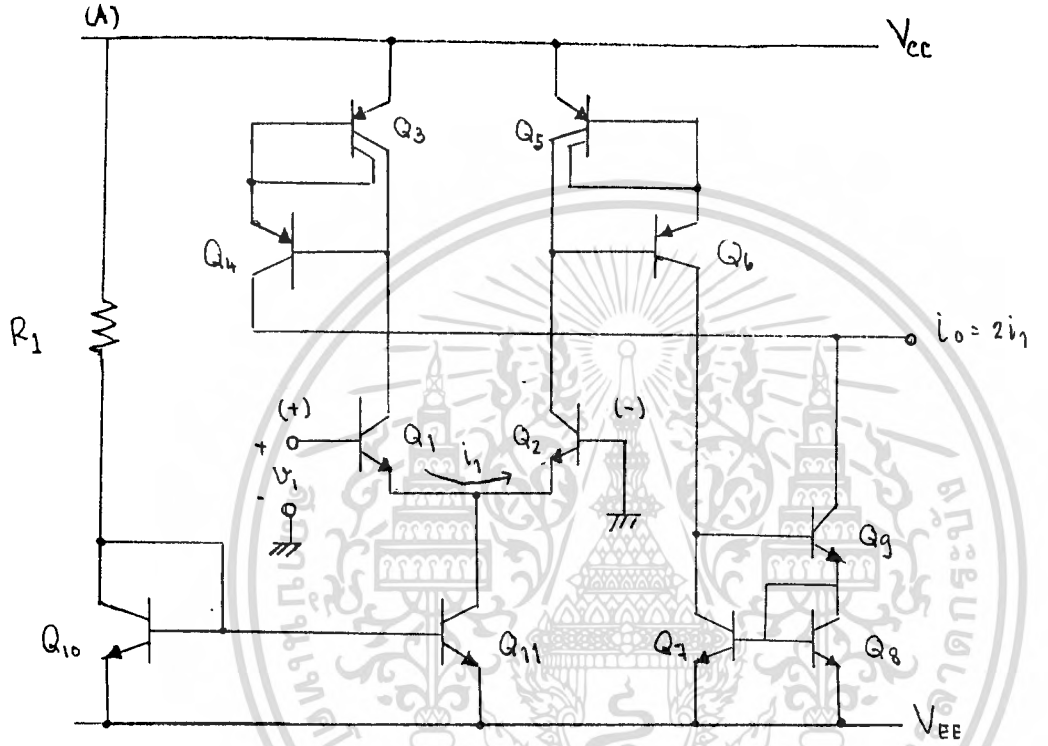
W_0 = normalization frequency

และจะมีค่า ทรานสเฟอร์ฟังชั่น เข้าสู่ 1 (unity) ขณะที่ความถี่สูง เท่ากับ 20 n dB/decade โดยที่ n คือ ลำดับของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

โอทีเอ (OTA)

เป็นวงจรที่มีฟังค์ชั่นเฉพาะตัว ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าความต่างศักย์เป็น กระแส ที่มีคุณปัติพิเศษ คือ สามารถเปลี่ยนแปลงค่า ทรานสคอนดัคแทนซ์ ได้จากค่าสัญญาณทางอิเลคทรอนิคส์ (electronics) จากภายนอก เช่น กระแส หรือ ความต่างศักย์



รูปวงจรภายใน โอทีเอ

จากวงจรจะเห็นว่ามี ทรานซิสเตอร์ (transistor) ตัวที่ 1 และ 2 เปลี่ยน ความต่างศักย์ (v_1) มาเป็นกระแส (i_1) และมีเคอร์เรนท์มิลเลอร์ (current mirror) ทรานซิสเตอร์ตัวที่ 10 และ 11 ทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับ ดิฟแอมป์ (differential amplifier) ทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1,2 จะได้ว่าค่ากระแสภายนอกจะมีค่าเท่ากับ 2 I_1 ของ ดิฟแอมป์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการควบคุมทางด้านการไบอัส (bias) จากภายนอก จะไม่มีผลกับวงจรภายในเลย

ได้ความสัมพันธ์ว่า

$$g_m = \frac{I_1}{2V_T} = \frac{1}{2r_e} \qquad V/A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

และค่า I_1 จะถูกกำหนดจาก

$$I_1 = \frac{V_{CC} - V_{EE} - V_{BEQ10}}{2R_1} \quad A$$

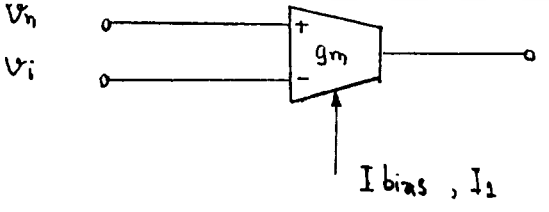
จากลักษณะของ ไอซี (IC) และวงจรภายใน โอทีเอ จะเห็นว่าจุด A เป็นจุดที่ต่ออยู่ภายนอก และ ถ้านำมาต่อกับค่าความต่างศักย์ภายนอก (V_{DC}) เมื่อเราทำการกำหนดค่า ความต้านทาน (R_1) ให้คงที่ ตามความเหมาะสมของการใช้งาน เราก็จะสามารถควบคุมค่ากระแส (I_1) และค่าทรานสคอนดัคแทนซ์ได้โดยการปรับค่าความต่างศักย์จากภายนอกที่ไบอัสอยู่ โดยสามารถปรับค่าความต่างศักย์ (V_{DC}) ได้ตั้งแต่ 20 R_1 + V_{EE} + V_{BE} (เป็นค่าต่ำสุดที่ ทรานซิสเตอร์ ใน โอทีเอ จะยังคงทำงานอยู่ และ โอทีเอยังคงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ) ไปจนกระทั่ง 20 m R_1 + V_{EE} + V_{BE} (เป็นค่าสูงสุดที่ โอทีเอยังสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ) แต่มีข้อควรระวังอีกประการก็คือ ถ้าค่าความต้านทาน (R_1) มีค่าต่ำ ค่ากระแส (I_1) จะมีค่าสูงมาก จะมีพลังงานสูญเสีย (power dissipation) ส่วนใหญ่จะตำคร่อมทรานซิสเตอร์ตัวที่ 10 ทำให้ โอทีเอพังเสียหายได้

และจากรูปวงจรภายในโอทีเอ จะได้ว่าค่าทรานสคอนดัคแทนซ์

$$g_m = 19.2\ I_1$$

เมื่อค่ากระแส (I_1) มีค่าอยู่ในช่วง 1 A ไปจนกระทั่งถึง 10 m A

โอทีเอ โดยทั่วไปจะใช้เป็นวงจรโวลเตจคอนโทรลเคอร์เรนท์ซอส (VCCS) มีคุณสมบัติ อินพุทอิมพิแดนซ์ (input impedance) และเอาท์พุทอิมพิแดนซ์ (output impedance) มีค่าเป็นอนันต์ มีลักษณะดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

และจะมีค่า กระแสเอาท์พุทแสดงได้โดย

$i_o = g_m (v_n - v_i)$

g_m : transconductance gain

v_n : non-inverting voltage of OTA

v_i : inverting voltage of OTA

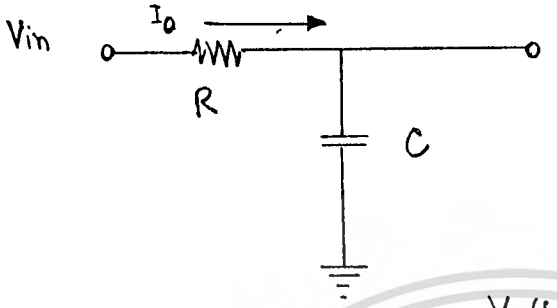
คุณสมบัติทั่วไปของ โอทีเอ ที่ $2 I_i = 500 \mu A$

อินพุทออฟเซท (input offset)	0.5	m V
อัตราส่วนลดสัญญาณคอมมอนโหมด	110	dB
อินพุทอิมพิแดนซ์	26	K ohm
อัตราสลู (slew rate)	75	V/μsec
โอเพนลูปแบนด์วิด (open loop bandwidth)	2	M Hz
ค่าตัวเก็บประจุทางด้านอินพุท	3.6	p F
ค่าตัวเก็บประจุทางด้านเอาท์พุท	5.6	p F
เวลาหน่วงของวงจร	45	n sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การนำ โอทีเอมาใช้ในวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

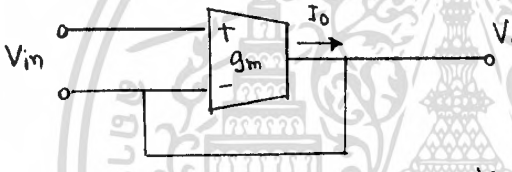
จากวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบใช้แพสซิวอิลิเมนท์ (passive element) ทั่วไป สำหรับลำดับที่ 1



$$\frac{V_{in} - V_o}{I_o} = R_1$$

จะมีค่า ทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่น คือ $\frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{\frac{1}{RC}}{S + \frac{1}{RC}}$

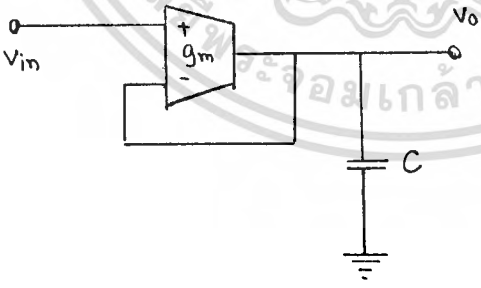
เราจึงนำ โอทีเอมาใช้แทนความต้านทานได้ดังรูป



$$(V_{in} - V_o)\, g_m = I_o$$

$$\frac{V_{in} - V_o}{I_o} = \frac{1}{g_m}$$

เพราะฉะนั้นวงจรสัญญาณความถี่ต่ำลำดับที่ 1 จะได้ดังรูป



$$(V_{in} - V_o)\, g_m = I_o$$

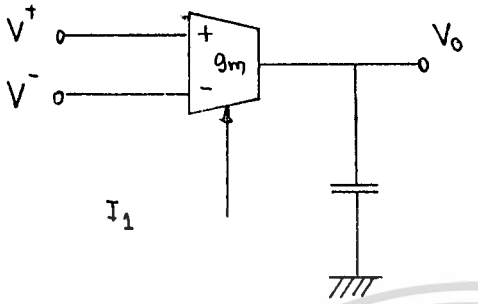
$$V_o = \frac{I_o}{SC}$$

$$\frac{V_o}{V_{in} - V_o} = \frac{g_m}{SC}$$

$$\frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{\frac{g_m}{C}}{S + \frac{g_m}{C}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เพราะฉะนั้นสำหรับการใช้โอทีเอเป็น วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านที่ลำดับใด ๆ



เป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ (integrater) มีค่าทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่น คือ

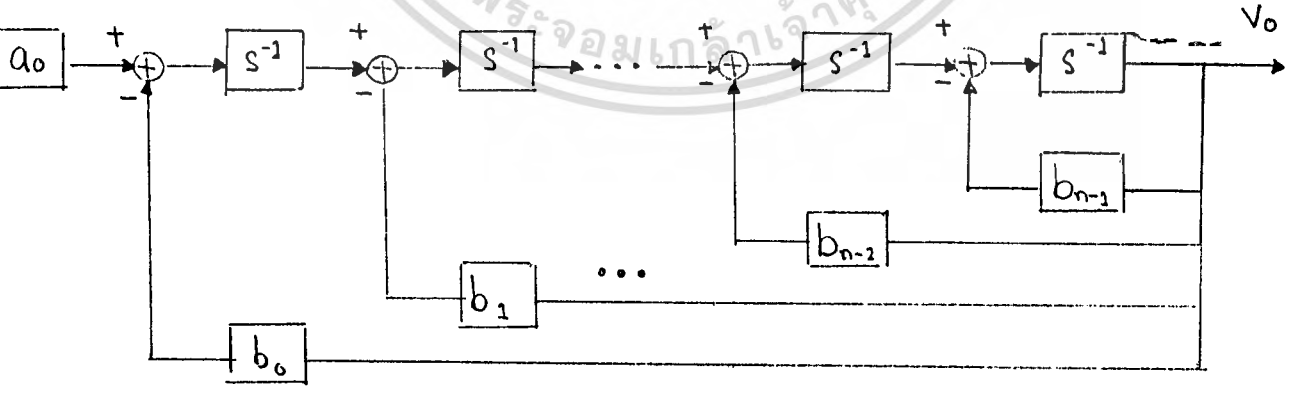
$$T(s) = \frac{V_o}{V^+ - V^-} = \frac{g_m}{sC}$$

จากทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่นของ n ลำดับของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

$$T(S) = \frac{a_0 S^{-n}}{1 + b_{n-1}S^{-1} + b_{n-2}S^{-2} + \ldots + b_1 S^{1-n} + b_0 S^{-n}} \Bigg|_{S=\frac{s}{\omega_0}}$$

ω_0 : normalization frequency

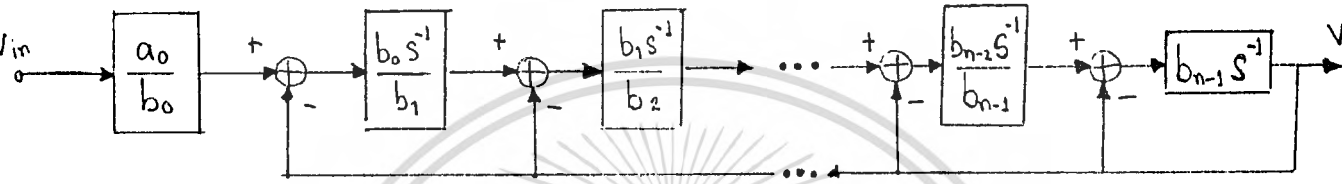
จะสามารถเขียนบลอคไดอะแกรม (block diagram) ได้ว่า



026948

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

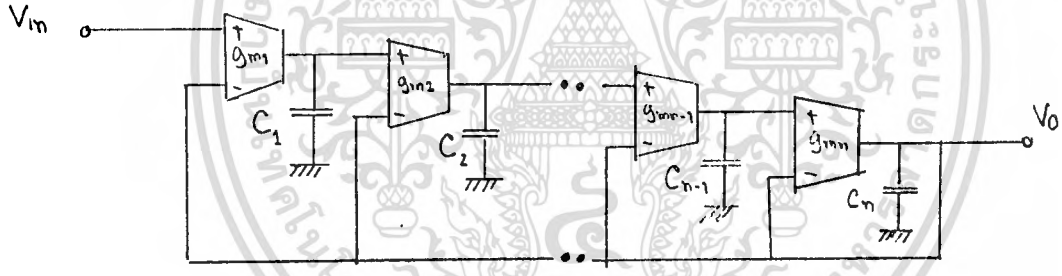
และสามารถแปลงค่าต่าง ๆใน บลอคไดอะแกรมได้โดยอาศัยทฤษฎีของฟิดแบคคอนโทรล (feedback control)



มีค่า $\beta_{v-v} = 1$

$A_{vol} = \frac{b_{n-1} S^{-1}}{b_n}$ (ในแต่ละเทอม)

ทำให้สามารถสร้างวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน n ลำดับ โดยใช้ โอทีเอ และตัวเก็บประจุได้ดังรูป



มีค่า $\beta_{v-v} = 1$

$A_{vol} = \frac{g_{mn} S^{-1}}{C_n}$ (ในแต่ละเทอม)

จะเห็นว่าสามารถสร้างวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน n ลำดับได้ดดยการนำ โอทีเอ และตัวเก็บประจุมาต่อ แคสเคด (cascade) กันไปเรื่อย ๆ การเพิ่มลำดับของวงจร สามารถเพิ่มได้โดยการต่อโอทีเอและตัวเก็บประจุแคสเคด เพิ่มเข้าไปในวงจร

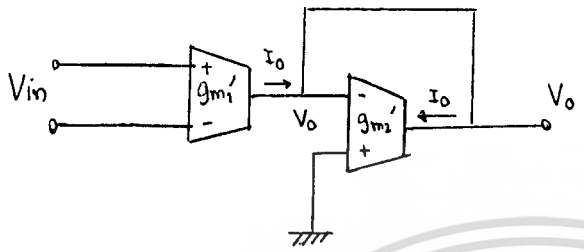
และสำหรับค่าความถี่คัทออฟ ของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน จากวงจรและสมการ ทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่น จะเห็นว่าสามารถปรับค่าได้โดยการปรับค่า ทรานสคอนดัคแทนซ์ ของ โอทีเอ ซึ่งสามารถปรับค่าได้โดยความต่างศักย์ไบอัส (V_{DC})

สำหรับด้านการกำหนดลักษณะประเภทของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านก็สามารถกำหนดได้โดยการปรับค่า ทรานสคอนดัคแทนซ์ หรือค่าของตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การนำโอทีเอมาใช้ในส่วนภาคขยาย

ในส่วนภาคขยายนี้ (a_o/b_o) ของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านนี้ยังสามารถนำ โอทีเอมาใช้เป็นส่วนภาคขยายได้ดังรูป



$$g_m'1 \cdot v_i = i_o$$

$$g_m'2 \cdot -v_o = -i_o$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{g_{m1}'}{g_{m2}'}$$

ทำให้เราสามารถปรับค่า ขยาย ได้โดยการปรับค่า ทรานสคอนดัคแทนซ์ เนื่องจากค่า ขยายนี้เป็นค่าคงที่ จึงได้ต่อจุด A (จากรูปวงจรภายในโอทีเอ) ไว้กับค่าความต่างศักย์ (V_{cc}) และปรับค่า ทรานสคอนดัคแทนซ์ได้โดยการปรับค่าความต้านทาน ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไมโครโปรเซสเซอร์ MCS 51

เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ แบบซิงเกิลชิพ เพราะภายในชิพ ประกอบด้วย หน่วยความจำ , ส่วนการคำนาณ , ส่วนสร้างสัญญาณนาฬิกา , พอร์ทแบบขนาน , วงจรนับและตั้งเวลา , พอร์ทแบบอนุกรมทำให้มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง

ข้อดี

1. มีหน่วยความจำสำหรับใช้เขียนโปรแกรมได้ถึง 64 กิโลไบท์
2. มีหน่วยความจำสำหรับการใช้เก็บข้อมูล แยกออกมาอีก 64 กิโลไบท์
3. หน่วยความจำภายในแบบแรนดอมแอคเซส (RAM) ขนาด 256 ไบท์
4. พอร์ทขนานภายในสามารถใช้งานได้ทั้งแบบอินพุท และเอาท์พุท
5. พอร์ท 3 สามารถใช้งานในฟังก์ชั่นอื่นได้
6. วงจรนับเวลาและตั้งเวลาภายใน 2 ชุด ขนาด 16 บิท (TIMER 0 , TIMER 1) สามารถโปรแกรมเพื่อการใช้งานแยกจากกันได้อย่างอิสระ สามารถใช้โปรแกรมกำหนดอัตราการส่งข้อมูล (BAUD RATE) ของพอร์ทอนุกรม
7. สามารถเลือกให้ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในชิพหรือภายนอกชิพ ได้

<u>การทำงานภายใน MCS-51</u>

คุณสมบัติสำคัญของตระกูล 51 นี้คือ

- ไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 8 บิท
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายใน
- 32 อินพุท / เอาท์พุท
- หน่วยความจำภายนอกสำหรับเก็บข้อมูล 64 กิโลไบท์ (64 kbyte)
- หน่วยความจำภายนอกสำหรับเก็บโปรแกรม 64 กิโลไบท์ (64 kbyte)
- วงจรนับ, ตั้งเวลา 16 บิท 2 ชุด (3 ชุด สำหรับ 8032/8052)
- 5 อินเทอร์รัพท์ (6 สำหรับ 8032/8052) สามารถจัดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัพท์ได้ 2 ระดับ
- ส่งข้อมูลอนุกรมแบบ 2 ทิศทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถประมวลผลตรรกศาสตร์

- มี RAM ภายในขนาด 128 ไบท์ สามารถอ้างได้ทั้งแบบบิทและแบบเป็นไบท์

การติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกมี 2 แบบ คือ

1. ติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม จะใช้สัญญาณ PSEN (Program store enable) เป็นสัญญาณสโตรป (strobe) สัญญาณ RD และ WR จะใช้ เป็นสัญญาณสโตรป (strobe) การอ่านโปรแกรมจาก หน่วยความจำภายนอกจะใช้แอดเดรส 16 บิทเสมอ

2. หน่วยความจำสำหรับข้อมูล จะใช้แอดเดรสได้ทั้งแบบ 16 บิท เช่นคำสั่ง MOVX @DPTR หรือใช้แอดเดรส 8 บิท เช่นคำสั่ง MOVX @Ri

ในการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำนั้น ข้อมูลจะถูกส่งออกไปทางพอร์ท 0 ก่อนจะมีสัญญาณ WR เป็น 0 และจะคงค่านั้นไว้จนกว่าสัญญาณ WR จะกลับเป็น 1

ในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกนั้น ข้อมูลจะต้องปรากฏที่พอร์ท 0 ก่อนสัญญาณ RD จะเป็น 0 เสมอ

การอ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกจะเกิดได้ใน 2 กรณี คือ

1. EA เป็น 0

2.เมื่อ EA เป็น 1 จะอ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกเมื่อโปรแกรมเคาร์เตอร์ (PC) มีค่ามากกว่า OFFFH

8051 สามารถอินเทอรัพท์ได้ด้วย 5 วิธี

1. สัญญานอินเทอรัพท์จากภายนอก INTO และ INT1 จะสามารถทำงานได้ทั้งแบบระดับ (LEVEL) และแบบการเปลี่ยนระดับ (TRANSITION) ขึ้นกับ IT0 และ IT1 ใน TCON

2. อินเทอรัพท์ของ TIMER 0 และ TIMER 1 จะสร้างโดย TF0 และ TF1 ซึ่งถูกเซทโดยการนับถึง 255 ของรีจิสเตอร์ตัวนั้น ๆ

3. อินเทอรัพท์ของ Serial พอร์ท จะสร้างโดยการ OR ของ RI และ TI แฟลกทั้ง 2 ตัวนี้จะถูกเคลียร์ด้วยซอฟแวร์

ทุกบิทที่สร้างอินเทอรัพท์สามารถเซทหรือเคลียร์ได้ด้วยซอฟแวร์ เหมือนกับทำด้วยฮาร์ดแวร์ โดยอิสระด้วยการกำหนดใน SFR ชื่อ IE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

โครงสร้างหน่วยความจำ, แอดเดรสซิงโหมดและตรรกศาสตร์

การจัดการหน่วยความจำ

8051 มีหน่วยความจำพื้นฐานได้ดังนี้

- หน่วยความจำสำหรับโปรแกรม 64 กิโลไบท์
- หน่วยความจำสำหรับข้อมูลอยู่ภายนอก 64 กิโลไบท์
- หน่วยความจำภายในแบบ RAM 256 ไบท์

แอดเดรสซิงโหมด

8051 มี 5 แอดเดรสซิงโหมด

- รีจิสเตอร์ (Register addressing)
- ไดเรค (Direct addressing)
- รีจิสเตอร์ อินไดเรค (Indirect Register addressing)
- อิมมีเดียท (Immediate addressing)
- เบส-รีจิสเตอร์ ร่วมกับ อินเดค-รีจิสเตอร์ อินไดเรค
  (Base-Register + Index-Register Indirect addressing)

บูลีนโพรเซสเซอร์ (Boolean Processer)

บูลีนโพรเซสเซอร์ เป็นอินทิเกรตบิทโพรเซสเซอร์ ใน 8051 จะมีชุดคำสั่งเฉพาะ , แอคคิวมูเลเตอร์ , (Carry Flag) และบิทแอดเดรสเอเบิลใน RAM และอินพุท /เอาท์พุท สามารถใช้ตรวจเงื่อนไขเพื่อให้มีการกระโดดหรือไม่กระโดด เมื่อมีการเซทหรือไม่ถูกเซท , ข้ามถ้ามีการเซทแล้วเคลียร์, MOVX เข้า Carry แอดเดรสเอเบิลบิท หรือค่าคอมพลีเมนท์สามารถ AND หรือ OR กับค่าของ carry Flag ได้ ผลลัพท์จะเก็บใน Carry รีจิสเตอร์

ชุดคำสั่ง

ใน MCS-51 จะมีชุดคำสั่งอยู่ 111 คำสั่ง 49 คำสั่งเป็นแบบไบท์เดียว, 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

คำสั่งเป็นแบบ 2 ไบท์ และ 17 คำสั่งเป็นแบบ 3 ไบท์ รูปแบบรหัสคำสั่งประกอบด้วย นิวโมนิค (MNEMONIC) ตามด้วย "Destination Source" (Operand Field) ซึ่งในโอเปอแรนด์ฟิลด์นี้ จะมีชนิดของข้อมูลและวิธีแอดเดรสซึ่งอยู่ด้วย

ชุดคำสั่ง MCS 51.จะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ตามการทำงาน ดังนี้

- เคลื่อนย้ายข้อมูล (Data Transfer)แบ่งออกเป็น 3 แบบ
- การย้ายข้อมูลทั่วไป
- กำหนดแอคคิวมูเลเตอร์
- แอดเดรส ออบเจค

