

# โครงการวิจัย

วงจรการมอดูเลตได้หลายประเภท แบบใหม่  
A Novel Versatile Modulator Circuit

ผู้รับผิดชอบโครงการวิจัย

นายปราโมทย์ วาดเขียน

นางจิรสุดา โกษิยาภรณ์

นายปานวิทย์ ชูระนุดี

RCH

TK

7874.55

๗452๖

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

84512

13 ต.ค. 2551

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๖.....

# สารบัญ

ผู้รับผิดชอบโครงการวิจัย	1
บทนำ	2
คุณสมบัติและรายละเอียดโครงการวิจัย	3
การสร้างและออกแบบวงจร	4
- โครงสร้างของ Balance CMOS OTA	
- โครงสร้างของ Balance CMOS OTA ในระดับ Layout	
- วงจรการมอดูเลตได้หลายประเภท	
ผลการเลียนแบบ	11
สรุป	14
ภาคผนวก	15



11๑๑ ๖.๖๒๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ชื่อโครงการวิจัย

(ไทย) วงจรการมอดูเลตได้หลายประเภท แบบใหม่

(อังกฤษ) A Novel Versatile Modulator Circuit

### ผู้รับผิดชอบโครงการวิจัย

#### หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ นายปราโมทย์ วาดเขียน

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ คุณวุฒิ ปริญญาเอก

ความชำนาญ/ความสนใจพิเศษ การประมวลผลสัญญาณ การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

สถานที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ โทรสาร 02-326-4242 (office) 02-326-4554 (fax)

อีเมล pramote@telecom.kmitl.ac.th

#### ผู้ร่วมโครงการวิจัย(1)

ชื่อ นางจีรสุดา โกษียามารณ์

ตำแหน่ง คุณวุฒิ ปริญญาเอก

ความชำนาญ/ความสนใจพิเศษ การประมวลผลสัญญาณ การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

สถานที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ โทรสาร 02-326-4242 (office) 02-326-4554 (fax)

อีเมล jeerasuda@telecom.kmitl.ac.th

#### ผู้ร่วมโครงการวิจัย(2)

ชื่อ นายปานวิทย์ ชวนนุติ

สถานภาพ นักศึกษาปริญญาเอก วุฒิการศึกษา ปริญญาโท

สถานที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

อีเมล panwit@telecom.kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทนำ

จากเทคโนโลยีการผลิตวงจรรวมแบบ CMOS ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตวงจรรวม หรือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำ จึงได้ทำการศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีเพื่อออกแบบวงจรรวมในระดับล่าง (Layout) เพื่อสร้างเป็น IC สำเร็จรูป

โครงการวิจัยนี้ เป็นการสร้าง และ ออกแบบ วงจรการมอดูเลตได้หลายประเภท ซึ่งสามารถมอดูเลตได้ทั้งระบบอนาลอก และ ระบบดิจิตอล โดยการมอดูเลตแบบอนาลอกนั้น ได้แก่ การมอดูเลตชนิด AM และ FM ในขณะที่การมอดูเลตแบบดิจิตอลนั้น ได้แก่ การมอดูเลตแบบ Delta modulation และ Sigma Delta modulation

โครงสร้างของ วงจรการมอดูเลตได้หลายประเภทแบบใหม่นี้ มีข้อได้เปรียบที่เด่นชัดคือ สามารถกำเนิดสัญญาณนาฬิกา / คลื่นพาห์ ได้ด้วยตนเอง (Clock Inherent) จึงไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณนาฬิกา/คลื่นพาห์ จากภายนอกเข้าสู่วงจร, สามารถปรับค่าความถี่และแอมพลิจูด ได้ด้วยวิธีการทาง อิเล็กทรอนิกส์ ได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน และ โครงสร้างวงจรมีขนาดเล็ก กระชับ



## คุณสมบัติและรายละเอียดโครงการวิจัย

มาตรฐานเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างวงจรรวม มีด้วยกันหลายมาตรฐานขึ้นกับ ศูนย์ผลิตวงจรรวม ( Foundry ) ของแต่ละศูนย์ ในโครงการวิจัยนี้ จะทำการจัดส่งวงจรรวม ไป เจื่อสารผ่านบริการเจือสารแบบ Multi-Project Wafer ( MPW ) ซึ่งเป็นแบบที่มีการเฉลี่ย ต้นทุนคงที่ ( NRE ) ในบรรดาผู้ส่งแบบแต่ละราย เพื่อเหมาะสมกับการทำต้นแบบ chip และ การผลิต chip ในปริมาณน้อย เพราะช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย

วงจรรวม ที่ทำการออกแบบนี้ มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ เป็นวงจรถูกที่สามารถทำการมอดูเลตได้หลายประเภท ซึ่งสามารถมอดูเลตได้ทั้งในระบบอนาลอก และระบบดิจิตอล โดยการมอดูเลตแบบอนาลอกนั้น ได้แก่ การมอดูเลตชนิด AM และ FM ในขณะที่การมอดูเลตแบบ ดิจิตอลได้แก่ การมอดูเลตแบบ DM และ SDM

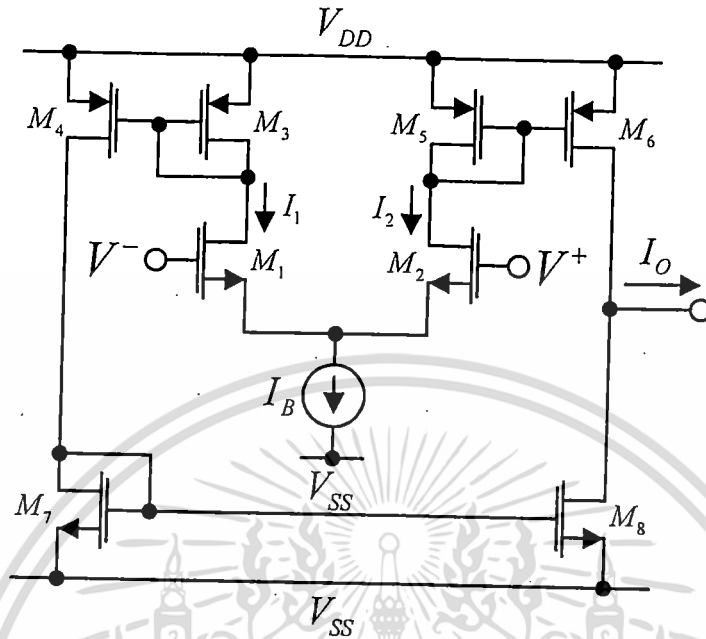
โครงสร้างของ วงจรการมอดูเลตได้หลายประเภทแบบใหม่นี้ ประกอบด้วย OTA จำนวน 3 ชุด, ตัวเก็บประจุ 1 ตัว และตัวต้านทาน 2 ตัว ต่อร่วมกัน โดยอาศัยพื้นฐานจาก วงจรสมิททริกเกอร์ มีผลทำให้สามารถทำการมอดูเลตได้หลายประเภท ดังที่กล่าวไปข้างต้น

