



การประยุกต์การออกแบบวงจรรวมโดยใช้คอมพิวเตอร์
(VLSI DESIGN AND APPLICATION)

โดย
นายชาติชาย เก่งเกรียงไกร

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์

วัน เดือน ปี.....-๑ ต.ค ๒๕๕๑
เลขทะเบียน.....038371
เลขเรียกหนังสือ.....T3๓3๑๑ ผศ.ชค.

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์การออกแบบวงจรรวมโดยใช้คอมพิวเตอร์

ผู้จัดทำ

1.นาย ชาทิชา

เก่งเกรียงไกร

36014113

(รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การประยุกต์การออกแบบวงจรรวมโดยใช้คอมพิวเตอร์
(VLSI DESIGN AND APPLICATION)**

1.นาย ชาทิชา

เก่งเกรียงไกร

36014113

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้

(ร.ศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

การประยุกต์การออกแบบวงจรรวมด้วยคอมพิวเตอร์

นาย ชาติชาย เก่งเกรียงไกร

รศ.ดร.มนัส สัจวรศิลป์

ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อชีวิตประจำวันต่อมนุษย์มากขึ้น เนื่องจากความสามารถทางด้านการควบคุม,การประหยัดพลังงาน,อุปกรณ์ขนาดเล็ก ทำให้ในสังคมนิยมใช้งานอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมากยิ่งขึ้น

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการแนะนำการออกแบบการทำงานของวงจรและดัดแปลงวงจรให้เหมาะสมแก่การใช้งานเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน



VLSI Design and Application

Mr.Chartchai

Kengkreingkrai

Asso.Dr.Manas

Sangwosil

1996

Abstract

Now semiconductor device are coming in a part of human life because ability of semiconductor device can control mechanics ,saving powersupply and, it's very small .In the future semiconductor device are popular in the world up and up

This thesis is about advicing designer in circuit and modify circuit for use by the other job and can build it for another job



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

-บทคัดย่อ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 บทนำ

1.2 วัตถุประสงค์

บทที่ 2 ประวัติโดยย่อของการพัฒนาการออกแบบ

2.1 คุณสมบัติของไบโพลาร์

2.2 คุณสมบัติของซิมอส

2.3 คุณสมบัติของไบซิมอส

2.4 การพัฒนาการออกแบบวงจรไมโครอิเล็กทรอนิกส์
ด้วยคอมพิวเตอร์

บทที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตและการแพคเกจจิ้ง

3.1 วงจรรวมแบบอนาล็อก

3.2 การปรับปรุงการเคลือบผิวด้วยออกไซด์

3.3 กฎการวางอุปกรณ์ของเทคโนโลยี 5 ไมครอนเบื้องต้น

3.4 วงจรรวมแบบดิจิทัล

3.5 ประเภทของมอสชนิดต่างๆ

3.5.1 เอนมอสอินซูลเตดเกต

3.5.2 พีมอสอินซูลเตดเกต

3.5.3 เทคโนโลยีซิมอส

3.6 พื้นฐานการออกแบบมอส

3.6.1 มอสแบบตัวต้านทานเป็นโหลด

3.6.2 มอสแบบเอนฮานเมนต์เป็นโหลด

3.6.3 มอสแบบคิพชั่นเป็นโหลด

3.7 พื้นฐานการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์

3.8 พีแชนแนลมอสเฟต

3.9 ค่าความจุประจุภายในมอสเฟต

บทที่ 4	ขั้นตอนการแพร่สารด้วยโปรแกรมแอลอิติท	26
4.1	การทำออกซิเดชันด้วยความร้อน	26
4.2	ขั้นตอนในการแพร่	26
4.3	ขั้นตอนในการออกแบบโปรแกรม	27
4.4	กฎการวางอุปกรณ์	28
บทที่ 5	การคูณสัญญาณโดยวงจรไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์	33
5.1	การคูณวงจรอย่างง่ายโดยใช้วงจรอิมิเตอร์คู่	33
5.2	การวิเคราะห์วงจรคูณแบบกิลเบิร์ต	35
5.3	การใช้วงจรกิลเบิร์ตเสมือนวงจรคูณ	38
5.4	วงจรนาฬิกาผลคูณไฟลต์เออร์ที่สมบูรณ์แบบ	40
5.5	ตัวอย่างการออกแบบวงจรโดยการใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์	41
5.5.1	การทำการวัดและตรวจสอบ	43
บทที่ 6	วงจรยูนิโพลาร์มอสเฟตและการทำงานของวงจร	45
6.1	วงจรเสมือนภายในมอสเฟตและทฤษฎีการคำนวณ	45
บทที่ 7	การทดลองและผลการทดลอง	52
7.1	การทดลอง	52
7.2	ผลการทดลอง	52
7.3	วงจรมัลติไฟลต์เออร์ 1 ควอดแรนท์	55
7.4	วงจรมัลติไฟลต์เออร์แบบ 4 ควอดแรนท์	57
7.5	ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์ของฟิมอส	59
7.6	ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์ของเอ็นมอส	59
7.7	สรุปผลการทำงาน	60
-หนังสืออ้างอิง		
-กิตติกรรมประกาศ		

สารบัญภาพ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

รูปที่ 1.1	ไคอะแกรมการทำงานของวงจร	1
------------	-------------------------	---

บทที่ 2 ประวัติโดยย่อของการพัฒนาการออกแบบ

บทที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตและการแพะบรีจิ้น

รูปที่ 3.1	ภาพแสดงพื้นฐานการแพะสารเบื้องต้น	7
รูปที่ 3.2	ภาพแสดงอุปกรณ์เสมือนตัวด้านทาน	8
รูปที่ 3.3	ภาพแสดงอุปกรณ์เสมือนไดโอด	8
รูปที่ 3.3.1	ตัวอย่างเอ็นมอสแบบดิฟิชั่น	12
รูปที่ 3.4	โครงสร้างชั้นออกไซด์	13
รูปที่ 3.5	การแพะสารส่วนหุคประจุพาหะ	13
รูปที่ 3.6	การแพะส่วนออกไซด์ปิดส่วนหุคประจุพาหะ	13
รูปที่ 3.7	การปลูกชั้นเกทเริ่มต้น	13
รูปที่ 3.8	การปลูกชั้นโพลีซิลิกอน	14
รูปที่ 3.9	การแพะสารชั้นซอสและเดรน	14
รูปที่ 3.10	การเปิดหน้ากาคเตรียมแพะโลหะ	14
รูปที่ 3.11	การวางสายโลหะ	14
รูปที่ 3.12	พิมพ์อส	15
รูปที่ 3.13	ชิมอสหรืออินเวอร์เตอร์	16
รูปที่ 3.14	วงจรเสมือนของอินเวอร์เตอร์	16
รูปที่ 3.15	ชิมอสแบบบ่อเอ็น	17
รูปที่ 3.16	ชิมอสแบบบ่อพี	17
รูปที่ 3.17	ชิมอสแบบบ่อพีและบ่อเอ็น	17
รูปที่ 3.18	วงจรอินเวอร์เตอร์พื้นฐานโดยใช้ตัวด้านทานเป็นโหลด	19
รูปที่ 3.19	แรงดันที่วัดคร่อมมอสขณะเปลี่ยนแปลงแรงดัน	19
รูปที่ 3.20	วงจรมอสแบบเอ็นฮานซ์ที่เป็นโหลด	20
รูปที่ 3.21	แรงดันตกคร่อมเมื่่อมอสเอ็นฮานซ์เป็นโหลด	20
รูปที่ 3.22	มอสแบบดิฟิชั่นเป็นโหลด	21
รูปที่ 3.23	แรงดันตกคร่อมที่จุดเอ๊าท์พุท	21

รูปที่ 3.24	อินเวอร์เตอร์	22
รูปที่ 3.25	กระแสที่ใช้ขณะเปลี่ยนแปลงแรงดัน	22
รูปที่ 3.26	แรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงขณะผ่านวงจร	23
รูปที่ 3.27	โมเดลโครงสร้างของมอส	25
บทที่ 4	ขั้นตอนการแพร่สารด้วยแอลอิตีท	
รูปที่ 4.1	ตัวอย่างมอส	27
รูปที่ 4.2	ภาคตัดขวางของมอสแบบคิพิจัน	29
รูปที่ 4.3	วงจรเรณคอมเอกเซตเมโมรี	31
รูปที่ 4.4	ตัวอย่างโปรแกรม	32
บทที่ 5	การคูณสัญญาณโดยวงจรไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์	
รูปที่ 5.1	อิมิตอร์-คัปเปอเรอร์แพร์	34
รูปที่ 5.2	วงจรคูณแบบ 2 ควอดแรนท์	32
รูปที่ 5.3	วงจรคูณแบบกิลเบอร์ต	37
รูปที่ 5.4	วงจรคูณแบบกิลเบอร์ตกับวงจรลดทอน	39
รูปที่ 5.5	วงจรอินเวอร์ทไฮเปอร์ทโบลิกแทนเจนท์	40
รูปที่ 5.6	วงจรสมมูลของกิลเบอร์ต	41
รูปที่ 5.7	ภาพแสดงการทำงานในรูปกระแส	42
รูปที่ 5.8	วงจรตัวอย่าง	44
บทที่ 6	รูปที่ 6.1 ตัวอย่างมอสขณะจ่ายกระแสเข้าสู่เกท	47
	รูปที่ 6.2 วงจรสมมูลของมอสขณะจ่ายสัญญาณ	50
บทที่ 7	การทดลองและผลการทดลอง	
รูปที่ 7.1	วงจรมัลติไพล์เออร์จากวารสาร ทางวิชาการ	53
รูปที่ 7.2	ผลลัพธ์การทำงานโดยการแปรผันความถี่	53
รูปที่ 7.3	ผลลัพธ์การทำงานโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน	54
รูปที่ 7.4	ผลลัพธ์การทำงานของวงจรโดยการเปลี่ยนแปลงเวลา	54
รูปที่ 7.5	วงจรมัลติไพล์เออร์แบบ 1ควอดแรนท์	55
รูปที่ 7.6	ผลลัพธ์การทำงานของวงจรโดยการแปรผันความถี่	55
รูปที่ 7.7	ผลลัพธ์การทำงานของวงจรโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน	56
รูปที่ 7.8	ผลลัพธ์การทำงานของวงจรโดยการเปลี่ยนแปลงฐานเวลา	56
รูปที่ 7.9	วงจรมัลติไพล์เออร์ 4 ควอดแรนท์	57

รูปที่ 7.10	ผลลัพธ์การทำงานของวงจร โดยการเปลี่ยนแปลงความถี่	58
รูปที่ 7.11	ผลลัพธ์การทำงานของวงจร โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน	58
รูปที่ 7.12	ผลลัพธ์การทำงานของวงจร โดยการเปลี่ยนแปลงเวลา	59
รูปที่ 7.13	วงจรมัลติไพล์เออร์ 4 ควอดแรนท์(ตัวอย่าง)	61
รูปที่ 7.14	วงจรมัลติไพล์เออร์ 1 ควอดแรนท์	62
รูปที่ 7.15	วงจรมัลติไพล์เออร์ 4 ควอดแรนท์	63



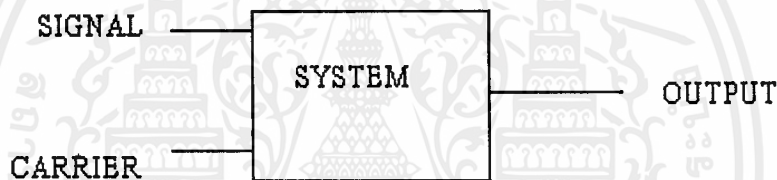
บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันวิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำนั้นได้มีการพัฒนาไปมาก ทำให้มีการประดิษฐ์อุปกรณ์ต่างๆที่ทำจากสารกึ่งตัวนำเป็นจำนวนมากอาทิเช่น ไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำ เป็นต้นซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันในปัจจุบันของมนุษย์มากขึ้นเรื่อยๆ

โดยโครงการนี้มีการทดลอง ทดสอบ และพัฒนางจรที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือวงจรมัลติพลีสัญญาณซึ่งสามารถที่จะนำมาใช้ในการติดต่อสื่อสารในการมอดคูเลทและการดีมอดคูเลทสัญญาณเช่น เครื่องรับส่งวิทยุ วงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นต้น



รูปที่ 1.1 ไคอะแกรมการทำงานของวงจร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้ได้ทำการทดลองและวิจัยแบบครบรอบ โดยเริ่มจาก

- 1.เพื่อทดสอบหาค่าคุณสมบัติที่ต้องการของกราฟ เอช เครฟ
- 2.เพื่อทำการสมมติวงจรที่ต้องการและที่ออกแบบนำมาเปรียบเทียบกับคอมพิวเตอร์
- 3.เพื่อทำการสมมติวงจรที่ต้องการและที่ออกแบบนำมาเปรียบเทียบกับบอร์ดสำเร็จรูป
- 4.เพื่อทำการออกแบบวงจรที่ได้ด้วยโปรแกรม L - EDIT

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้ก้าวไปอย่างรวดเร็ว สารกึ่งตัวนำได้มีบทบาทสำคัญอย่างมากในปัจจุบัน การนำเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำมาใช้งานเพื่อประโยชน์แก่มวลมนุษย เพราะเหตุนี้จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะศึกษาความการทำงาน ,การสร้าง,การพัฒนาและวิจัยให้สามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด

เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำนี้เป็นศาสตร์ที่เกิดจากการรวมกัน ระหว่าง วิชาฟิสิกส์ , เคมี , วัสดุศาสตร์,เทอร์โมไดนามิก และวิชาไมโครเมคานิกส์(Micro Mechanics) หรือ อาจจะกล่าวทางได้ว่าเป็นการรวมศาสตร์ของวิชาอิเล็กทรอนิกส์,ไฟฟ้ากำลังและวิชาพื้นฐานคอมพิวเตอร์กับวิทยาศาสตร์ ซึ่งวิชาที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ไม่มีผู้ใดสามารถเชี่ยวชาญทุกสาขาได้

ความสามารถของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำนี้ถ้ามองในทางร้ายที่สุดแล้วไม่ว่าความยากในการผลิตการคิดค้นวงจร แต่เมื่อมองประสิทธิภาพแล้วสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำเป็นอุปกรณ์ที่คุ้มค่าแก่การลงทุน ซึ่งขอบข่ายการทำงานที่สามารถปฏิบัติได้ตั้งแต่ นำไปใช้งานในโรงงาน , งานด้านอวกาศ , งานด้านการทหาร ,งานด้านทางการค้า ซึ่งในข่ายงานที่กล่าวมาทั้งหมดนี้สามารถนำวงจรโดยทั่วไปมาแปลงเป็นวงจรไมโครอิเล็กทรอนิกส์แล้วทำการจำลองสถานการณ์เพื่อหาผลทดสอบภายหลังการผลิต

ในปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการผลิตเพียงบางส่วนเท่านั้นและแผ่นเวเฟอร์ซิลิคอนแต่ละกล่าวถึงความสำคัญของการทำงานของวงจรไมโครอิเล็กทรอนิกส์

หลักการของวงจรไมโครอิเล็กทรอนิกส์ได้ตั้งขึ้นเมื่อปีคริสต์ศักราช 1980 ซึ่งเป็นยุคที่มีการพัฒนาเครื่องมือและเทคโนโลยีให้ทันกับโลกสมัยใหม่ แต่ยังคงถือหลักของความคงทน ,ราคาถูก,ใช้งานง่าย และประสิทธิภาพสูงซึ่งหลักการที่กล่าวมานี้ทำให้ตัววงจรรวม(Integate Circuit (I.C)) ได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องและดึงดูดกลหลายฝ่ายให้มาสนใจในเทคโนโลยีนี้

วงจรรวม คือ วงจรที่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกสร้างขึ้น ด้วยเทคโนโลยีระดับไมโครมารวมกันในแผ่นซิลิคอนเดียวกันโดยหลักการทำงานและการออกแบบจะยังคงใช้เทคโนโลยีทั่วไปได้แต่ยกเว้นการพิจารณาค่าของคุณสมบัติของสารเท่านั้น และสามารถสรุปโดยรวมได้ว่า การสร้าง,การทำงาน,และการค้นคว้างานทางด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์เป็นเทคโนโลยีที่ควรได้รับการสนับสนุนในการพัฒนา

โปรแกรม แอล-อิดิท คือ โปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง และออกแบบการสร้างวงจรรวม

วงจรมัลติไฟต์ - คือ วงจรที่ทำหน้าที่รวมสัญญาณระหว่างสัญญาณที่ต้องการส่งเช่น เสียงที่มนุษย์เปล่งกับช่วงความถี่ที่ต้องการรวม

โปรแกรมพีสไปร์ซ (Pspice) คือ วงจรที่ทำหน้าที่ในการจำลองวงจรก่อนทำการสร้างวงจรลงในโปรแกรมแอลอิดิท

บทที่ 2

ประวัติโดยย่อของการพัฒนาการออกแบบ

การพัฒนางจร ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ในช่วง 25 ปีที่ผ่านมาเป็นการเริ่มต้นจากในยุคที่ผู้คนทั่วไปยังไม่รู้จักสารกึ่งตัวนำและวงจรรวม แต่ในปัจจุบันวงจรรวมได้เป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันของมนุษย์เริ่มตั้งแต่ การสื่อสาร, การขนส่ง, การบันเทิง, การแพทย์ และเครื่องใช้อำนวยความสะดวกต่างๆ เป็นต้น

ปีคริสต์ศักราช 1948 ทรานซิสเตอร์ตัวแรกได้ถือกำเนิดขึ้น นับว่าเป็นการเปิดศักราช วงจรสารกึ่งตัวนำจนกระทั่งในกลางทศวรรษที่ 1950 ได้พัฒนาจนสามารถนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมได้ในสมัยแรกๆ ทรานซิสเตอร์ทำจากเยอรมันเนียมเนื่องจากค่าโมบิลิตี้ มีค่าสูงกว่าซิลิกอนแต่ต่อมาได้ทราบคุณสมบัติที่เป็นข้อเสียอยู่หลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิ ใช้งาน , คุณสมบัติออกไซด์ของเยอรมันเนียม , การทำแพ็คเกจ (Packet) ที่ทำได้ยาก

ทศวรรษที่ 1960 ได้พัฒนาเทคนิคและเครื่องมือในการผลิต โดยเริ่มทำวงจรรวมตั้งแต่ วงจรรวมขนาดเล็ก (Small Scale Integrated Circuit) มาเป็น วงจรรวมขนาดกลาง (Medium Scale Integrated Circuit) วงจรรวมขนาดใหญ่ (Large Scale Integrated Circuit) และ วงจรรวมขนาดใหญ่มาก (Very Large Scale Integrated Circuit) แต่ปัญหาที่สำคัญคือพื้นที่ใช้สำหรับสร้างตัวความต้านทานและตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่จึงมีการประยุกต์ให้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่แทนตัวความต้านทานและตัวเก็บประจุ เพื่อลดพื้นที่ใช้งานลง โดยปกติแผ่นเวเฟอร์ ที่นิยมใช้งานจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 6 นิ้ว ถึง 8 นิ้ว โดยจะสร้างเป็นอุปกรณ์หลักๆ 2 ชนิดคือ

1. มอส (MOS)
2. ไบโพลาร์ (Bipolar)

ซึ่งทั้ง 2 ชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไปดังต่อไปนี้

2.1 คุณสมบัติของไบโพลาร์

1. ความเร็วสูงกว่า มอสแต่ใช้พลังงานสูงในขนาดทำงาน
2. ค่า G_m มีค่าสูงทำให้เหมาะกับงานที่ต้องการกำลังขยาย
3. ใช้ขั้นตอนการผลิตน้อยกว่า ซิมอส

2.2 คุณสมบัติของซีมอส

1.ความต้านทานภายในมีค่าสูงใช้พลังงานต่ำ แต่ถูกจำกัดความสามารถในการขับพลังงานที่สำคัญสามารถเพิ่มเวลาในการเก็บและคายค่าประจุของตัวเก็บประจุ

2.มีความคงทนสูงซีมี ซี ยู ที่ทำค่า ความกว้างและความยาว สามารถกำหนดได้ง่าย และสามารถวางอุปกรณ์ได้โดยไม่ยุ่งยากเหมือนไบโพลาร์

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาในข้างต้น ไบโพลาร์จะเป็นอุปกรณ์ที่มีความเร็วสูงที่สุดในอุปกรณ์ทั้งหมด และซีมอสเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสร้างให้มีความหนาแน่นได้ สูงสุด และ ใช้พลังงานได้ต่ำสุดโดยมากนิยมทำเป็น อุปกรณ์ที่เกี่ยวกับหน่วยความจำโดยเฉพาะ แรม (Random Access Memory)และรอม (Read Only Memory) ซึ่งสามารถสร้างทรานซิสเตอร์ได้มากกว่า 4,000,000 ตัว ต่อ 1 ตารางนิ้ว(ต่อชิป)

ต่อมาได้มีการปรับปรุงเพื่อพัฒนาให้วงจรมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยการนำเทคนิคการสร้างไบโพลาร์ และ ซีมอส และเรียกใหม่ว่า ไบซีมอส เป็นการนำเอาข้อดีของแต่ละอุปกรณ์มารวมกัน

2.3 คุณสมบัติของไบซีมอส

1.รวมเทคโนโลยีการผลิตระหว่าง ไบโพลาร์ กับ ซีมอสเข้าด้วยกันลงในแผ่นเวเฟอร์แผ่นเดียวกัน

2.การเพิ่มชั้นฉนวนที่ทำจากกำมะถันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

3.การเปลี่ยนฐานรองจากซิลิกอนเป็นเกตเลียมอาร์เซไนด์ เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงาน,เพิ่มอุณหภูมิจุดหลอมเหลว , คงทนความร้อน

4.วงจรที่สร้างจาก เกตเลียมอาร์เซไนด์ สามารถทำงานได้ดีในความถี่ย่านไมโครเวฟ

ในทางปฏิบัตินั้นการ พัฒนาโครงสร้างของเกตเลียมอาร์เซไนด์บน ซิลิกอนทำได้ยากและ ราคาแพง ถ้าต้องการปลูกสารเกตเลียมอาร์เซไนด์ที่สมบูรณ์ ซึ่งการสร้างเริ่มจากวางแผ่นซิลิกอนสร้างชั้น อีพิตาเซียด้วยเกตเลียมอาร์เซไนด์ทำงานบนแผ่นซิลิกอน แต่เกตเลียมอาร์เซไนด์มีขนาดของโมเลกุลใหญ่กว่าซิลิกอนซึ่งอาจจะเกิดข้อผิดพลาด ในการปลูกถ่ายผลึก ผลคือการบิดเบี้ยวของหน้าสัมผัสของผลึกทั้ง 2 ชนิดเหตุการณ์เช่นนี้สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดการแพร่สารต่างชนิดกัน

2.4 การพัฒนาการออกแบบวงจรไมโครอิเล็กทรอนิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์

เนื่องจากในแผ่นชิป ไอซี 1 ตัวจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆเป็นจำนวนที่มากกว่า 10 ตัว , 100 ตัว , 1000 ตัว ซึ่งแน่นอนว่าการออกแบบจะเป็นไปในครั้งเดียว

ในสมัยยุคเริ่มต้น เอ็ม.เอส.ไอ และ แอล.เอส.ไอ เป็นวงจรที่มีความเป็นไปได้ที่เกิดจากการสร้าง 5 - 7 ชั้นตอนซึ่งในการออกแบบจะใช้วิธีการเขียนลงในกระดาษไม่ต่ำกว่า 100 - 200 ครั้ง ต่อ 1 ชิป ไอซีต้นแบบของแต่ละชั้นจะตัดด้วยมือในรูปของแผ่นพลาสติกที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยการมองเห็นในแต่ทรานซิสเตอร์

การออกแบบในลักษณะนี้จะต้องใช้บุคคลที่มีความสามารถมากและการลงทุนซึ่งต้องใช้เวลานานหลายปีในการออกแบบ , ทดสอบ และตรวจหาข้อผิดพลาด เพราะฉะนั้นการออกแบบครั้งแรกแล้วถูกต้องจึงเป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้จนกระทั่งในปี 1960 คอมพิวเตอร์ ได้ถูกสร้างขึ้น แต่ก็ยังไม่สามารถพอที่จะช่วยเหลืออะไรในด้านการคำนวณ, การสร้างภาพจำลอง, และการรวบรวมข้อมูลที่ได้รวบรวมไว้ทุกอย่างที่กล่าวมาคอมพิวเตอร์ในยุค 1960 ไม่สามารถที่จะช่วยเหลือการออกแบบได้แต่ก็ยังคงพัฒนากันเรื่อยมาเพื่อหาวิธีการออกแบบให้เป็นอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