การทำงานข้างบนไม่มีผลต่อแฟลกใน PSW ยกเว้น POP หรือ MOV โดยตรงกับ PSW

- คำนวณ (Arithematic) สามารถทำการคำนวณได้ 4 แบบ และเป็นแบบ 8 บิท ไม่มีเครื่องหมาย มีแฟลกบอกการโอเวอร์โฟลว์ อย่างไรก็ตามในการบวกและลบ จะสามารถทำได้ทั้งแบบมีเครื่องหมายและ ไม่มี การคำนวณสามารถ ให้ผลออกมาในรูปของ ฐานสิบ (BCD) ได้โดยตรง
- ลอจิก (Logic) สามารถทำงานเกี่ยวกับลอจิกได้ทั้งแบบบิทและไบท์โ
- คอนโทรลทรานสเฟอร์ (Control Tranfer) มี 3 วิธีสำหรับ การคอนโทรลทรานสเฟอร์ การ CALL แบบไม่มีเงื่อนไข, RETURN และ JUMP, การ JUMP แบบมีเงื่อนไข และอินเทอรัพท์ การคอนโทรลทรานเฟอร์จะทำให้ การทำงานของโปรแกรมไม่เรียงแอดเดรสต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การควบคุมค่าความถี่คัทออฟโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์

ถ้าดูจากวงจรของสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน จะเห็นว่าเราสามารถควบคุม ค่าความถี่คัทออฟได้โดยการปรับค่าความต่างศักย์จากภายนอก (V_{DC}) ดังสมการ

$$I_1 = \frac{(V_{DC} - V_{EE} - V_{BE})}{2R_1}$$

$$g_m = 19.2\ I_1$$

จากแนวความคิดนี้ เราสามารถใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมค่าความถี่คัทออฟได้โดยการควบคุมค่าความต่างศักย์จากภายนอก ซึ่งจะทำให้การทำงานของวงจรมีประสิทธิภาพมากขึ้น และ ในที่นี้จะเลือกใช้ ซีพียู (CPU) เบอร์ เอ็มซีเอส 51 (MCS-51) ใช้ ซิงเกิลบอร์ด (single board) รุ่น 1.0 ผลิตโดยบริษัทเวฟเกท มีหลักการควบคุมดังต่อไปนี้

1. จะรับค่าสัญญาณเสียงก่อนเข้าพรีแอมป์ (pre-amp) โดยจะนำเข้ามาเป็นสัญญาณอินพุทของ โอทีเอและตัวเก็บประจุส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่ง จะนำมาเปลี่ยนเป็นค่าระดับสัญญาณของเสียง ถ้าเสียงมีความดังมากระดับของสัญญาณก็จะสูง ถ้าเสียงมีความดังน้อยระดับสัญญาณก็จะต่ำ แล้วนำค่าของระดับสัญญาณมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยวงจร อนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D) จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ส่งให้กับไมโครโปรเซสเซอร์ทำการวิเคราะห์ค่าระดับสัญญาณ

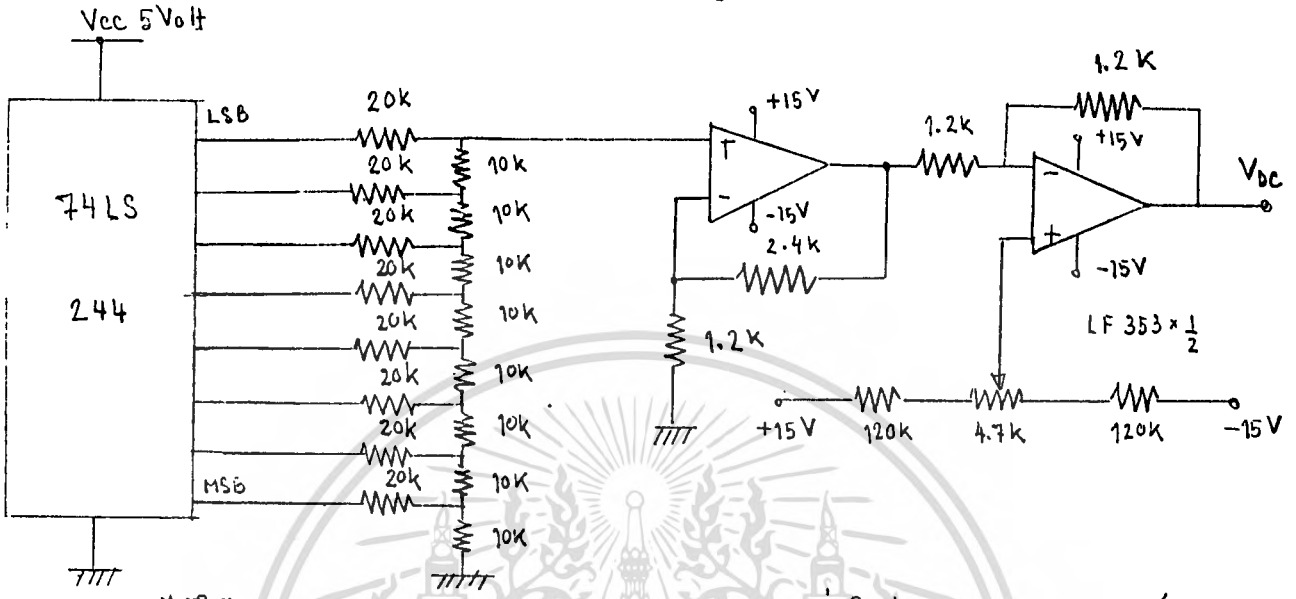
2. การส่งค่าให้ ไมโครโปรเซสเซอร์ เนื่องจาก เอ็มซีเอส 51 เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีพอร์ทขนานขนาด 8 บิท (bit) อยู่ภายในใช้งานได้ทั้งแบบ อินพุทและ เอาท์พุท เราจึงส่งค่าแบบขนานเข้าทางพอร์ทได้โดยตรง

3. การจัดการกับระดับสัญญาณ ไมโครโปรเซสเซอร์จะรับค่าข้อมูลขนาด 8 บิท เข้ามาแล้วทำการเปรียบเทียบค่าที่รับเข้ามา ดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแอมปลิจูด (amplitude) และนำค่ามาเลือกหาค่าความถี่คัทออฟ ที่เหมาะสมที่จะให้เสียงออกมาดีที่สุด (มีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด หรือไม่มีเลย) ซึ่งค่าเหล่านี้ได้มาจากการทดลองฟังเสียง และนำค่าความถี่คัทออฟดังกล่าวไปคำนวนค่าโวลเตจไบอัสที่ต้องการ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอล 8 บิท แล้วจึงทำการส่งค่าออกทางพอร์ท

4. ค่าที่ได้ออกทางพอร์ทของ เอ็มซีเอส 51 จะถูกแปลงจากสัญญาณดิจิตอลมาเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

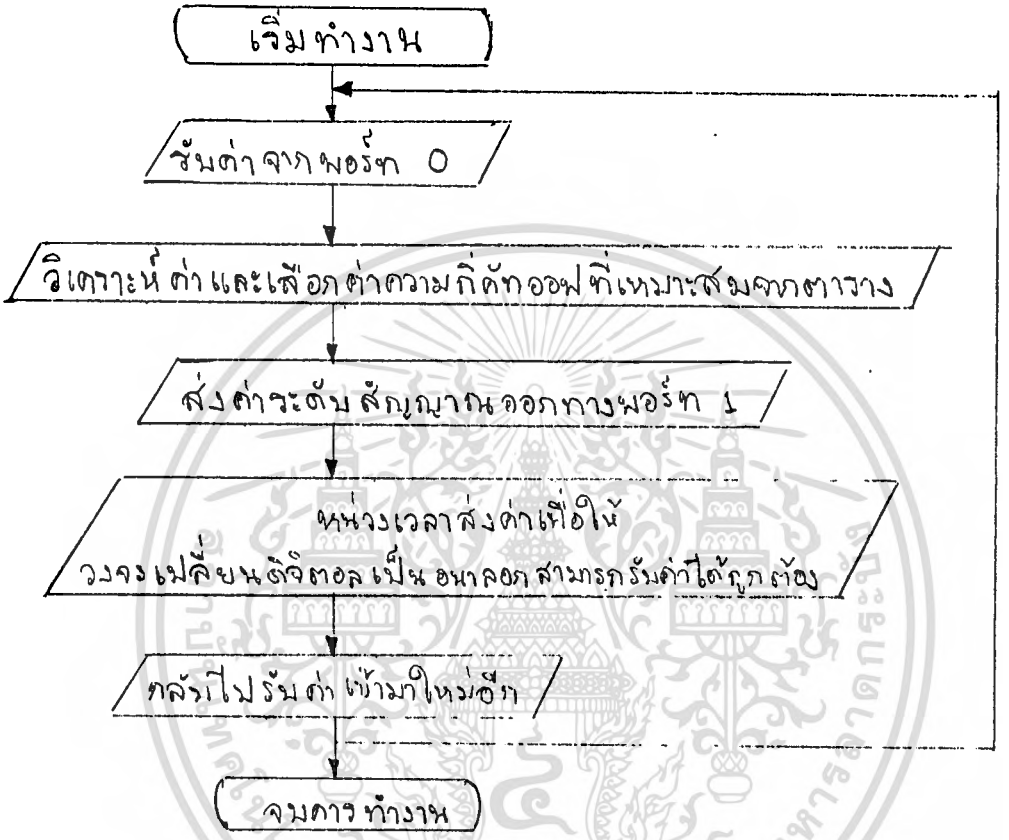
อนาลอก โดยวงจร แลดเดอร์ (ladder R-2R) ดังรูป



และได้ใช้วงจรขยายระดับสัญญาณ พร้อมกลับเฟส เพื่อให้ได้ระดับความต่างศักย์ตามความต้องการ และได้ต่อบัฟเฟอร์ (buffer) ไว้เพื่อไม่ให้เกิดการโหลดของระดับสัญญาณขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

โฟล์วชาร์ท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 3 การคำนวนค่าในวงจร

การหาค่าความต้านทานที่ใช้ควบคุมกระแสไบอัสจากภายนอก

จากวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน แบบแอคทิฟ (active) ซึ่งสร้างจากโอทีเอและตัวเก็บประจุ ในการควบคุมค่าความถี่คัทออฟ เมื่อเราเปลี่ยนค่ากระแสไบอัสของโอทีเอ ทุกตัวมีค่าเริ่มต้นเท่ากัน อัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสไบอัส ของโอทีเอทุกตัว ย่อมเท่ากัน เพราะฉะนั้น ถ้าเราสร้างวงจรเคอร์เรนท์มิลเลอร์ ให้กระแสเอาท์พุทที่เท่ากัน 3 ชุด มาไบอัสโอทีเอ เราก็จะได้วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ที่มีความเที่ยงตรงสูง

แต่จากวงจรที่เราสร้างขึ้น เมื่อเรากำหนดค่า ความต้านทาน (R_1) ให้คงที่แล้วปรับค่าความต่างศักย์ที่ไบอัส (V_{DC}) แทน ก็จะทำให้กระแสไบอัสเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน ตามสมการ

$$I_1 = \frac{(V_{DC} - V_{EE} - V_{BE})}{2R_1}$$

และ จากค่ากระแสไบอัสนี้จะทำการควบคุมค่า ทรานสคอนดัคแทนซ์ ของวงจร โดย $g_m = 19.2\ I_1$ ซึ่งค่าทรานสคอนดัคแทนซ์ นี้จะแปรตามค่ากระแสไบอัสอย่างเชิงเส้นเมื่อค่ากระแสไบอัสมีค่าอยู่ในช่วง 1 μ A ถึง 10 m A

เมื่อ ความต่างศักย์ภายนอกอยู่ในช่วง 0 V ถึง -13 V

ได้ R_1 จะอยู่ในช่วง 7.25 M ohm ถึง 0.675 M ohm เมื่อ I_1 = 1 μ A

และ ได้ R_1 จะอยู่ในช่วง 717.5 ohm ถึง 67.5 ohm เมื่อ I_1 = 10 m A

เลือก I_1 ที่มีค่าปานกลาง เพราะฉะนั้น ใช้ ความต้านทาน (R_1) เท่ากับ 84.848 k ohm จะได้ I_1 อยู่ในช่วง 82.5 μ A ถึง 6.9 μ A ซึ่งอยู่ในช่วงที่ค่าทรานสคอนดัคแทนซ์เปลี่ยนแปลงตามค่ากระแสไบอัสอย่างเชิงเส้น จะได้ค่า g_m อยู่ในช่วง 1.584 m A / V ถึง 0.132 m A / V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

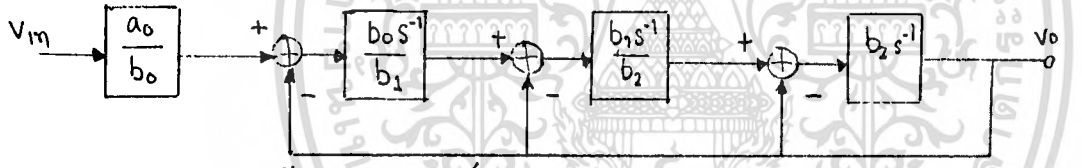
<u>การกำหนดประเภทของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน</u>

เนื่องจากวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบลำดับที่ 1 และ 2 สามารถสร้างได้โดยง่ายโดยใช้ออปแอมธรรมดาอยู่แล้ว เพราะฉะนั้น ในที่นี้จะเลือกใช้วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบลำดับที่ 3 เพราะที่ลำดับสูง ๆ นั้นก็สามารถใช้หลักการเดียวกันในการสร้าง และการคำนวน

สำหรับประเภทของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านนี้ก็จะเลือกใช้แบบ บัตเตอร์เวอร์ท (Butterworth approximation) เพราะว่าในช่วงความถี่ก่อนที่จะถึงความถี่คัทออฟ วงจรแบบบัตเตอร์เวอร์ทนี้จะมีการตอบสนองเป็นแบบ แมกซิมอลลีแฟลท (maximally flat response) ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และจะมีสมการนอร์มอไลซ์ (normalize) สำหรับลำดับที่ 3

$$T(S) = \frac{a_0}{S^3 + 2S^2 + 2S + 1} \quad \Big| \; S \to \frac{S}{w_0} \; ; \; \frac{a_0}{b_0} = 1$$

ซึ่งมี บลอคไดอะแกรม ดังนี้



จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\frac{g_{m3}}{sC_3} = \frac{b_2}{b_0}\frac{w_0}{s} \; ; \; C_3 = \frac{g_{m3}}{2w_0}$$

$$\frac{g_{m2}}{sC_2} = \frac{b_1}{b_2}\frac{w_0}{s} \; ; \; C_2 = \frac{g_{m2}}{w_0}$$

$$\frac{g_{m1}}{sC_1} = \frac{b_0}{b_1}\frac{w_0}{s} \; ; \; C_1 = \frac{g_{m1}}{w_0}$$

เนื่องจากวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านนั้นเราใช้การควบคุมค่าความถี่คัทออฟด้วยค่าทรานสคอนดัคแทนซ์เราจึงกำหนดประเภทของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านด้วยค่าของตัวเก็บประจุ

และเพื่อให้การประมาณค่าเป็นแบบ บัตเตอร์เวอร์ท อันดับที่ 3 จะได้ว่า

$C_1 : C_2 : C_3 = 2 : 1 : 1/2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

<u>การหาค่าตัวเก็บประจุในวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน</u>

การหาค่าของตัวเก็บประจุสามารถหาได้จาก ค่าความถี่ใช้งาน ซึ่งในที่นี้จะอยู่ในช่วง 2 k Hz ถึง 20 k Hz

จากความสัมพันธ์ $C_2 = \frac{g_{m2}}{2\pi f_o}$

g_m = 1.584 m A/V f_o = 2 k Hz C_2 = 0.126 μ F

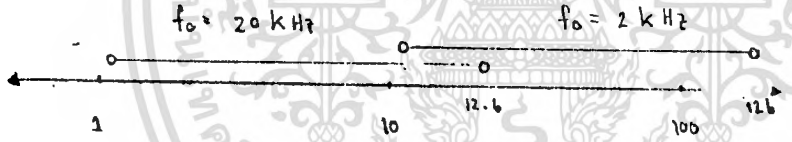
f_o = 20 k Hz C_2 = 12.6 n F

g_m = 0.132 m A/V f_o = 2 k Hz C_2 = 10.5 n F

f_o = 20 k Hz C_2 = 1.05 n F

เพราะฉะนั้นเลือกใช้ตัวเก็บประจุ (C_2) เท่ากับ 15 n F ซึ่งจะได้ความถี่คัทออฟอยู่ในช่วง 2 k Hz ถึงประมาณ 17 k Hz และ ยังสามารถหาค่าตัวเก็บประจุได้ง่าย

สามารถแสดงการเลือกค่า ตัวเก็บประจุได้ดังกราฟข้างล่าง



แสดงให้เห็นว่าค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 10.5 nF ถึง 12.6 n F เพราะฉะนั้นจะได้ค่า

C_1 = 30 n F

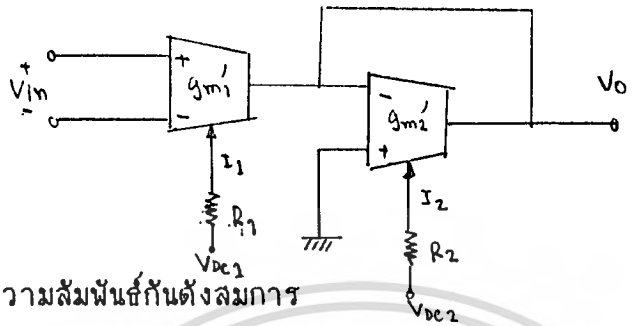
C_2 = 15 n F

C_3 = 7.5 n F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

<u>การกำหนดค่าความต้านทานในส่วนวงจรขยายโดยใช้ โอทีเอ</u>

ในส่วนภาคขยายนี้สามารถนำ โอทีเอมาใช้เป็นส่วนภาคขยายได้ดังรูป



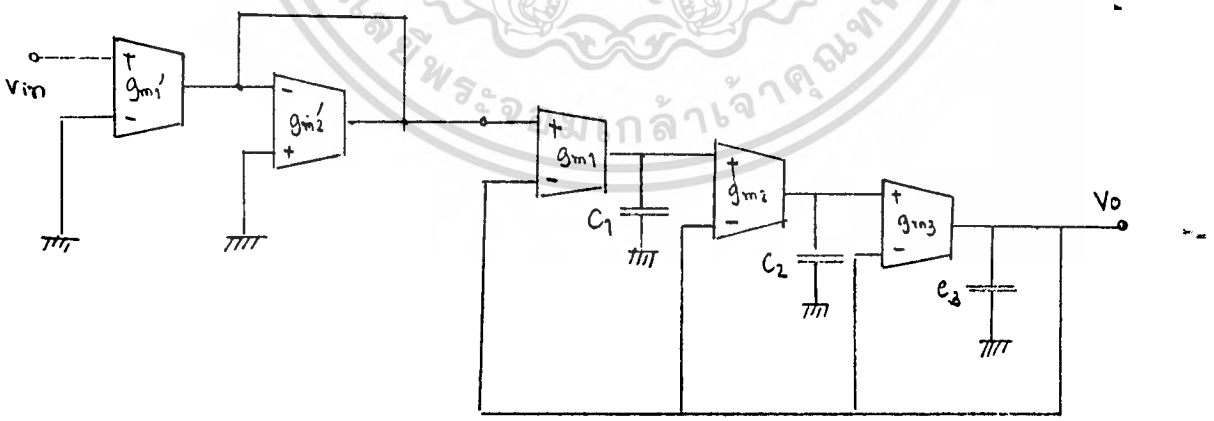
ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{g_{m1}'}{g_{m2}'} = \frac{I_1}{I_2} \quad ; V_{DC1} = V_{DC2}$$

จะเห็นว่าสามารถปรับค่า ขยายได้โดยการปรับค่า ความต้านทานที่ต่อกับความต่างศักย์ไบอัสจากภายนอก เมื่อ ความต่างศักย์ไบอัสภายนอกมีค่าเท่ากัน เราก็จะสามารถกำหนดค่าขยายให้ขึ้นกับความต้านทานที่ต่อภายนอกทั้ง 2 ตัวได้ว่า

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1}$$

แต่ในส่วนนี้เราจะให้ ค่าทรานสคอนดัคแทนซ์ตัวที่ 1 เท่ากับตัวที่ 2 เพราะฉะนั้น จึงให้ ความต้านทานที่ใช้ควบคุมกระแสไบอัส โอทีเอทั้ง 2 ตัวนี้เท่ากัน แต่ต้องให้ค่ากระแสไบอัสอยู่ในช่วง 1 μ A ถึง 1 m A เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้ ความต้านทานเท่ากับ 0.1 M ohm



Capacitor Only OTA Lowpass Filter Order 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การคำนวนค่าเซนสิทิวิตี (sensitivity)</u>

จาก $$T(s) = \frac{a_0}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1}\Bigg|_{s \to \frac{s}{\omega_0}}$$

จะได้ความสัมพันธ์ของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ลำดับที่ 3 แบบใช้โอทีเอ เท่ากับ

$$T(s) = \frac{\omega_0^3 \, a_0}{s^3 + \frac{g_{m3}}{C_3}s^2 + \frac{g_{m3}g_{m2}}{C_3 C_2}s + \frac{g_{m3}g_{m2}g_{m1}}{C_3 C_2 C_1}}$$

$$T(s) = \frac{\frac{g_{m3}g_{m2}g_{m1}}{C_3 C_2 C_1}}{s^3 + \frac{g_{m3}}{C_3}s^2 + \frac{g_{m3}g_{m2}}{C_3 C_2}s + \frac{g_{m3}g_{m1}g_{m1}}{C_3 C_2 C_1}} \quad ; \quad \frac{a_0}{b_0} = 1$$

หาค่าความถี่คัทออฟของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านได้ว่า

$$\omega_p^3 = \frac{g_{m1}\, g_{m2}\, g_{m3}}{C_1 \quad C_2 \quad C_3}$$

จะได้ค่า เซนสิทิวิตี ของอุปกรณ์แต่ละตัวได้เท่ากับ

$$S_{C_1}^{\omega_p} = \left|\frac{-1}{3}\right| \; ; \; S_{C_2}^{\omega_p} = \left|\frac{-1}{3}\right| \; , \; S_{C_3}^{\omega_p} = \left|\frac{-1}{3}\right|$$

และ $$S_{R_1}^{\omega_p} = \left|\frac{-1}{3}\right|$$ (R_1 ของ OTA แต่ละตัว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 4 การทดลอง

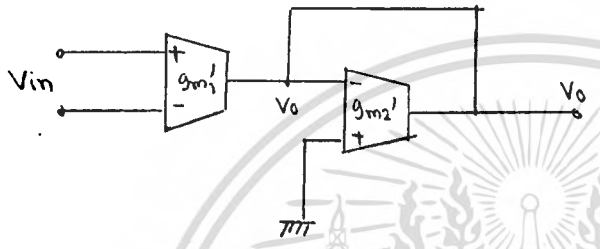
การทดลองใช้งาน โอทีเอ เป็นวงจรขยาย

1. กำหนดให้ $g_{m1}' = g_{m2}' = g_m = 1.92 * 10^{-3}$ A/V

   $I_1 = 100\ \mu$ A

   $R_1 = 0.29$ M ohm

   $V_{cc} = -V_{EE} = 15$ V



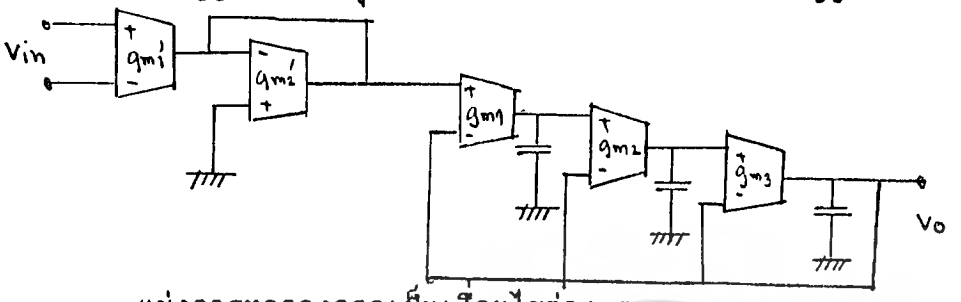
ได้ผลการทดลองดังตาราง

Input		Output		ค่าคำนวน
v_{in}(m V)	f(Hz)	v_o(m V)	gain(dB)	gain(dB)
100	1 k	100	0	0
100	2 k	100	0	0
100	5 k	100	0	0
100	10 k	100	0	0
100	20 k	100	0	0
100	50 k	100	0	0
100	100 k	100	0	0
100	200 k	100	0	0
100	500 k	100	0	0
100	1 M	100	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การทดลองใช้ โอทีเอ เป็นวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

นำสัญญาณ เอาท์พุท จากวงจรขยายมาต่อเข้าวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน



แบ่งการทดลองออกเป็นเงื่อนไขต่าง ๆ

1. เมื่อค่ากระแสไบอัสคงที่ แต่เปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุเพื่อดูค่าความถี่คัทออฟ

R_1 = 0.28 M ohm, I_1 = 52.4 μA, g_{m1} = g_{m2} = g_{m3} = 1.006 m A/V

C_1 = 30.558 n F : 30 n F

C_2 = 15.279 n F : 15 n F ได้ f_p จากการคำนวน = 10.67 k Hz

C_3 = 7.639 n F : 8.2 n F

Input		Output		ค่าคำนวน
v_{in}(m V)	f(Hz)	v_o(m V)	gain(dB)	gain(dB)
100	100	95	-0.45	0
100	200	95	-0.45	0
100	500	95	-0.45	0
100	1 k	95	-0.45	0
100	2 k	95	-0.45	0
100	5 k	95	-0.45	-0.05
100	10 k	90	-0.92	-2.24
100	15 k	50	-6.02	-6.65
100	20 k	30	-10.46	-16.45
100	50 k	3	-30.45	-40.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

