

การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์/บัฟเฟอร์ด้วยไบซีมอสและการประยุกต์ใช้งาน

BiCMOS INVERTER/BUFFER CIRCUIT DESIGN AND
ITS APPLICATION



ไพบูรณ์ ตู่ประกาย
PAIBOON TOOPRAKAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

4
ค. ๗๗ ก
๗๖๖

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2541

ISBN 974-622-141-8

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน, เดือน, ปี ๕๔ ก.ธ. 2541

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**BiCMOS INVERTER/BUFFER CIRCUIT DESIGN AND
ITS APPLICATION**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1998

ISBN 974-622-141-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 1998

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์/บัฟเฟอร์ด้วยไบซิมอสและการประยุกต์ใช้งาน
ชื่อนักศึกษา	นายไพบูรณ์ ผู้ประกาย
อาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2541

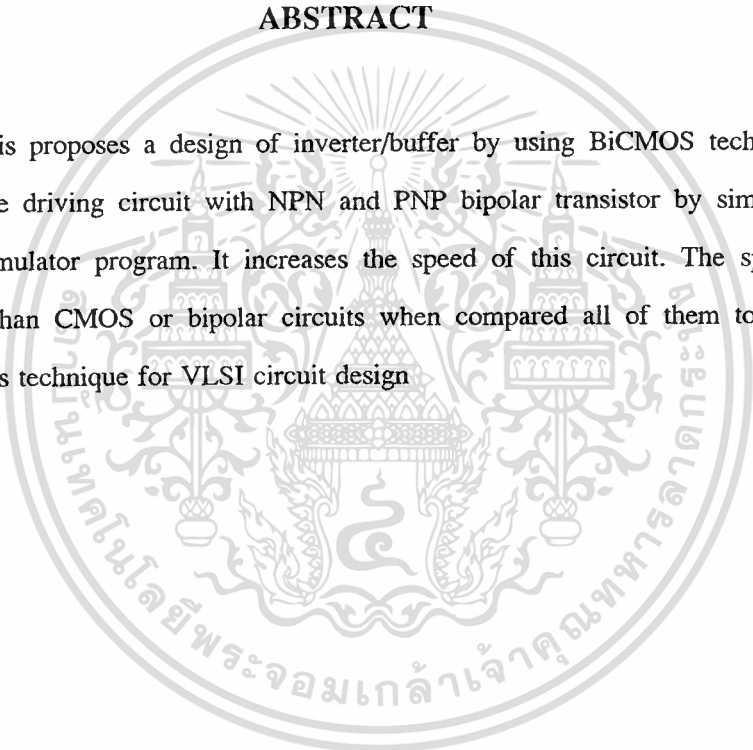
บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอหลักการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์/บัฟเฟอร์ โดยใช้วงจบบิซิมอส คือการใช้เทคนิคการขับวงจรด้วยไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์แบบคู่ควบชนิด NPN และ PNP โดยใช้การเลียนแบบการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice ซึ่งจะช่วยให้วงจรมีความเร็วในการทำงานมากกว่าการออกแบบด้วยซิมอสหรือไบโพลาร์และเป็นส่วนสำคัญของการออกแบบวงจรขนาดใหญ่

Thesis Title BiCMOS Inverter/Buffer Circuit Design and Its Application
Student Mr.Paiboon Tooprakai
Thesis advisor Assoc.Prof.Dr.Kobchai Dejhan
Degree Master of Engineering in Electrical Engineering
Year 1998

ABSTRACT

This thesis proposes a design of inverter/buffer by using BiCMOS technology. The idea is to use the driving circuit with NPN and PNP bipolar transistor by simulation with PSpice circuit simulator program. It increases the speed of this circuit. The speed of this circuit is faster than CMOS or bipolar circuits when compared all of them together. It is suitable to use this technique for VLSI circuit design



กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำงานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการศึกษา ขอขอบคุณ คุณฉวีรัตน์ คณารีย์ และเพื่อน ๆ ที่ได้ช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ของบัณฑิตวิทยาลัยของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและทุนสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)



ไพบูรณ์ ตู้ประกาย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1. ที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3. รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2. หลักการทำงานของวงจรถึงอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส.....	7
2.1 บทนำ.....	7
2.2 คุณสมบัติของสัญญาณไฟตรงของวงจรถึงอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส.....	8
2.3 คุณสมบัติในการสวิตชิ่งของวงจรถึงอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส.....	11
2.4 เทคนิคการออกแบบวงจรถึงอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส.....	14
2.4.1 ส่วนของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ที่ทำหน้าที่ในการขับวงจรถึง.....	14
2.4.2 ส่วนของทรานซิสเตอร์แบบมอสที่ทำหน้าที่เป็นส่วนอินพุต.....	15
2.4.3 ส่วนของทรานซิสเตอร์แบบมอสที่ทำหน้าที่คายประจุ.....	16
2.5 กำลังงานที่สูญเสีย.....	17
บทที่ 3. วงจรถึงอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส.....	18
3.1 บทนำ.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 วงจรศักดาแกว่งเต็มช่วงไบซีมอส.....	18
3.2.1 วงจรไบเอ็มมอส.....	19
3.2.2 การปรับปรุงวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส.....	24
3.2.2.1 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับความต้านทาน.....	25
3.2.2.2 วงจรไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส.....	31
3.2.2.3 วงจรไบซีมอสโดยใช้วิธีเบส-อิมิตเตอร์ขนานกับวงจรป้อนกลับ.....	37
3.2.2.4 วงจรไบซีมอสขนานกับคอลลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์.....	42
3.2.3 วงจร Complementary และ Quasi-Complementary ไบซีมอส.....	47
บทที่ 4. วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ.....	54
4.1 บทนำ.....	54
4.2 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ.....	54
4.2.1 ศึกษาคุณสมบัติของสัญญาณไฟตรงของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ..	56
4.2.2 ศึกษาคุณสมบัติในการสวิต칭ของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ.....	57
บทที่ 5 การประยุกต์ใช้งานวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส.....	73
5.1 บทนำ.....	73
5.2 วงจรบัฟเฟอร์.....	73
5.3 Fan-out.....	76
5.4 วงจรไดนามิกแลตช์.....	80
5.5 วงจรสแตติกแลตช์.....	82
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	85

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	87
ภาคผนวก.....	89
ภาคผนวก ก โปรแกรม PSpice ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	90
ภาคผนวก ข การหาค่าลางานที่สูญเสียด้วยวิธีทางอ้อม.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	101



สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

2.1 แสดงค่าตรรกะของวงจรรีเลย์.....9



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงกราฟกำลังต่อเกตต์เฉลี่ยของ CMOS, NMOS, ECL และ BiCMOS.....	1
1.2 วงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอส.....	2
1.3 วงจรไบโพลาร์.....	3
1.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสวงจรแรก.....	3
1.5 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสโดยใช้อุปกรณ์ถ่ายกระแส.....	4
1.6 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดา.....	4
1.7 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบตัวต้านทาน.....	5
2.1 แสดงสัญลักษณ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์.....	8
2.2 แสดงคุณสมบัติของสัญญาณไฟตรงของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส.....	9
2.3 การทำงานในช่วงการอัปเดตที่เข้าชุด.....	11
2.4 วงจรสมมูลในช่วงเวลา t_3	13
2.5 แสดงการหน่วงเวลาของไบซีมอสเนื่องจากพื้นที่อิมิตอร์.....	15
2.6 การหน่วงเวลาของวงจรไบซีมอสเนื่องจากขนาดทรานซิสเตอร์แบบมอสในส่วนอินพุต.	16
2.7 แสดงการวัดกำลังงานที่สูญเสียทางอ้อม.....	17
3.1 วงจรไบเอ็นมอส.....	18
3.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบเอ็น มอส วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L =$ 0.5 pF	20
3.3 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบเอ็น มอส วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L =$ 5 pF	21
3.4 แสดงรูปคลื่นเข้าชุดเปรียบเทียบกับอินพุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบเอ็นมอสเมื่อ $C_L =$ 1 pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$	22
3.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบเอ็น มอสกับวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอส.....	22

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.6 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบเอินมอสกับวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ซีเอ็มอส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	23
3.7 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ของวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบเอินมอสกับวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ซีเอ็มอส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	23
3.8 แสดงผลการตอบสนองของวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบเอินมอส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ถึง 10pF ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	24
3.9 วงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสขนานกับความต้านทาน.....	25
3.10 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสขนานกับความต้านทาน วงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ซีเอ็มอส เมื่อ $C_L = 0.5\text{ pF}$	27
3.11 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสขนานกับความต้านทาน วงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ซีเอ็มอส เมื่อ $C_L = 5\text{ pF}$	28
3.12 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเปรียบเทียบกับอินพุตของวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสขนานกับความต้านทาน เมื่อ $C_L = 1\text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	28
3.13 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสขนานกับความต้านทานกับวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ซีเอ็มอส.....	29
3.14 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสขนานกับความต้านทานกับวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ไบซีเอ็มอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ซีเอ็มอส เมื่อ $C_L = 1\text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.15 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ ไปยัง V_{DD} ของวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสขนานกับความต้านทานกับวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตไบขั้วมอส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$	30
3.16 แสดงผลกวรตอบสนองของวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสขนานกับความต้านทาน เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ถึง 10pF ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$	30
3.17 วงจรมอสเฟตไบขั้วมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส.....	31
3.18 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเปรียบเทียบกับอินพุตของวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$	32
3.19 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส วงจรมอสเฟตไบขั้วมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตไบขั้วมอส เมื่อ $C_L = 0.5\text{pF}$	33
3.20 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส วงจรมอสเฟตไบขั้วมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตไบขั้วมอส เมื่อ $C_L = 5\text{pF}$	34
3.21 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณ ไฟตรงของวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสกับวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตไบขั้วมอส.....	35
3.22 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสกับวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตไบขั้วมอส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$	35
3.23 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ ไปยัง V_{DD} ของวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสกับวงจรมอสเฟตไบขั้วมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตไบขั้วมอส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.24 แสดงผลการตอบสนองของวงจรมอสแบบขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ถึง 10pF ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	36
3.25 วงจรมอสแบบขนานกับวงจรมอสแบบขนานกลับ.....	37
3.26 แสดงรูปคลื่นเข้าพุทเปรียบเทียบกับอินพุทของวงจรมอสแบบขนานกับวงจรมอสแบบขนานกลับ เมื่อ $C_L = 1\text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	38
3.27 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรมอสแบบขนานกับวงจรมอสแบบขนานกลับ วงจรมอสแบบขนานกลับ วงจรมอสแบบขนานกลับและวงจรมอสแบบขนานกลับ เมื่อ $C_L = 0.5\text{ pF}$	39
3.28 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรมอสแบบขนานกับวงจรมอสแบบขนานกลับ วงจรมอสแบบขนานกลับ วงจรมอสแบบขนานกลับและวงจรมอสแบบขนานกลับ เมื่อ $C_L = 5\text{ pF}$	40
3.29 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรมอสแบบขนานกับวงจรมอสแบบขนานกลับกับวงจรมอสแบบขนานกลับ วงจรมอสแบบขนานกลับและวงจรมอสแบบขนานกลับ.....	40
3.30 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรมอสแบบขนานกับวงจรมอสแบบขนานกลับกับวงจรมอสแบบขนานกลับ วงจรมอสแบบขนานกลับและวงจรมอสแบบขนานกลับ เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	41
3.31 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ของวงจรมอสแบบขนานกับวงจรมอสแบบขนานกลับกับวงจรมอสแบบขนานกลับ วงจรมอสแบบขนานกลับและวงจรมอสแบบขนานกลับ เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	41
3.32 แสดงผลการตอบสนองของวงจรมอสแบบขนานกับวงจรมอสแบบขนานกลับเมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ถึง 10pF ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	42
3.33 วงจรมอสแบบขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์.....	42
3.34 แสดงรูปคลื่นเข้าพุทเปรียบเทียบกับอินพุทของวงจรมอสแบบขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ เมื่อ $C_L = 1\text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.35 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์ วงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรีจิสเตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 0.5 \text{ pF}$	44
3.36 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์ วงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรีจิสเตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 5 \text{ pF}$	45
3.37 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์กับวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรีจิสเตอร์ซีมอส.....	45
3.38 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์กับวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรีจิสเตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$	46
3.39 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์กับวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรีจิสเตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$	46
3.40 แสดงผลการตอบสนองของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ถึง 10pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$	47
3.41 วงจรศักดาแกว่งเต็มช่วงอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมินทารี.....	48
3.42 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเปรียบเทียบกับอินพุตของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมินทารี เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$	48
3.43 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมินทารี วงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรีจิสเตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 0.5 \text{ pF}$	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.44 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรมอสแบบคอมพลิเมนต์ที่ วงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสแบบธรรมดาเมื่อ $C_L = 5 \text{ pF}$	50
3.45 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรมอสแบบคอมพลิเมนต์ที่กับวงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสแบบธรรมดาเมื่อ $C_L = 5 \text{ pF}$	51
3.46 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรมอสแบบคอมพลิเมนต์ที่กับวงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสแบบธรรมดาเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$	51
3.47 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ของวงจรมอสแบบคอมพลิเมนต์ที่กับวงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสแบบธรรมดาเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$	52
3.48 แสดงผลการตอบสนองของวงจรมอสแบบคอมพลิเมนต์ที่เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$	52
3.49 แสดง Quasi-pnp ทราานซิสเตอร์.....	53
4.1 วงจรมอสแบบที่เสนอ.....	55
4.2 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรมอสแบบที่เสนอ.....	56
4.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรมอสแบบที่เสนอกับวงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสแบบธรรมดา.....	57
4.4 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรมอสแบบที่เสนอกับวงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสแบบธรรมดาเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$	58
4.5 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ของวงจรมอสแบบที่เสนอกับวงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสแบบธรรมดาเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.6 แสดงผลการตอบสนองของวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอเมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ถึง 10pF ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	59
4.7 แสดงผลการตอบสนองของวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาเมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ถึง 10pF ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	59
4.8 แสดงผลการตอบสนองของวงจรรินเวอร์เตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ถึง 10pF ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	60
4.9 แสดงค่าหน่วงเวลาเทียบกับ C_L เมื่อ C_L อยู่ในช่วง $0\text{ pF} - 10\text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5\text{ V}$	60
4.10 แสดงค่าหน่วงเวลาเทียบกับ C_L เมื่อ C_L อยู่ในช่วง $0\text{ pF} - 1\text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5\text{ V}$	61
4.11 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายคักคาของวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรินเวอร์เตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 0.5\text{ pF}$	62
4.12 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายคักคาของวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรินเวอร์เตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 5\text{ pF}$	63
4.13 แสดงค่าหน่วงเวลากับ $n(A_E)$ ของ Q1 เมื่อ $C_L = 0.2\text{ pF}, 0.5\text{ pF}, 1\text{ pF}, 5\text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5\text{ V}$	64
4.14 แสดงค่าหน่วงเวลากับความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 เมื่อ $C_L = 0.2\text{ pF}, 0.5\text{ pF}, 1\text{ pF}, 5\text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5\text{ V}$	65
4.15 แสดงกำลังงานที่สูญเสียไปต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 เมื่อ $C_L = 0.2\text{ pF}, 1\text{ pF}, 5\text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5\text{ V}$	66
4.16 แสดงค่าหน่วงเวลาต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$ เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 แสดงค่าหน่วยเวลาต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$ เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$	68
4.18 แสดงค่ากำลังงานที่สูญเสียต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$ เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$	69
4.19 แสดงค่ากำลังงานที่สูญเสียต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$ เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$	70
4.20 แสดงค่าหน่วยเวลาต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$	71
4.21 แสดงค่ากำลังงานที่สูญเสียต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$	72
5.1 แสดงสัญญาณลักษณะของวงจรับัพเฟอร์.....	73
5.2 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรับัพเฟอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ.....	74
5.3 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรับัพเฟอร์ไบซีมอสแบบธรรมดา.....	74
5.4 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรับัพเฟอร์ซีมอส.....	75
5.5 แสดงค่าหน่วยเวลากับโพลดคาปาซิแตนซ์ของวงจรับัพเฟอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ วงจรับัพเฟอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรับัพเฟอร์ซีมอส ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$	75
5.6 แสดง Fan-out.....	76
5.7 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรับัพเฟอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอที่ Fan-out = 10 เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$ และ $C_L = 0.1\text{ pF}$	76
5.8 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรับัพเฟอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาที่ Fan-out = 10 เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$ และ $C_L = 0.1\text{ pF}$	77
5.9 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรับัพเฟอร์ซีมอสที่ Fan-out = 10 เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$ และ $C_L = 0.1\text{ pF}$	77
5.10 แสดงค่าหน่วยเวลาต่อ Fan-out ของวงจรับัพเฟอร์ไบซีมอสแบบที่เสนองวงจรับัพเฟอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรับัพเฟอร์ซีมอส ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$ และ $C_L = 0.1\text{ pF}$	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.11 แสดงค่าหน่วงเวลาต่อ Fan-out ของวงจรไบซีมอสแบบที่เสนอ วงจรไบซีมอสแบบ ธรรมดาและวงจรซีมอส ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$ และ $C_L = 1\text{ pF}$	79
5.12 แสดงวงจรไดนามิกแลตช์ 1/2 บิต.....	80
5.13 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจร ไดนามิกแลตช์เมื่อ $C_L = 0.5\text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5\text{ V}$ ก) วงจร ไดนามิกแลตช์ไบซีมอสแบบที่เสนอ ข) วงจร ไดนามิกแลตช์ไบซี มอสแบบธรรมดา ค) วงจร ไดนามิกแลตช์ซีมอส	81
5.14 แสดงค่าหน่วงเวลาต่อค่าโหลคของ โหลดคาปาซิแตนซ์ของวงจร ไดนามิกแลตช์ไบซี มอสแบบที่เสนอ วงจร ไดนามิกแลตช์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจร ไดนามิกแลตช์ ซีมอส เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$	82
5.15 แสดงวงจรสแตติกแลตช์ 1/2 บิต.....	82
5.16 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรสแตติกแลตช์เมื่อ $C_L = 0.5\text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5\text{ V}$ ก) วงจรสแตติกแลตช์ไบซีมอสแบบที่เสนอ ข) วงจรสแตติกแลตช์ไบซี มอสแบบธรรมดา ค) วงจรสแตติกแลตช์ซีมอส	83
5.17 แสดงค่าหน่วงเวลาต่อค่าโหลคของ โหลดคาปาซิแตนซ์ของวงจรสแตติกแลตช์ไบซี มอสแบบที่เสนอ วงจรสแตติกแลตช์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรสแตติกแลตช์ ซีมอส เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$	84
6.1 เปรียบเทียบค่าหน่วงเวลาต่อ โหลดคาปาซิแตนซ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบ ต่าง ๆ เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$	86

บทที่ 1

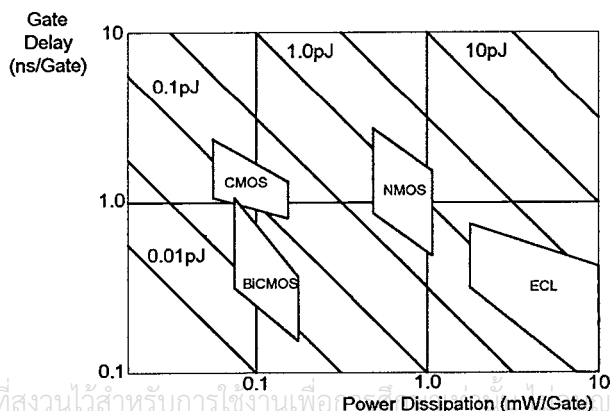
บทนำ

1.1 บทนำ

ในช่วงเริ่มแรกของการพัฒนาเทคโนโลยีของวงจรรวม เริ่มจากการพัฒนาทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ในช่วงปี ค.ศ. 1950 และทรานซิสเตอร์แบบเอนมอส (NMOS) ในช่วงปี ค.ศ. 1970 จนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 1980 วงจรซีมอส (Complementary Metal Oxide Semiconductor; CMOS) [1-2] ได้รับการพัฒนาจนเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญ และได้มีการเสนอการรวมกันระหว่างทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์และทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสขึ้นจึงมีการเสนอวงจรไบซีมอส (BiCMOS) [3-6] ขึ้นมา โดยอาศัยข้อดีของทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสคือ มีการใช้กำลังที่ต่ำ และมีการกันรบกวน (Noise immunity) ที่สูง แต่ทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสมีข้อจำกัดในเรื่องการขับโหลดคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ความสามารถลดลงโดยเฉพาะในวงจร VLSI ส่วนข้อดีของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์คือสามารถขับโหลดคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ได้ดีและง่ายต่อการผลิตแต่มีข้อจำกัดในเรื่องแหล่งจ่ายกระแสที่สูง ในวงจรรวมขนาดใหญ่วงจรไบซีมอสจึงเป็นวงจรที่ได้รับความนิยมอยู่ในปัจจุบัน เพราะมีความเร็วและความสามารถในการขับวงจรได้ดีกว่าวงจรรวมชนิดรูปที่ 1.1

รูปที่ 1.1 แสดงกราฟกำลังต่อเกตติลย์ของ CMOS, NMOS, ECL (Emitter Couple Logic) และ

BiCMOS [4]

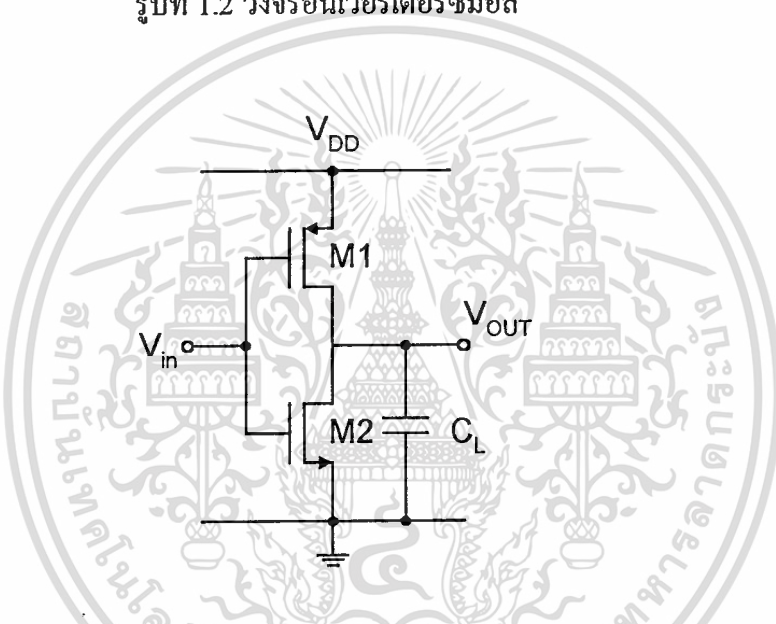


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ที่มาของงานวิจัย

วงจรรีเลย์เป็นพื้นฐานของวงจรดิจิทัลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านดิจิทัลได้อย่างมากมายหลายด้าน โดยเฉพาะวงจรรีเลย์ที่มีโครงสร้างที่ 1.2. ที่ใช้ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดในด้านความเร็วและความสามารถในการขับวงจร โดยเฉพาะโหลดคาปาซิแตนซ์ใหญ่ ๆ ในวงจร VLSI