นอกจากนี้แล้ว ข้อได้เปรียบที่เด่นชัดของวงจรถูกกล่าวคือ

- สามารถกำเนิดสัญญาณนาฬิกา / คลื่นพาห์ ได้ด้วยตนเอง ( Clock Inherent ) จึงไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณนาฬิกา/คลื่นพาห์ จากภายนอกเข้าสู่วงจร
- วงจรถูกกล่าว สามารถปรับค่าความถี่และแอมพลิจูด ได้ด้วยวิธีการทาง อิเล็กทรอนิกส์ ได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน
- ไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์ใดๆ เข้าไปในวงจร วงจรถูกกล่าวสามารถเป็นได้ทั้ง AM, FM, DM และ SDM
- โครงสร้างวงจรมีขนาดเล็ก กระชับ

## การสร้างและออกแบบวงจร

### 1. โครงสร้างของ Balance CMOS OTA



รูปที่ 1. วงจร Balance CMOS OTA

จากรูปที่ 1. จะเห็นว่า โครงสร้างของ Balance CMOS OTA นั้น ประกอบไปด้วย วงจร Differential Amplifier ต่อร่วมกับวงจร Current mirror โดยมีแรงดันอินพุต มีค่า  $v_{in} = V^+ - V^-$ , ค่ากระแสเอาต์พุต มีค่า  $I_O = I_2 - I_1$  และ ค่า  $I_B$  คือค่ากระแสไบอัส จากโครงสร้างของวงจรในรูปที่ 1. สามารถคำนวณหากระแสเอาต์พุต ได้ดังนี้

$$I_O = \sqrt{2I_B K} \cdot v_{in} \cdot \sqrt{1 - \frac{Kv_{in}^2}{2I_B}} \quad \text{เมื่อ} \quad -\sqrt{\frac{I_B}{K}} \leq v_{in} \leq \sqrt{\frac{I_B}{K}} \quad (1)$$

โดยที่  $K = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right)$  เมื่อ  $\mu_n$  คือค่า ความคล่องตัวของพาหะในช่องทางเดินกระแส,  $C_{ox}$  คือค่า Gate-Oxide Capacitance ต่อ หน่วยพื้นที่, ค่า  $W$  คือค่าความกว้างของ Channel และ  $L$  คือค่าความยาวของ Channel

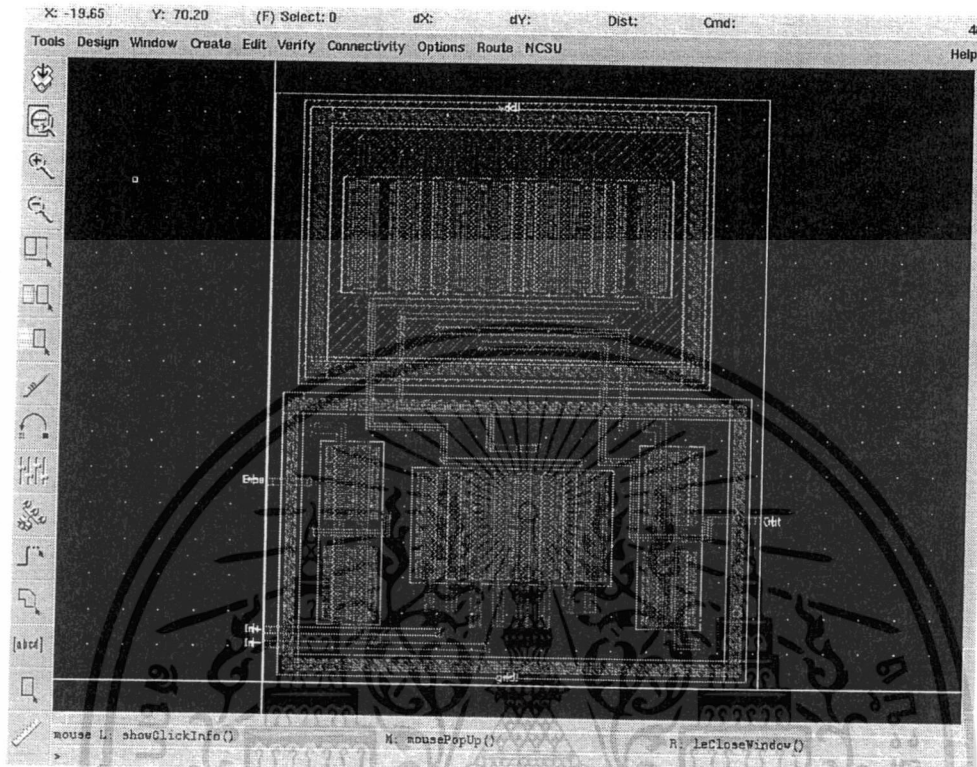
คำนวณหาค่า transconductance ของ Balance CMOS OTA ได้จาก

$$g_m = \left. \frac{dI_O}{dv_{in}} \right|_{v_{in}=0} = \sqrt{2I_B K} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

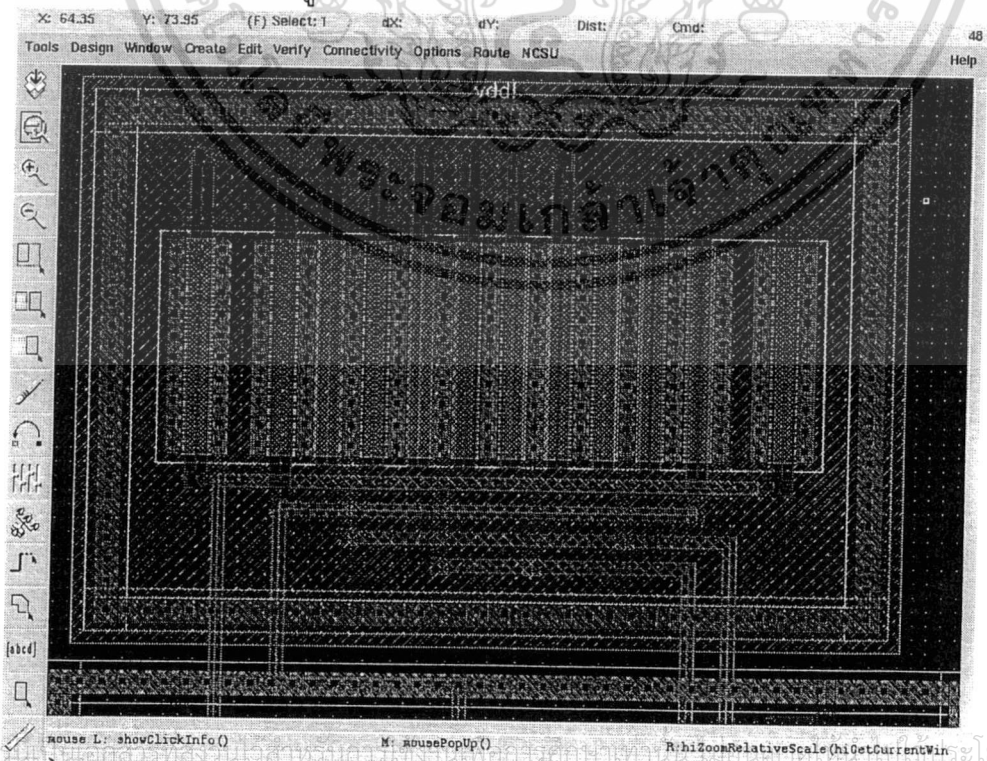
## 2. โครงสร้างของ Balance CMOS OTA ในระดับ Layout

ในการออกแบบระดับ Layout นั้น จะใช้เทคนิคการออกแบบ แบบ Common centroid แสดง Layout ของ วงจร Balance CMOS OTA ดังรูปที่ 2.