ในการออกแบบลักษณะทางกายภาพนั้นจะต้องสามารถตรวจสอบผลที่ได้จากการออกแบบนั้นได้ จึงมีการใช้เทคนิคเบร็ดบรอด (Breadboard) เพื่อสร้างความสะดวกในการตรวจหาข้อผิดพลาด แต่วิธีการเบร็ดบรอดนั้นมีปัญหาในการต่อตัวเก็บประจุภายนอก ทำให้ผลการออกแบบผิดไปจากเดิมดังนั้นจึงมีการออกแบบให้ซับซ้อนยิ่งขึ้นเพื่อป้องกันการรบกวนจากภายนอก แต่เมื่อมีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้งานในทางอุตสาหกรรมและมาช่วยในการออกแบบ โดยในตอนแรกนั้นจะถูกนำมาใช้ในงานทางด้านการออกแบบชั้นสาร (Layout)

คอมพิวเตอร์สามารถที่จะเก็บข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก, ช่วยในการค้นหาข้อผิดพลาดในการออกแบบ (Design Rules Check (DRC)) ซึ่งในการ ดี อาร์ ซี คือการหาผลลัพธ์ในการและตรวจสอบ ทุกวงจรผ่านการ ดี อาร์ ซี จะทำให้วงจรมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้นอีก ในการ ดี อาร์ ซี จะตรวจสอบค่าของการเชื่อมลัระหว่างเนื้อสาร การทับซ้อน ระยะห่างที่สั้นที่สุด เป็นต้น

หลังจากผ่านการ ดี อาร์ ซี แล้วก็จะเข้าขั้นตอนต่อไปคือ การทำ อี อาร์ ซี (Electrical Rules Check (E.R.C.)) เป็นการตรวจสอบความในการรับ - ส่งพลังงาน แรงดันไฟฟ้า กระแสไหลผ่านของกระแส แรงดันตกคร่อมซึ่งโปรแกรมที่นิยมใช้งานในโรงงาน ได้แก่ Diasy , Mentor , Valid เป็นต้น โปรแกรมเหล่านี้สามารถที่จะทำงานได้ด้วยตนเองบนเครื่องเมนเฟรมโดยมีความสามารถว่าๆดังต่อไปนี้

- 1.การออกแบบวงจรและจำลองสถานะการง่าย ๆ
- 2.การออกแบบชิ้นส่วนวงจร

3.การจำลองสถานการณ์โดยรวม

4.การทดสอบการทำงาน

เหตุผลที่สำคัญสำหรับการพัฒนาคือการสร้างชิปไมโครโปรเซสเซอร์ จากเครื่องเวิร์คสเตชัน ซึ่งชิปรุ่นแรกที่ทำการผลิตออกมานั้นคือ 4040 ของอินเทล ซึ่งถูกออกแบบมาด้วยมือทั้งหมดจะมีราคาสูงมากในช่วงแรกและเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการทำไมโครโปรเซสเซอร์รุ่นต่อไปและวงจร แอล เอส ไอ ,วี แอล เอส ไอ อื่นๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งานในชีวิตประจำวันการพัฒนาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องนี้เป็นผลทำให้การสร้างวงจรรวมมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเรื่อยๆทั้งความเร็วในการออกแบบ ความเร็วในการทำงานโดยรวมของวงจร ความจุของจำนวนทรานซิสเตอร์ต่อชิป ไอ ซี การพัฒนาที่ไม่หยุดยั้งนี้จะถึงจุดอิ่มตัวก็ต่อเมื่ออุปกรณ์และเทคนิคการผลิตได้ถึงจุดสุดยอด



บทที่ 3

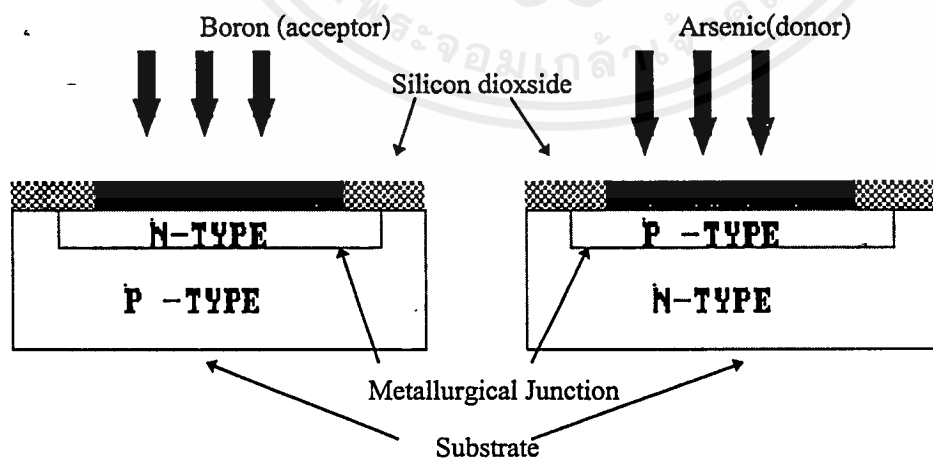
เทคโนโลยีการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำเกิดจากนำวงจรไมโครอิเล็กทรอนิกส์ที่เลียนแบบการทำงานของวงจรธรรมดาทั่วไปในสภาวะปกติทำงานการย่อยส่วนลงแผ่นชิปหรือแผ่นเวเฟอร์และนำอุปกรณ์ที่มี การทำงานที่ต่างกันมาสร้างในงานที่คล้ายคลึงกันคือ การนำไปโพลาไรทรานซิสเตอร์ ที่ทำงานด้วยการนำพาหะอิเล็กตรอนและโฮลนำไฟฟ้า กับการนำมอสทรานซิสเตอร์ที่ทำงานด้วยการควบคุมสนามไฟฟ้าและประจุพาหะส่วนใหญ่ในไหลไปในทิศที่ต้องการ

เทคโนโลยีของไบโพลาร์สร้างอุปกรณ์ต่างๆได้ดังนี้

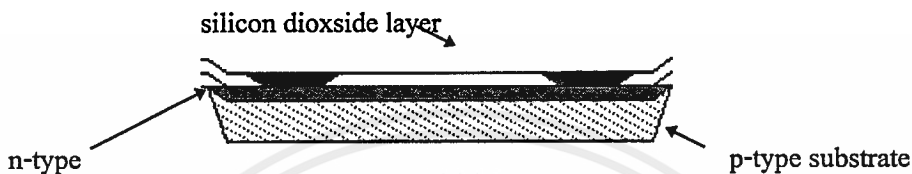
1. ตัวความต้านทาน
2. ไดโอด
3. ทรานซิสเตอร์ เอ็น - พี - เอ็น และ พี - เอ็น - พี

การสร้างจะมีพื้นฐานขั้นตอนเริ่มจากการวางระนาบของแผ่นเวเฟอร์ แล้วจึงเริ่มทำการแพร่สารหรือยิงอะตอมสารเข้าสู่พื้นที่ที่จัดเตรียมไว้ จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นการแสดงพื้นฐานการแพร่สารเข้าสู่แผ่นฐานรอง ซึ่งในการแพร่นั้นถ้าต้องการพาหะชนิดใดนำกระแสก็ทำการแพร่สารประเภทนั้นลงในฐานรองเช่น ต้องการอิเล็กตรอนนำกระแสก็ทำการแพร่สารอาร์เซนิกหรือต้องการ โฮลก็ให้ทำการแพร่สาร โบรอนลงไปซึ่งรอยต่อที่ทำการแพร่นั้นจะ ไม่มีประจุพาหะนำกระแสได้เลย

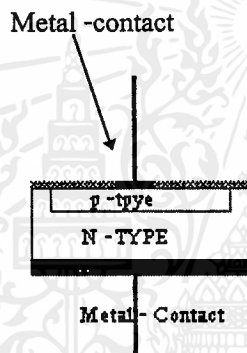


3.1 ภาพแสดงพื้นฐานการแพร่สารเบื้องต้น

ในการสร้างตัวต้านทานและไดโอดนั้นจะมีการวางรูปแบบตายตัวเอาไว้เพื่อใช้กันทั่วไปแสดงในภาพที่ 3.2 และ ภาพที่ 3.3 ซึ่งเป็นการชี้พื้นฐานการสร้างอุปกรณ์ทั่วไปไม่ว่าเป็นมอสหรือไบโพลาร์ การสร้างชิ้นงานนั้นเริ่มจาก ให้ฐานรองเป็น พี (พาหะนำประจุบวก)แล้วทำการแพร่สารเอ็น (พาหะนำประจุลบ) เนื่องจากความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน(ประจุลบ)สูงกว่าโฮล (ประจุบวก) และนี่คือวิธีการหนึ่งที่สร้างวงจรรวมให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง



3.2 ภาพแสดงอุปกรณ์เสมือนตัวต้านทาน



3.3 ภาพแสดงอุปกรณ์เสมือนไดโอด

3.1 วงจรรวมแบบบนาลอก

วงจรรวมซิสเตอร์แบบบนาลอก เป็นทรานซิสเตอร์ที่ทำจากไบโพลาร์ จะประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์แบบ เอ็น-พี-เอ็น ,ทรานซิสเตอร์แบบพี-เอ็น-พี ,ตัวความต้านทาน ,และตัวเก็บประจุ ซึ่งทั้งหมดถูกสร้างจากพื้นฐานเดียวกัน โดยเริ่มจาก

- 1.การสร้างจังค์ชั่น (Junction)เพื่อกำหนดขอบเขตของชิ้นงาน
- 2.การสร้างฉนวนเพื่อป้องกันการรบกวนจากอุปกรณ์ที่อยู่รอบข้างอื่นๆ

จากขั้นตอนที่กล่าวมาในข้างต้นนั้นเมื่อลำดับการทำงานเต็มรูปแบบจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำแผ่นเวเฟอร์ที่ทำจากซิลิกอนทำการเคลือบผิวด้วยซิลิกอนไดออกไซด์
- 2.ทำการเปิดหน้าออกไซด์ด้วยหน้ากากที่ 1 (Photo etching)แล้วทำการแพร่สารเอ็นความเข้มข้นสูงลงไปเพื่อทำการสร้างชั้นบู่ ขึ้นมา (ชั้นบู่ เป็นชั้นที่สร้างขึ้นเพื่อลดค่าความต้านทานชั้นคอลเลคเตอร์อยู่ใต้ชั้นคอลเลคเตอร์)

3.ทำการเปิดหน้าชั้นออกไขค์ออกแล้วเริ่มทำการแพร่สารเจือชนิดเอ็นความเข้มข้นปกติเพื่อสร้างชั้นคอลเลคเตอร์แล้วทำการเคลือบผิวด้วยชั้นออกไขค์อีกครั้งหนึ่ง

4.ทำการเปิดหน้าชั้นออกไขค์ด้วยหน้ากากที่ 2 แล้วทำการแพร่โบรอนที่มีความเข้มข้นสูงเพื่อแยกให้เกิดเกาะลอยหรือแยกฐานออกจากกันปิดหน้าด้วยชั้นออกไขค์อีกครั้งหนึ่ง

5.ทำการเปิดหน้าชั้นออกไขค์ด้วยหน้ากากที่ 3 แล้วทำการแพร่สารเจือโบรอนเพื่อสร้างชั้นเบสบนฐานของคอลเลคเตอร์แล้วทำการปิดหน้าด้วยชั้นออกไขค์

6.ทำการเปิดหน้าชั้นออกไขค์ด้วยหน้ากากที่ 4 แล้วทำการแพร่สารเจืออาร์เซนิกเพื่อสร้างชั้นอิมิเตอร์และชั้นที่ใช้ทำหน้าสัมผัสของคอลเลคเตอร์แล้วทำการปิดหน้าด้วยออกไขค์

7.ทำการเปิดหน้าออกไขค์ด้วยหน้ากากที่ 5 แล้วทำการสร้างส่วนหน้าสัมผัสของแต่ละหน้าสัมผัส

8.ทำการปิดส่วนหน้าสัมผัสด้วยแพร่โลหะที่ทำหน้าที่เป็นสายเชื่อมต่อในวงจร โดยปกติแล้วฐานรองจะต้องต่อกับศักดาไฟที่ต่ำที่สุดในวงจรและชั้นของคอลเลคเตอร์จะถูกล้อมรอบด้วยสารเจือประเภทพี ซึ่งโอกาสที่เกิดทรานซิสเตอร์แผ่นนั้นจะหมดไปโดยถูกชั้นบุรีขวางอยู่และจากขั้นตอนที่ได้กล่าวขึ้นมาข้างต้นได้นำไปประยุกต์ใช้ในวนการออกแบบวงจรมอจะทำให้สามารถลดพื้นที่อุปกรณ์ต่อหน่วยลงได้อีกทั้งเป็นการเพิ่มความหนาแน่นและความเร็วได้อีกทางหนึ่ง

3.2 การปรับปรุงการเคลือบผิวด้วยออกไขค์

1.แพร่สารซิลิกอนไนไตรด์ เพื่อเคลือบผิวป้องกันการแพร่ของสารอัลคาไลค์

2.การแพร่สารออกไขค์ลงในช่องที่ทำการเปิดไว้จะต้องมีความหนามากกว่า 1.5 เท่าของความหนาของออกไขค์ที่มีอยู่ก่อน

3.การทำอิมพลานเตชัน(การยิงอะตอมสารเจือที่ต้องการลงสู่พื้นที่ที่ต้องการบนแผ่นเวเฟอร์)ของสาร โบรอนจะเกิดอุณหภูมิที่มีค่าที่สูงมากและอาจมีผลต่อทำให้แผ่นเวเฟอร์มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงและการจับตัวของอะตอมได้จึงต้องมีการเคลือบออกไขค์ที่มีความหนามากกว่าปกติ

3.3กฎการวางอุปกรณ์ของเทคโนโลยี 5 ไมครอนเบื้องต้น

ขนาดที่เล็กที่สุดของอุปกรณ์	5	ไมโครเมตร
ความห่างระหว่างชั้น	2	ไมโครเมตร
ขนาดของเกาะลอย	10	ไมโครเมตร
ความลึกของรอยต่อระหว่างเบสกับคอลเลคเตอร์	5	ไมโครเมตร
ความลึกของรอยต่อระหว่างเบสกับอิมิเตอร์	3	ไมโครเมตร
ระยะห่างจากอิมิเตอร์กับคอลเลคเตอร์ที่น้อยที่สุด	5	ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างจากเบสกับขอบของเกาะลอยที่น้อยที่สุด	5	ไมโครเมตร
ระยะห่างจากหน้าสัมผัสคอลเลกเตอร์ถึงขอบของเกาะลอย	5	ไมโครเมตร
ระยะห่างจากหน้าสัมผัสคอลเลกเตอร์ถึงเบสที่น้อยที่สุด	5	ไมโครเมตร
ระยะที่ ห่างจากชั้นบูรีที่น้อยที่สุด	2	ไมโครเมตร
ระยะห่างจากชั้นบูรีถึงขอบของเกาะลอยที่น้อยที่สุด	5	ไมโครเมตร

3.4 วงจรรวมแบบดิจิทัล

ในการออกแบบวงจรรวมที่เกี่ยวกับดิจิทัลซึ่งจะเกี่ยวข้องไปถึงการใช้เทคโนโลยีแบบยูนิโพลาร์เป็นวิธีที่เกิดจากการดัดแปลงเทคโนโลยีของไบโพลาร์โดยเปลี่ยนเป็นการควบคุมการไหลของกระแสอิเล็กตรอนด้วยแรงดันและสนามไฟฟ้าที่เคลื่อนที่จากขั้วซอสไปยังขั้วเดรน ถ้าเกิดจากช่องทางเดินกระแสของเอนจะได้ประจุพาหะส่วนใหญ่เป็นอิเล็กตรอน แต่ถ้าเกิดจากช่องทางเดินกระแสของพีจะจะได้ประจุพาหะส่วนใหญ่เป็นโฮล และการควบคุมการไหลของกระแสก็คือการจากแรงดันให้เกท ในการออกแบบและการผลิตนิยมใช้มอสที่ทำจากเอน-มอส

การจ่ายแรงดันเข้าที่ขาเกทมีเหตุผล 2 ประการ

1. ในพื้นที่ที่เกทครอบคลุมถึงพลังงานศักย์จากเกทจะมีผลต่อการสะสมประจุพาหะ ซึ่งถ้าประจุพาหะมีการสะสมที่บริเวณช่องทางเดินมาจะทำให้ความต้านทานลดลงทำให้กระแสสามารถไหลผ่านได้สะดวกทางตรงข้ามถ้าหยุดจ่ายแรงดันก็ทำให้ช่องทางเดินกระแสถูกปิดพาหะก็นำกระแสไม่ได้

2. การเพิ่มค่าแรงดันของขาเกทจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนพาหะในช่องทางเดินของกระแสได้

การออกแบบอุปกรณ์ชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องแพร่ชั้นบูรีเนื่องจากฐานรองสามารถทำหน้าที่ในการป้องกันการเกิดการแผ่ของทรานซิสเตอร์ได้และสามารถนำไปใช้ในงานที่เกี่ยวกับการขยายสัญญาณได้ดีใช้พลังงานต่ำทำให้สามารถออกแบบจำนวนมากๆในพื้นที่เล็กๆได้

และได้มีการพัฒนาโครงสร้างของมอสใหม่โดยการเปลี่ยนแปลงสารที่ใช้ทำการแพร่และตั้งชื่อใหม่เป็น IGFET (อิกเฟท) โดยอิกเฟทมีคุณสมบัติที่น่าสนใจในทั้ง 4 ประเภทดังต่อไปนี้

1. เอนฮานซ์เมนต์โหมด ของเอนแชนแนล ค่ากระแสระหว่างซอสกับเดรนเป็นศูนย์เมื่อขาเกทกับซอสมีค่าแรงดันตกคร่อมมีค่าเท่ากับศูนย์และช่องทางเดินกระแสจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อค่าแรงดันตกคร่อมขาซอสและเดรนมีค่าเป็นบวก

2.พีแชนแนล เอนฮานท์เมนต์โหมด ค่ากระแสระหว่างซอสกับเดรนจะมีค่าเป็น ศูนย์เมื่อค่าแรงดันตกคร่อมระหว่างขาเกตกับซอสมีค่าเป็น ศูนย์ และช่องทางเดินกระแสจะเกิดขึ้น ได้ก็ต่อเมื่อค่าแรงดันตกคร่อมขาซอสและขาเดรนมีค่าเป็นลบ

3.เอนแชนแนล ดิฟิชั่นโหมด เมื่อค่าแรงดันตกคร่อมขาเกตและขาซอสมีค่าเป็น ศูนย์ขาเดรนและขาซอสจะสามารถเกิดการไหลของกระแส และค่าแรงดันตกคร่อมที่ขาเกตและขา ซอสมีค่าน้อยลงไปเรื่อยจนกระทั่งติดลบจะเป็นการลดค่ากระแสในช่องทางเดินได้

4.พีแชนแนลดิฟิชั่นโหมด เมื่อแรงดันตกคร่อมขาเกตและขาซอสมีค่าเป็นศูนย์ ก็สามารถทำให้เกิดการไหลของกระแสได้ และค่าแรงดันตกคร่อมที่ขาเกตและขาซอสมีค่าเป็นบวก สามารถทำให้กระแสที่ไหลในช่องทางเดินลดลงได้

3.5ประเภทของมอสชนิดต่างๆ

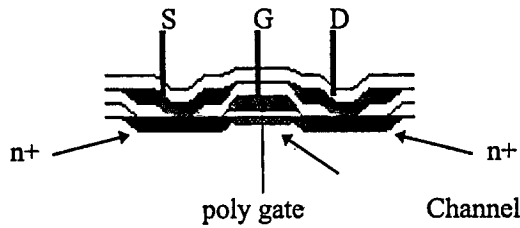
มอสที่กล่าวถึงในที่นี้จะแบ่งออกเป็น 4 ประเภท

3.5.1 เอนมอส อินชูลเตดเกต

เอนมอสเป็นอุปกรณ์ที่มีความโดดเด่นในส่วนของคุณสมบัติซึ่งโดยลำพัง แล้วสามารถพัฒนาให้ไปถึงระดับแอล.เอส.ไอ ได้ โดยพื้นฐานโครงสร้างของเอนมอส ดิฟิชั่นโหมด จะต้องมีการจ่ายแรงดันที่เหมาะสมจากภาพที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มค่าแรงดันตกคร่อม ระหว่างขาเกตและขาซอสนั้นเป็นการเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนอิสระในช่องทางเดินถ้าเกิดการลด แรงดันตกคร่อมจะทำให้จำนวนอิเล็กตรอนอิสระลดลงเป็นผลทำให้กระแสที่ไหลในช่องทางเดินลด ลงจนกระทั่งกระแสไม่ไหล เอนมอสอินชูลเตดเกตนี้เป็นมอสที่มีการแพร่ชั้น ซิลิกอนแทรกเข้าไปออกไซด์ในส่วนของเกต

ดิฟิชั่นโหมดของเฟตจะไม่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แอคทีฟสวิทช์ซึ่งเนื่องจากการเกิดรี เวอร์สไบอัสที่เกิดขึ้นที่ขาเกตจะทำให้เฟตหยุดทำงานทันทีแต่อย่างไรก็ตามเฟตก็จะถูกใช้งานใน กรณีทำหน้าที่เป็นตัวความต้านทานหรือมองเป็นโหลดโดยการต่อขาเกตเข้ากับขาซอสซึ่งทำให้ค่า แรงดันตกคร่อมระหว่างขาเกตกับขาซอสซึ่งจะทำให้มองเป็นตัวความต้านทานที่เกิดระหว่างขาเด รนกับขาซอสได้แต่ความต้านทานที่เกิดขึ้นนี้จะมีความต้านทานที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามค่าแรง ดัน

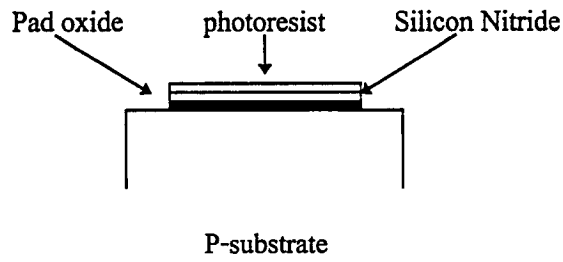
อย่างไรก็ตามเอนมอสแบบเอนฮานท์เมนต์โหมดก็เหมาะที่จะใช้ในงานสวิทช์ซึ่งมากกว่า ดิฟิชั่นโหมดโดยจะนำมาใช้ร่วมกับพีแชนแนลสวิทช์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ ซิมอส การใช้ มอสโดยเกตทำจากโลหะได้หมดสมัยในการใช้งานโดยในรุ่นแรกๆที่ผลิตออกมามักใช้ในงานปิดการ ทำงานเองสำหรับซิมอสหรือใช้ในงานเกี่ยวกับการทนแรงดันสูงจะกระแสทั้งถูกแทนด้วยมอสแบบอิน ชูลเตดเกต