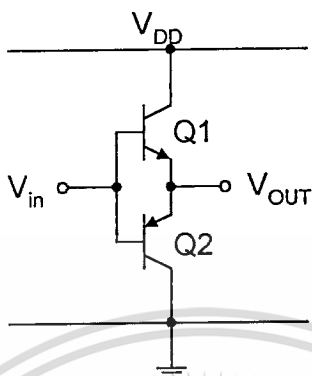
รูปที่ 1.2 วงจรรีเลย์ที่มีโครงสร้าง



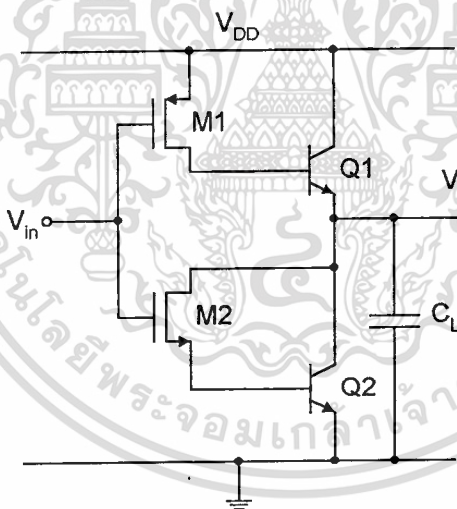
ได้มีความพยายามที่จะใช้วงจรไบโพลาร์ดังรูปที่ 1.3 แทนเพื่อช่วยในการขับวงจรแต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานเนื่องจากเป็นวงจรดิจิทัลชนิดไม่กลับเฟส (Noninverting logic) และยังมีอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ต่ำมากอีกด้วย จึงได้มีการพัฒนาวงจรรีเลย์ไบโพลาร์แบบ push-pull โดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ชนิดเอ็นพีเอ็นทั้งสองตัว โดยเมื่ออินพุตเท่ากับศูนย์ทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็มอส M1 ทำงาน จะทำให้มีกระแสไหลผ่านไปยังขาของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ Q1 ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ Q1 ทำงาน และเมื่ออินพุตเท่ากับหนึ่งทรานซิสเตอร์แบบเอ็นเอ็มอสจะไปควบคุมให้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ Q2 ทำการคายประจุโหลดคาปาซิเตอร์ C_L โดยที่ Q1 และ Q2 มีความต้านทานสูงในการคายประจุซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ทั้งสองตัวไม่ทำงาน ทำให้วงจรนี้มีข้อจำกัดในเรื่องความเร็วเพราะใช้เวลาในการเลิกการทำงานของ Q1 และ Q2 นาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.3 วงจรไบโพลาร์



รูปที่ 1.4 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสวงจรรแรก

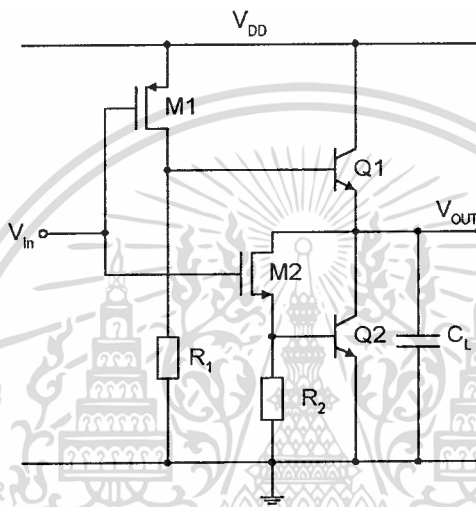


ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความต้านทานเข้าไปซึ่งใช้ในการคายประจุที่ขาเบสของ Q1 และ Q2 เมื่อไม่ทำงาน เรียกวงจรนี้ว่า วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสโดยใช้อุปกรณ์ถ่ายกระแส (BiCMOS inverter with bleeding devices) [8] ดังรูปที่ 1.5 โดยใช้ R_1 และ R_2 ระหว่างขาเบสของ Q1, Q2 และ กราวด์ (ground) ตามลำดับ แต่มีข้อเสียในส่วนของ M1 และ R_1 ที่จะมีกระแสไฟตรงระหว่าง V_{DD} และ กราวด์ เมื่ออินพุตเท่ากับศูนย์ วิธีที่จะแก้ปัญหานี้มีสองวิธีคือวิธีแรกคือโดยนำทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส (M3) มาแทนที่ R_1 เพื่อควบคุมทางด้านอินพุตและนำทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส (M4) มาแทนที่ R_2 เพื่อควบคุมทางด้านเอาพุตดังรูปที่ 1.6 [9] วิธีที่

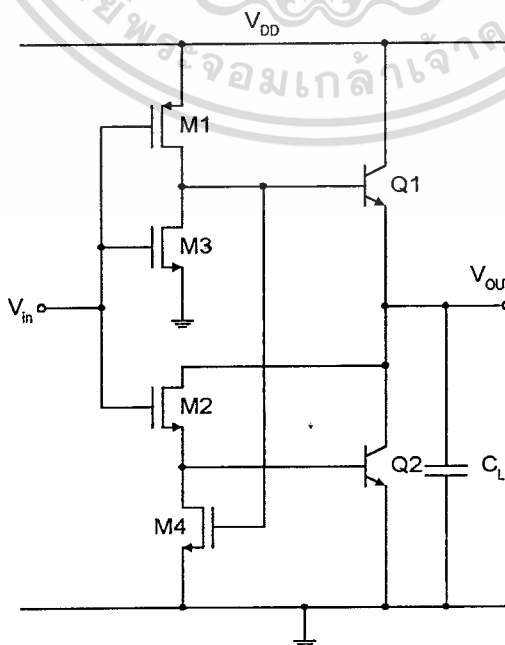
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองคือใช้ R_1 ต่อเชื่อมกับ M2 ดังรูปที่ 1.7 โดยเรียกวางจรนี้ว่าวงจรมอเตอร์ไบซีมอสแบบตัวต้านทาน (R-type BiCMOS inverter) แต่ยังมีข้อเสียคือยังไม่สามารถแกว่งได้เต็มช่วง (full swing Voltage) และยังมีสถานะ “0” และ “1” มีลักษณะไม่สมมาตร

รูปที่ 1.5 วงจรมอเตอร์ไบซีมอสโดยใช้อุปกรณ์ถ่ายกระแส

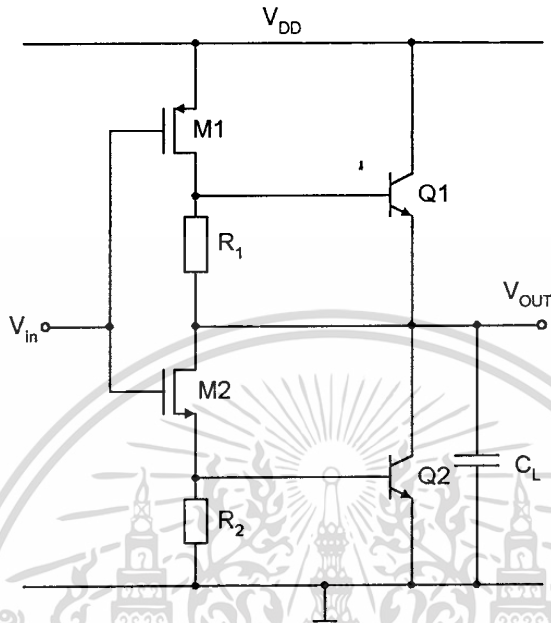


รูปที่ 1.6 วงจรมอเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.7 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบตัวต้านทาน



1.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอหลักการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์/บัฟเฟอร์ โดยใช้วงจรไบซีมอส คือการใช้เทคนิคการขับวงจรด้วยไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์แบบคู่ควบชนิดเอ็นพีเอ็นและพีเอ็นพี โดยที่ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์จะสลับกันทำงานซึ่งมีข้อดีคือสามารถออกแบบวงจรให้มีสถานะ “0” และ “1” มีความสมมาตรและจะทำให้วงจรมีความเร็วในการทำงานมากกว่าการออกแบบด้วยซีมอสหรือไบโพลาร์เพื่อเป็นส่วนสำคัญของการออกแบบวงจรขนาดใหญ่

1.4 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 5 บท โดยในบทที่ 1 จะเป็นการกล่าวนำ ที่มาของงานวิจัย วัตถุประสงค์และรายละเอียดในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 จะกล่าวถึงหลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสและการออกแบบวงจรไบซีมอส

บทที่ 3 จะกล่าวถึงวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบกึ่งคาบแกว่งเต็มช่วงแบบต่าง ๆ และคุณสมบัติต่าง ๆ วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบต่าง ๆ

บทที่ 4 จะกล่าวถึงวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบที่เสนอและคุณสมบัติต่าง ๆ ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบที่เสนอและการประยุกต์ใช้งานในวงจรบัพเฟอร์

บทที่ 5 จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสเช่นวงจรบัพเฟอร์วงจรไดนามิกแลตซ์

บทที่ 6 เป็นการสรุปรายละเอียดต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ทั้งหมด ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข



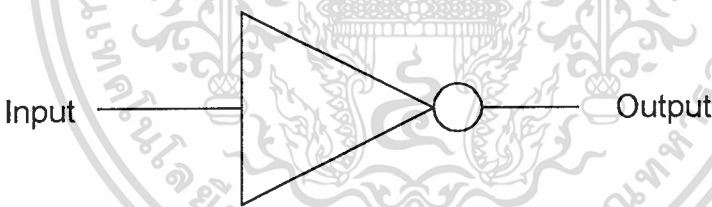
บทที่ 2

หลักการทํางานวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส

2.1 บทนำ

ในการศึกษาวงจรดิจิทัล วงจรอินเวอร์เตอร์นับได้ว่าเป็นวงจรดิจิทัลพื้นฐานตัวแรกที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก อีกทั้งเป็นวงจรที่สามารถนำไปใช้งานร่วมกับวงจรอื่นมากที่สุดวงจรหนึ่ง วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่มีอินพุตเพียงขาเดียวและเอาพุตจะมีสถานะตรงข้ามกับอินพุต ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณอินพุตกับเอาพุตของวงจร สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์



ตารางที่ 2.1 แสดงค่าตรรกะของวงจรอินเวอร์เตอร์

input	output
0	1
1	0

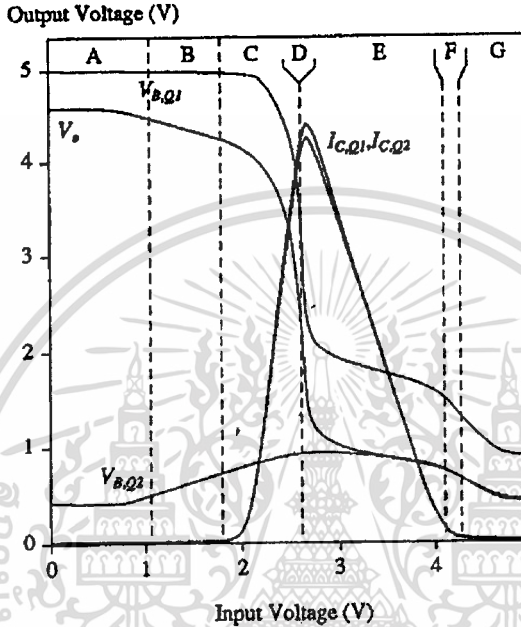
ในการศึกษาการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสจะศึกษาคุณสมบัติ 2 ประการคือ

1. คุณสมบัติของสัญญาณไฟตรงของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส
2. คุณสมบัติในการสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติของสัญญาณไฟตรงของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส

รูปที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติการโอนถ่ายสัญญาณไฟตรงของวงจรไบซีมอสอินเวอร์เตอร์ [4]



จากรูปที่ 1.4 สมมติให้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ทำงานแบบไม่อิ่มตัวตลอดช่วงการทำงานและกระแสเบสมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกระแสคอลเลกเตอร์ ดังนั้นจะได้ว่า

$$I_{C,Q1} = I_{C,Q2} \quad (2.1)$$

และจะได้

$$V_{BE,Q1} = V_{BE,Q2} \quad (2.2)$$

โดยที่ $I_{C,Q1}$ และ $I_{C,Q2}$ เป็นกระแสคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ Q1 และ Q2 ตามลำดับ ส่วน $V_{BE,Q1}$ และ $V_{BE,Q2}$ เป็นแรงดันที่เบส-อิมิตเตอร์ของ Q1 และ Q2 ตามลำดับ ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะมีค่าเป็น

$$V_{OUT} = V_{B,Q1} - V_{BE,Q1} = V_{B,Q1} - V_{B,Q2} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $V_{B,Q1}$ และ $V_{B,Q2}$ เป็นแรงดันที่เบสของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ Q1 และ Q2 ตามลำดับ จากรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงคุณสมบัติการโอนถ่ายสัญญาณไฟตรง (DC transfer characteristic) ของวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอส ซึ่งสามารถแบ่งช่วงการทำงานได้เป็น 7 ช่วงคือ

$$1. \text{ ช่วงการทำงาน A : } V_{in} < [V_{BE,Q2} + V_{TN}]$$

ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ Q1 และ Q2 จะยังไม่ทำงานและทรานซิสเตอร์แบบพีมอสทำงานในช่วงเชิงเส้น โดยที่ V_{DS} เข้าสู่ศูนย์ ขณะที่กระแสของทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอสมีค่าไม่เป็นศูนย์อันเนื่องมาจากผลของกระแสทรานซิสล้อย่อย (subthreshold current) จะทำให้แรงดันที่เบสและอิมิตเตอร์ของ Q2 มีค่าประมาณ 0.4 V เป็นผลให้ $V_{BE,Q1} = 0.4$ V ด้วย ดังนั้นแรงดันเอาต์พุต (V_{OUT}) จึงมีค่าเป็น 4.6 V (ที่ $V_{DD} = 5$ V) ขณะที่แรงดันอินพุตเพิ่มขึ้น กระแสทรานซิสล้อย่อยก็จะเพิ่มขึ้นด้วยทำให้ $V_{B,Q2}$ เพิ่มขึ้น และ V_{OUT} ลดลงดังสมการที่ 2.3

$$2. \text{ ช่วงการทำงาน B : } [V_{BE,Q2} + V_{TN}] < V_{in} < [V_{BE,on} + V_{TN}]$$

การทำงานในช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอสเริ่มเข้าสู่ภาวะอิ่มตัว ในขณะที่ Q1 และ Q2 จะยังไม่ทำงาน เมื่อแรงดันอินพุตเพิ่มขึ้น กระแสเดรนของทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอสจะเพิ่มขึ้นด้วยจนกระทั่งแรงดันที่ขาเบส-อิมิตเตอร์มีค่าเท่ากับ $V_{BE,on}$ ที่จุดนี้ Q2 จะทำงาน ดังสมการที่ 2.2 ซึ่งจะทำให้ Q1 ทำงานด้วย

$$3. \text{ ช่วงการทำงาน C : } [V_{BE,on} + V_{TN}] < V_{in} < V_{inv}$$

การทำงานในช่วงนี้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ Q1 และ Q2 จะทำงานทั้งคู่ดังเห็นได้จากกราฟของกระแสคอลเลกเตอร์ในรูปที่ 2.2 เป็นผลให้แรงดันเอาต์พุตตกลงอย่างรวดเร็ว โดยกำหนดให้ V_{inv} เป็นแรงดันอินพุตซึ่งทำให้อัตราขยายของวงจรรินเวอร์เตอร์มีค่ามากที่สุด

$$4. \text{ ช่วงการทำงาน D : } V_{in} = V_{inv}$$

เมื่อแรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สของทรานซิสเตอร์แบบพีมอสมีค่าเท่ากับ $V_{DS,sat}$ ทรานซิสเตอร์แบบพีมอส จึงเข้าสู่การทำงานในช่วงอิ่มตัว ในช่วง D นี้จะเป็นจุดที่ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ Q1 และ Q2 ทำงาน และทรานซิสเตอร์แบบพีมอสและเอ็นมอสทำงานในช่วงอิ่มตัว ดังสมการที่ 2.1 ดังนั้นกระแสของทรานซิสเตอร์แบบพีมอสและแบบเอ็นมอสจึงเท่ากันด้วยคือ

$$I_{D,p} = I_{D,n} \quad (2.4)$$

ดังนั้น
$$W_p K_p C_{ox;p} (V_{DD} - V_{in} - |V_{TP}|) = W_n K_n C_{ox;n} (V_{in} - V_{BE;on} - V_{TN}) \quad (2.5)$$

โดยที่	$I_{D,p}$	คือ กระแสเดรสของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส
	$I_{D,n}$	คือ กระแสเดรสของทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส
	W_p	คือ ความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส
	W_n	คือ ความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส
	K_p	คือ ค่ากระแสอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส
	K_n	คือ ค่ากระแสอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส
	$C_{ox;p}$	คือ เกทคาปาซิแตนซ์ของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส
	$C_{ox;n}$	คือ เกทคาปาซิแตนซ์ของทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส
	V_{TP}	คือ ศักดาเทร โวลต์ของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส
	V_{TN}	คือ ศักดาเทร โวลต์ของทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส

ถ้าความหนาของเกตออกไซด์ของทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอสและแบบพีมอสมีค่าเท่ากัน แรงดันอินพุตจะมีค่าเป็น

$$V_{in} = \frac{V_{DD} - |V_{TP}| + \left[\frac{K_n W_n}{K_p W_p} (V_{BE;on} + V_{TN}) \right]}{1 + \left[\frac{K_n W_n}{K_p W_p} \right]} = V_{inv} \quad (2.6)$$

เนื่องจากจุดนี้แรงดันอินพุตจะตกลงจากระดับสัญญาณ “1” ไปยัง “0” อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงเรียกจุดนี้ว่าเป็นจุดกลับของสัญญาณ (inversion point)

5. ช่วงการทำงาน E : $V_{inv} < V_{in} < [V_{DD} - |V_{TP}|]$

ขณะที่แรงดันอินพุตเพิ่มขึ้น แรงดันระหว่างเกตกับซอร์สและกระแสเดรสของทรานซิสเตอร์แบบพีมอสจะลดลง ขณะที่แรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สของทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอสจะเข้าใกล้ศูนย์ ในช่วงนี้แรงดันอินพุต จะมีค่าเกือบเท่ากับ $V_{BE,Q2}$

6. ช่วงการทำงาน F : $[V_{DD} - |V_{TP}|] < V_{in} < [V_{DD} - V_{BE,on}]$

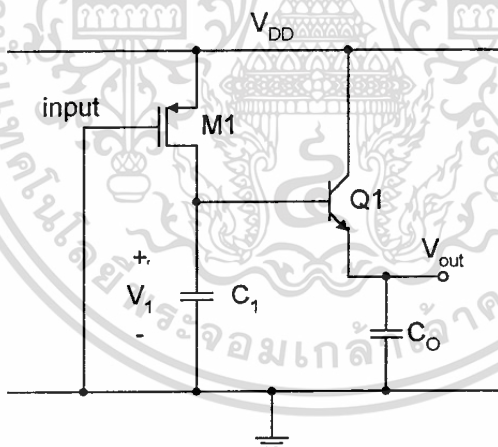
ในช่วงนี้จะแคบมากเนื่องจาก $|V_{TP}|$ และ $V_{BE,on}$ จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยการทำงานในช่วงทรานซิสเตอร์และกระแสของมันจะลดลงอย่างรวดเร็ว

7. ช่วงการทำงาน G : $V_{in} > [V_{DD} - V_{BE,on}]$

ในช่วงนี้ $V_{BE,Q1}$ และ $V_{BE,Q2}$ จะลดลงตามการลดลงของกระแสทรานซิสเตอร์ของทรานซิสเตอร์แบบมอสแต่ละตัวสุดท้ายแรงดันเข้าพุตจะถูกกำหนดโดยกระแสทรานซิสเตอร์ของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส เมื่อ $V_{in} = 5\text{ V}$ และ V_{DS} มีค่าเป็นศูนย์

2.3 คุณสมบัติในการสวิทช์ของวงจรรีเลย์อินเวอร์ตเตอร์ไบพีมอส

รูปที่ 2.3 การทำงานในช่วงการอัดประจุที่เข้าพุต



วงจรรีเลย์อินเวอร์ตเตอร์สามารถอัดประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุที่เข้าพุตด้วยกระแสในระดับมิลลิแอมป์ ทำให้วงจรรีเลย์อินเวอร์ตเตอร์มีความสามารถในการสวิทช์สูง โดยที่จะพิจารณาในส่วนของการ pull-up โดยเป็นช่วงที่อินพุตเปลี่ยนสถานะจาก “1” เป็น “0” หรือเข้าพุตเปลี่ยนสถานะจาก “0” เป็น “1” โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ช่วง [9]

$$t_d = t_1 + t_2 + t_3 \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาช่วงเวลา t_1 ในช่วงนี้ทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 จะเริ่มทำงาน ทำให้มีกระแสไหลไปยังขาเบสของ Q1 เป็นผลให้ Q1 ทำงาน และเกิดการอัดประจุจาก V_{DD} ไปยัง ี้าพุดของวงจรดังรูปที่ 2.3 โดยกำหนดให้ที่ขาเบสของ Q1 มีค่าตัวเก็บประจุเฉลี่ย C_1 และมีแรงดันตกคร่อมที่เวลาใด ๆ เป็น V_1 ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการอัดประจุของตัวเก็บประจุ C_1 ที่เบสของ Q1 เพื่อให้ Q1 เริ่มทำงาน ($V_1 = V_{BE}$) จะเป็น

$$t_1 \cong \left[\frac{(C_1 + C_{BE})}{I_{D;M1}} \right]_{BE;on} \quad (2.8)$$

ขณะที่ $V_{BE,on} \cong 0.7 \text{ V}$

และ

$$I_{D;M1} = \frac{K_p}{2} (V_{GS} - V_{Tp})^2 \quad (2.9)$$

โดยที่ $K_p = \frac{\mu_p C_{ox} W}{L}$

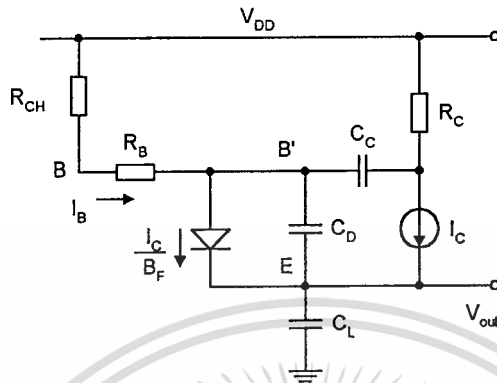
พิจารณาช่วงหน่วงเวลา t_2 โดยที่ช่วงนี้ M1 ทำงานอยู่ในช่วงอิ่มตัว และ Q1 เริ่มนำกระแสเพื่ออัดประจุของโหลดคาปาซิเตอร์เป็นช่วงสัญญาณขาออกมีค่าระหว่าง $0 < V_{out} < [|V_{Tp}| - V_{BE}]$ โดยส่วนใหญ่เป็นช่วงเวลาข้ามผ่านเบส ซึ่งกำหนดจากจำนวนประจุที่ฉีดเข้ายังเบส (Q_n) แล้วข้ามผ่านมาเป็นกระแสคอลเลคเตอร์

$$t_2 = Q_n / I_C \approx \tau_F \quad (2.10)$$

โดยที่ I_C คือ กระแสคอลเลคเตอร์

τ_F คือ Forward transit time

ค่าหน่วงเวลานี้มีค่าค่อนข้างคงที่และมีค่าต่ำ โดยเฉพาะเมื่อทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ทำงานในย่านนำกระแสต่ำ (low-level current) แต่จะเพิ่มความเร็วเมื่อทำงานในย่านนำกระแสสูง (high-level current) เนื่องจากพาหะที่สะสมในเบสเพิ่มขึ้นเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลในช่วงเวลา t_3 