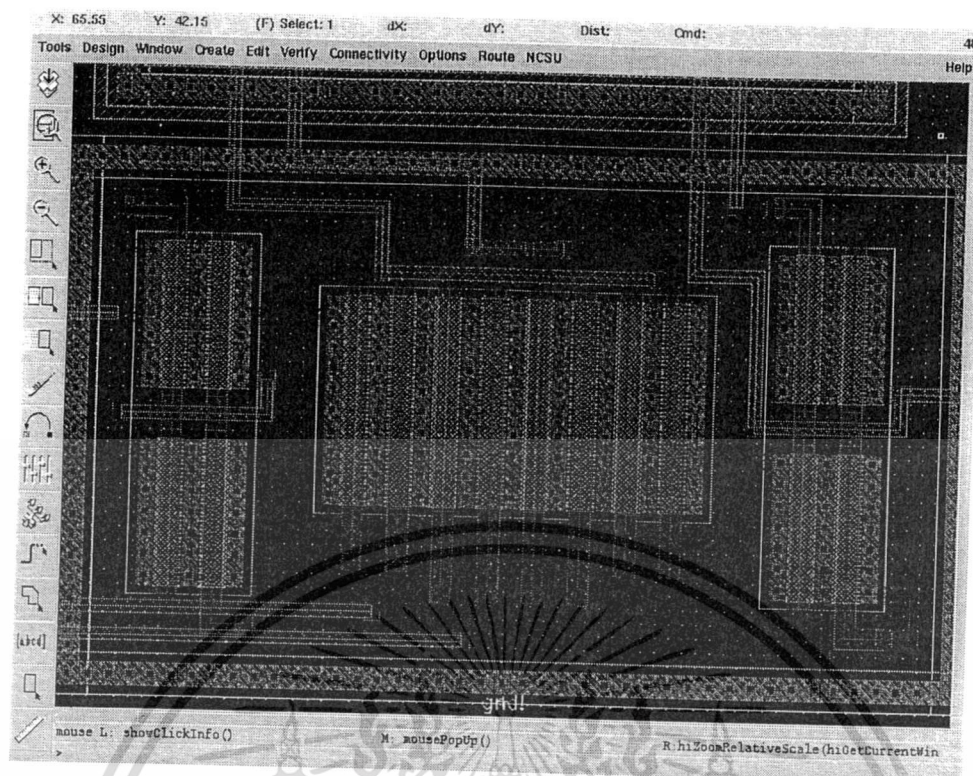
รูปที่ 2. Layout ของวงจร Balance CMOS OTA

แสดง Layout แบบ Zoom ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเทคโนโลยีการศึกษาด้านการคำนวณและไอที

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

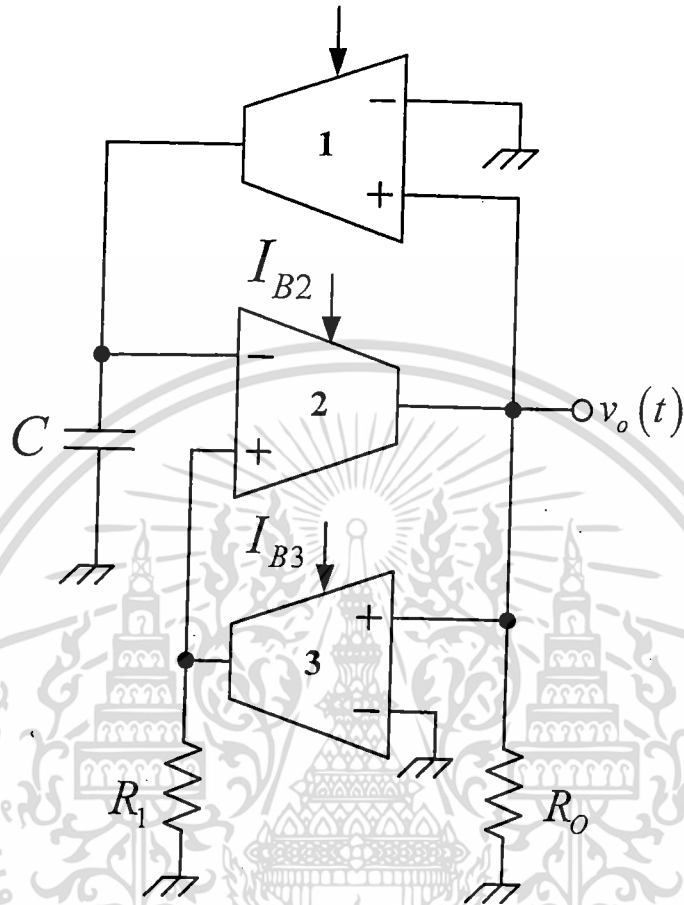


รูปที่ 3. Layout ของวงจร Balance CMOS OTA แบบ Zoom

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงจรการมอดูเลตได้หลายประเภท

วงจรการมอดูเลตได้หลายประเภท ประกอบด้วย OTA จำนวน 3 ชุด, ตัวเก็บประจุ 1 ตัว และตัวต้านทาน 2 ตัว ต่อรวมกัน โดยอาศัยพื้นฐานจากวงจรสมิททริกเกอร์ ดังรูปที่ 4.



รูปที่ 4. วงจรสมิททริกเกอร์

จากวงจร สมิททริกเกอร์ที่นำเสนอนี้ จะให้กำเนิดสัญญาณเอาร์ทพุตเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดยสามารถปรับค่าขนาด และความถี่ ได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน โดยที่ความถี่ ของสัญญาณเอาร์ทพุต หาได้จาก

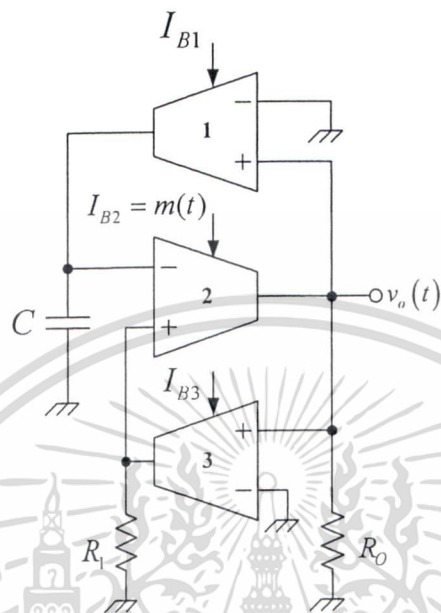
$$f = \frac{1}{4CR_1} \left( \frac{I_{B1}}{I_{B3}} \right) \quad (3)$$

