



ปีการศึกษา 2532

การสร้างสัญญาณรูปซายน์จากสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

(Triangle to sine wave converter)

โดย

1. นาย วิรัตน์ ตติยานันต์วงศ์ 291190
2. นาย วิรุฬห์ วิเชียรวัฒนชัย 291201

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. สิทธิชัย โกโตยอุดม

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2532

เรื่อง การสร้างสัญญาวิชาชีพจากสัญญาอุปถัมภ์

ผู้จัดทำ

1. นาย วิรัตน์ ตติยานันท์วงศ์ 291190

2. นาย วิรุฬห์ วิเชียรวัฒน์ชัย 291201

.....(อาจารย์ที่ปรึกษา)

(รศ.ดร. สิทธิชัย โทโดยอุดม)

## การสร้างสัญญาณรูปซายน์จากสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

(Triangle to Sine wave converter)

วิรัตน์ ตติยานพันธ์วงศ์ 291190

วิรุฬห์ วิเชียรวัฒน์ชัย 291201

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. ลีทศชัย โภไคยอุดม

ปีการศึกษา 2532

### บทคัดย่อ

ตัวกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) นับเป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นอย่างมากในห้องทดลองอิเล็กทรอนิกส์ จึงได้มีการพัฒนาจนกระทั่งปัจจุบันสามารถให้สัญญาณรูปซายน์ (sine wave) ได้บริสุทธิ์มากกว่า 99% ปริมาณหนึ่งฉบับนี้ เป็นการนำเสนอวิธีการสร้างสัญญาณรูปซายน์ ที่มีความบริสุทธิ์สูงจากสัญญาณรูปสามเหลี่ยม ด้วยคุณสมบัติ นัลเลเนียร์ (Non-linear) ของวงจรขยายแบบผลต่าง (Differential pairs) และตรวจสอบประสิทธิภาพโดยนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณซายน์ ซึ่งสร้างจากวิธีอื่น ด้วยวงจรหาความชัน (Differentiator)

สำหรับสัญญาณสามเหลี่ยมที่จะนำมาสร้างสัญญาณซายน์ด้วยวิธีนี้ นั้น ต้องเป็นสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความแม่นยำสูง (High accurate) ในการทดลองได้ใช้สัญญาณสามเหลี่ยมซึ่งสร้างจากวงจรรวม (Integrated circuit)

XR2206

## สารบัญ

1. บทนำ	1
2. ทฤษฎี	2
2.1 การสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	2
2.2 การสร้างสัญญาณซายน์ด้วยวิธีต่อช่วง	5
2.3 การสร้างสัญญาณซายน์ด้วยดิฟเฟอเรนเชียลแพร์	7
2.4 การแก้ปัญหาสไลป์ที่ยอดไม้เท่ากับศูนย์	11
2.5 LM 3080	16
3. การทดลองและผลการทดลอง	18
3.1 การสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	18
3.2 การสร้างสัญญาณซายน์จากสัญญาณสามเหลี่ยมด้วยดิฟเฟอเรนเชียลแพร์ คู่เดียว	20
3.3 การสร้างสัญญาณซายน์จากสัญญาณสามเหลี่ยมด้วยดิฟเฟอเรนเชียลแพร์ หลายคู่	25
4. บทสรุปและวิจารณ์	43
กิตติกรรมประกาศ	45
หนังสืออ้างอิง	46

## บทนำ

วงจรการสร้างสัญญาณรูปซายน์จากสัญญาณรูปสามเหลี่ยม, (Triangle-Sine Wave Converter) เป็นวงจรที่มีประโยชน์และได้ถูกใช้มาหลายปีแล้ว ในเครื่องกำเนิดสัญญาณ (function generators) เฟสล็อกคัลป์ และวงจรการสื่อสารชนิดอื่น

การสร้างออสซิลเลเตอร์ ให้มีแบนด์วิดท์ (Band width) กว้างนั้น ออสซิลเลเตอร์ที่ให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณซายน์ ทำได้ยากกว่า ออสซิลเลเตอร์ที่ให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยม ดังนั้น เมื่อเราต้องการ เครื่องกำเนิดสัญญาณซายน์ที่มีแบนด์วิดท์กว้าง เราจึงต้องสร้างออสซิลเลเตอร์ที่ให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณสามเหลี่ยมขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงเปลี่ยนสัญญาณสามเหลี่ยมให้เป็นสัญญาณซายน์

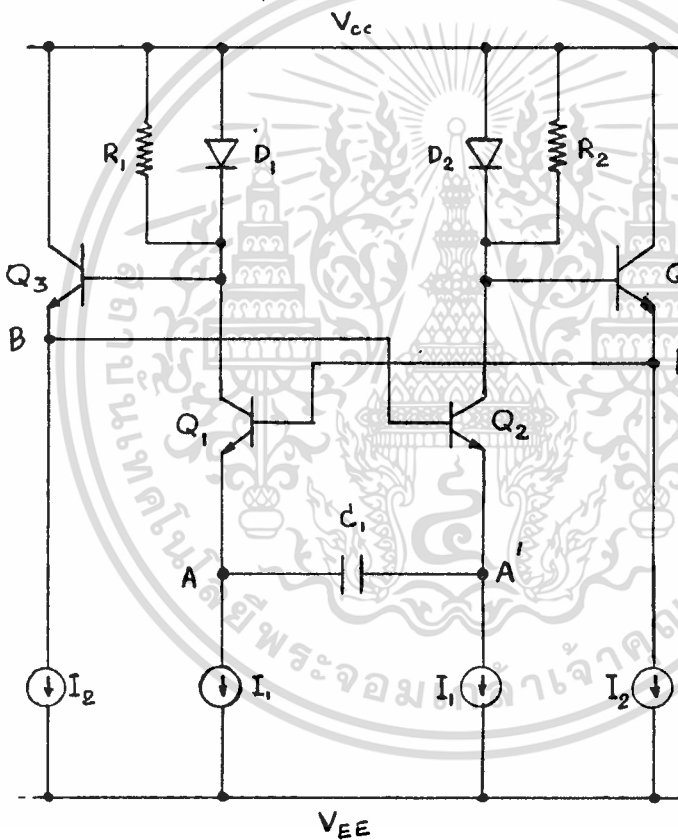
วิธีการสร้างสัญญาณรูปซายน์จากสัญญาณรูปสามเหลี่ยมมีหลายวิธี เช่น :  
 วิธีการเปลี่ยนแบบต่อช่วง    วิธีการเปลี่ยนโดยใช้คุณสมบัติ นันลิเนียร์ (Non-linear) ของดีฟเฟอเรนเชียลแอมป์ แบบใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

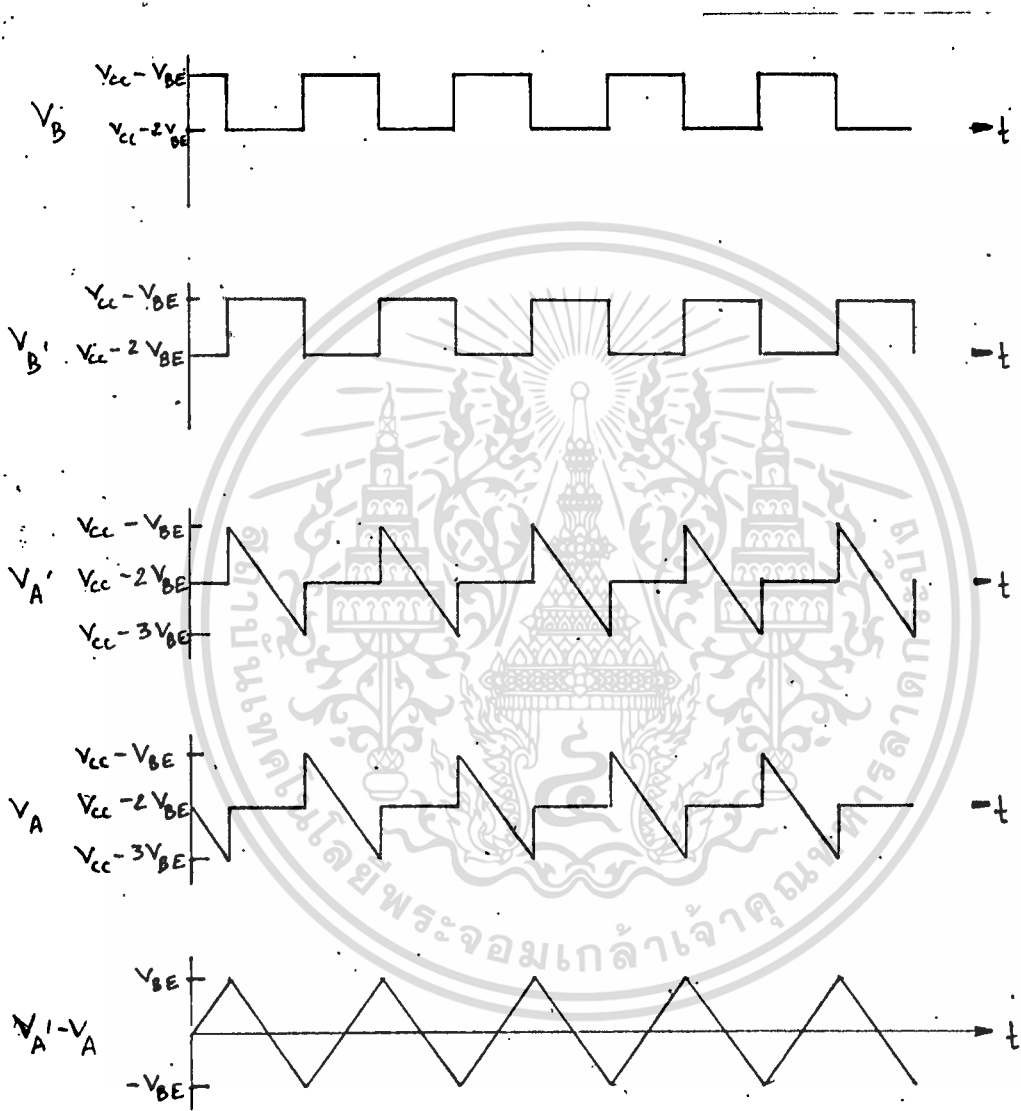
#### 2.1 การสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

ออสซิลเลเตอร์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปสามเหลี่ยมนั้น แบบอิมิตเตอร์คัปเปิล (Emitter couple) เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากในไอซี และมีคุณสมบัติที่เด่นเฉพาะตัวคือ สามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ดีมาก.



**รูปที่ 2.1.1** ออสซิลเลเตอร์แบบอิมิตเตอร์คัปเปิล

รูปที่ 2.1.1 เป็นวงจรพื้นฐานของออสซิลเลเตอร์ แบบอิมิตเตอร์ ตั้ปเปิลเท่านั้นทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  จะผลัดกัน ON และ OFF และ โวลเตจที่จุดต่างๆ จะเป็นดังรูปที่ 2.1.2



รูปที่ 2.1.2 แสดงการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์ แบบอิมิตเตอร์ ตั้ปเปิล

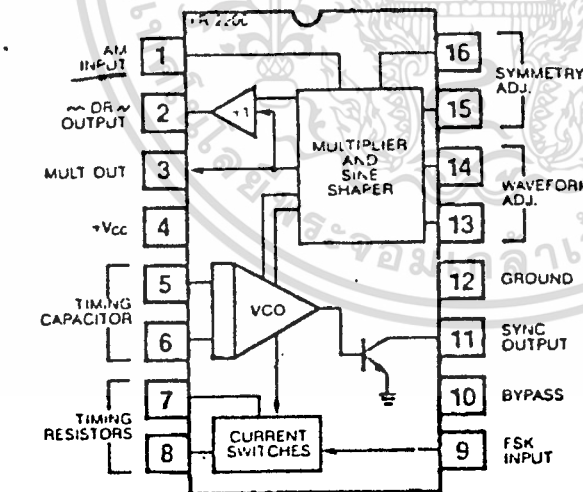
จากรูปที่ 2.1.2 จะเห็นได้ว่า ผลลพของ  $V_{BE}$  และ  $V_A$  จะเป็น สัญญาณรูปสามเหลี่ยมส่วนความถี่ของการออสซิลเลทนั้นจะเท่ากับ

$$f_o = \frac{I}{4C_1 V_{BE}} \dots (2.1.1)$$

เนื่องจาก  $V_{BE}$  จะลดลงตามอุณหภูมิ ในอัตราประมาณ  $-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  ดังนั้น ความถี่ของการออสซิลเลทจึงเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิโดยมีสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงของความถี่ตามอุณหภูมิเท่ากับ

$$\frac{1}{f_o} \frac{df_o}{dT} = -\frac{1}{V_{BE}} \frac{dV_{BE}}{dT} = +3,300 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \dots (2.1.2)$$

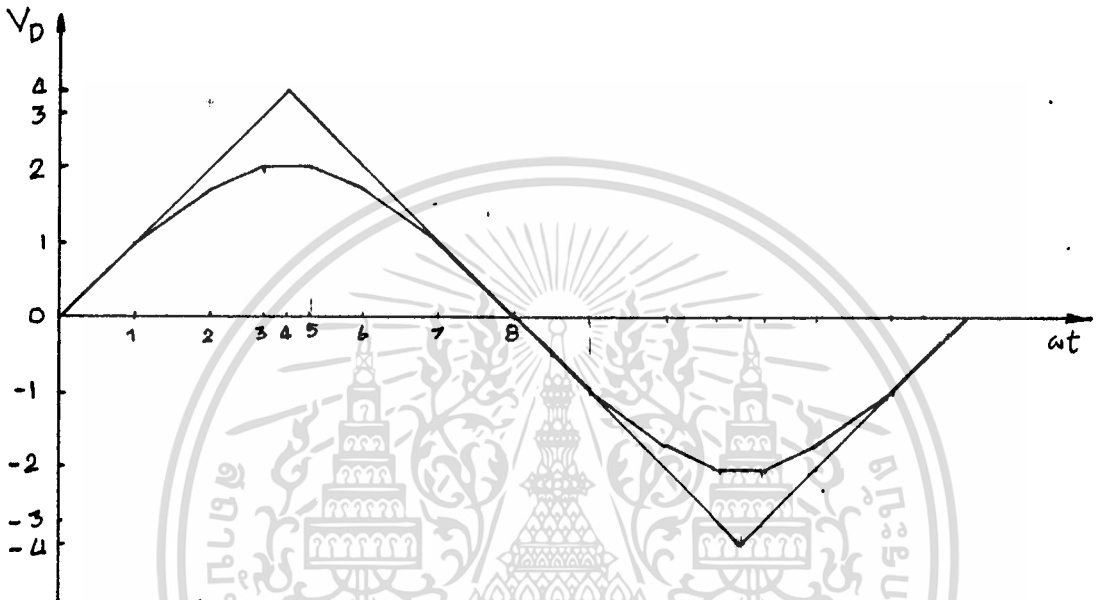
แต่ในไอซี XR-2206 ได้ตัดแปลงวงจรให้ความถี่ของการออสซิลเลท ไม่ขึ้นกับ  $V_{BE}$  เพื่อลดผลของอุณหภูมิและสามารถลดลงเหลือเพียง  $+20 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$