R_1 = 0.28 M ohm, I_1 = 52.4 μA, $g_{m1} = g_{m2} = g_{m3}$ = 1.006 m V/A

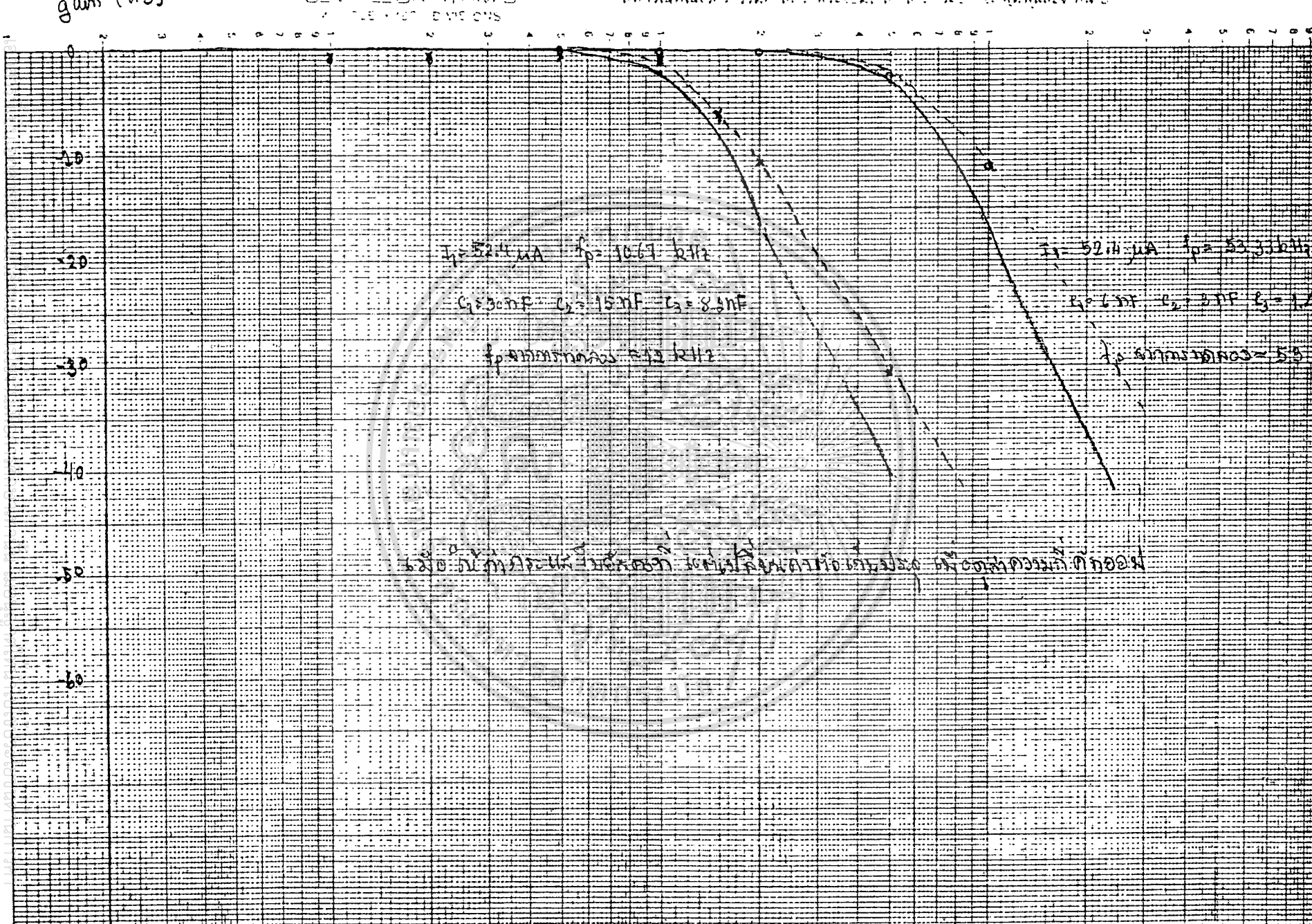
C_1 = 6.11 n F : 6 n F

C_2 = 3.06 n F : 3 n F ได้ f_p จากการคำนวน = 53.38 k Hz

C_3 = 1.53 n F : 1.47 n F

Input		Output		ค่าคำนวน
v_{in}(m V)	f(Hz)	v_o(m V)	gain(dB)	gain(dB)
100	100	92	-0.72	0
100	200	92	-0.72	0
100	500	92	-0.72	0
100	1 k	92	-0.72	0
100	2 k	96	-0.35	0
100	5 k	96	-0.35	0
100	10 k	96	-0.35	0
100	20 k	96	-0.35	-0.02
100	50 k	77	-2.27	-3.01
100	100 k	28	-11.06	-18.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


gain (dB)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60

2. กำหนดค่า ตัวเก็บประจุคงที่ ทดลองเปลี่ยนค่าความต้านทาน ดูผลของกระแสไบอัสต่อค่าความถี่คัทออฟ

R_1 = 1.68 M ohm, I_1 = 8.73 μA, $g_{m1} = g_{m2} = g_{m3}$ = 0.167 m V/A

C_1 = 30.558 n F : 30 n F

C_2 = 15.279 n F : 15 n F ได้ f_p จากการคำนวน = 1.799 k Hz

C_3 = 7.639 n F : 8.2 n F

Input		Output		ค่าคำนวน
v_{in}(m V)	f(Hz)	v_o(m V)	gain(dB)	gain(dB)
100	100	95	-0.45	0
100	200	95	-0.45	0
100	500	95	-0.45	-0.002
100	1 k	85	-1.41	-0.13
100	2 k	70	-3.74	-4.79
100	5 k	15	-16.48	-26.93
100	10 k	2	-33.98	-44.98
100	20 k	0		-63.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

R_1 = 0.18 M ohm, I_1 = 0.086 m A, $g_{m1} = g_{m2} = g_{m3}$ = 1.565 m V/A

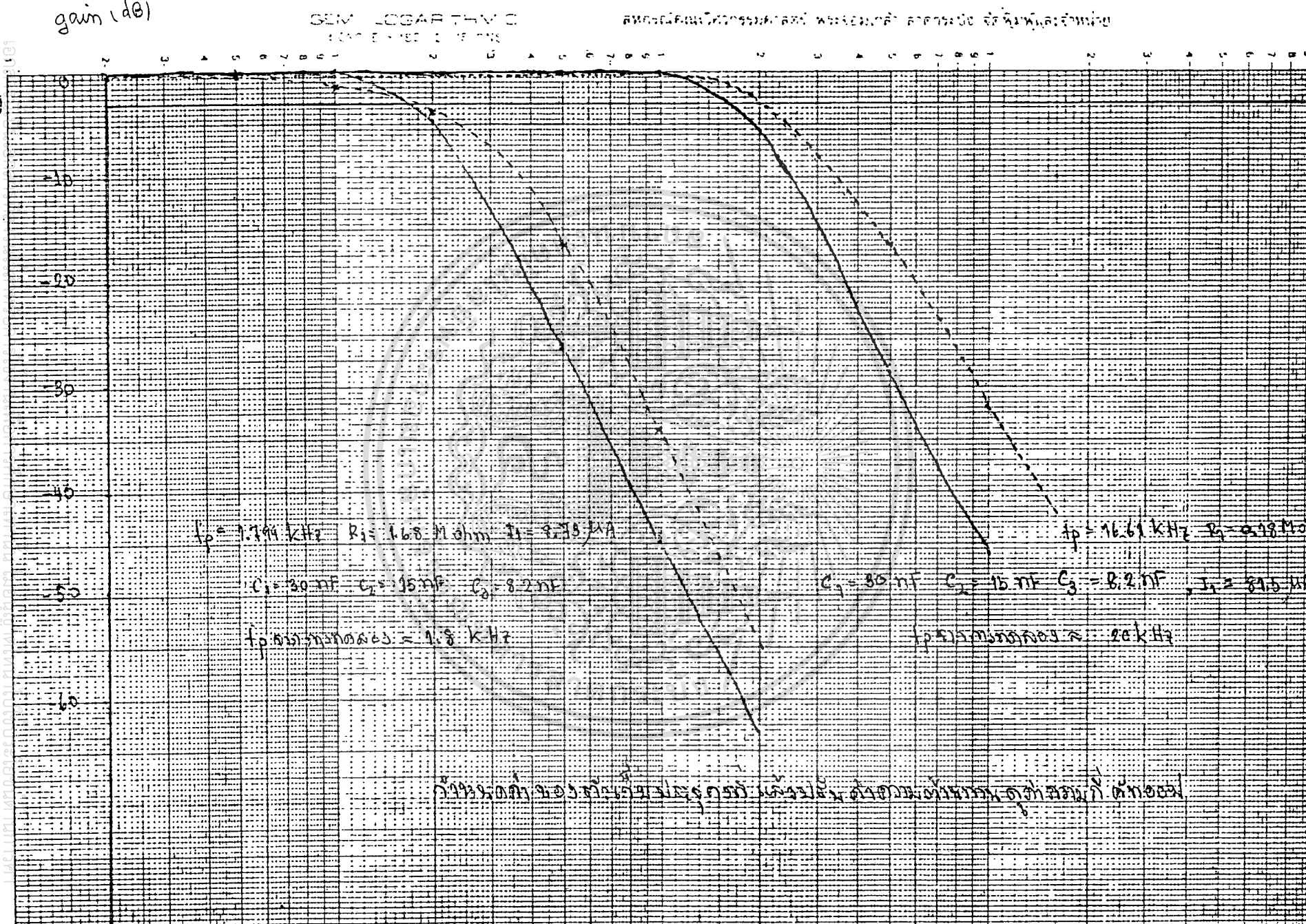
C_1 = 30.558 n F : 30 n F

C_2 = 15.279 n F : 15 n F ได้ f_p จากการคำนวน = 16.61 k Hz

C_3 = 7.639 n F : 8.2 n F

Input		Output		ค่าคำนวน
v_{in}(m V)	f(Hz)	v_o(m V)	gain(dB)	gain(dB)
100	100	96	-0.35	0
100	200	96	-0.35	0
100	500	96	-0.35	0
100	1 k	96	-0.35	0
100	2 k	96	-0.35	0
100	5 k	96	-0.35	0
100	10 k	96	-0.35	-0.202
100	20 k	70	-3.09	-6.07
100	50 k	15	-16.48	-28.72
100	100 k	2.5	-32.04	-46.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า


gain (dB)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
f_p = 1.799 KHz R_1 = 1.68 M ohm I_1 = 9.38 μA
C_1 = 30 nF C_2 = 15 nF C_3 = 8.2 nF
f_p = 16.61 KHz R_1 = 0.98 M
C_1 = 30 nF C_2 = 15 nF C_3 = 8.2 nF , I_1 = 8.15 μ

3. เมื่อกำหนดค่า ความต้านทาน R_1 และ ค่าตัวเก็บประจุ C_1 , C_2 , C_3 คงที่ แล้วใช้การปรับค่า ความต่างศักย์ภายนอก เป็นตัวควบคุม ค่าความถี่คัทออฟ

V_{DC} = 5 V, R_1 = 0.28 M ohm, I_1 = 34.5 μA

g_m = 0.663 m A/V

ได้ค่าความถี่คัทออฟจากการคำนวน

f_p = 7.039 k Hz

Input		Output		ค่าคำนวน
v_{in}(m V)	f(Hz)	v_o(m V)	gain(dB)	gain(dB)
80	100	80	0	0
80	200	80	0	0
80	500	80	0	0
80	1 k	80	0	0
81	2 k	80	-0.11	0
81	5 k	65	-0.83	-0.53
81	6 k	41	-1.11	-1.41
81	10 k	18	-13.06	-9.65
81	15 k	4	-26.13	-20.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

V_{DC} = 10 V, R_1 = 0.28 M ohm, I_1 = 43.6 μA

g_m = 0.839 m A/V

ได้ค่าความถี่คัทออฟจากการคำนวน

f_p = 8.858 k Hz

Input		Output		ค่าคำนวน
v_{in}(m V)	f(Hz)	v_o(m V)	gain(dB)	gain(dB)
81	100	81	0	0
81	200	81	0	0
81	500	81	0	0
81	1 k	81	0	0
81	2 k	81	0	0
81	5 k	81	0	-0.14
81	6 k	65	-1.91	-0.40
81	10 k	22	-11.32	-4.87
81	20 k	9	-19.08	-21.25
81	30 k	1	-38.16	-31.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

V_{DC} = 15 V, R_1 = 0.28 M ohm, I_1 = 52.4 μ A

g_m = 1.006 m $\mathrm{A/V}$

ได้ค่าความถี่คัทออฟจากการคำนวน

f_p = 10.677 k Hz

Input		Output		ค่าคำนวน
v_{in}(m V)	f(Hz)	v_o(m V)	gain(dB)	gain(dB)
100	100	95	-0.45	0
100	200	95	-0.45	0
100	500	95	-0.45	0
100	1 k	95	-0.45	0
100	2 k	95	-0.45	0
100	5 k	95	-0.45	-0.05
100	10 k	90	-0.92	-2.24
100	15 k	50	-6.02	-6.65
100	20 k	30	-10.46	-16.45
100	50 k	3	-30.45	-40 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

V_{DC} = 20 V, R_1 = 0.28 M ohm, I_1 = 61.3 μ A

g_m = 1.778 m A/V

ได้ค่าความถี่คัทออฟจากการคำนวน

f_p = 12.495 k Hz

Input		Output		ค่าคำนวน
v_{in}(m V)	f(Hz)	v_o(m V)	gain(dB)	gain(dB)
81	100	80	-0.11	0
81	200	80	-0.11	0
81	500	80	-0.11	0
81	1 k	80	-0.11	0
81	2 k	80	-0.11	0
81	5 k	80	-0.11	-0.02
81	10 k	72	-1.02	-1.01
81	20 k	13	-11.89	-12.51
81	50 k	4	-36.12	-36.13

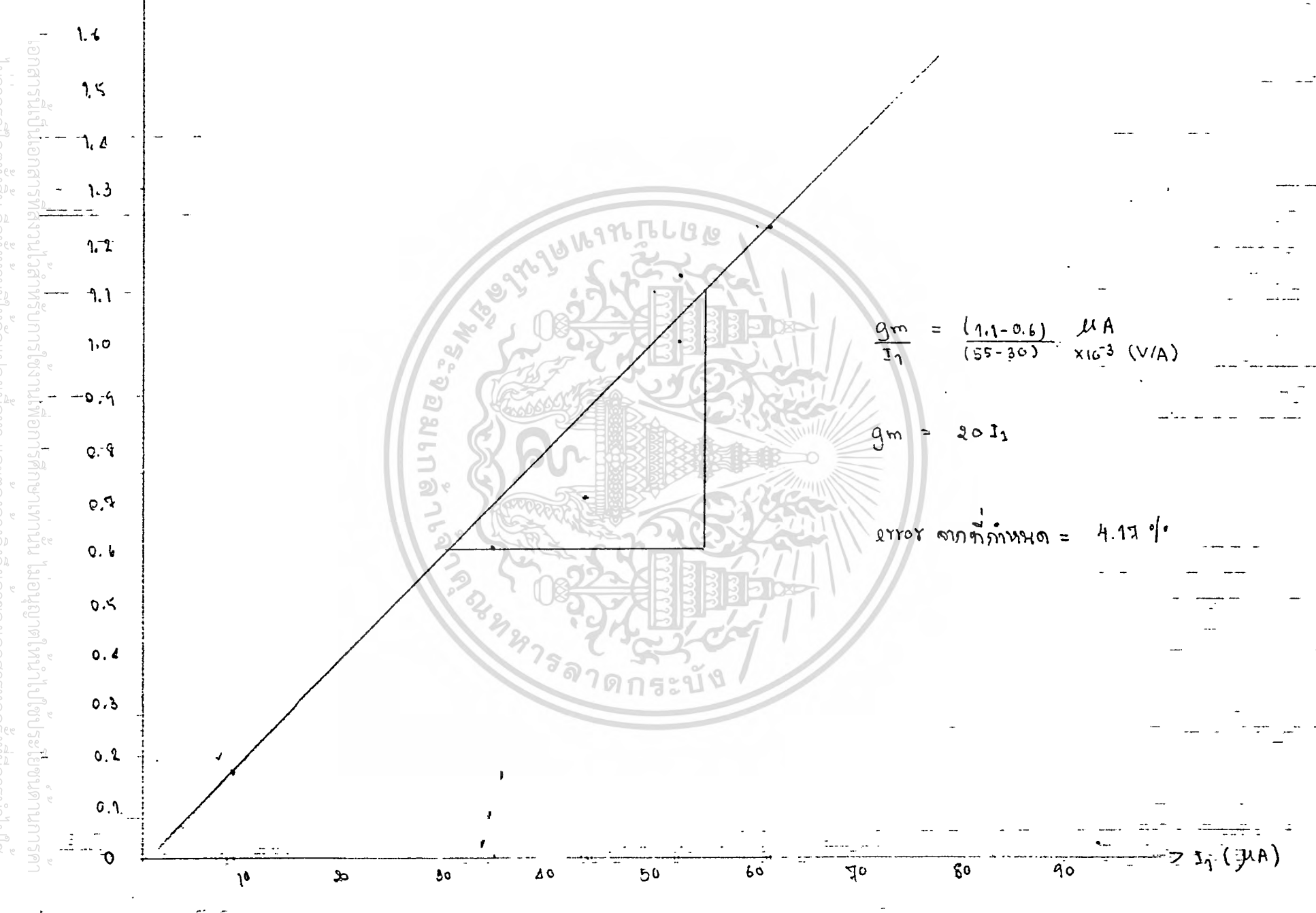
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

V_{DC} = 5V I_D = 24.5 μA
f_p = 1.035 kHz
f_p = 8.954 kHz
f_p = 10.691 kHz
f_p = 12.748 kHz
f_p = 13.452 kHz
V_{DC} 10V I_D = 83.6 μA
V_{DC} 15V I_D = 152 μA
V_{DC} 20V I_D = 673 μA

4. จากตารางทั้งหมดนำค่าของ กระแสไบอัสและ ค่าความถี่คัทออฟที่ได้จากการทดลอง มาหาค่าของ ค่าทรานสคอนดัคแทนซ์ที่ เป็นจริงของวงจร

I_1 (μA)	f_p (k Hz)	C_2 (n F)	$g_m * 10^{-4}$ (A/V)
8.73	1.8	15	1.69
34.5	6.4	15	6.03
43.6	7.4	15	6.97
52.4	12.0	15	11.31
52.4	53.0	3	10.00
61.3	13.0	15	12.25
81.5	20.0	15	18.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



$$\frac{g_m}{I_1} = \frac{(1.1-0.6)}{(55-30)} \frac{\mu A}{\times 10^{-3}} (V/A)$$

$$g_m = 20 I_1$$

ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น = 4.17 %

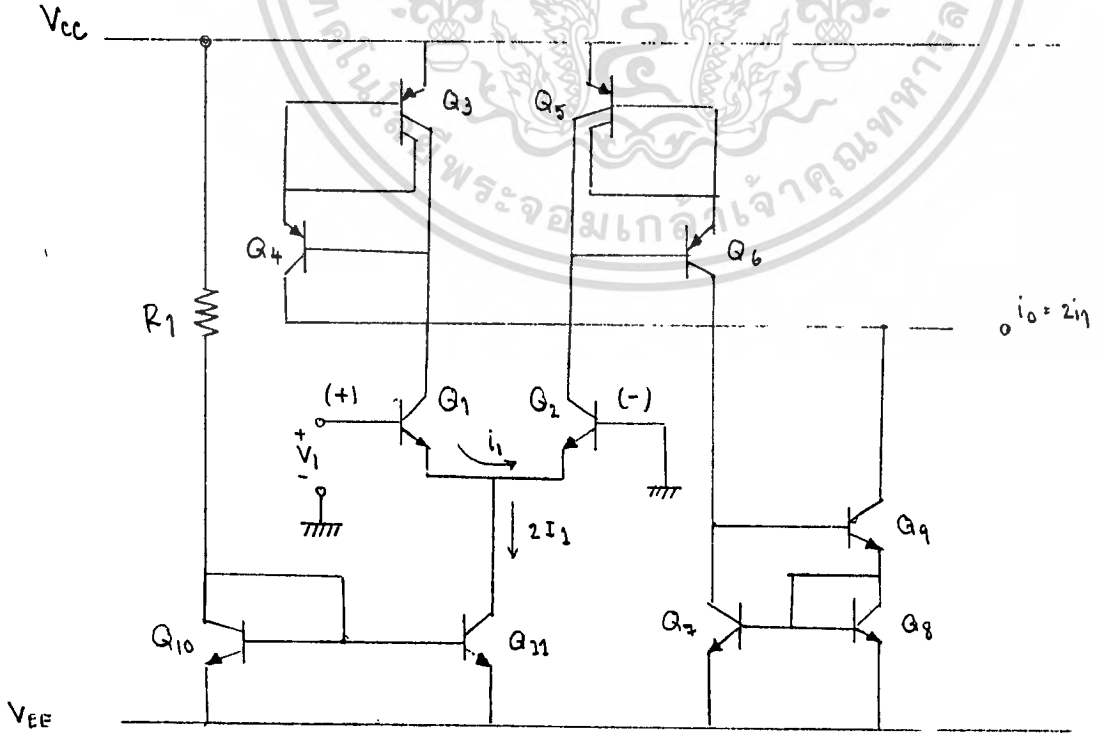
บทที่ 5 สรุปผลและวิเคราะห์

สรุป

1. เราสามารถนำ โอทีเอ และตัวเก็บประจุมาใช้เป็นวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านได้ โดยจะสามารถใช้ได้จนถึงความถี่ประมาณ 1 M Hz (ได้จากการทดลอง) ซึ่งค่ากระแสไบอัสจะมีค่าไม่มากจนเกินกว่าที่จำกัด เพราะในช่วงนี้ค่าทรานสคอนดัคแทนซ์จะแปรตามอย่างเชิงเส้นกับค่ากระแสไบอัสอยู่แต่ถ้าเกินกว่านี้ค่าทรานสคอนดัคแทนซ์จะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างเชิงเส้นกับค่ากระแสไบอัสภายนอก จะไม่สามารถควบคุมค่าความถี่คัทออฟได้ตามที่ต้องการ
2. การออกแบบวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านโดยใช้ โอทีเอและตัวเก็บประจุ จะทำได้ง่ายกว่าการใช้ออปแอมป์ธรรมดา โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรที่มีลำดับสูง ๆ
3. การนำวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน แบบใช้ โอทีเอและตัวเก็บประจุ ไปใช้กับเครื่องเสียงทั่วไป และ ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม จากเดิมเมื่อเราเปิดเสียงค่อย ๆ จะเกิดเสียงซ่ารบกวน เสียงเปล่านั้นก็จะหายไป หรือลดน้อยลง เพราะเราได้ควบคุมค่าความถี่คัทออฟของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่านให้ลดลง และเมื่อเปิดเสียงดังขึ้น ค่าความถี่คัทออฟก็จะกว้างขึ้น ทำให้เสียงที่เรารับฟังมีคุณภาพมากขึ้น

วิเคราะห์

1. จากวงจรภายในของโอทีเอ จะเห็นว่าโอทีเอที่ใช้อยู่มีข้อจำกัดอยู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การใช้ เลเตอรอล (leteral) ทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็นพี (pnp) ในเคอร์เรนท์มิลเลอร์ จะทำให้ค่าความถี่คัทออฟถูกจำกัดการใช้งานลง และเนื่องจากอินพุท ของโอทีเอ เป็นวงจร ดิฟแอมป์ เพราะฉะนั้นสัญญาณอินพุทจะต้องมีค่าต่ำมาก เพื่อไม่ให้ความเพี้ยนมีค่าสูง และค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ ก็มีค่าไม่สูงมากนักเพราะว่าเป็นอินพุทอิมพิแดนซ์ของ ดิฟแอมป์

2. ค่า ทรานสเฟอร์ฟังชันของวงจรนั้นจะมีค่าแปรผันกลับกับอุณหภูมิ ที่ใช้งาน จาก

$$g_m = \frac{I_1}{2V_T} \quad ; \quad V_T = \frac{kT}{q}$$

k : Boltzman constant

q : ประจุของอิเลคทรอน (electron)

T : อุณหภูมิสัมบูรณ์

ซึ่งจำเป็นจะต้องคำนึงถึงเมื่อนำโอทีเอไปใช้งาน

3. จากการทดลองใช้ โอทีเอ เป็นวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน เมื่อความถี่มีค่าสูงกว่าค่าความถี่คัทออฟมาก ๆ อัตราการลดลงของการลดทอนจะมีค่าไม่เท่ากับ 20 n dB ต่อ 1 ดีเคด (decade)

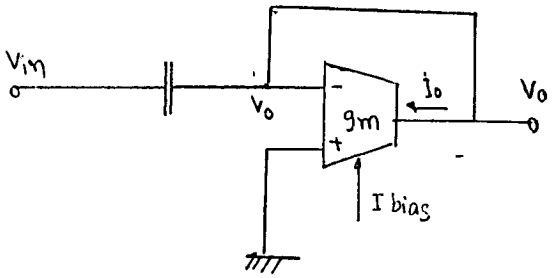
n : จำนวนลำดับของวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