และ ขนาดของสัญญาณเอาร์ทพุต หาได้จาก

$$v_o(t)_{P-P} = 2I_{B2}R_0 \quad (4)$$

### 3.1 วงจรการมอดูเลตเชิงขนาด

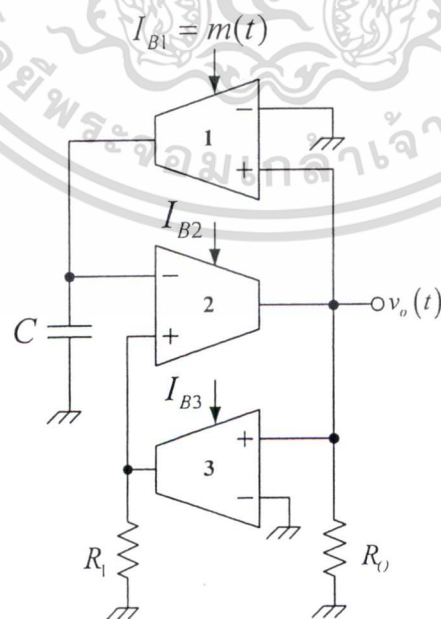
จากวงจรในรูปที่ 4. ถ้าป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่กระแสไบอัส  $I_{B2}$  ตามสมการที่ (4) จะพบว่า ขนาดของสัญญาณเอาต์พุต จะแปรผันตรงตามขนาดสัญญาณอินพุต ดังนั้น วงจรดังกล่าว จึงสามารถประยุกต์ตัวเป็นวงจรการมอดูเลตเชิงขนาดได้



รูปที่ 5. วงจรการมอดูเลตเชิงขนาด

### 3.2 วงจรการมอดูเลตเชิงความถี่

ในทำนองเดียวกัน วงจรในรูปที่ 4. ถ้าป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่กระแสไบอัส  $I_{B1}$  ตามสมการที่ (5) จะพบว่า ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต จะแปรผันตรงตามขนาดสัญญาณอินพุต ดังนั้น วงจรดังกล่าว จึงสามารถประยุกต์ตัวเป็นวงจรการมอดูเลตเชิงความถี่

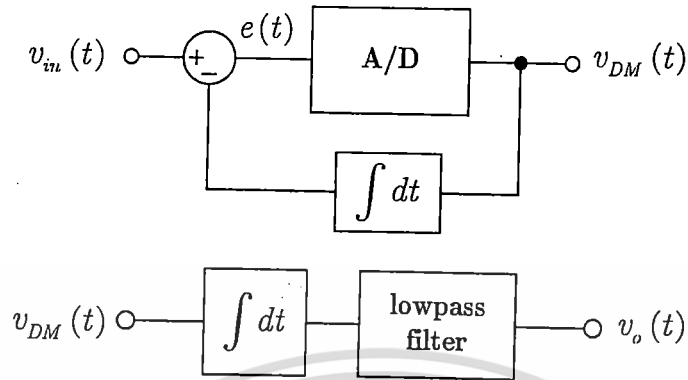


รูปที่ 6. วงจรการมอดูเลตเชิงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

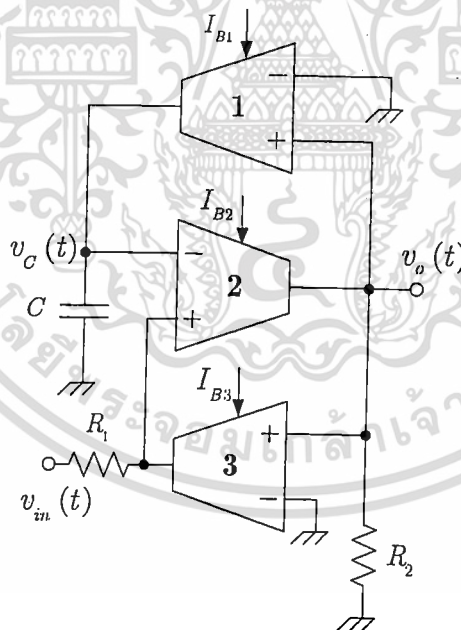
### 3.3 วงจรการมอดูเลตแบบเดลต้า

ระบบ การมอดูเลตแบบเดลต้า ( delta modulation , DM ) แสดงดังรูปที่ 7.



รูปที่ 7. ระบบการมอดูเลตแบบเดลต้า

จากระบบการมอดูเลตแบบเดลต้าในรูปที่ 7. และ จากวงจรในรูปที่ 4. สามารถพัฒนาปรับปรุง วงจรสมิททริกเกอร์ ให้เป็นวงจรการมอดูเลตแบบเดลต้า โดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ใดๆ เพิ่มเข้าไปในวงจร โดยการป้อนสัญญาณอินพุต เข้าไปในวงจรที่ขั้วของตัวต้านทาน  $R_1$  แสดงดังรูปที่ 8.



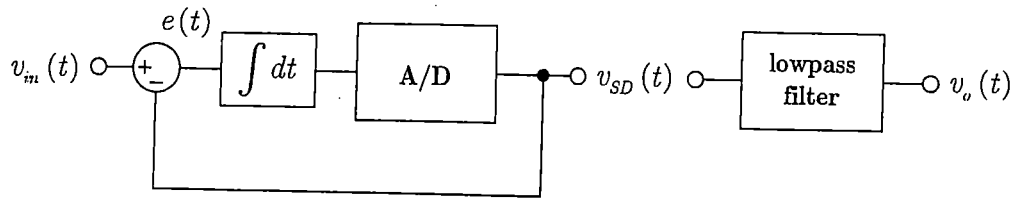
รูปที่ 8. วงจรการมอดูเลตแบบเดลต้า

จากวงจรในรูปที่ 8. พบว่า ตัวเก็บประจุ ที่ต่อร่วมกับ OTA1 จะทำหน้าที่เป็นวงจรปริพันธ์ ดังนั้น  $v_c(t) = \int v_o(t)dt$  เมื่อป้อนสัญญาณอินพุต  $v_{in}(t)$  เข้าไปในวงจรสัญญาณอินพุตดังกล่าว จะถูกเปรียบเทียบกับ ปริพันธ์ของสัญญาณเอาต์พุต และสร้างสัญญาณพัลซ์เอ๊าท์พุต ที่เป็นสัญญาณการมอดูเลตแบบเดลต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

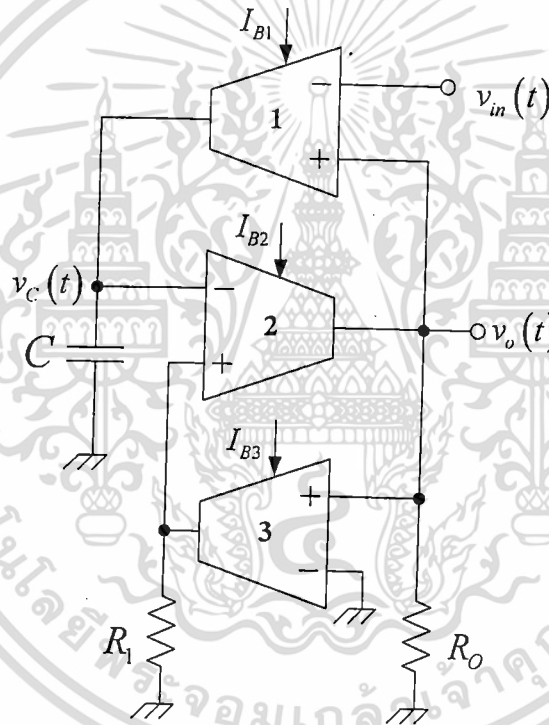
### 3.4 วงจรการมอดูเลตแบบซิกมาเดลต้า

ระบบการมอดูเลตแบบซิกมาเดลต้า ( sigma delta modulation ) แสดงดังรูปที่ 9.