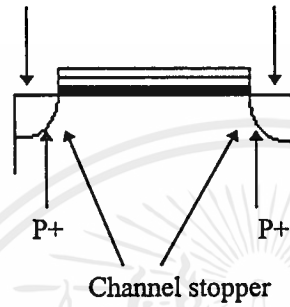
รูปที่ 3.3.1 ตัวอย่างเอนมอสแบบคิฟิชั่น

ขั้นตอนในการแพร่สารลงในแผ่นเวเฟอร์เพื่อสร้างมอสแบบโพลีซิลิกอนเกทมีดังต่อไปนี้

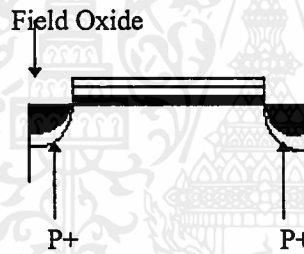
- 1.เริ่มจากการแพร่สารชนิดพี(โบรอน)เจือจางลงในแผ่นเวเฟอร์ซิลิกอนเพื่อสร้างฐานรองเป็นชั้นพีแล้วปิดหน้าด้วยชั้นออกไซด์ให้สังเกตจากภาพ 3.5
- 2.เปิดผิวหน้าด้วยหน้ากากที่1 แล้วทำการแพร่สารเจือชนิดพีความเข้มข้นสูงเพื่อสร้างเขตหยุดการเคลื่อนที่ของประจุพาหะที่ไหลผิดทาง
- 3.ให้ทำการสร้างออกไซด์เคลือบผิวหน้าในส่วนของสารชนิดพีเจืออยู่เพื่อคั่นให้สารลึกลงไปด้านล่าง
- 4.ปิดหน้าด้วยซิลิกอนไนไตรด์แล้วทำการปิดหน้าด้วยออกไซด์อีกครั้งหนึ่งโดยปลูกชั้นบางๆถึงขั้นนี้แล้วจะได้ชั้นเกทในชั้นแรก
- 5.ปรับเปลี่ยนค่าในการแพร่ สารเจือ ชนิด พี ให้ สที่ พ' สร้างฐานรองชนิด พี ขึ้นมา โดยการใช้เครื่องยิงอะตอม
- 6.วางชั้น โพลีซิลิกอนเพื่อสร้างชั้นเกทในส่วนที่ 2 ปิดด้วยออกไซด์
- 7.เปิดผิวออกไซด์ด้วยหน้ากากที่2 แล้วลอกชั้น โพลีซิลิกอนที่ไม่ต้องการออก
- 8.ใช้เครื่องมือพลาสมาที่ยิงสารเจือชนิดเอ็นเข้มข้นเพื่อสารซอสและเดรน(มักนิยมใช้อาร์เซนิก)
- 9.วางชั้นออกไซด์ปิดหน้าทั้งหมด
- 10.เปิดหน้าด้วยหน้ากากที่ 3 เพื่อทำชั้นเวียร์ส (VIAS)หรือหน้าสัมผัสซึ่งตอนนี้จะได้ชั้นเกท , ซอส,เดรนทั้งหมดแล้วบริเวณที่ถูกเปิดหน้าให้ทำการแพร่โลหะที่ใช้ในการเชื่อมต่อภายในโดยมากจะใช้อลูมิเนียมที่ผสมกับซิลิกอน 1 เปอร์เซนต์
- 11.กำจัดส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่ต้องการทิ้งไป



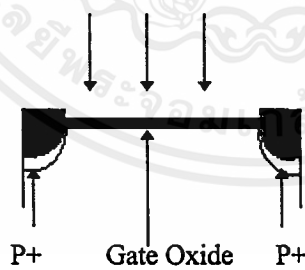
รูปที่ 3.4 โครงสร้างชั้นออกไซด์



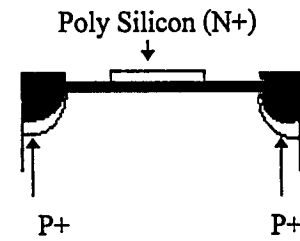
รูปที่ 3.5 การแพร่สารส่วนหยุดประจุพาหะ



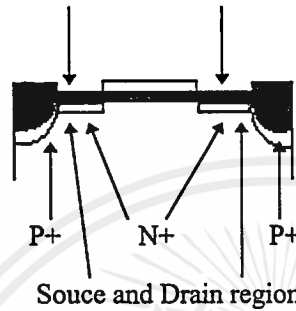
รูปที่ 3.6 การแพร่ส่วนออกไซด์ปิดส่วนหยุดประจุพาหะ



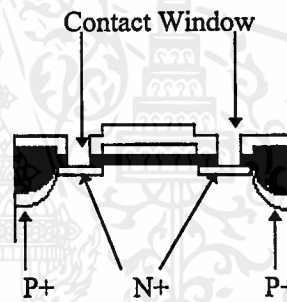
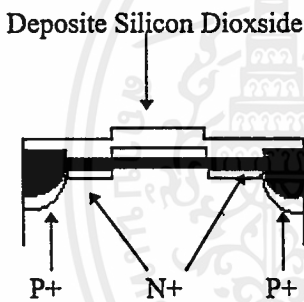
รูปที่ 3.7 ปลุกชั้นเกตเริ่มต้น



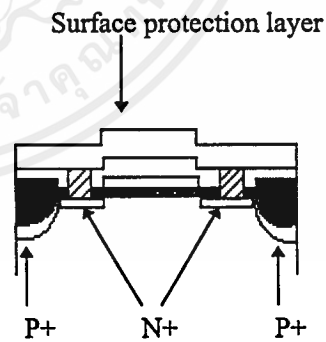
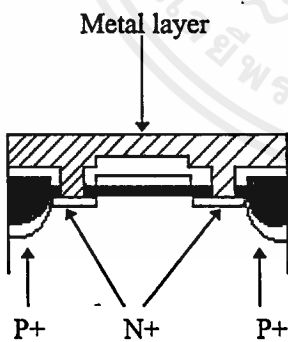
รูปที่ 3.8 การปลูกชั้นโพลีซิลิกอน



รูปที่ 3.9 การแพร่สารชั้นซอสและเดรน



รูปที่ 3.10 การเปิดหน้าต่างเตรียมแพร่โลหะ



รูปที่ 3.11 การวางสายโลหะ

ทุกขั้นตอนที่ทำการแสดงเป็นขั้นตอนพื้นฐานโดยทั่วไปที่มีประสิทธิภาพสูงจากโรงงานที่ทำการผลิตซึ่งผลที่ได้นั้นจะดียิ่งขึ้นถ้ามีการพัฒนาส่วนโพลีซิลิกอนเกตซึ่งสามารถกำจัดปัญหาเลื่อมล้าของส่วนเกตทับกับเดรนและส่วนเกตทับกับส่วนซอส ซึ่งการเลื่อมล้าของเกตนั่นจะ

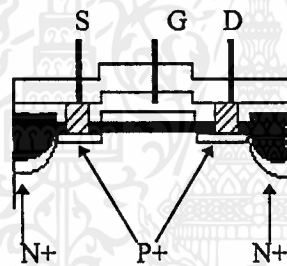
ทำให้เกิดตัวเก็บประจุอย่างไม่ตั้งใจเป็นผลทำให้วงจรมีความสามารถในการทำงานลดลงในด้านความถี่สูง

ในบางกรณีจะนำโพลิซิลิกอนเกตใช้ในการเชื่อมต่อวงจรแต่ความต้านทานของโพลิซิลิกอนมีค่าความต้านทานสูงทำให้การนำกระแสไม่ดีเท่ากับการนำกระแสด้วยโลหะ

3.5.2. ฟิมอสอินซูลิเตดเกต

โดยปกติแล้วในการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจะมีการสร้างแบบพีแชนแนลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับเอนมอสแต่จะไม่นำมาใช้ในงานที่ใช้แต่ฟิมอสเพราะเนื่องจากความคล่องตัวในการนำกระแสของโฮลมีค่าน้อยกว่าอิเล็กตรอนทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้ไม่ได้รับความนิยมเท่าเอนมอส

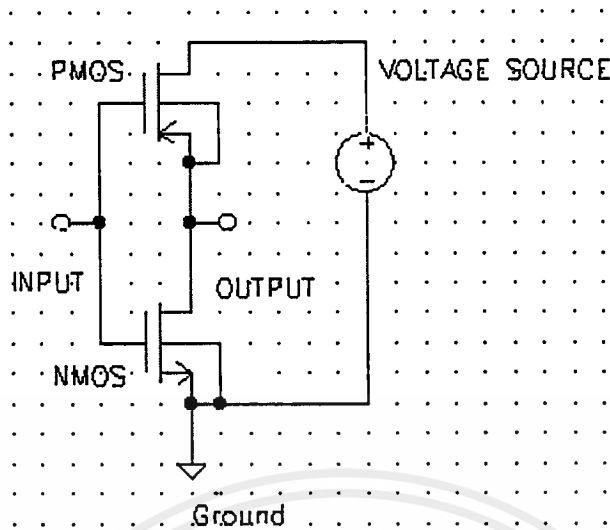
เมื่อมองโครงสร้างโดยทั่วไปแล้วฟิมอสจะมีโครงสร้างเหมือนกับเอนมอสแต่ต่างกันที่ชนิดของที่ทำกรแพร่ลงไปที่นั่นในทางการค้าแล้วมักนำมาใช้ทำซิมอสโดยจะให้ฟิมอสทำหน้าที่เป็นสวิทช์ปิดเปิดการไหลของกระแส



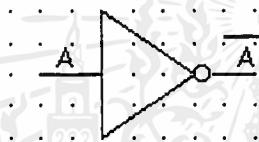
รูปที่ 3.12 ฟิมอส

3.5.3. เทคโนโลยีของซิมอส

พื้นฐานการทำงานของซิมอสดิจิทัลเกิดจากการรวมกันทำงานระหว่างฟิมอสกับเอนมอส โดยการนำเอนมอสและฟิมอสแบบเอนฮานเมนต์โคมมาวางเรียงกันดังรูปที่ 3.13 จะเป็นการทำงานแบบอินเวอร์เตอร์โดยเมื่อเริ่มจากแรงดันขนาด 5 โวลต์เข้าทางอินพุตตำแหน่งเอาต์พุตจะจ่ายแรงดัน 0 โวลต์ออกมาและในทางกลับกันเมื่อจ่ายแรงดันขนาด 0 โวลต์ ที่เอาต์พุตจะจ่ายค่าแรงดันออกมาขนาด 5 โวลต์



รูปที่ 3.13 ซิมอสหรืออินเวอร์สเตอร์

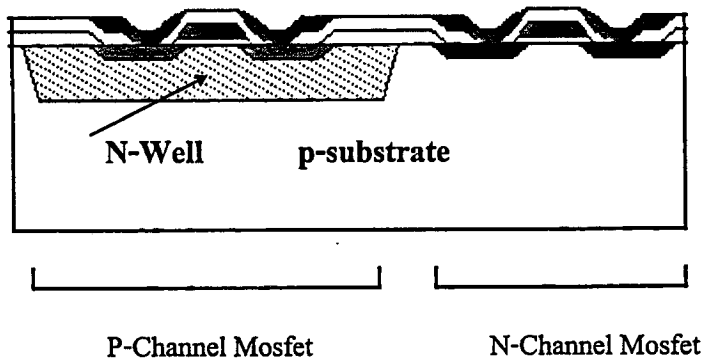


รูปที่ 3.14 วงจรเสมือนของอินเวอร์สเตอร์

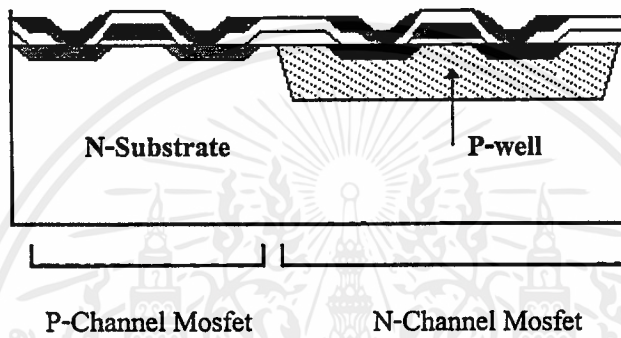
จะพบว่าการทำงานของอินเวอร์สเตอร์เริ่มจากการจ่ายแรงดันเข้าสู่ขาเกททั้งพีมอสและเอนมอสการจ่ายแรงดันขนาด 0 โวลต์ ทำให้พีมอสที่อยู่ด้านบนเกิดทำงานแต่เอนมอสไม่ทำงานทำให้เอนมอสเกิดสภาพการ โอเพ่นเซอร์คิต แรงดันที่ตกคร่อมที่เอนมอสมีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ และเมื่อจ่ายแรงดันขนาด 5 โวลต์เข้าไปทำให้พีมอสไม่ทำงานเป็นผลทำให้เกิดการโอเพ่นเซอร์คิต และเอนมอสทำงานเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านมาทั้งหมดลงกราวด์ทำให้ที่เอาต์พุตมีค่าแรงดันเป็น 0 โวลต์

สามารถสรุปได้ว่าการที่จะสร้างซิมอสขึ้นมาชิ้นหนึ่งนั้นจะต้องประกอบไปด้วย เอนมอสและพีมอสโดยการสร้างจะสร้างโดยใช้ฐานรองเดียวกัน โดยสามารถสร้างได้ 3 รูปแบบ

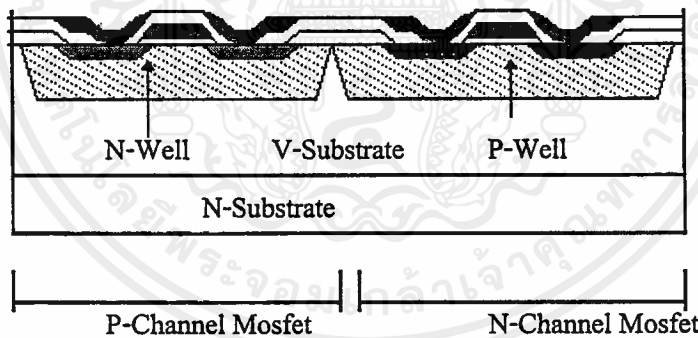
1. สร้างจากฐานรองพีและสร้างบ่อเอน
2. สร้างจากฐานรองเอนและสร้างบ่อพี
3. สร้างจากฐานรองที่เป็นกลางและสร้างทั้งบ่อพีและบ่อเอน



รูปที่ 13.15 ซีมอสแบบบ่อเอ็น



รูปที่ 13.16 ซีมอสแบบบ่อพี



รูปที่ 13.17 ซีมอสแบบบ่อพีและบ่อเอ็น

การเลือกสร้างฐานรองกับบ่อ(well)จะขึ้นอยู่กับความสะดวกในการออกแบบ และการสร้างโดยการออกแบบจะคำนึงถึงความถูกต้อง, ง่าย, ง่าย, ฟังก์ชันการทำงานที่ต้องการแต่ที่นิยมใช้งานในโรงงานคือแบบที่ 1 และแบบที่ 2 โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังต่อไปนี้

1. บนฐานรองชนิดเอ็นให้ทำการปิดด้วยซิลิกอนไดออกไซด์และซิลิกอนไนไตรด์
2. ใช้หน้ากากที่ 1 ในการเปิดช่องสำหรับการแพร่สารแล้วล้างส่วนที่เป็นออกไซด์

ออกให้หมด

3. ใช้หน้ากากที่ 2 ในการเปิดช่องในการทำบ่อชนิดพีโดยการใช้เครื่องยิงอิมพลานต์ ยิงสารเจือโบรอนโดยโบรอนไม่สามารถทะลุผ่านชั้นสารไวแสงได้แล้วจึงทำการปิดด้วยออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้น้ำากที่ 3 ในการเปิดช่องส่วนที่อยู่รอบๆบ่อพีแล้วทำการอิมพลานต์ด้วยสารเจือเข้มข้นสูงเพื่อทำเขตหยุดประจุพาหะ

5. ใช้น้ำากที่ 4 ในการเปิดช่องรอบๆบริเวณที่เป็นส่วนของแซนแนล พีเพื่อทำการอิมพลานต์สารเจือเข้มข้นสูงของอาร์เซนิกเพื่อทำเขตหยุดประจุพาหะชนิดพี

6. ปลุกชั้นซิลิกอนไดออกไซด์เพื่อทำการปิดและดันส่วนหยุดประจุพาหะให้ลึกลงด้านล่าง

7. ทำการลอกชั้นออกไซด์ทั้งหมดออกแล้วทำการเคลือบผิวด้วยซิลิกอนไดออกไซด์บางๆลงแทน

8. ปรับความเข้มข้นของสารเจือทั้งชนิดเอ็นและชนิดพีปรับสภาพแผ่นเวเฟอร์ให้เตรียมพร้อมสำหรับการอิมพลานต์

9. จัดตำแหน่งของโพลีซิลิกอนลงบนชั้นผิวหน้า

10. ใช้น้ำากที่ 5 ทำการเปิดและลอกโพลีซิลิกอนออกในส่วนที่ไม่ต้องการปิดด้วยชั้นออกไซด์ทั้งหมด

11. เปิดด้วยน้ำากที่ 6 ใช้วิธีการเซล-อะโรไน์แพร่สารลงในซอสและเดรนของสารชนิดเอ็นโดยการอิมพลานต์ในส่วนของพีแซนแนลแล้วปิดหน้าด้วยการเคลือบชั้นออกไซด์บางๆ

12. ทำการเปิดหน้าด้วยน้ำากที่ 7 ทำการอิมพลานต์สารด้วยสารเจือโบรอนเข้มข้นสูงเพื่อสร้างส่วนซอสและเดรนของเอ็นแซนแนลแล้วทำการปิดหน้าด้วยสารเคลือบออกไซด์บางๆ

13. เคลือบออกไซด์ลงในส่วนเกตเพื่อปรับสภาพเกต ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์

14. เปิดช่องด้วยน้ำากที่ 8 ทำการเปิดส่วนที่เป็นหน้าสัมผัส

15. เคลือบผิวตลอดหน้าสัมผัสด้วยโลหะอลูมิเนียม

16. ใช้น้ำากที่ 9 ในการเปิดหน้าในส่วนที่ไม่ต้องการโลหะ

17. เคลือบผิวปิดด้วยออกไซด์ทุกส่วน(อุปกรณ์สมบูรณ์)

ถ้าสังเกตให้ดีจะพบว่าการทำซึมอจะใช้น้ำากมากกว่าไบโพลาร์เนื่องจากจะต้องทำการสร้างแซนแนลที่แตกต่างกันบนฐานรองชนิดเดียวกัน

3.6 พื้นฐานการออกแบบมอส

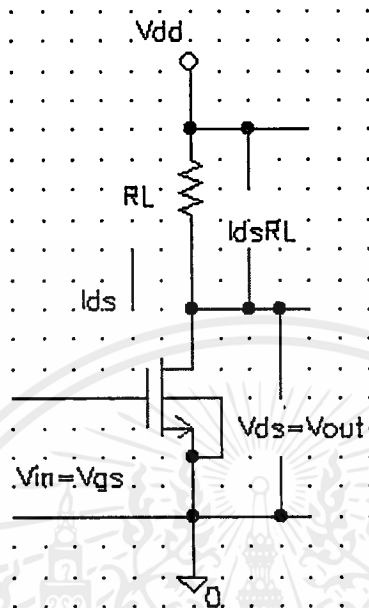
จากการทำงานของอินเวอร์ตเดอร์ตันสามารถแบ่งการวางโหนดได้ทั้ง 3 ประเภท

1. ตัวความต้านทานเป็นโหนด

2. มอสแบบเอนฮานเมนต์เป็นโหนด



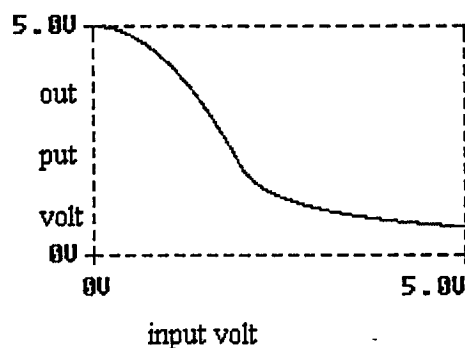
3. มอสแบบคิพีชันเป็นโหลด



รูปที่ 3.18 วงจรอินเวอร์เตอร์พื้นฐานโดยใช้ตัวดันทานเป็นโหลด

3.6.1 มอสแบบตัวความต้านทานเป็นโหลด

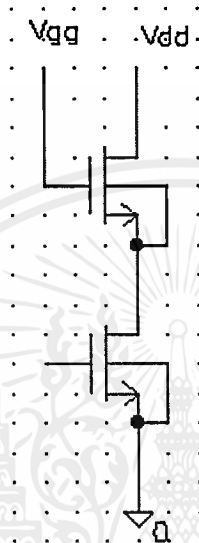
ในรูปวงจรที่ 3.18 แสดงถึงวงจรพื้นฐานการทำงานในกรณีที่มิตัวความต้านทานเป็นโหลดการทำงานของวงจรนี้เริ่มจากการจ่ายค่าของสัญญาณที่แรงพอที่จะทำให้มอสทำงานได้โดยค่าความแรงของสัญญาณจะมีผลกระทบต่อสารกึ่งตัวนำที่อยู่ในมอสทำให้มอสสามารถลดค่าความต้านทานภายในตัวมันเองได้ระดับหนึ่งในกรณีที่มิตัวค่าแรงดันมากเกินไปจนความจำเป็นจะทำให้มอสเกิดการแซททูเรชัน ค่าแรงดันที่ทำให้มอสเริ่มทำงานเรียกว่าแรงดันเทรชโฮลในการทำงานของมอสที่มีโหลดเป็นตัวความต้านทานนี้ทำให้เกิดข้อจำกัดในการทำงานเนื่องจากค่าความต้านทานนั้นมีค่าคงที่แต่ค่าความต้านทานของมอสมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าแรงดันที่จ่ายเข้ามาจึงไม่นิยมนำมาใช้งานและมีการพัฒนาวงจรขึ้นมาใหม่โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.19 แรงดันที่วัดคร่อมมอสขณะเปลี่ยนแปลงแรงดัน

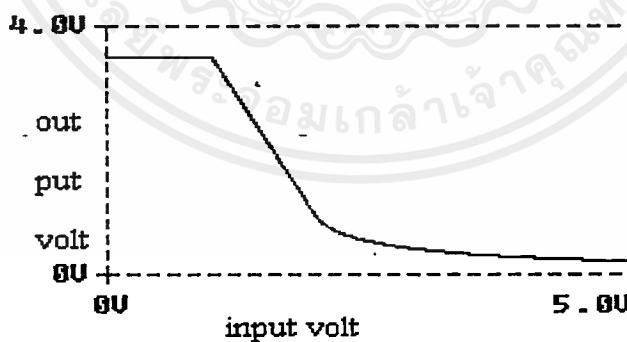
3.6.2 มอสแบบเอนฮานเมนต์เป็นโหนด

การนำมอสแบบเอนฮานเมนต์เป็นโหนดนั้นมีข้อดีอยู่หลายประการ โดยเฉพาะการประหยัดพื้นที่ในการแพร่สารซึ่งนั้นมีผลต่อค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นต่อไป เมื่อมาพิจารณาถึงในส่วนวงจรมอสที่เป็นโหนดนี้สามารถแปรผันค่าความต้านทานของตัวมันเองตามค่าของแรงดันที่จ่ายเข้ามาแต่ข้อจำกัดในมอสประเภทนี้ยังมีอยู่ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.20 วงจรมอสแบบเอนฮานเมนต์เป็นโหนด

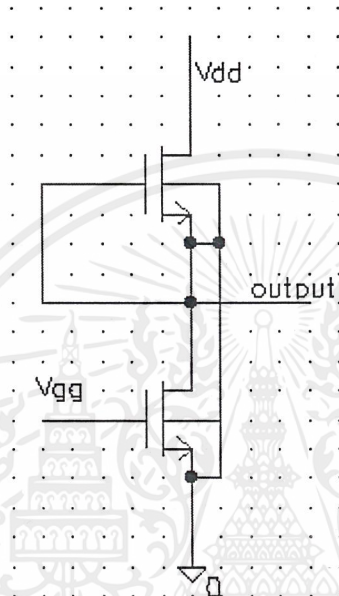
วงจรประเภทนี้นิยมที่จะใช้ในวงจรไมโครโดยทั่วไปแล้ววงจรไมโครสามารถทำงานในสภาวะความถี่สูงได้ดีเนื่องจากขนาดความกว้างของเพลทนั้นมีค่าความกว้างน้อยมากทำให้ค่าของคาปาซิเตอร์มีค่าต่ำกว่าวงจรทั่วไป



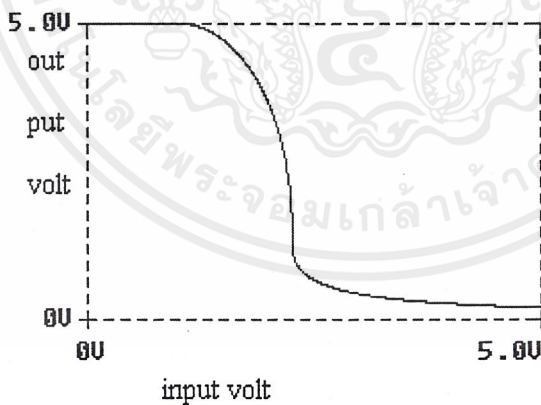
รูปที่ 3.21 แรงดันต่อคร่อมมอสเมื่อมอสเอนฮานเมนต์เป็นโหนด

3.6.3 มอสแบบดิฟิชั่นเป็นโหนด

การนำมอสแบบดิฟิชั่นมาเป็นโหนดให้กับมอสที่เป็นวงจรหลักมอสที่ทำหน้าที่โหนดชนิดนี้นั้นมีคุณสมบัติสามารถที่จะแสดงผลในกรณีที่เมื่อแรงไฟลอป้อนเข้ามาเนื่องจากมอสชนิดนี้มีการแพร่ชั้นสารบางๆในบริเวณช่องทางเดินของอิเล็กตรอนเพราะฉะนั้นถ้าไม่ป้อนแรงดันมอสก็สามารถจะทำงานได้