รูปที่ 2.1.3 แสดงขาต่างๆ ของ XR-2206

## 2.2 การเปลี่ยนแบบต่อช่วง

การสร้างสัญญาณรูปซายน์จากสัญญาณรูปสามเหลี่ยมแบบต่อช่วงนี้หมายถึง การลดสไลป์ของสัญญาณรูปสามเหลี่ยมเป็นช่วงๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2.1



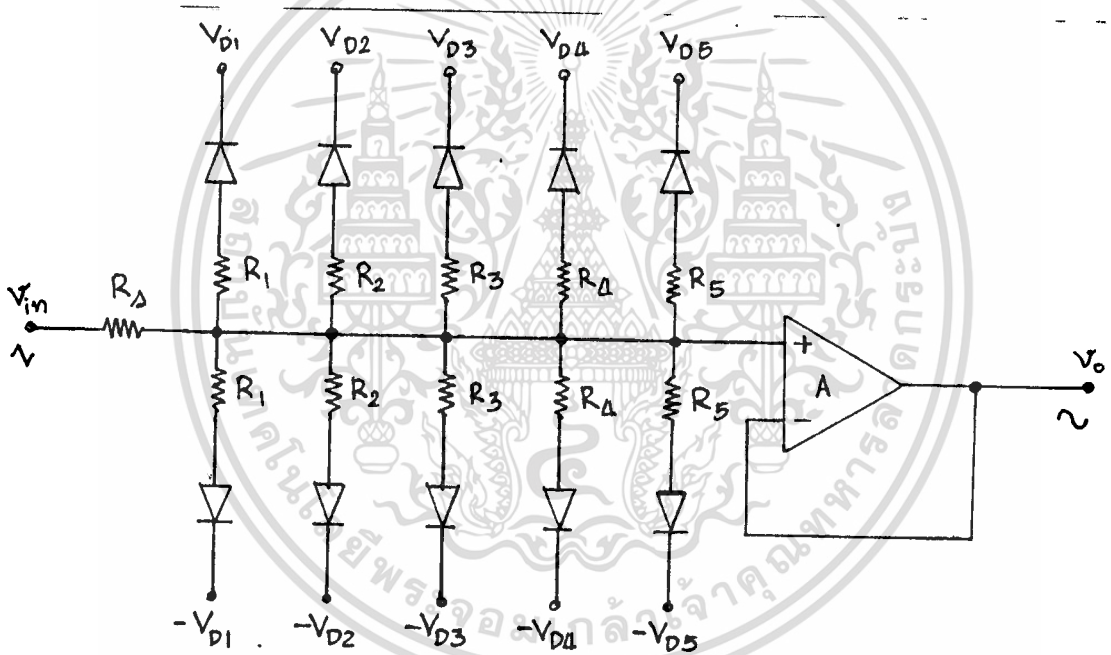
รูปที่ 2.2.1 แสดงหลักการเปลี่ยนสัญญาณรูปสามเหลี่ยม มาเป็นสัญญาณรูปซายน์แบบต่อช่วง

### หลักการทำงาน

สัญญาณรูปสามเหลี่ยมจะถูกแบ่งระดับออกเป็นช่วง อย่างเช่นในรูปที่ 2.1.1 เราจะแบ่งออกเป็น 4 ระดับด้วยกันคือ  $V_{D0} - V_{D1}$ ,  $V_{D1} - V_{D2}$ ,  $V_{D2} - V_{D3}$  และ  $V_{D3} - V_{D4}$  ซึ่งในแต่ละช่วงของระดับสัญญาณ เราจะต้องสร้างสไลป์ขึ้นมาใหม่ ให้มีค่าใกล้เคียงกับสไลป์ของสัญญาณรูปซายน์ที่สุด เช่นดังตารางต่อไปนี้

ระดับสัญญาณสามเหลี่ยม	$\omega t$	สไลป์ของสัญญาณซายน์
$V_{D0} - V_{D1}$	0 - 1	เท่ากับสไลป์ของสัญญาณสามเหลี่ยม
$V_{D1} - V_{D2}$	1 - 2	ลดลง
$V_{D2} - V_{D3}$	2 - 3	ลดลงอีก
$V_{D3} - V_{D4}$	3 - 4	เท่ากับศูนย์

เครื่องกำเนิดสัญญาณ (function generator) ที่ ๗ ไปมักใช้หลักการนี้โดยใช้ไดโอดเป็นตัวเปลี่ยนสไลป์ดังรูป 2.2.2



รูปที่ 2.2.2 แสดงหลักการเปลี่ยนสัญญาณสามเหลี่ยมให้เป็นสัญญาณซายน์ แบบต่อช่วง

หลักการทํางาน

ให้สัญญาณเข้ารูปสามเหลี่ยมมีระดับสูงสุดเท่ากับ  $+V_{D0}$  โดยที่  $V_{D0} > V_{D2} > V_{D4} > V_{D3} > V_{D1}$

เพราะฉะนั้น

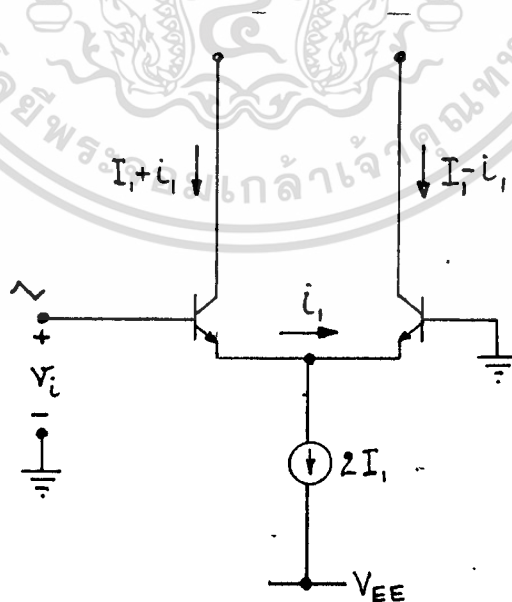
$$-V_{D1} < -V_{D2} < -V_{D4} < -V_{D3} < -V_{D5} < -V_{D6}$$

เราจะพิจารณากรณีที่  $V_{in}$  เพิ่มระดับจากศูนย์ขึ้นไปเรื่อยๆ เมื่อ  $V_{in} > V_{D1}$  ตัวต้านทาน  $R_1$  จะถูกตัดเข้าวงจรทำให้สไลบของ  $V_o$  ลดลง และเมื่อ  $V_{in} > V_{D2}$  ตัวต้านทาน  $R_2$  จะถูกตัดเข้าขนานกับ  $R_1$  อีก ทำให้สไลบของ  $V_o$  ลดลงอีก จนกระทั่ง  $V_{in} > V_{D3}$  ตัวต้านทาน  $R_3$  จะถูกตัดเข้าขนานกันอีก และควรจะทำให้สไลบมีค่าประมาณศูนย์ ซึ่งจะเป็จุดยอดของสัญญาณชายนั้ ดังนั้น  $R_3$  จึงควรมีค่าต่ำมาก และเมื่อสัญญาณ  $V_{in}$  มีค่าเป็นลบ ตัวต้านทานและไดโอดชุดล่างจะทำงานแทนชุดบน

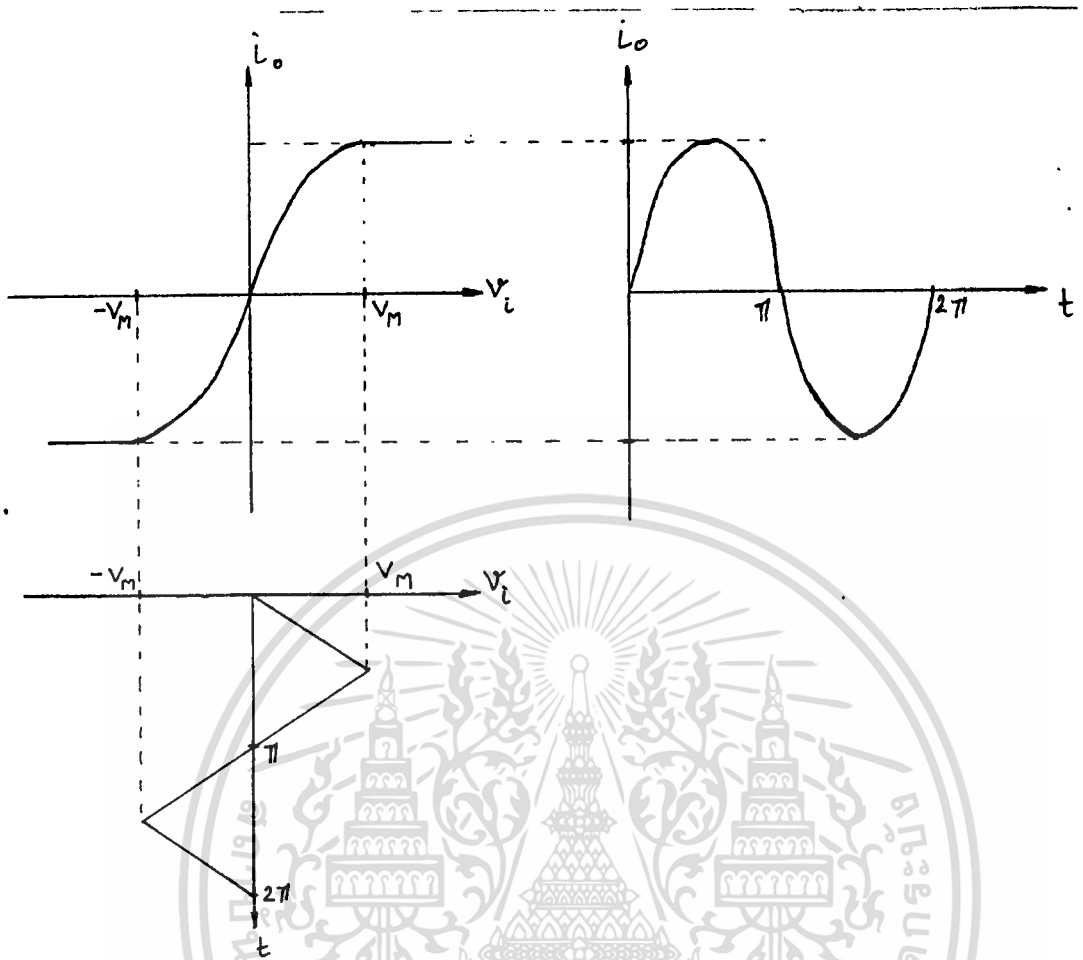
### 2.3 ทฤษฎีการสร้างสัญญาณชายนั้จากสัญญาณสามเหลี่ยม

#### ด้วยดิฟเฟอเรนเชียลแพร์

การสร้างสัญญาณชายนั้จากสัญญาณสามเหลี่ยม ด้วยคุณสมบัติ นันลิเนียร์ (Non-linear) ของดิฟเฟอเรนเชียลแพร์ (Differential pair) แบบไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ (Bipolar transistor) นั้น มีหลักการดังนี้



รูปที่ 2.3.1 ดิฟเฟอเรนเชียลแพร์



รูปที่ 2.3.2 แสดงการทำงานของวงจรในรูปที่ 2.3.1

สัญญาณเข้า  $v_i$  มีลักษณะเป็นสัญญาณสามเหลี่ยม ส่วนสัญญาณออกคือ กระแสดิฟเฟอเรนเชียล (Differential current)  $i_o$  จะมีลักษณะการทำงานของวงจร ดังเช่นที่แสดงในรูปที่ 2.3.2

ภาพมุมซ้ายบนแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $i_o$  และ  $v_i$  ของดิฟเฟอเรนเชียลแพร์  $Q_1, Q_2$  ถ้าสัญญาณเข้า  $v_i$  เป็นสัญญาณสามเหลี่ยมและมีระดับยอดสัญญาณเท่ากับ  $\pm v_{m}$  ตามภาพข้างล่างจะปรากฏว่าสัญญาณ  $i_o$  จะมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณรูปซายน์ ตามที่แสดงในภาพขวาบน



จากวงจรในรูปที่ 2.3.1 เราจะเขียนได้ว่า

$$v_i = v_{z_{ee}} - v_{z_{cc}} \quad \dots (2.3.1)$$

เราทราบที่อยู่แล้วว่า

$$v_{z_{cc}} = v_T \ln(I_E/I_C) \quad \dots (2.3.2)$$

โดย  $I_E$  คือกระแสย้อนกลับอิมิตตัวของอิมิตเตอร์เบสจังก์ชัน เมื่อวัดจากขั้วอิมิตเตอร์ซึ่งจะมีค่าแปรผันโดยตรงกับพื้นที่อิมิตเตอร์

ดังนั้น เราจึงอาจจะเขียนสมการ 2.3.1 ใหม่ได้เป็น

$$v_i = v_T \ln \frac{1+i_1}{1-i_1} \quad \dots (2.3.3)$$

โดยที่  $i_1 = i_{E1}/I_E$

$$\frac{v_i}{v_T} = \frac{\ln \frac{1+i_1}{1-i_1}}{1} \quad \dots (2.3.4)$$

เนื่องจาก  $i_1 < 1$  ดังนั้นเราสามารถกระจายเทอมขวามือของสมการ 2.3.4 ได้อนุกรมกำลัง (Power series)

$$\frac{v_i}{v_T} = 2i_1 + \frac{2i_1^3}{3} + \frac{2i_1^5}{5} + \dots \quad \dots (2.3.5)$$

$$\frac{v_i}{2v_T} = i_1 + \frac{i_1^3}{3} + \frac{i_1^5}{5} + \dots \quad \dots (2.3.6)$$