รูปที่ 9. ระบบการมอดูเลตแบบซิกมาเดลต้า

จากระบบการมอดูเลตแบบซิกมาเดลต้าในรูปที่ 9. และ จากวงจรในรูปที่ 4. สามารถพัฒนาปรับปรุง วงจรสมิททริกเกอร์ ให้เป็นวงจรการมอดูเลตแบบซิกมาเดลต้า โดยการป้อนสัญญาณอินพุต เข้าไปในวงจรที่ขั้วลบของ OTA ตัวที่หนึ่ง แสดงดังรูปที่ 10.



รูปที่ 10. วงจรการมอดูเลตแบบซิกมาเดลต้า

จากวงจรการมอดูเลตแบบซิกมาเดลต้า พบว่า ตัวเก็บประจุ ที่ต่อร่วมกับ OTA จะทำหน้าที่เป็นวงจรปริพันธ์ ซึ่ง OTA เมื่อป้อนสัญญาณอินพุต  $v_m(t)$  เข้าไปในวงจร ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุต กับ สัญญาณเอาต์พุต จะถูกป้อนเข้าวงจรปริพันธ์

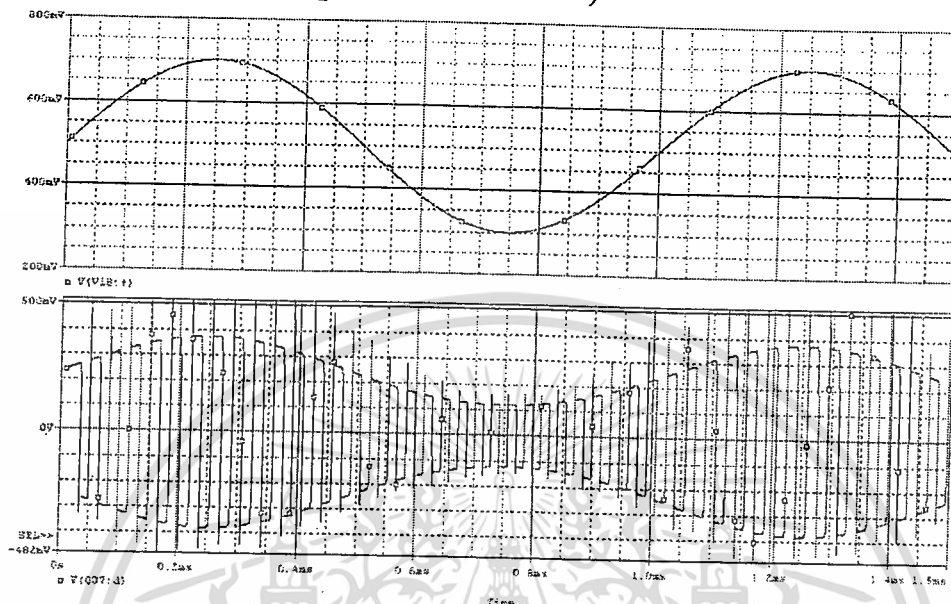
$$v_C(t) = \int [v_o(t) - v_m(t)] dt$$

และนำไปเปรียบเทียบกับระดับแรงดันอ้างอิง  $v_{IH}$  และ  $v_{IL}$  เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์เอาต์พุตออกมา เป็นสัญญาณการมอดูเลตแบบซิกมาเดลต้า  
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของเวสท์ทริคเกอร์ ซึ่งในเอกสารฉบับนี้นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการเลียนแบบ

ทำการเลียนแบบการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม Orcad9.1 โดยกำหนดให้มี  
 ต่างๆ ดังนี้  $V_{DD} = -V_{SS} = 1.65 \text{ Volt}$ ,  $R_1 = R_0 = 10k\Omega$  และ  $C = 1nF$

### 1. การมอดูเลตเชิงขนาด ( Amplitude Modulation )



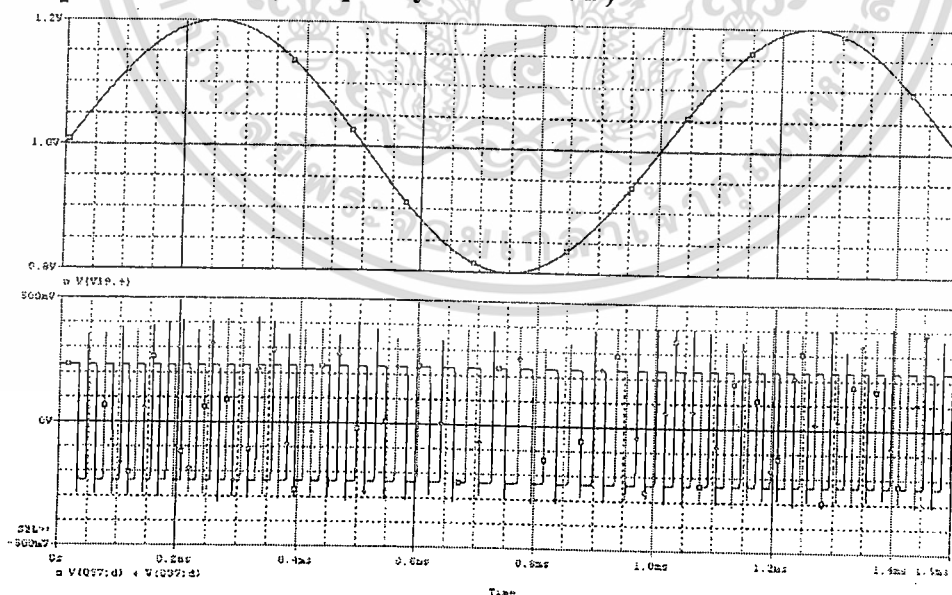
รูปที่ 11. ผลการเลียนแบบ การมอดูเลตเชิงขนาด