เนื่องมาจากการอ่านค่าจาก ออสซิโลสโคป (oscilloscope) ที่ความถี่สูง ๆ ค่าความต่างศักย์ (v_o) จะมีค่าต่ำมาก และเมื่อใช้การประมาณค่าก็ยิ่งทำให้เกิดค่าผิดพลาดมากขึ้น

4. ค่าทรานสคอนดัคแทนซ์ ที่ใช้งานจริงจะมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดเมื่อ ค่ากระแสไบอัสมีค่าสูง และที่ค่ากระแสไบอัสค่าต่ำ ๆ ค่าทรานสคอนดัคแทนซ์ก็จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้เล็กน้อย เพราะฉะนั้นเมื่อ หาค่าเฉลี่ยของค่าทรานสคอนดัคแทนซ์ ตลอดช่วงความถี่ที่นำมาใช้งานจะได้ค่าประมาณ 20 ซึ่งมีค่าแตกต่างจากค่าที่กำหนดไว้ประมาณ 4.11 เปอร์เซนต์

5. โอทีเอและตัวเก็บประจุ นอกจากจะใช้เป็น วงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน แล้วยังสามารถใช้เป็นวงจรกรองสัญญาณความถี่ประเภทอื่น ๆ ได้อีกด้วย เช่น
วงจรสัญญาณความถี่สูงผ่าน (highpass filter)

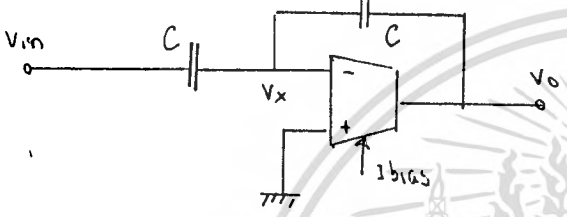
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



$$-I_o = g_m(-V_o) \quad , \quad sC(V_{in} - V_o) = I_o$$

$$\frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{s}{s + g_m/C}$$

หรือวงจรสัญญาณความถี่ผ่านตลอด (all-pass filter)



$$V_{in} - V_x = \frac{I_o}{sC} \quad , \quad V_x - V_o = \frac{I_o}{sC}$$

$$V_{in} - V_o = \frac{2I_o}{sC} \quad , \quad V_{in} + V_o = 2V_x$$

จาก $g_m(-V_x) = -I_o$, $V_{in} + V_o = \frac{2I_o}{g_m}$

$$sCV_{in} - sCV_o = g_mV_{in} + g_mV_o$$

$$(sC - g_m)V_{in} = (sC + g_m)V_o$$

$$\frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{s - g_m/C}{s + g_m/C}$$

ซึ่งจะเห็นว่าสามารถนำวงจรไปใช้งานได้สะดวก และการปรับค่าทรานสคอนดัคแทนซ์ ก็อาศัยหลักการเดียวกัน การออกแบบวงจรก็จะง่ายขึ้น

ในด้านวงจรสัญญาณความถี่สูงผ่าน ก็น่าจะมีการพัฒนาออกแบบวงจรสัญญาณความถี่สูงผ่านแบบลำดับสูง ๆ ได้ด้วย

6. สำหรับวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ที่นำมาใช้กับ การควบคุมค่าความถี่คัทออฟกับความดังของเสียงนี้ ในการใช้งานจริง ค่าที่ได้จากไมโครโปรเซสเซอร์ยังมีค่าไม่ถูกต้องเท่าที่ควร เนื่องมาจากในการวิเคราะห์ ค่าความถี่คัทออฟนั้น ได้มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จากการทดลองสร้างตารางสมมติ แล้วฟังเสียงที่เห็นว่าพอใช้งานได้ และการรับฟังเสียงของแต่ละบุคคลก็แตกต่างกัน ทำให้เสียงที่ได้รับฟังไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร จึงคิดว่าน่าจะมีวิธีอื่น ที่จะนำมาใช้ในการกำหนดค่าความถี่คัทออฟนั้น ๆ หรือ อาจจะนำไปใช้ให้กลุ่มตัวอย่าง หลาย ๆ คนทดลองฟังดู แล้วกำหนดค่าที่เห็นว่าเหมาะสมนั้นไว้ แล้วจึงนำมาทำการวิเคราะห์ค่าในตารางอีกที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หนังสืออ้างอิง

1. Iqbal A. Khan and Muslim T. Ahamei,"Electronically Tunable First Order OTA-Capacitor Filter Section",*Int. J. Electronics*,Vol.61,No.2,233-237,1986

2. Wei-Wei Guo,Jian-You Liu and Shan Yang,"The realization Of High-Order OTA-C Filter",*Int. J. Electronics*,Vol.65,No.6, 1153-1157,1988

3. Gobind Daryanani,"Introductory Filter Concepts", *Principles of Active NetWork Synthesis and design*,Wiley, New York,1976

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เครื่องกันสัญญาณหอน ของไมโครโฟน

(FEEDBACK BLOCKING)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เครื่องกันสัญญาณหอน ของ ไมโครโฟน

(FEEDBACK BLOCKING)

นาย กฤษดา เรืองโชติวิทย์ 291010

นางสาว ฉัตรสุดา จันทร์เลิศฟ้า 291031

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. สิทธิชัย โภไคยอุดม

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

เครื่องกันสัญญาณหอนของไมโครโฟน ใช้หลักการของ วงจรแบนด์รีเจคฟิลเตอร์ (Bandreject Filter) ทำการขจัดสัญญาณเสียงความถี่ ที่ทำให้เกิดการหอนออกไปโดย ใช้สวิทช์คาปาซิเตอร์ เข้ามาช่วยในการสร้างเพื่อให้วงจรที่ได้มีเสถียรภาพ และ ประสิทธิภาพ ดีพอที่จะเชื่อถือได้ และนอกจากนั้นเรายังใช้วงจรอื่นๆ ปรับปรุงคุณภาพ เช่น วงจรโลพาสฟิลเตอร์ (Lowpass Filter) จากสวิทช์คาปาซิเตอร์ สำหรับกำจัดสัญญาณรบกวน และ สัญญาณเสียงความถี่สูงเกินต้องการ วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock) ที่ใช้ควบคุมการทำงานของทั้ง วงจรโลพาส และวงจร แบนด์รีเจคฟิลเตอร์ วงจรเพาว์เวอร์แอมปลิฟายเออร์ (Power Amplifier) สำหรับขยายสัญญาณเสียงให้มีมากพอ ที่จะสามารถต่อเข้ากับลำโพง ได้โดยตรง เป็นต้น

ประโยชน์ของวงจรนี้คือ ทำให้เราสามารถที่จะเร่งเสียงของไมโครโฟนได้มากขึ้นกว่าปกติที่ไม่มีวงจรนี้ต่ออยู่ โดยไม่ทำให้เกิดเสียงหอนอันเนื่องมาจากการ ฟีดแบค (Feedback) ของระบบ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานนอกสถานที่ ที่การติดตั้งตำแหน่งของลำโพง และไมโครโฟนสามารถทำได้โดยยากและทำให้เราไม่สามารถเร่งเสียงให้ได้มากเท่าที่เราต้องการ นอกจากนั้น ยังสามารถขจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ออกได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

โดยทั่วไป การใช้งาน ไมโครโฟน ตามสถานที่ต่างๆ ทั้งภายในอาคาร หรือ ภายนอกอาคาร เรามักจะประสพปัญหาการหอนของ ไมโครโฟน ซึ่งทำให้เราไม่สามารถเร่งเสียงของไมโครโฟน ได้เท่าที่เราต้องการ เราจึงได้ทำการวิจัยวงจรที่สามารถป้องกันการหอนของ ไมโครโฟน ขึ้นมา

การหอนของ ไมโครโฟน เกิดจาก การติดตั้งไมโครโฟนและลำโพงที่ไม่เหมาะสม ทำให้สัญญาณเสียง ณ. ความถี่ใด ความถี่หนึ่งจากลำโพง เกิดการฟีดแบคกลับมายังไมโครโฟน และถูกขยายโดย แอมปลิฟายเออร์ (โดยหลักการของโพสิทีป ฟีดแบค (Positive Feedback)) ทำให้เกิดเสียงที่ดังขึ้นผิดปกติ หรือเสียงหอนนั่นเอง

เมื่อเราทราบว่า สัญญาณเสียงความถี่ใดความถี่หนึ่ง ทำให้เกิดการหอนของ ไมโครโฟน (เพราะการ โพสิทีปฟีดแบค (Positive Feedback)) นอกเหนือจากการจัดตำแหน่งของ ไมโครโฟน และ ลำโพงใหม่แล้ว ถ้าเราสามารถสร้างวงจร ที่กำจัดความถี่เสียงนั้นออกไปได้ เราก็จะได้ไมโครโฟนที่ไม่มีการหอนและสามารถเร่งเสียงให้ดังเท่าที่เราต้องการได้ (มากขึ้นกว่าเดิม) เราจึงได้ทำการวิจัยวงจร แบนด์รีเจคฟิลเตอร์ (Bandreject Filter) ขึ้นมา โดย สามารถแบ่งออกเป็น ส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือ

- ส่วนของวงจรเซคกั้นออเดอร์ แบนด์รีเจคฟิลเตอร์ (Secondorder Bandreject Filter) ที่ทำหน้าที่ ตัดสัญญาณเสียงความถี่ที่ไม่ต้องการออกไป โดยเรายังแบ่งการวิจัยออกเป็น

1. สร้างวงจรด้วย ออปแอมป์ ธรรมดา เช่น เบอร์ LM 324 ซึ่งพบว่าวงจรที่ได้มานั้นมีการผิดเพี้ยน (Distortion) มาก

2. สร้างวงจรด้วย ออปแอมป์ที่พิเศษขึ้นกว่าเดิม เช่น เบอร์ LF 353ซึ่งเป็นเฟตที่ภาคอินพุท (FET INPUT) สามารถทำงานได้ดีขึ้นมาก

3. สร้างวงจรด้วย สวิทซ์คาปาซิเตอร์ เช่น เบอร์ MF10 ซึ่งเป็นวงจรที่ดีที่สุด ที่จะอธิบายในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนของวงจร โลพาสฟิลเตอร์ (Lowpass Filter) ที่ทำหน้าที่ตัดสัญญาณเสียง ความถี่สูงเกินความต้องการ และ สัญญาณรบกวน (Noise) ออกไปโดยแบ่งเป็น

1. สร้างวงจรด้วย ออปแอมป์ ธรรมดา เป็นเซคกั้นออเดอร์ (Second Order) ด้วย LF 353

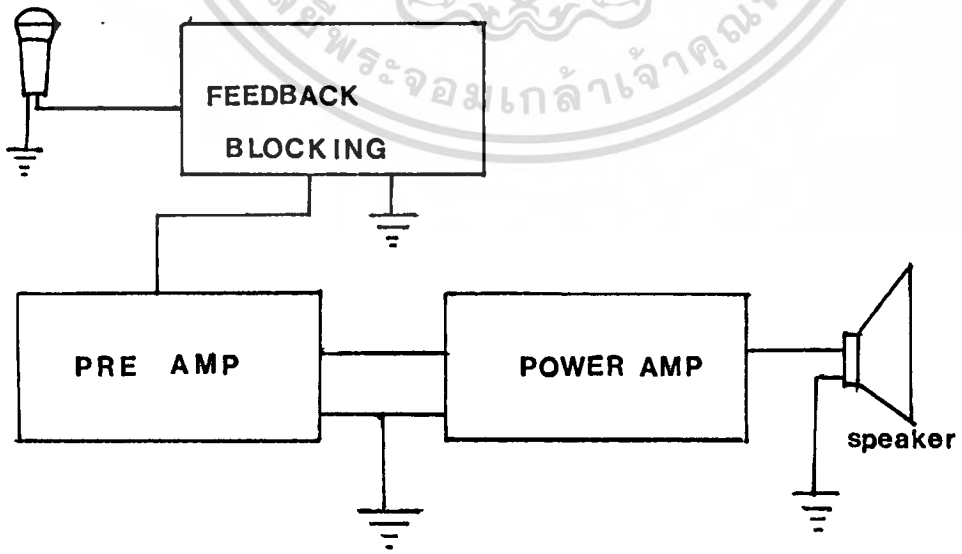
2. สร้างวงจรด้วย สวิทช์คาปาซิเตอร์ เป็นโฟทออเดอร์ (Fourth Order) ด้วย MF4

- ส่วนของวงจรอื่นๆ อันได้แก่วงจรที่ใช้ในการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น อันได้แก่

1. วงจร สร้างสัญญาณนาฬิกา จาก ไอซีไทม์เมอร์ 555 ที่ใช้ ควบคุม MF 10 , MF 4

2. วงจร บัฟเฟอร์พร้อมทั้ง ลดทอนสัญญาณ ที่ใช้ ควบคุมเกน (Gain) ของระบบ

3. วงจร เพาเวอร์แอมปลิฟายเออร์ (Power Amplifier) สำหรับการต่อเข้าลำโพงโดยตรง เป็นต้น

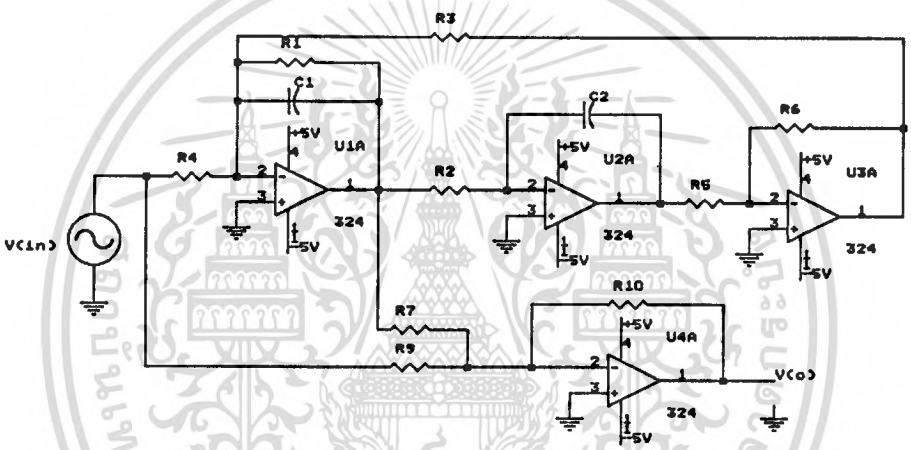


Block Diagram of Feedback Blocking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎี

วงจร แบนด์รีเจคฟิลเตอร์ ด้วย ออปแอมป์



ภาพที่ 1 SECONDORDER BANDREJECT FILTER (SALLEN AND KEY CIRCUIT) ด้วย LM 324

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ (พิจารณาจากวงจรภายใน) ที่สามารถทำงานได้ดีในช่วงของ ซัพพลายเดี่ยว (Single Supply) และ มีวงจรเอาท์พุทโพรเทคชั่นอยู่ การทำงานเป็นวงจร แบนด์รีเจคฟิลเตอร์ ให้ผลการทดลองที่ไม่ดีเท่าที่ควร คือเกิด การผิดเพี้ยนของสัญญาณ (Output Distortion) บริเวณ ใกล้จุดยอดของสัญญาณซีกบวก (ก่อน 90 องศา) และ เมื่อนำมาใช้กับวงจรซัพลายคู่ (Dual Supply) ก็ให้ ผลการทดลอง ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เพราะสัญญาณซีกลบเกิดการอิ่มตัว (Saturated) เร็วกว่าซีกบวกมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ข้อดีของ LM324 คือเป็น ไอซีที่ประกอบไปด้วย ออปแอมป์ถึง 4 ตัวในภาชนะเดียวกัน ทำให้ไม่เกิดการสิ้นเปลืองอุปกรณ์ และเป็นไอซีที่ใช้งานได้ดีในช่วงการทำงานทั่วไป

ด้วย LF 353

เนื่องจากข้อเสียของวงจรที่สร้างด้วย LM 324 เราจึงเปลี่ยนมาใช้ LF 353 แทนซึ่งมีวงจรภายในที่แตกต่างจาก LM 324 คือ ลักษณะเป็นเฟตที่ภาคอินพุท (FET INPUT) ทำให้มีอินพุทอิมพิแดนซ์สูงมาก และยังสามารถทำงานได้ดีที่ซัพลายคู่ มาทดลองโดยใช้วงจรเดิม พบว่าสามารถทำงานได้ดี เท่าที่ต้องการ แต่ก็มีข้อเสียคือ ใน1 ภาชนะมีออปแอมป์เพียง 2 ตัว ทำให้ต้องใช้ไอซีถึง 2 ตัว ซึ่งเป็นการในการที่จะควบคุมคุณสมบัติต่างๆของวงจรให้มีความเสถียร

อย่างไรก็ดี วงจร แบนด์รีเจคฟิลเตอร์ ที่สร้างด้วย ออปแอมป์ก็ยังไม่เป็นวงจรที่เหมาะสมสำหรับ การใช้งานจริง ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

1. วงจรที่ได้ เป็นวงจรขนาดใหญ่ ที่ใช้อุปกรณ์หลายตัว ดังนั้นการควบคุมเสถียรภาพ ของระบบ และการควบคุมคุณสมบัติต่างๆ เป็นไปได้ยาก เช่น การเกิดเทอร์มาลน๊อยซ์ (Thermal Noise) เนื่องจาก ตัวความต้านทาน , ขีดจำกัดการทำงานของออปแอมป์ อินพุทอิมพิแดนซ์ (Input Impedance)

2. ขีดจำกัดของอุปกรณ์ที่มีในท้องตลาด เช่นในวงจรที่เราต้องการให้สามารถปรับความถี่คัทออฟ (Cutoff Frequency) ได้ตั้งแต่ 100 เฮิตซ์ ถึง 3 กิโลเฮิตซ์ เราต้องใช้ ความต้านทาน ที่แปลงค่าได้ถึง 30 เท่า ซึ่งในความจริงแล้วไม่มี และขีดจำกัดที่สำคัญของวงจร คือ ความแตกต่างระหว่าง ความต้านทานแต่ละตัว ต้องไม่เกิน 10 เท่า

3. วงจรที่ได้มีค่า Q (Quality Factor) ต่ำกว่า ที่ต้องการมาก เนื่องจาก ขีดจำกัดของวงจรเองด้วย กล่าวคือ สัญญาณเสียงจะถูกตัดออกไปมากกว่าหนึ่งความถี่ ซึ่งอาจทำให้สัญญาณเสียงมีความผิดเพี้ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่น (Transfer Function) ของวงจร แบนด์รีเจคฟิลเตอร์

$$H(s) = K(S^2 + W_z^2)/ (S^2 + (W_p / Q_p)S + W_p^2)$$

เมื่อ S คือ ความถี่ใดๆ

W_z คือ ความถี่คัทออฟ ของ ซีโร (Zero)

W_p คือ ความถี่คัทออฟ ของ โพล (Pole)

Q_p คือ ความคม ของ โพล (Quality Factor)

(W_p/Q_p) คือ แบนด์วิด (Bandwidth) ของวงจร

K คือ เกน (Gain) รวมของวงจร

จากวงจรของซาเลน และ คีย์ (Sallen and Key) ซึ่งเป็น ซัมมิ่งโฟล์แอมปลิฟายเออร์ไบควอด (Summing Four Amplifier Biquad) เมื่อเรากำหนดค่าต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไข เหล่านี้ จะทำให้เราได้วงจร แบนด์รีเจค ตามต้องการ

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{\frac{R_{10}}{R_8 R_2 R_4 C_1 C_2} + \frac{R_{10}}{R_7 R_4 C_1} S - \frac{R_{10}}{R_9} \left(S^2 + \frac{1}{R_1 C_1} S + \frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2} \right)}{S^2 + \frac{1}{R_1 C_1} S + \frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2}}$$

$(W_p/Q_p) = 1/(R_1 C_1)$

$W_p^2 = 1/(R_3 R_2 C_1 C_2)$

$K = R_{10}/R_9$

$W_z = W_p - R_9/(R_8 R_4 R_2 C_1 C_2)$

กำหนดค่าได้ดังนี้ $K = 1$

$C_1 = C_2$ $R_2 = R_3 = 1/W_p$

$R_9 = 1/KW_p$ $R_7 = R_{10} = 1/W_p$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R_3 = R_4$ $R_5 = \alpha$

$R_1 = Q_p/W_p$ $R_4 = KQ_p/W_p$

เพื่อให้เกนของ พาสแบนด์ทั้งสองช่วง(ก่อนถึงคัทออฟ และหลังจากคัทออฟ) มีค่าเท่ากัน เราต้องกำหนด $W_z = W_p$

และให้เกนรวมทั้งระบบ มีค่าเท่ากับ 1 เพื่อที่สามารถนำเอาเอาท์พุทจากส่วนนี้ ไปต่อเข้าแทนสัญญาณของ ไมโครโฟน ได้เหมือนไม่มีวงจรส่วนนี้อยู่

ให้ ค่า Q ของระบบเป็นค่าที่ ไม่ทำให้สัญญาณเสียงเกิดการผิดเพี้ยน หรือเป็นสัญญาณที่เรียบที่สุด (Maximally Flat) ใช้การประมาณค่าของบัทเตอร์เวอร์ท (Butterworth Approximation) ได้ว่า Q = 0.785

ให้ R_1 = 12.5 กิโลโอมห์

$R_2 = R_3$ = 530 โอมห์ ถึง 15.9 กิโลโอมห์

R_4 = 12.5 กิโลโอมห์

$R_5 = R_6$ = 10 กิโลโอมห์

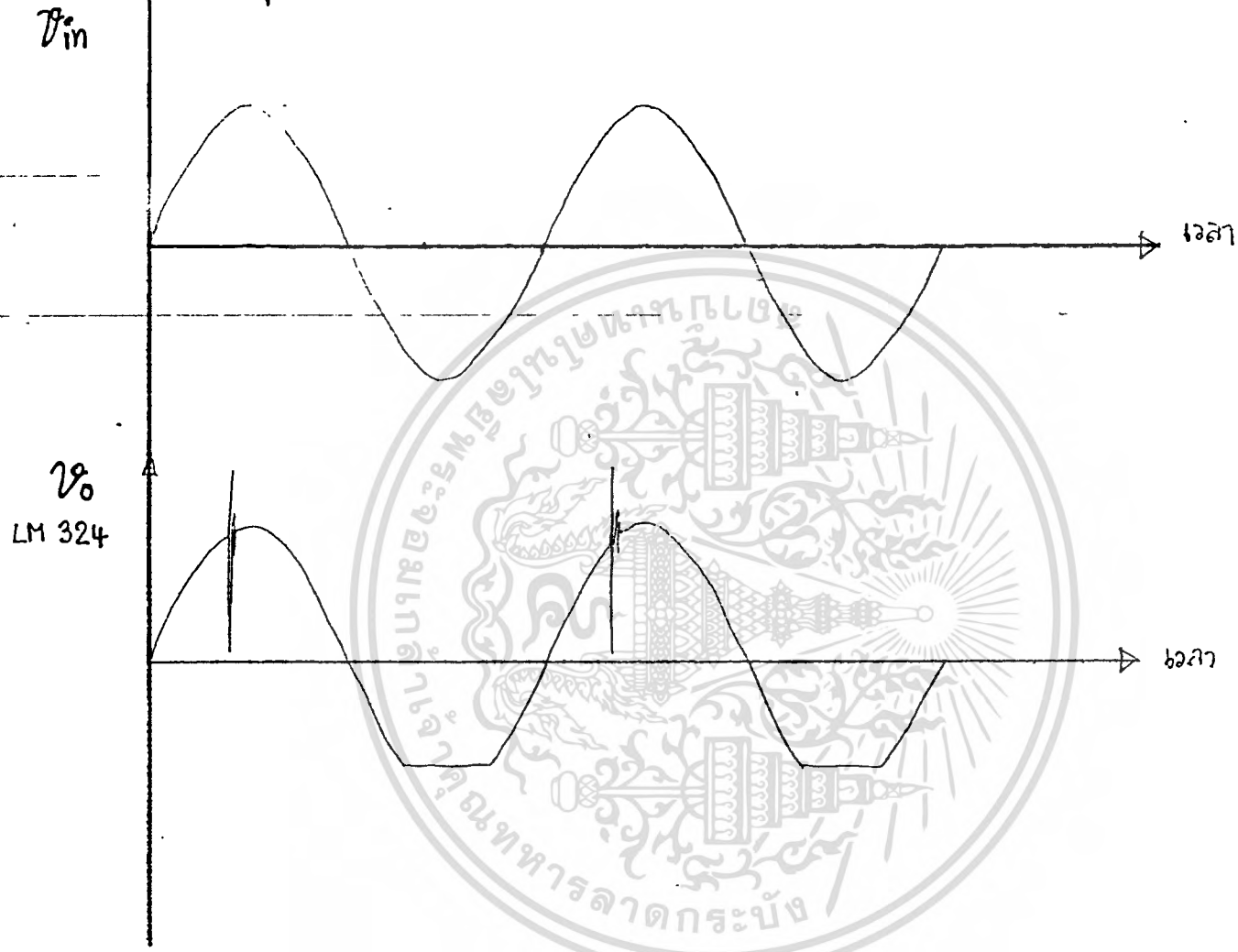
$R_7 = R_9 = R_{10}$ = 10 กิโลโอมห์

$C_1 = C_2$ = 0.1 ไมโครฟาหรัด

ผลการทดลอง

ในตอนแรก เราทำการทดลองโดยการ ป้อนสัญญาณสมมติแทน สัญญาณจาก ไมโครโฟน วัดผลการทดลองออกมา พบว่า สัญญาณที่ได้ออกมามีความผิดเพี้ยน (Distortion) สูง และอีกทั้ง สัญญาณทางซีกลบถูกขลิบ เร็วมาก กว่าซีกบวก ทำให้วงจรนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ตามต้องการ ดังที่ได้แสดงภาพสัญญาณ ในผลการทดลองหน้าถัดไป