แต่สมการที่เราต้องการคือ

$$i_1 = k_1 \sin(k_2 v_i) \quad \dots (2.3.7)$$

โดย  $k_1$  และ  $k_2$  เป็นค่าคงตัว และจากสมการ 2.3.7 เราจะได้

$$k_2 v_1 = \sin^{-1}(i_1/k_1) \quad \dots (2.3.8)$$

ซึ่งเมื่อกระจายเทอมขวามือด้วยอนุกรมกำลังจะได้

$$k_2 v_1 = \frac{i_1}{k_1} + \frac{1}{6} \left(\frac{i_1}{k_1}\right)^3 + \frac{3}{40} \left(\frac{i_1}{k_1}\right)^5 + \dots \quad \dots (2.3.9)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการ 2.3.8 กับสมการ 2.3.6 ถ้าจะให้ทั้งสองสมการ มีโอกาสเท่ากัน เราจำเป็นต้องให้

$$k_1 = 1 \quad \dots (2.3.10)$$

$$k_2 = \frac{1}{2v_T} \quad \dots (2.3.11)$$

เนื่องจากค่าสูงสุดของ  $v_1$  เท่ากับ  $+v_m$  ดังนั้น เมื่อแทนค่า  $v_1$  ในสมการ 2.3.7 ด้วย  $v_m$  เราจะได้

$$\frac{v_m}{v_T} = \pi \quad \dots (2.3.12)$$

สมการ 2.3.12 แสดงค่าสูงสุดของสัญญาณสามเหลี่ยมคือ  $v_m$  ที่ทำให้ความเพี้ยนของสัญญาณรูปซายน์ที่ได้ มีค่าต่ำสุด

ข้อเสียหลักประการหนึ่งของวงจรแบบนี้คือ สัญญาณรูปซายน์ที่ได้มักมียอดปลายบวกและลบค่อนข้างแหลม ขณะที่สัญญาณรูปซายน์ที่ถูกต้อง ควรจะมีความชัน (slope) ที่ยอดปลายบวกและลบเป็นศูนย์ ซึ่งอาจจะแก้ไขให้ดีขึ้นได้ โดยการใช้คิฟเฟอเรนเชียลแอมป์หลาย ๆ คู่ ดังหลักการที่จะได้อธิบายต่อไป ในหัวข้อที่ 2.4

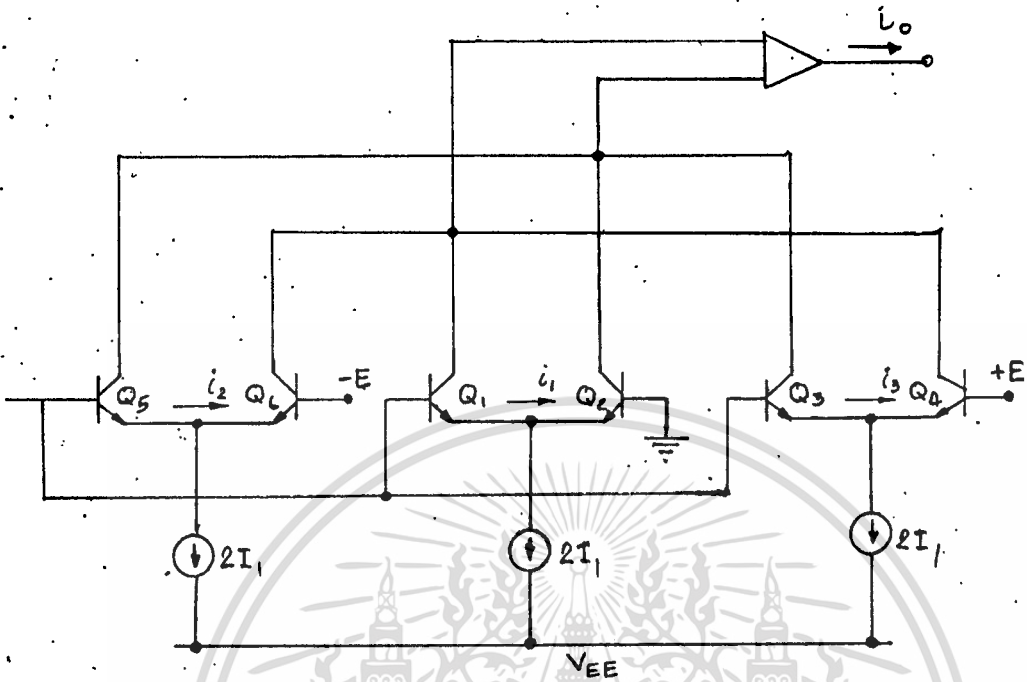
## 2.4 วิธีแก้ปัญหาลอปลที่ยอดไม่เท่ากับศูนย์

วิธีแก้ปัญห โดยการใช้ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์มากกว่าหนึ่งคู่นี้ มีข้อดี 2 ประการคือ

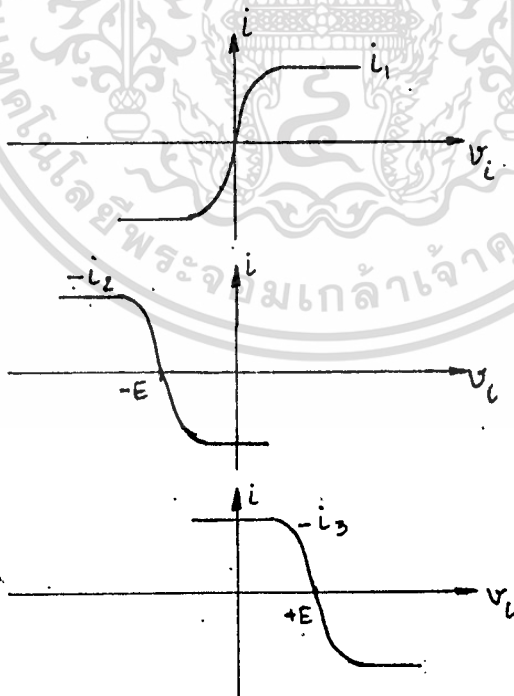
1. ให้ operation range ตามที่ต้องการได้อย่างต่อเนื่อง โดยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบ
2. ให้สัญญาณเอาต์พุต ที่ใกล้เคียงกับสัญญาณชายน่มากโดยประสิทธิภาพจริงนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพของอุปกรณ์ เป็นสำคัญ

ข้อจำกัดประการสำคัญของวิธีนี้คือ สัญญาณอินพุตรูปสามเหลี่ยม ที่จะนำมาเปลี่ยนเป็นสัญญาณชายนั้น ต้องมีความเที่ยงตรงสูงมาก และ ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ทุกคู่จะต้องมีคุณสมบัติเหมือนกันมาก ๆ

วิธีใช้ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์หลายๆคู่นี้จำนวนคู่ของดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ จะต้องเป็นจำนวนคี่ (เช่น 3, 5, 7, ... ) และนำมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันในลักษณะสลับเฟส (alternating antiphase) ลองพิจารณากรณีใช้ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ 3 คู่ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.4.1

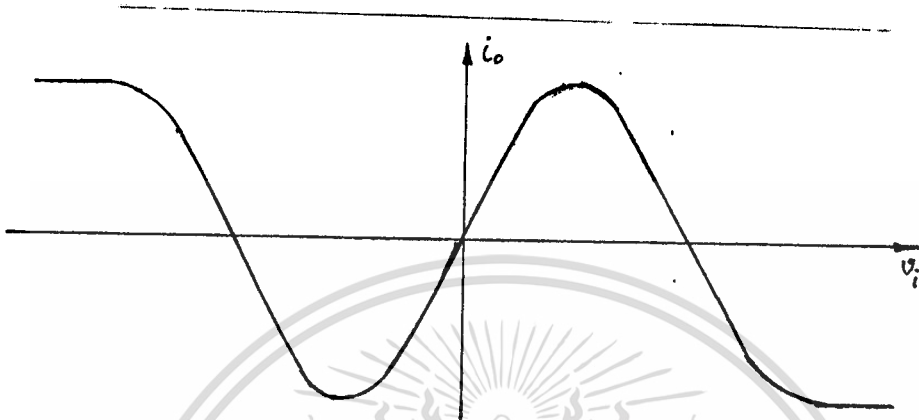


รูปที่ 2.4.1 ดิฟเฟอเรนเชียลเพอร์ อี คิว



รูปที่ 2.4.2 กราฟเฟออร์เตอร์ฟ ของดิฟเฟอเรนเชียลเพอร์

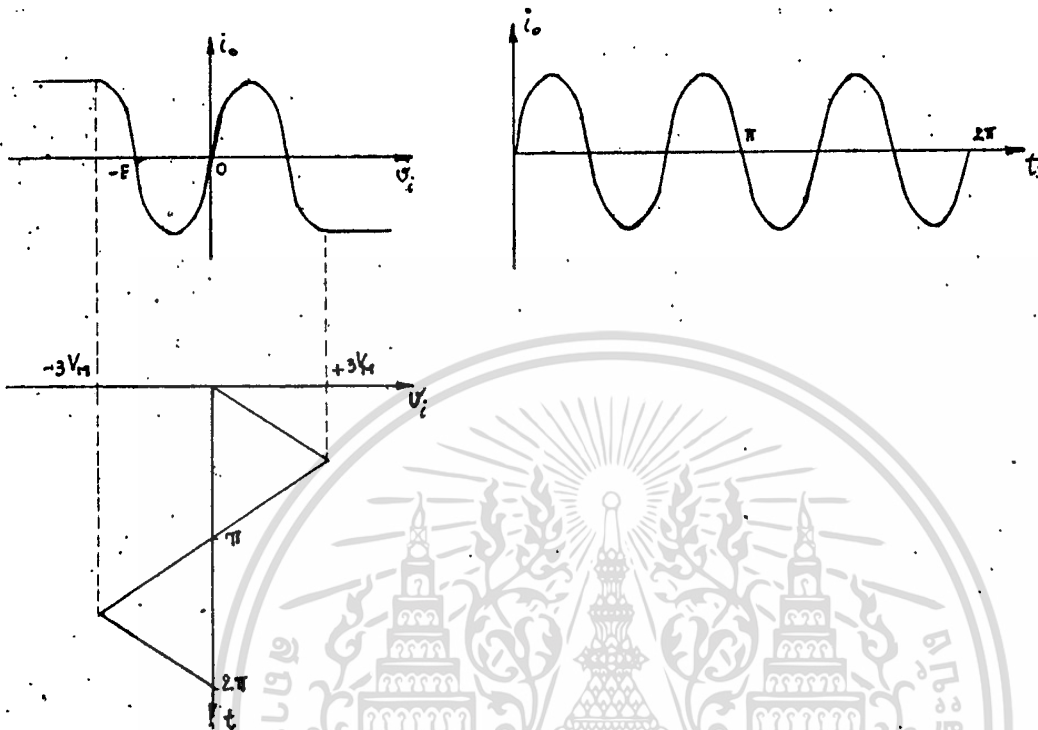
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4.3 กราฟทรานสเฟอร์เคอร์ฟ ของวงจรถ

รูปที่ 2.4.2 แสดงทรานสเฟอร์เคอร์ฟ ( Transfer curve ) ของดีฟเฟอเรนเชียลแอมป์แต่ละคู่ และรูปที่ 2.4.3 แสดงทรานสเฟอร์เคอร์ฟของวงจรถทั้งหมด ซึ่งก็ได้มาจากการรวมทรานสเฟอร์เคอร์ฟของดีฟเฟอเรนเชียลแอมป์ทั้ง 3 คู่เข้าด้วยกัน

ถ้าสัญญาณเข้า  $v_i$  มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม และมีระดับยอดสัญญาณเท่ากับ  $\pm 3 v_{xx}$  ดังรูปที่ 2.4.4 สัญญาณ  $i_0$  ซึ่งเท่ากับ  $i_1 - i_2 - i_3$  จะมีลักษณะเป็นสัญญาณรูปซายน์ตามภาพ



รูปที่ 2.4.4 แสดงการทำงานของวงจร

ขั้นแรก พิจารณาดีฟเฟอเรนเชียลแพร์เพียงคู่เดียวก่อน จากสมการ

$$\frac{v_1}{V_T} = \ln \frac{1+i_1}{1-i_1} \quad \dots (2.3.4)$$

จากฟังก์ชัน อินเวอร์สไฮเพอร์โบลิก (Inverse hiperbolic function) เราทราบว่า

$$\tanh^{-1} x = \frac{1}{2} \ln \frac{1+x}{1-x} \quad \dots (2.4.1)$$

และ  $i_1$  น้อยกว่าหนึ่งเสมอ ดังนั้น

$$i_1 = \tanh \frac{v_1}{2 V_T} \quad \dots (2.4.2)$$

โดย  $v_T = kT/q$

นั่นคือ  $i_1$  เป็นฟังก์ชันของ  $v_1$

$$f(v_1) = \frac{i_1}{I_1} = \tanh \frac{v_1}{2V_T} \quad \dots(2.4.3)$$

ถ้าให้  $N$  แทนจำนวนของดีฟเฟอเรนเชียลแอมป์ ( $N=3$ ) ทุกดีฟเฟอเรนเชียลแอมป์ได้รับสัญญาณอินพุต  $v_1$  ที่ขั้วอิมิตเตอร์ถูกดึงกระแส  $2I$  และดีฟเฟอเรนเชียลแอมป์คู่รอบนอก (outer stage) ได้รับออฟเซ็ทโวลเตจที่ขาเบส (base-voltage offsets) เท่ากับ  $nE$  โดย  $-m < n < m$  และ  $m = (N-1)/2$  เราสามารถที่จะแสดงได้ว่า ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรทั้งหมดจะเป็น