สัญญาณรูปบน คือ สัญญาณอินพุตเป็น สัญญาณไซน์ชอยดอล แอมพลิจูด 0.2 Volt

แรงดันออฟเซต 0.5 Volt ความถี่ 1 kHz

สัญญาณรูปล่าง คือ สัญญาณการมอดูเลตเชิงขนาด

### 2. การมอดูเลตเชิงความถี่ ( Frequency Modulation )



รูปที่ 12. ผลการเลียนแบบ การมอดูเลตเชิงความถี่

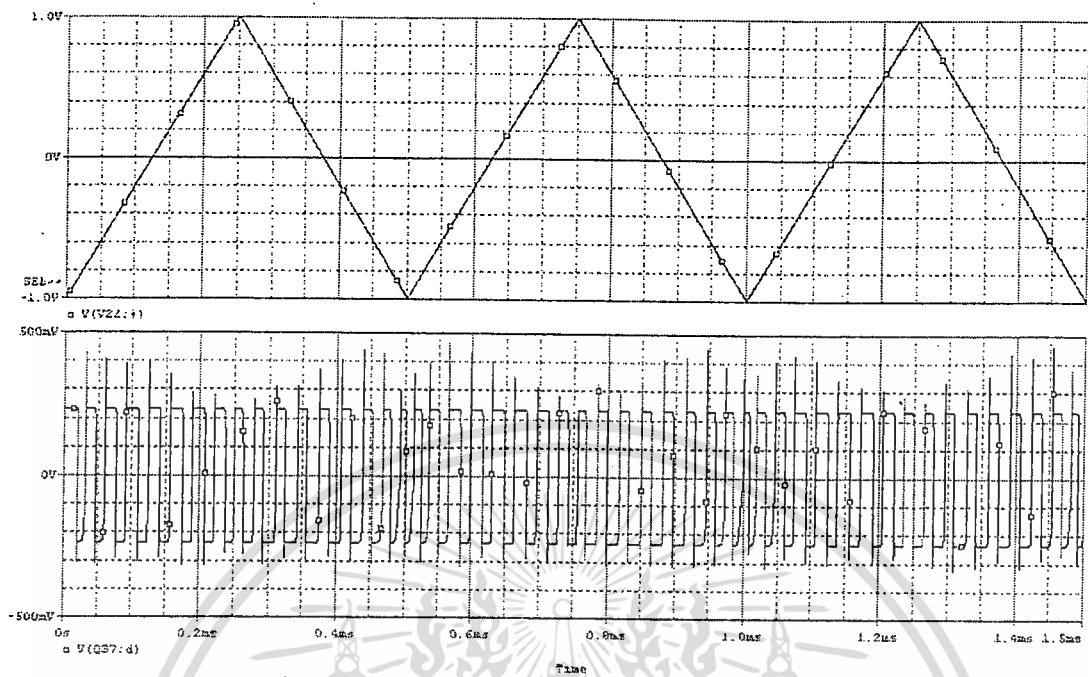
สัญญาณรูปบน คือ สัญญาณอินพุตเป็น สัญญาณไซน์ชอยดอล แอมพลิจูด 0.2 Volt

แรงดันออฟเซต 0.5 Volt ความถี่ 1 kHz

สัญญาณรูปล่าง คือ สัญญาณการมอดูเลตเชิงความถี่

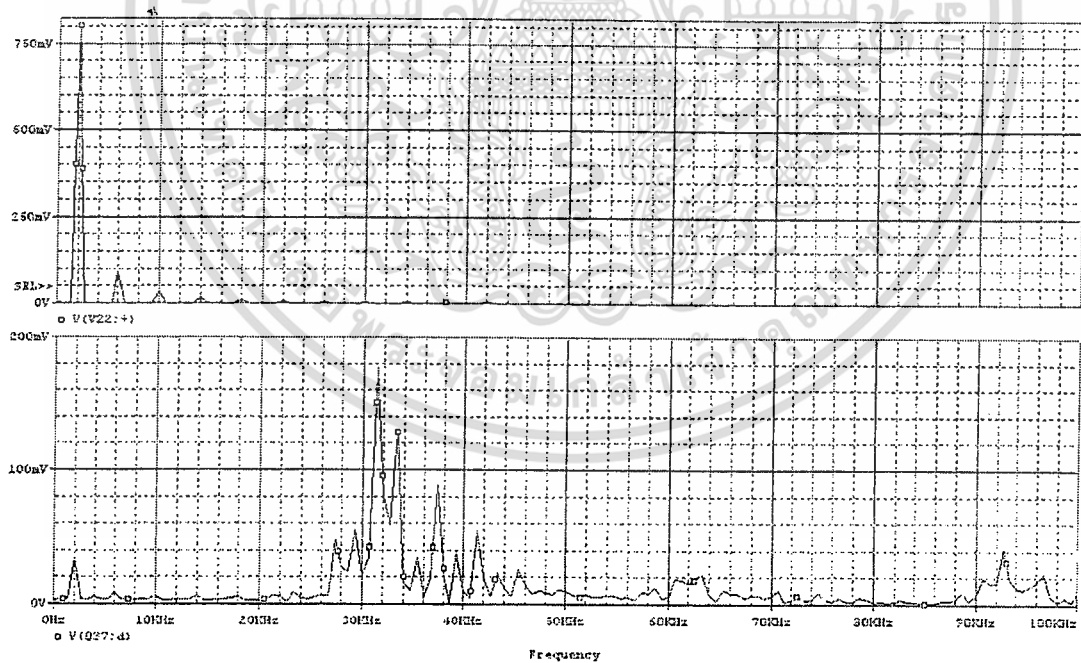
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การมอดูเลตแบบเดลต้า ( Delta Modulation )



รูปที่ 13. ผลการเลียนแบบ การมอดูเลตแบบเดลต้า

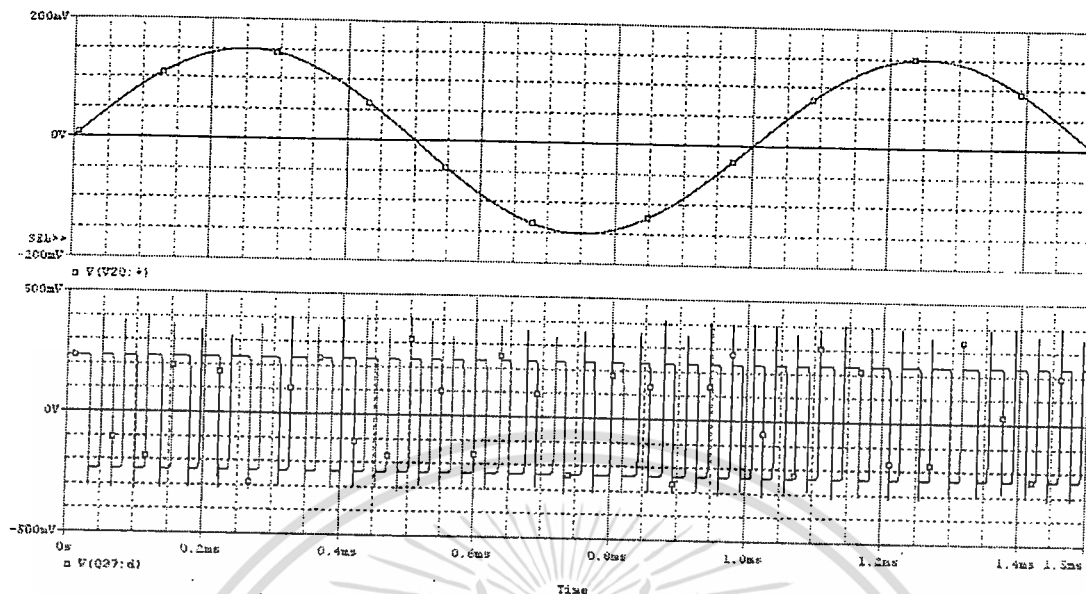
สัญญาณรูปบน คือ สัญญาณอินพุตเป็น สัญญาณสามเหลี่ยม แอมพลิจูด 1 Volt ความถี่ 2 kHz  
สัญญาณรูปล่าง คือ สัญญาณเดลต้า