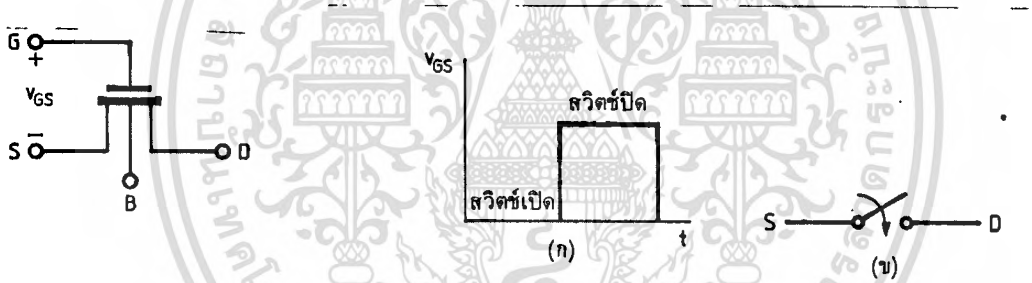
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


V_{in}
เวลา
V_o
LM 324
เวลา

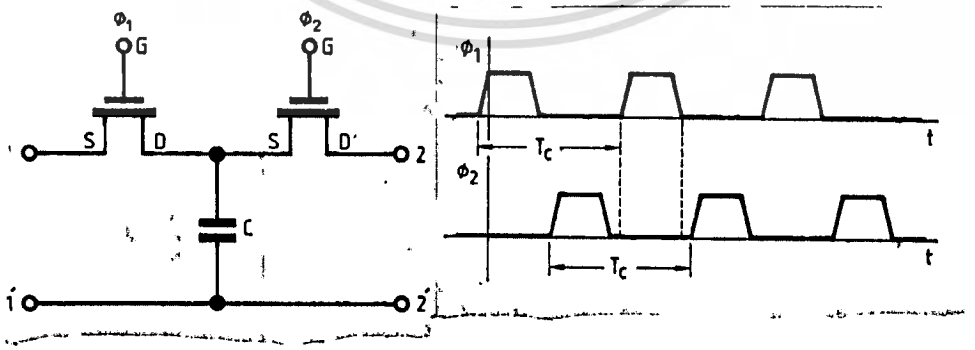
วงจร แบนด์รีเจคฟิลเตอร์ ด้วย สวิทช์คาปาซิเตอร์

หลักการทำงานของสวิทช์คาปาซิเตอร์

ใช้เทคโนโลยีของ มอส (MOS) โดย ความสัมพันธ์ของสวิทช์ กับ ตัวเก็บประจุ สวิทช์ที่ว่าเป็น มอสสวิทช์ คือทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นแบบ มอสเฟต (MOSFET) เพื่อให้มีการทำงานเป็นแบบสวิทช์เราจึงให้ การไบอัสระหว่างขา เกท กับขา ซอร์ส เป็นจังหวะสลับไปมาระหว่าง ไฟเลี้ยง กับ กราวน์ เพราะว่าเมื่อแรงดันระหว่าง เกท กับ ซอร์ส มากกว่าแรงดันวิกฤต เฟตตัวนี้จะปิด และถ้าแรงดันไม่มากกว่าแรงดันวิกฤต เฟตก็จะเปิด ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างภายใน และ หลักการทำงานเป็นสวิทช์ ของมอสเฟต

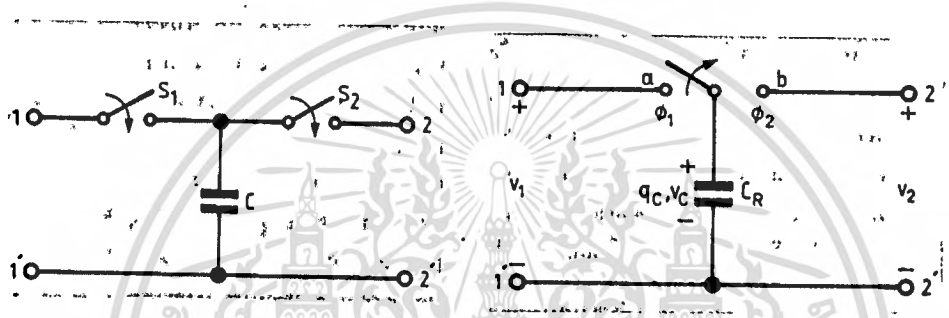


ภาพที่ 3 การต่อมอสกับตัวเก็บประจุ และสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้

ถ้าเราป้อน V_{GS} ด้วยสัญญาณนาฬิกาที่มีคาบเวลาคงที่ มอสสวิทช์นี้จะเปิด ปิด ด้วยคาบเวลาคงที่ด้วยเช่นกัน ขณะที่สวิทช์ปิด ความต้านทานระหว่างขาเดรน กับ ซอร์ส

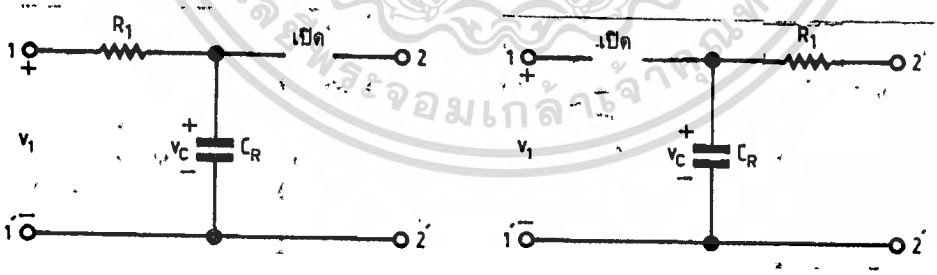
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จะมีค่าต่ำมาก ประมาณ 10 กิโลโอมห์ และขณะที่สวิทช์เปิด ความต้านทานจะสูงมาก ประมาณ 100 ถึง 1,000 เมกกะโอมห์ (แล้วแต่ชนิดของมอสเฟตด้วย) ถ้านำมอสเฟตนี้มาต่อกับตัวเก็บประจุดังภาพที่ 3 และให้สัญญาณนาฬิกา 2 สัญญาณที่ไม่มีส่วนใดเหลื่อมล้ำกัน (Non Overlap) แก่วงจร มอสสวิทช์นี้มันจะผลัดกันเปิด ปิด ซึ่งสามารถยุบเป็นสวิทช์ตัวเดียวได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการยุบมอสสวิทช์เป็นตัวเดียว

สวิทช์สองทางโยกไป มาด้วยความถี่นาฬิกา $f_c = 1/T_c$ สัญญาณอินพุทเป็น v_1 สัญญาณเอาท์พุทเป็น v_2



ภาพที่ 5 แสดงการทำงานของสวิทช์คาปาซิเตอร์ที่สามารถแทนได้ด้วยความต้านทาน

เมื่อสวิทช์ปิดไปทาง A ตามภาพที่ 5 ก

ตัวเก็บประจุมีค่าประมาณ 10^{-12} ฟาหรัด

ความต้านทานของมอสตัวที่ 1 ประมาณ 10 กิโลโอมห์

คาบเวลา $t_c = R_1 C = 10^4 * 10^{-12}$ วินาที

เมื่อสวิทช์ปิดไปทาง B (ภาพที่ 5 ข) แรงดันคายประจุเป็น v_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$Q = C(v_1 - v_2)$

คาบเวลาคายประจุ = T_c

กระแสเฉลี่ยเป็น $i(t) = (C(v_1 - v_2))/T_c$

ความต้านทานสมมูล $R = (v_1 - v_2)/i(t)$

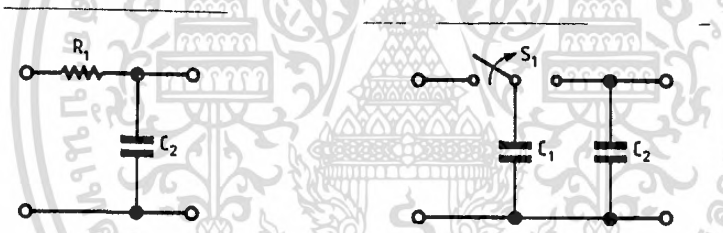
$= T_c / C$

$= 1/(f_c C)$

จะเห็นว่าสวิทช์คาปาซิเตอร์ สามารถแทนได้ด้วย ความต้านทานค่าหนึ่งซึ่งเปลี่ยนค่าไปตามสัญญาณนาฬิกา (ภาพที่ 5 ค)

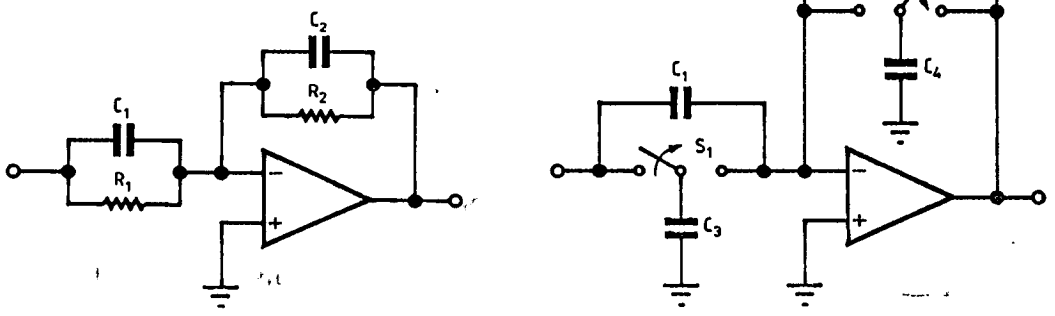
การนำสวิทช์คาปาซิเตอร์มาทำเป็นวงจรฟิลเตอร์

โดยการใช้สวิทช์คาปาซิเตอร์ แทน ความต้านทาน เช่น



ภาพที่ 6 วงจรโลพาสฟิลเตอร์ ประเภทอุปกรณ์พาสซีฟ

วงจรนี้สามารถปรับความถี่คัทออฟได้ด้วยสัญญาณนาฬิกา หรือสามารถใช้กับอุปกรณ์ประเภท แอกทีฟ ได้เช่น



ภาพที่ 7 วงจรแบนด์รีเจคฟิลเตอร์ ประเภท อุปกรณ์ แอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นการที่เผยแพร่ไว้บนอินเตอร์เน็ตเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนวงจรที่นำมาใช้งาน เป็นวงจรสำเร็จรูป ที่ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังภาพที่ 8 แบ่งการทำงานออกเป็น สองส่วนคือ ส่วน A และ B แยกกันโดยอิสระ ใช้แรงดันร่วมกันคือ ขา 7 และ 14 (ไฟบวก และไฟลบ ตามลำดับ) ของวงจร อนาลอก

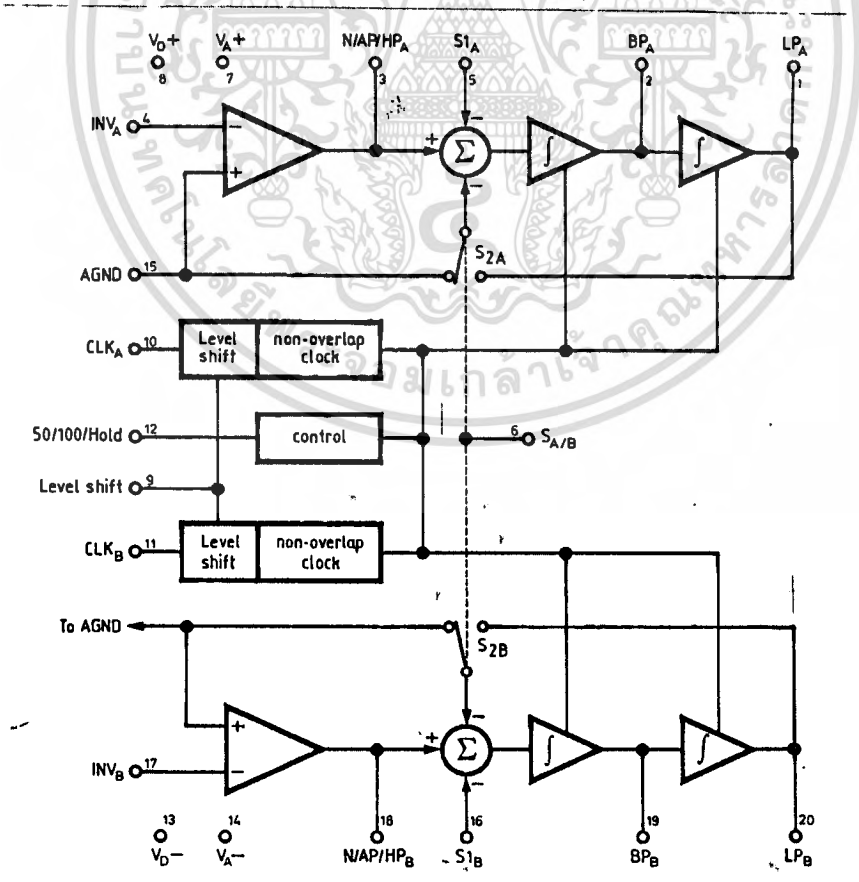
ขา 8 และ 13 (ไฟบวก และไฟลบ ตามลำดับ) ของวงจร ดิจิตอล

ขา 15 เป็น กราวน์

ขา 10 และ 11 เป็นที่ป้อนสัญญาณนาฬิกา ซึ่งจะผ่านเข้าไปยังวงจร ยกระดับที่มีขา 9 เป็นขาควบคุม และจะผ่านไปยังวงจรที่ทำให้ สัญญาณนาฬิกาเกิดการล้าหลัง (Lead Lag)กัน 90 องศา และไม่มีการเหลื่อมล้ำกัน (Non Overlap)

ขา 12 เป็นขาควบคุม อัตราส่วนของความถี่นาฬิกา กับ ความถี่คัทออฟว่าจะให้เป็นแบบ หาร 100 (เป็น อนาลอกกราวน์) หรือ หาร 50 (เป็น + 5 โวลต์)

ขา 4 และ 17 เป็นที่ป้อนสัญญาณที่ต้องการกรอง ซึ่งเป็นขาลบ ของออปแอมป์



ภาพที่ 8 แผนผังการทำงานภายในของ MF10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 3 และ 18 จะให้เอาท์พุท ของสัญญาณที่กรองแบบแบนด์รีเจค (Bandreject) แบบไฮพาส (High pass) และ แบบออลพาส (All pass) และยังเป็นอินพุทของวงจรขยายแบบรวม (ใช้สัญญลักษณ์ Σ)

ขา 2 และ 19 จะให้เอาท์พุท ของสัญญาณที่กรองแบบแบนด์พาส(Band pass)

ขา 1 และ 20 จะให้เอาท์พุท ของสัญญาณที่กรองแบบโลพาส(Lowpass)

ขา 5 และ 16 เป็นอินพุทของ Σ ที่มาจากภายนอก

ขา 6 เป็นส่วนที่ต่ออยู่กับสวิทช์ $S_{\Delta\Box}$ ที่ใช้สำหรับเลือกว่าจะให้สัญญาณป้อนกลับจากเอาท์พุทแบบโลพาส (เป็น + 5 โวลต์)หรือจะให้ต่อกับกราวน์ (เป็น - 5 โวลต์)

จะเห็นว่า MF 10 สามารถทำงานได้หลายแบบ เป็นวงจรกรองสัญญาณได้ทุกประเภท แล้วแต่เราจะเลือกใช้ และออกแบบ ในที่นี้เราเลือกใช้วงจร แบนด์รีเจคฟิลเตอร์ และได้ทำการคำนวณค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องใช้ได้ดังภาพที่ 9

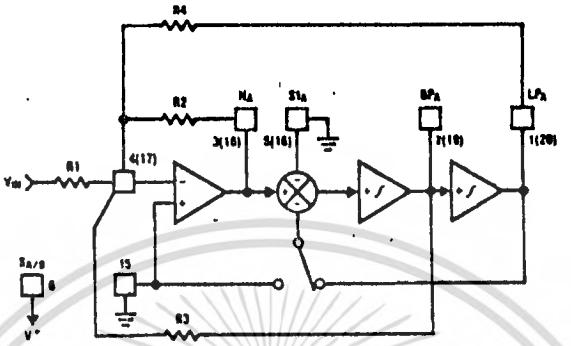
เพื่อแก้ไข ข้อบกพร่องของวงจรที่สร้างจากออปแอมป์ เราจึงหันมาพิจารณา ตัว MF 10 ซึ่งเป็นสวิทช์คาปาซิเตอร์แทน มีข้อดีคือ

- ไม่ต้องใช้ตัวเก็บประจุ ทำให้ไม่ต้องห่วงปัญหาเกี่ยวกับ การรั่วไหลของตัวเก็บประจุขณะนำไปใช้งาน
- เป็นวงจรที่มีความเที่ยงตรงสูง เชื่อถือได้
- ความถี่คัทออฟขึ้นอยู่กับ สัญญาณนาฬิกา ที่ป้อนให้กับวงจร ไม่ขึ้นกับความต้านทานเหมือนวงจรเก่า ทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ภายนอก
- ใช้อุปกรณ์น้อยลงกว่าแบบเดิม ถึงแม้ว่าจะต้องสร้างวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาเพิ่มขึ้นมาก็ตาม

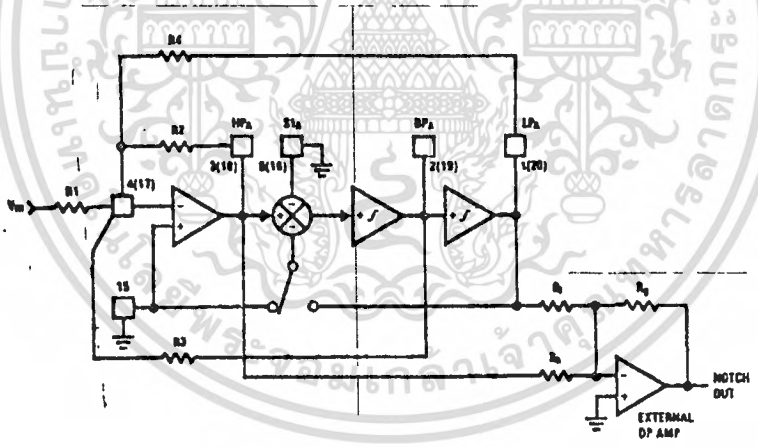
แต่ข้อเสีย ของวงจรนี้ก็มีอยู่เหมือนกัน คือ

- ตัวสวิทช์คาปาซิเตอร์ นี้ มีราคาค่อนข้างแพง และอาจหายากในท้องตลาดขณะนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



แบบที่ 1



แบบที่ 2

ภาพที่ 9 SECONDORDER BANDREJECT FILTER BY SWITCHEDCAPACITOR MF 10

การคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แบบที่ 1

f_o = ความถี่คัทออฟ

= $f_{CLK}/100$ หรือ $f_{CLK}/50$

Q = Quality Factor

= $\sqrt{(R_2R_4)+1} \;/\; (R_2/R_3)$

H_{ON1} = เกนของวงจรที่ความถี่ตั้งแต่ 0 เฮิตซ์ถึงความถี่คัทออฟ (Notch output gain as $f_o < f < 0$)

= $-(R_2/R_1) \;/\; ((R_2/R_4) + 1)$

H_{ON2} = เกนของวงจรที่ความถี่สูงกว่า ความถี่คัทออฟ Notch output gain as $f > f_o$)

แบบที่ 2

f_o = ความถี่คัทออฟ

= $(f_{CLK} * \sqrt{R_h}) \;/\; (100 * \sqrt{R_l})$ หรือ

$(f_{CLK} * \sqrt{R_h}) \;/\; (50 * \sqrt{R_l})$

Q = Quality Factor

= $(\sqrt{R_2 * R_3}) \;/\; (\sqrt{R_4 * R_2})$

H_{OLP} = $-(R_4/R_1)$

H_{OHP} = $-(R_2/R_1)$

H_{ON} = เกนของวงจรที่ $f = f_o$

= $\left|\left| Q\,((R_g/R_l)H_{OLP} - (R_g/R_h)H_{OHP}) \right|\right|$

H_{n1} = เกนของวงจรที่ความถี่ต่ำกว่า ความถี่คัทออฟ

= $(R_g/R_l) * H_{OLP}$

H_{n2} = เกนของวงจรที่ความถี่สูงกว่า ความถี่คัทออฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$= (R_g/R_h) * H_{OHP}$

เราเลือกใช้วงจรแบบที่สอง และเพื่อให้วงจรสามารถทำงานตามที่ต้องการ

ให้ $R_1 = 20$ กิโลโอมห์ เพื่อให้ $H_{OLP} = 1$ ดังนั้น

$R_4 = -H_{OLP} * R_1 = 20$ กิโลโอมห์

$R_2 = R_4 * (f_o)^2 / (f_{CLK} / 100)^2 = 7.1$ กิโลโอมห์

$Q = 0.785$

$R_3 = Q * \sqrt{(R_2 R_4)} = 9.4$ กิโลโอมห์

$R_g = 20$ กิโลโอมห์

$R_h = 20$ กิโลโอมห์

$R_f = 20$ กิโลโอมห์

เมื่อทำการทดลองจะพบว่า ค่าของความต้านทาน และการทำงานของวงจรมีความคลาดเคลื่อน ทำให้ค่าของความต้านทานที่ใช้ในวงจรไม่ได้เป็นไปตามทฤษฎี เมื่อลองทำการดัดแปลงค่าความต้านทานเพื่อให้มีคุณสมบัติตามต้องการ ทำให้เราได้ว่า

$R_g = 20$ กิโลโอมห์

$R_h = 22$ กิโลโอมห์

$R_1 = 8.2$ กิโลโอมห์

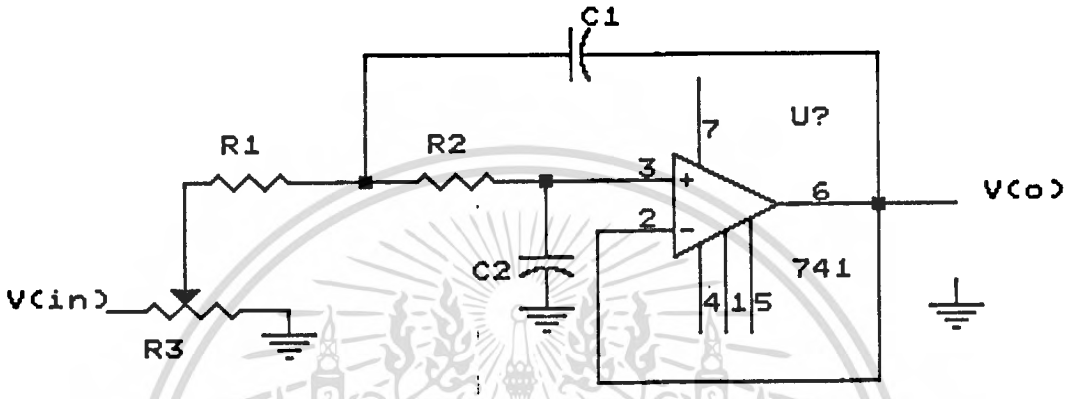
ออปแอมป์ที่ใช้เป็น ออปแอมป์เบอร์ LF 353 ซึ่งมี เฟตเป็นภาคอินพุท มีค่าความต้านทานอินพุทสูงมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดปัญหาตามมา

ทฤษฎี

วงจรโลพาสฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเซคกั้นออเดอร์โลพาสฟิลเตอร์ด้วยออปแอมป์



ภาพที่ 10 LOWPASS SALLEN AND KEY CIRCUIT

ในทางปฏิบัติงานจริง สัญญาณรบกวน (Noise) ความถี่สูงเกิดขึ้นในวงจร เราจึงจำเป็นต้องหาทางกำจัด และอีกทั้ง เราพบว่า สัญญาณเสียงไมโครโฟนที่เกิดการหอน นั้นมีความถี่อยู่ไม่เกิน 3 กิโลเฮิตซ์ ดังนั้นเราจึงจะทำการกำจัดสัญญาณเสียงที่ความถี่สูงเกิน 3 กิโลเฮิตซ์ออกไปด้วย วงจร เซคกั้นออเดอร์ โลพาสฟิลเตอร์ดังภาพ

การคำนวณ

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่น (Transfer Function) ของวงจรเซคกั้นออเดอร์โลพาสฟิลเตอร์คือ

เอกสารนี้จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$H(s) = W_p^2 / (S^2 + (W_p/Q_p)S + W_p^2)$$

จากวงจรของซาเลน และ คีย์ (Sallen and Key Circuit) เมื่อเรากำหนดค่าภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เราได้วงจร โลพาสฟิลเตอร์ตามต้องการ