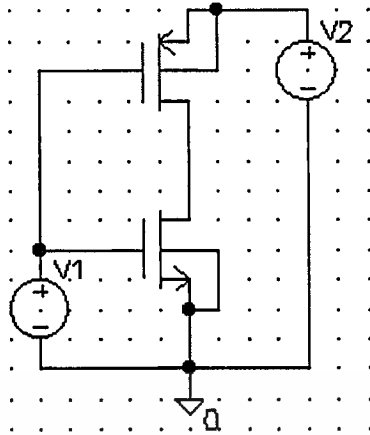
รูปที่ 3.22 มอสแบบดิฟิชั่นเป็นโหนด



รูปที่ 3.23 แรงดันตกคร่อมที่จุดเอ๊าท์พุท

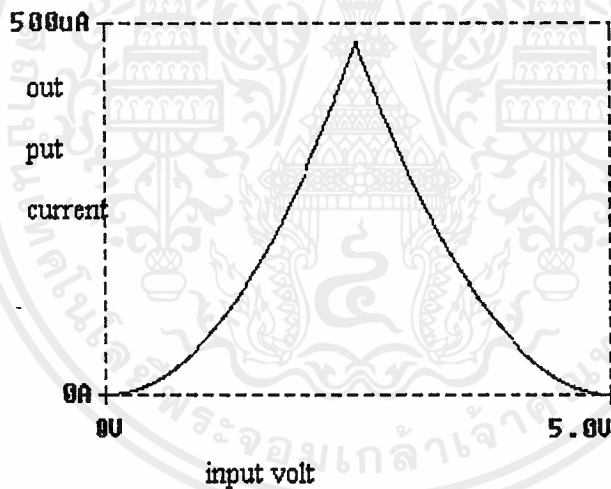
3.7 พื้นฐานการทำงานของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์คือวงจรที่ใช้ในการสลับค่าจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 โดยค่า 0 นั้นคือ 0 โวลต์ และ 1 คือค่าแรงดันไฟที่จ่ายให้กับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำโดยวงจรนี้นิยมใช้งานดิจิทัล

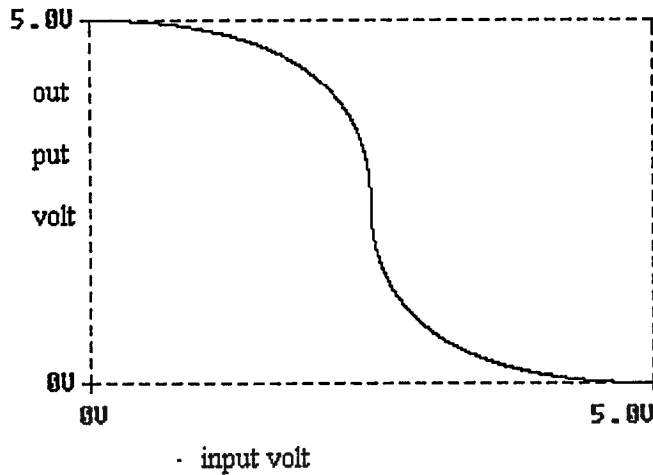


รูปที่ 3.24 อินเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรเริ่มจากที่มีการจ่ายสัญญาณพัลส์ให้กับวงจร โดยพัลส์ที่จ่ายเข้าไบนั้นเป็นพัลส์ที่มีการเปลี่ยน 0 โวลต์เป็น 5 โวลต์และจึงทำการหาจุดเปลี่ยนแปลงการทำงานของแรงดันและกระแส



รูปที่ 3.25 กระแสที่ใช้ขณะเปลี่ยนแปลงแรงดัน



รูปที่ 3.26 แรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงขณะผ่านวงจร
มอสโดยทั่วไปนั้นสามารถที่แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. เอน-มอส
2. พี-มอส

ซึ่งโดยทั่วไปในโรงงานนั้นนิยมใช้เอน-มอสมากกว่าพี-มอสเนื่องจากผลของการทำงานของเอน-มอสแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าพี-มอสในด้านความเร็วในการทำงาน, พื้นที่ในการแพร่สาร, ราคาของชิ้นสารที่ใช้ในการแพร่และขั้นตอนในการผลิตที่น้อยกว่าแต่อย่างไรก็ดีพี-มอส นั้นเป็นชิ้นงานชิ้นแรกที่ผลิตขึ้น ได้ก่อนและสามารถทำงานช่วงแรงดันที่เป็นลบได้โดยค่าทรานคอนดักแตนซ์ของพี-มอสนั้นมีค่าน้อยกว่าชนิด เอน-มอสแสดงโดยสมการ

$$k'_p = \mu_p C_{ox} \quad (3.1)$$

ส่วนความเร็วในการตอบสนองของพี-มอสเมื่อเทียบกับเอน-มอส ได้ผลดังนี้คือ

$$\frac{\mu_p}{\mu_n} = 2.5 \quad (3.2)$$

เนื่องจากผลการทำงานของพี-มอสให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ด้อยกว่าเอน-มอสแต่อย่างไรก็ดีพี-มอสก็ยังมีการใช้งานควบคู่กับเอน-มอส เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานบางอย่างที่ยังจำเป็นต่อวงจรในปัจจุบัน

ในการกำหนดรูปแบบของแพ็คเกจของวงจรกึ่งตัวนำนี้ต้องกำหนดค่าพลังงานต่ำสุดและสูงสุดเอาไว้ก่อนนำมาใช้งานโดยในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีที่สำคัญมาใช้กับมอสและได้ทำการเปลี่ยนชื่อเรียกใหม่ว่า ซิมอส ซึ่งซิมอสนี้ต้องการพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ซิมอสสามารถจ่ายค่าแรงดันไฟสูงสุดและต่ำสุดได้คือ $V_{OH} = V_{DD}$ และ $V_{OL} = 0$

3.8 พีแซนแนลมอสเฟต

จากรูปที่ 3.12 แสดงถึงสัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบพีแซนแนลซึ่งสัญลักษณ์ที่แสดงนั้นได้บอกถึงลักษณะทางฟิสิกส์และในทำนองเดียวกันเอนมอสก็มีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกันต่างกันเพียงที่ขึ้นสารที่นำมาใช้งาน

ค่าแรงดันพิมอสเริ่มต้นจะมีค่าต่ำกว่าศูนย์ โดยที่ค่าแรงดันเริ่มต้นมีค่าเท่ากับศูนย์ สำหรับเอนฮานเมนต์โหมดโดยมีที่มาจากสมการดังนี้

$$V_{TOP} = \Phi_{GS} - 2\phi_{Fn} - \frac{1}{C_{OX}}(Q_{ss} + Q_{OX}) - \frac{1}{C_{OX}}Q_{BON} \quad (3.3)$$

ค่าผลต่างที่เกิดขึ้นระหว่างสมการกับนิยามจะปรากฏในการทดลองโดย

- 1.ค่า Φ_s เป็นค่าของสารประเภทคอร์เนอร์ในสารชนิดเอน
- 2.ค่าเฟรมิในเนื้อสารนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสมการดังนี้

$$\phi_{Fn} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_D}{n_i} \right) \quad (3.4)$$

- 3.ค่าความหนาแน่นของประจุในเนื้อสาร

$$Q_{BON} = \sqrt{2q\epsilon_{SI}N_D(2\phi_{Fn})} \quad (3.5)$$

และเมื่อมีการจ่ายค่าแรงดันให้แก่ขึ้นสารแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของประจุโดยถ้ามีการอิมแพลนต์สารประเภทคอร์เนอร์จะใช้เครื่องหมายบวกและถ้าอิมแพลนต์สารประเภทแอคเซบเตอร์เข้าไปจะทำให้เครื่องหมายลบทำให้เกิดสมการการเปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้

$$V_{Tp} = V_{TOP} - \gamma_P \left(\sqrt{V_{BSp} + 2\phi_{Fn}} - \sqrt{2\phi_{Fn}} \right) \quad (3.6)$$

เมื่อ

$$\gamma_P = \frac{\sqrt{2qN_d\epsilon_{SI}}}{C_{OX}} \quad (3.7)$$

ส่วนค่ากระแสที่ไหลผ่านเอนมอสในกรณีที่ไม่อิมตัวมีค่าเท่ากับ

$$I_{Dn} = \frac{\beta_n}{2} \left[2(V_{GSn} - V_{Tn})V_{DSn} - V_{DSn}^2 \right] \quad (3.8)$$

ซึ่งต่างจากกระแสที่ผ่านพิมอสในกรณีที่เครื่องหมายที่เกิดจากการไหลของของประจุบวกและลบที่ไหลสวนทางกันนั่นเองดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$I_{Dp} = \frac{\beta_p}{2} \left[2(V_{SGp} + V_{Tp})V_{SDp} - V_{SDp}^2 \right] \quad (3.9)$$

และเมื่อในกรณีที่กระแสได้อิมตัวเมื่อ

$$|V_{Dp}| > |V_{GSp} - V_{Tp}| \quad (3.10)$$

โดยค่ากระแสที่ไหลนั้นจะมีค่าแปรผันตามสมการดังต่อไปนี้

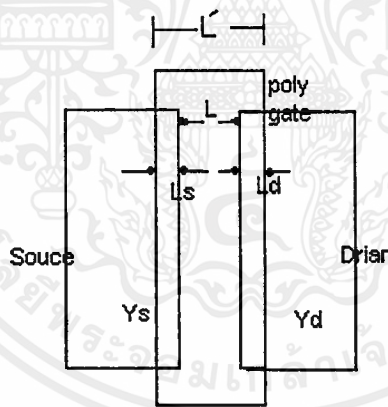
$$I_{Dp} = \frac{\beta_p}{2} (V_{SDp} - V_{Tp})^2 \quad (3.11)$$

3.9 ค่าความจุประจุภายในมอสเฟต

ในการคำนวณค่าความจุประจุในมอสเฟต นั้นเนื่องมาจากการแพร่สารมีความต่างระดับชั้น ทำให้เกิดการสะสมประจุขณะทำการจ่ายแรงดันให้แก่มอสเฟตค่าประจุที่ได้จากความไม่ตั้งใจทำให้เกิดผลเสียแก่วงจรในด้านผลการตอบสนองความถี่ในขณะใช้งานในความถี่สูง โดยเน้นพิจารณาที่ C_{OUT} เนื่องจากค่าความจุประจุที่จุดนี้มีผลต่อวงจรมากในการคำนวณค่าความจุประจุแสดงดังสมการ

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{x_{ox}} \quad (3.12)$$

โดยค่าความจุประจุเกิดจากระยะห่างของชั้นสารกับค่าคุณสมบัติที่มีในสารที่กั้นอยู่ระหว่างชั้นสารซึ่งในที่นี้หมายถึงสารที่เป็นชั้นออกไซด์ นอกจากนี้ค่าความยาวของชั้นสารที่มีค่ามากจะมีผลทำให้ค่าความมากตามความที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.27 โมเดลโครงสร้างของมอส

จากภาพที่ 2.10 สามารถที่จะคำนวณค่าของความจุประจุระหว่างชั้นออกไซด์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} C_{OLS} &= C_{ox} W L_S \\ C_{OLD} &= C_{ox} W L_D \end{aligned} \quad (3.13)$$

นอกจากนี้ยังมีค่าของคาปาซิแตนซ์ที่แฝงอยู่ในขาเกต-ซอสและเกต-เดรน

$$C_{GS} = C_{ox} W L f_1 (V_{GS}; V_{GD}) \quad (3.14)$$

$$C_{GD} = C_{ox} W L f_2 (V_{GS}; V_{GD}) \quad (3.15)$$

บทที่ 4

ขั้นตอนการแพร่สารด้วยโปรแกรมแอลอีดิท

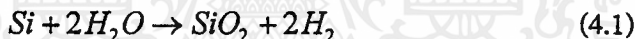
เมื่อทำการออกแบบวงจรเป็น ที่เรียบร้อยแล้วต่อไปก็คือขั้นตอนการออกแบบ ตำแหน่งการแพร่สาร โดยหลักการแพร่สารนั้นในการออกแบบจะต่างจากการการแพร่สารจริงซึ่งจะต้องทำความเข้าใจในวงจร,รูปแบบ,ทฤษฎีการแพร่สารและกฎการวางอุปกรณ์ที่ต้องการความแม่นยำและความถูกต้องอย่างสูงเนื่องจากการวางอุปกรณ์ที่ผิดพลาดจะสร้างค่าความดันและค่าความเก็บประจุโดยไม่จำเป็นเกิดขึ้นเป็นผลให้เกิดการผิดเพี้ยนของวงจร

4.1 ขั้นตอนการออกแบบ

- 1.กำหนดค่ากระแสและแรงดันที่ต้องการ
- 2.ค้นหาข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับคุณสมบัติสารและออกไซด์ที่ต้องใช้ในการออกแบบ
- 3.ศึกษากฎและทฤษฎีการวางอุปกรณ์ในโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ

4.1การใช้ออกซิเดชันด้วยความร้อน

การใช้ออกซิเดชันนั้นเพื่อแปรสภาพแผ่นซิลิกอนบริสุทธิ์ให้เป็นซิลิกอนไดออกไซด์ก่อนเป็นการเตรียมแผ่นก่อนที่จะได้รับการฉายแสงเพื่อทำการเปิดหน้ากา



จากสมการ4.1แสดงให้เห็นว่าการสร้างซิลิกอนไดออกไซด์อาจทำได้โดยการใช้ไอน้ำเป็นสื่อการแปรสภาพสารซึ่งอาจเรียกวิธีนี้ว่าการออกซิเดชันแบบเปียก



สมการ4.2แสดงการใช้ก๊าซออกซิเจนเพียงอย่างเดียวในการทำปฏิกิริยากับแผ่นซิลิกอนซึ่งจะเรียกวิธีนี้ว่าการออกซิเดชันแบบแห้ง โดยขณะทำปฏิกิริยาจะมีการอัดแรงเพิ่มเข้าเพื่อเร่งปฏิกิริยา

4.2ขั้นตอนในการแพร่

การแพร่สารคือการปรับสภาพสารให้มีการแสดงคุณสมบัติที่ต้องการ โดยสมการการแพร่สารของฟิคในภาวะ 1 มิติ

$$F = -D \frac{\partial N(x)}{\partial x} \quad (4.3)$$

$$F = \text{อัตราการแพร่สาร (cm}^2 - \text{sec)}^{-1}$$

$$D = \text{ค่าคงที่ในการแพร่สารแปรผันตามอุณหภูมิ}$$

โดยการเลือกสารที่จะแพร่จะเลือกจากคุณสมบัติในตาราง

<i>Dopant</i>	$D_0 [cm^2 / sec]$	$E_{AV} [eV]$
Boron	5.853	3.62
Phosphorus	5.853	3.62
Arsenic	0.091	3.37

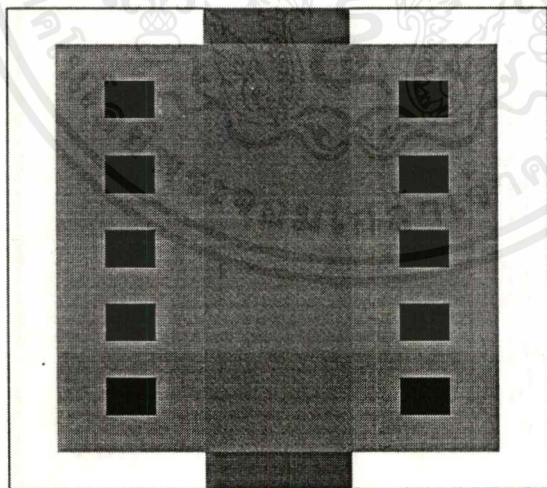
เมื่อทำการเลือกสารที่ต้องการแพร่แล้วให้ทำการเลือกปริมาณพาหะที่ต้องการแพร่เข้าสู่ชั้นสารและเมื่อทำการแพร่สารเป็นที่เรียบร้อยแล้วให้กำหนดพื้นที่สำหรับตำแหน่งสารที่ต้องการแพร่

4.3 ขั้นตอนการออกแบบในโปรแกรม

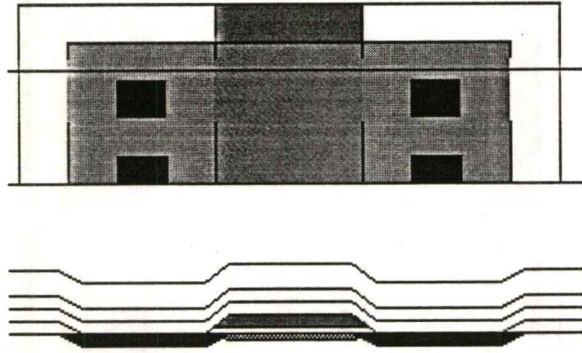
ในที่นี้ออกแบบโดยใช้โปรแกรม L - EDIT ในการออกแบบและจำลองสถานการณ์

1. เริ่มด้วยการวางส่วนที่เป็นโพลีเกตโดยกำหนดขนาดไว้อย่างคร่าวๆ ก่อน
2. วางส่วนแอคทีฟทับลงบนส่วนโพลีเกตโดยให้แอคทีฟมีขนาดกว้างกว่าส่วนโพลี
3. วางส่วนแอคทีฟคอนแทคขนาด 2×2 ลงบนส่วนแอคทีฟห่างจากขอบ 2 ช่อง
4. ลากสายเมตลทับส่วนแอคทีฟคอนแทคอีกชั้นหนึ่ง
5. วางส่วนเอนซีเลทหรือพีซีเลทล้อมส่วนที่ต้องการเป็น โมดูลทั้งหมด
6. ภาพสำเร็จที่ได้จะเป็นมอสอย่างง่าย 1 ชั้น

โปรแกรมนี้สามารถที่จะมองภาพตัดขวางและแต่ละขั้นตอนการแฟบบริเคชั่นได้



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างมอส



รูปที่ 4.2 ภาควัดขวางของมอสแบบคิพชั้น

เมื่อนำมอสที่ได้มาต่อกันเป็นวงจรแล้วให้นำข้อมูลที่ได้จากโรงงานมาทำ การเขียนลงในโปรแกรมPSPICEและนำวงจรมาทำการซิมูเลทหาผลลัพธ์แล้วจึงนำมาหาข้อผิดพลาดและนำมาแก้ไข

4.4 กฎการวางอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในวงจรมีขนาดเป็นไมครอนเพราะฉะนั้นให้กำหนดค่าความกว้าง,ขนาดที่เล็กที่สุด,ระยะห่างที่ใกล้ที่สุด,มิติในการออกแบบให้อยู่ในหน่วยไมครอนทั้งหมด

Parameter	Electrical Characteristics			Unit
	Minimum	Typical	Maximum	
1.Enhancement mode				
$k'(L > 5[\mu m])$	22	25	28	$\mu A / V^2$
$k'(L < 5[\mu m])$	20	22	26	$[\mu A / V^2]$
γ	0.31	0.35	0.38	$[V^{1/2}]$
V_{TO}	0.7	0.9	1.1	$[V]$
2.Depletion mode				
$k'(L > 5[\mu m])$	22	25	28	$\mu A / V^2$
$k'(L < 5[\mu m])$	22	25	28	$[\mu A / V^2]$
γ	0.37	0.43	0.47	$[V^{1/2}]$
V_{TO}	-3.7	-3.4	-3.0	$[V]$

Layout Rules

Layer number	Name	Rules(Units of [um])	
01	Active Area	Minimum dimension	3*4
		Minimum spicing	3
02	Enhancement implant	Minimum overlap with active area (FOX)	3
		Minimum overlap with active area(n+)	2
03	Depletion implant	Minimum overlap with active area (FOX)	3
		Minimum overlap with active area (n+)	3
		Minimum spicing from E-mode MOSFET	3
04	Buried contact	Minimum overlap	4
		Minimum spicing to poly or device	3
05	Poly	Minimum width	3
		Minimum spicing	3
		Minimum MOSFET gate overhang	2
		Minimum spacing to n+	3
		Minimum dimensions for buried contact	3*4
06	Metal contact mask	Minimum dimension	3*3
		Minimum spacing to active area edge	3
		Minimum spacing to poly edge	3

07	Metal	Minimum width	6
		Minimum spacing	4

กฎการออกแบบมอส

Layer

Number	Name	Rules	
01	Active area	Minimum dimension	$2\lambda * 2\lambda$
		Minimum spacing	2λ
02	Enhancement implant	Minimum overlap with active area(FOX)	1.5λ
		Minimum overlap with active area (n+)	1.5λ
03	Depletion implant	Minimum overlap with active area (FOX)	1.5λ
		Minimum overlap with active area (n+)	1.5λ
		Minimum spacing from E-mode MOSFET	2λ
04	Buried contact	Minimum overlap	2λ
		Minimum spacing to poly or device	2λ
05	Poly	Minimum width	2λ
		Minimum spacing	2λ
		Minimum MOSFET gate overhang	2λ
		Minimum spacing to n+	1λ
		Minimum dimensions for buried contact	$2\lambda * 4\lambda$

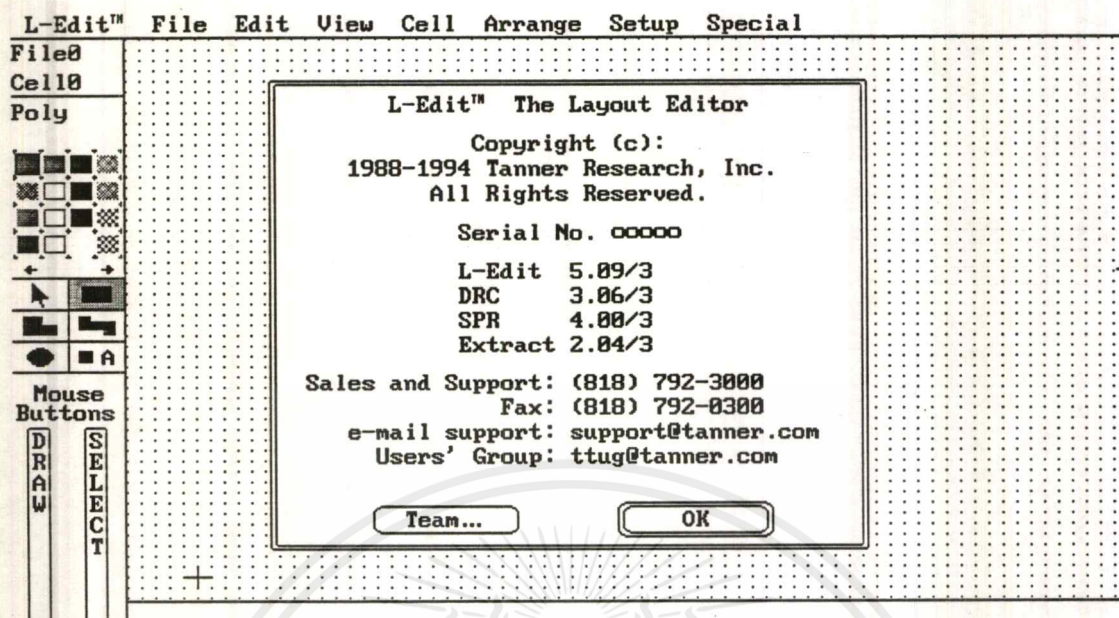
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

06	Metal contact mask	Minimum dimensions	$2\lambda * 2\lambda$
		Minimum spacing	
		to active area edge	2λ
		Minimum spacing to poly edge	2λ
07	Metal	Minimum width	3λ
		Minimum spacing	3λ

วงจรตัวอย่างจากโปรแกรมแอลอีดีที



รูปที่ 4.3 วงจรแรนคอมแอคเซสเมโมรี่(Random Access Memory)



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างโปรแกรม

บทที่ 5

การคูณสัญญาณโดยวงจรไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์

ในการวิเคราะห์ สัญญาณทางอนาล็อกบางครั้งจำเป็นต้องนำมาพิจารณาในส่วน ของวงจร โดยเฉพาะการนำสัญญาณเข้า 2 สัญญาณมาเข้าสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อที่จะได้ผลเป็น สัญญาณออกตามที่ต้องการ 1 สัญญาณซึ่ง สัญญาณออกนั้นเกิดจากการแปรผันของสภาพของวงจรที่ เป็นฟังก์ชันการทำงานที่ถูกกำหนดขึ้นไว้ในตอนต้นซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการแสดงในส่วนการคูณ สัญญาณทางอนาล็อก