พิจารณาช่วงหน่วงเวลา t_3 [10-11] เมื่อ $V_{out} \geq [V_{Tp} - V_{BE}]$ และ M1 จะทำงานในช่วงเชิงเส้นซึ่งจะสิ้นสุดเมื่อแรงดันขาออกมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันแหล่งจ่าย ($V_{out} = V_{DD}/2$) ซึ่งค่าหน่วงเวลานี้มีความสำคัญที่สุดเมื่อเทียบกับค่าหน่วงเวลาที่กล่าวมาจากวงจรสมมูลในรูปที่ 2.4 กระแสที่ไหลผ่าน M1 สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.11

$$I_B = \frac{V_{DD} - V_{B'E} - V_{out}}{R_{CH} + R_B} \quad (2.11)$$

จากวงจรสมมูลในรูปที่ 2.4 กระแสเบสสามารถเขียนได้เป็น

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} + C_D \frac{dV_{B'E}}{dt} + C_C \frac{d}{dt} [V_{out} + V_{B'E} - (V_{DD} - I_C R_C)] \quad (2.12)$$

เมื่อ $I_C = I_S \exp [(qV_{B'E})/kT]$

$C_D =$ อิมิตอร์-เบสคาปาซิแตนซ์ $= q\tau_F I_C / kT$

$$R_{CH} = \frac{2L}{W_1 \mu_p C_{OX} (V_{DD} - |V_{Tp}|)}$$

ขณะที่ $\frac{dI_C}{dt} = \frac{qI_C}{kT} \cdot \frac{dV_{B'E}}{dt} \quad (2.13)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$\frac{dV_{out}}{dt} = \frac{I_E}{C_L} \approx \frac{I_C}{C_L} \quad (2.14)$$

โดยที่ $t = t_3$, $V_{out} = V_{DD}/2$ และ $dI_C/dt = 0$ จะได้

$$t_3 = \frac{\pi}{2} \sqrt{(R_{CH} + R_B) C_L \tau_F} \quad (2.15)$$

ดังนั้นเวลาในการเปลี่ยนสถานะเข้าพุตจาก “0” เป็น “1” คือ

$$t_d = t_1 + t_2 + t_3 \approx \left[\frac{C_1 + C_{BE}}{I_{D,p}} \right] V_{BE,on} + \tau_F + \frac{\pi}{2} \sqrt{(R_{CH} + R_B) C_L \tau_F} \quad (2.16)$$

2.4 การออกแบบวงจรไบซีมอส

การออกแบบวงจรให้มีประสิทธิภาพสูงสุดการทำงานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยคือการเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับวงจรที่จะออกแบบและผลจากพารามิเตอร์ของวงจร โดยในการออกแบบวงจร ไบซีมอสสามารถแบ่งการทำงานของอุปกรณ์ออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. ส่วนของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ที่ทำหน้าที่ขับวงจร
2. ส่วนของทรานซิสเตอร์แบบมอสที่ทำหน้าที่อินพุต
3. ส่วนของทรานซิสเตอร์แบบมอสที่ทำหน้าที่ในการคายประจุ

2.4.1 ส่วนของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ที่ทำหน้าที่ขับวงจร

สิ่งที่สำคัญในการออกแบบทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์คือการเลือกพื้นที่ของอิมิตอร์ โดยที่พื้นที่ของอิมิตอร์ขึ้นอยู่กับกระแสของคอลเลคเตอร์ ค่าหนึ่งวงเวลาขึ้นกับพื้นที่ของอิมิตอร์ดังสมการที่ 2.17

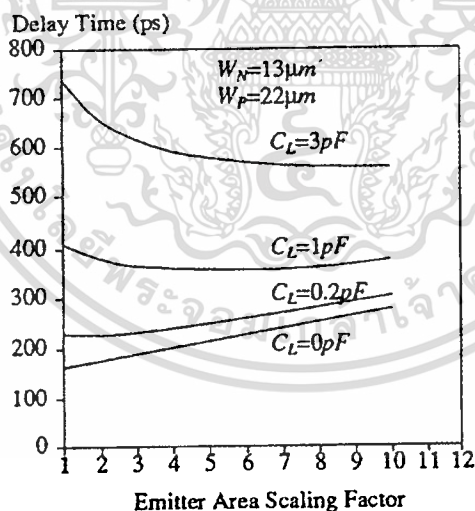
$$t_d \propto 1/\sqrt{A_E} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ A_E เป็นพื้นที่ของอิมิตเตอร์และ τ_d เป็นค่าหน่วงเวลา

จากสมการที่ 2.25 จะได้ว่าเวลาที่ใช้ในการหน่วงเวลาจะแปรผกผันกับพื้นที่ของอิมิตเตอร์เพื่อให้สามารถใช้งานได้กับโหลดที่มีค่าความจุไฟฟ้าสูง ๆ แต่ในความเป็นจริงเนื่องจากในกรณีที่โหลดมีค่าความจุไฟฟ้าสูง ๆ การหน่วงเวลาของวงจรจะลดลงได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้นแล้วจะไม่ลดลงอีก ถึงแม้จะเพิ่มพื้นที่ของส่วนอิมิตเตอร์ขึ้นอีกก็ตาม เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ของส่วนอิมิตเตอร์ก็จะเป็นการไปเพิ่มค่าโครงสร้างแฝงของตัวเก็บประจุด้วย เมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งค่าตัวเก็บประจุในโครงสร้างแฝงที่เกิดขึ้นนี้จะป็นปัจจัยหลักในการกำหนดค่าตัวเก็บประจุที่เข้าชุดของวงจร ซึ่งเหมือนกับตัวเก็บประจุที่เข้าชุดเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการหน่วงเวลาของวงจรเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นในกรณีที่โหลดมีค่าความจุไฟฟ้าน้อย ๆ การเพิ่มพื้นที่ของส่วนอิมิตเตอร์ก็กลับทำให้การหน่วงเวลาของวงจรเพิ่มขึ้น ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว เช่นในกรณีของ $C_L = 0.2 \text{ pF}$ ดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 แสดงการหน่วงเวลาของไบซีมอสเนื่องจากพื้นที่ของอิมิตเตอร์



2.4.2 ส่วนของทรานซิสเตอร์แบบมอสที่ทำหน้าที่อินพุต

การหน่วงเวลาของวงจรไบซีมอสอินเวอร์เตอร์โดยปกติจะลดลงตามการเพิ่มขนาดของอุปกรณ์ในส่วนอินพุตดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นไปตามสมการ

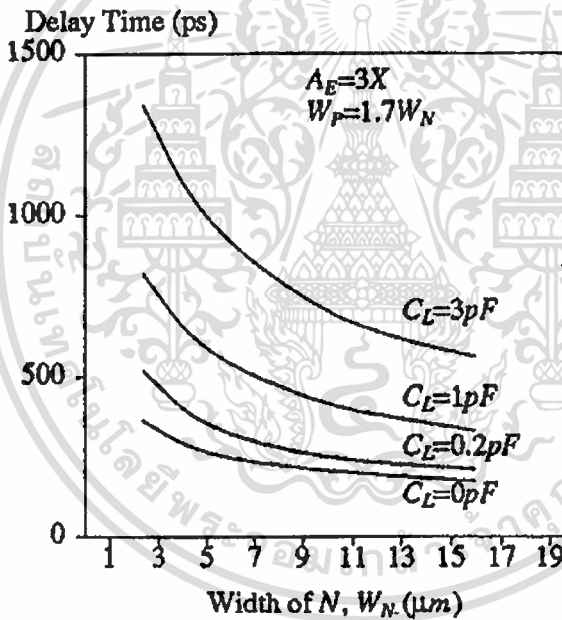
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_d \propto \frac{1}{\sqrt{W}} \quad (2.18)$$

โดยที่ W คือความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอสหรือแบบเอ็นมอส

ถ้าค่าความจุไฟฟ้าที่โหลมีค่าต่ำ ๆ โครงสร้างแฝงของตัวเก็บประจุของมอสทรานซิสเตอร์จะเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดค่าตัวเก็บประจุสุทธิที่เอาต์พุตของวงจร ดังนั้นการเพิ่มค่า W จึงมีผลต่อการหน่วงเวลาของวงจรไม่มากนัก แต่ในกรณีที่ค่าความจุไฟฟ้าที่โหลมีค่าสูง ๆ การเพิ่มขนาดของ W ซึ่งทำให้ค่า I_{DS} เพิ่มขึ้นเป็นผลให้การหน่วงเวลาของวงจรลดลง

รูปที่ 2.6 การหน่วงเวลาของวงจรไบสมอส เนื่องจากขนาดทรานซิสเตอร์แบบมอสในส่วนอินพุต



2.4.3 ส่วนของทรานซิสเตอร์แบบมอสที่ทำหน้าที่ในการคายประจุ

จากวงจรอินเวอร์ตเตอร์ไบสมอสแบบธรรมดา ดังรูปที่ 1.6 [4] ส่วนอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คายประจุที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์แต่ละตัว ถ้ามีขนาดใหญ่ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์สามารถคายประจุได้ง่ายทำให้ใช้เวลาในการปิดได้น้อยลง แต่ในทางปฏิบัติจะเลือกให้มอสทรานซิสเตอร์มีค่าไม่ใหญ่มาก เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการออกแบบ ดังนั้นจึงออกแบบให้มีขนาดไม่ใหญ่มากเพื่อเพียงพอที่จะคายประจุเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กำลังงานที่สูญเสีย

กำลังงานที่สูญเสียในวงจรไบซิมอสประกอบไปด้วย กำลังงานสูญเสียสแตติก (ขึ้นอยู่กับกระแสรั่วอันเนื่องมาจากการบวนการผลิต) และค่ากำลังงานสูญเสียไดนามิก [12]

$$P_d = (C_L + C_i + C_p) V_s^2 f \quad (2.19)$$

โดยที่ C_L คือ ค่าความจุไฟฟ้าภายนอก

C_i คือ ค่าความจุไฟฟ้าภายในอุปกรณ์

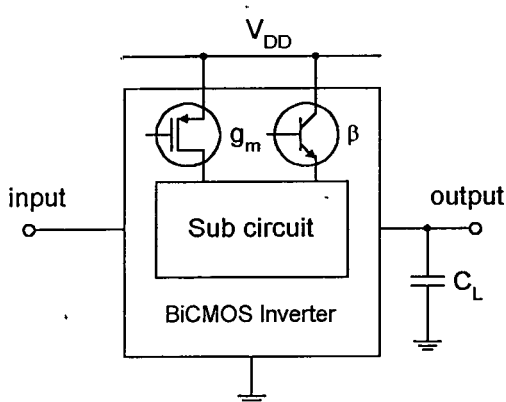
C_p ค่าความจุไฟฟ้าแฝง

V_s คือ ช่วงแอมพลิจูดของสัญญาณ

f คือ ความถี่

ซึ่งในการวัดค่ากำลังงานที่สูญเสียในวงจรจะเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงใช้วิธีการวัดทางอ้อมโดยอาศัยแหล่งจ่ายกระแสควมคุมด้วยศักดา (voltage-controlled current source) หรือ แหล่งจ่ายกระแสควมคุมด้วยกระแส (current-controlled current source) และค่ากระแสที่ถูกดึงจากแหล่งจ่ายไฟเป็นสัดส่วนกับค่าพารามิเตอร์ของอัตราขยายกระแส (β) หรือค่าทรานคอนดักแตนซ์ (g_m) ดังรูปที่ 2.7 คู่วิธีการหาจากภาคผนวก ข จากการใช่วิธีการของ Kang [13] ค่ากำลังงานคือ ค่านอร์มอลไรซ์ของกระแสที่ถูกดึงจากแหล่งจ่ายไฟ คูณกับ g_m ของมอสและ β ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟ

รูปที่ 2.7 แสดงการวัดกำลังงานที่สูญเสียทางอ้อม



บทที่ 3

วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอส

3.1 บทนำ

วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาตามรูปที่ 1.6 เป็นวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสมาตรฐานแต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องศักดาแกว่งเต็มช่วง (Full-Voltage Swing) [4] และสถานะ “0” และ “1” มีความไม่สมมาตรจึงมีการเสนองจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบศักดาแกว่งเต็มช่วง (Full-Voltage Swing BiCMOS Inverter) เพื่อแก้ไขปัญหานี้

3.2 วงจรศักดาแกว่งเต็มช่วงไบซีมอส (Full-Voltage Swing BiCMOS)

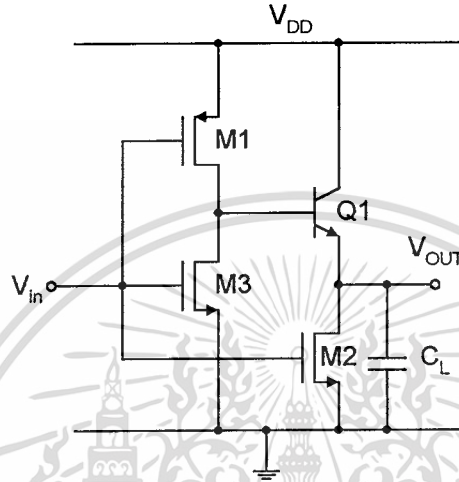
ในการออกแบบวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสสิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือการทำให่วงจรสามารถมีศักดาแกว่งเต็มช่วงโดยการลดหรือกำจัดศักดา V_{BE} ที่สูญเสียในวงจรไบซีมอสซึ่งทำให้ศักดาแกว่งได้ไม่เต็มช่วงและทำให้มีสัมประสิทธิ์ของศักดาที่ใช้ในการขับวงจรลดลง V_{BE} ที่สูญเสียไม่สามารถลดลงได้โดยการลดแหล่งจ่ายศักดา ผลที่เกิดขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของวงจรลดต่ำลงเมื่อแหล่งจ่ายศักดาอยู่ในระดับต่ำ สาเหตุสำคัญของการสูญเสียประสิทธิภาพในส่วนของ pull-down ของวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาตามรูปที่ 1.6 โดยที่ V_{GS} ของทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอสจะมีค่าเท่ากับ $[V_{DD}-2V_{BE}]$ ขณะที่ V_{DD} ลดลง V_{GS} ก็จะลดลงด้วยผลก็คือการลดลงของกระแสและความสามารถในการขับวงจรของวงจรไบซีมอสลดลง

จะมีวิธีการลดผลจากการสูญเสียของ V_{BE} อยู่ 3 วิธี คือ

1. การใช้วงจรไบเอ็นมอส (BiNMOS)
2. การปรับปรุงวงจรไบซีมอสพื้นฐาน
3. การใช้วงจร Complementary และ Quasi-complementary ไบซีมอส

3.2.1 วงจรไบเอ็นมอส (BiNMOS)

รูปที่ 3.1 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบเอ็นมอส

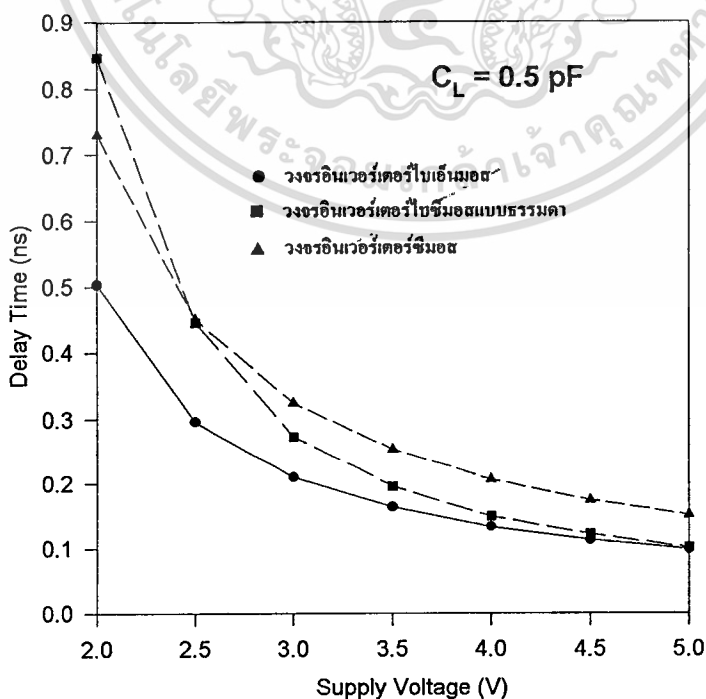


วงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบเอ็นมอสดังรูปที่ 3.1 [14-15] เป็นการรวมกันในส่วน pull-up ของวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาตามรูปที่ 1.6 และทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส โดยที่ในส่วน pull-down ของวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบเอ็นมอสสามารถแทนด้วยวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบเอ็นมอสที่สามารถที่จะจำกัด V_{BE} ที่สูญเสียในส่วน pull-down และลดพื้นที่ของวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบเอ็นมอสแบบธรรมดาเมื่อเทียบกับ V_{DD} เท่ากัน ดังรูปที่ 3.2 เมื่อพิจารณาที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 0.5 pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ จากการคำนวณจะพบว่าวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบเอ็นมอสจะใช้ค่าน้อยกว่าวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 2.86% และมีค่าน้อยกว่าวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 53.40% ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบเอ็นมอสจะใช้ค่าน้อยกว่าวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 68.44% และมีค่าน้อยกว่าวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 45.28% เมื่อพิจารณาที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 5 pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ดังรูปที่ 3.3 จะพบว่าวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบเอ็นมอสจะใช้ค่าน้อยกว่าวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 69.97% และมีค่าน้อยกว่าวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 87.04% ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบเอ็นมอสจะใช้ค่าน้อยกว่าวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 41.53% และมีค่าน้อยกว่าวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 78.81% จากการเปรียบเทียบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

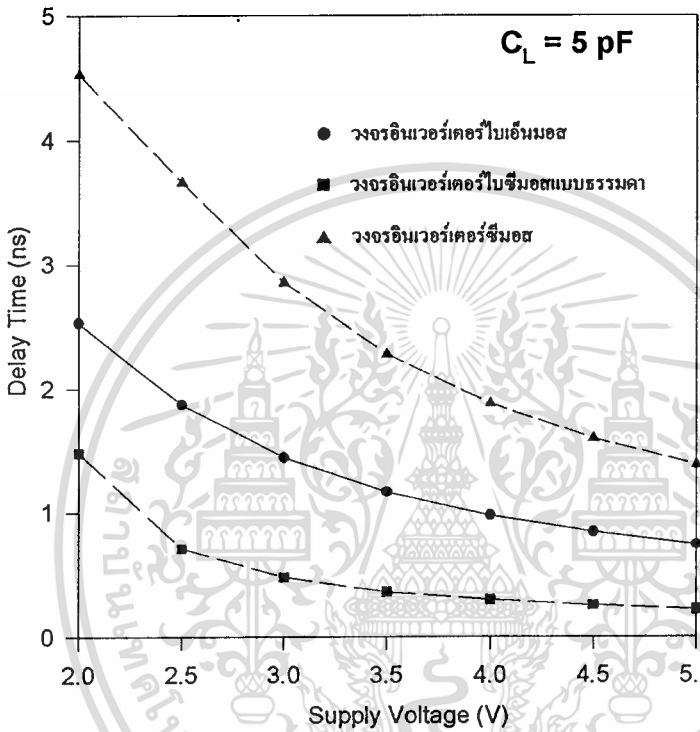
เมื่อวงจรมีโหลดคาปาซิเตอร์สูงขึ้นวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสใช้การหน่วงเวลามากกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดา การทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสเมื่ออินพุตมีสถานะเป็น “0” ทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็มอส M1 จะทำงาน โดยที่ M1 จะควบคุมการไหลของกระแสไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์แบบไอพอลาร์ชนิดเอ็นพีเอ็น Q1 เพื่อให้ Q1 ทำงาน และทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส M3 จะทำหน้าที่ในการคายประจุที่แหล่งจ่ายของ Q1 และเมื่ออินพุตมีสถานะเป็น “1” ทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็มอส M2 จะทำงาน โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวขั้ววงจรและทำหน้าที่ในการคายประจุที่ตกค้าง โดยจะมีรูปคลื่นอินพุตต่อเอาพุตดังรูปที่ 3.4

ในการศึกษาคุณสมบัติทางไฟตรงของวงจรไบซีมอสตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดคุณสมบัติทางสัญญาณไฟตรงคือ V_{OH} , V_{OL} , ช่วงเผื่อสัญญาณ (Noise margin) และแรงดันวิกฤติของวงจร [2] โดยสามารถอธิบายได้โดยใช้กราฟแสดงคุณสมบัติการถ่ายโอนแรงดันดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจะได้ค่า $V_{OH} = 4.42\text{ V}$ และ $V_{OL} = 0\text{ V}$

รูปที่ 3.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายตักคายของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 0.5\text{ pF}$