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{k/R_1 R_2 C_1 C_2}{S^2 + S\left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2}\right) + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$W_p^2 = 1/ (R_1 R_2 C_1 C_2)$$

$$W_p/Q_p = (BW)_p = 1/(R_1 C_2) + 1/(R_2 C_1)$$

กำหนดค่าได้ดังนี้ $R_1 = R_2$

$C_1 = (2Q_p)/W_p$

$C_2 = 1/(2W_p Q_p)$

เพื่อที่จะทำการลดทอนสัญญาณให้มีค่าเท่ากับสัญญาณอินพุท เราจึงต่อวงจรเข้าไปอีก หนึ่งส่วน ดังภาพ ในส่วนของเนกาทีฟฟีดแบค (Negative Feedback) เราไม่ได้ต่อความต้านทานใด ๆไว้ เพื่อให้เกน ของวงจรเนื่องจากเนกาทีฟฟีดแบคมีค่าเป็น หนึ่ง

ด้วย การประมาณค่าแบบ บัทเตอร์เวอร์ท (Butterworth Approximation) เพื่อให้สัญญาณที่ได้เป็นแบบที่เรียบที่สุด (Maximally Flat)

ให้ $R_1 = 3.9$ กิโลโอมห์

$R_2 = 3.9$ กิโลโอมห์

$R_3 = 1.0$ กิโลโอมห์

$C_1 = 0.1$ ไมโครฟาหรัด

$C_2 = 0.001$ ไมโครฟาหรัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

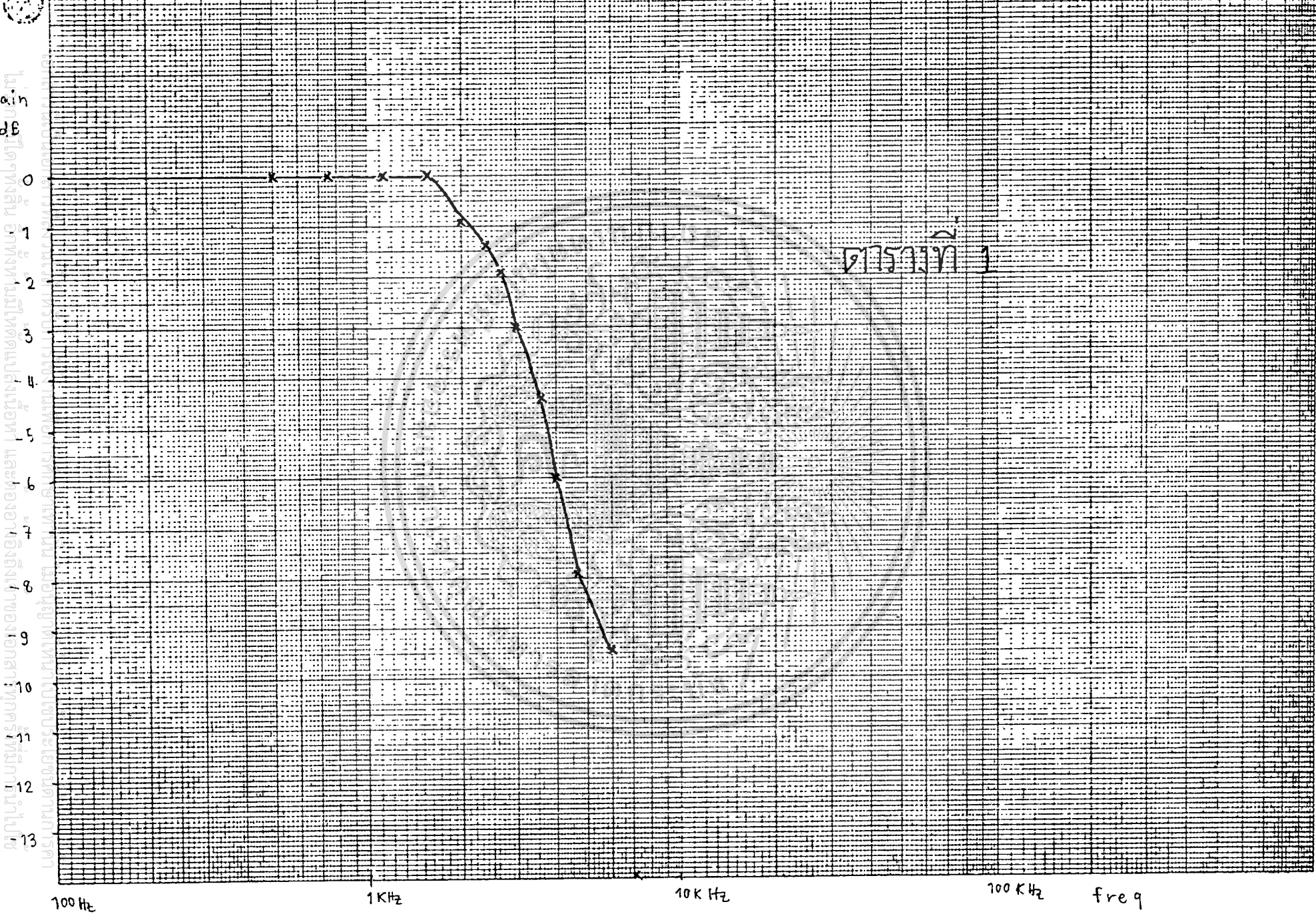
ผลการทดลอง

ตารางที่ 1

V_{in} = 0.2 โวลต์ (พีคทูพีค) ความถี่คัทออฟ = 3 กิโลเฮิตซ์

freq	V_{in}	V_{out}	gain
KHz	V_{pp}	V_{pp}	db
0.500	0.20	0.20	0
0.746	0.20	0.20	0
1.130	0.20	0.20	0
1.567	0.20	0.20	0
2.000	0.20	0.18	-0.915
2.380	0.20	0.17	-1.411
2.697	0.20	0.16	-1.938
3.039	0.20	0.14	-3.098
3.567	0.20	0.12	-4.436
4.034	0.20	0.10	-6.020
4.771	0.20	0.08	-7.958
5.986	0.20	0.06	-10.457
7.199	0.20	0.04	-13.979

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



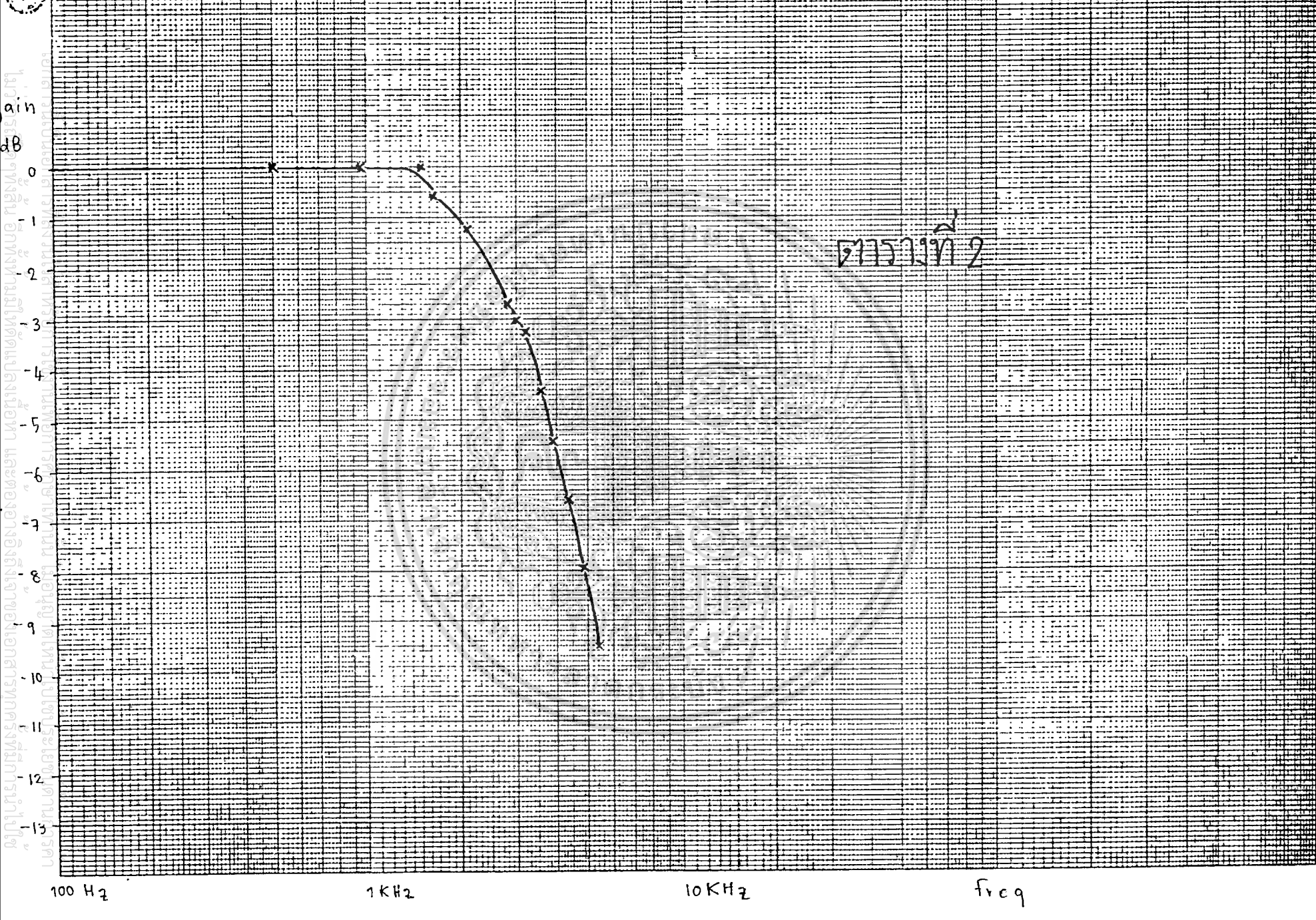
ตารางที่ 1

ตารางที่ 2

V_{in} = 0.3 โวลต์ (พีคทูพีค) ความถี่คัทออฟ = 3 กิโล.ฮิตซ์

freq	V_{in}	V_{out}	gain
KHz	V_{pp}	V_{pp}	db
0.500	0.30	0.30	0
0.961	0.30	0.30	0
1.500	0.30	0.30	0
1.657	0.30	0.28	-0.599
2.117	0.30	0.26	-1.242
2.525	0.30	0.24	-1.938
2.872	0.30	0.22	-2.693
3.046	0.30	0.21	-3.098
3.219	0.30	0.20	-3.251
3.562	0.30	0.18	-4.436
3.913	0.30	0.16	-5.460
4.431	0.30	0.14	-6.619
4.943	0.30	0.12	-7.958
5.462	0.30	0.10	-9.542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



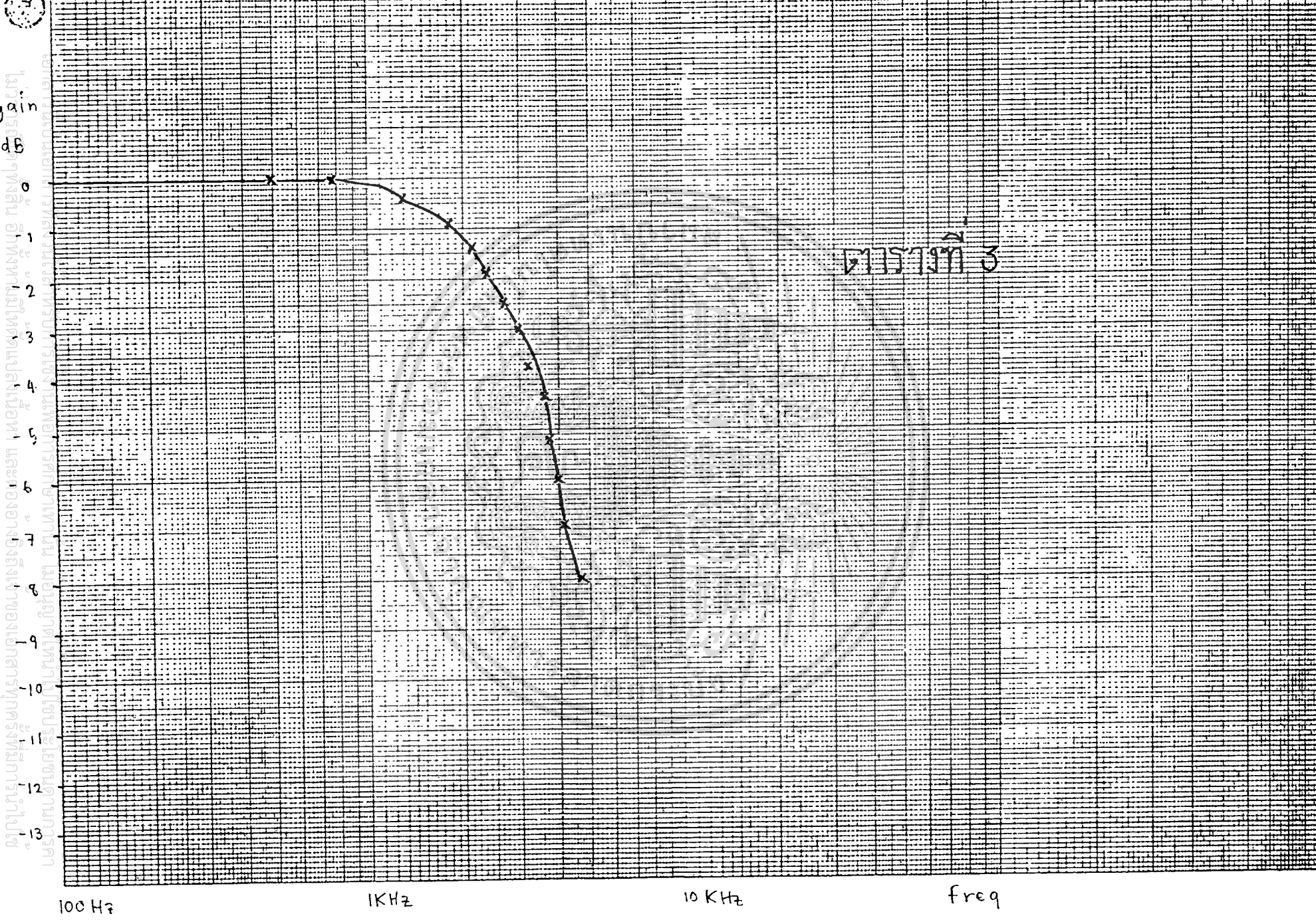
ตารางที่ 2

ตารางที่ 3

V_{in} = 0.4 โวลต์ (พีคทูพีค) ความถี่คัทออฟ = 3 กิโลเฮิตซ์

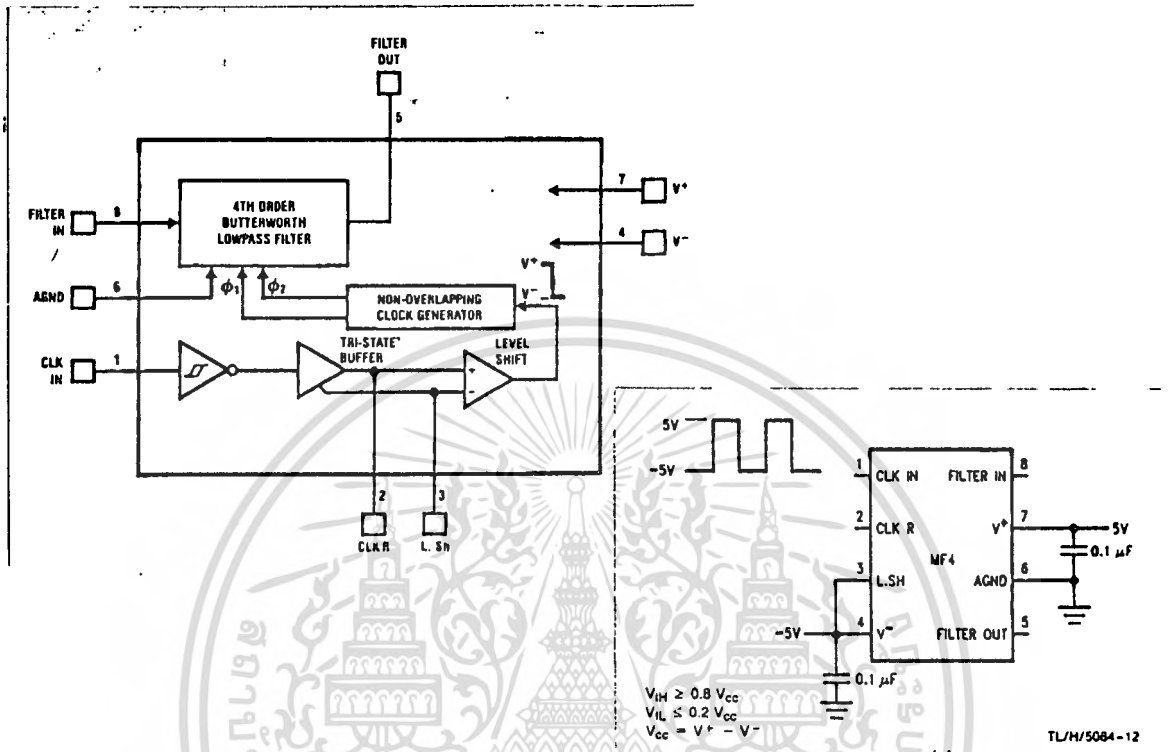
freq	V_{in}	V_{out}	gain
KHz	V_{pp}	V_{pp}	db
0.500	0.40	0.40	0
0.788	0.40	0.40	0
1.304	0.40	0.38	-0.445
1.828	0.40	0.36	-0.915
2.173	0.40	0.34	-1.411
2.423	0.40	0.32	-1.938
2.695	0.40	0.30	-2.498
3.042	0.40	0.28	-3.098
3.220	0.40	0.26	-3.741
3.569	0.40	0.24	-4.436
3.743	0.40	0.22	-5.192
3.971	0.40	0.20	-6.020
4.260	0.40	0.18	-6.935
4.750	0.40	0.16	-7.958

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 3

วงจรโฟทออเดอร์โลพาสฟิลเตอร์ด้วยสวิทช์คาปาซิเตอร์ MF 4



ภาพที่ 11 FOURTH ODER LOWPASS FILTER BY SWITCHEDCAPACITOR MF4

จากวงจรเซคกั้นออเดอร์โลพาสฟิลเตอร์ด้วยออปแอมป์ เราพบปัญหาที่ว่าวงจรมีค่า Q ค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากเป็นวงจร เซคกั้นออเดอร์ เราจึงเปลี่ยนมาเป็นวงจร โฟทออเดอร์แทน เพื่อให้ค่า Q สูงขึ้นอีก

โดยหลักการทำงานเช่นเดียวกับ MF 10 ที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว MF 4 ทำหน้าที่แตกต่างจาก MF 10 เพียงแค่ เป็นได้แต่โลพาสฟิลเตอร์และ เป็นโฟทออเดอร์เท่านั้น เราจึงนำมาใช้ในวงจรส่วนโลพาสนี้แทน

วงจรนี้ง่ายต่อการควบคุม เพราะใช้ วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา จาก ไอซี ไทม์เมอร์ 555 เพียงตัวเดียว ใส่สัญญาณอินพุทเพียงตัวเดียวก็ให้สัญญาณเอาท์พุทที่เป็นโลพาสฟิลเตอร์ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

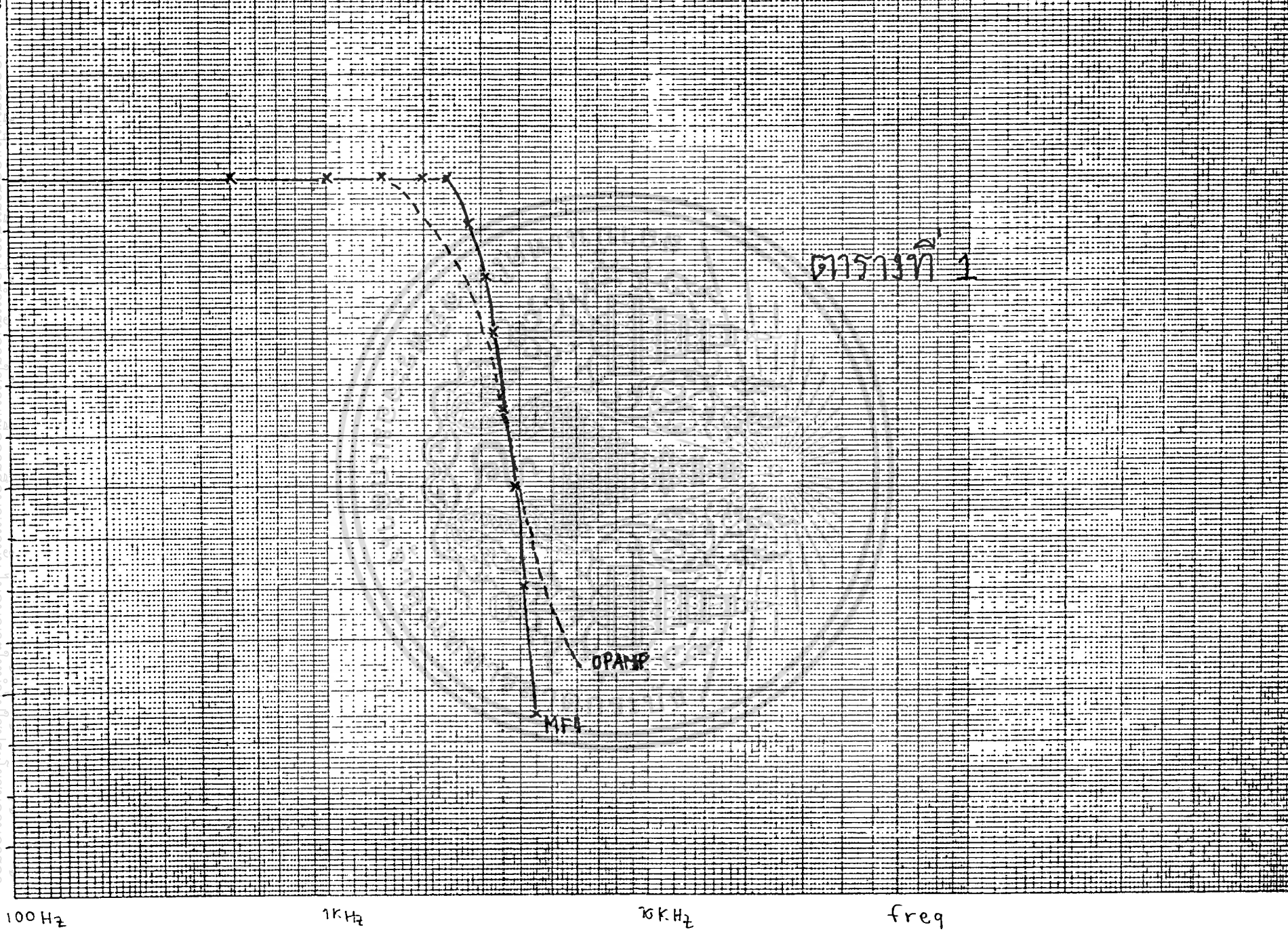
ผลการทดลอง

ตารางที่ 1

V_{in} = 0.2 โวลต์ (พีคทูพีค) ความถี่คัทออฟ = 3 กิโลเฮิตซ์

freq	V_{in}	V_{out}	gain
KHz	V_{pp}	V_{pp}	db
0.500	0.20	0.20	0
1.000	0.20	0.20	0
1.500	0.20	0.20	0
2.000	0.20	0.20	0
2.380	0.20	0.20	0
2.777	0.20	0.18	-0.915
3.125	0.20	0.16	-1.939
3.333	0.20	0.14	-3.098
3.571	0.20	0.12	-4.436
3.846	0.20	0.10	-6.020
4.166	0.20	0.08	-7.958
4.545	0.20	0.06	-10.457

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า


gain
dB
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
100 Hz
1KHz
20KHz
freq
OPAMP
MFB