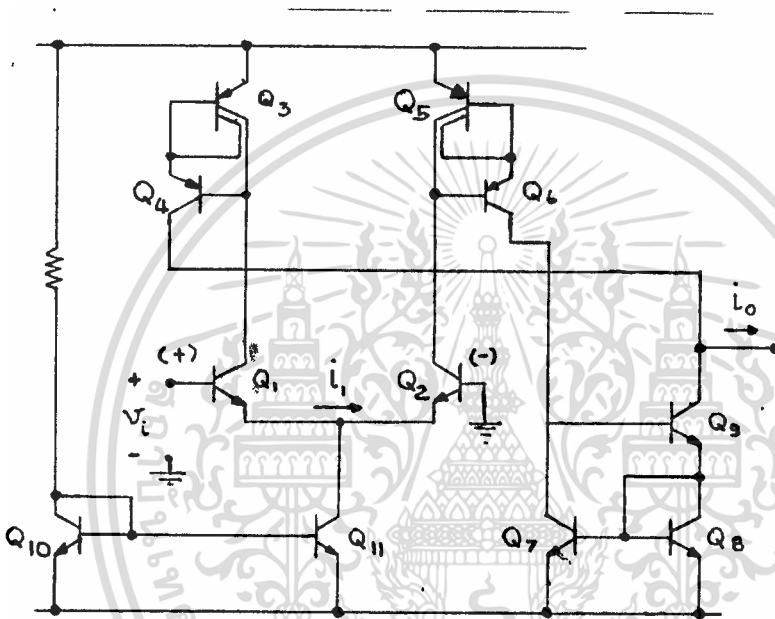
$$f(v_1) = \frac{i_o}{I_o} = \sum_{n=-m}^m (-1)^n \tanh \frac{v_1}{2V_T} + nE \quad \dots(2.4.4)$$

โดย  $i_o = (i_1 - i_2 - i_3 + i_4 + i_5 + \dots)$

ซึ่งสามารถที่จะพิสูจน์โดยวิธีนิวเมอริคอล (numerical analysis) ได้ว่าใกล้เคียงกับฟังก์ชันของชานี่มากถ้าเลือกออฟเซ็ทโวลเตจที่ถูกต้อง และจะเป็นสัญญาณ ชานี่ 100 % ถ้า  $N = \infty$

## 2.5 LM 3080

LM 3080 เป็น O.T.A. ( Operational Transconductance Amplifier ) ตัวหนึ่ง ซึ่งมีวงจรภายใน เป็นดังรูปที่ 2.5.1



รูปที่ 2.5.1 วงจรภายในของ LM 3080

จากวงจรภายในของ LM. 3080 จะเห็นได้ว่า ดิฟเฟอเรนเชียลแพร์  $Q_1, Q_2$  ทำหน้าที่เปลี่ยนโวลเตจอินพุท  $v_c$  มาเป็นกระแส  $i_1$  และเคอเรนทึมิเรอร์ ( Current mirrers )  $(Q_3, Q_4)$  ,  $(Q_5, Q_6)$  และ  $(Q_7, Q_8, Q_9)$  จะส่งกระแส  $i_1$  ออกณ.จุดเอาต์พุท เท่ากับ  $2i_1$  ส่วนกระแสไบอัสของดิฟเฟอเรนเชียลแพร์จะถูกกำหนดโดย  $R$  ซึ่งต่ออยู่ภายนอก นั่นคือ LM 3080 ก็จะมีทรานสเฟอ์เคอร์ฟเหมือนกัดิฟเฟอเรนเชียลแพร์ทุกประการ โดยให้เอาต์พุทเป็นกระแส และเมื่อเรตต่อ  $R_L$  เข้าไป โวลเตจที่ตกคร่อม  $R_L$  ก็จะเป็นสัญญาณเอาต์พุทโวลเตจ

สำหรับค่า ทรานสคอนดักแทน ( Transconductance ) หรือ  $g_m$  นั้น เราสามารถกำหนดได้ ด้วยกระแสไบอัส โดยการปรับค่า  $R$  ซึ่งต่อ อยู่ภายนอก

$$g_{m, r} = 1/2r_d = I_p/2V_T$$



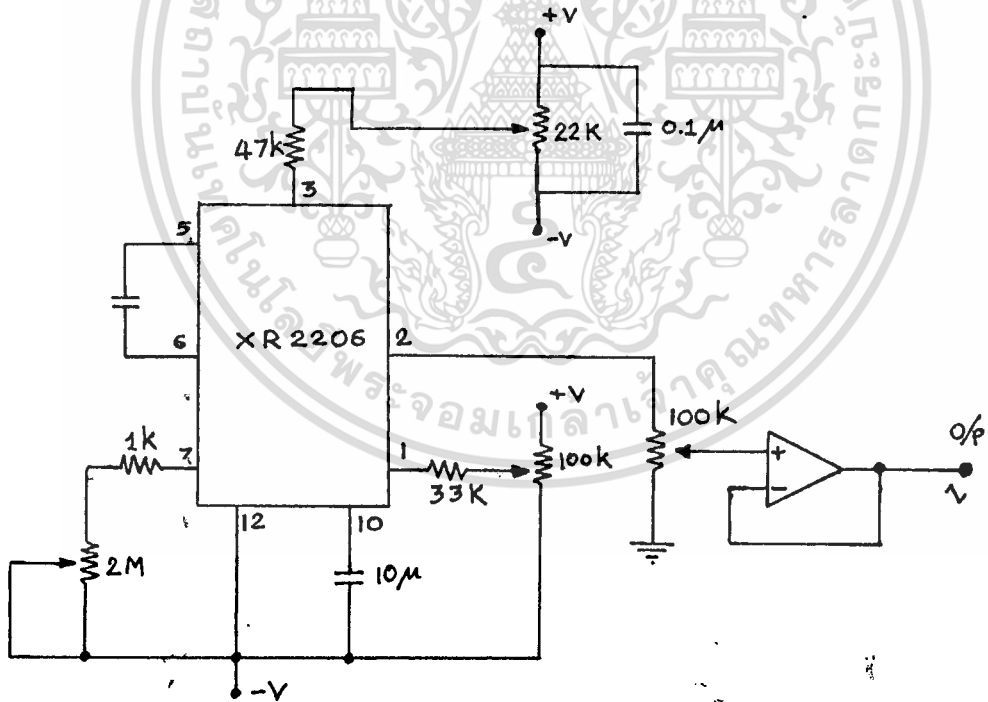
บทที่ 3

การทดลองและผลการทดลอง

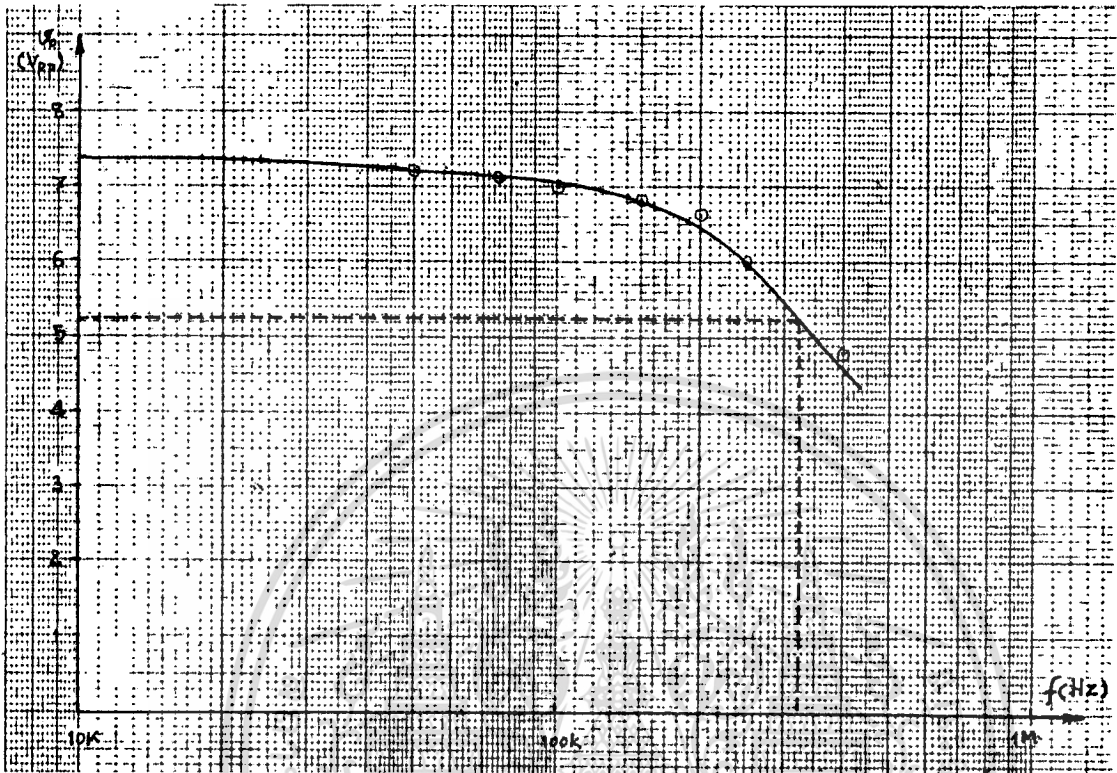
3.1 การสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

ออสซิลเลเตอร์ชนิดที่นิยมใช้ในการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม คือ ออสซิลเลเตอร์แบบอิมิตเตอร์คัปเปิล ไอซีเบอร์ XR 2206 ก็ได้สร้างสัญญาณสามเหลี่ยมด้วยวิธีดังกล่าวซึ่งได้ลดผลของอูณหภูมิโดยทำให้ความถี่ไม่ขึ้นกับ  $V_{CC}$  ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

วงจรในรูปที่ 3.1.1 เป็นวงจรที่ใช้ในการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมที่จะใช้ในการทดลองในหัวข้อต่อไป และรูปที่ 3.1.2 เป็นแบบจำลองของวงจรในรูปที่ 3.1.1



รูปที่ 3.1.1 วงจรที่ใช้สร้างสัญญาณสามเหลี่ยม



รูปที่ 3.1.2 แบนด์วิธของวงจรในรูปที่ 3.1.1

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อความถี่สูงขึ้น สัญญาณเอาต์พุตของ XR 2206 มีแอมพลิจูด (Amplitude) ลดลงเรื่อยๆ ซึ่งเกิดจากวงจรขยายภายในตัวไอซี ดังนั้นเราอาจคำนวณหาแบนด์วิธของวงจรได้

$$\text{โวลเตจเกน ( dB )} = 20 \log \frac{v_x}{v_{in}}$$

$$3 \text{ dB} = 20 \log \frac{7.4}{v_{in}} - 20 \log \frac{v_x}{v_{in}}$$

โดย  $v_x$  คือโวลเตจเมื่อเกนของวงจรขยายลดลงเท่ากับ 3 dB

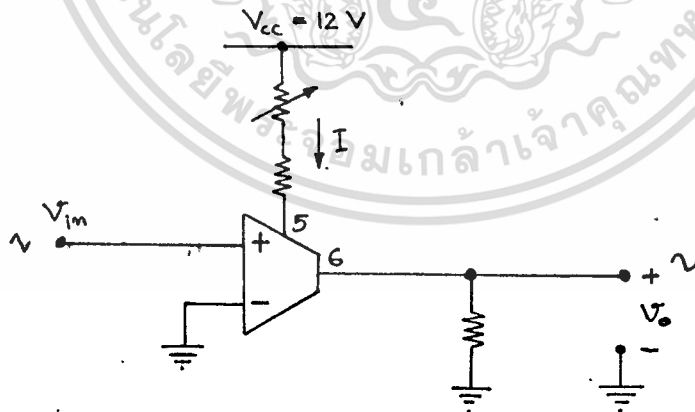
$$v_{rms} = \frac{7.4}{10^{(3/20)}} = 5.24 \text{ V}_{rms}$$

นั่นคือเมื่อโวลเตจเกนของวงจรมายาลดลง 3 dB วงจรจะให้เอาต์พุต 5.24 V<sub>rms</sub> และจากกราฟจะเห็นว่า เกนของวงจรมายาลดลง 3 dB ที่ความถี่ประมาณ 330 kHz. ซึ่งก็นับว่าพอใช้ได้

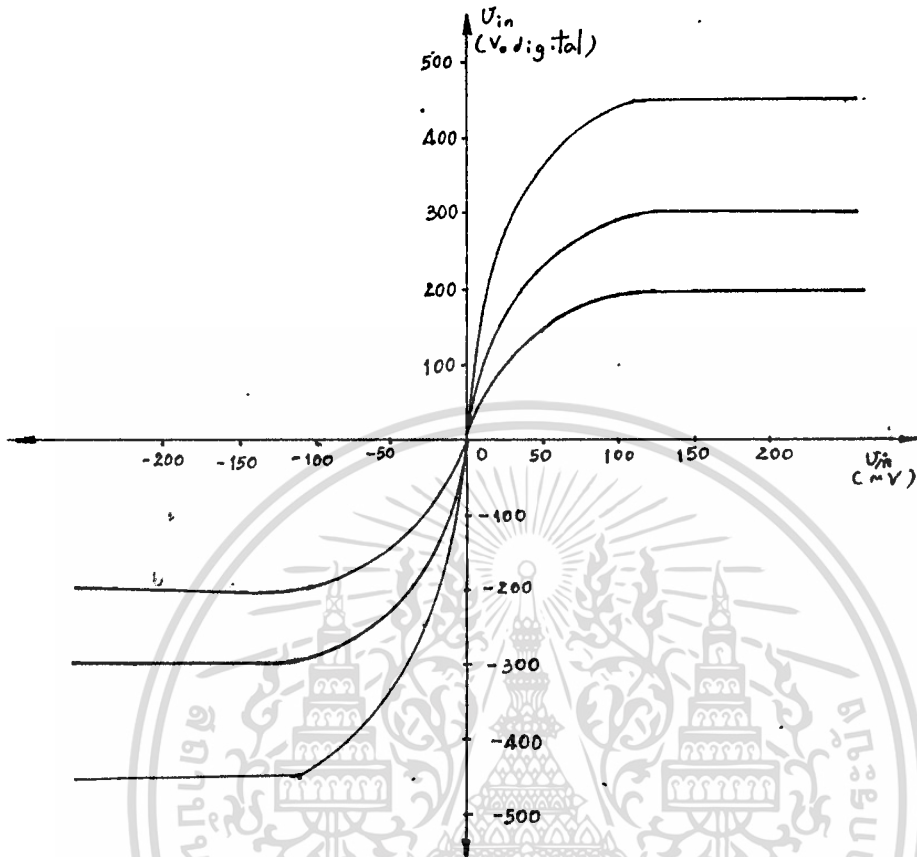
### 3.2 การสร้างสัญญาณช่ายน์จากสัญญาณสามเหลี่ยม