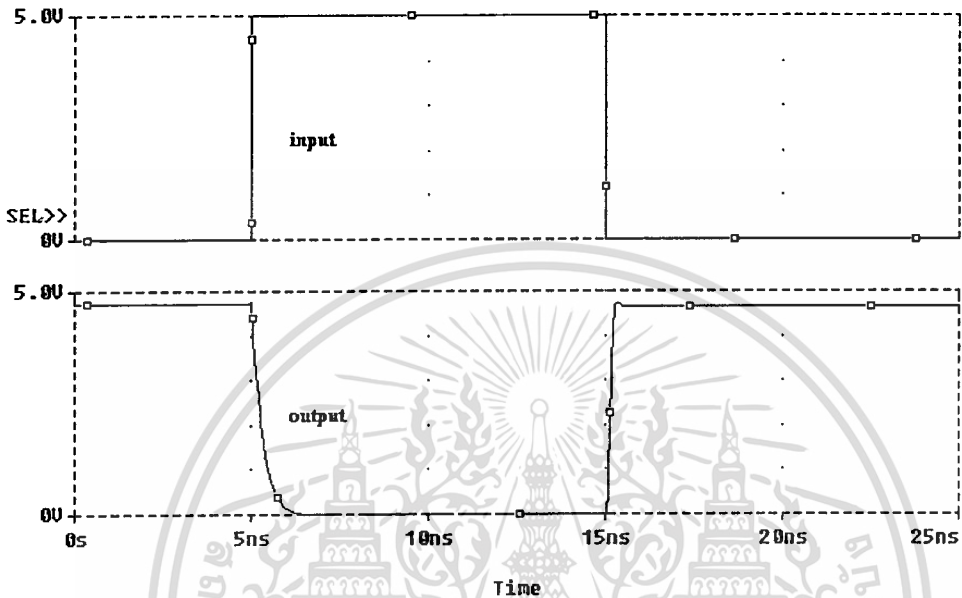
รูปที่ 3.3 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วยเวลาและแหล่งจ่ายคักคาของวงจรรีจิสเตอร์ไบเอินมอส วงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรีจิสเตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 5$ pF



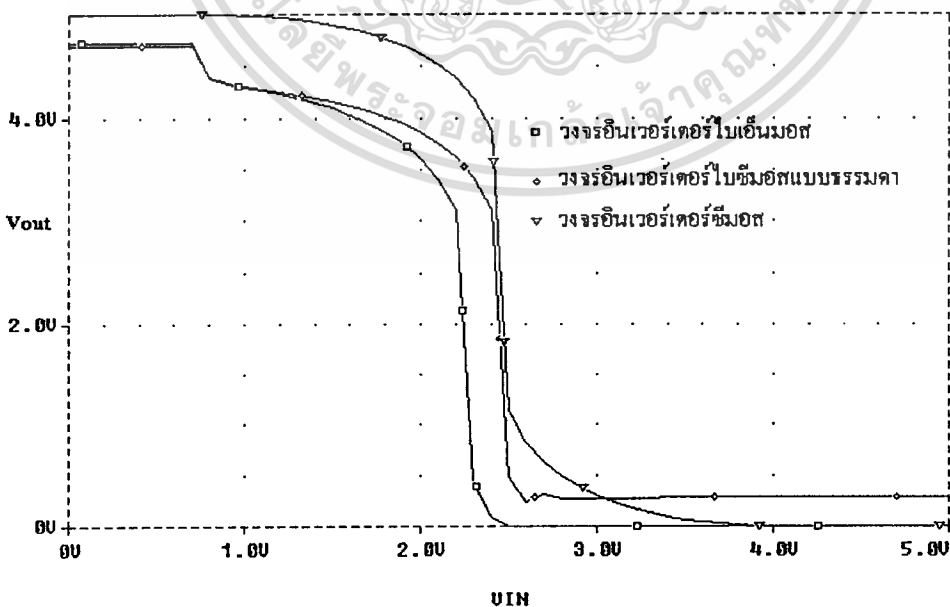
ส่วนในการศึกษาคุณสมบัติทางสวิทซ์ของวงจรรีจิสเตอร์ไบเอินมอสโดยเปลี่ยนสัญญาณอินพุตให้เพิ่มขึ้นทีละน้อยในลักษณะของสัญญาณพัลส์ จากนั้นวัดค่าเวลาที่เปลี่ยนไปต่อแรงดันดังรูปที่ 3.6 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรรีจิสเตอร์ไบเอินมอส วงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรีจิสเตอร์ซีมอสเมื่อ $C_L = 1$ pF และรูปที่ 3.7 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ส่วนรูปที่ 3.8 เป็นการเปรียบเทียบผลตอบสนองของวงจรรีจิสเตอร์ไบเอินมอสโดยที่ $C_L = 1$ pF ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5$ V

วงจรรีจิสเตอร์ไบเอินมอสมีข้อเสียเปรียบอยู่ 2-ประการคือ มีสถานะ “0” และ “1” ที่ไม่สมมาตร ดังรูปที่ 3.5 และมีเอาพุตที่สูงแค่ $V_{DD} - V_{BE}$ แทนที่จะเป็น V_{DD} ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นเข้าพุทเปรียบเทียบกับอินพุทของวงจรรีเลย์ไบนารีเมื่อ $C_L = 1$ pF ที่ $V_{DD} = 5$ V

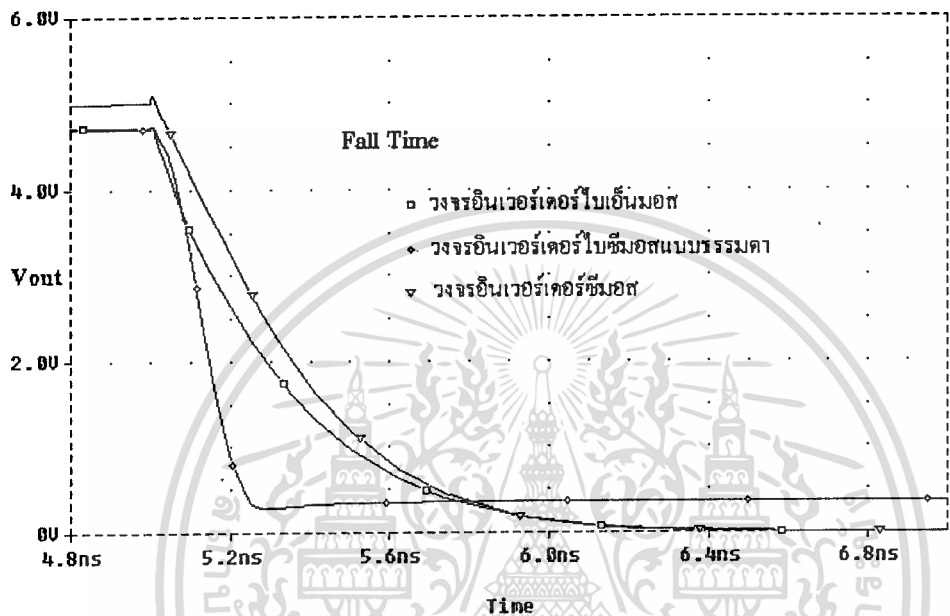


รูปที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรรีเลย์ไบนารีโมสกับวงจรรีเลย์ไบนารีโมสแบบธรรมดาและวงจรรีเลย์ไบนารีซีมอส

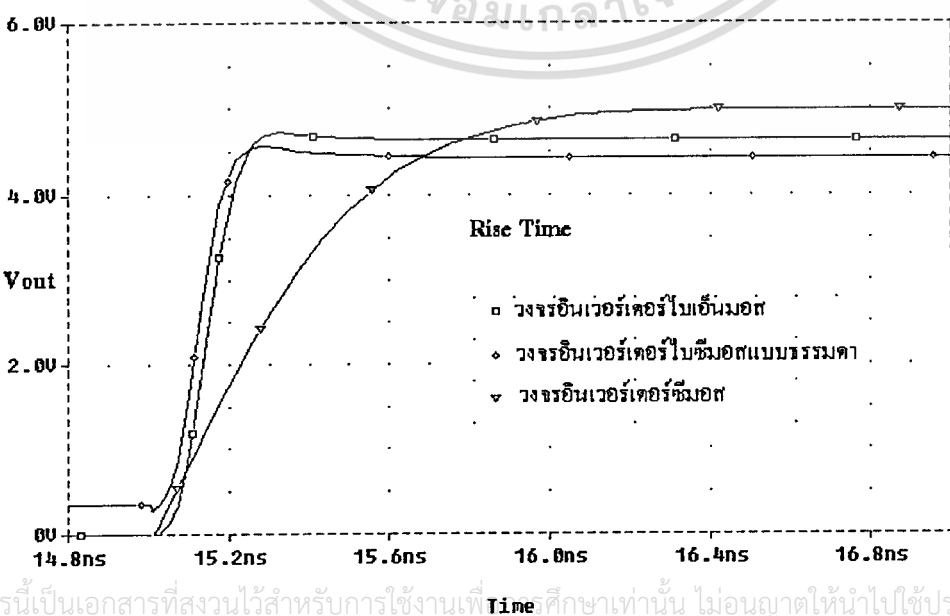


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ ของวงจรมอสเฟตแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตแบบธรรมดาเมื่อ $C_L = 1pF$ ที่ $V_{DD} = 5 V$



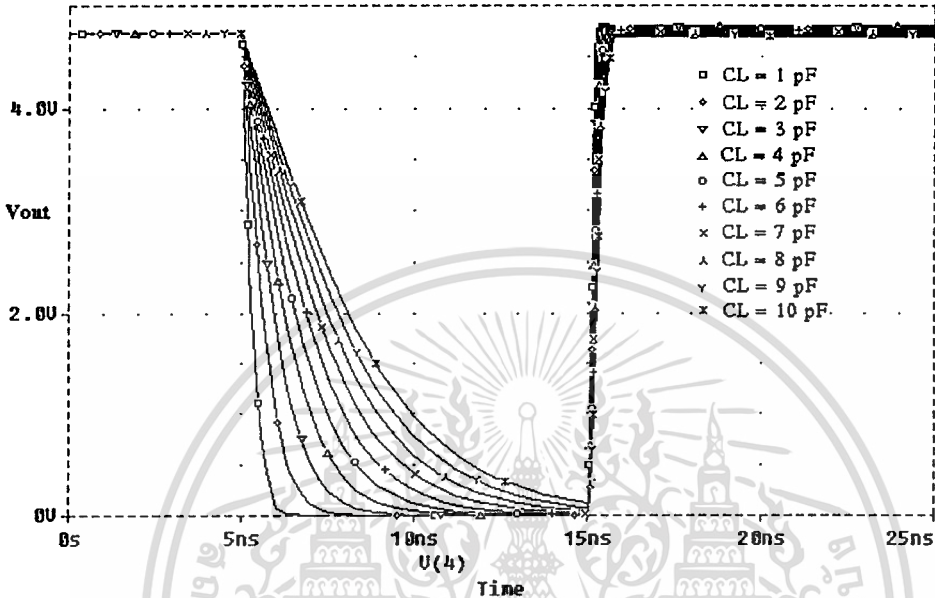
รูปที่ 3.7 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ ไปยัง V_{DD} ของวงจรมอสเฟตแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตแบบธรรมดาเมื่อ $C_L = 1pF$ ที่ $V_{DD} = 5 V$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า...
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 แสดงผลการตอบสนองของวงจรมอนิเตอร์ไบเอินมอส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ถึง 10pF ที่

$$V_{DD} = 5\text{ V}$$



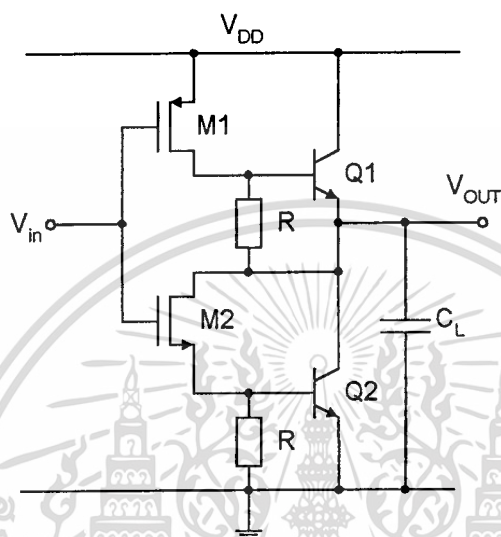
3.2.2 การปรับปรุงวงจรมอนิเตอร์ไบเอินมอส

ในการปรับปรุงวงจรมอนิเตอร์ไบเอินมอสให้สามารถมีสัปดาห์เต็มช่วงจะใช้วงจรมอนิเตอร์ไบเอินมอสแบบแรกดังรูปที่ 1.2 นำมาปรับปรุงโดยเราใช้เทคนิคการขนาน (Shunting Techniques) [3] ซึ่งจะสามารถปรับปรุงได้ 4 วิธีคือ

1. วงจรไบเอินมอสโดยใช้วิธีเบส-อิมิตเตอร์ขนานกับความต้านทาน
2. วงจรไบเอินมอสโดยใช้วิธีเบส-อิมิตเตอร์ขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส
3. วงจรไบเอินมอสโดยใช้วิธีเบส-อิมิตเตอร์ขนานกับวงจรป้อนกลับ
4. วงจรไบเอินมอสขนานกับคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์

3.2.2.1 วงจรอินเวอร์เตอร์ไปซิมอสขนานกับความต้านทาน

รูปที่ 3.9 วงจรอินเวอร์เตอร์ไปซิมอสขนานกับความต้านทาน



ได้มีความพยายามเพื่อให้วงจรมีความสามารถแกว่งได้เต็มช่วงโดยการแบ่งรอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ของสองเข้าพุตทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์กับความต้านทาน วงจรอินเวอร์เตอร์ไปซิมอสที่ขนานกับความต้านทานดังแสดงรูปที่ 3.9 [16] โดยที่ความต้านทานจะช่วยทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสในการอัดประจุหรือ/และคายประจุในส่วนโหนดคาปาซิเตอร์ (C_L) เมื่อค่าศักดาเข้าพุตเข้าใกล้ V_{BE} ในการทำงานเมื่ออินพุตมีสถานะเป็น “0” ทำให้ทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ทำงานและให้กระแสตรงไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ชนิดเอ็นพีเอ็น Q1 ทำให้ Q1 ทำงาน เมื่อถึงเวลาในการอัดประจุของโหนดคาปาซิเตอร์จะเสร็จ Q1 จะไม่ทำงาน โดยในขณะนั้น M1 และความต้านทาน (R) จะแบ่งกระแสในการอัดประจุเพื่อให้เข้าพุตสามารถแกว่งได้ถึง V_{DD} ในทำนองเดียวกันเมื่ออินพุตมีสถานะเป็น “1” ทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส M2 จะทำงาน และเมื่อถึงเวลาในการคายประจุของโหนดคาปาซิเตอร์จะเสร็จ Q2 จะไม่ทำงาน โดยในขณะนั้น M2 และความต้านทาน (R) จะแบ่งกระแสในการคายประจุเพื่อให้เข้าพุตสามารถแกว่งได้ถึงกราวด์

ในการทำให้ศักดาแกว่งได้เต็มช่วงนั้นความต้านทานจะต้องมีค่าที่เพียงพอให้กระแสไหลผ่านเพื่อในการอัดประจุหรือการคายประจุที่เวลาในการอัดประจุและการคายประจุในช่วงสุดท้าย ดังนั้นที่ค่าความต้านทานน้อย ๆ ศักดาที่ใช้ในการขับทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์จะลดลงเนื่อง

จากกระแสเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่ขาเบสและทำให้ค่าหนึ่งเวลาที่ใช้ในการเริ่มอัดประจุและการคาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

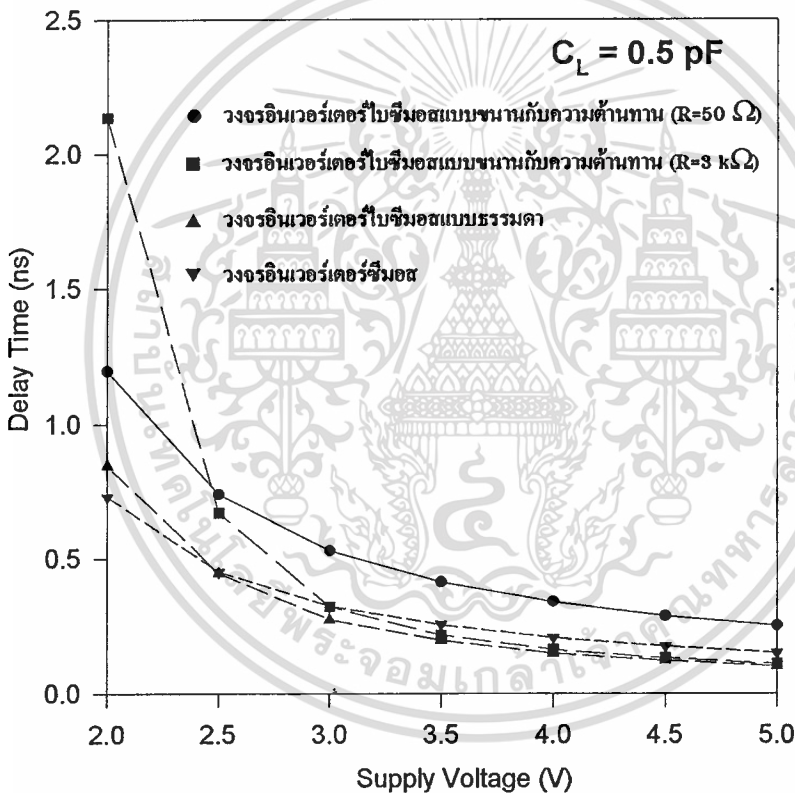
ประจักษ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นวงจรนี้จึงไม่สามารถที่จะให้สัปดาห์กว้างได้เต็มช่วงเมื่อโหลดคาปาซิเตอร์มีค่ามากและ/หรือความถี่ในการสวิตช์ซึ่งมีค่าสูงเนื่องจากการต้องเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสม ดังรูปที่ 3.12 แสดงรูปคลื่นของวงจรไบซีมอสโดยใช้เบส-อิมิตเตอร์ขนานกับความต้านทาน

เมื่อพิจารณาที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 0.5 pF และ $R = 50 \text{ } \Omega$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ดังรูปที่ 3.10 จากการคำนวณจะพบว่าวงจรไบซีมอสโดยใช้เบส-อิมิตเตอร์ขนานกับความต้านทานจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 59.66% และมีค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 39.84% ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรอินเวอร์เตอร์ไบเอินมอสจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 29.30% และมีค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 39.02% ถ้า $R = 3 \text{ k}\Omega$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ วงจรไบซีมอสโดยใช้เบส-อิมิตเตอร์ขนานกับความต้านทานจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 7.31% และมีค่าหน่วยเวลาน้อยกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 38.22% ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรอินเวอร์เตอร์ไบเอินมอสจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 60.34% และมีค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 65.80% เมื่อพิจารณารูปที่ 3.11 ที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 5 pF และ $R = 50 \text{ } \Omega$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ จากการคำนวณจะได้ว่าวงจรไบซีมอสโดยใช้เบส-อิมิตเตอร์ขนานกับความต้านทานจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 86.31% และมีค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 14.72% ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรไบซีมอสโดยใช้เบส-อิมิตเตอร์ขนานกับความต้านทานจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 70.36% และมีค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 9.38% ถ้า $R = 3 \text{ k}\Omega$ วงจรไบซีมอสโดยใช้เบส-อิมิตเตอร์ขนานกับความต้านทานจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 1.44% และมีค่าหน่วยเวลาน้อยกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 5.13 เท่า ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรไบซีมอสโดยใช้เบส-อิมิตเตอร์ขนานกับความต้านทานจะใช้ค่าหน่วยเวลาน้อยกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 69.06% และมีค่าหน่วยเวลาน้อยกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 5.20 เท่า

ส่วนคุณสมบัติทางไฟตรงของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับความต้านทานแสดงคุณสมบัติการถ่ายโอนแรงดันดังรูปที่ 3.13 ซึ่งจะได้ค่า $V_{OH} = 5 \text{ V}$ และ $V_{OL} = 0 \text{ V}$ และในส่วนคุณสมบัติทางสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับความต้านทานโดยเปลี่ยนสัญญาณอินพุตให้เพิ่มขึ้นที่น้อยในลักษณะของสัญญาณพัลส์ จากนั้นวัดค่าเวลาที่เปลี่ยนไปต่อแรงดันดังรูปที่ 3.14 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับความต้านทาน วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ และรูปที่ 3.15 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ใน

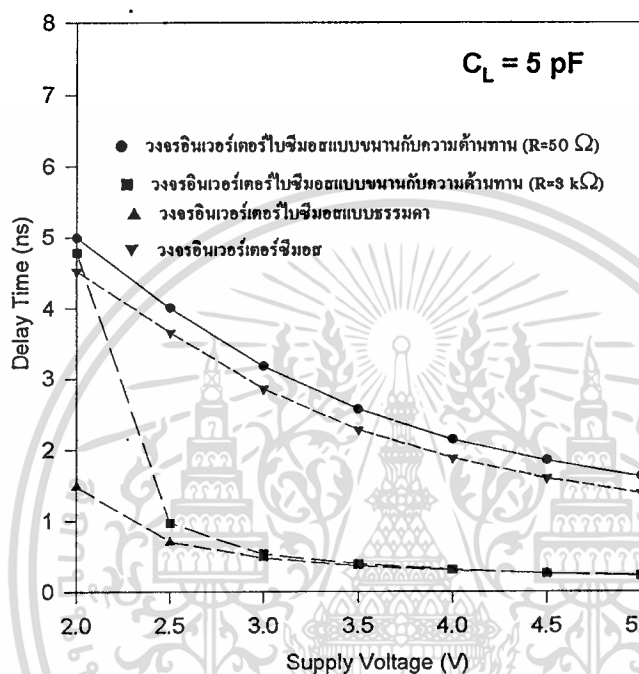
การเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ส่วนรูปที่ 3.16 เป็นการเปรียบเทียบผลตอบสนองของวงจรมอสเฟตไบโพลาร์โดยที่ $C_L = 1$ pF ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5$ V

รูปที่ 3.10 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรมอสเฟตไบโพลาร์กับความต้านทาน วงจรมอสเฟตไบโพลาร์แบบธรรมดาและวงจรมอสเฟตไบโพลาร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 0.5$ pF

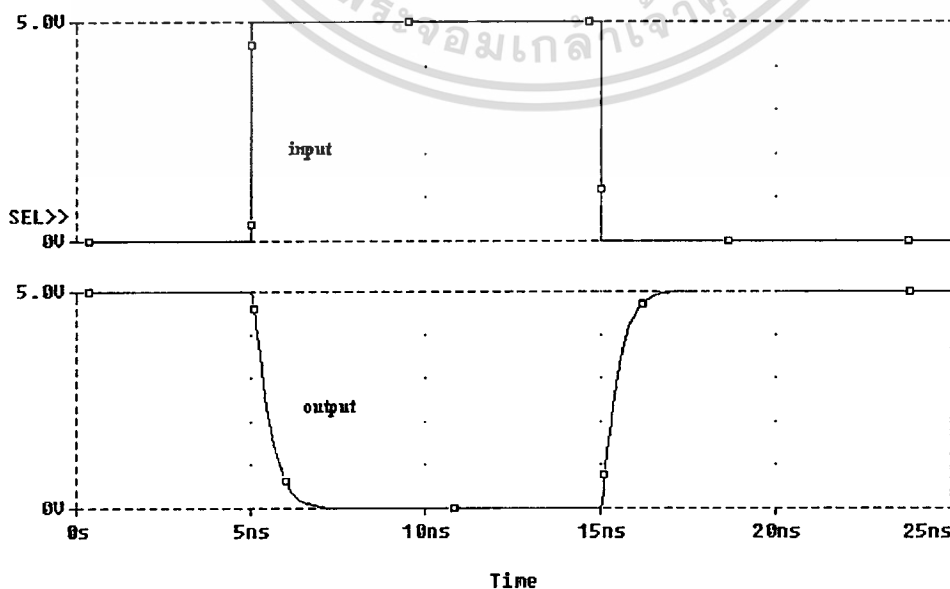


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายตักคาของวงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสแบบธรรมดาเมื่อ $C_L = 5 \text{ pF}$