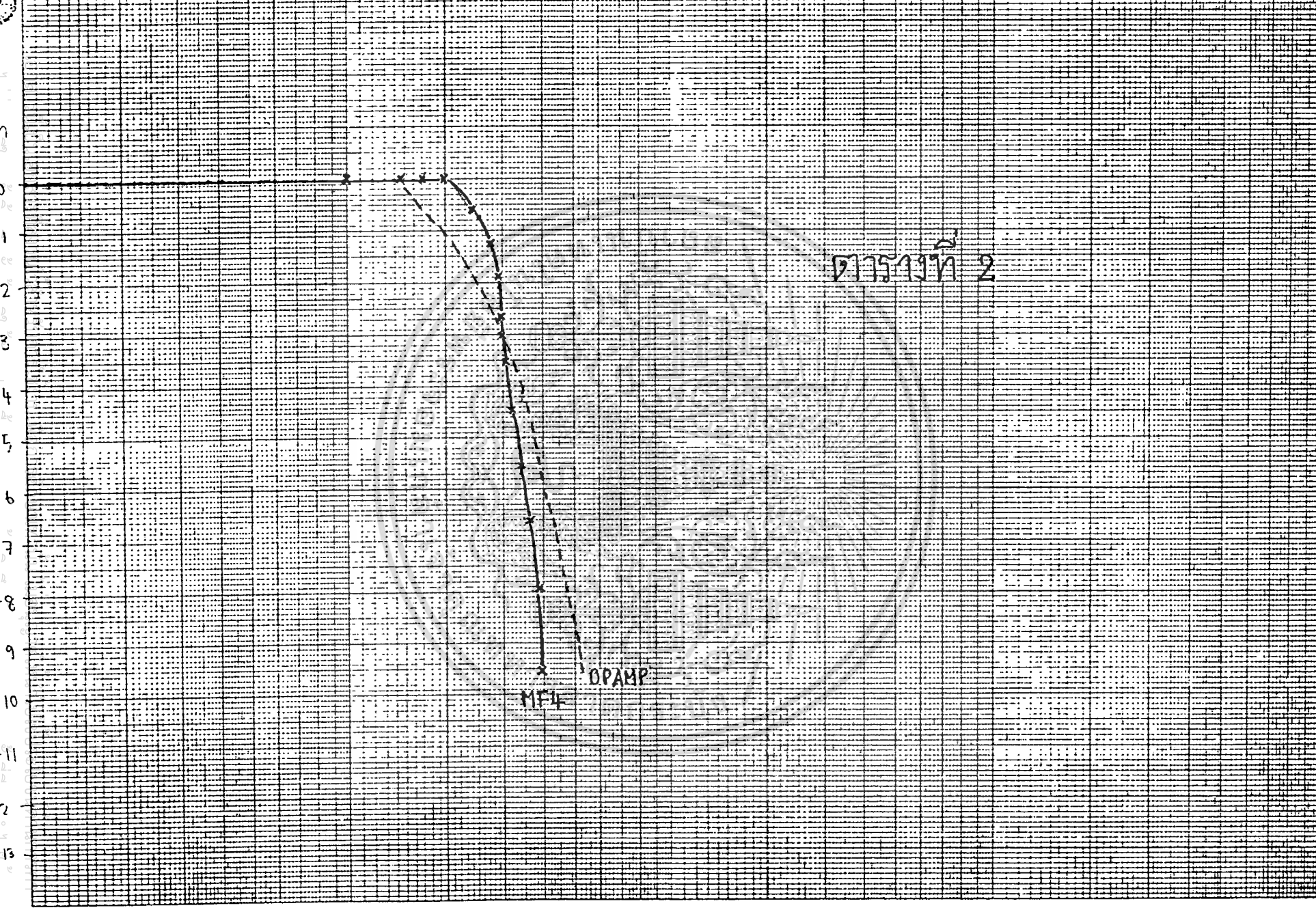
ตารางที่ 1

ตารางที่ 2

V_{in} = 0.3 โวลต์ (พีคทูพีค) ความถี่คัทออฟ = 3 กิโลเฮิตซ์

freq	V_{in}	V_{out}	gain
KHz	V_{pp}	V_{pp}	db
1.000	0.30	0.30	0
1.470	0.30	0.30	0
1.724	0.30	0.30	0
2.000	0.30	0.30	0
2.380	0.30	0.28	-0.599
2.777	0.30	0.26	-1.242
2.941	0.30	0.24	-1.938
3.030	0.30	0.22	-2.693
3.076	0.30	0.21	-3.098
3.125	0.30	0.20	-3.521
3.333	0.30	0.18	-4.436
3.448	0.30	0.16	-5.460
3.703	0.30	0.14	-6.619
3.846	0.30	0.12	-7.958
4.000	0.30	0.10	-9.542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



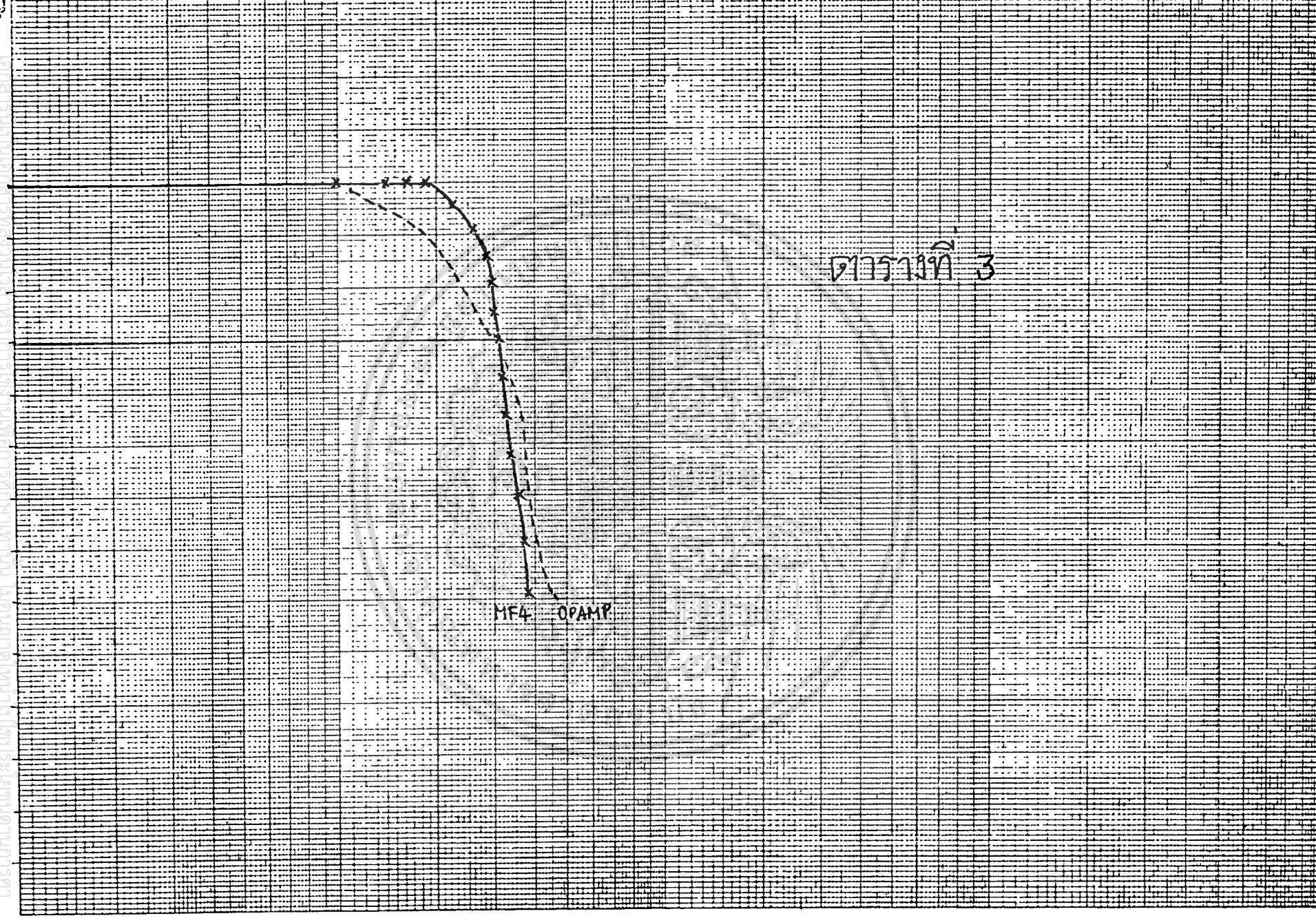
ภาพที่ 2

ตารางที่ 3

V_{in} = 0.3 โวลต์ (พีคทูพีค) ความถี่คัทออฟ = 3 กิโลเฮิตซ์

freq	V_{in}	V_{out}	gain
KHz	V_{pp}	V_{pp}	db
1.000	0.40	0.40	0
1.428	0.40	0.40	0
1.666	0.40	0.40	0
1.851	0.40	0.40	0
2.272	0.40	0.38	-0.445
2.631	0.40	0.36	-0.915
2.857	0.40	0.34	-1.411
2.941	0.40	0.32	-1.938
3.030	0.40	0.30	-2.498
3.125	0.40	0.28	-3.098
3.225	0.40	0.26	-3.741
3.333	0.40	0.24	-4.436
3.448	0.40	0.22	-5.192
3.571	0.40	0.20	-6.020
3.703	0.40	0.18	-6.935
3.846	0.40	0.16	-7.958

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

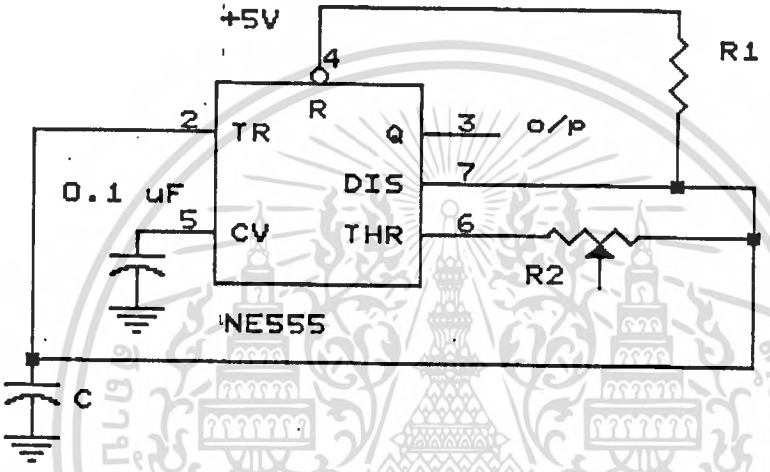


ตารางที่ 3

ทฤษฎี

วงจรอื่น ๆ ที่ใช้ประกอบ

วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา



ภาพที่ 12 ASTABLE MULTIVIBRATOR (CLOCK GENNERATOR) BY TIMER 555

โดยการที่ให้ R_2 แปลงค่าได้ เราจะสามารถสร้างสัญญาณนาฬิกาแบบปรับความถี่ได้ตามสมการ

$$freq = 1.44/ (R_1+2R_2)C$$

ให้ C = 0.001 ไมโครฟาหรัด

R_1 = 1.2 กิโลโอมห์

ดังนั้น เพื่อให้ความถี่แปลงค่าได้ตั้งแต่ 100 เฮิตซ์ ถึง 3 กิโลเฮิตซ์เราต้องใช้ R_2 แปลงค่าได้ตั้งแต่ 1 โอมห์ ถึง 50 กิโลโอมห์

วงจรดังกล่าวให้สัญญาณนาฬิกาที่มีดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ที่ไม่เป็น 50% เพราะ R_1 ไม่เท่ากับ R_2 เราจึงนำไปผ่านวงจรหารโดย ดีฟลิบฟลอบ (D Flip Flop) ดังภาพ และเพื่อให้ได้สัญญาณที่มีค่าอยู่ระหว่าง -5 โวลต์ ถึง +5 โวลต์ เราจึงต้องใช้ ไอซี ซีมอส (CMOS) และให้ กราวน์ในวงจรเป็น -5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทน (คือไม่ได้ต่อกราวน์ของวงจรนี้เข้ากับ กราวน์ของระบบ) นั่นเอง

เช่นเดียวกับ วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ควบคุม MF 4 ต่างกันตรงที่วงจรนี้เราต้องการ ความถี่คัทออฟเพียงความถี่เดียว ดังนั้น R_2 ที่ใช้จึงไม่จำเป็นต้องแปลงค่าได้

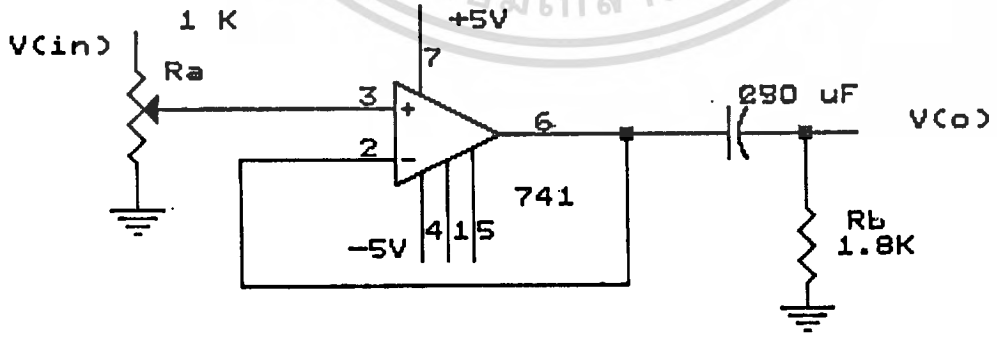
ให้ R_1 = 3.9 กิโลโอมห์

R_2 = 3.9 กิโลโอมห์

C = 230 นิโครฟาหรัด

ปัญหาที่เราพบในวงจรนี้คือ ถึงแม้ว่าเราจะให้ $R_1 = R_2$ ซึ่งตามทฤษฎีแล้ว ดิวตี้ไซเคิลที่ได้จะเท่ากับ 50% ก็ยังพบว่าสัญญาณนาฬิกาที่ได้มีดิวตี้ไซเคิลเกิน 50% อยู่ เราจึงต้องทำการออกแบบวงจรใหม่ให้มี ความถี่เป็น 2 เท่า แล้วนำไปหารสองเช่นเดียวกับวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาของ MF 10 ซึ่งพบว่าการทำเช่นนี้ จะทำให้สัญญาณนาฬิกาที่ได้มีความเสถียรภาพทางด้านความถี่ดีขึ้นกว่าเดิมมาก

วงจรบัฟเฟอร์ และวงจรลดทอนสัญญาณ



ภาพที่ 13 BUFFER AND ATTENUATION CIRCUIT BY OP AMP LM 741

ในภาคสุดท้ายของวงจรนี้ เพื่อให้วงจร มีการทำงานในทางปฏิบัติดีที่สุด เราจึงควรที่จะต่อวงจรบัฟเฟอร์ไว้ด้วย แล้วเพื่อทำการลดทอนสัญญาณให้มีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สัญญาณที่อินพุท เราจึงต่อวงจรดังภาพ ไว้เป็นภาคสุดท้าย ซึ่งสามารถนำเอาเอาท์พุทไปต่อเข้ากับ ภาคปลีแอมปลิฟายเออร์ ได้โดยตรง

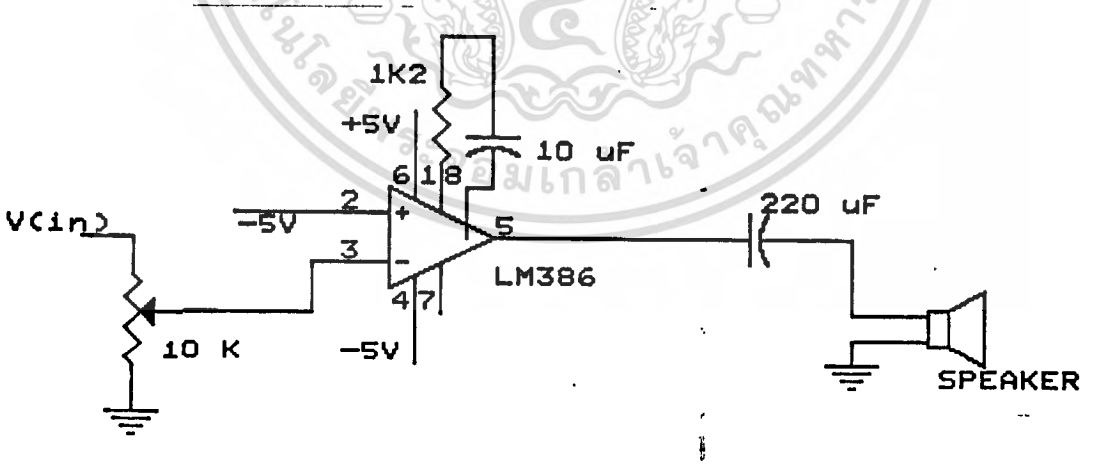
วงจรประกอบด้วย สามส่วน คือ

1. ส่วน ลดทอน คือ ความต้านทานปรับค่าได้ $R_{\text{ก}}$

2. ส่วน บัฟเฟอร์ คือ ออปแอมป์ที่ต่อแบบ โพซิทีปฟีดแบค (Positive Feedback) เอาไว้

3. ส่วน ฟิลเตอร์ คือ ความต้านทาน $R_{\text{ข}}$ และ ตัวเก็บประจุ $C_{\text{ก}}$ ที่ต่อเป็น ไอพาสฟิลเตอร์ กรองสัญญาณระดับต่ำ (DC) ไม่ให้ผ่านเข้าไป รบกวนวงจรส่วนอื่น ๆ เช่น ลำโพง เพราะถ้า สัญญาณระดับต่ำ (DC) เข้าไปในลำโพง จะทำให้ลำโพงเสียหาย หรือเข้าไปใน ภาคปลีแอมปลิฟายเออร์ ก็จะทำให้วงจรภาคนั้นเสียหาย

วงจรเพาเวอร์แอมปลิฟายเออร์



ภาพที่ 14 POWER AMPLIFIER BY OP AMP LM 386

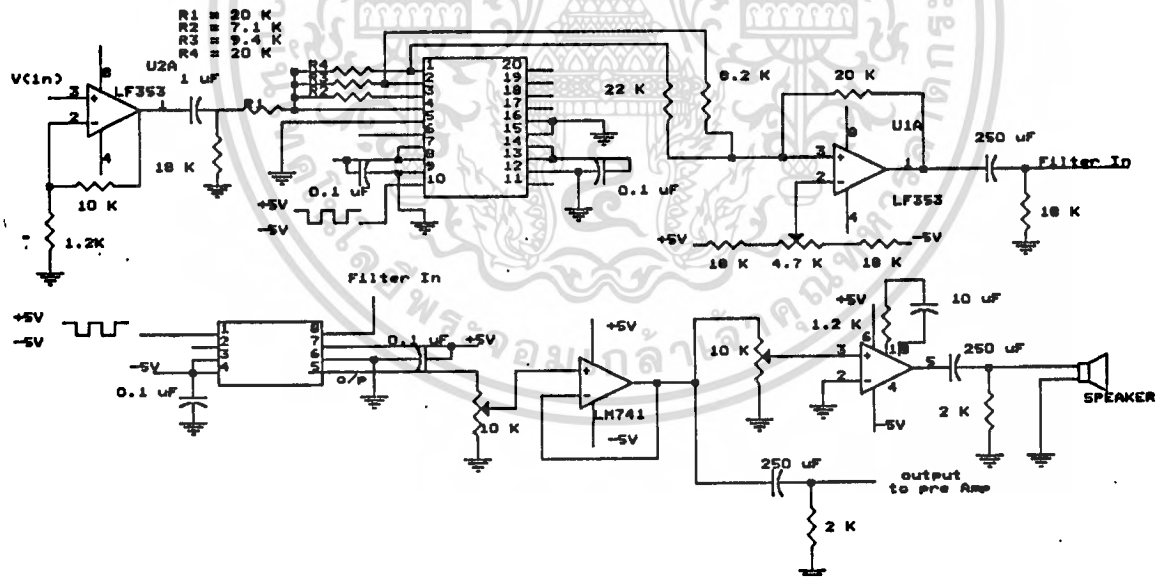
จากสัญญาณที่ได้จากเอาท์พุทของวงจร แบนด์รีเจคฟิลเตอร์ สามารถนำกลับไปผ่าน ภาคปลีแอมปลิฟานเออร์ และ ภาคเพาเวอร์แอมปลิฟายเออร์ของเครื่องเสียงได้เหมือนเดิม แต่เพื่อความสะดวกของผู้ใช้งาน เราจึงต่อภาค เพาเวอร์แอมปลิฟายเออร์ ไว้ให้ในอุปกรณ์ชิ้นนี้ เพื่อให้สามารถต่อเข้ากับลำโพงได้โดยตรง โดยไม่ต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ภาคปลีแอมปลิฟายเออร์ และเพาเวอร์แอมปลิฟายเออร์จากภายนอก

ในการปรับเกน (Gain) ของวงจรนี้เราทำโดยการ ลดทอนสัญญาณที่อินพุทก่อนเข้าวงจรขยาย วงจรขยายนี้สามารถ ขยายสัญญาณได้ถึง 50 เท่า ซึ่งเมื่อ ทำการทดลองดูก็จะพบว่า สัญญาณอินพุทค่าสูงสุด ที่ยังไม่ทำให้สัญญาณถูกขลิบอันเนื่องมาจากไฟเลี้ยงของวงจร มีค่าเท่ากับ 0.2 โวลต์ (พีคทูพีค) เท่านั้นเอง แต่เมื่อทดลองต่อเข้ากับลำโพง ก็พบว่าการที่สัญญาณถูกขลิบไม่มีผลต่อความเพี้ยนของเสียงเลย

วงจรรวมที่สมบูรณ์ ของเครื่องกันสัญญาณหอนของไมโครโฟน (Feedback Blocking) คือ



FEEDBACK BLOCKING CIRCUIT

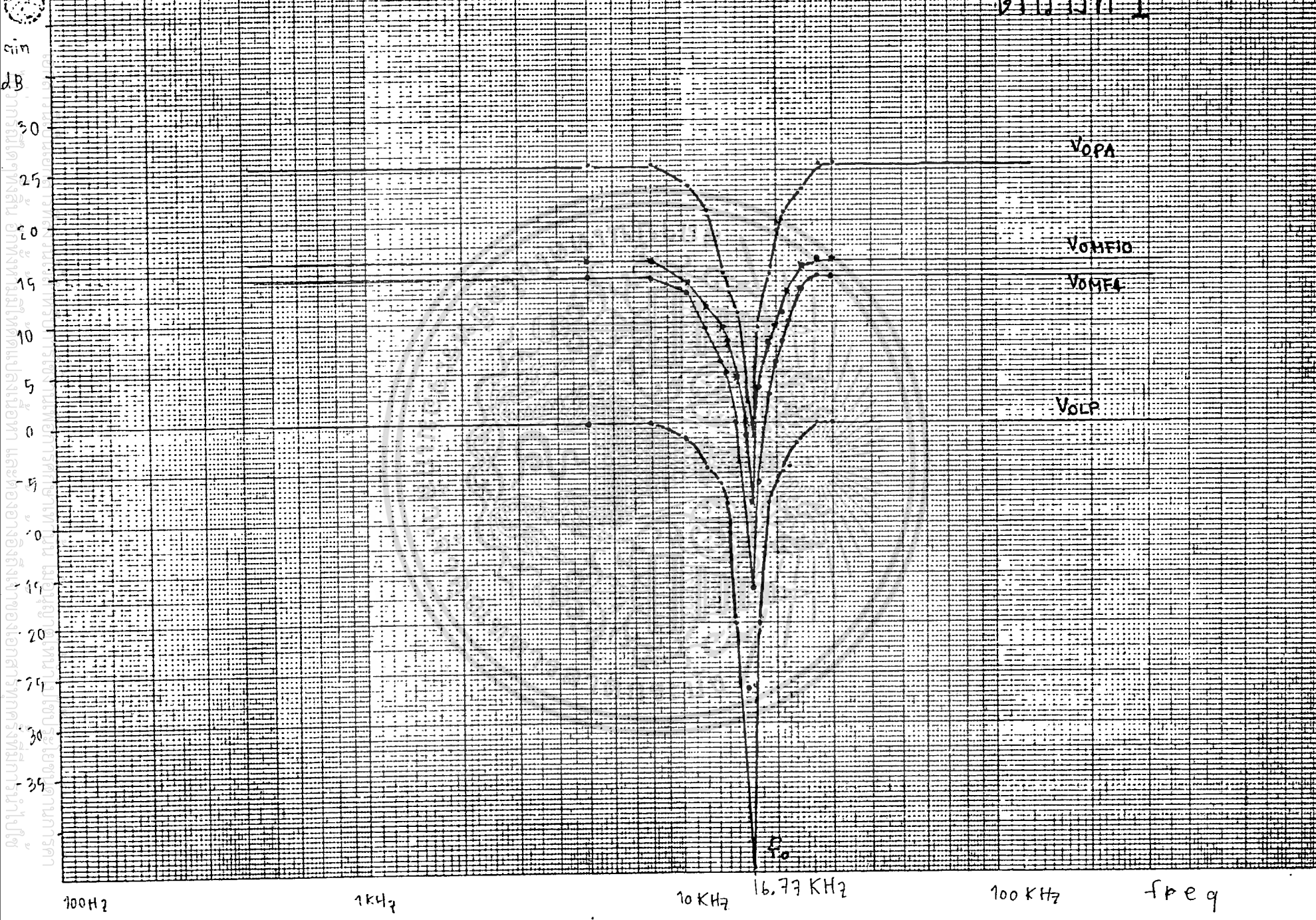
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ 1

V_{in} = 0.2 โวลต์ (พีคทูพีค) ความถี่ = 333.33 เฮิตซ์(คาบ = 3 มิลลิเซคกั้น).