#### ด้วยดีฟเฟอเรนเชียลแอมป์คู่เดียว

ดังได้กล่าวไว้แต่ต้นแล้วว่า เราได้นำ O.T.A. เบอร์ LM 3080 ซึ่งมีส่วนอินพุตเป็นดีฟเฟอเรนเชียลแอมป์ และแยกกระแสเดี่ยวออกมาเป็นกระแสเอาต์พุต มาใช้ในการทดลองแทนดีฟเฟอเรนเชียลแอมป์ โดยใช่วงจรในรูปที่ 3.2.1 และสำหรับสัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้ป้อนเป็นอินพุต ก็ใช้สัญญาณสามเหลี่ยมจากวงจรในรูปที่ 3.1.1



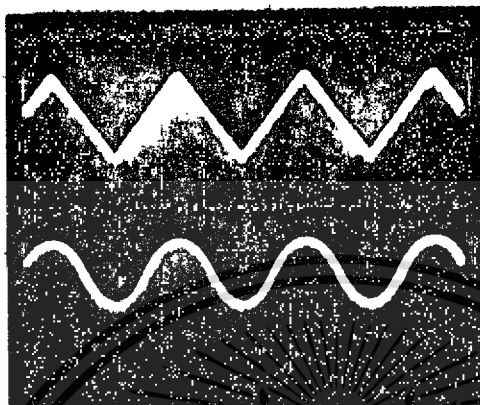
รูปที่ 3.2.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.2.2 ทราานเฟอ์เคอ์ฟของ LM 3080

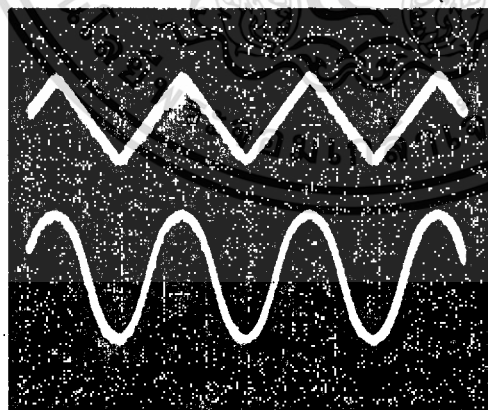
เมื่อทดลองป้อนสัญญาณอินพุตรูปสามเหลี่ยม ที่กระแสไบอัสค่าต่างๆ และปรับระดับโวลเตจอินพุต จนกระทั่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ ใกล้เคียงกับสัญญาณชายนี่มากที่สุด ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 3.2.3

จะสังเกตได้ทันทีว่า เมื่อเพิ่มกระแสไบอัสมากขึ้นจะทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุตเพิ่มสูงขึ้นด้วย สัญญาณเอาต์พุตนี้ มองคล้ายสัญญาณชายนี แต่มีข้อเสียคือ สไลปที่ยอดปลายบวกและลบไม่เท่ากับศูนย์



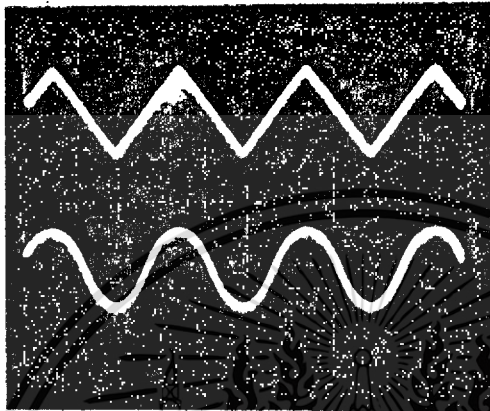
$T = 0.2 \text{ ms/DIV}$   
 $= 0.1 \text{ V/DIV}$   
 $= 0.2 \text{ V/DIV}$

รูปที่ 3.2.3 (a)  $I = 100 \mu\text{A}$



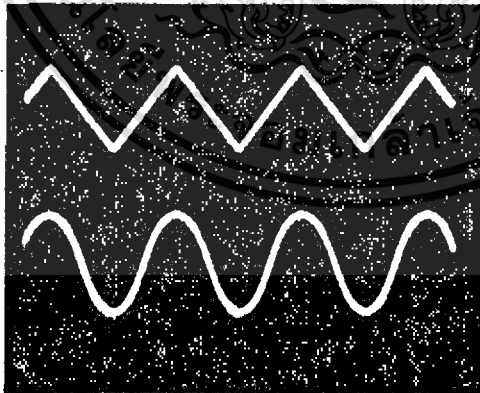
$T = 0.2 \text{ ms/DIV}$   
 $= 0.1 \text{ V/DIV}$   
 $= 0.2 \text{ V/DIV}$

รูปที่ 3.2.3 (b)  $I = 200 \mu\text{A}$



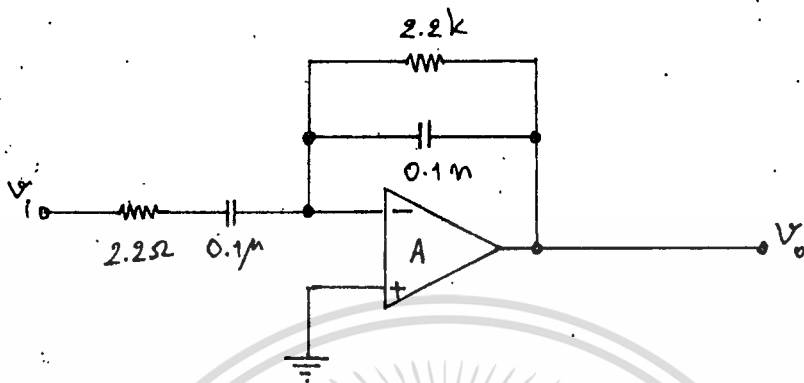
$T = 0.2 \text{ ms/DIV}$   
 $= 0.1 \text{ V/DIV}$   
 $= 0.5 \text{ V/DIV}$

รูปที่ 3.2.3 (c)  $I = 300 \mu\text{A}$



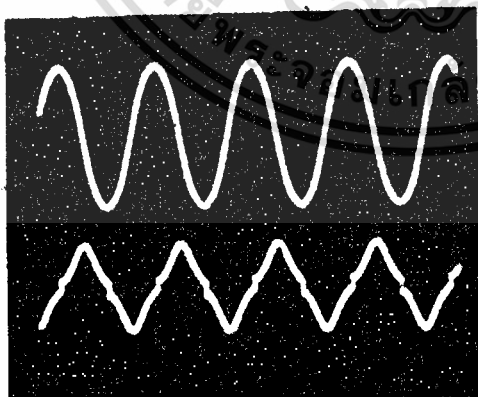
$T = 0.2 \text{ ms/DIV}$   
 $= 0.1 \text{ V/DIV}$   
 $= 0.5 \text{ V/DIV}$

รูปที่ 3.2.3 (d)  $I = 400 \mu\text{A}$



### รูปที่ 3.2.4 วงจรดีฟเฟอเรนเชียล

เมื่อนำสัญญาณชาน์ที่ได้จากวงจร ในรูปที่ 3.2.1 มาผ่านวงจรดีฟเฟอเรนเชียลในรูปที่ 3.2.4 จะได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 3.2.5 ซึ่งจะเห็นได้ทันทีว่าที่ยอดปลายบวกและลบ การเปลี่ยนแปลงของสโลป เป็นไปอย่างไม่ต้องเนื่อง



สัญญาณชาน์  $0.2 \text{ V/DIV}$   
 สัญญาณตรีแวกทีฟ  $0.5 \text{ V/DIV}$   
 $T = 0.5 \text{ } \mu\text{s/DIV}$

รูปที่ 3.2.5 สัญญาณชาน์ และ ตรีแวกทีฟ

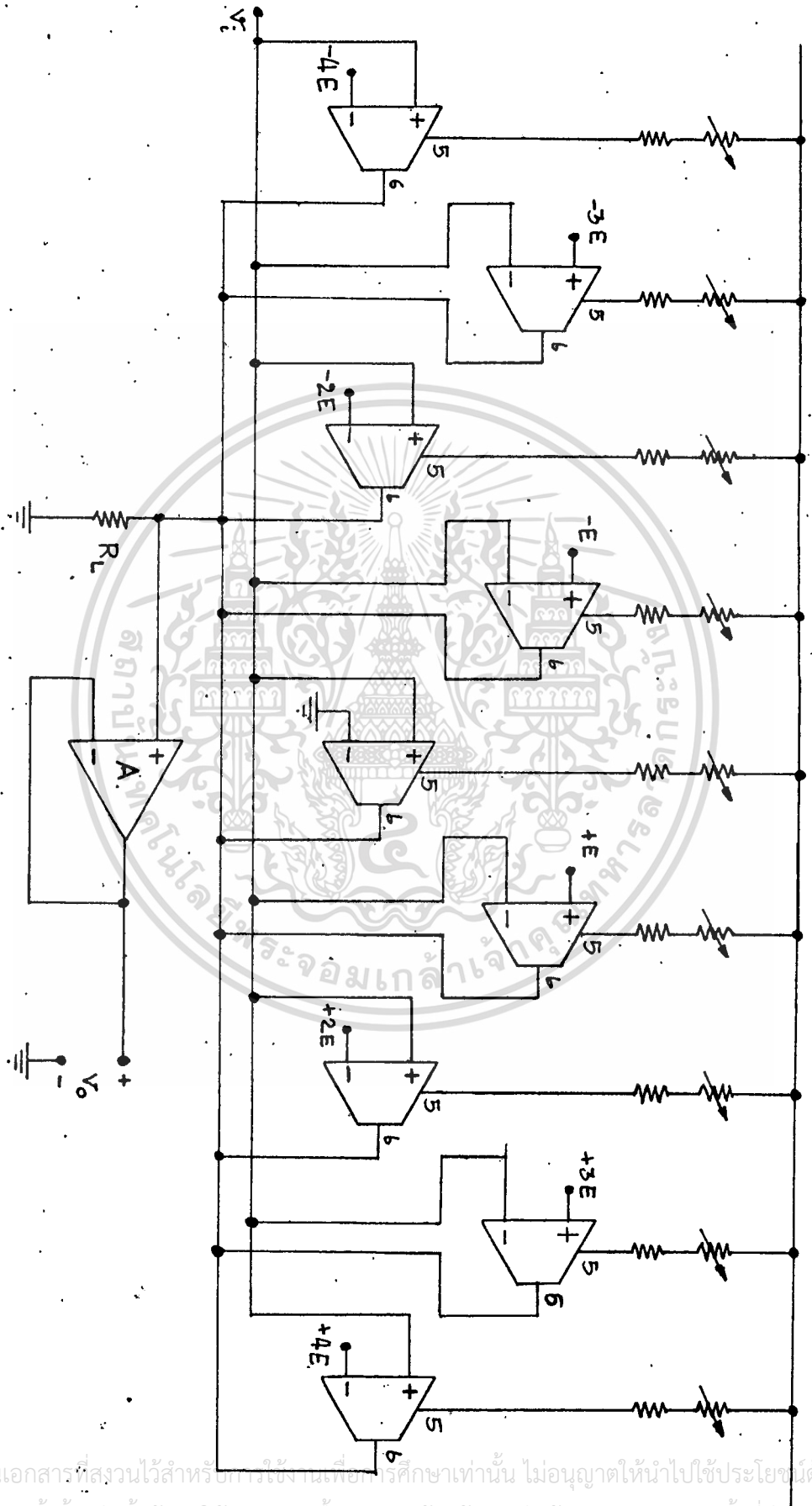
### 3.3 การสร้างสัญญาณชายน้จากสัญญาณสามเหลี่ยม

#### ด้วยดีฟเฟอเรนเชียลแพร์หลายคู่

การสร้างสัญญาณชายน้จากสัญญาณสามเหลี่ยม ด้วยดีฟเฟอเรนเชียลแพร์มากกว่าหนึ่งคู่นี้ ดังได้กล่าวไว้ตั้งแต่ต้นแล้วว่ายิ่งใช้มากคู่ สัญญาณเอาต์พุทก็จะยิ่งใกล้เคียงกับสัญญาณชายน้มากขึ้น และปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ สัญญาณอินพุทรูปสามเหลี่ยมต้องมีความเที่ยงตรงสูงมาก ในการทดลองนี้จึงได้ใช้ LM 3080 ถึง 9 ตัว แนนดีฟเฟอเรนเชียลแพร์ 9 คู่ และใช้สัญญาณอินพุทรูปสามเหลี่ยมที่ได้จากวงจรในรูปที่ 3.1.1

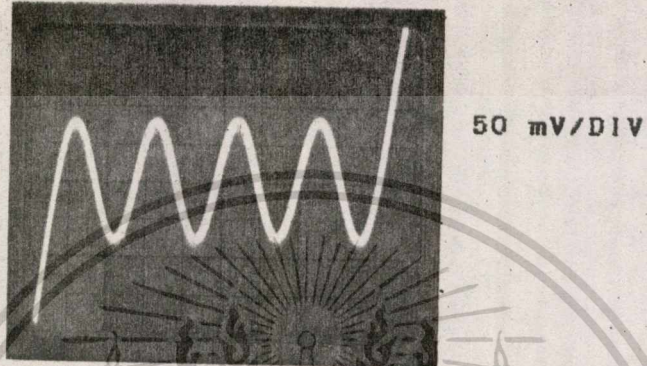
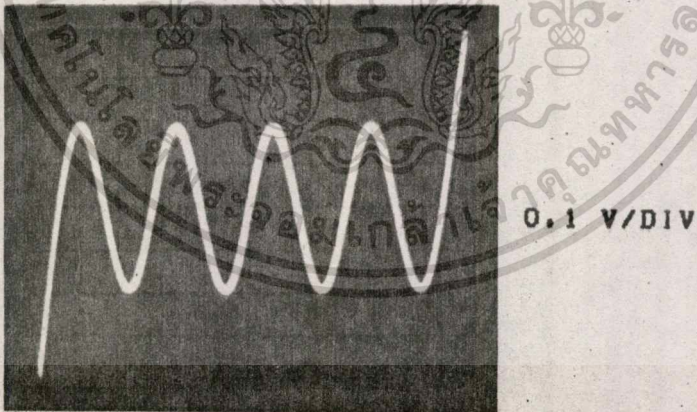
สำหรับออฟเซตโวลเตจก็จะต้องจ่ายให้แก่เบสของดีฟเฟอเรนเชียลแพร์คู่รอบนอกนั้น เนื่องจากอินพุทอิมพีแดนท์ของ LM 3080 สูงมากจนถึงได้ว่า กระแสเบสเท่ากับศูนย์ จึงใช้ตัวต้านทาน 2 ตัวแบ่งโวลเตจจาก  $V_{CC}$  โดยตรง