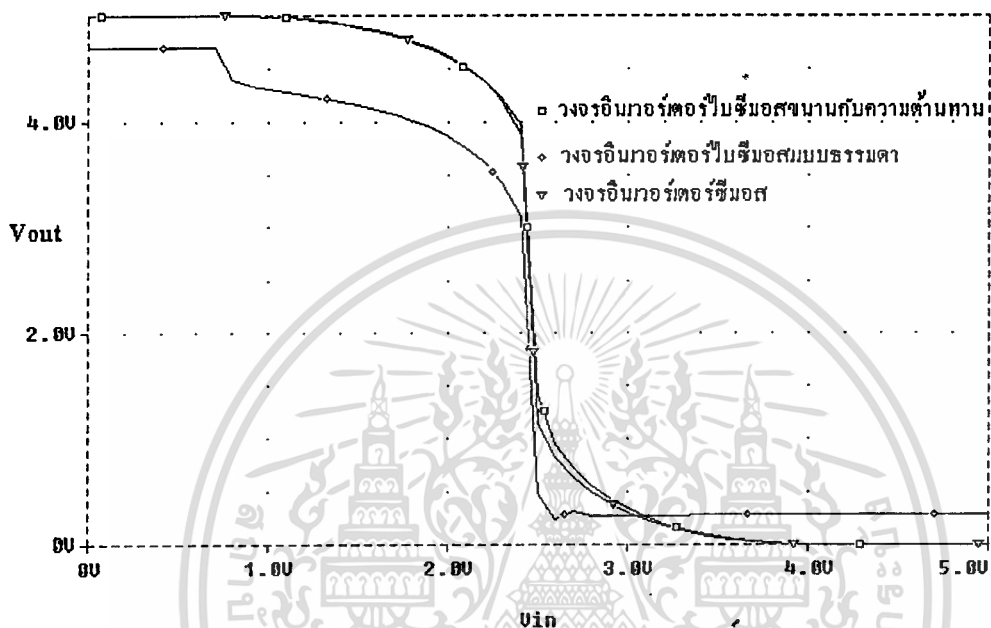


รูปที่ 3.12 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรมอสแบบธรรมดาที่มีความต้านทาน เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

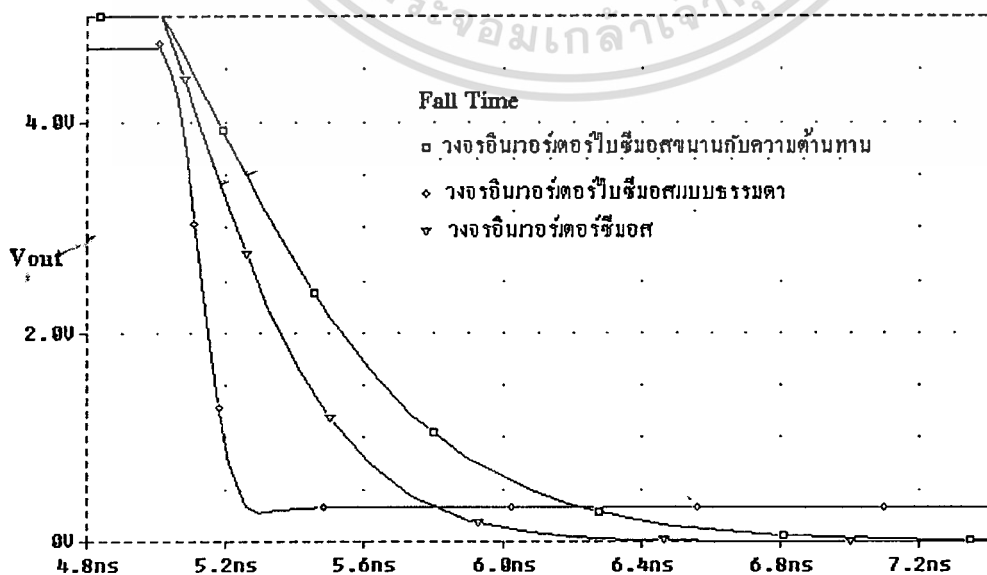


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสแบบซิมอส

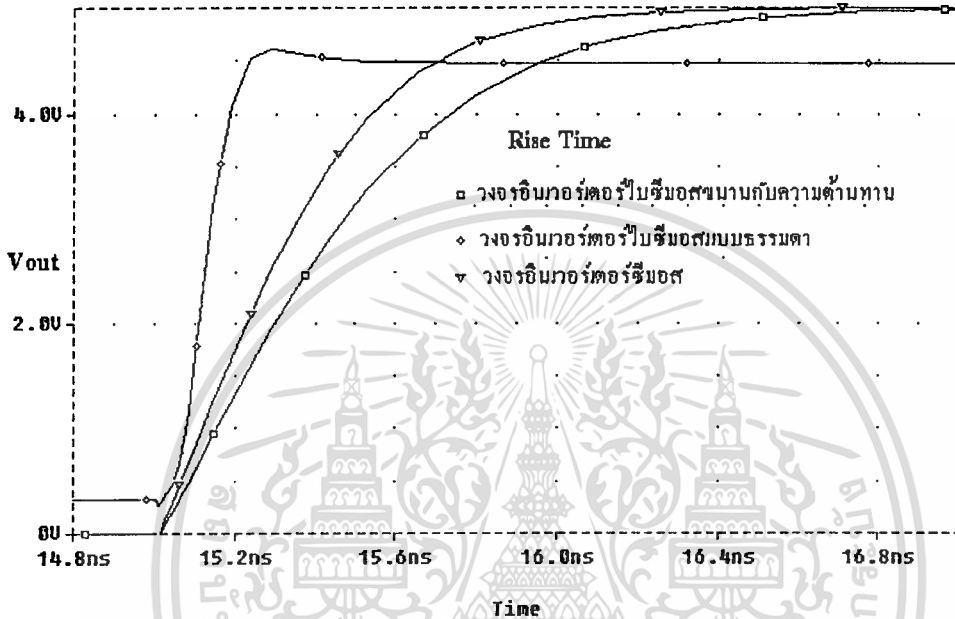


รูปที่ 3.14 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรมอสแบบซิมอสขนานกับความต้านทาน วงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสซิมอสเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

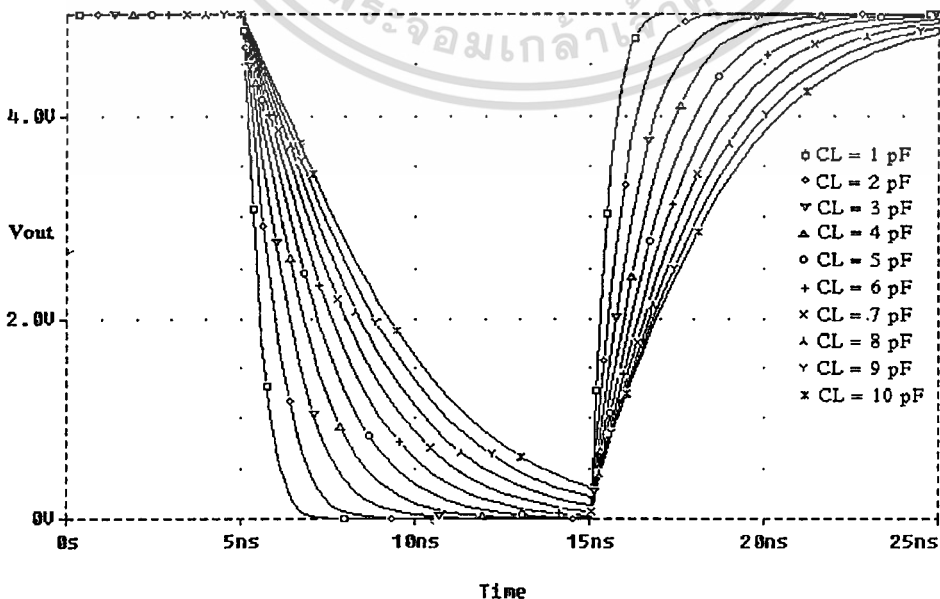


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ของวงจรมอนิเตอร์ไบซิมอสขนานกับความต้านทาน วงจรมอนิเตอร์ไบซิมอสแบบธรรมดาและวงจรมอนิเตอร์ซิมอสเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



รูปที่ 3.16 แสดงผลการตอบสนองของวงจรมอนิเตอร์ไบซิมอสขนานกับความต้านทาน เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

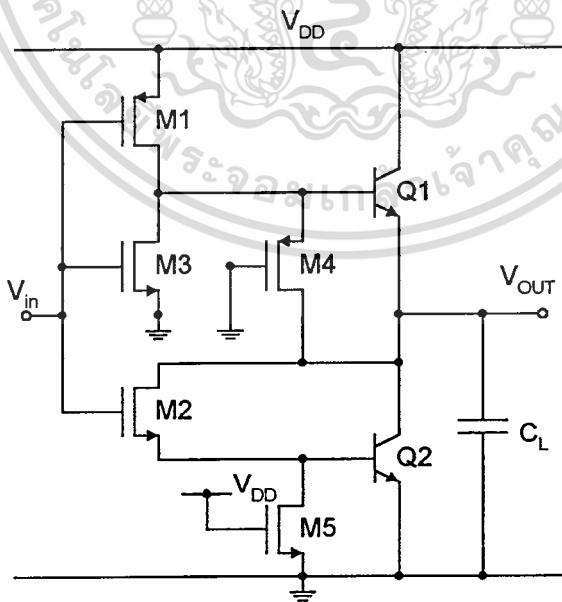


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

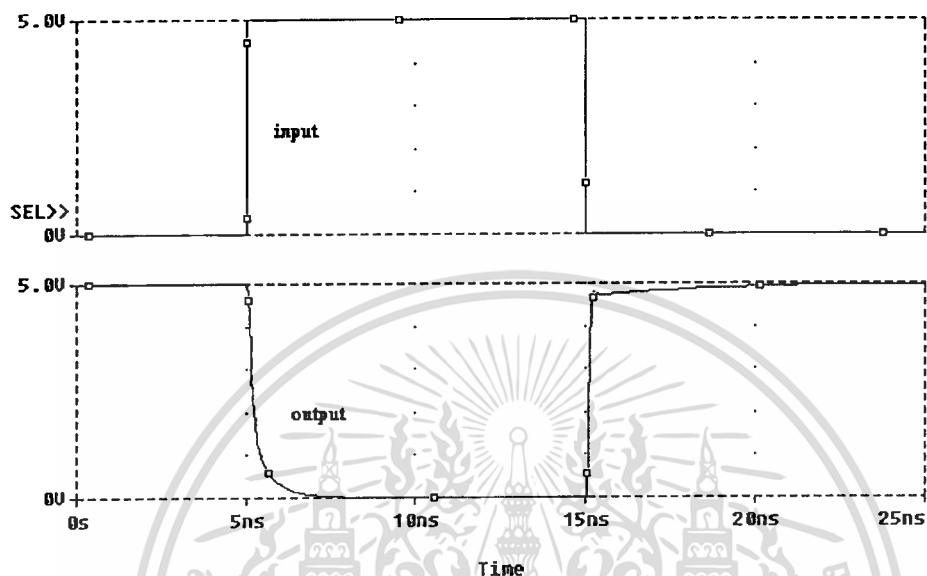
3.2.2.2 วงจรไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส

วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสโดยใช้วิธีเบส-อิมิตเตอร์ขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส ดังรูปที่ 3.17 [16] ซึ่งวงจรนี้เหมือนกับวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับความต้านทานโดยแทนความต้านทานด้วยทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสซึ่งจะถูกแทนที่ด้วยทรานซิสเตอร์แบบพีมอส (M4) และเอ็นมอส (M5) การทำงานของวงจรเมื่ออินพุตมีสถานะเป็น “0” ทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 จะทำงานและให้กระแสไหลผ่านไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ชนิดเอ็นพีเอ็น Q1 ซึ่งทำให้ Q1 ทำงาน ส่วนทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M4 จะช่วยในการอัดประจุเพื่อให้เอาต์พุตแคว้งได้ถึง V_{DD} และเมื่ออินพุตมีสถานะเป็น “1” ทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส M2 จะทำงาน ซึ่งทำให้ Q2 ทำงานด้วย ส่วนทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส M5 จะช่วยในการคายประจุเพื่อให้เอาต์พุตแคว้งได้ถึงกราวด์ แต่วงจรนี้มีข้อเสียคือทั้ง M4 และ M5 จะทำงานตลอดเวลา ดังรูปที่ 3.18 ที่แสดงรูปคลื่นเอาต์พุตเทียบกับอินพุตของ วงจรไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

รูปที่ 3.17 วงจรไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส



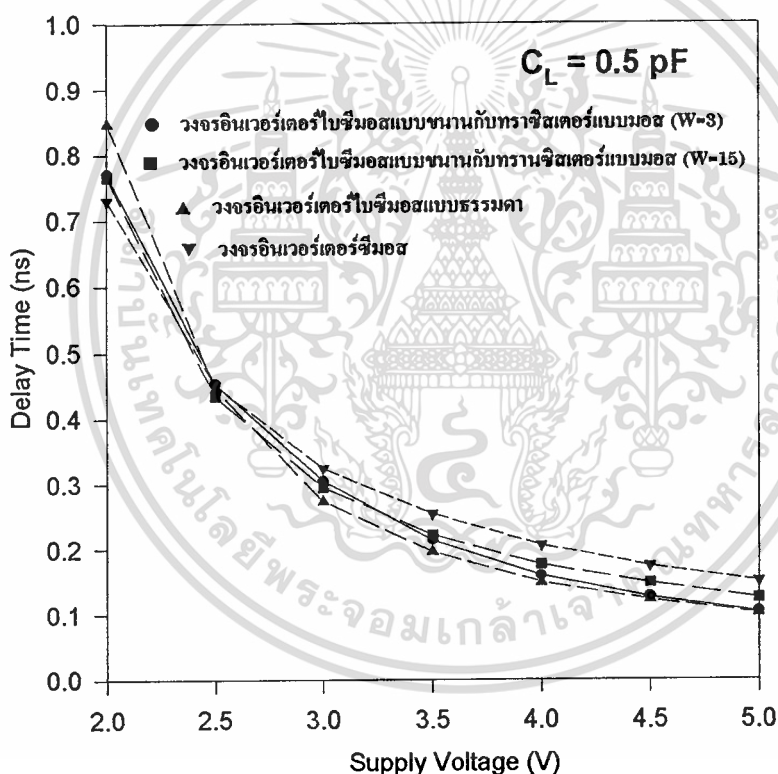
รูปที่ 3.18 แสดงรูปคลื่นเข้าพุทเทียบกับอินพุทของวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



เมื่อพิจารณาที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 0.5 pF และ $W = 3 \mu\text{m}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ดังรูปที่ 3.19 จากการคำนวณจะพบว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 2.37% และมีค่าหน่วยเวลาน้อยกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 45.59% ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสจะใช้ค่าหน่วยเวลาน้อยกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 9.86% และมีค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 5.24% ถ้า $W = 15 \mu\text{m}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 18.94% และมีค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 20.88% ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสจะใช้ค่าหน่วยเวลาน้อยกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 10.64% และมีค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 4.57% เมื่อพิจารณารูปที่ 3.20 ที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 5 pF และ $W = 3 \mu\text{m}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ซึ่งจากการคำนวณจะได้ว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 6.86% และมีค่าหน่วยเวลาน้อยกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 4.80 เท่า ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 36.13% และมีค่าหน่วยเวลาน้อยกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 95.32% ถ้า $W = 15 \mu\text{m}$ วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสจะใช้ค่าหน่วยเวลามากกว่าวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 59.52% และมีค่าหน่วยเวลาน้อยกว่าวงจรริน

เวอ์เตอร์ซิมอสอยู่ 1.52 เท่า ที่ $V_{DD} = 2\text{ V}$ วงจรไบซิมอสขนานกับความต้านทานจะใช้ค่าน่วงเวลามากกว่าวงจรไบซิมอสแบบธรรมดาอยู่ 34.44% และมีค่าน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรถิณเวอ์เตอร์ซิมอสอยู่ 1.00 เท่า

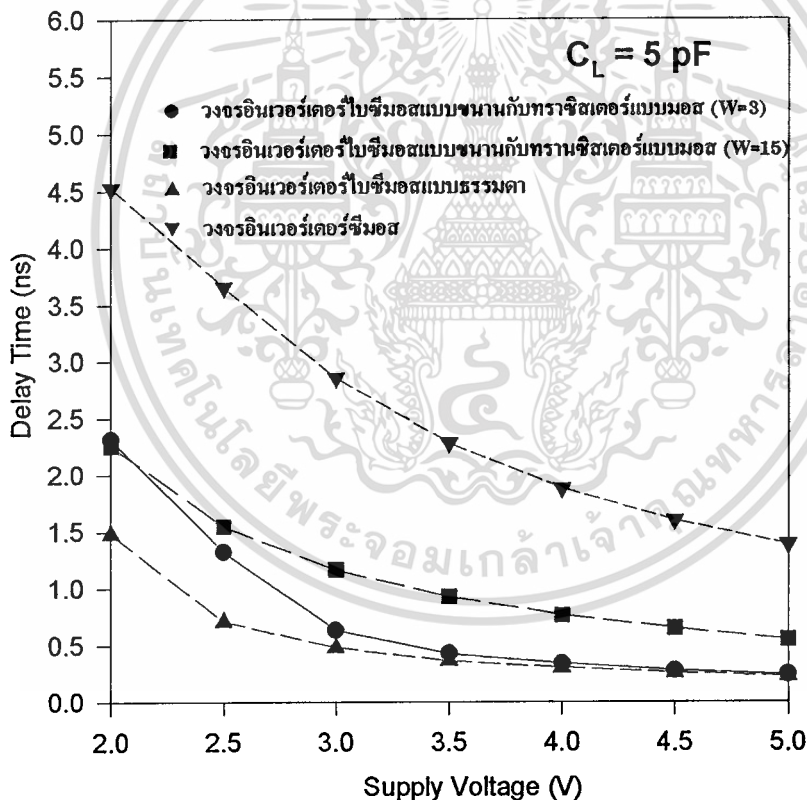
รูปที่ 3.19 การเปรียบเทียบระหว่างค่าน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าของวงจรถิณเวอ์เตอร์ไบซิมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส วงจรถิณเวอ์เตอร์ไบซิมอสแบบธรรมดาและวงจรถิณเวอ์เตอร์ซิมอส เมื่อ $C_L = 0.5\text{ pF}$



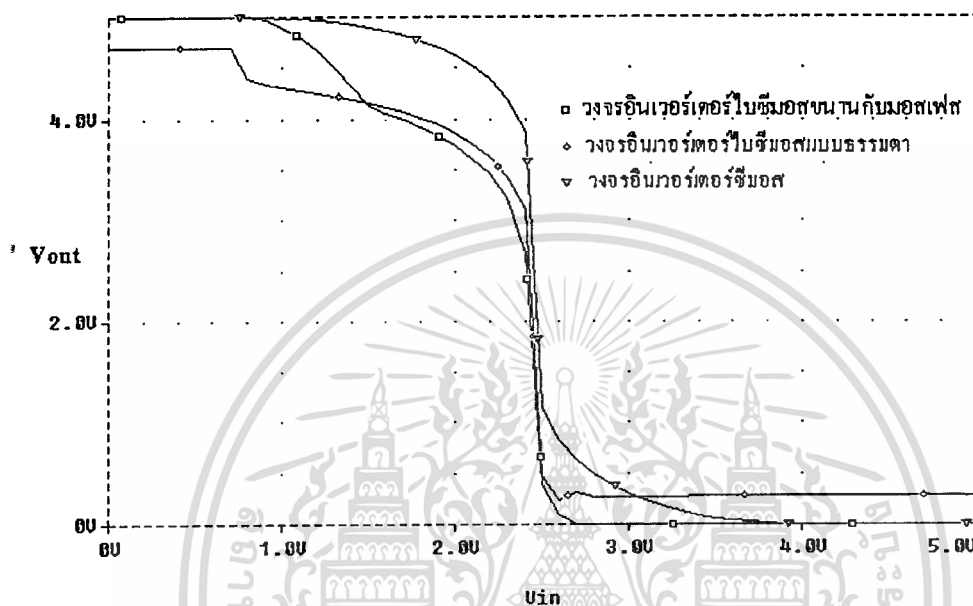
ส่วนคุณสมบัติทางไฟตรงของ วงจรไบซิมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสแสดงคุณสมบัติการถ่ายโอนแรงดันดังรูปที่ 3.21 ซึ่งจะได้ค่า $V_{OH} = 5\text{ V}$ และ $V_{OL} = 0\text{ V}$ และในส่วนคุณสมบัติทางสวิทช์ซิงของวงจรไบซิมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสโดยเปลี่ยนสัญญาณอินพุตให้เพิ่มขึ้นทีละน้อยในลักษณะของสัญญาณพัลส์ จากนั้นวัดค่าเวลาที่เปลี่ยนไปต่อแรงดันดังรูปที่ 3.22 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรไบซิมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส วงจรถิณเวอ์เตอร์ไบซิมอสแบบธรรมดา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และวงจรมอนิเตอร์ซีมอสเมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ และรูปที่ 3.23 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ส่วนรูปที่ 3.24 เป็นการเปรียบเทียบผลตอบสนองของ วงจรไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟสโดยที่ $C_L = 1\text{ pF}$ ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$