5.1 การคูณวงจรอย่างง่ายโดยใช้วงจรอิมิเตอร์คู่

จากรูป 5.1 วงจรอิมิเตอร์คู่ นั้นเกิดจากการรวมสัญญาณ โดยใช้ทรานซิสเตอร์ซึ่งวิธีนี้เป็นการ นำกระแสที่เอาท์พุทมารวมกันที่ขาอิมิเตอร์ โดยสัญญาณจะขึ้นอยู่กับอัตราขยายของ ทรานซิสเตอร์และขนาดของสัญญาณที่มาทางขาเบส

$$I_{c1} = \frac{I_{ee}}{1 + \exp(-V_{id} / V_t)} \quad (5.1)$$

$$I_{c2} = \frac{I_{ee}}{1 + \exp(V_{id} / V_t)} \quad (5.2)$$

จากสมการ 5.1 และ 5.2 ในกรณีที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของอินพุททั้งสอง สมการสามารถนำมารวมกันได้โดยการหักล้างกันที่เอาท์พุท

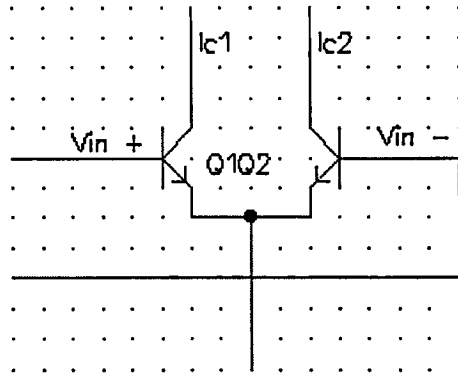
$$\begin{aligned} \Delta I_c &= I_{c1} - I_{c2} \\ &= I_{ee} \tanh\left(\frac{V_{id}}{2V_t}\right) \end{aligned} \quad (5.3)$$

จากสมการแสดงความสัมพันธ์ สามารถนำมาเขียนกราฟได้ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่า ทรานซิสเตอร์สามารถใช้เป็นวงจรคูณอย่างง่ายในขั้นต้นได้และในกรณีที่สัญญาณที่ขา เบส(อินพุท)มีค่าน้อยมากสามารถประมาณค่าได้ว่า

$$\tanh\left(\frac{V_{id}}{2V_t}\right) = \frac{V_{id}}{2V_t} \quad ; \quad \frac{V_{id}}{2V_t} \ll 1 \quad (5.4)$$

เขียนได้ใหม่ดังนี้

$$\Delta I_c = I_{ee} \left(\frac{V_{id}}{2V_t}\right) \quad (5.5)$$



รูป 5.1 อิมิตอร์ -คัปเปอ์ แพร์

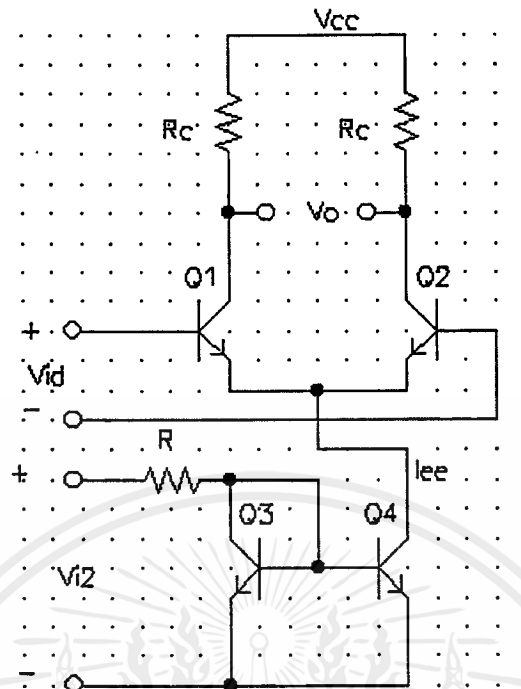
กระแส I_{ee} จะเป็นตำแหน่งไบอัสพอยท์สำหรับอิมิตอร์คัปเปอ์แพร์ในกรณีที่ต้องการเพิ่มวงจรให้ใหญ่ขึ้นสามารถทำได้โดยการกำหนด I_{ee} เป็นค่าคงที่สำหรับวงจรเพิ่มเติมในส่วนสัญญาณอินพุทของวงจรที่เพิ่มเติม

$$I_{ee} = K_0(V_{i2} - V_{be(on)}) \quad (5.6)$$

โดยเอาท์พุทที่ได้นั้นสามารถคิดคำนวณได้โดยการนำสมการที่ (5.3) และ (5.4) มาคิดหาผลลัพธ์ร่วมกัน

$$\Delta I_c = \frac{K_0 V_{id} (V_{i2} - V_{BE(on)})}{2V_T} \quad (5.7)$$

จากรูปวงจรที่ 5.2 สามารถนำมาใช้เป็นฟังก์ชันการคูณโดยต้องลดขนาดสัญญาณให้ได้ V_{id} ให้ได้ขนาดเล็กและค่าของ V_{i2} ต้องมีขนาดมากกว่า $V_{BE(on)}$ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในควอดแรนท์ที่ 2 เท่านั้นจากผลของ $V_{id} - V_{i2}$ และประเภทของวงจรเป็นวงจรที่รองรับได้เฉพาะครอดแรนท์ 2 ซึ่ง โดยปกติวงจรการคูณนั้นต้องสามารถรองรับได้ถึง 4 ครอดแรนท์



รูปที่ 5.2 วงจรคูแบบ 2 ควอดแรนท์

จากการประยุกต์เมื่อนำวงจร ในรูปที่ 5.2 มารวมกัน 2 วงจรแล้วพบว่าสามารถสร้างวงจรคูแบบ 4 ควอดแรนท์ได้โดยใช้หลักการพื้นฐานของความสมดุลในวงจรรวมในระบบของวงจรคู

5.2 การวิเคราะห์ห้วงจรคูแบบกิลเบิร์ต

ในการวิเคราะห์ห้วงจรต้องทำการสมมติให้ทรานซิสเตอร์เป็นอุดมคติก่อนแล้วจึงพิจารณาในส่วนความต้านทานเอาท์พุทถัดมาจึงทำการวิเคราะห์การไบอัสในส่วนแหล่งจ่ายกระแส โดยอาจพิจารณาข้ามไปได้รวมทั้งในการวิเคราะห์กระแสพื้นฐานที่ไหลเลี้ยงวงจรอยู่จากรูปที่ 5.3 ซึ่ง แสดงวงจรกิลเบิร์ตเซลล์ กระแสคอลเลกเตอร์ของ Q3 และ Q4 วิเคราะห์โดยใช้สมการ

$$I_{C3} = \frac{I_{C1}}{1 + \exp\left(\frac{-V_1}{V_T}\right)} \quad (5.8)$$

$$I_{C4} = \frac{I_{C1}}{1 + \exp\left(\frac{V_1}{V_T}\right)} \quad (5.9)$$

ซึ่งในทำนองเดียวกันนี้ค่ากระแส Q5 และ Q6 สามารถหาได้โดยการเข้าสมการดังนี้

$$I_{C5} = \frac{I_{C2}}{1 + \exp(\frac{V_1}{V_T})} \quad (5.10)$$

$$I_{C6} = \frac{I_{C2}}{1 + \exp(-\frac{V_1}{V_T})} \quad (5.11)$$

จากความสัมพันธ์ของกระแส I_{C1} และกระแส I_{C2} สามารถเขียนแทนด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$I_{C1} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp(-\frac{V_2}{V_T})} \quad (5.12)$$

$$I_{C2} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp(\frac{V_2}{V_T})} \quad (5.13)$$

เมื่อนำสมการ (5.8) และ (5.13) มารวมกันสามารถแสดงค่ากระแส I_{C3} , I_{C4} , I_{C5} และ I_{C6}

$$I_{C3} = \frac{I_{EE}}{[1 + \exp(-\frac{V_1}{V_T})][1 + \exp(-\frac{V_2}{V_T})]} \quad (5.14)$$

$$I_{C4} = \frac{I_{EE}}{[1 + \exp(-\frac{V_2}{V_T})][1 + \exp(\frac{V_1}{V_T})]} \quad (5.15)$$

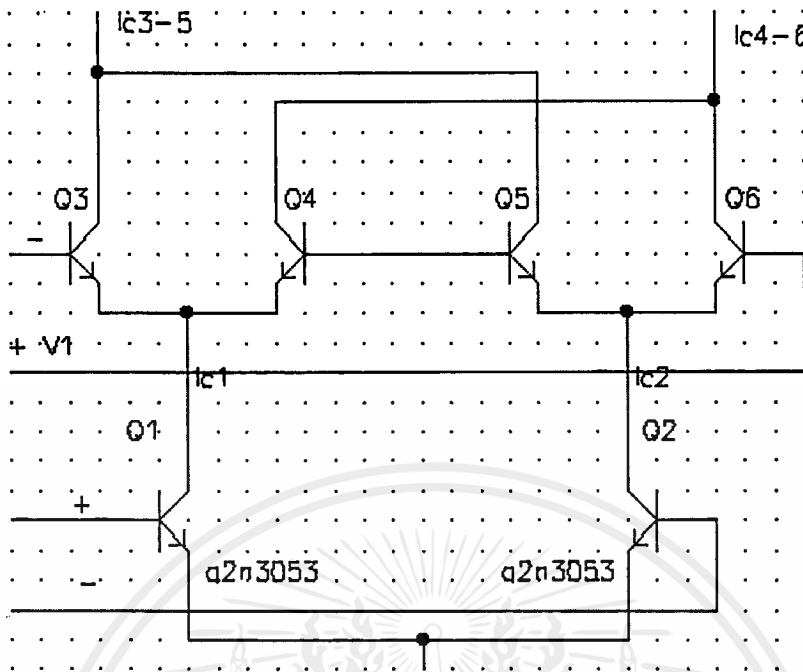
$$I_{C5} = \frac{I_{EE}}{[1 + \exp(\frac{V_1}{V_T})][1 + \exp(\frac{V_2}{V_T})]} \quad (5.16)$$

$$I_{C6} = \frac{I_{EE}}{[1 + \exp(\frac{V_2}{V_T})][1 + \exp(-\frac{V_1}{V_T})]} \quad (5.17)$$

ผลลัพธ์สุดท้ายได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \Delta I &= \frac{I_{C3-5} - I_{C4-6}}{I_{C3-5} - I_{C4-6}} \equiv I_{C3} + I_{C5} - (I_{C4} - I_{C6}) \\ &= (I_{C3} - I_{C6}) - (I_{C4} - I_{C5}) \end{aligned} \quad (5.18)$$

$$= I_{EE} \left[\tanh\left(\frac{V_1}{2V_T}\right) \right] \left[\tanh\left(\frac{V_2}{2V_T}\right) \right] \quad (5.19)$$



รูปที่ 5.3 วงจรคูณแบบกิลเบอร์ท

การส่งค่าดัชนีทรานเฟอร์คาแรคเตอร์รีสติกคือผลจากการส่งค่าผ่านสมการไฮเปอร์โบลิกแทนเจนต์เข้าโดยใช้ 2 อินพุต

สำหรับการประยุกต์การใช้งานวงจรคูณนี้สามารถแบ่งย่อยๆ ได้ 3 แบบโดยใช้ความสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างแรงอินพุตที่เข้าสู่วงจร V_t ซึ่งสามารถแปลงเข้ามาสู่ในรูปสัญญาณของ V_1 และ V_2 โดยถ้าสัญญาณทั้งสองมีขนาดเล็กใกล้เคียงกับแรงดัน V_t ฟังก์ชันไฮเปอร์โบลิกแทนเจนต์จะแสดงผลลัพธ์ในลักษณะเส้นตรงและวงจรมีการคล้อยวงจรมากที่สุดซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาของแรงดันอินพุตที่มีค่าน้อยๆแต่อย่างไรก็ตามส่วนที่เกิดจากสมการแล้วไม่เป็นเส้นตรงเนื่องมาจากค่าของอินพุตที่แตกต่างกันไปมีผลให้วงจรเกิดการแซทจูเรทเพราะฉะนั้นการใช้งานของวงจรจะมีการกำหนดค่าสูงสุดและต่ำสุดในการทำงานเอาไว้จึงจะได้ค่าการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเอาไว้เป็นเทคนิคที่ทำให้วงจรเกิด 4 ควอดแรนต์ของอนาล็อกมัลติพลายเออร์ขึ้น

ในขั้นที่สองของการประยุกต์ใช้งานคือการที่มีสัญญาณขนาดใหญ่กว่า V_t ทำให้ทรานซิสเตอร์เกิดการแซทจูเรทขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพการทำงานเข้าสู่โหมดของดิจิตอลหรือสแควร์เวฟและในโหมดการทำงานของการมอดูเลเตอร์

ในขั้นที่สามของการประยุกต์การทำงานคือการที่แรงดันอินพุตเข้านั้นมีขนาดใหญ่กว่า V_t และบังคับการทำงานไม่ให้ทรานซิสเตอร์เกิดแซทจูเรทซึ่งจะถูกใช้ในทำงานเกี่ยวกับการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเฟสที่เกิดขึ้นระหว่างสองแอมพลิจูดของสัญญาณซึ่งต้องทำการใช้วงจรเฟสล็อกูปในการจับสัญญาณเรียกการทำงานในโหมดนี้ว่าการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเฟส

5.3 การใช้วงจรกิลเบิร์ตเหมือนวงจรคูณ

จากสมการฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์สามารถแสดงได้โดยการใช้อนุกรมไม่รู้จบ

$$\tanh x = x - \frac{x^3}{3} \dots\dots\dots$$

โดยสมมติว่าค่าของ x น้อยกว่าหนึ่งเพราะฉะนั้นเราสามารถประมาณค่าได้ว่า

$$\tanh x = x$$

และสามารถนำเข้าสู่ประยุกต์ใช้งานกับสมการ(10.23)ได้ดังนี้

$$\Delta I \approx I_{EE} \left(\frac{V_1}{2V_T} \right) \left(\frac{V_2}{V_T} \right) \quad V_1, V_2 \ll V_T$$

สำหรับสัญญาณขนาดเล็กวงจรคูณนี้อาจจะเหมาะสมที่จะใช้งานมากกว่าสัญญาณขนาดใหญ่กว่า V_T แต่สัญญาณขนาดใหญ่สามารถรองรับในโหมดเกี่ยวกับการใช้ตัวเลขแต่ถ้าในกรณีที่เกิดมีสัญญาณใหญ่กว่า V_T เพียงสัญญาณเดียวอิมิตเตอร์ดีเจนเนอเรเตอร์สามารถสร้างส่วนโวลเทจอิมิตเตอร์คัปเปอร์แพร่และทำการเพิ่มค่าระยะความเป็นเส้นตรงให้กับอินพุตที่เหลือได้ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 5.4 แต่ไม่สามารถข้ามส่วนที่เป็นคัปเปิลของ Q3 -Q6 เนื่องจากตัวความต้านทานที่ไม่สามารถขึ้นใหม่ได้จะทำลายความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ กระแสและแรงดันที่ไม่เป็นเส้นตรงในชิปงาน

ในทางเลือกอื่น โดยการนำค่าความไม่ผิดเพี้ยนของสัญญาณอินพุตที่ได้นำมาชดเชยเพื่อ เข้าสู่ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ให้ได้ลักษณะพื้นฐานของกราฟโดยทั่วไปซึ่งพบได้ในตัวอย่างในรูปที่ 5.5

จากรูปที่ 5.6สามารถสมมติให้วงจรในกรอบสี่เหลี่ยมเป็นสมการวงจรเอาต์พุตให้แก่วงจรหลักโดยมีผลต่อการคิงกระแสให้แก่วงจรหลักซึ่งมีความสัมพันธ์กับแรงดันอินพุตคือ

$$I_1 = I_{O1} + K_1 V_1 \quad (5.20)$$

$$I_2 = I_{O1} - K_1 V_1 \quad (5.21)$$

โดย I_{O1} เป็นกระแสตรงที่เกิดจากแต่ละเอาต์พุตที่สร้างขึ้นซึ่งถ้าค่า V_1 มีค่าเท่ากับศูนย์ และ K_1 คือค่าของส่วนกลับของความต้านทานซึ่งผลต่างของแรงดันคือผลต่างที่เกิดจากแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์

$$\Delta V = V_T \ln \left(\frac{I_{O1} + K_1 V_1}{I_S} \right) - V_T \ln \left(\frac{I_{O1} - K_1 V_1}{I_S} \right) \quad (5.22)$$

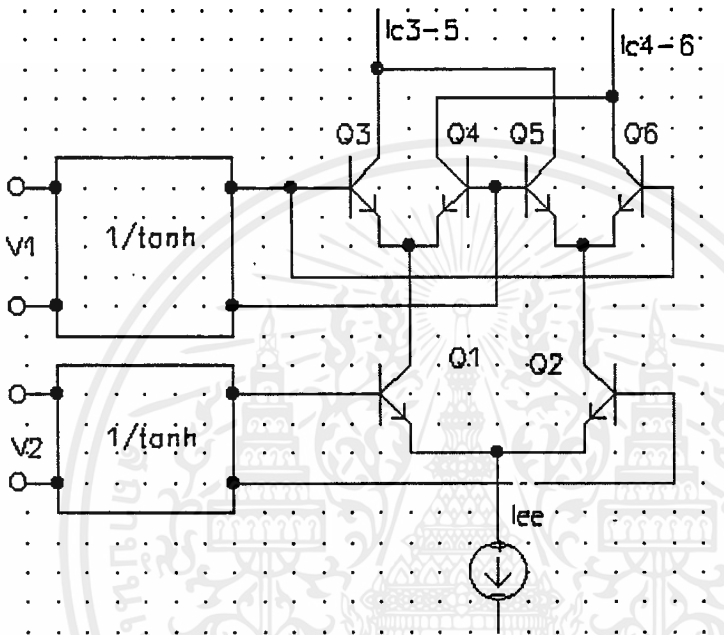
$$= V_T \ln \left(\frac{I_{O1} + K_1 V_1}{I_{O1} - K_1 V_1} \right) \quad (5.23)$$

สมการสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบฟังก์ชันได้ดังต่อไปนี้

$$\tanh^{-1} x = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1+x}{1-x} \right) \quad (5.24)$$

เพราะฉะนั้นเขียนความสัมพันธ์ได้ใหม่ได้คือ

$$\Delta V = 2V_T \tanh^{-1} \left(\frac{K_1 V_1}{I_{O1}} \right) \quad (5.25)$$



รูปที่ 5.4 วงจรรูปแบบกิลเบิร์ตกับวงจรลดทอน

ถ้าในฟังก์ชันบล็อกคือวงจรที่ใช้ในการชดเชยความไม่เป็นลิเนียร์ในค่าอนุกรมแต่ละอินพุตซึ่งแสดงในรูปที่ 5.5 โดยค่าลักษณะของกราฟถูกส่งผ่านจากสมการ(5.17)

$$\Delta I = I_{EE} \left(\frac{K_1 V_1}{I_{O1}} \right) \left(\frac{K_2 V_2}{I_{O2}} \right) \quad (5.26)$$

โดยค่า I_{O2} และ K_2 เป็นพารามิเตอร์ที่ค่าแปรผันตามค่าของ V_2

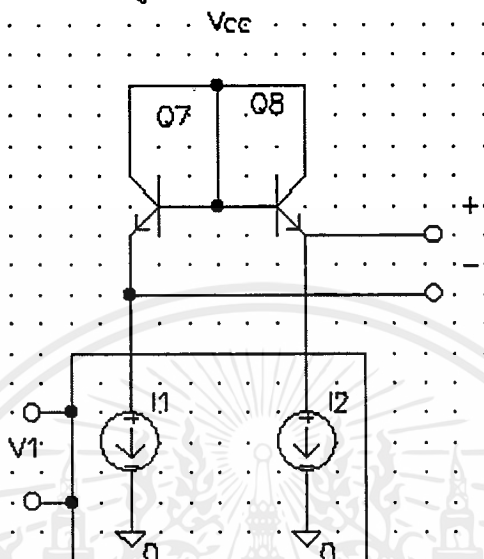
สมการ 5.26 ได้แสดงถึงผลต่างของกระแสที่เป็นโดยตรงมาจากค่าของ V_1, V_2 ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันในวงจรได้ดังนี้

$$-\frac{I_{O1}}{K_1} < V_1 < \frac{I_{O1}}{K_1} \quad (5.27)$$

$$-\frac{I_{O2}}{K_2} < V_2 < \frac{I_{O2}}{K_2} \quad (5.28)$$

ข้อสำคัญในการออกแบบวงจรในส่วนนี้นั้นคือการที่ทรานซิสเตอร์ที่นำมาใช้งานมีคุณสมบัติเหมือนกันเป็นคู่และการจ่ายแรงดันสัญญาณอินพุตที่มีค่าต่ำๆ ซึ่งการรวมค่าของสัญญาณเอาท์พุต

Q1-Q2 และการชดเชยสัญญาณที่เป็นส่วนเกินที่ได้จาก V2 และวงจรที่สามารถทำการแปลงค่ากระแสเป็นแรงดันในส่วนเอาต์พุตโดยค่ากระแส Q3-Q4-Q5-Q6จะถูกกำหนดโดยค่าของแหล่งจ่ายกระแสที่คงที่เพื่อที่จะได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

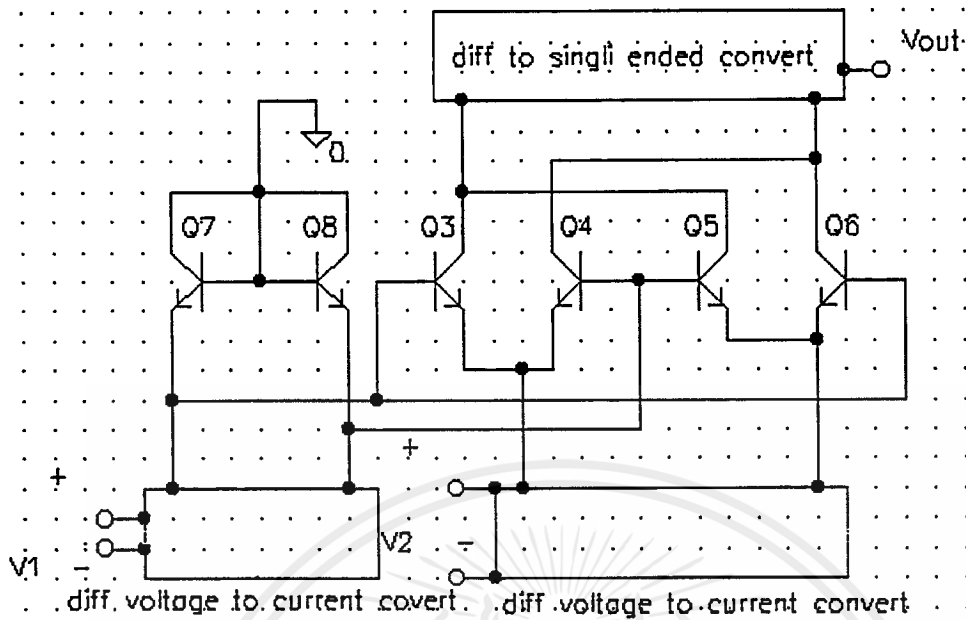


รูปที่ 5.5 วงจรอินเวอร์ทไฮเปอร์ทโบลิกแทนเจนต์

5.4 วงจรอนาล็อกมัลติไฟด์แอร์ที่สมบูรณ์แบบ

ในการประยุกต์การใช้งานที่สามารถทำงานได้หลากหลายนั้นวงจรคูณที่สมบูรณ์นั้นจะต้องตั้งค่าแรงดันที่ต้องการนั้นไว้สำหรับเปรียบเทียบระหว่างเอาต์พุตกับกราวด์ทั้งค่าบวกและลบโดยมีการขยายค่าผลต่างกระแสของในส่วนเอาต์พุตให้อยู่ในรูปของแรงดันโดยในส่วนเอาต์พุตนั้นต้องมีส่วนแปลงค่าส่วนกลับของค่าความต้านทาน 2 ส่วน โดยในส่วนของแกนทรานซิสเตอร์ที่สามารถแปลงกระแสเอาต์พุตเป็น โวลต์ได้ดังสมการ