รูปที่ 14. สเปกตรัมขนาด ของการมอดูเลตแบบเดลต้า

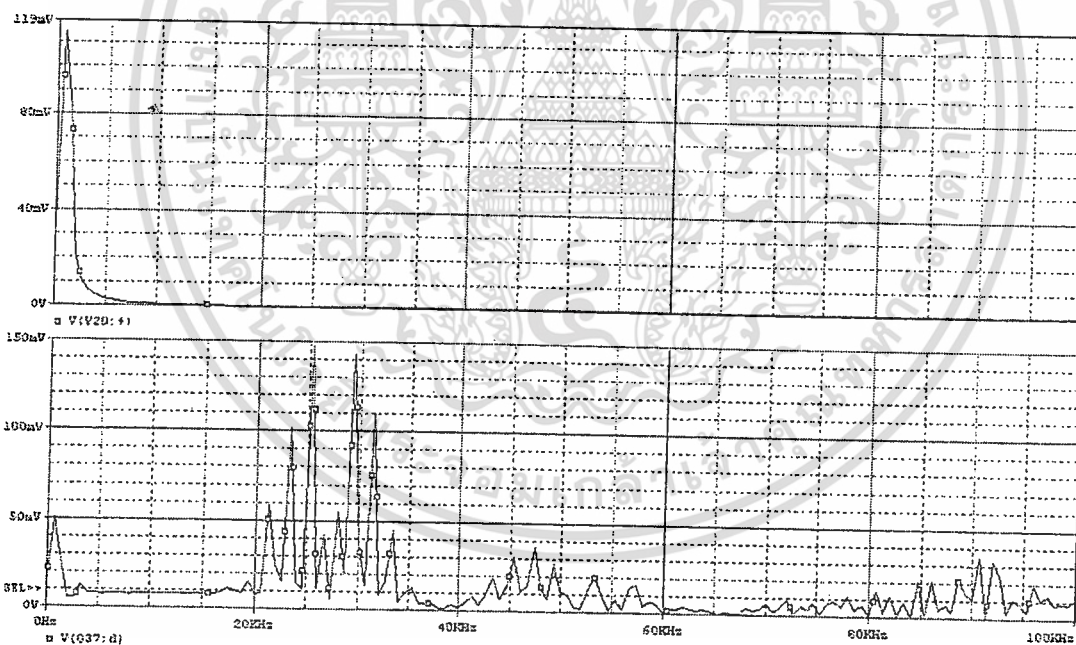
สัญญาณรูปบน คือ สเปกตรัมของสัญญาณอินพุตเป็น สัญญาณสามเหลี่ยม  
สัญญาณรูปล่าง คือ สเปกตรัมของ สัญญาณเดลต้า

#### 4. การมอดูเลตแบบซิกมาเดลต้า (Sigma-Delta Modulation)



รูปที่ ... ผลการเลียนแบบ การมอดูเลตแบบซิกมาเดลต้า

สัญญาณรูปบน คือ สัญญาณอินพุตเป็น สัญญาณไซน์ชอยดอล แอมพลิจูด 0.12 Volt ความถี่ 1 kHz  
สัญญาณรูปล่าง คือ สัญญาณซิกมาเดลต้า



รูปที่ ... สเปกตรัมขนาด ของการมอดูเลตแบบซิกมาเดลต้า

สัญญาณรูปบน คือ สเปกตรัมของสัญญาณอินพุตเป็น สัญญาณไซน์ชอยดอล  
สัญญาณรูปล่าง คือ สเปกตรัมของ สัญญาณซิกมาเดลต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุป

โครงการวิจัยนี้ เป็นการสร้าง และ ออกแบบ วงจรการมอดูเลตได้หลายประเภท ซึ่งสามารถมอดูเลตได้ทั้งระบบอนาลอก และ ระบบดิจิตอล โดยการมอดูเลตแบบอนาลอกนั้น ได้แก่ การมอดูเลตชนิด AM และ FM ในขณะที่การมอดูเลตแบบดิจิตอลนั้น ได้แก่ การมอดูเลตแบบ Delta modulation และ Sigma Delta modulation

จากการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยี 0.35 micron ของบริษัท austriamicrosystems และ เลียนแบบการทำงานของวงจร พบว่า วงจรนั้น สามารถทำงานได้จริงตามที่ออกแบบ โดยสามารถมอดูเลตได้ทั้ง AM, FM, Delta modulation และ Sigma Delta modulation



## ภาคผนวก

\*\*\*\*\*

## MODEL NMOS ของบริษัท austriamicrosystems เทคโนโลยี 0.35 micron (C35)

\*\*\*\*\* SIMULATION PARAMETERS \*\*\*\*\*

\* format : PSPICE  
 \* model : MOS BSIM3v3  
 \* process : C35[A-B][3-4][B-C][0-3]  
 \* revision : 1.0;  
 \* extracted : CSA C61417; 2000-12; ese(5487)  
 \* doc# : Eng-182 REV\_1

### TYPICAL MEAN CONDITION

\* \*\*\* Flags \*\*\*

+MOBMOD =1.000e+00 CAPMOD =2.000e+00  
 +NOIMOD =3.000e+00

\* \*\*\* Threshold voltage related model parameters \*\*\*

+K1 =6.044e-01  
 +K2 =2.945e-03 K3 =-1.715e+00 K3B =6.325e-01  
 +NCH =2.310e+17 VTH0 =4.655e-01  
 +VOFF =-5.719e-02 DVT0 =2.227e+01 DVT1 =1.051e+00  
 +DVT2 =3.393e-03 KETA =-6.207e-04  
 +PSCBE1 =2.756e+08 PSCBE2 =9.645e-06  
 +DVTOW =0.000e+00 DVT1W =0.000e+00 DVT2W =0.000e+00

\* \*\*\* Mobility related model parameters \*\*\*

+UA =1.000e-12 UB =1.723e-18 UC =5.756e-11  
 +U0 =4.035e+02

\* \*\*\* Subthreshold related parameters \*\*\*

+DSUB =5.000e-01 ETA0 =3.085e-02 ETAB =-3.947e-02  
 +NFACTOR=1.119e-01

\* \*\*\* Saturation related parameters \*\*\*

+EM =4.100e+07 PCLM =6.831e-01  
 +PDIBLC1=1.076e-01 PDIBLC2=1.453e-03 DROUT =5.000e-01  
 +A0 =2.208e+00 A1 =0.000e+00 A2 =1.000e+00  
 +PVAG =0.000e+00 VSAT =1.178e+05 AGS =2.490e-01  
 +B0 =-1.765e-08 B1 =0.000e+00 DELTA =1.000e-02  
 +PDIBLCB=2.583e-01