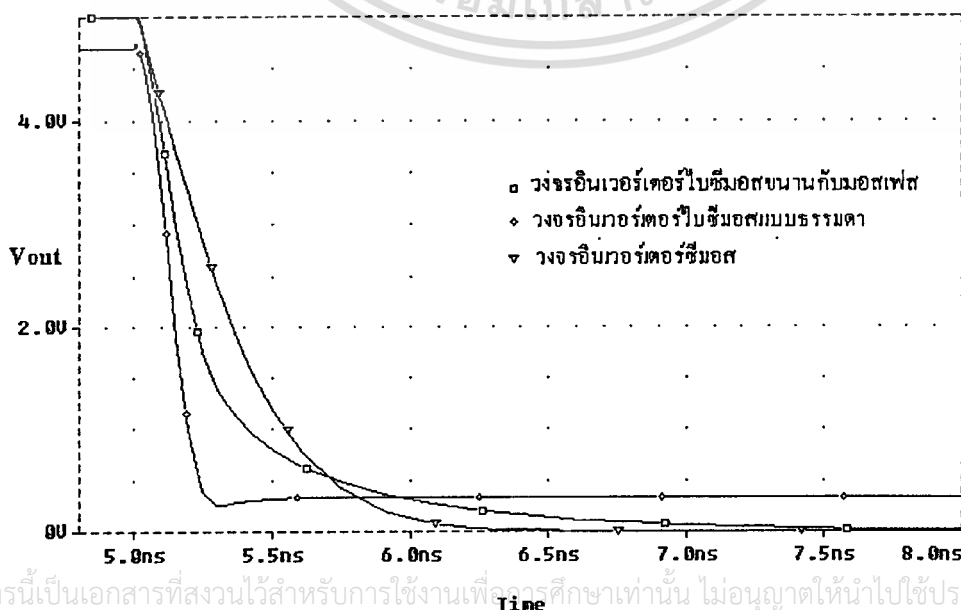
รูปที่ 3.20 การเปรียบเทียบระหว่างกำหนด่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบขนานกับมอสเฟส วงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรมอนิเตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 5\text{pF}$



รูปที่ 3.21 แสดงการเปรียบเทียบที่ขาคูสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรมอสเฟตกับมอสเฟตกับวงจรมอสเฟตแบบธรรมดาและวงจรมอสเฟต

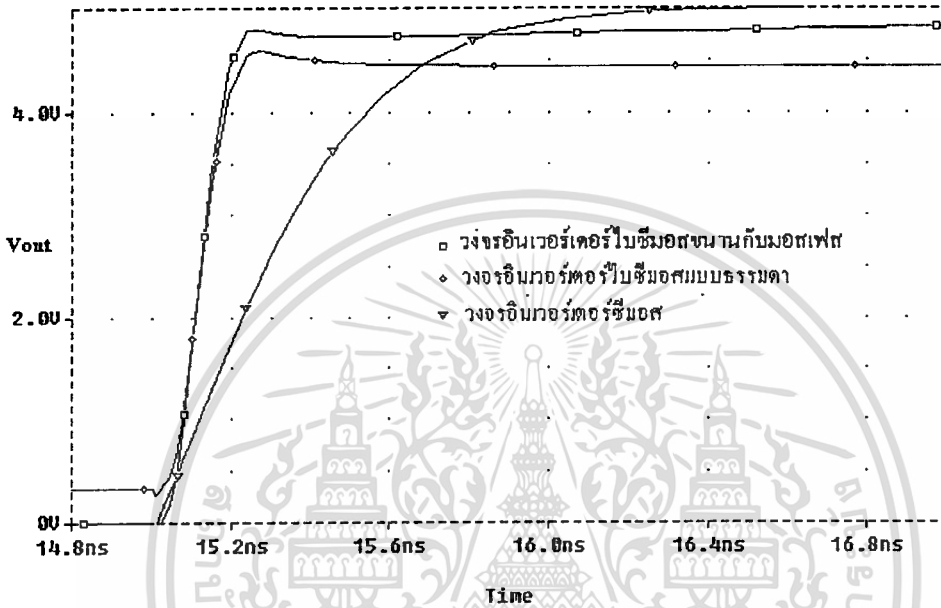


รูปที่ 3.22 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรมอสเฟตกับมอสเฟตกับวงจรมอสเฟตแบบธรรมดาและ วงจรมอสเฟตเมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$

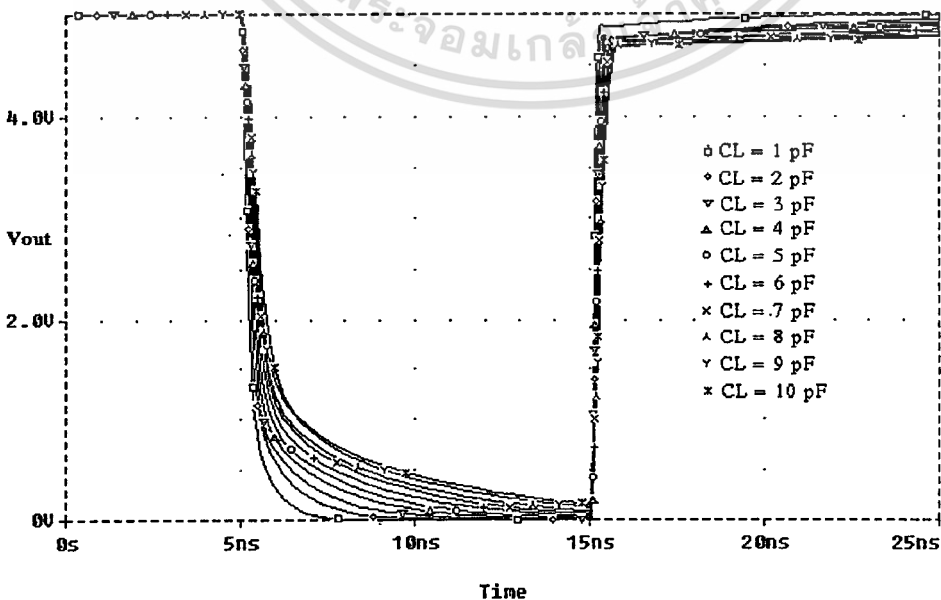


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.23 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ของวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับมอสเฟส วงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ซีมอสเมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$



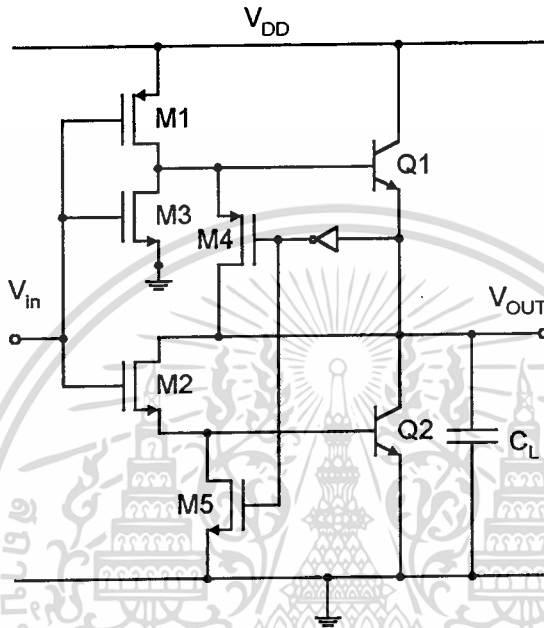
รูปที่ 3.24 แสดงผลการตอบสนองของวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบขนานกับมอสเฟส เมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ถึง 10pF ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.3 วงจรไบซีมอสโดยใช้วิธีเบส-อิมิตอร์ขนานกับวงจรป้อนกลับ

รูปที่ 3.25 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบขนานกับวงจรป้อนกลับ

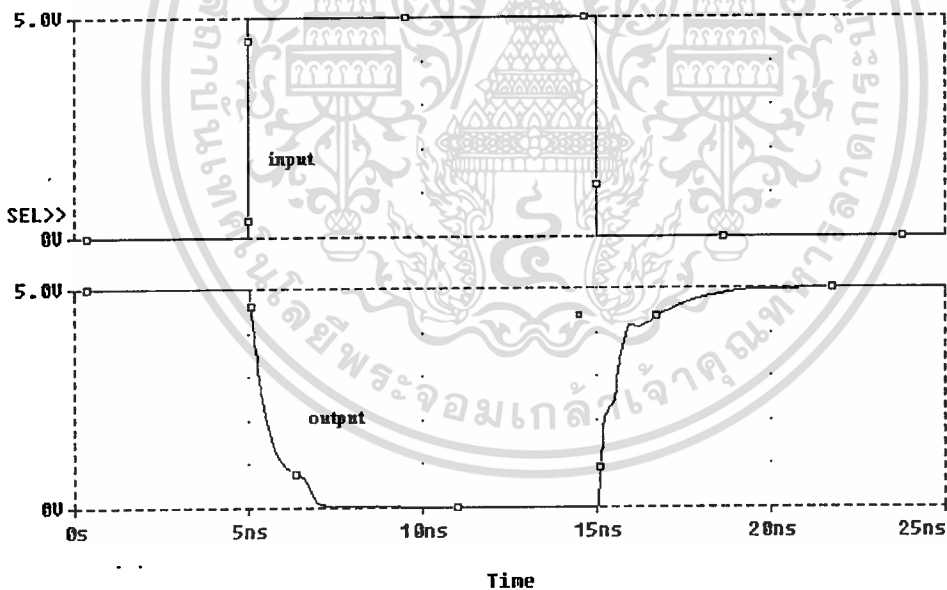


วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรป้อนกลับในรูปที่ 3.25 [17] ซึ่งส่วนประกอบที่สำคัญคือทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M4 และ ทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส M5 โดยที่ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนี้ถูกควบคุมด้วยเข้าพุต การทำงานของวงจรมีสถานะเป็น “0” ทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 จะทำงาน และทำให้ Q1 ทำงานด้วย ส่วน M4 ยังไม่ทำงาน โดยที่ M4 จะทำงานเมื่อ V_{OUT} มีค่าเท่ากับ $V_{DD} - V_{BE,ON}$ ซึ่ง M4 ทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวความต้านทาน โดยจะมีค่ามากเมื่อเริ่มการอัดประจุและทำหน้าที่เสมือนเป็นความต้านทานที่มีค่าน้อยเมื่อหลังจากการอัดประจุซึ่งทำให้เข้าพุตสามารถแกว่งได้ถึง V_{DD} ทำนองเดียวกันเมื่ออินพุตมีสถานะเป็น “1” M2 จะทำงาน และ Q2 ก็จะทำงานด้วย ส่วน M5 จะยังไม่ทำงาน โดยที่ M5 จะทำหน้าที่เป็นเสมือนความต้านทาน โดยจะมีค่ามากเมื่อเริ่มการคายประจุและทำหน้าที่เหมือนเป็นความต้านทานที่มีค่าน้อยเมื่อหลังจากการคายประจุซึ่งทำให้เข้าพุตสามารถแกว่งได้ถึงกราวด์ เป็นผลทำให้ได้สัปดาห์แกว่งเต็มช่วงโดยไม่เสียความสามารถในการหน่วงเวลาของวงจร ดังรูปที่ 3.26 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรป้อนกลับ

เมื่อพิจารณาที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 0.5 pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ดังรูปที่ 3.27 จากการคำนวณจะได้ว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรป้อนกลับจะใช้ค่าหน่วงเวลามากกว่าวงจรไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 67.06% และมีค่าหน่วงเวลามากกว่าวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสอยู่ 54.43% ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบขนานกับวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 21.53% และมีค่าหน่วงเวลามากกว่าวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสอยู่ 32.32% เมื่อพิจารณากรณีที่ 3.28 ที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 5 pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ซึ่งจากการคำนวณจะพบว่าวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 78.14% และมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสอยู่ 36.91% ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 46.96% และมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสอยู่ 62.20%

รูปที่ 3.26 แสดงรูปคลื่นเข้าพุทเทียบกับอินพุทของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดา เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

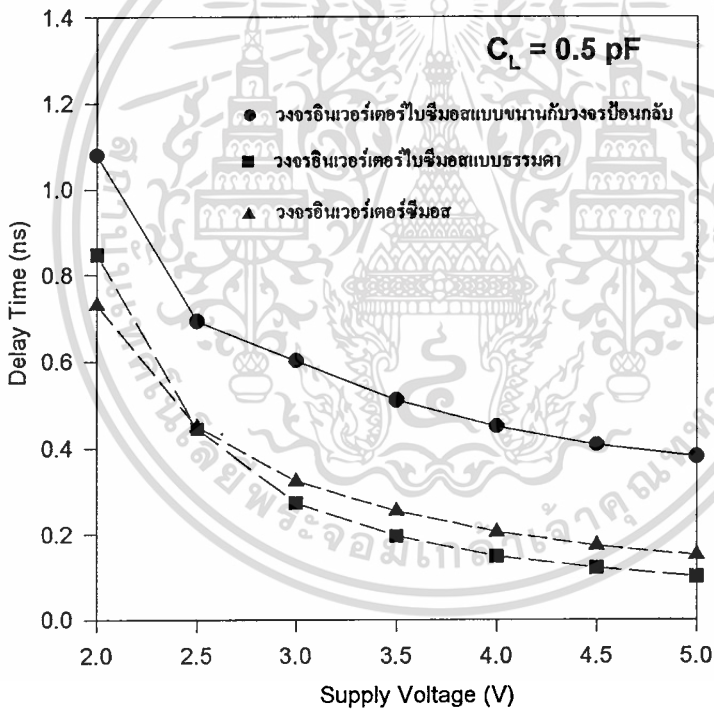


ส่วนคุณสมบัติทางไฟตรงของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาแสดงคุณสมบัติการถ่ายโอนแรงดันดังรูปที่ 3.29 ซึ่งจะได้อ่า $V_{OH} = 5 \text{ V}$ และ $V_{OL} = 0 \text{ V}$ และในส่วนคุณสมบัติทางสวิตช์ของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาโดยเปลี่ยนสัญญาณอินพุทให้เพิ่มขึ้นที่ละน้อยในลักษณะของสัญญาณพัลส์ จากนั้นวัดค่าเวลาที่เปลี่ยนไปต่อแรงดันดังรูปที่ 3.30 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดา วงจรรีจิสเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดา

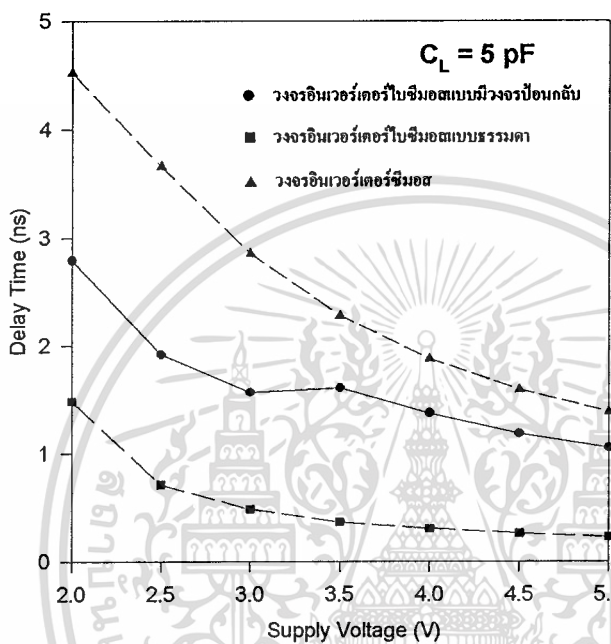
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และวงจรมอนิเตอร์ซีมอสเมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ และรูปที่ 3.31 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ส่วนรูปที่ 3.32 เป็นการเปรียบเทียบผลตอบสนองของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรมอนิเตอร์ซีมอส โดยที่ $C_L = 1\text{ pF}$ ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$

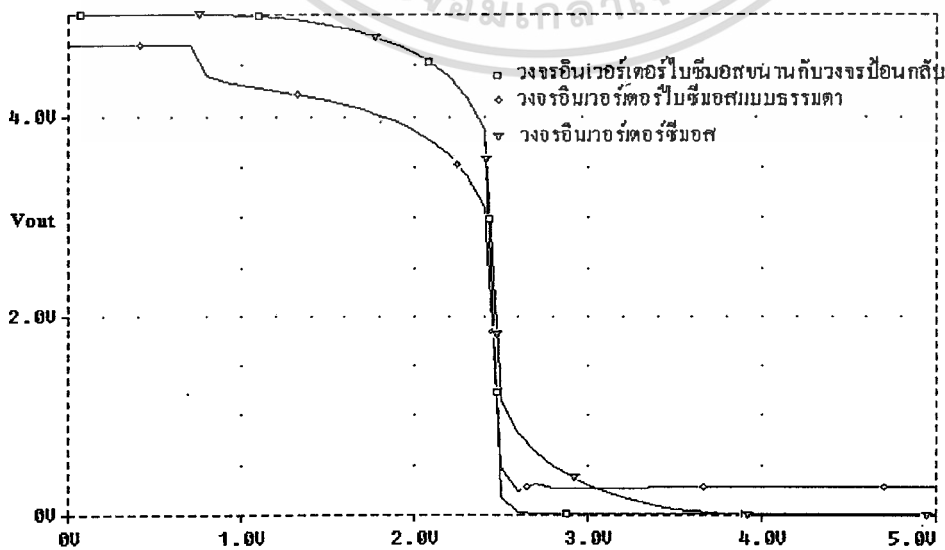
รูปที่ 3.27 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรมอนิเตอร์ซีมอสแบบธรรมดา และวงจรมอนิเตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 0.5\text{ pF}$



รูปที่ 3.28 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรป้อนกลับ วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 5 \text{ pF}$

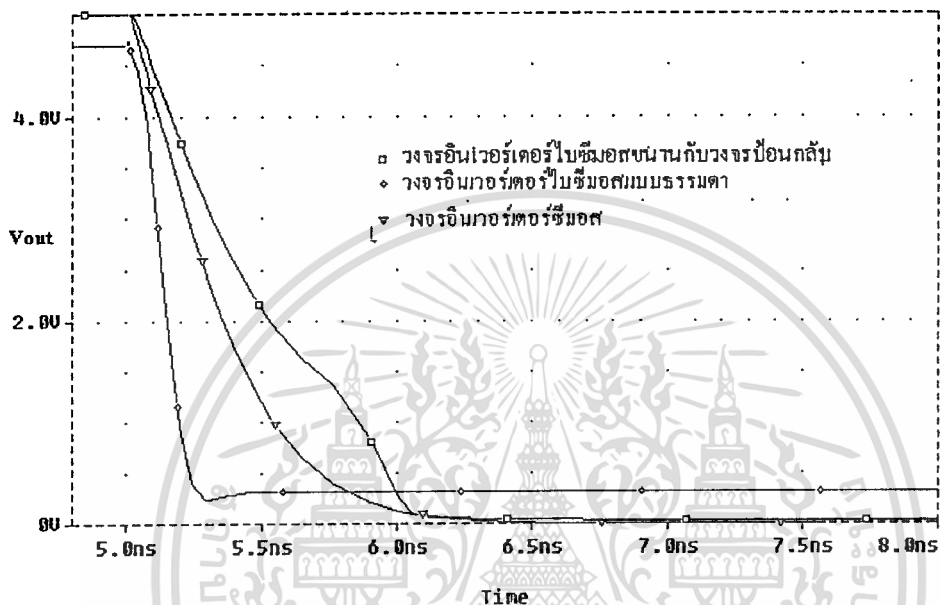


รูปที่ 3.29 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรป้อนกลับกับวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอส

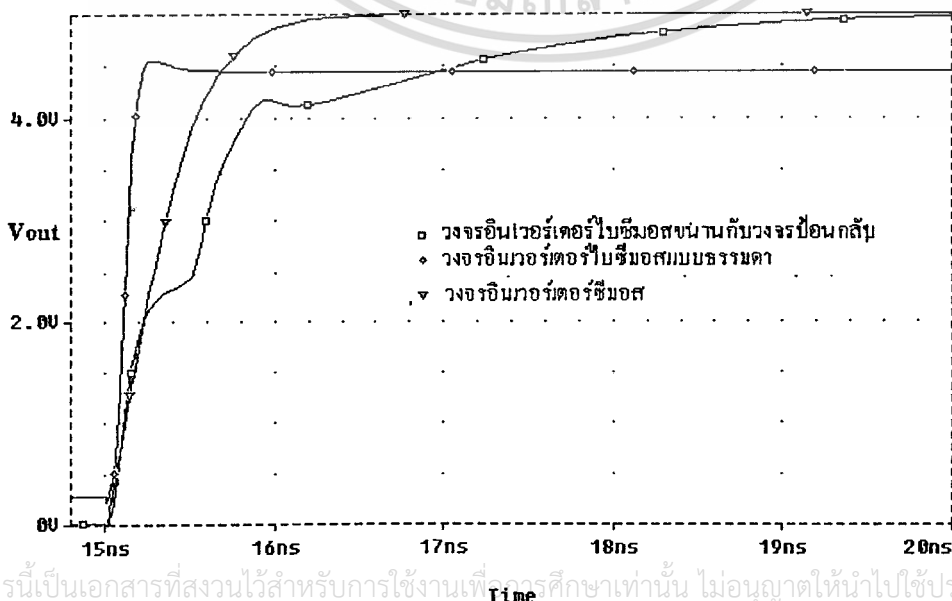


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.30 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ ของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



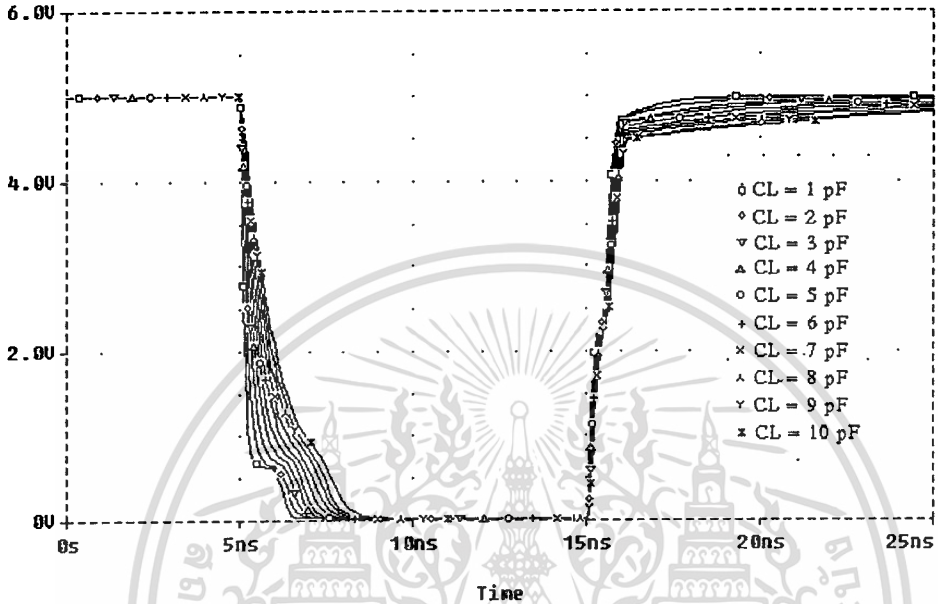
รูปที่ 3.31 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ ไปยัง V_{DD} ของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่โรงเรียนศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