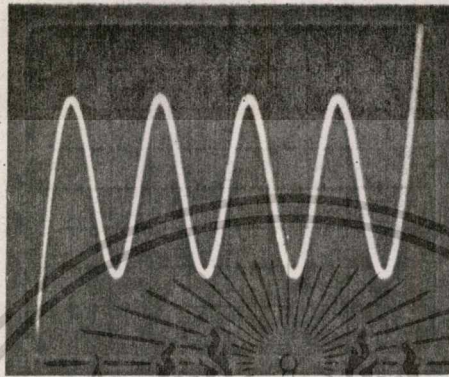
ในการต่อแบบสล๊อปเฟสนั้น เนื่องจากใช้ LM 3080 แทนดีฟเฟอเรนเชียลแพร์ทำให้ไม่สามารถรวมกระแสเอาต์พุทของดีฟเฟอเรนเชียลแพร์ ด้วยวิธีสล๊อปคอลลเลคเตอร์ได้ จึงใช้วิธีสล๊อปชั้วอินพุท ที่จะต้องป้อนสัญญาณสามเหลี่ยมของ LM 3080 แทนและต่อจุดเอาต์พุทของ LM 3080 เข้าด้วยกันตรงๆ แล้วเปลี่ยนกระแสเอาต์พุท ให้เป็นสัญญาณโวลเตจ ด้วยตัวต้านทาน  $R_2$  โวลเตจ  $v_o$  ที่ตกคร่อม  $R_2$  จะเป็นสัญญาณเอาต์พุทโวลเตจ จากนั้นจึงนำมาผ่านบัฟเฟอร์ ( Buffer ) เพื่อให้สัญญาณเอาต์พุทโวลเตจ ไม่ขึ้นกับโหลดภายนอก



## รูปที่ 3.3.2 กราฟเฟอ์เคอร์ฟของวงจรในรูปที่ 3.3.1

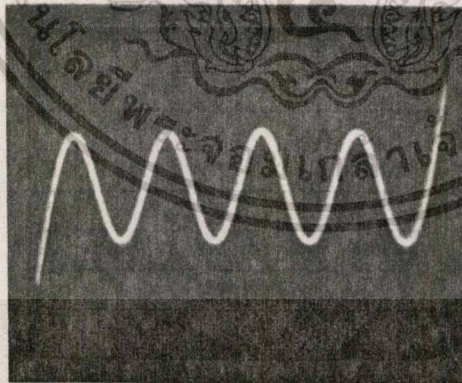
( E = 70 mV )

(อ) วัดที่กรขแล I = 100  $\mu$ A(บ) วัดที่กรขแล I = 200  $\mu$ A



0.1 V/DIV

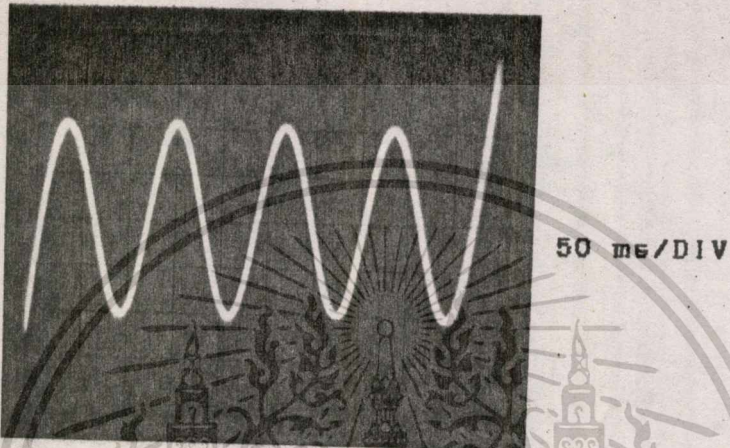
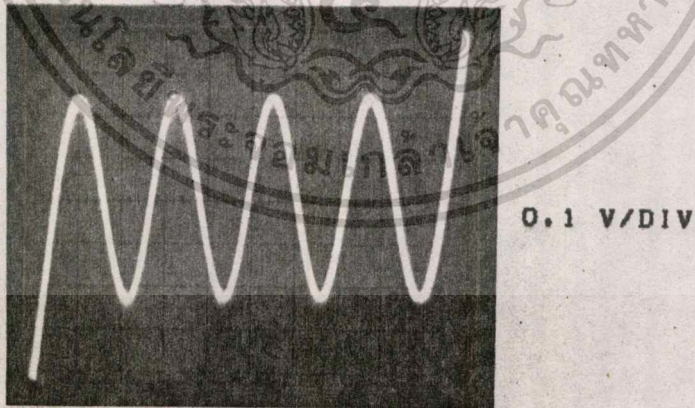
(c) วัดที่กระแส  $I = 300 \mu A$

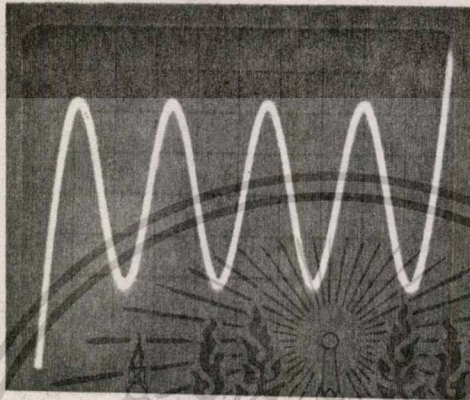


0.2 V/DIV

(d) วัดที่กระแส  $I = 400 \mu A$

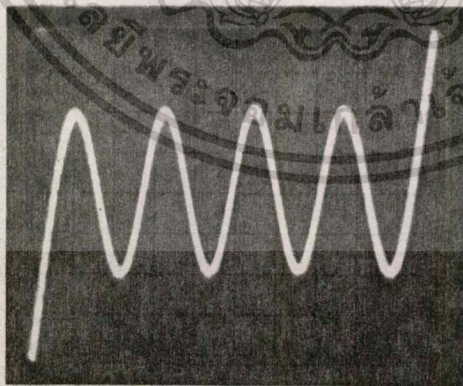
## รูปที่ 3.3.3 กราฟเฟอ์เคอร์ฟของวงจรในรูปที่ 3.3.1

(  $E = 80 \text{ mV}$  )(a) วัดที่กระแส  $I = 100 \mu\text{A}$ (b) วัดที่กระแส  $I = 200 \mu\text{A}$



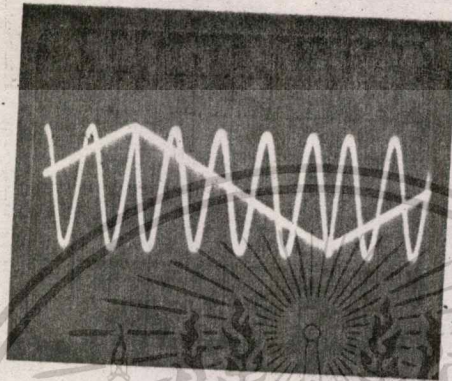
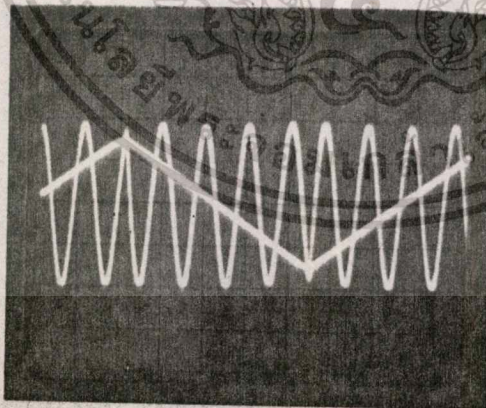
0.1 V/DIV

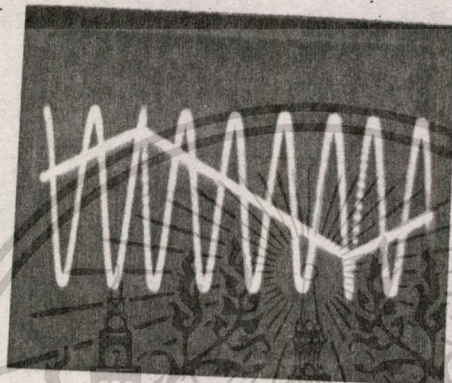
(c) วัดที่กระแส  $I = 300 \mu A$



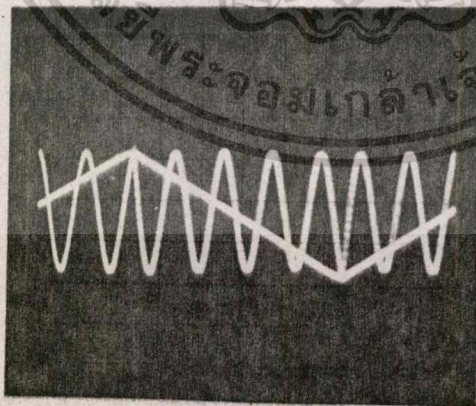
0.2 V/DIV

(d) วัดที่กระแส  $I = 400 \mu A$

รูปที่ 3.3.4 สัญญาณชายน้เมื่อ  $E = 70 \text{ mV}$ 
 $T = 50 \mu\text{s}/\text{DIV}$ 
 $= 0.2 \text{ V}/\text{DIV}$ 
 $= 50 \text{ mV}/\text{DIV}$ 
(a)  $I = 100 \mu\text{A}$ 
 $T = 50 \mu\text{s}/\text{DIV}$ 
 $= 0.2 \text{ V}/\text{DIV}$ 
 $= 0.1 \text{ V}/\text{DIV}$ 
(b)  $I = 200 \mu\text{A}$

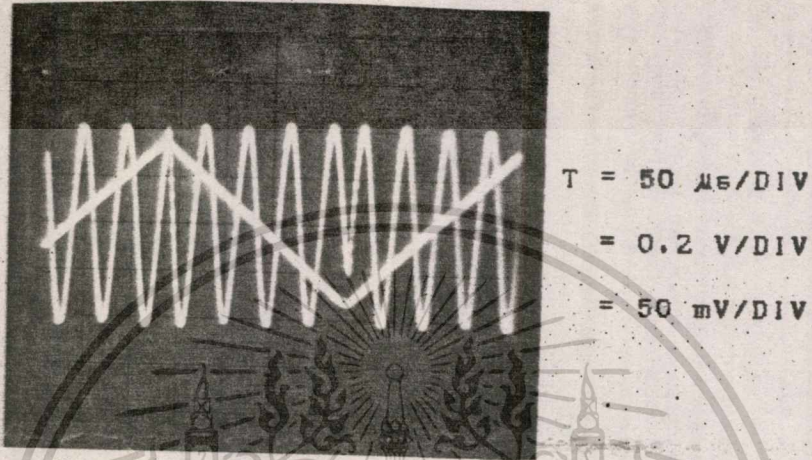
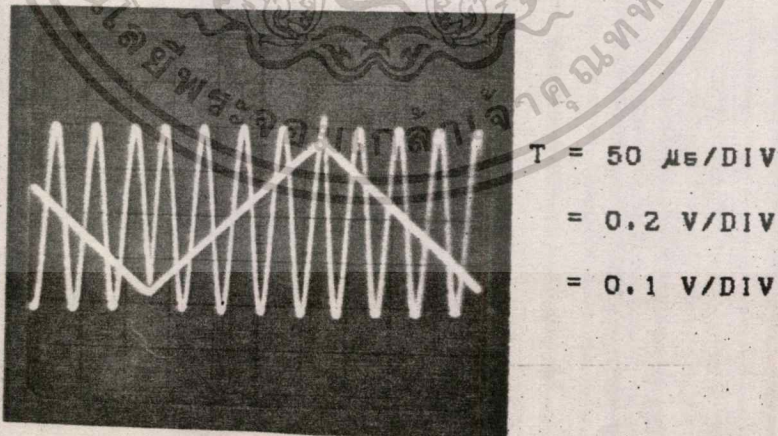

 $T = 50 \mu\text{s}/\text{DIV}$ 
 $= 0.2 \text{ V}/\text{DIV}$ 
 $= 0.1 \text{ V}/\text{DIV}$ 

(c)  $I = 300 \mu\text{A}$

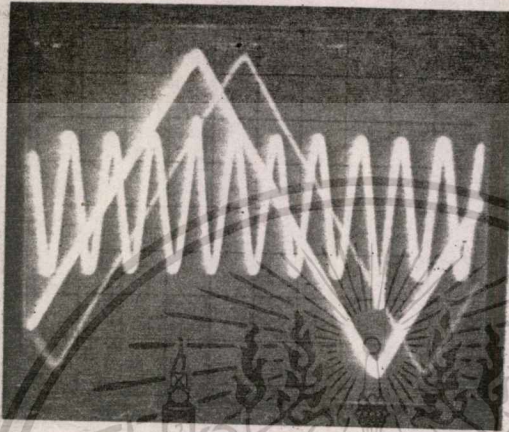

 $T = 50 \mu\text{s}/\text{DIV}$ 
 $= 0.2 \text{ V}/\text{DIV}$ 
 $= 0.2 \text{ V}/\text{DIV}$ 

(d)  $I = 400 \mu\text{A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

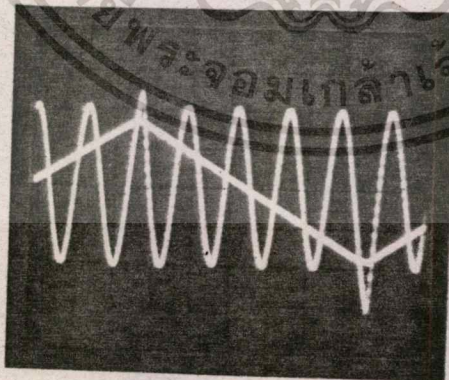
รูปที่ 3.3.5 สัญญาณชาอน์เมื่อ  $E = 80 \text{ mV}$ (a)  $I = 100 \mu\text{A}$ (b)  $I = 200 \mu\text{A}$ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.