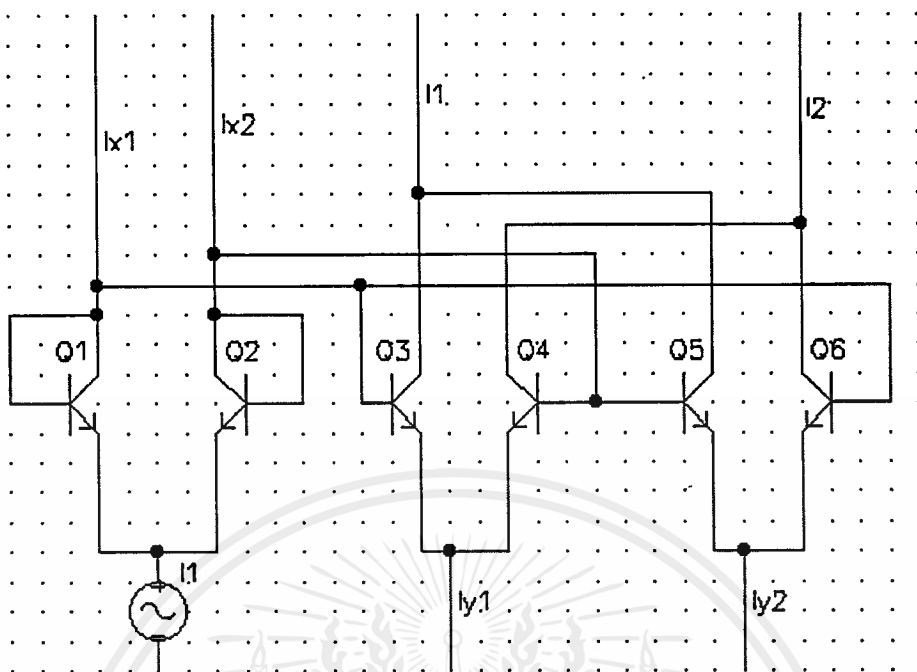
$$\frac{V_{OUT}}{NI} = K_3 \quad (5.29)$$



รูปที่ 5.6 วงจรสมบูรณ์แบบกิลเบิร์ต

5.5 ตัวอย่างการออกแบบวงจรโดยใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์

การออกแบบจะใช้หลักการการขับเคลื่อนขนาดต่ำให้กับวงจรที่ได้สร้างขึ้นทำให้สามารถลดขนาดของแบตเตอรี่ได้โดยปกติแหล่งจ่ายไฟที่นำมาใช้งานกับวงจรคือแบตเตอรี่ขนาด AAA หรือ AA ให้พิจารณาวงจรที่ได้จากส่วนอ้างอิงวงจร (1) - (4) ซึ่งเป็นวงจรที่นิยมใช้กันมานานแต่ไม่สามารถนำมาใช้กับแรงดันขนาด 1.2 โวลต์ได้เนื่องจากพี-เอ็น จังก์ชันของทรานซิสเตอร์นั้นมีมากกว่า 2 จังก์ชันซึ่งมากเกินไปที่จะรองรับได้จึงต้องทำการเปลี่ยนลักษณะการทำงานสารที่ทำการแพร่เพื่อสามารถทำให้วงจรมีความสามารถหลากหลายในการออกแบบและไม่มีการจำกัดขนาดของแรงดันอินพุต



รูปที่ 5.7 ภาพแสดงการทำงานในรูปของกระแส

จากภาพที่ 1 แสดงรูปพื้นฐานการออกแบบวงจรคูณโดยทั่วไปซึ่งจะใช้ 2

อุปกรณ์สลิเนียมที่มีการใช้งานในหลายวงจรเมื่อพิจารณาในรูปแรกคือ $Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4$

$$V_{BE1} + V_{BE4} = V_{BE2} + V_{BE3} \quad (5.32)$$

$$\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{I_{C3}}{I_{C4}} \quad (5.33)$$

โดยกำหนดให้กระแส $I_{C1} = I_{X1}$, $I_{C2} = I_{X2}$ และนำมาเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{I_{X1}}{I_{X2}} = \frac{I_{C3}}{I_{C4}} \quad (5.34)$$

ในทำนองเดียวกันสามารถนำมาเขียนในรูปที่สองได้ดังนี้

$$\frac{I_{X1}}{I_{X2}} = \frac{I_{C6}}{I_{C5}} \quad (5.35)$$

ผลต่างของกระแสเอาต์พุตของทั้งสองรูปเป็นดังนี้

$$I_1 - I_2 = I_{C3} + I_{C5} - I_{C4} - I_{C6} \quad (5.36)$$

สำหรับ

$$I_{Y1} = I_{C3} + I_{C4} \quad (5.37)$$

และ

$$I_{Y2} = I_{C5} + I_{C6} \quad (5.38)$$

แทนสมการที่ (5.36) และ (5.37) ลงใน (5.35)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_1 - I_2 = I_{Y1} + I_{Y2} - 2(I_{C4} + I_{C6}) \quad (5.39)$$

ทำการพิสูจน์ค่า I_{C4} และ I_{C6} ในเทอมของ I_{X1} , I_{X2} , I_{Y1} และ I_{Y2} ทำให้สมการ(5.38)เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$I_1 - I_2 = \frac{(I_{Y1} - I_{Y2})(I_{X1} - I_{X2})}{(I_{X1} + I_{X2})} \quad (5.40)$$

โดยให้

$$I_X = I_{X1} - I_{X2}$$

$$I_Y = I_{Y1} - I_{Y2}$$

และ

$$I_S = (I_{X1} + I_{X2})$$

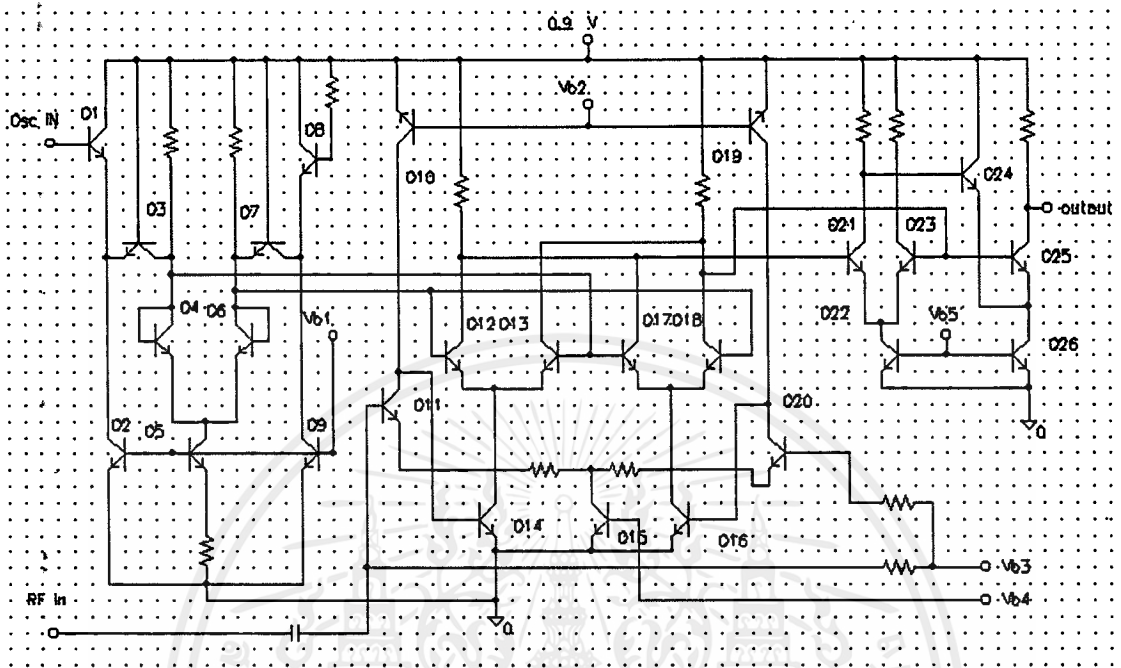
นำค่าต่างๆที่ได้แทนลงสมการที่(5.40)

$$I_1 - I_2 = \frac{I_X * I_Y}{I_S} \quad (5.41)$$

ชิ้นส่วนใหม่ที่ทำกรออกแบบนี้จะทำงานตามสมการที่(5.41)โดยโครงสร้างการต่อแบบคู่ขนานนั้นสามารถจำกัดการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่ต่อแบบอนุกรมอยู่ทำให้สามารถใช้แหล่งจ่ายได้ต่ำกว่า 1 โวลต์ซึ่งต่างจากวงจรกิลเบิร์ตที่จะจำกัดช่วงค่ากระแสอินพุต

5.5.1 การทำการวัดและตรวจสอบ

ในวงจรที่นำมาสาธิตนี้เป็นวงจรที่ใช้แหล่งจ่ายไฟเพียง 0.9 โวลต์วงจร เอฟเอ็ม มอดูเลเตอร์แบบใหม่นี้แสดงดังรูปที่ 2 โดย Q4 Q6 Q13 Q14 Q18 และ Q19 จากสองทรานซิสติเบียร์รูป วงจรแปลงโวลเตจเป็นกระแสประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q1 Q3 Q7 และ Q8 และวงจรที่ใช้ในการติดต่อกับคลื่นวิทยุซึ่งทำหน้าที่เป็นแอคทีฟโหลดแบบคิฟเฟอร์เรนท์แอมพลิไฟล์(Q10 Q11 Q20 Q21) ให้ความต้านทานลดลงเพื่อสร้างลิเนียร์ลิตีให้สูงขึ้นเมื่อทำการจ่ายแรงดันขนาด 0.9 โวลต์ให้แก่วงจร วงจรจะใช้กระแสประมาณ 0.5 มิลลิแอมป์ โดยใช้ความถี่วิทยุ 10 เมกกะเฮิร์ต ขนาดสัญญาณ 10 มิลลิโวลต์ และความถี่ที่สร้างจากภายในเท่ากับ 10.45 เมกกะเฮิร์ต ขนาด 42 มิลลิโวลต์ เพราะฉะนั้นที่เอาท์พุทจะมีความถี่เท่ากับ 450 กิโลเฮิร์ต สัญญาณ IF มีค่าแอมพลิจูดที่ 160 มิลลิโวลต์เกรนขยายเท่ากับ 33 เท่า



รูปที่ 5.8 วงจรตัวอย่าง

บทที่ 6

วงจรมอนิโพลาร์มอสเฟตและการทำงานของวงจร

6.1 วงจรมอนิโพลาร์มอสเฟตและทฤษฎีการคำนวณ

เมื่อพิจารณาจากภาคตัดขวางของมอสเฟตชนิดเอ็นมอส - เอ็นฮานเมนต์โหมดทรานซิสเตอร์ซึ่งแสดงในรูป 6.1 เป็นการแพร่สารเจือชนิดเอ็นเพื่อสร้างชั้นซอสและเดรนบนฐานรองชนิดพี และปิดทับด้วยชั้นบางๆของซิลิกอนไดออกไซด์เหนือชั้นฐานรอง แล้วสร้างชั้นโพลี-เกตวางบนชั้นซิลิกอนไดออกไซด์อีกครั้งเหนือบริเวณที่อยู่ระหว่างกลางระหว่างเดรนและซอส ความกว้างของช่องทางเดินนั้นสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$X = \left(\frac{2\epsilon\phi}{qN_A} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6.1)$$

ϕ = ค่าพลังงานศักย์ในชั้นดีฟิชั่นที่บริเวณซิลิกอนไดออกไซด์

N_A = จำนวนอะตอมตัวรับ อะตอมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ϵ = ค่าความคล่องตัวในซิลิกอน

q = ค่าความจุทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

X = ค่าความลึก

และค่าประจุไฟฟ้าของมอสสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} Q &= qN_A X \\ &= \sqrt{2qN_A \epsilon \phi} \end{aligned} \quad (6.2)$$

เมื่อค่าพลังงานศักย์ในซิลิกอนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับสองเท่าของแรงดันเฟอร์มี $\phi_f \approx 0.3$ โวลต์จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดชั้นกลับ (Inversion Layer) การเพิ่มแรงดันที่เกทนั้นจะไม่เป็นการเพิ่มขนาดของชั้นดีฟิชั่นแต่จะเป็นการเพิ่มขนาดความกว้างของช่องทางเดิน ประจุพาหะในบริเวณชั้นกลับได้ชั้นออกไซด์ซึ่งจะเป็นการเชื่อมต่อระหว่างซอสและเดรนในการขยายค่าสัญญาณจะใช้การบังคับการจ่ายแรงดันเกทเพิ่มหรือลดขนาดช่องทางเดินของชั้นกลับที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาจากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_b = \sqrt{2qN_A \epsilon 2\phi_f} \quad (6.3)$$

เมื่อค่าพลังงานศักย์ที่จ่ายให้แก่ฐานรองนั้น จะทำให้ฐานรองมีค่าของแรงดันสะสมนั้นจะมีค่าดังนี้ $(2\phi_f + V_{SB})$ และจะเป็นการเพิ่มค่าของประจุสะสมดังเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$Q = \sqrt{2qN_A \epsilon (2\phi_f + V_{SB})} \quad (6.4)$$

ค่าแรงดันเกตที่ตกร้อมเกทนัน V_{GS} ต้องการในปริมาณที่เพียงพอที่จะทำการสร้างชั้นอินเวอร์ทชั้น(INVERTION LAYER) ซึ่งอาจเรียกอีกอย่างว่า แรงดันเริ่มต้น (Threshold Voltage) หรือ อาจเรียกอีกอย่างว่า V_t ซึ่งจะเป็นจุดที่สามารถใช้ในการคำนวณได้ โดยแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เมื่อมองกว้างๆจะสามารถแบ่งส่วนประกอบเป็นแรงดันย่อยๆได้แก่

1. แรงดันที่ต้องสร้างชั้นอินเวอร์ทชั้น $[2\phi_f + (Q_b / C_{ox})]$ เพื่อชาร์ทประจุ Q_b โดยค่า C_{ox} ที่เกิดขึ้นจะเกิดบริเวณความต้านทานของเกตออกไซด์ต่อหน่วยพื้นที่
2. ค่าความแตกต่างของค่าเวิร์กฟังก์ชัน (Work Function (Q_{ms})) บริเวณเมทัลเกตกับซิลิกอน
3. การสร้างความหนาแน่นประจุให้สม่ำเสมอของ Q_{ss} ในชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ใช้เป็นหน้าสัมผัส

และทั้งหมด 3 ข้อที่ได้กล่าวมานี้คือเหตุผล ที่ได้เกิดไม่สม่ำเสมอในส่วน $Si - SiO_2$ ที่บริเวณรอยต่อและได้ชดเชยแรงดัน $-Q_{ss} / C_{ox}$ ที่สูญเสียไปโดยการจ่ายแรงดันจากเกตเมื่อถึงจุดนี้ก็สามารถที่จะสรุปที่มาของแรงดัน V_t ดังต่อไปนี้

$$V_t = \phi_{ms} + 2\phi_{sf} + \frac{Q_b}{C_{ox}} - \frac{Q_{ss}}{C_{ox}} \quad (6.5)$$

$$= \phi_{ms} + 2\phi_f + \frac{Q_{b0}}{C_{ox}} - \frac{Q_{ss}}{C_{ox}} + \frac{Q_b - Q_{b0}}{C_{ox}}$$

$$= V_{T0} + \gamma(\sqrt{2\phi_f + V_{SB}} - \sqrt{2\phi_f}) \quad (6.6)$$

จากสมการที่(6.3) และ (6.4) ค่าของแรงดัน V_t นั้นได้กำหนดให้ $V_{SB} = 0$ เพราะฉะนั้น γ จะกำหนดได้ดังต่อไปนี้

$$\gamma = \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2qN_A \epsilon} \quad (6.7)$$

และ

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}} \quad (6.8)$$

ϵ_{ox} = ค่าความนำไฟฟ้าของออกไซด์

t_{ox} = ความหนาของออกไซด์

โดยปกติค่า V_{T0} จะสามารถที่จะปรับแต่งได้ด้วยการทำอิมพลานเตชันสารเจือลงบนแผ่นเวเฟอร์บริเวณส่วนที่เป็นแซนแนลซึ่งสารเจือชนิดนี้นั้นสามารถกำหนดค่าของ V_{T0} ได้ตั้งแต่

0.5 โวลต์ ถึง 1.5 โวลต์ และการเจือสารชนิดเอ็นในช่องทางเดินกระแสทำให้ประจุพาหะสามารถผ่านได้ในกรณีที่ $V_{GS} = 0$ จะเรียกมอสชนิดนั้นว่า คิพิซันมอสเฟตและจะมีค่า $V_{t0} = -1$ โวลต์ถึง -4 โวลต์ ถ้าค่า Q_i คือค่าความหนาแน่นประจุต่อพื้นที่ที่ถูกทำการอิมพลานเตชันค่าแรงดันเริ่มต้นที่แสดงในสมการที่ (6.5) คือการประมาณค่าที่ได้จาก $\frac{Q_i}{C_{ox}}$

ในการคำนวณสัญญาณขนาดใหญ่ที่เข้าสู่มอสสามารถวิเคราะห์ได้เริ่มจากนำพาหะเข้าสู่ต่อกับกราวด์และทำการจ่ายแรงดันเข้าทำการไบอัส V_{GS}, V_{DS}, V_{SB} ที่แสดงในรูปที่ 6.1 โดยถ้าค่า V_{GS} มีค่ามากกว่า V_t ก็จะเกิดการสร้างช่องทางเดินกระแสขึ้น สามารถให้กระแสจากเกรนไปสู่ซอสได้ ค่าแรงดันของ V_{DS} จะสามารถสร้างแรงดันย้อนกลับเข้าสู่ฐานรองทำให้เกิดเขตคิพิซันขึ้นที่เกรน จากระยะความกว้างของ Y แรงดันในส่วนนี้จะแปรผันตามระยะทางของ Y และ แรงดันจากเกตสู่ช่องทางเดินจะมีค่า $V_{GS} - V(y)$ รวมถึงค่าแรงดันเริ่มต้นซึ่งผลรวมของแรงดันทั้งหมดนั้นจะมีผลกระทบต่อค่าประจุในแผ่นเวเฟอร์ดังสมการต่อไปนี้

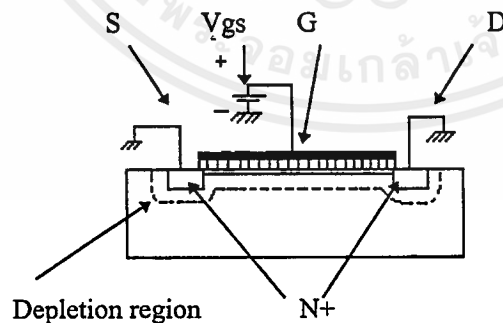
$$Q_i(y) = C_{ox} [V_{GS} - V(y) - V_t] \quad (6.9)$$

ค่าการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานจะเป็นดังนี้

$$dR = \frac{dY}{W\mu_n Q_i(y)} \quad (6.10)$$

W = ความกว้างช่องทางเดินกระแสของมอส

μ_n = ค่าความคล่องตัวของอิเล็กตรอนในช่องทางเดิน



รูปที่ 6.1 ตัวอย่างมอสขณะจ่ายกระแสเข้าสู่เกต

ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันจะเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวดังสมการ

$$\begin{aligned} dV &= I_D dR \\ &= \frac{I_D}{W\mu_n Q_i(y)} dy \end{aligned} \quad (6.11)$$

ถ้าค่า L คือความยาวรวมของช่องทางเดินกระแสสามารถรวมสมการที่(6.9) และ (6.11) ได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนี้

$$\int_0^{V_{DS}} I_D dy = \int_0^{V_{DS}} W \mu_n C_{ox} (V_{GS} - V - V_t) dV$$

ผลลัพธ์ที่ได้คือ

$$I_D = \frac{k'W}{2L} [2(V_{GS} - V_t)V_{DS} - V_{DS}^2] \quad (6.12)$$

$$\begin{aligned} k' &= \mu_n C_{ox} \\ &= \frac{\mu_n C_{ox}}{t_{ox}} \end{aligned} \quad (6.13)$$

สมการที่(6.12)จะได้ค่าความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์

ค่าของแรงดัน V_{DS} ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความนำกระแสในช่องทางเดินลดลงที่ขั้วเดรน และจากสมการที่(6.9)ค่า Q_i ที่เดรนมีค่าเท่ากับศูนย์เหมือนกับค่า V_{DS} ที่ถูกประมาณจาก $(V_{GS} - V_t)$ คือ ปรากฏการณ์พินช์ออฟ (Pinch Off) ที่เกิดขึ้นในเฟทโดย V_{DS} เพิ่มขึ้นมากแต่ให้กระแสเพิ่มขึ้นน้อยในสมการที่(6.12)ค่า V_{DS} ที่มีค่ามากกว่า $(V_{GS} - V_t)$ จะไม่มีผลต่อสมการเท่าใดนัก ค่ากระแส I_{DS} ในช่วงแรงดันนี้จะมีผลต่อสมการดังต่อไปนี้ โดย $V_{DS} = (V_{GS} - V_t)$ ในสมการ(6.12)

$$I_D = \frac{k'W}{2L} (V_{GS} - V_t)^2 \quad (6.14)$$

สำหรับมอสเฟททรานซิสเตอร์ในเขตพินช์ออฟการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสจะน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงดันที่จ่ายเข้าไปและการเกิดขึ้นหลอดพาหะจะทำให้ระยะการนำกระแสลดลง

$$L_{eff} = L - X_d \quad (6.15)$$

$$X_d = \text{ความยาวของชั้นหลอดพาหะ}$$

ถ้า L_{eff} คือการใช้พื้นที่ของระยะช่องทางเดินกระแสโดยเข้าแทนในสมการที่ (6.14) ได้ดังนี้

$$I_D = \frac{k'W}{2L_{eff}} (V_{GS} - V_t)^2 \quad (6.16)$$

จากสมการที่(6.15)และ(6.16)หาค่าความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับกระแสและแรงดันได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} = -\frac{k'W}{2L_{eff}^2} (V_{GS} - V_t)^2 \frac{dL_{eff}}{dV_{DS}} \quad (6.17)$$

$$\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} = \frac{I_D}{L_{eff}} \frac{dX_d}{dV_{DS}} \quad (6.18)$$

และเมื่อเทียบกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์แล้วค่าความกว้างของช่องทางเดินกระแสจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน

$$V_A = L_{eff} \left(\frac{dX_d}{dV_{DS}} \right)^{-1} \quad (6.19)$$

$$\lambda = \frac{1}{V_A} \quad (6.20)$$

V_A = แรงดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระยะทางของ V_{DS} เมื่อนำลงไปแทนในสมการ

$$I_D = \frac{k' W}{2 L} (V_{GS} - V_t)^2 (1 + \lambda V_{DS}) \quad (6.21)$$

เมื่อค่าของ λ ถึงจุดพินท้อฟแล้วจะเรียกช่วงการทำงานนี้ว่า แซทเจอชั่น

(Saturation) เมื่อทำการจ่ายสัญญาณระดับไมโครโวลต์ให้แก่อสซึ่งมอสเฟตจะถูกลมองอยู่ในรูปแบบวงจรสมมูล โดยจะทำการพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อและภายในเนื้อสารดังรูป 6.2 แรงดัน v_{bs} ที่เกิดจากขอสกับฐานร่งทำให้เกิดกระแส $g_{mb} v_{bs}$ ไหลผ่านขอสไปสู่เดรนและทุกครั้งที่การต่อฐานร่งเข้ากับแหล่งจ่ายไฟจะต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายที่มีแรงดันต่ำที่สุดในวงจร

ค่าความต้านทานที่แฝงอยู่ในรอยต่อ, เนื้อสารและช่องทางเดินระหว่างขอสกับเดรน โดยค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไปตามความกว้างของช่องทางเดินกระแส โดยมากมีค่าประมาณ 50 โอห์ม ถึง 100 โอห์ม ต่อความกว้าง 1 ไมโครเมตร

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรสมมูลในรูปที่ 6.2 สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\begin{aligned} g_m &= \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \\ &= k' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) (1 + \lambda V_{DS}) \end{aligned} \quad (6.22)$$

ถ้า $\lambda V_{DS} \ll 1$ สามารถประมาณได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} g_m &= k' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) \\ &= \sqrt{2k' \frac{W}{L} I_D} \end{aligned} \quad (6.23)$$

สมการดังกล่าวจะคล้ายคลึงกับสมการของเจเฟต (JFET) และ ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ซึ่งค่าทรานคอนดักแตนซ์ ทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับการไบอัสกระแสและค่าอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวของช่องทางเดินกระแส

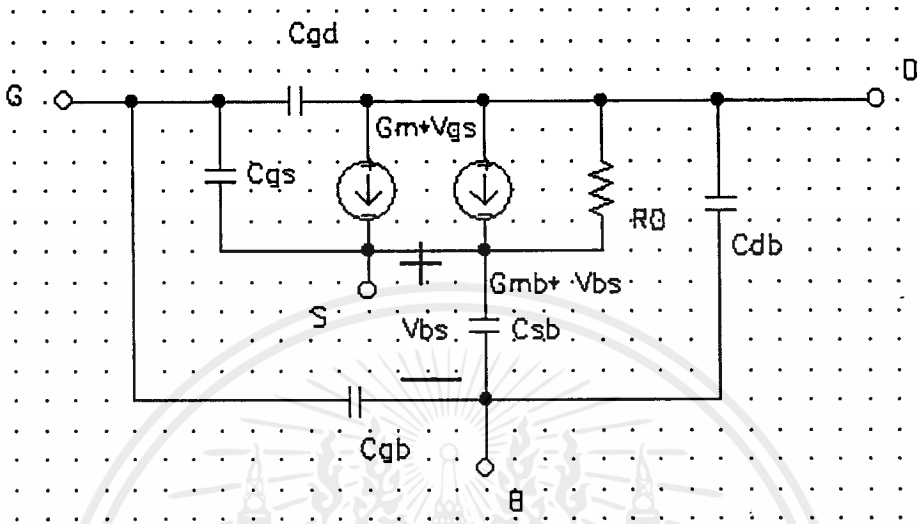
$$\begin{aligned} g_m &= \frac{\partial I_D}{\partial V_{BS}} \\ &= -k' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) (1 + \lambda V_{DS}) \frac{\partial V_t}{\partial V_{BS}} \end{aligned} \quad (6.24)$$