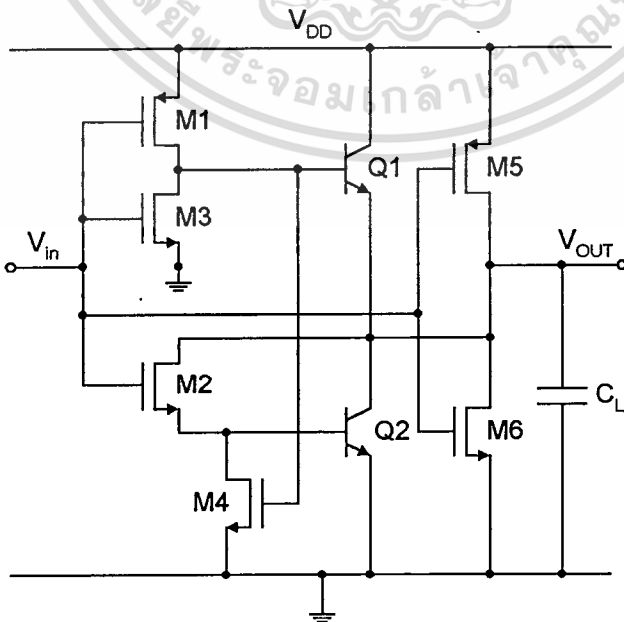
รูปที่ 3.32 แสดงผลการตอบสนองของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรป้อนกลับ เมื่อ

$$C_L = 1\text{pF ถึง } 10\text{pF ที่ } V_{DD} = 5\text{ V}$$



8.2.2.4 วงจรไบซีมอสขนานกับคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์

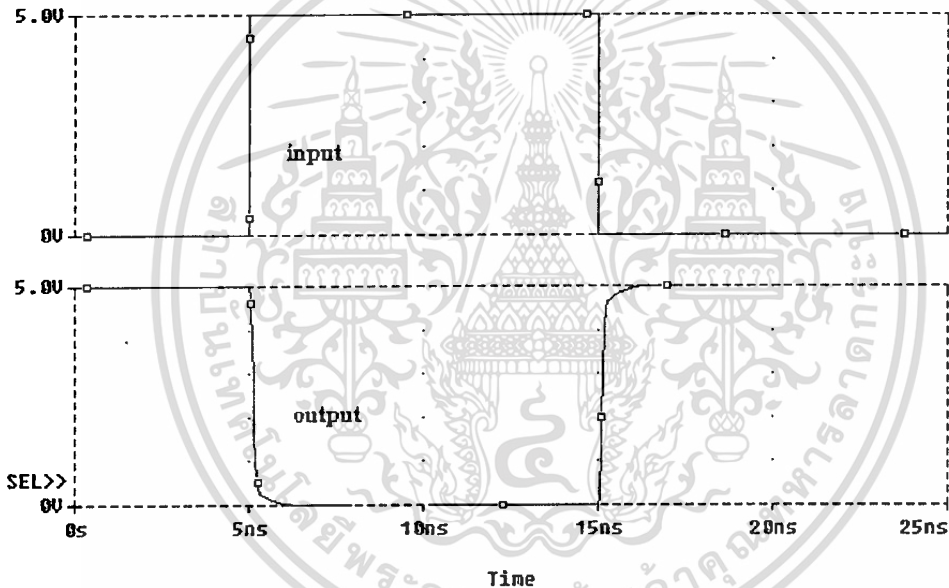
รูปที่ 3.33 วงจรไบซีมอสขนานกับคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ในรูปที่ 3.33 ขาคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ชนิดเอ็นพีเอ็น Q1 และ Q2 ตามลำดับ ถูกขนานโดยทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M5 และแบบเอ็นมอส M6 ตามลำดับ ซึ่งใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสที่ต่อขนานอยู่นี้จะถูกควบคุมโดยอินพุต ดังรูปที่ 3.34 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์

รูปที่ 3.34 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

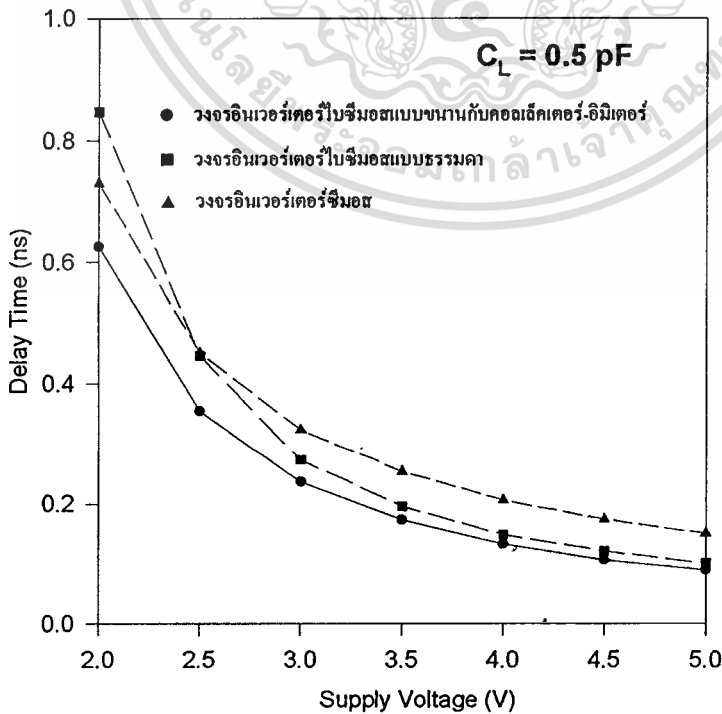


เมื่อพิจารณาที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 0.5 pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ดังรูปที่ 3.35 จากการคำนวณจะพบว่าวงจรไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์จะใช้ค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 11.49% และมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 54.26% ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์จะใช้ค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 35.44% และมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 16.82% เมื่อพิจารณารูปที่ 3.36 ที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 5 pF เมื่อ $V_{DD} = 5$ จากการคำนวณจะพบว่าวงจรไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์จะใช้ค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 2.68% และมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 5.43 เท่า ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจร

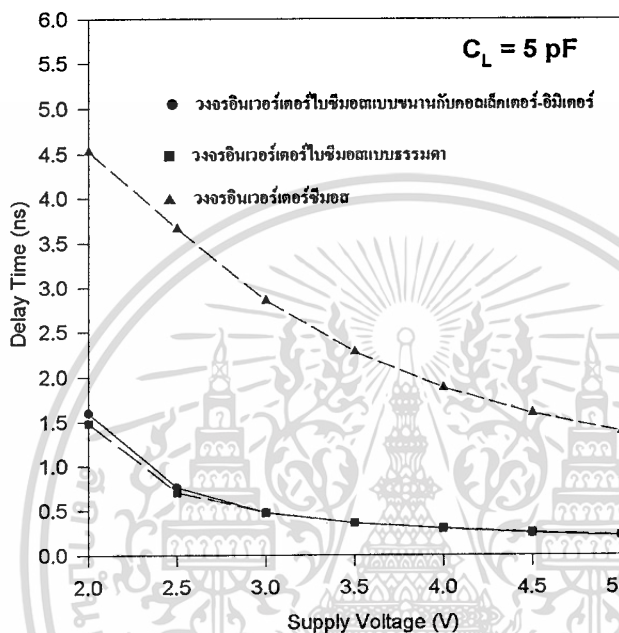
ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์จะใช้กำหนดเวลามากกว่าวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาอยู่ 7.44% และมีกำหนดเวลาน้อยกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ซี มอสอยู่ 1.83 เท่า

ส่วนคุณสมบัติทางไฟตรงของวงจรไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์แสดงคุณสมบัติการถ่ายโอนแรงดันดังรูปที่ 3.37 ซึ่งจะได้อ่า $V_{OH} = 5\text{ V}$ และ $V_{OL} = 0\text{ V}$ และในส่วนคุณสมบัติทางสวิทซ์ของ วงจรไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์กลับโดยเปลี่ยนสัญญาณอินพุตให้เพิ่มขึ้นที่ละน้อยในลักษณะของสัญญาณพัลส์ จากนั้นวัดค่าเวลาที่เปลี่ยนไปต่อแรงดันดังรูปที่ 3.37 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์ วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสเมื่อ $C_L = 1\text{ pF}$ และรูปที่ 3.38 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ส่วนรูปที่ 3.39 เป็นการเปรียบเทียบผลตอบสองของวงจรไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์ โดยที่ $C_L = 1\text{ pF}$ ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$

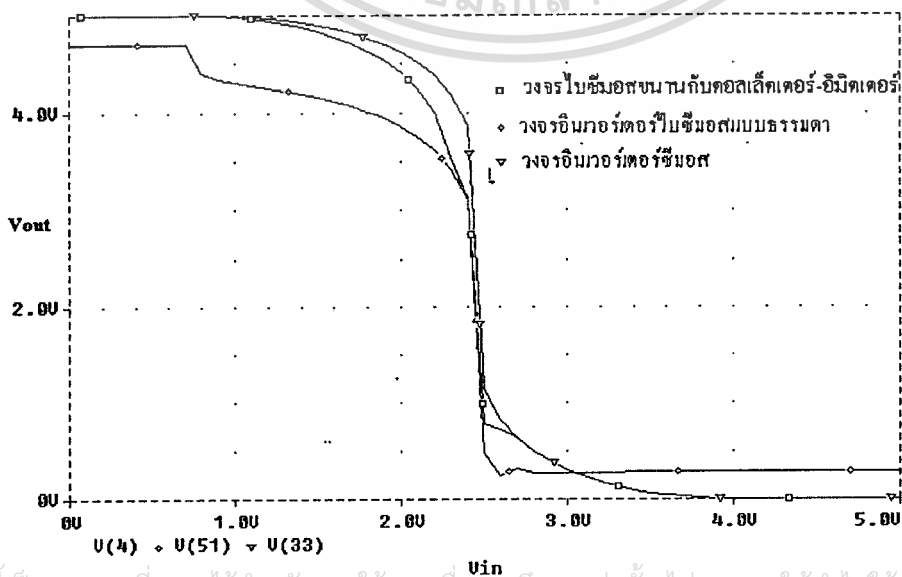
รูปที่ 3.35 การเปรียบเทียบระหว่างกำหนดเวลาและแหล่งจ่ายศักดาของ วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์ วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 0.5\text{ pF}$



รูปที่ 3.36 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกำหนด่วงเวลาและแหล่งจ่ายตักคาของ วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบธรรมดา และวงจรอินเวอร์เตอร์ซิมอส เมื่อ $C_L = 5 \text{ pF}$

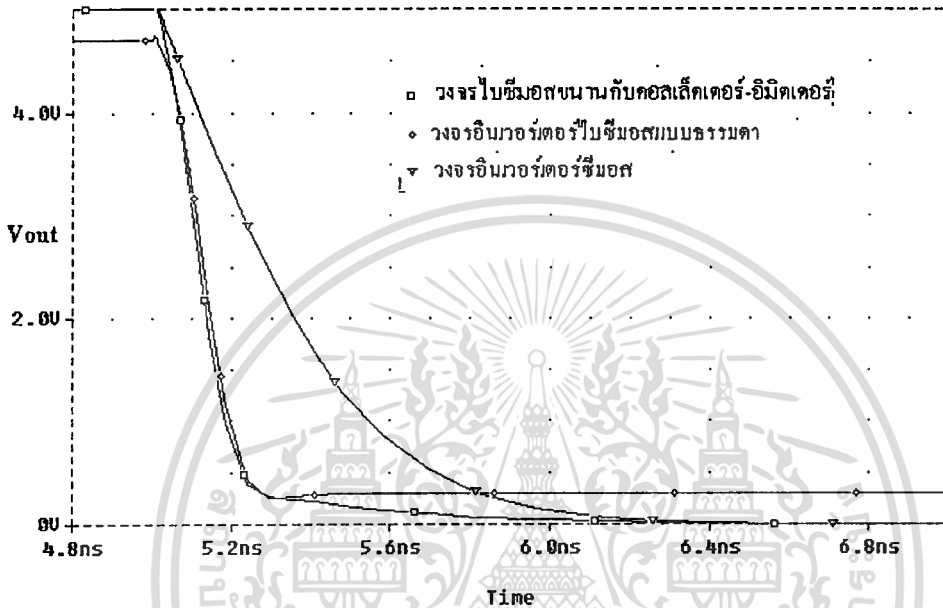


รูปที่ 3.37 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของ วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์กับวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบธรรมดา และวงจรอินเวอร์เตอร์ซิมอส

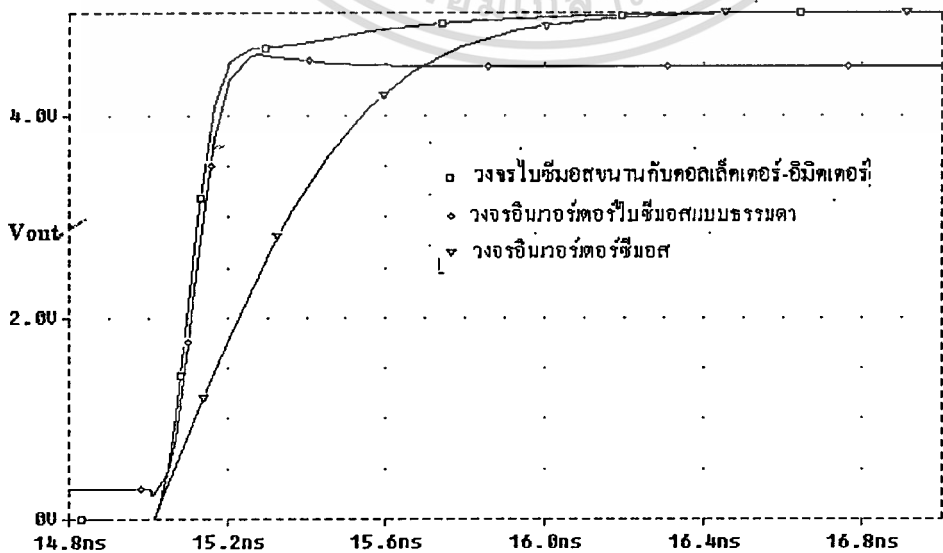


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.38 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรมอนิเตอร์ไปซิมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อีมิเตอร์ วงจรมอนิเตอร์ไปซิมอสแบบธรรมดาและวงจรมอนิเตอร์ซิมอสเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

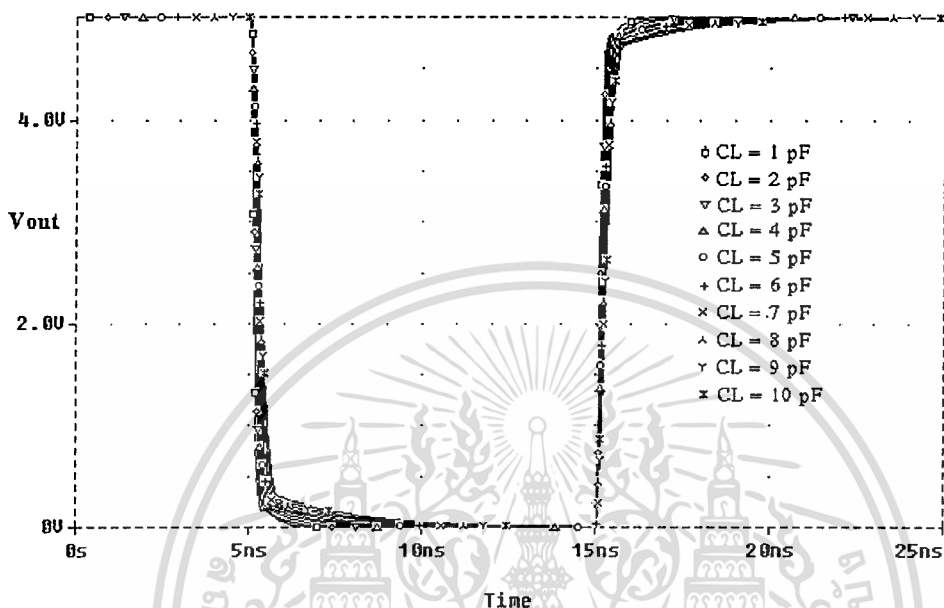


รูปที่ 3.39 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ของ วงจรมอนิเตอร์ไปซิมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อีมิเตอร์ วงจรมอนิเตอร์ไปซิมอสแบบธรรมดาและวงจรมอนิเตอร์ซิมอสเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ Time ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

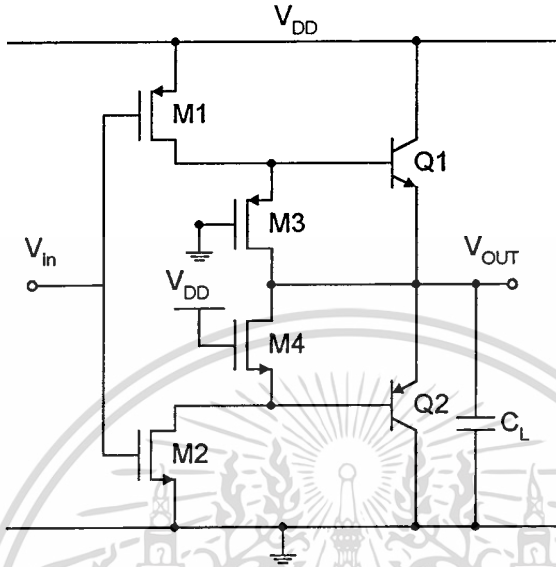
รูปที่ 3.40 แสดงผลการตอบสนองของ วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์
 เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



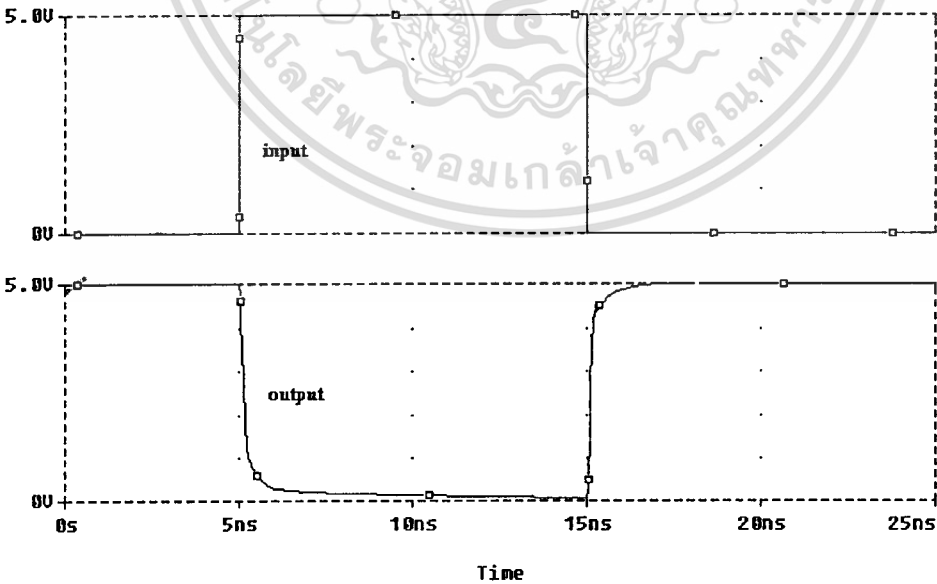
3.2.3 วงจรคอมพลิเมนต์ารีและ Quasi-complementary ไบซีมอส

วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสอีกวงจรหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาค่าการสูญเสีย V_{BE} เพื่อที่จะทำให้วงจรมีสัปดาห์แคว้งเต็มช่วงคือการใช้คอมพลิเมนต์ารี (complementary) [18] ไบโพลาร์ในส่วนขับวงจร โดยเรียกวงจรนี้ว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบอิมิตเตอร์-ฟอลโลเวอร์คอมพลิเมนต์ารี (Emitter-follower complementary BiCMOS Inverter) [19] ดังรูปที่ 3.41 โดยประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์แบบพีมอส $M1$ และทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ชนิดเอ็นพีเอ็น $Q1$ ในส่วนบนและทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส $M2$ และทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ชนิดพีเอ็นพี $Q2$ ในส่วนล่าง โดยส่วนบนของวงจรจะเหมือนวงจรอินเวอร์เตอร์ไบโพลาร์แบบธรรมดา ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์จะทำงานในโหมดอิมิตเตอร์-ฟอลโลเวอร์ (emitter-follower) ที่รอยต่อของเบส-อิมิตเตอร์จะขนานกับทรานซิสเตอร์แบบพีมอส $M3$ และแบบเอ็นมอส $M4$ โดยต้องกำหนดขนาดของ $M3$ และ $M4$ ให้เหมาะสม ดังแสดงรูปคลื่นเข้าพุทเทียบกับอินพุทของวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมนต์ารีในรูปที่ 3.42

รูปที่ 3.41 วงจรสัปดาห์แกว่งเต็มช่วงอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมนต์รารี



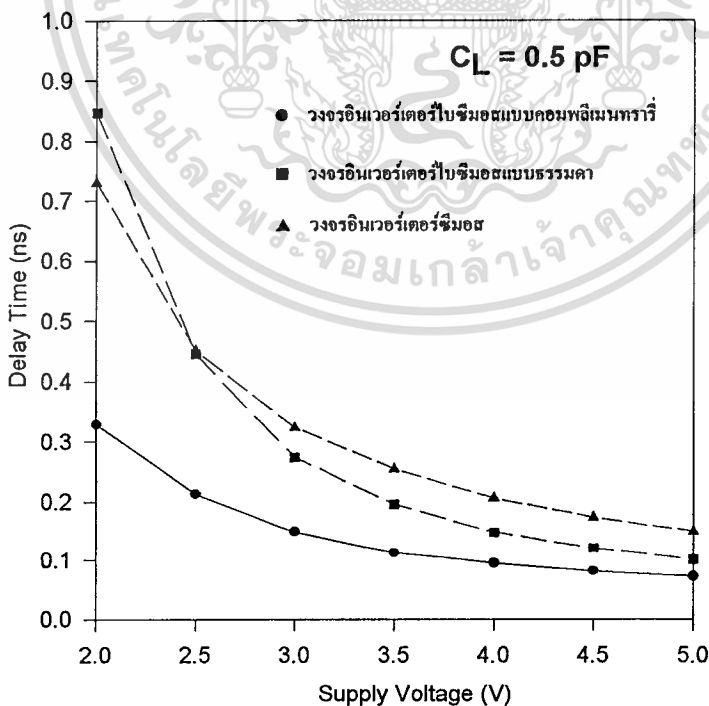
รูปที่ 3.42 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรมอสแบบคอมพลิเมนต์รารี เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



เมื่อพิจารณาที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 0.5 pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ จากรูปที่ 3.43 สามารถ
 คำนวณหาค่าหน่วยเวลาของวงจรมอสแบบคอมพลิเมนต์รารีซึ่งใช้ค่าหน่วยเวลา
 ไม่ว่าการมีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