\* \*\*\* Geometry modulation related parameters \*\*\*

+W0 =1.184e-07 DLC =3.000e-08  
 +DWB =0.000e+00 DWG =0.000e+00  
 +LL =0.000e+00 LW =0.000e+00 LWL =0.000e+00  
 +LLN =1.000e+00 LWL =1.000e+00 WL =0.000e+00  
 +WW =0.000e+00 WWL =0.000e+00 WLN =1.000e+00  
 +WWN =1.000e+00

\* \*\*\* Temperature effect parameters \*\*\*

+AT =3.300e+04 UTE =-1.800e+00  
 +KT1 =-3.302e-01 KT2 =2.200e-02 KT1L =0.000e+00  
 +UA1 =0.000e+00 UB1 =0.000e+00 UC1 =0.000e+00  
 +PRT =0.000e+00

\* \*\*\* Overlap capacitance related and dynamic model parameters \*\*\*

+CGDO =1.300e-10 CGSO =1.300e-10 CGBO =1.100e-10  
 +CGDL =1.380e-10 CGSL =1.380e-10 CKAPPA =6.000e-01  
 +CF =0.000e+00 ELM =5.000e+00  
 +XPART =1.000e+00 CLC =1.000e-15 CLE =6.000e-01

\* \*\*\* Parasitic resistance and capacitance related model parameters \*\*\*

+RDSW =6.043e+02  
 +CDSC =0.000e+00 CDSCB =0.000e+00 CDSCD =8.448e-05  
 +PRWB =0.000e+00 PRWG =0.000e+00 CIT =1.000e-03

\* \*\*\* Process and parameters extraction related model parameters \*\*\*

+TOX =7.700e-09 NGATE =0.000e+00  
 +NLX =1.918e-07

\* \*\*\* Substrate current related model parameters \*\*\*

+ALPHA0 =0.000e+00 BETA0 =3.000e+01

\* \*\*\* Noise effect related model parameters \*\*\*

+AF =1.3600e+00 KF =5.1e-27 EF =1.000e+00  
 +NOIA =1.73e+19 NOIB =7.000e+04 NOIC =-5.64e-13

\* \*\*\* Common extrinsic model parameters \*\*\*

+LINT =8.285e-09 WINT =2.676e-08 XJ =3.000e-07  
 +RSH =8.200e+01 JS =2.000e-05  
 +CJ =9.300e-04 CJSW =2.800e-10  
 +CBD =0.000e+00 CBS =0.000e+00 IS =0.000e+00  
 +MJ =3.100e-01 N =1.000e+00 MJSW =1.900e-01  
 +PB =6.900e-01 TT =0.000e+00  
 +PBSW =6.900e-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MODEL PMOS ของบริษัท austriamicrosystems เทคโนโลยี 0.35 micron (C35)

```

*-----
***** SIMULATION PARAMETERS *****
*-----
* format : PSPICE
* model : MOS BSIM3v3
* process : C35[A-B][3-4][B-C][0-3]
* revision : 1.0;
* extracted : CSA C61417 A64770; 2000-12; ese(5487)
* doc# : Eng-182 REV_1
*-----
* TYPICAL MEAN CONDITION
*-----
* *** Flags ***
+MOBMOD =1.000e+00 CAPMOD =2.000e+00
+NOIMOD =3.000e+00
* *** Threshold voltage related model parameters ***
+K1 =5.675e-01
+K2 =-4.39e-02 K3 =4.540e+00 K3B =-8.518e-01
+NCH =1.032e+17 VTH0 =-6.171e-01
+VOFF =-1.128e-01 DVT0 =1.482e+00 DVT1 =3.884e-01
+DVT2 =-1.154e-02 KETA =-2.558e-02
+PSCBE1 =1.000e+09 PSCBE2 =1.000e-08
+DVT0W =0.000e+00 DVT1W =0.000e+00 DVT2W =0.000e+00
* *** Mobility related model parameters ***
+UA =2.120e-10 UB =8.290e-19 UC =-5.284e-11
+U0 =1.296e+02
* *** Subthreshold related parameters ***
+DSUB =5.000e-01 ETA0 =2.293e-01 ETAB =-3.917e-03
+NFACTOR=8.237e-01
* *** Saturation related parameters ***
+EM =4.100e+07 PCLM =2.979e+00
+PDIBLC1=3.310e-02 PDIBLC2=1.000e-09 DROUT =5.000e-01
+A0 =1.423e+00 A1 =0.000e+00 A2 =1.000e+00
+PVAG =0.000e+00 VSAT =2.000e+05 AGS =3.482e-01
+B0 =2.719e-07 B1 =0.000e+00 DELTA =1.000e-02
+PDIBLCB=-1.777e-02
* *** Geometry modulation related parameters ***
+W0 =4.894e-08 DLC =2.500e-08
+DWB =0.000e+00 DWG =0.000e+00
+LL =0.000e+00 LW =0.000e+00 LWL =0.000e+00
+LLN =1.000e+00 LWN =1.000e+00 WL =0.000e+00
+W0W =0.000e+00 WWL =0.000e+00 WLN =1.000e+00
+W0WN =1.000e+00
* *** Temperature effect parameters ***
+AT =3.300e+04 UTE =-1.350e+00
+KT1 =-5.703e-01 KT2 =2.200e-02 KT1L =0.000e+00
+UA1 =0.000e+00 UB1 =0.000e+00 UC1 =0.000e+00
+PRT =0.000e+00
* *** Overlap capacitance related and dynamic model parameters ***
+CGDO =1.100e-10 CGSO =1.100e-10 CGBO =1.100e-10
+CGDL =1.150e-10 CGSL =1.150e-10 CKAPPA =6.000e-01
+CF =0.000e+00 ELM =5.000e+00
+XPART =1.000e+00 CLC =1.000e-15 CLE =6.000e-01
* *** Parasitic resistance and capacitance related model parameters ***
+RDSW =1.853e+03
+CDSC =6.994e-04 CDSCB =2.943e-04 CDSCD =1.970e-04
+PRWB =0.000e+00 PRWG =0.000e+00 CIT =1.173e-04
* *** Process and parameters extraction related model parameters ***
+TOX =7.700e-09 NGATE =0.000e+00
+NLX =1.770e-07
* *** Substrate current related model parameters ***
+ALPHA0 =0.000e+00 BETA0 =3.000e+01
* *** Noise effect related model parameters ***
+AF =1.48e+00 KF =8.5e-27 EF =1.000e+00
+NOIA =1.52e+18 NOIB =7.75e+03 NOIC =5.0e-13
* *** Common extrinsic model parameters ***
+LINT =-5.64e-08 WINT =3.845e-08 XJ =3.000e-07
+RSH =1.560e+02 JS =2.000e-05
+CJ =1.420e-03 CJSW =3.800e-10
+CBD =0.000e+00 CBS =0.000e+00 IS =0.000e+00
+MJ =5.500e-01 N =1.000e+00 MJSW =3.900e-01
+PB =1.020e+00 TT =0.000e+00
+PBSW =1.020e+00
*-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้