โดย

$$\frac{\partial V_t}{\partial V_{BS}} = -\frac{\gamma}{2\sqrt{2\phi_f + V_{SB}}} \quad (6.25)$$

$$= -x$$

โดยค่าของสมการที่กำหนดตัวแปร x ขึ้นมานั้นเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขีดเริ่มในมอส



รูปที่ 6.2 วงจรสมมูลของมอสขณะจ่ายสัญญาณ
โดยค่า x นั้นสามารถเปรียบเทียบได้ดังนี้

$$x = \frac{C_{js}}{C_{ox}} \quad (6.26)$$

เมื่อค่า C_{js} คือค่าความเก็บประจุต่อพื้นที่ในส่วนเขตปลอดพาหะได้ช่องทางเดินกระแสโดยพลังงานศักย์สะสมมีค่าเท่ากับ $\Psi_0 = 2\phi_f$ รวมสมการ (6.24) และ (6.25)

$$g_{mb} = \frac{\gamma \cdot k' (W/L) (V_{GS} - V_t) (1 + \lambda \cdot V_{DS})}{2\sqrt{2\phi_f + V_{SB}}} \quad (6.27)$$

ในกรณีที่ $\gamma \cdot V_{DS} \ll 1$ สามารถเขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$g_{mb} = \frac{\gamma \sqrt{k' (W/L) I_D}}{2\sqrt{2\phi_f + V_{SB}}} \quad (6.28)$$

เมื่อนำสมการที่ (6.22) มาเปรียบกับสมการที่ (6.23)

$$\frac{g_{mb}}{g_m} = \frac{\gamma}{2\sqrt{2\phi_f + V_{SB}}} = x \quad (6.29)$$

โดยค่าของ x มีระหว่าง 0.1 ถึง 0.3

และสุดท้ายค่าของความต้านจะหาได้จาก

$$\begin{aligned} r_0 &= \left(\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \right)^{-1} \\ &= \frac{L_{eff}}{I_D} \left(\frac{dX_d}{dV_{DS}} \right)^{-1} \end{aligned} \quad (6.30)$$

ค่าความต้านทานสามารถประมาณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} r_0 &= \frac{1}{\lambda \cdot I_D} \\ &= \frac{V_A}{I_D} \end{aligned} \quad (6.31)$$

บทที่ 7

การทดลองและผลการทดลอง

7.1 การทดลอง

1. ในการทดลองเริ่มจากการนำเอกสารหรือวารสารทางวิชาการ โดยในที่นี้ขอยกจากวารสาร I -EET ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบวงจรมัลติไฟล์แบบป้อนกลับ

2. ทำการแยกส่วนประกอบของวงจรเป็นส่วนๆ

3. ทำการวิเคราะห์แต่ละส่วนของวงจร

4. ทำการหาคุณสมบัติการทำงานของแต่ละส่วน โดยการเข้าโปรแกรมซิมูเลชัน

5. ทำการซิมูเลชันวงจรทั้งหมด

6. ทำการออกแบบแต่ละวงจร โดยการดึงคุณสมบัติส่วนที่ต้องการจากวงจรตัวอย่าง

7. ทำการวิเคราะห์วงจรและซิมูเลชันในแต่ละส่วนของวงจร

8. ทำการปรับปรุงและแก้ไขส่วนประกอบของวงจร โดยเปรียบเทียบกับกราฟตัวอย่าง

9. ทำการรวมแต่ละส่วนของวงจรและซิมูเลชันวงจรทั้งหมดเปรียบเทียบกับกราฟ

จากวงจรตัวอย่าง

10. ทำการแก้ไขวงจรจนกว่าจะได้กราฟการทำงานที่ให้ผลที่ดีกว่าวงจรตัวอย่าง

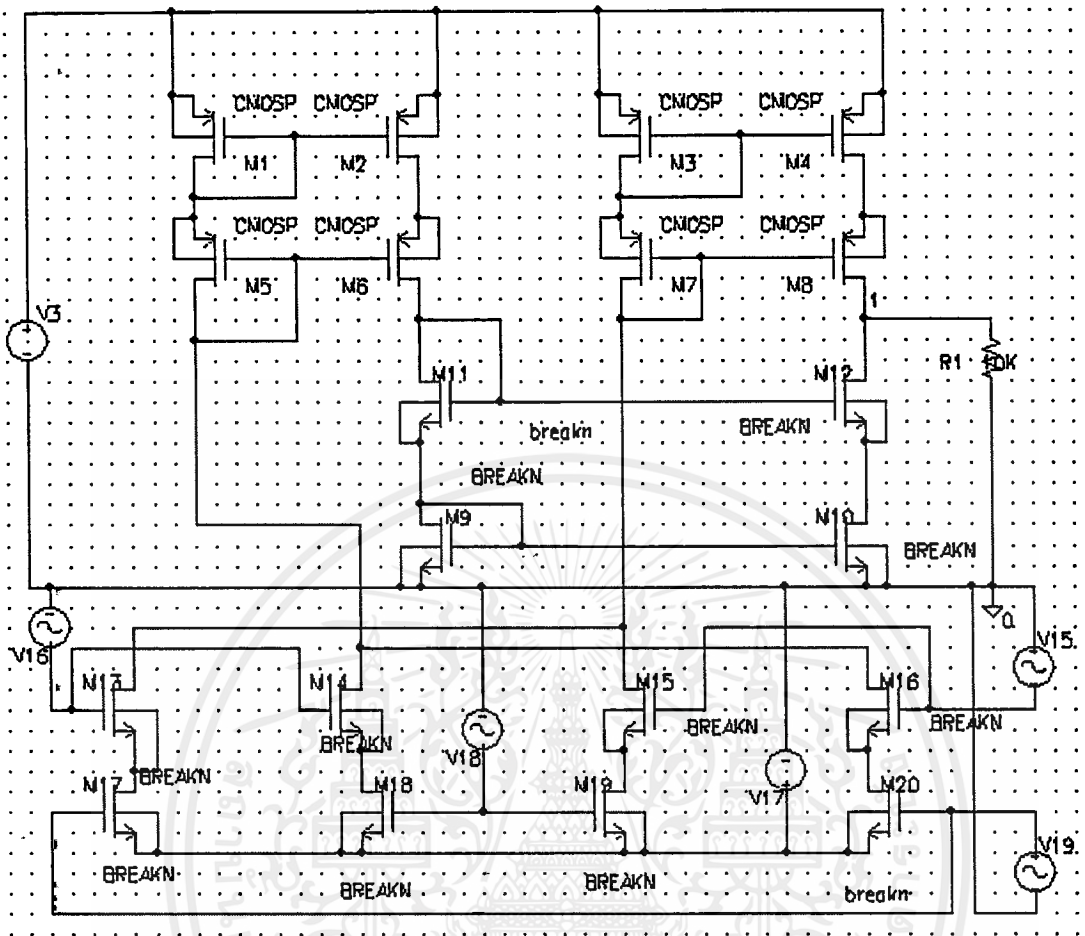
7.2 ผลการทดลอง

จากรูปที่ 7.1 มีค่าของ ความกว้างต่อความยาว โดยกำหนดในแต่ละตัวอุปกรณ์ไว้ดังต่อไปนี้

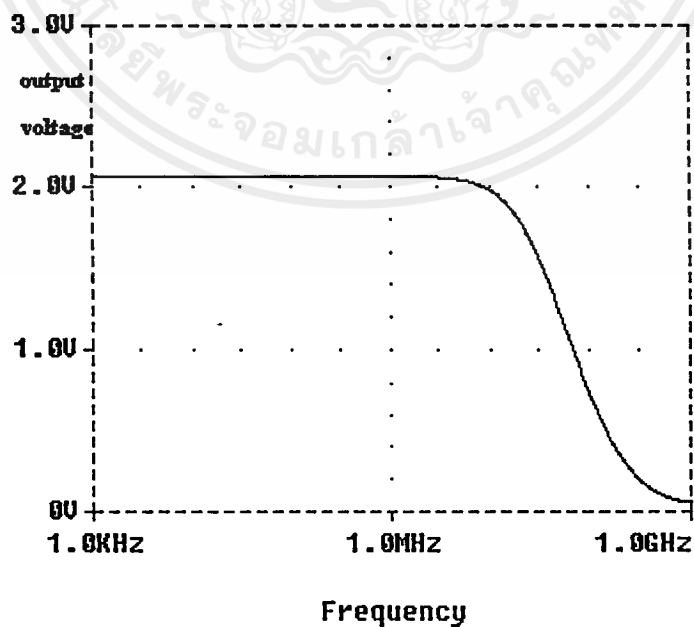
ทรานซิสเตอร์	M1-M8	M9-M12	M13-M20
W/L(M)	50u / 10u	20u / 10u	5u / 20u

กล่าวโดยสรุปแล้ววงจรคุณโพลีควอดเรนที่ใช้วิธีการป้อนกระแสย้อนกลับซึ่งสามารถ

แสดงผลได้โดยโปรแกรมซิมูเลชันและหาผลที่เกิดจากส่วนกำลังสองของสมการ

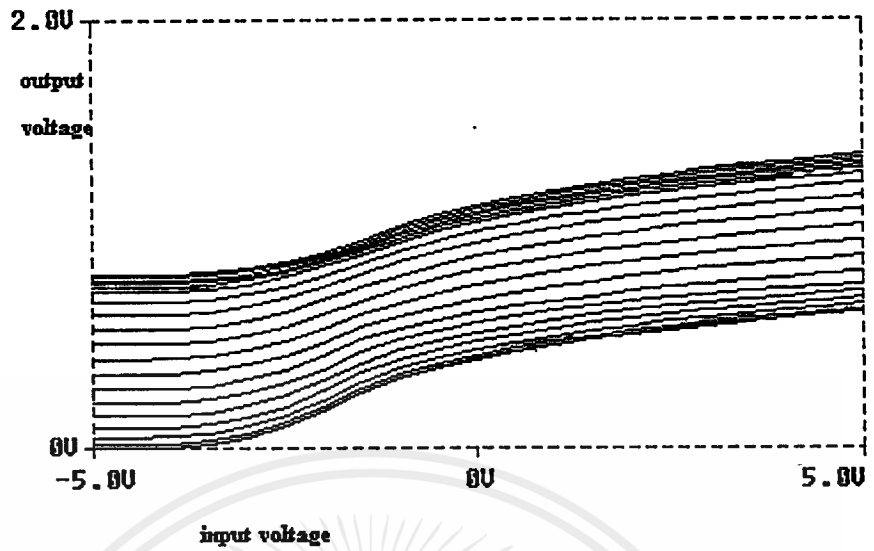


รูปที่ 7.1 วงจรมัลติพไลเออร์จากวารสารทางวิชาการ

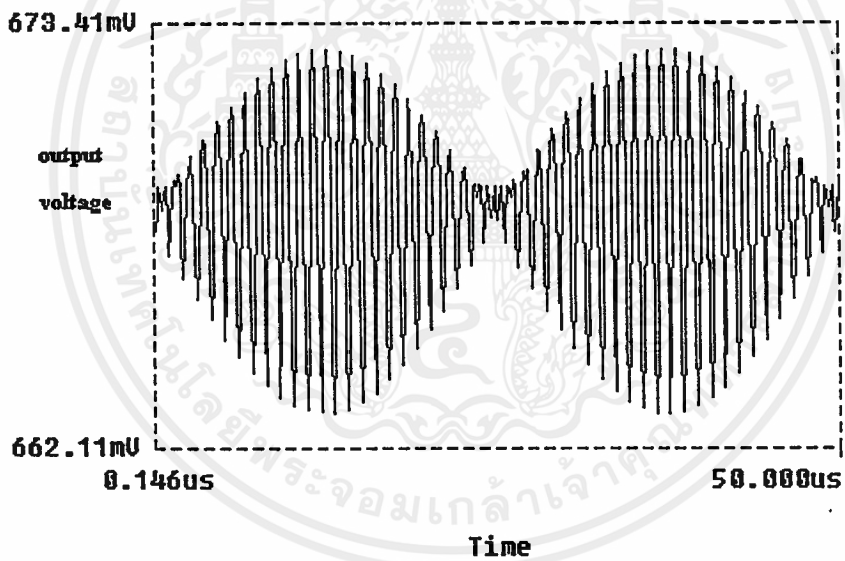


รูปที่ 7.2 ผลลัพธ์การทำงานโดยการแปรผันความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.3 ผลลัพธ์การทำงานโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน

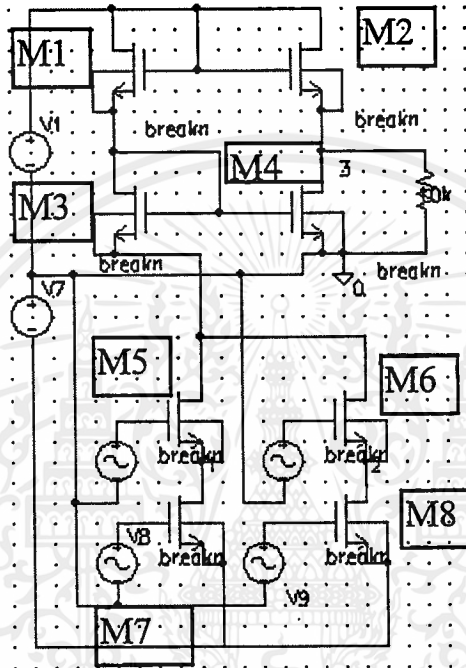


รูปที่ 7.4 ผลลัพธ์การทำงานของวงจรโดยการเปลี่ยนแปลงเวลา

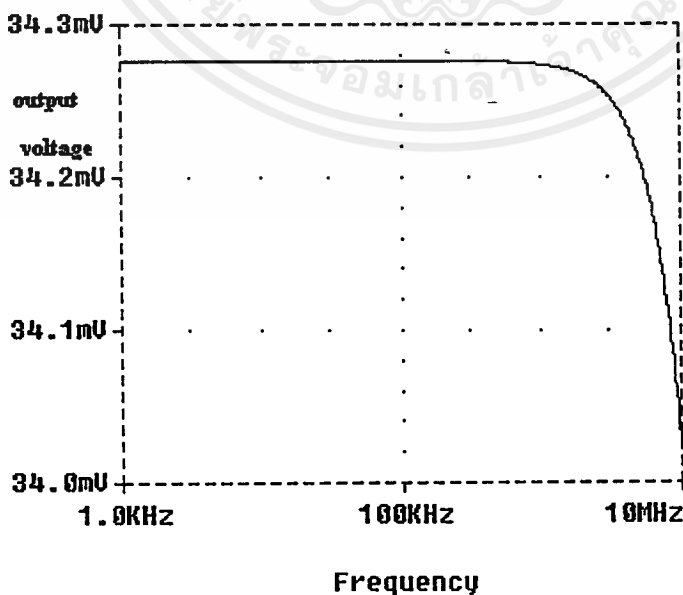
7.3 วงจรมัลติไฟลเลอร์ 1 ควอดแรนท์

วงจรมัลติไฟลเลอร์แบบ 1 ควอดแรนท์คือวงจรคุณที่แสดงผลการทำงานของการทำงานโดยจะจัดให้อยู่ในควอดแรนท์ที่ 1 เท่านั้นโดยค่าของมอสแตตัวมีดังนี้

ทรานซิสเตอร์	M1-M2	M3-M4	M5-M8
W/L	50u / 10u	30u / 20u	5u / 10u

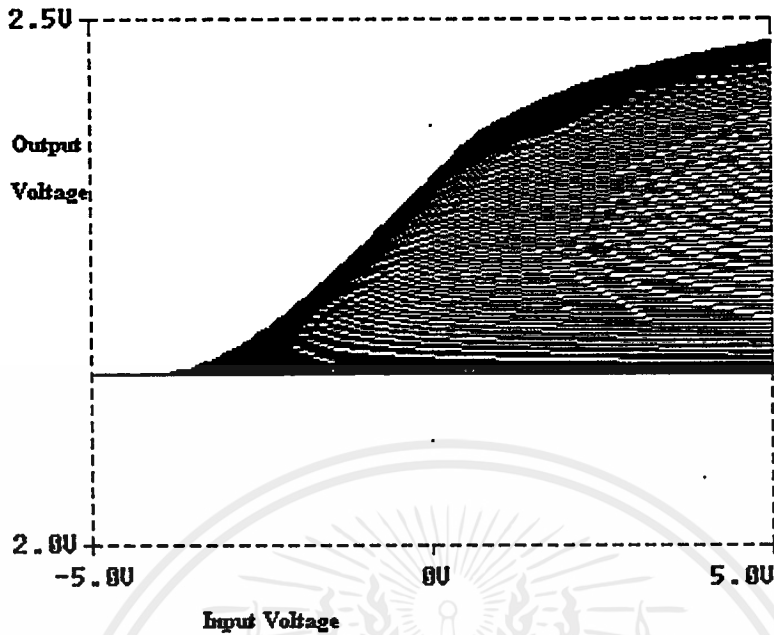


รูปที่ 7.5 วงจรมัลติไฟลเลอร์แบบ 1 ควอดแรนท์

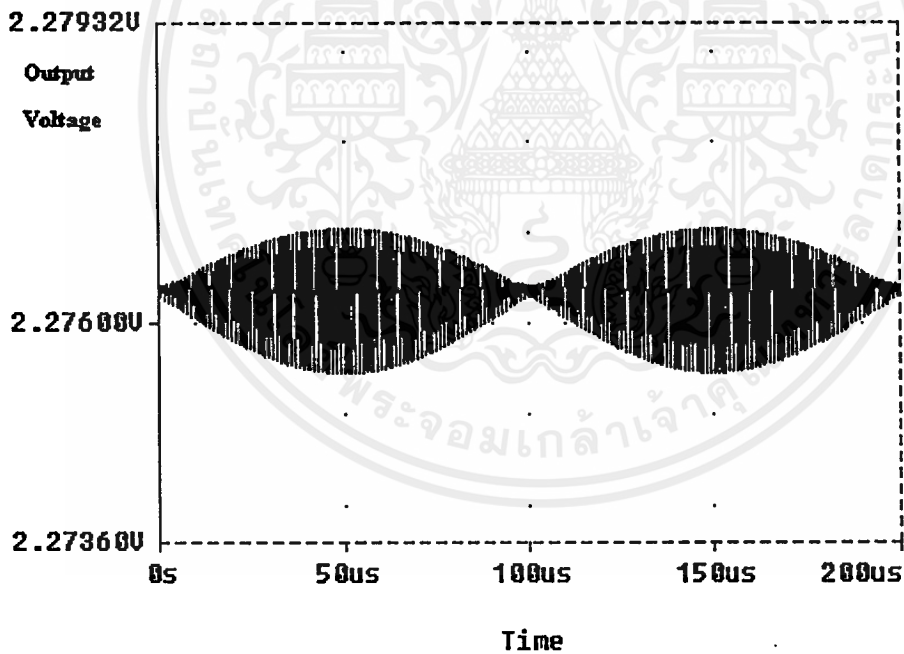


รูปที่ 7.6 ผลลัพธ์การทำงานของวงจร โดยการแปรผันความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.7 ผลลัพธ์การทำงานของวงจรโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน

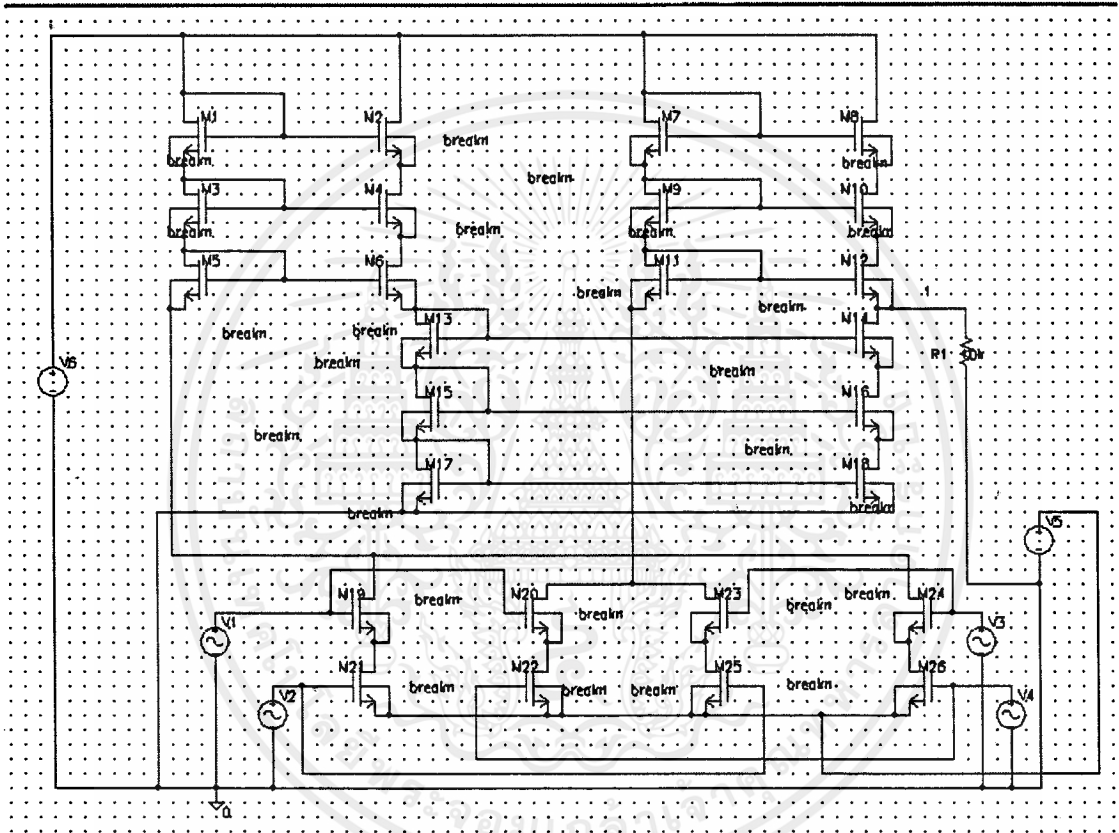


รูปที่ 7.8 ผลลัพธ์การทำงานของวงจรโดยการเปลี่ยนแปลงฐานเวลา

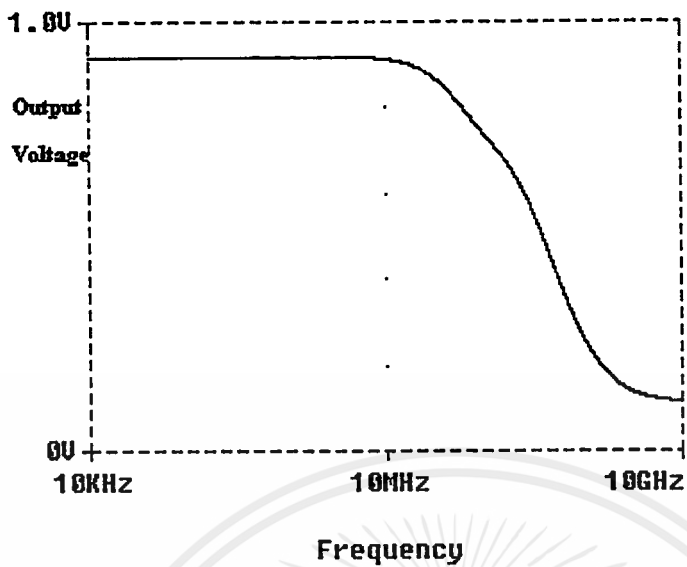
7.4 วงจรมัลติไฟต์เลอร์แบบ 4 ควอดแรนท์

วงจรมัลติไฟต์เลอร์แบบ 4 ควอดแรนท์ที่ออกแบบที่แสดงผลลัพธ์ของการทำงานโดยจะจัดให้อยู่ในควอดแรนท์ที่ 4 เท่านั้น โดยค่าของมอสแตตต์มีดังนี้