V_{in}	Freq	V_{oMF10}	V_{oMF4}	V_{oLP}	V_{oPA}
V_{pp}	KHz	V_{pp}	V_{pp}	V_{pp}	V_{pp}
0.2	5.078	1.30	1.10	0.20	3.80
0.2	8.156	1.30	1.10	0.20	3.80
0.2	10.638	1.00	0.90	0.17	3.00
0.2	12.395	0.76	0.60	0.12	2.20
0.2	13.437	0.60	0.40	0.10	1.10
0.2	14.085	0.50	0.36	0.08	0.90
0.2	15.115	0.34	0.20	0.02	0.70
0.2	16.072	0.20	0.18	0.01	0.20
0.2	16.771	0.08	0.03	0	0.18
0.2	17.529	0.30	0.10	0.02	0.06
0.2	18.937	0.50	0.30	0.08	0.94
0.2	19.687	0.60	0.40	0.10	1.10
0.2	20.804	0.70	0.50	0.11	1.80
0.2	21.581	0.90	0.65	0.12	2.20
0.2	24.742	1.20	0.94	0.16	2.90
0.2	27.316	1.30	1.10	0.20	3.80
0.2	30.076	1.30	1.10	0.20	3.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

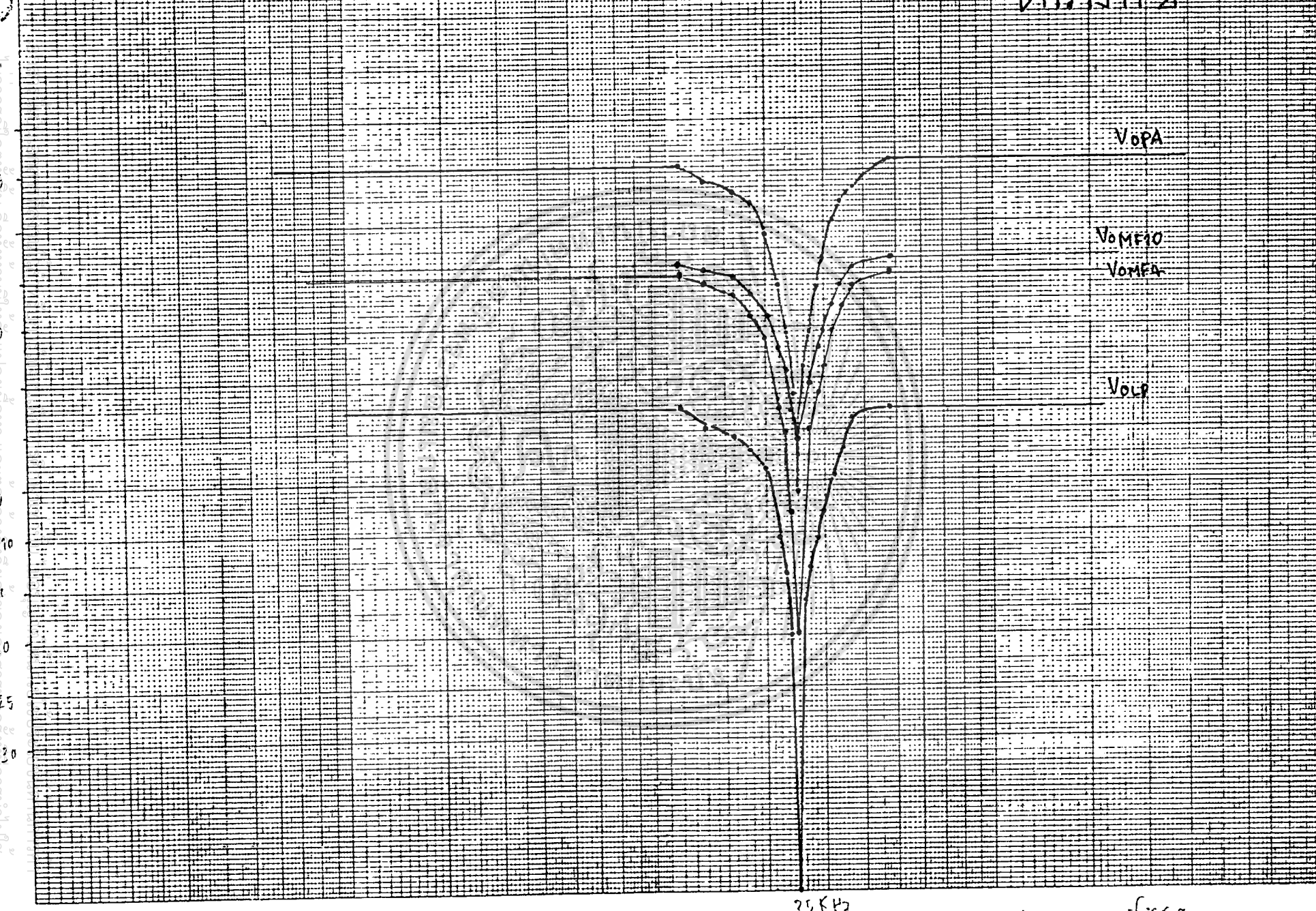

Gain
dB
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
VOPA
VOMFIO
VOMF4
VOLP
fo
100Hz
1KHz
10KHz
16.77 KHz
100KHz
freq

ตารางที่ 2

V_{in} = 0.2 โวลต์ (พีคทูพีค) ความถี่ = 500 เฮิตซ์(คาบ = 2 มิลลิเซคกั้น)

V_{in}	Freq	V_{oMF10}	V_{oMF4}	V_{oLP}	V_{oPA}
V_{pp}	KHz	V_{pp}	V_{pp}	V_{pp}	V_{pp}
0.2	10.093	1.30	1.10	0.25	3.80
0.2	13.665	1.20	1.00	0.20	3.20
0.2	16.095	1.10	0.90	0.19	3.10
0.2	18.285	0.90	0.70	0.16	2.50
0.2	20.685	0.70	0.55	0.13	1.75
0.2	22.573	0.50	0.28	0.06	1.00
0.2	23.566	0.40	0.20	0.04	0.60
0.2	24.335	0.25	0.08	0.02	0.30
0.2	25.114	0.18	0.02	0	0.10
0.2	26.427	0.20	0.10	0.03	0.40
0.2	27.405	0.35	0.20	0.04	0.60
0.2	28.899	0.50	0.30	0.06	1.00
0.2	29.961	0.60	0.40	0.08	1.35
0.2	32.672	0.80	0.60	0.12	2.00
0.2	34.665	1.00	0.80	0.14	2.50
0.2	37.391	1.20	1.00	0.18	3.00
0.2	47.637	1.30	1.10	0.25	3.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

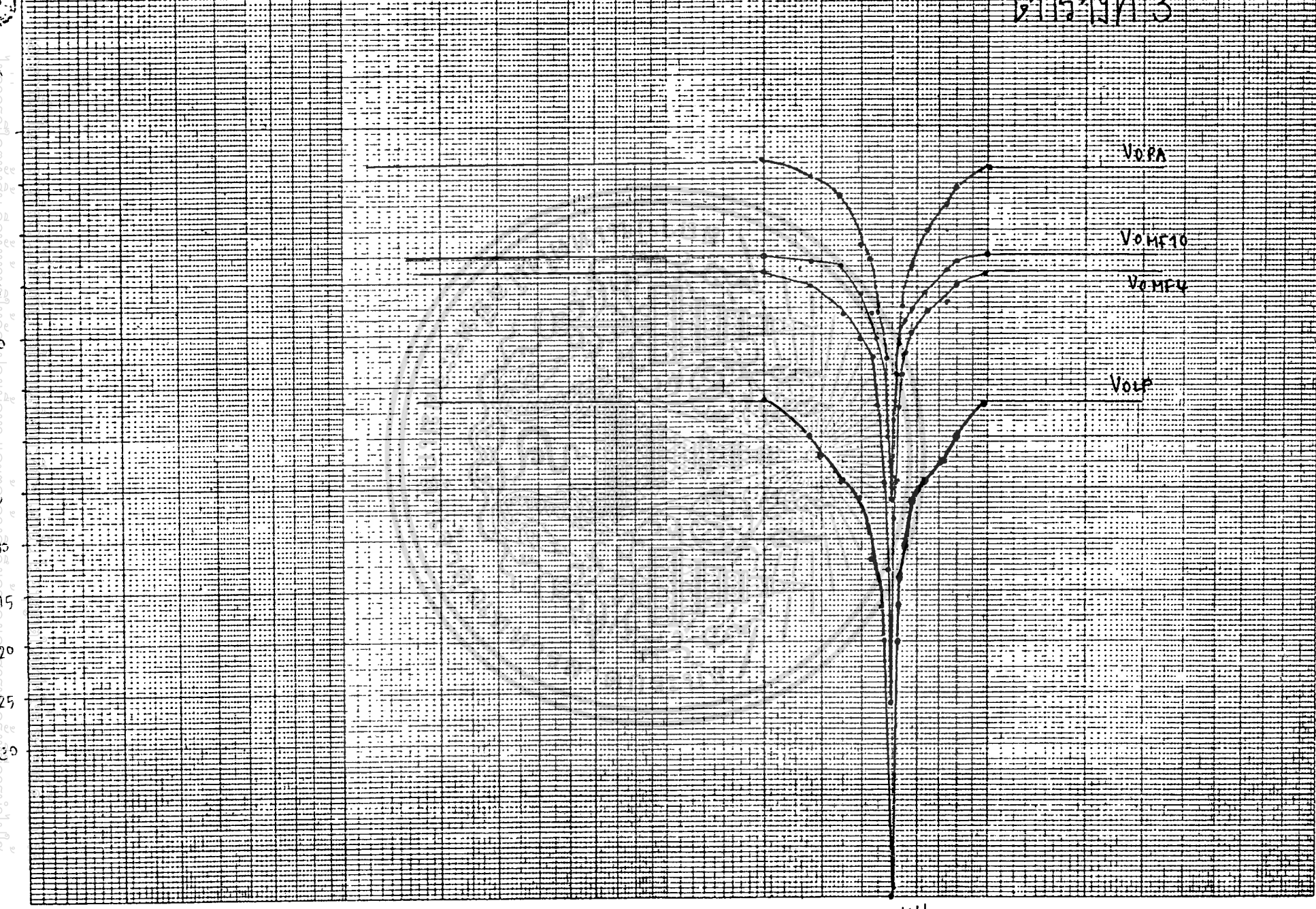

VoPA
VoMF10
VoMFA
VoLP
25 kHz

ตารางที่ 3

V_{in} = 0.2 โวลต์ (พีคทูพีค) ความถี่ = 1 กิโลเฮิตซ์ (คาบ = 1 มิลลิเซคกั้น)

V_{in}	Freq	V_{oMF10}	V_{oMF4}	V_{oLP}	V_{oPA}
V_{pp}	KHz	V_{pp}	V_{pp}	V_{pp}	V_{pp}
0.2	20.260	1.50	1.30	0.30	4.40
0.2	28.325	1.40	1.10	0.20	3.70
0.2	35.778	1.30	0.80	0.16	2.80
0.2	40.788	1.00	0.60	0.12	1.70
0.2	43.093	0.80	0.50	0.10	1.40
0.2	45.843	0.60	0.30	0.05	0.80
0.2	48.020	0.40	0.12	0.03	0.50
0.2	49.290	0.20	0.08	0.02	0.20
0.2	50.120	0.12	0.01	0	0.10
0.2	51.625	0.30	0.08	0.02	0.24
0.2	52.667	0.50	0.12	0.03	0.36
0.2	53.488	0.60	0.30	0.04	0.55
0.2	55.586	0.70	0.40	0.06	0.90
0.2	58.438	0.80	0.50	0.10	1.30
0.2	64.386	1.00	0.70	0.12	2.00
0.2	74.568	1.30	0.80	0.15	2.60
0.2	80.472	1.40	0.90	0.20	2.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

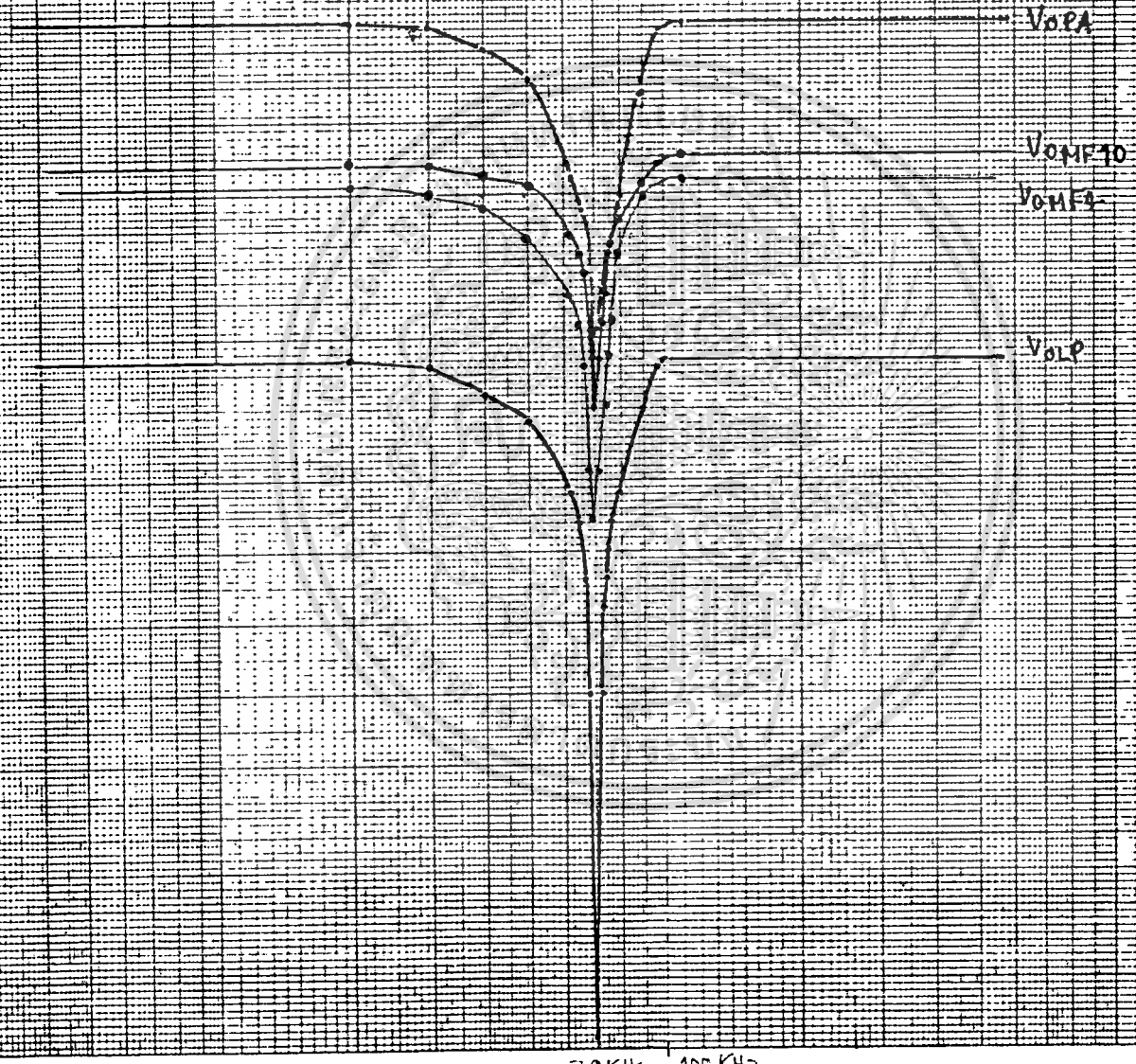

VORA
VOMF10
VOMF4
VOLF

ตารางที่ 4

V_{in} = 0.2 โวลต์ (พีคทูพีค) ความถี่ = 1.4 กิโลเฮิตซ์(คาบ = 0.7 มิลลิเซคกั้น)

V_{in}	Freq	V_{oMP10}	V_{oMP4}	V_{oLP}	V_{oPA}
V_{pp}	KHz	V_{pp}	V_{pp}	V_{pp}	V_{pp}
0.2	20.224	1.40	1.20	0.30	4.40
0.2	30.575	1.40	1.10	0.28	4.20
0.2	40.318	1.30	1.10	0.22	3.60
0.2	50.489	1.20	0.80	0.18	2.80
0.2	62.587	0.80	0.50	0.10	1.30
0.2	65.231	0.70	0.40	0.08	1.00
0.2	67.890	0.60	0.30	0.05	0.60
0.2	69.010	0.40	0.12	0.02	0.30
0.2	70.129	0.20	0.08	0	0.20
0.2	72.276	0.30	0.08	0.02	0.30
0.2	73.502	0.40	0.10	0.04	0.40
0.2	74.921	0.50	0.20	0.05	0.50
0.2	76.978	0.70	0.30	0.08	0.80
0.2	80.745	0.90	0.40	0.10	1.10
0.2	90.463	1.20	0.70	0.20	2.80
0.2	97.788	1.50	1.30	0.28	4.20
0.2	100.786	1.50	1.30	0.30	4.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


VOPA
VOMF10
VOHF2
VOLP

ตารางที่ 5

V_{in} = 0.2 โวลต์ (พีคทูพีค) สัญญาณนาฬิกา = 61.7 กิโลเฮิตซ์

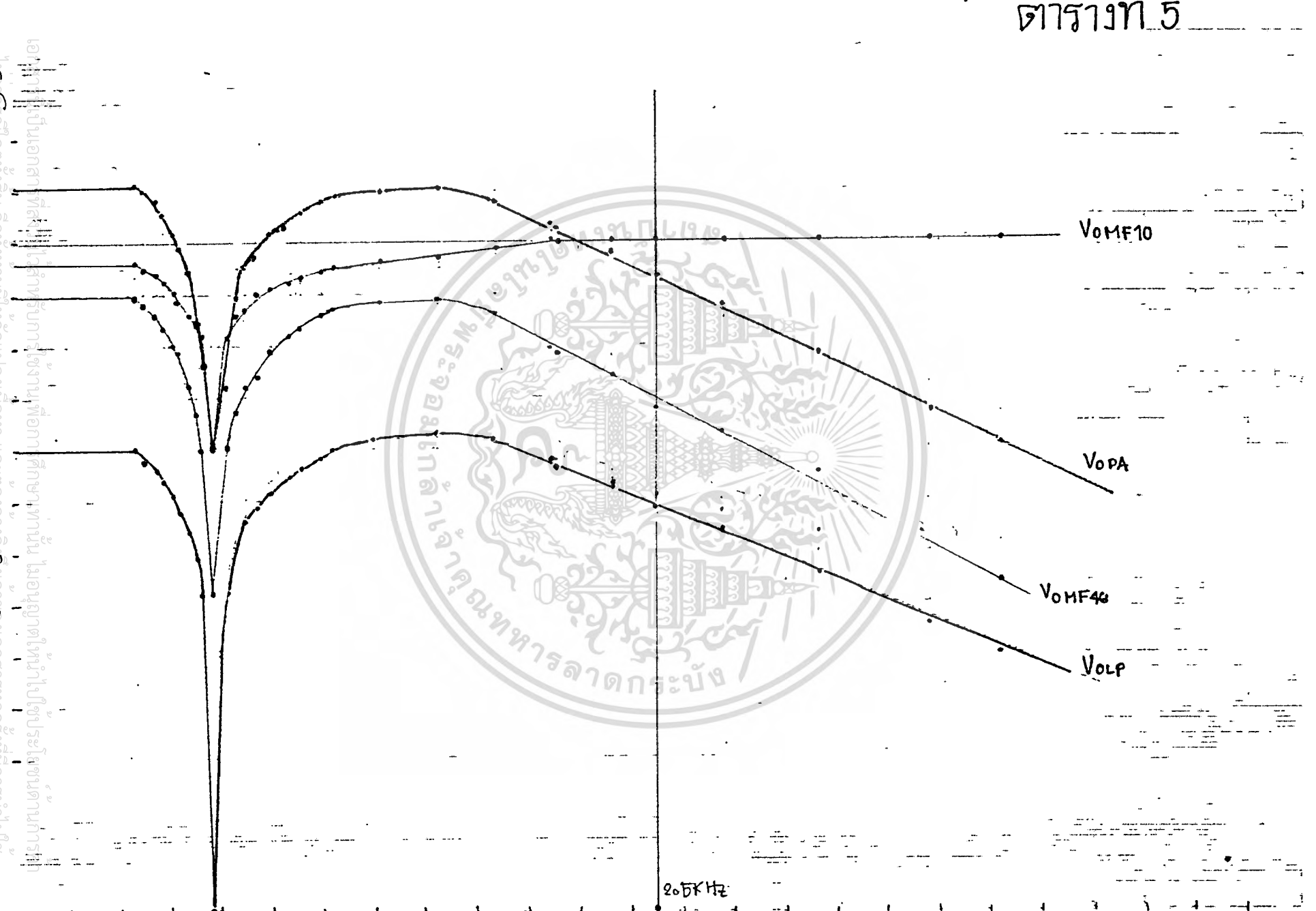
V_{in}	Freq	V_{oMF10}	V_{oMF4}	V_{oLP}	V_{oPA}
V_{pp}	KHz	V_{pp}	V_{pp}	V_{pp}	V_{pp}
0.2	0.476	1.60	1.10	0.20	3.80
0.2	0.500	1.50	1.00	0.18	3.60
0.2	0.555	1.40	0.90	0.16	3.10
0.2	0.588	1.30	0.75	0.14	2.60
0.2	0.625	1.15	0.63	0.12	2.20
0.2	0.645	1.05	0.60	0.10	1.90
0.2	0.689	0.90	0.40	0.08	1.40
0.2	0.714	0.80	0.30	0.06	0.80
0.2	0.740	0.70	0.20	0.04	0.50
0.2	0.769	0.40	0.04	0	0.20
0.2	0.833	0.70	0.20	0.04	0.40
0.2	0.869	0.90	0.30	0.06	1.10
0.2	0.909	0.95	0.40	0.09	1.50
0.2	0.952	1.10	0.45	0.10	1.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

0.2	1.000	1.20	0.60	0.12	2.20
0.2	1.086	1.30	0.70	0.14	2.40
0.2	1.136	1.30	0.76	0.16	2.80
0.2	1.219	1.45	0.88	0.18	3.10
0.2	1.250	1.50	0.96	0.20	3.40
0.2	1.428	1.60	1.00	0.22	3.60
0.2	1.666	1.70	1.06	0.24	3.80
0.2	1.886	1.85	0.90	0.22	3.20
0.2	2.127	2.00	0.60	0.20	2.50
0.2	2.173	2.00	0.58	0.18	2.40
0.2	2.325	2.00	0.44	0.16	1.80
0.2	2.500	2.05	0.30	0.14	1.35
0.2	2.778	2.05	0.24	0.12	1.00
0.2	3.125	2.10	0.15	0.10	0.65
0.2	3.571	2.10	0.08	0.08	0.40
0.2	3.846	2.10	0.07	0.06	0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ 5



สรุป

จากวงจรที่ได้มา ทำให้เราได้เครื่องกันสัญญาณหอนของไมโครโฟน เราจะสามารถเร่งเสียงของ ปลีแอมปลิฟายเออร์ ได้มากขึ้นกว่าเดิม เมื่อพิจารณาถึงผลการทดลองเราจะพบว่า สัญญาณที่ได้ออกมาเป็นไปอย่างที่ต้องการ ตรงตามทฤษฎี พอสมควร ส่วนสาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองไม่เป็นไปตามทฤษฎี นั้นเป็นเพราะ

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) ให้ความถี่ที่ไม่คงที่ตลอดเวลา และอีกทั้งไม่สามารถวัด ความถี่ที่ แน่นอนได้ละเอียด

2. เครื่องออสซิลโลสโคบ (Oscilloscope) ไม่สามารถให้ผลของสัญญาณ ทั้งทางด้านความถี่ และ แอมปลิจูด ที่ละเอียดได้ เท่าที่ต้องการ อีกทั้งความถี่ช่วงใช้งาน เป็นช่วงความถี่สูงค่อนข้างมาก ทำให้การอ่านค่าความถี่มีการผิดเพี้ยนมาก

3. การอ่านค่าสัญญาณจาก ออสซิลโลสโคบ และจาก เครื่องวัดความถี่ (Frequency) ของผู้ทำการทดลองไม่ละเอียด และดีพอ ทำให้ผลการทดลองที่ได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไป

4. ความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่ใช้เอง เพราะอุปกรณ์ที่ใช้ทุกชนิดมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ จึงมีผลทำให้ค่าไม่เป็นไปตามทฤษฎี

สิ่งที่ควรจะกระทำต่อไปถ้าต้องการนำวงจรนี้ไปผลิต เพื่อการค้า เพื่อเป็นการสร้างความเชื่อถือได้ให้แก่วงจร (Reliability) สำหรับวงจรนี้คือ

1. สร้างวงจรไฟเลี้ยง และ วงจรเร็กกูเลเตอร์ (Regulator) ที่ดีให้กับวงจร เพื่อป้องกัน สัญญาณรบกวน (Noise) ที่จะเข้ากวนวงจรส่วนต่าง ๆ ให้มีการทำงานที่ผิดเพี้ยนไป

2. ปรับปรุงวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา ให้ดีขึ้นกว่าเดิม โดยใช้ ไอซี ไทม์เมอร์ 555 ที่เป็นประเภท ความเร็วสูง และกินไฟน้อย (F Series) โดยในที่ได้ทำไปแล้ว พบว่าสัญญาณที่ได้จะดีขึ้นกว่าเดิม (ได้สัญญาณความถี่สูงขึ้น)

3. ควรมีวงจร ปรับแต่งละเอียดอีกครั้งเพื่อให้สัญญาณเสียงที่ได้มีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุด และทำให้วงจรมีค่า Q ที่สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้สัญญาณเสียงความถี่อื่น ๆ ไม่ถูกลดทอนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หนังสืออ้างอิง

ซีเอด ยูเคชั่น เซมิคอนดัคเตอร์ อิเลคทรอนิคส์ ฉบับที่ 96 หน้าที่ 234 ถึง 240 , เดือน ตุลาคม - พฤศจิกายน พ.ศ.2532

GOBIND DARYANANI PRINCIPLE OF ACTIVE NETWORK SYNTHESIS AND DESIGN UNIT 8 TO 10 PAGE 267 TO 365 , 1976

M.S.QHAUSI SND K.R.LAKER MODERN FILTER DESIGN ACTIVE RC AND SWITCHEDCAPACITOR UNNIT 6 PAGE 376 TO 501 , 1981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานชิ้นนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดีได้ ต้องขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สิทธิชัย โภไคยอุดม ผู้ให้ความช่วยเหลือ ทั้งทางด้าน ทฤษฎี อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง สถานที่ทำการทดลอง และ คำปรึกษาด้านอื่น ๆ ด้วยดีมาตลอด

อาจารย์ พลผดุง ผดุงกุล ผู้ให้ความช่วยเหลือทางด้านสถานที่ทำการทดลอง และ ทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า