$T = 50 \mu\text{s}/\text{DIV}$   
 $= 0.1 \text{ V}/\text{DIV}$   
 $= 0.2 \text{ V}/\text{DIV}$

(c)  $I = 300 \mu\text{A}$



$T = 50 \mu\text{s}/\text{DIV}$   
 $= 0.2 \text{ V}/\text{DIV}$   
 $= 0.2 \text{ V}/\text{DIV}$

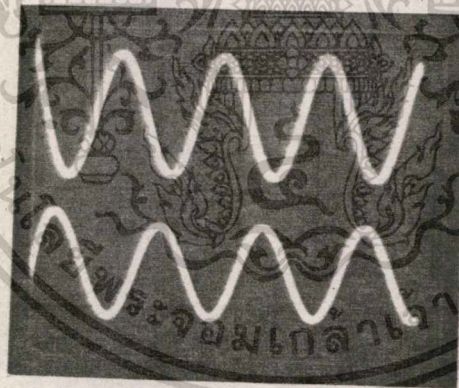
(d)  $I = 400 \mu\text{A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเราใช้ LM 3080 แทนดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ และ LM 3080 1 ชิป ประกอบด้วย O.T.A. 1 ตัว เราต้องการดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ 9 คู่ เราจึงต้องใช้ LM 3080 9 ชิป ซึ่งทั้ง 9 ชิปนี้ มีคุณสมบัติต่างๆ ไม่เหมือนกัน ทำให้เรา ไม่สามารถทำให้ค่า ทรานสคอนดักแทน ของแต่ละตัวเท่ากันได้ ด้วยการกำหนดกระแสไบอัส เราจึงต้องใช้การประมาณด้วยสายตาเข้าช่วย เมื่อนำสัญญาณชาน์จากรูปที่ 3.3.4 และ 3.3.5 มาผ่านดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ในรูปที่ 3.2.4 จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3.3.6

รูปที่ 3.3.6 รูปบน สัญญาณชาน์

รูปล่าง สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล

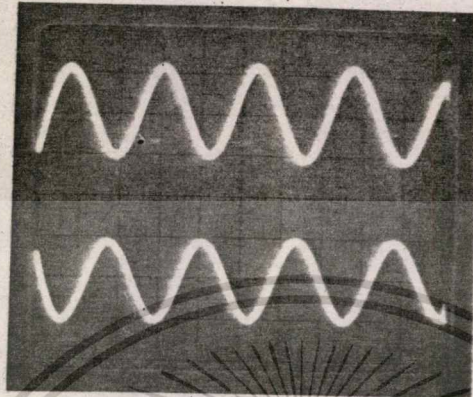


T = 50  $\mu$ S/DIV

รูปบน 50 mV/DIV

รูปล่าง 0.5 V/DIV

(e) E = 70 mV



T = 50  $\mu$ S/DIV

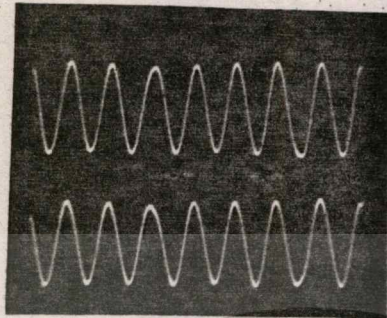
รูปบน 0.1 V/DIV

รูปล่าง 0.1 V/DIV

(b) E = 80 mV

จากรูปที่ 3.3.6 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสโลป เป็นไปอย่างต่อเนื่อง และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.2.5 ซึ่งสโลปเปลี่ยนแปลงอย่างไม่ต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่า สัญญาณขาขึ้นที่ได้จากวิธีใช้ดีฟเฟอเรนเชียลแพร์หลายคู่นี้ ดีกว่าการใช้ดีฟเฟอเรนเชียลแพร์คู่เดียวอย่างชัดเจน

แต่อย่างไรก็ดี สัญญาณขาขึ้นที่ได้จากวิธีใช้ดีฟเฟอเรนเชียลแพร์หลายคู่นี้ ก็ยังมีข้อเสียคือ สัญญาณขาขึ้นที่ตรงกับยอดปลาย บวก และ ลบ ของสัญญาณสามเหลี่ยม มียอดแหลม ซึ่งเกิดจากการที่ปลายของทรานสเฟอ์เคอร์ฟ มีแอมพลิจูด สูงกว่าแอมพลิจูดของทรานสเฟอ์เคอร์ฟในช่วงกลาง ๆ ดังนั้น จึงทดลองแก้ไข โดยการลดแอมพลิจูดของสัญญาณสามเหลี่ยมลงมา เพื่อให้ดีฟเฟอเรนเชียลแพร์ ทำงานเพียง 7 คู่ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3.3.7


 $T = 50 \mu\text{S}/\text{DIV}$ 

 รูปบน  $50 \text{ mV}/\text{DIV}$ 

 รูปล่าง  $0.5 \text{ V}/\text{DIV}$ 

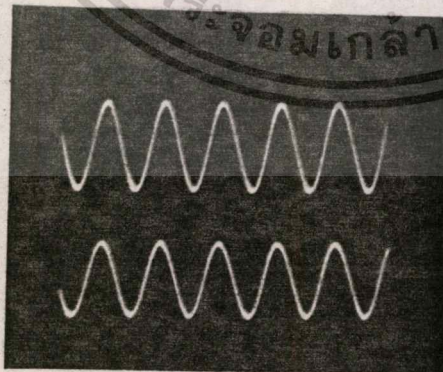
รูปที่ 3.3.7 รูปบน สัญญาณซายน์

รูปล่าง สัญญาณตรีเวกทีฟ

จากรูปที่ 3.3.7 จะเห็นว่า สัญญาณซายน์ที่ได้จากรีเลย์เฟอเรนเซียลแพร์ทำงานเพียง 7 คู่ แก้ปัญหาสัญญาณซายน์บริเวณรอยต่อหัวแหลมได้ แต่บริเวณรอยต่อ ยังเบี้ยวอยู่ ซึ่งก็เกิดจากความเที่ยงตรงของสัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้ป้อนให้กับวงจรยังไม่สูงพอ

รูปที่ 3.3.8 รูปบน สัญญาณซายน์

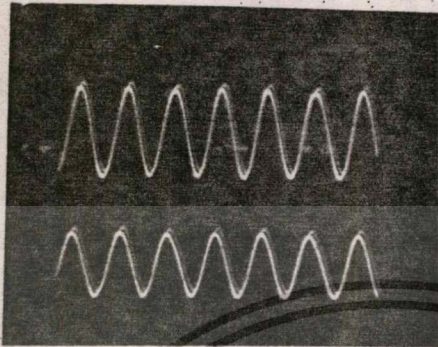
รูปล่าง สัญญาณตรีเวกทีฟ


 $T = 50 \mu\text{S}/\text{DIV}$ 

 รูปบน  $50 \text{ mV}/\text{DIV}$ 

 รูปล่าง  $0.5 \text{ V}/\text{DIV}$ 

(๑) รีเลย์เฟอเรนเซียลแพร์ทำงานเพียง 5 คู่

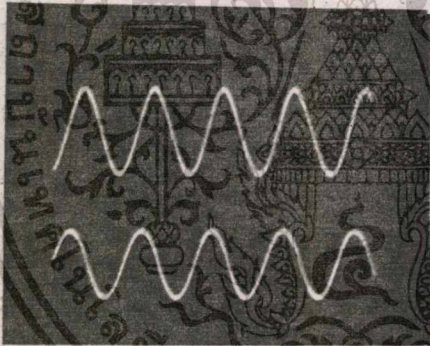


$$T = 0.1 \text{ ms/DIV}$$

รูปบน 50 mV/DIV

รูปล่าง 0.5 V/DIV

(b) ให้อิมพัลส์เฟอเรนเชียลแอมป์ทำงานเพียง 3 คู่



$$T = 0.2 \text{ ms/DIV}$$

รูปบน 50 mV/DIV

รูปล่าง 0.2 V/DIV

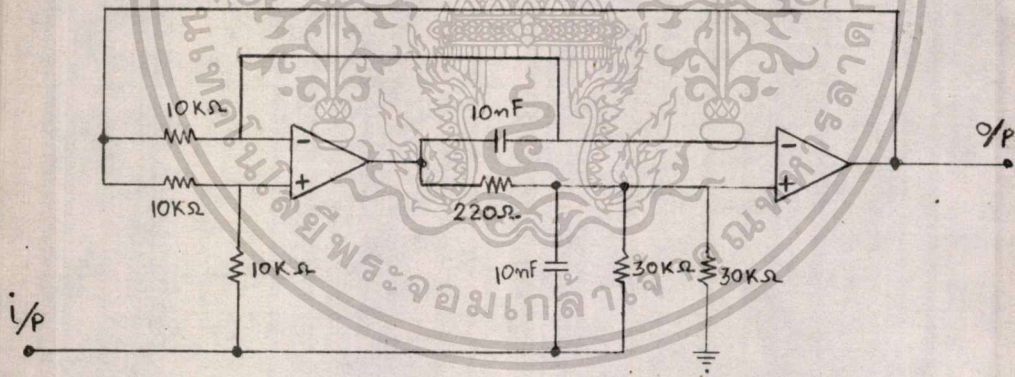
(c) ให้อิมพัลส์เฟอเรนเชียลแอมป์ทำงานเพียง 1 คู่

จากรูปที่ 3.3.8 จะเห็นได้ว่า สัญญาณขาขึ้นที่ได้จากการให้อิมพัลส์เฟอเรนเชียลแอมป์ทำงานเพียงคู่เดียว ความไม่เที่ยงตรงของสัญญาณสามเหลี่ยมจะมีผลน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากว่า ความไม่เที่ยงตรงของสัญญาณสามเหลี่ยมที่ออกมีค่าคงที่ เมื่อเราให้อิมพัลส์เฟอเรนเชียลแอมป์ทำงานมากขึ้นไป คาบของสัญญาณขาขึ้นจะลดลง ทำให้ความไม่เที่ยงตรงที่ออกของสัญญาณสามเหลี่ยมมีผลมากขึ้น

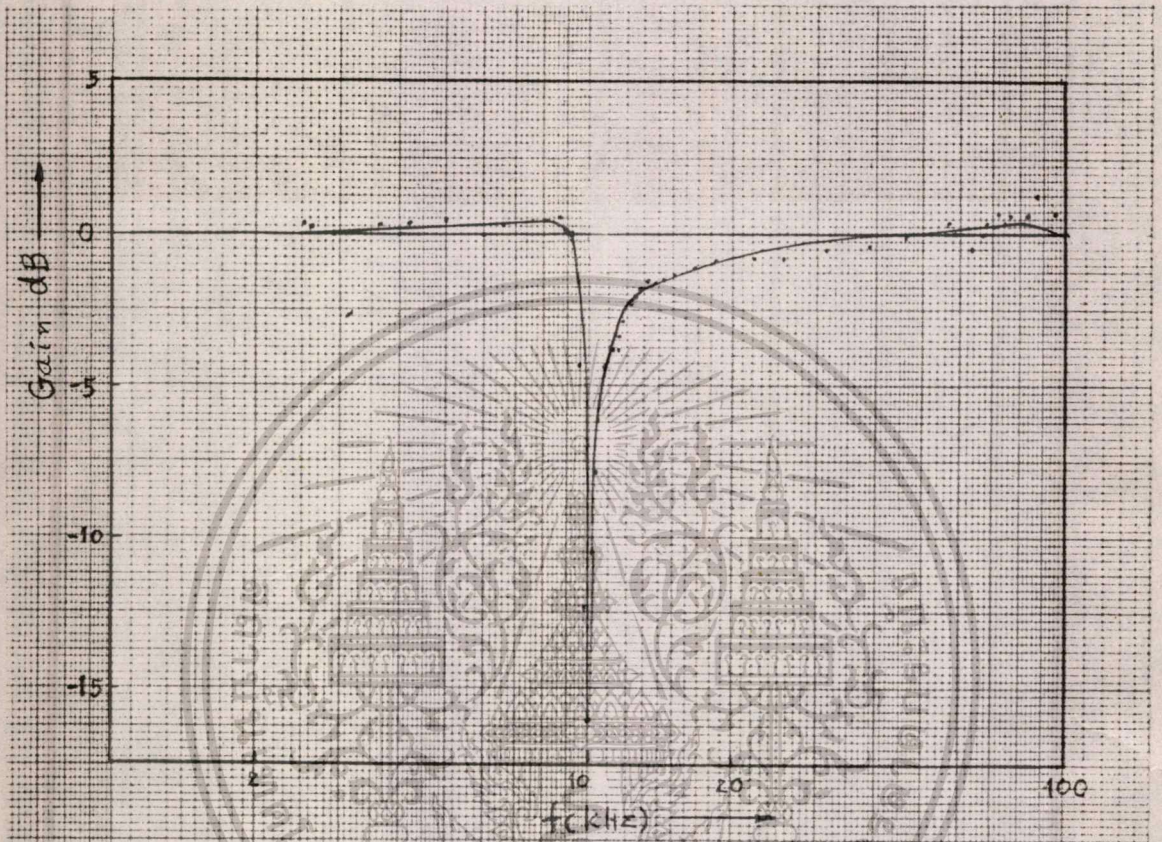
การวัดความเที่ยงตรงของสัญญาณขายนี้อันหนึ่งที่ยอมรับใช้ก็คือ การวัดค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิครวม ( Total Harmonic Distortion ) ซึ่งจะเรียกย่อ ๆ ว่า T.H.D.

$$T.H.D. = \frac{\text{ค่า r.m.s ของฮาร์โมนิคอื่น ๆ ทั้งหมด}}{\text{ค่า r.m.s ของสัญญาณพื้นฐาน (fundamental)}} \times 100 \%$$

จากสมการข้างต้น เราสามารถที่จะวัดค่า T.H.D. โดยประมาณอย่างง่าย ๆ ได้โดยการนำสัญญาณไปผ่าน นอทช์ฟิลเตอร์ (notch filter) เพื่อกรองเอาสัญญาณพื้นฐานออก แล้ววัดค่า r.m.s ของสัญญาณเอาที่พุดมาหารด้วยค่า r.m.s ของสัญญาณอินพุต โดยนอทช์ฟิลเตอร์ ที่จะใช้ในการทดลองมีวงจรเป็นดังรูปที่ 3.3.9



รูปที่ 3.3.9 (a) วงจรซึ่งใช้วัด T.H.D.