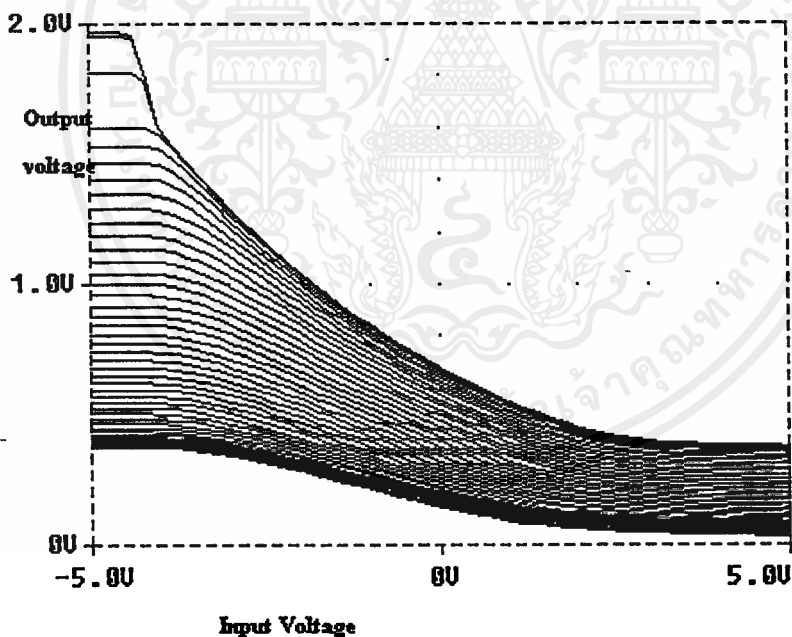
ทรานซิสเตอร์	M1-M12	M13-M18	M19-M26
W/L	120u / 15u	30u / 20u	5u / 5u



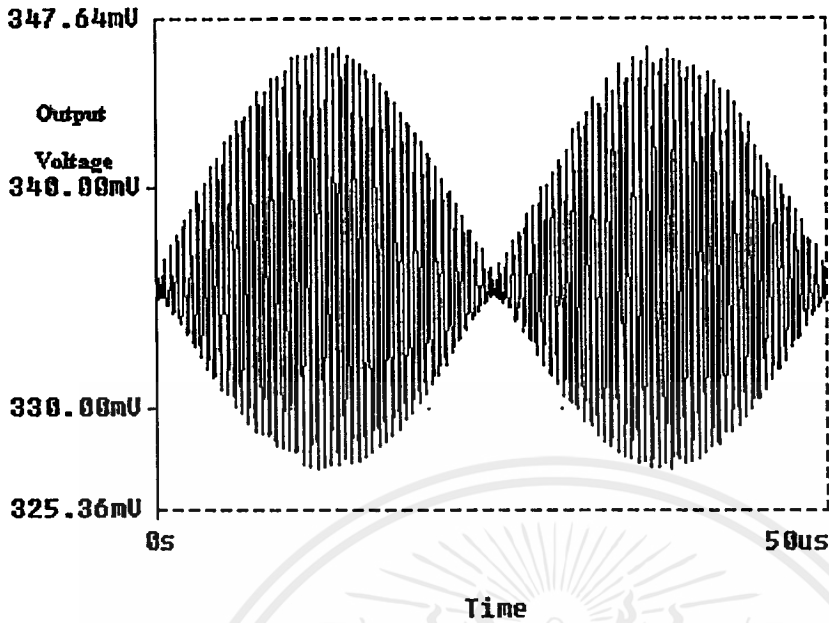
รูปที่ 7.9 วงจรมัลติไฟต์เลอร์ 4 ควอดแรนต์



รูปที่ 7.10 ผลลัพธ์การทำงานของวงจรโดยการเปลี่ยนแปลงความถี่



รูปที่ 7.11 ผลลัพธ์การทำงานของวงจรโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน



รูปที่ 7.12 ผลลัพธ์การทำงานของวงจร โดยการเปลี่ยนแปลงเวลา

7.5 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์ของพีมอส

```
.model CMOSF PMOS LEVEL=2 PHI=0.700000 TOX=3.6500E-08 XJ=0.200000U TPG=-1
+ LD=1.5770E-07 DELTA=2.8890E+00 VTO=-0.8785 KP=1.8344E-05 UO=193.9
+ UEXP=3.2390E-01 UCRIT=1.2630E+05 RSH=9.0910E-02 GAMMA=0.6471
NSUB=1.1290E+16
+ NFS=5.9090E+11 VMAX=9.9990E+05 LAMBDA=4.5590E-02 CGDO=2.2379E-10
+ CGSO=2.2379E-10 CGBO=4.1468E-10 CJ=3.20E-04 MJ=0.602 CJSW=3.86E-10
+ MJSW=0.164 PB=0.90
```

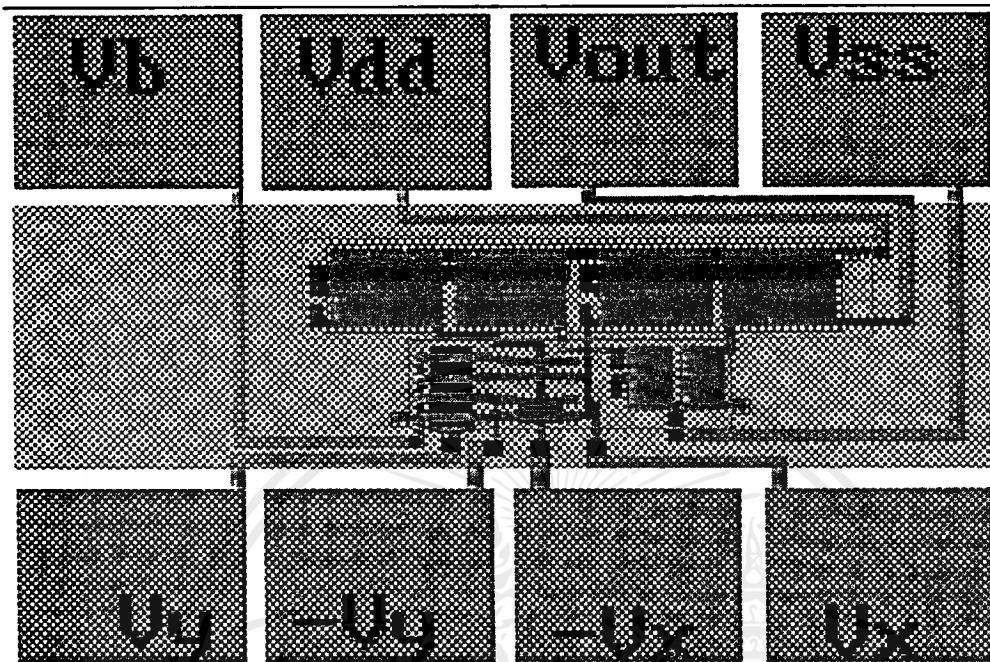
7.6 ข้อที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์ของเอ็นมอส

```
.model breakn NMOS LEVEL=2 PHI=0.700000 TOX=3.6500E-08 XJ=0.200000U TPG=1
+ VTO=0.7685 DELTA= 5.0470E+00 LD= 2.0130E-07 KP=6.8789E-05 GAMMA=0.4763
+ NSUB=6.1170E+15 NFS=9.2910E+10 VMAX=5.2090E+04 LAMBDA=3.2020E-02
+ CGDO=2.8566E-10 CGSO=2.8566E-10 CGBO=3.4631E-10 CJ=1.27E-04 MJ=0.724
+ CJSW=5.45E-10 MJSW=0.233 PB= 0.65
```

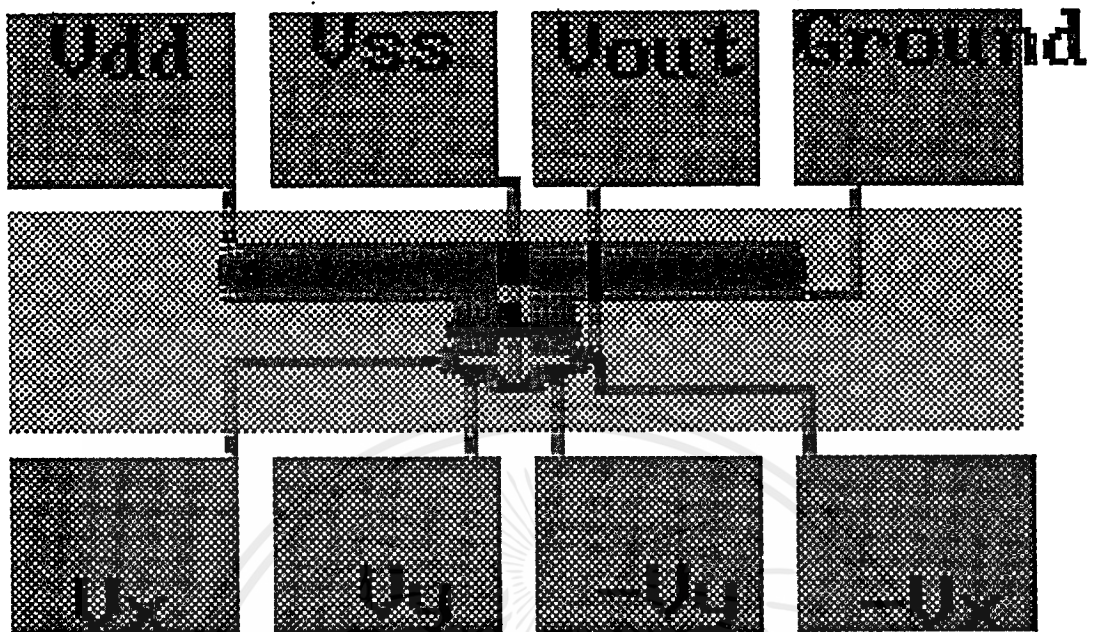
7.7 สรุปผลการทำงาน

การทดลองในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงการปรับปรุงและดัดแปลงแก้ไขวงจรมัลติไฟต์เตอร์จากวารสารทางวิชาการแล้วนำมาสร้างใหม่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อข้อจำกัดที่ได้รับจากทางโรงงานหรือผู้ผลิตโดยนำวงจรที่ต้องการนำมาวิเคราะห์แต่ละส่วน นำข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ที่เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันระหว่างแรงดันอินพุตกับเอาต์พุต ค่ากระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ รวมถึงการนำค่าของผลลัพธ์ของกราฟเวลาแสดงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ โดยเมื่อนำทุกส่วน

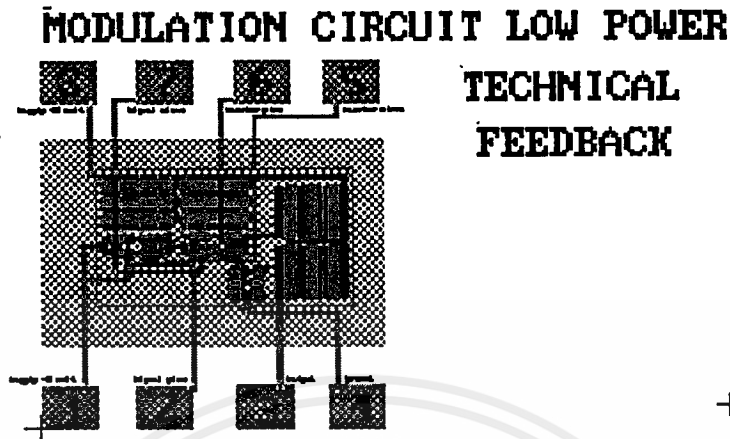




รูปที่ 7.13 วงจร มัลติพลายเออร์ 4 ควอดแรนต์ (ตัวอย่าง)



รูปที่ 7.14 วงจรมัลติไฟต์เออร์ 1 ควอดแรนท์



รูปที่ 7.15 วงจรมัลติพลายเออร์ 4 ควอดแรนท์

* Circuit Extracted by Tanner Research's L-Edit V5.09 / Extract V2.04 ;

* TDB File feed4, Cell Cell0, Extract Definition File morbn20.ext ;

C1 353346 0 34.272FF

C2 323322 0 41.436FF

C3 296659 0 34.56FF

C4 266638 0 41.436FF

C5 213989 0 2.16FF

C6 213801 0 2.16FF

C7 210893 0 2.16FF

C8 200691 0 54.68FF

C9 196032 0 63.98FF

C10 183996 0 56.82FF

C11 161426 0 53.712FF

C12 161237 0 2.16FF

C13 161038 0 2.16FF

C14 160954 0 46.872FF

C15 160766 0 2.16FF

C16 160567 0 9.936FF

C17 134710 0 46.3FF

C18 98019 0 57.186FF

C19 86974 0 2.88FF

C20 67111 0 6.984FF

C21 56066 0 2.88FF

C22 36203 0 6.984FF

C23 32990 0 34.272FF

C24 32857 0 34.56FF

C25 32724 0 40.32FF

C26 27419 0 211.752FF

C27 27322 0 41.436FF

C28 27225 0 41.436FF

C29 25886 0 8.64FF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* WARNING: Node 2 has zero capacitance.

.MODEL NMOS

.MODEL PMOS

.MODEL poly2NMOS

.MODEL poly2PMOS

.MODEL NPN

M31 353346 27419 27419 2 NMOS L=20U W=120U

* M31 Drain Gate Source Bulk (158 298 278 318) A = 2400, W = 120

M32 323322 27419 27419 2 NMOS L=20U W=120U

* M32 Drain Gate Source Bulk (21 298 141 318) A = 2400, W = 120

M33 296659 323322 353346 2 NMOS L=20U W=120U

* M33 Drain Gate Source Bulk (158 260 278 280) A = 2400, W = 120

M34 266638 323322 323322 2 NMOS L=20U W=120U

* M34 Drain Gate Source Bulk (21 260 141 280) A = 2400, W = 120

M35 98019 266638 296659 2 NMOS L=20U W=120U

* M35 Drain Gate Source Bulk (158 222 278 242) A = 2400, W = 120

M36 160954 266638 266638 2 NMOS L=20U W=120U

* M36 Drain Gate Source Bulk (21 222 141 242) A = 2400, W = 120

M37 27322 27419 27419 2 NMOS L=20U W=120U

* M37 Drain Gate Source Bulk (415 186 435 306) A = 2400, W = 120

M38 27225 27322 27322 2 NMOS L=20U W=120U

* M38 Drain Gate Source Bulk (377 186 397 306) A = 2400, W = 120

M39 161426 27225 27225 2 NMOS L=20U W=120U

* M39 Drain Gate Source Bulk (339 186 359 306) A = 2400, W = 120

M40 213989 183996 161426 2 NMOS L=40U W=10U

* M40 Drain Gate Source Bulk (224 186 264 196) A = 400, W = 10

M41 213801 200691 213989 2 NMOS L=40U W=10U

* M41 Drain Gate Source Bulk (170 186 210 196) A = 400, W = 10

M42 210893 183996 160954 2 NMOS L=40U W=10U

* M42 Drain Gate Source Bulk (88 184 128 194) A = 400, W = 10

M43 160567 196032 210893 2 NMOS L=40U W=10U

* M43 Drain Gate Source Bulk (34 184 74 194) A = 400, W = 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M44 161237 134710 161426 2 NMOS L=40U W=10U

* M44 Drain Gate Source Bulk (224 148 264 158) A = 400, W = 10

M45 161038 196032 161237 2 NMOS L=40U W=10U

* M45 Drain Gate Source Bulk (170 148 210 158) A = 400, W = 10

M46 160766 134710 160954 2 NMOS L=40U W=10U

* M46 Drain Gate Source Bulk (88 148 128 158) A = 400, W = 10

M47 160567 200691 160766 2 NMOS L=40U W=10U

* M47 Drain Gate Source Bulk (34 148 74 158) A = 400, W = 10

M48 86974 98019 32724 2 NMOS L=15U W=20U

* M48 Drain Gate Source Bulk (282 102 302 117) A = 300, W = 20

M49 67111 98019 98019 2 NMOS L=15U W=20U

* M49 Drain Gate Source Bulk (242 102 262 117) A = 300, W = 20

M50 56066 67111 86974 2 NMOS L=15U W=20U

* M50 Drain Gate Source Bulk (282 77 302 92) A = 300, W = 20

M51 36203 67111 67111 2 NMOS L=15U W=20U

* M51 Drain Gate Source Bulk (242 77 262 92) A = 300, W = 20

M52 25886 36203 56066 2 NMOS L=15U W=20U

* M52 Drain Gate Source Bulk (282 52 302 67) A = 300, W = 20

M53 25886 36203 36203 2 NMOS L=15U W=20U

* M53 Drain Gate Source Bulk (242 52 262 67) A = 300, W = 20

M54 32990 27419 27419 2 NMOS L=20U W=120U

* M54 Drain Gate Source Bulk (415 49 435 169) A = 2400, W = 120

M55 32857 27322 32990 2 NMOS L=20U W=120U

* M55 Drain Gate Source Bulk (377 49 397 169) A = 2400, W = 120

M56 32724 27225 32857 2 NMOS L=20U W=120U

* M56 Drain Gate Source Bulk (339 49 359 169) A = 2400, W = 120

* Total Nodes: 30 ;

* Total Elements: 56 ;

* Extract Elapsed Time: 12000 seconds ;

.END

- * Circuit Extracted by Tanner Research's L-Edit V5.09 / Extract V2.04 ;
- * TDB File new1, Cell Cell0, Extract Definition File morbn20.ext ;

C1 499 0 190.468FF

C2 167 0 174.896FF

C3 332 0 174.896FF

C4 43985 0 2.808FF

C5 44059 0 2.808FF

C6 3 0 184.79FF

C7 47119 0 4.248FF

C8 41421 0 185.762FF

C9 47227 0 184.688FF

C10 54807 0 204.722FF

C11 64794 0 417.05FF

C12 49573 0 58.08FF

C13 45514 0 4.55FF

C14 42525 0 4.8FF

C15 42461 0 4.8FF

C16 40941 0 9.65FF

* WARNING: Node 2 has zero capacitance.

.MODEL NMOS

.MODEL PMOS

.MODEL poly2NMOS

.MODEL poly2PMOS

.MODEL NPN

M18 ? 64794 ? 2 NMOS L=0U W=0U

* M18 Drain Gate Source Bulk (298 719 418 734) A = 1800, W = 0

M19 ? 64794 ? 2 NMOS L=0U W=0U

* M19 Drain Gate Source Bulk (164 719 284 734) A = 1800, W = 0

M20 ? 49573 ? 2 NMOS L=0U W=0U

* M20 Drain Gate Source Bulk (298 689 318 699) A = 200, W = 0

M21 ? 49573 ? 2 NMOS L=0U W=0U

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* M21 Drain Gate Source Bulk (264 689 284 699) A = 200, W = 0

M22 ? 40941 ? 2 NMOS L=0U W=0U

* M22 Drain Gate Source Bulk (318 674 324 679) A = 30, W = 0

M23 ? 45514 ? 2 NMOS L=0U W=0U

* M23 Drain Gate Source Bulk (258 674 264 679) A = 30, W = 0

M24 ? 42525 ? 2 NMOS L=0U W=0U

* M24 Drain Gate Source Bulk (298 663 304 668) A = 30, W = 0

M25 ? 42461 ? 2 NMOS L=0U W=0U

* M25 Drain Gate Source Bulk (278 663 284 668) A = 30, W = 0

* Total Nodes: 17 ;

* Total Elements: 25 ;

* Extract Elapsed Time: 724 seconds ;

.END



* Circuit Extracted by Tanner Research's L-Edit V5.09 / Extract V2.04 ;

* TDB File multi, Cell Cell0, Extract Definition File morbn20.ext ;

M1 10353 10297 11559 11559 PMOS L=10U W=50U

* M1 Drain Gate Source Bulk (196 342 246 352) A = 500, W = 50

M2 10297 10297 11559 11559 PMOS L=10U W=50U

* M2 Drain Gate Source Bulk (142 342 192 352) A = 500, W = 50

M3 10238 10183 11559 11559 PMOS L=10U W=50U

* M3 Drain Gate Source Bulk (78 342 128 352) A = 500, W = 50

M4 10183 10183 11559 11559 PMOS L=10U W=50U

* M4 Drain Gate Source Bulk (24 342 74 352) A = 500, W = 50

M5 8718 9422 10353 11559 PMOS L=10U W=50U

* M5 Drain Gate Source Bulk (196 322 246 332) A = 500, W = 50

M6 9422 9422 10297 11559 PMOS L=10U W=50U

* M6 Drain Gate Source Bulk (142 322 192 332) A = 500, W = 50

M7 8207 9319 10238 11559 PMOS L=10U W=50U

* M7 Drain Gate Source Bulk (78 322 128 332) A = 500, W = 50

M8 9319 9319 10183 11559 PMOS L=10U W=50U

* M8 Drain Gate Source Bulk (24 322 74 332) A = 500, W = 50

C9 11559 0 893.83FF

* Node 11559 = Cell0\Vdd Vdd

C10 10353 0 174.124FF

C11 10297 0 176.676FF

C12 10238 0 174.124FF

C13 10183 0 176.984FF

C14 9422 0 122.964FF

C15 9319 0 126.506FF

C16 8718 0 308.434FF

* Node,8718 = Cell0\Vout Vout

C17 8403 0 12.906FF

C18 8207 0 126.824FF

C19 7991 0 18.2FF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C20 7907 0 12.642FF

C21 7502 0 19.916FF

C22 7217 0 12.818FF

C23 6773 0 12.884FF

C24 6065 0 168.26FF

* Node 6065 = Cell0\ -Vx -Vx

C25 6051 0 167.996FF

* Node 6051 = Cell0\ -Vy -Vy

C26 5979 0 467.552FF

* Node 5979 = Cell0\ Vb Vb

* Node 5979 = Cell0\ Vss Vss

C27 5801 0 196.528FF

* Node 5801 = Cell0\ Vy Vy

C28 195 0 176.364FF

* Node 195 = Cell0\ Vx Vx

.MODEL NMOS

.MODEL PMOS

.MODEL poly2NMOS

.MODEL poly2PMOS

.MODEL NPN

M29 8403 195 9319 5979 NMOS L=20U W=5U

* M29 Drain Gate Source Bulk (106 294 126 299) A = 100, W = 5

M30 5979 5801 8403 5979 NMOS L=20U W=5U

* M30 Drain Gate Source Bulk (67 296 87 301) A = 100, W = 5

M31 7991 8207 8718 5979 NMOS L=10U W=20U

* M31 Drain Gate Source Bulk (177 290 197 300) A = 200, W = 20

M32 7502 8207 8207 5979 NMOS L=10U W=20U

* M32 Drain Gate Source Bulk (154 290 174 300) A = 200, W = 20

M33 7907 195 9422 5979 NMOS L=20U W=5U

* M33 Drain Gate Source Bulk (106 286 126 291) A = 100, W = 5

M34 5979 6051 7907 5979 NMOS L=20U W=5U

* M34 Drain Gate Source Bulk (67 284 87 289) A = 100, W = 5

M35 5979 7502 7991 5979 NMOS L=10U W=20U

* M35 Drain Gate Source Bulk (177 274 197 284) A = 200, W = 20

M36 5979 7502 7502 5979 NMOS L=10U W=20U

* M36 Drain Gate Source Bulk (154 274 174 284) A = 200, W = 20

M37 5979 6051 7217 5979 NMOS L=20U W=5U

* M37 Drain Gate Source Bulk (67 274 87 279) A = 100, W = 5

M38 7217 6065 9319 5979 NMOS L=20U W=5U

* M38 Drain Gate Source Bulk (106 271 126 276) A = 100, W = 5

M39 6773 6065 9422 5979 NMOS L=20U W=5U

* M39 Drain Gate Source Bulk (106 263 126 268) A = 100, W = 5

M40 5979 5801 6773 5979 NMOS L=20U W=5U

* M40 Drain Gate Source Bulk (67 262 87 267) A = 100, W = 5

* Total Nodes: 20 ;

* Total Elements: 40 ;

* Extract Elapsed Time: 119 seconds ;

.END

หนังสืออ้างอิง

1. Randall L. Geiger “VLSI design techniques for analog and digital circuits” 1990
2. Jonk P. Uyemura “Fundamental of Mos Digital Integrated Circuit” 1988
3. Paul R. Gray and Robert G. Meyer “Analysis and design of Analog Integrated Circuit” 1993
4. William M. Penny and Lillian Lau “Mos Integrated circuits” 1985
- 5.



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้โครงการชิ้นนี้สำเร็จ
เป็นรูปร่าง และ ขอขอบคุณทุกๆท่านที่มีส่วนทำให้โครงการสำเร็จลงได้ด้วย
ดีและขอขอบคุณบริษัทเนชั่นแนลเซมิคอนดักเตอร์ ที่สนับสนุนทางด้านข่าว
สารและข้อมูลต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้