รูปที่ 3.3.9 (b) การตอบสนองความถี่

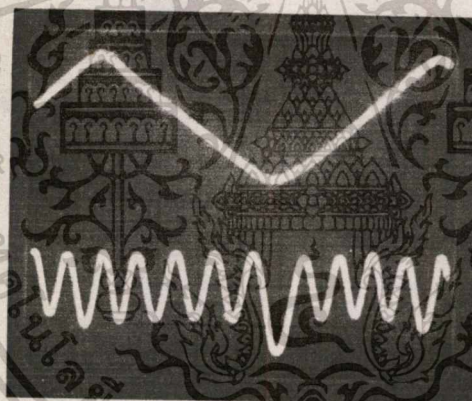
จากการวัด T.H.D. ของสัญญาณชายนี้นี้ ได้ผลการทดลองดังตาราง

	T.H.D. (%)
สัญญาณชายนี้นี้รูปที่ 3.3.7	3.862
สัญญาณชายนี้นี้รูปที่ 3.3.8 (a)	2.575
สัญญาณชายนี้นี้รูปที่ 3.3.8 (b)	1.287
สัญญาณชายนี้นี้รูปที่ 3.3.8 (c)	0.465
สัญญาณชายนี้นี้รูปที่ XR 2206	1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

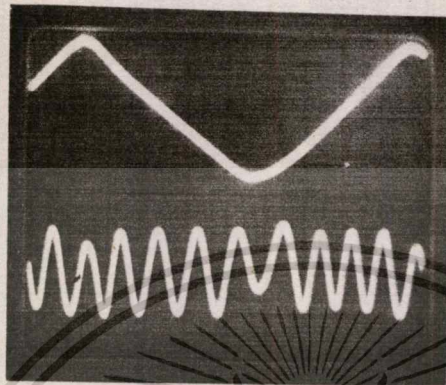
จากตารางจะเห็นว่า สัญญาณชายันท์ให้ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ทำงาน 7 คู่ จะมีค่า T.H.D. สูงสุด ทั้งนี้เป็นเพราะว่า LM 3080 แต่ละชิปมีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน เราใช้วิธีปรับกระแสไบอัส เพื่อให้ค่าทรานสดักชันของแต่ละชิปเท่ากัน ดังนั้นจึงมีค่าผิดพลาดมากขึ้นเรื่อย ๆ ( 7 คู่ ผิดพลาดมากกว่า 5 คู่ ) และจากผลการทดลอง เมื่อให้ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ทำงาน 1 คู่ ค่า T.H.D. ที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า T.H.D. ของสัญญาณชายันท์จาก XR 2206

รูปที่ 3.3.10 สัญญาณชายันท์ที่ความถี่สูงเมื่อ  $I = 100 \mu A$



$T = 2 \mu S / DIV$   
 $= 0.2 V / DIV$   
 $= 50 mV / DIV$

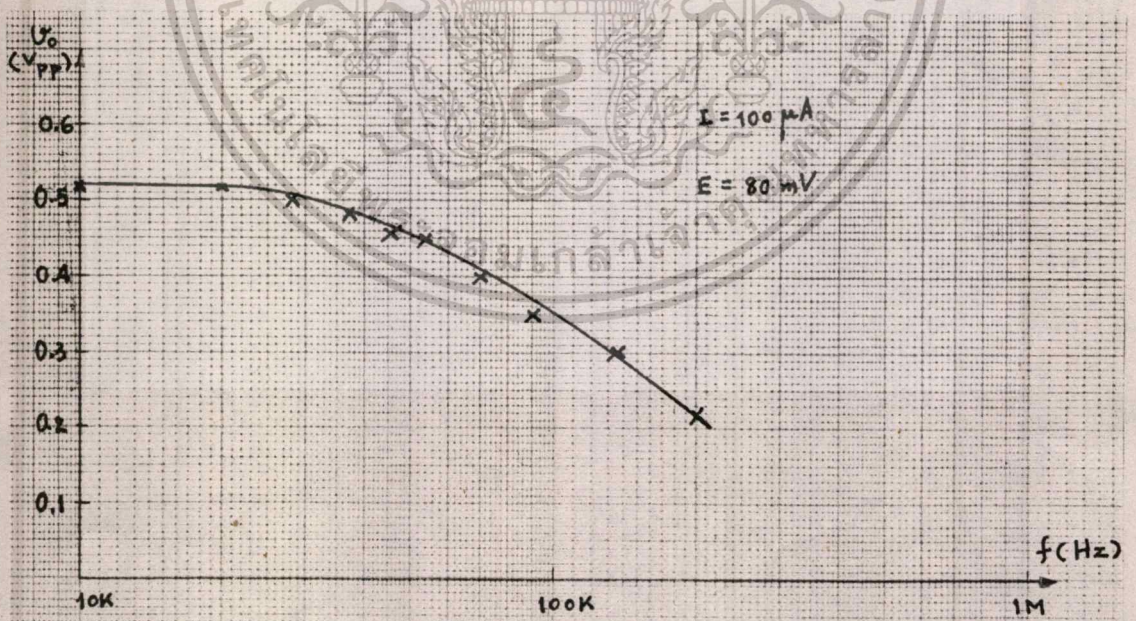
(a)  $E = 70 mV$



$T = 2 \mu\text{s}/\text{DIV}$   
 $= 0.2 \text{ V}/\text{DIV}$   
 $= 50 \text{ mV}/\text{DIV}$

(b)  $E = 80 \text{ mV}$

รูปที่ 3.3.10 เป็นสัญญาณช่ายที่มีความถี่สูง (ประมาณ 500 kHz) โดยใช้กระแสไบอัสเท่ากับ 100  $\mu\text{A}$  และเมื่อเพิ่มความถี่ให้สูงกว่านี้ สัญญาณเอาต์พุต จะเปลี่ยนไปมาก ซึ่งเกิดจากสาเหตุประการสำคัญ คือ สัญญาณสามเหลี่ยมยังมีความเที่ยงตรงไม่พอ



รูปที่ 3.3.11 แบนด์วิดธ์ของวงจร

บทสรุปและวิจารณ์การสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

วิธีที่นิยมใช้ในการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมนั้นคือ วิธี อิมิตเตอร์คัปเปิล ซึ่งการสร้างด้วยวิธีดังกล่าว ความถี่เอาท์พุทจะขึ้นกับอุณหภูมิค่อนข้างมาก แต่ก็มีวิธีลดผลของอุณหภูมิดังเช่นในไอซีเบอร์ XR 2206 ได้ลดผลของอุณหภูมิลงเหลือเพียง  $+20 \text{ ppm} / ^\circ\text{C}$  ในที่นี้จึงได้ทดลองใช้ XR 2206 ในการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

วิธีการสร้างสัญญาณรูปซายน์จากสัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ทำการทดลองมี 2 วิธีคือ

แบบใช้ดีฟเฟอเรนเชียลแอมป์เดี่ยว

ให้สัญญาณเอาท์พุทคล้ายรูปซายน์ และถ้ามี  $R_u$  ต่อระหว่างอิมิตเตอร์ทั้งสองก็จะสามารถปรับค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อให้สัญญาณเอาท์พุทใกล้เคียงกับสัญญาณซายน์มากยิ่งขึ้นได้ แต่จุดประสงค์ของการทดลองในหัวข้อนี้ก็เพียงเพื่อชี้ให้เห็นข้อบกพร่องของสัญญาณซายน์จากวิธีดังกล่าว ดังนั้นจึงนำ O.T.A. เบอร์ LM 3080 ซึ่งมีส่วนอินพุทเป็นดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์และให้เอาท์พุทเป็นกระแสเดี่ยวมาใช้ในการทดลอง

จากทรานสเฟอว์เคอร์ฟ และสัญญาณซายน์ที่สร้างด้วย LM 3080 จะเห็นได้ว่ามีความใกล้เคียงกับสัญญาณซายน์ แต่เมื่อนำไปผ่านดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ สัญญาณที่ได้น่าจะเป็นสัญญาณ cosine แต่กลับมีลักษณะคล้ายสัญญาณสามเหลี่ยม ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ไม่มี  $R_u$  นั้นเอง

อย่างไรก็ตาม จากสัญญาณที่ผ่าน ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ จะสังเกตได้ว่าสโลปที่ยอดปลายบวกและลบของสัญญาณซายน์ไม่เท่ากับศูนย์

### แบบใช้ดีฟเฟอเรนเชียลหลายคู่

จากผลการทดลองวัดประสิทธิภาพด้วย ดีฟเฟอเรนเชียลเตอร์ และค่า T.H.D. สามารถพิสูจน์ให้เห็นได้ว่า สัญญาณเอาท์พุทใกล้เคียงกับสัญญาณชಾಯน์มากกว่าวิธีแรกมาก และการเปลี่ยนแปลงของสไลป ก็เป็นไปอย่างต่อเนื่อง

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.3.4 และ รูปที่ 3.3.5 พบว่า สัญญาณเอาท์พุท ยังมีปัญหาในช่วงที่ตรงกับยอดของสัญญาณสามเหลี่ยม ซึ่งเกิดจากการที่ทรานสเฟอร์เฟอเรนซ์ของวงจรมีแอมพลิจูดที่ปลาย ไม่เท่ากับ แอมพลิจูดในช่วงกลาง ๆ จึงได้ทดลองลดแอมพลิจูดของสัญญาณสามเหลี่ยมลง เพื่อให้ดีฟเฟอเรนเชียลแพร์ที่ต่อไว้ 9 คู่ ทำงานเพียง 7 คู่ ก็ได้ผลที่ดีขึ้น แต่ก็ยังมีปัญหาคือหัวเขี้ยว ซึ่งเกิดจากความเที่ยงตรงของสัญญาณอินพุทสามเหลี่ยมยังไม่สูงพอ

จากสัญญาณคิริเวทึฟ ของสัญญาณชಾಯน์ ที่ได้จากวิธีนี้ จะเห็นได้ว่า ใกล้เคียงกับสัญญาณคิริเวทึฟของสัญญาณชಾಯน์มาก คือ มีสไลปที่ยอดปลายบวก และ ลบ เท่ากับศูนย์ และการเปลี่ยนแปลงของสไลป ก็เป็นไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อทดลองวัด T.H.D. ของสัญญาณชಾಯน์ที่ได้จากวิธีนี้พบว่า เมื่อให้ดีฟเฟอเรนเชียลแพร์ทำงาน เพียงคู่เดียว ค่า T.H.D. ที่วัดได้ มีค่าน้อยกว่า ค่า T.H.D. ที่วัดได้ จากสัญญาณชಾಯน์ของ XR 2206 แต่เมื่อให้ดีฟเฟอเรนเชียลแพร์ทำงาน 7 คู่ ค่า T.H.D. ที่วัดได้ กลับเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ เกิดจากการที่ ดีฟเฟอเรนเชียลแพร์แต่ละตัว มีคุณสมบัติ ไม่เหมือนกัน และเราใช้การประมาณค่ากระแสไบอัส เพื่อให้ทรานสเฟอร์เฟอเรนซ์ของดีฟเฟอเรนเชียลแพร์แต่ละคู่ มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ดี การสร้างสัญญาณชಾಯน์จากวิธีนี้ จะใช้ได้ผลดีก็ต่อเมื่อ ดีฟเฟอเรนเชียลแพร์ทุกคู่ ถูกสร้างอยู่บนชิพเดียวกัน เท่านั้น เพื่อที่จะให้ทรานซิสเตอร์ทุกตัว มีคุณสมบัติเหมือนกันที่สุด และเมื่อสร้างอยู่บนชิพเดียวกันแล้ว ค่า T.H.D. น่าจะมีค่าน้อยกว่าเดิมมาก

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้ สำเร็จจุล่งไปด้วยดีได้ โดยได้ระบความร่วมมื  
และความช่วยเหลือ จากหลายฝ่ายด้วยกัน

ขอขอบคุณ รศ.ดร. สิทธิชัย โภไคยอุดม ผู้ให้คำปรึกษา ตลอดจน  
คำแนะนำต่าง ๆ

ขอขอบคุณ ดร. วัลลภ สุระกำพลธร ผู้ให้คำแนะนำในการทดลอง  
จนกระทั่งผลงานชิ้นนี้ สำเร็จจุล่งไปด้วยดี และขอขอบคุณ คณะจารย์  
ทุก ๆ ท่าน ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ จนกระทั่งสามารถนำเสนอผลงาน  
ชิ้นนี้ออกมาได้



หนังสืออ้างอิง

1. ลีทิจชัย โกโคยอคม. "การวิเคราะห์และสังเคราะห์วงจรร่วม".  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง , 1989
2. MEYER, R.G., SANSEN, W.M.C., SIK LUI, PEETERS, S.: 'The  
differential pair as a triangle-sine wave converter',  
IEEE J. Solid State Circuit, 1976, sc-11, pp.418-420
3. GILBERT, B.: 'Circuit for the precise synthesis of the  
sine function', Electron. Lett., 1977, 13, 17, pp.506-508
4. EVAN, W.A.: 'Accurate sine function synthesis', Electron.  
Lett., 1978, 2, 3, pp.75-58
5. GREBENE, A.B.: 'Monolithic waveform generation', IEEE  
Spectrum, April 1972, pp.34-40
6. EXAR: Function Generator Data Book, Exar Integrated  
System, Inc., Sunnyvale, Calif., 1979