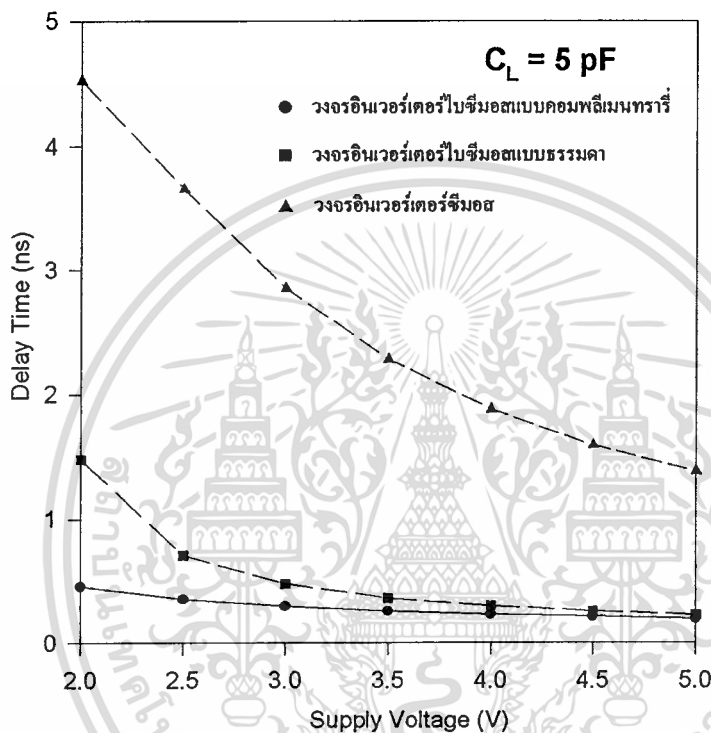
น้อยกว่าวงจรมอสแบบธรรมดาอยู่ 39.06% และมีค่าน้อยกว่าอยู่ 1.07 เท่าของวงจรมอสที่ $V_{DD} = 2$ V วงจรมอสแบบคอมพลิเมนต์จะใช้เวลาน้อยกว่าวงจรมอสแบบธรรมดาอยู่ 1.57 เท่า และมีค่าน้อยกว่าวงจรมอสอยู่ 1.22 เท่า เมื่อพิจารณาที่ 3.44 ที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 5 pF ที่ $V_{DD} = 5$ จากรูปที่ 3.44 สามารถคำนวณหาค่าน้อยกว่าของวงจรมอสแบบคอมพลิเมนต์ซึ่งใช้ค่าน้อยกว่าวงจรมอสแบบธรรมดาอยู่ 13.98% และมีค่าน้อยกว่าวงจรมอสอยู่ 6.10 เท่า ที่ $V_{DD} = 2$ V วงจรมอสแบบคอมพลิเมนต์จะใช้เวลาน้อยกว่าวงจรมอสแบบธรรมดาอยู่ 2.22 เท่า และมีค่าน้อยกว่าวงจรมอสอยู่ 8.86 เท่า

รูปที่ 3.43 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายคิกคาของวงจรมอสแบบคอมพลิเมนต์ วงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอสเมื่อ $C_L = 0.5$ pF



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

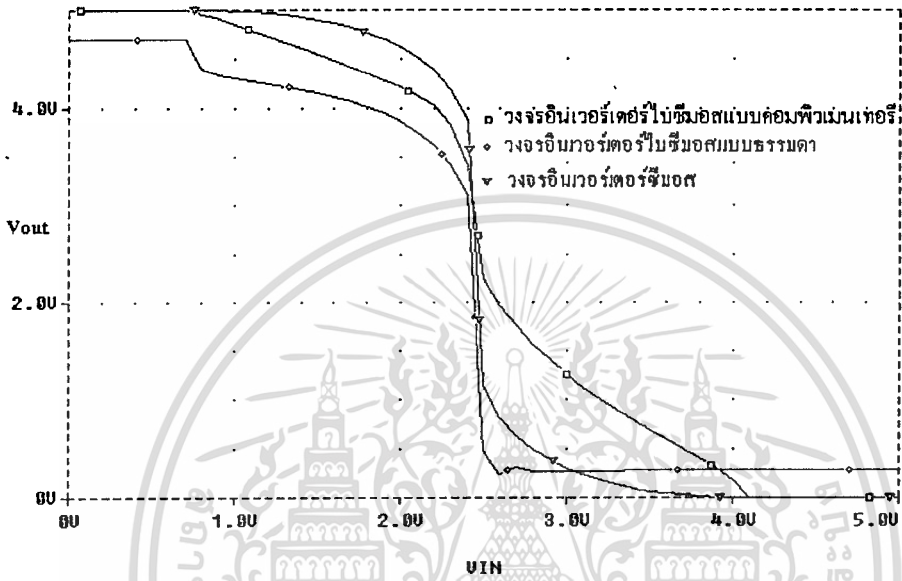
รูปที่ 3.44 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วยเวลาและแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าของวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมนต์รารี วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรินเวอร์เตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 5\text{ pF}$



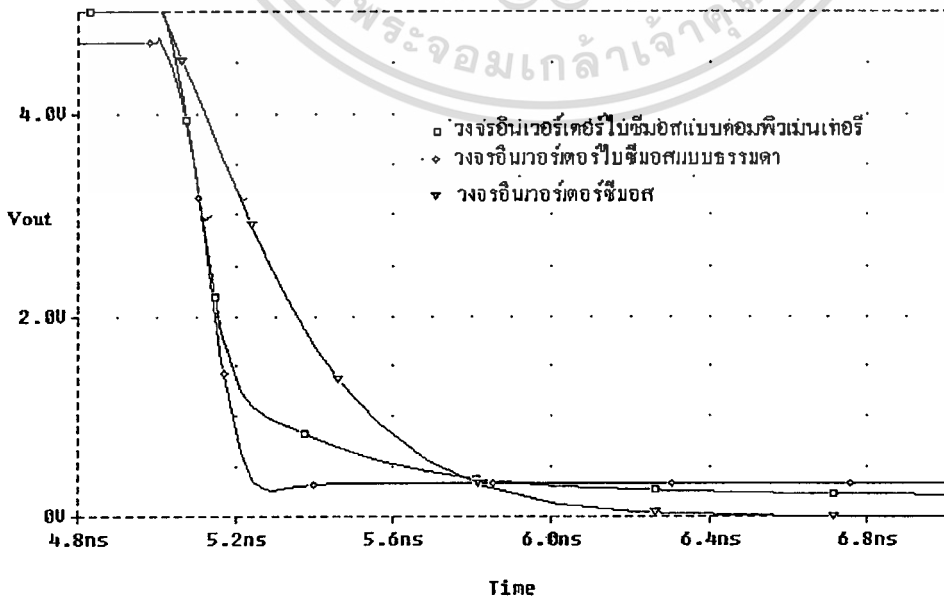
ส่วนคุณสมบัติทางไฟตรงของวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมนต์รารีแสดงคุณสมบัติการถ่ายโอนแรงดันดังรูปที่ 3.45 ซึ่งจะได้ค่า $V_{OH} = 5\text{ V}$ และ $V_{OL} = 0\text{ V}$ และในส่วนคุณสมบัติทางสวิตชิงของวงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมนต์รารีก็กลับโดยเปลี่ยนสัญญาณอินพุตให้เพิ่มขึ้นทีละน้อยในลักษณะของสัญญาณพัลส์ จากนั้นวัดค่าเวลาที่เปลี่ยนไปต่อแรงดันดังรูปที่ 3.46 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของ วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมนต์รารี วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดา และวงจรรินเวอร์เตอร์ซีมอสเมื่อ $C_L = 1\text{ pF}$ และรูปที่ 3.47 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ส่วนรูปที่ 3.48 เป็นการเปรียบเทียบผลตอบสนองของ วงจรรินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมนต์รารีโดยที่ $C_L = 1\text{ pF}$ ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.45 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรมอนิเตอร์
ไบซีมอสแบบคอมพลิเมนต์ที่กับวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรมอนิเตอร์
มอนิเตอร์ซีมอสเมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$

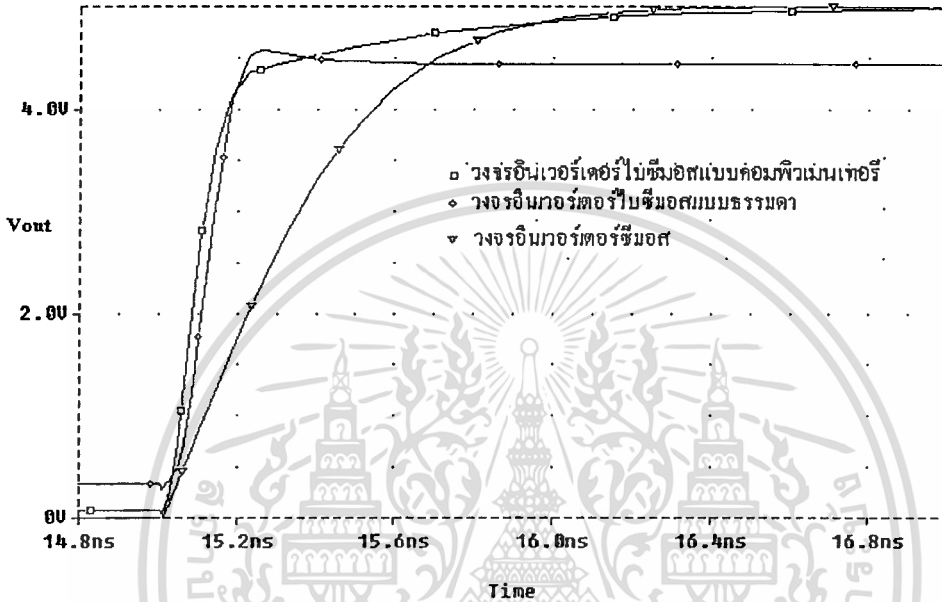


รูปที่ 3.46 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์
ของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมนต์ วงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบ
ธรรมดาและวงจรมอนิเตอร์ซีมอสเมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$

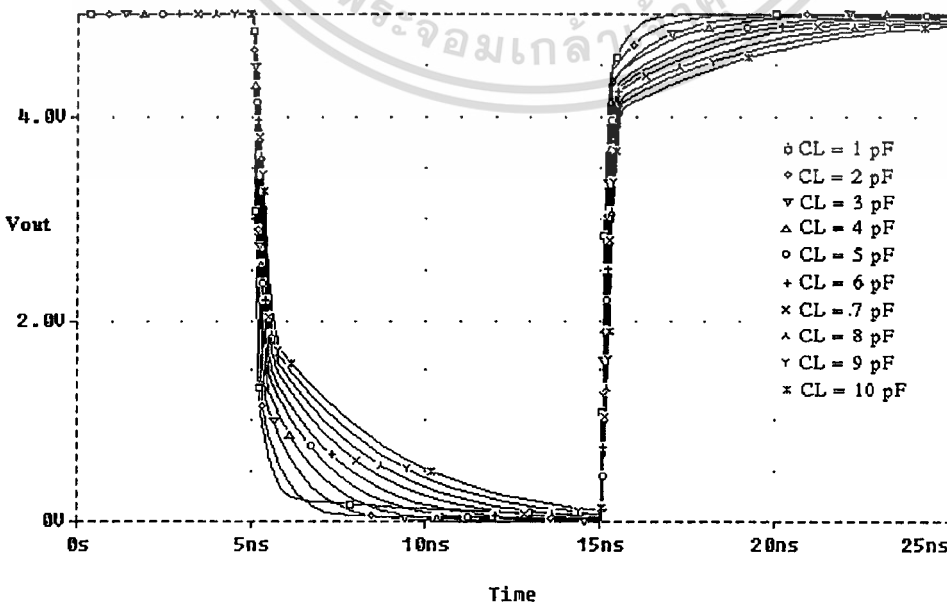


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.47 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมนทารี วงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรมอนิเตอร์ซีมอสเมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$



รูปที่ 3.48 แสดงผลการตอบสนองของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบคอมพลิเมนทารีเมื่อ $C_L = 1\text{pF}$ ถึง 10pF ที่ $V_{DD} = 5\text{V}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วงจรรีจิสเตอร์ไบซิมอสแบบที่เสนอ

4.1 บทนำ

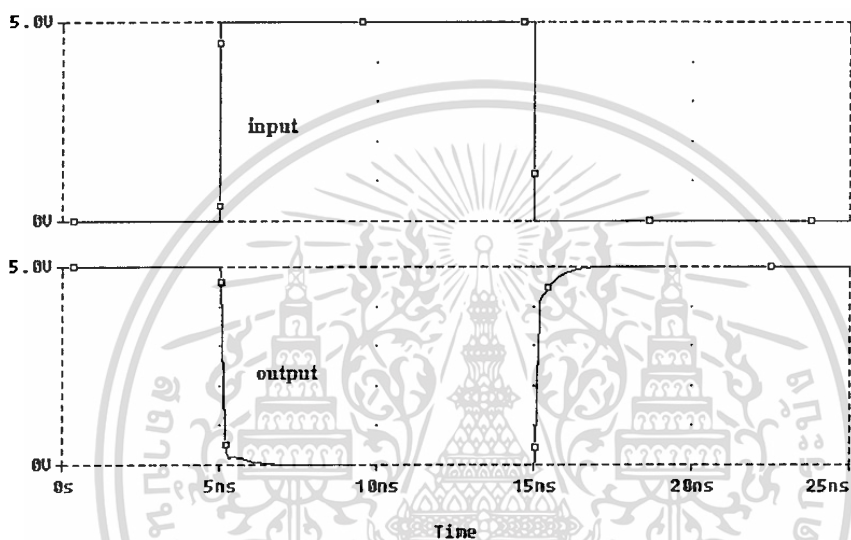
วงจรรีจิสเตอร์ไบซิมอสแบบสัปดาห์เต็มช่วงที่กล่าวมามีทั้งข้อดีและข้อเสียตัวอย่าง เช่นวงจรรีจิสเตอร์ไบซิมอสมีข้อดีในการกำจัด V_{BE} ที่สูญเสียในส่วนของ pull-down แต่มีข้อเสียในเรื่องความไม่สมมาตรของสถานะ “0” และ “1” และมีเอาพุตเพียง $V_{DD} - V_{BE}$ เป็นต้น โดยจะเสนองจรรีจิสเตอร์ไบซิมอสอีกแบบหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาสัปดาห์เต็มช่วงและความไม่สมมาตรของสถานะ “0” และ “1”

4.2 วงจรรีจิสเตอร์ไบซิมอสแบบที่เสนอ

จากวงจรรีจิสเตอร์ไบซิมอสแบบสัปดาห์เต็มช่วงที่กล่าวมาข้างต้นแต่ละวงจรมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ในที่นี้จะเสนองจรรีจิสเตอร์ไบซิมอสแบบสัปดาห์เต็มช่วงอีกวงจรมีหนึ่งดังรูปที่ 4.1 โดยที่ส่วนแรกประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ M1 M2 M3 และ M4 ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมระดับสัญญาณ ทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 และทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส M4 จะทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ชนิดเอ็นพีเอ็น Q1 ส่วนทรานซิสเตอร์แบบเอ็นมอส M2 และ M3 จะทำหน้าที่ไปควบคุมกระแสที่ขาเบสทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ชนิดพีเอ็นพี Q2 ส่วนที่สองประกอบด้วยทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ชนิดเอ็นพีเอ็น Q1 และชนิดพีเอ็นพี Q2 ทำหน้าที่ในการขับวงจรซึ่งมีความสามารถในการขับวงจรสูงกว่าทรานซิสเตอร์แบบมอสมาก เนื่องจากทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์มีความสามารถขับวงจรได้ดีด้วยกระแสสูงถึงระดับมิลลิแอมป์ ซึ่งจะช่วยลดการหน่วงเวลาของวงจร เมื่อนำไปใช้กับวงจรที่มีโหลดคาปาซิแตนซ์สูง ๆ โดยที่ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ Q1 และ Q2 จะถูกควบคุมด้วยทรานซิสเตอร์แบบมอส M1 M2 M3 และ M4 ส่วนที่สามประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์แบบมอส M5 M6 M7 และ M8 ทำหน้าที่ทำให้วงจรสามารถสวิงได้ตลอดช่วงสัญญาณ โดยที่ทรานซิสเตอร์

กับ $[V_Y - V_{Tn}]$ และเมื่อ M6 ทำงาน จะให้กระแสที่เหลืออยู่ไปยังเอาต์พุตเพื่อที่จะทำให้ลอจิก
 แกว่งได้ถึงกราวด์ ดังรูปที่ 4.2 แสดงรูปคลื่นเอาต์พุตเทียบกับอินพุตของวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอส
 แบบที่เสนอ

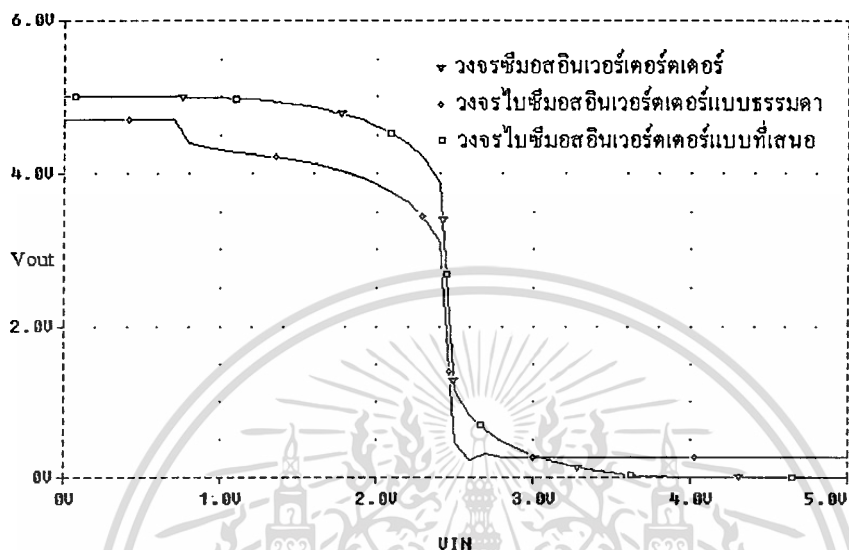
รูปที่ 4.2 แสดงรูปคลื่นเอาต์พุตเทียบกับอินพุตของวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ



4.2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางไฟตรงของวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ

ในการศึกษาคุณสมบัติทางไฟตรงของวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสตัวแปรที่เป็นตัวกำหนด
 คุณสมบัติทางไฟตรงของวงจรถูกคือ V_{OH} , V_{OL} และช่วงเผื่อสัญญาณ (Noise margin) ซึ่งคุณสมบัติ
 ทางไฟตรงของวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอแสดงดังในรูปที่ 4.3 โดยเปรียบเทียบกับ
 วงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ซีมอสและจากรูปที่ 4.3 จะได้ว่า
 $V_{OH} = 5 \text{ V}$ และ $V_{OL} = 0 \text{ V}$

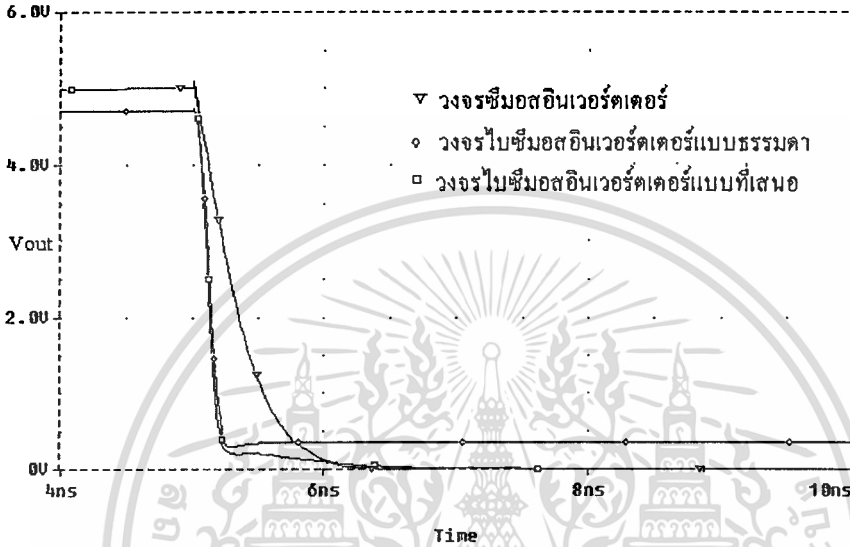
รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสัญญาณไฟตรงของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอกับวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรมอนิเตอร์ซีมอส



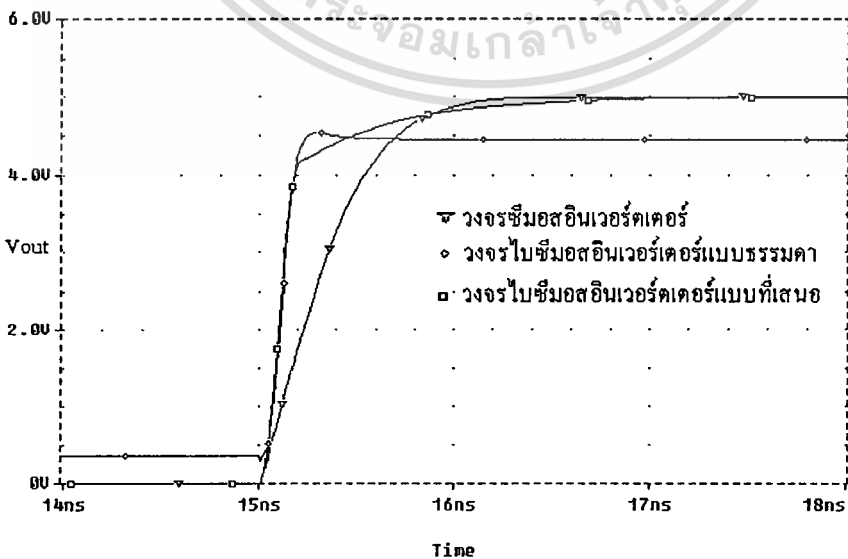
4.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านสวิทช์ของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ

ในการศึกษาคุณสมบัติทางด้านสวิทช์ของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอส โดยการเปลี่ยนสัญญาณอินพุตให้เพิ่มขึ้นทีละน้อยในลักษณะของสัญญาณพัลส์ จากนั้นวัดค่าเวลาที่เปลี่ยนไปต่อแรงดันคิง ในรูปที่ 4.4 เป็นการวัดค่าเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอเปรียบเทียบกับวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรมอนิเตอร์ซีมอสเมื่อ $C_L = 1$ pF และรูปที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ส่วนรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบผลตอบสนองของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอโดยที่ $C_L = 1$ pF ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5$ V รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองของวงจรมอนิเตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาโดยที่ $C_L = 1$ pF ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5$ V และรูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองของวงจรมอนิเตอร์ซีมอสโดยที่ $C_L = 1$ pF ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5$ V

รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก V_{DD} ไปยังกราวด์ของวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบที่เสนอ วงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบธรรมดา และวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ซิมอสเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

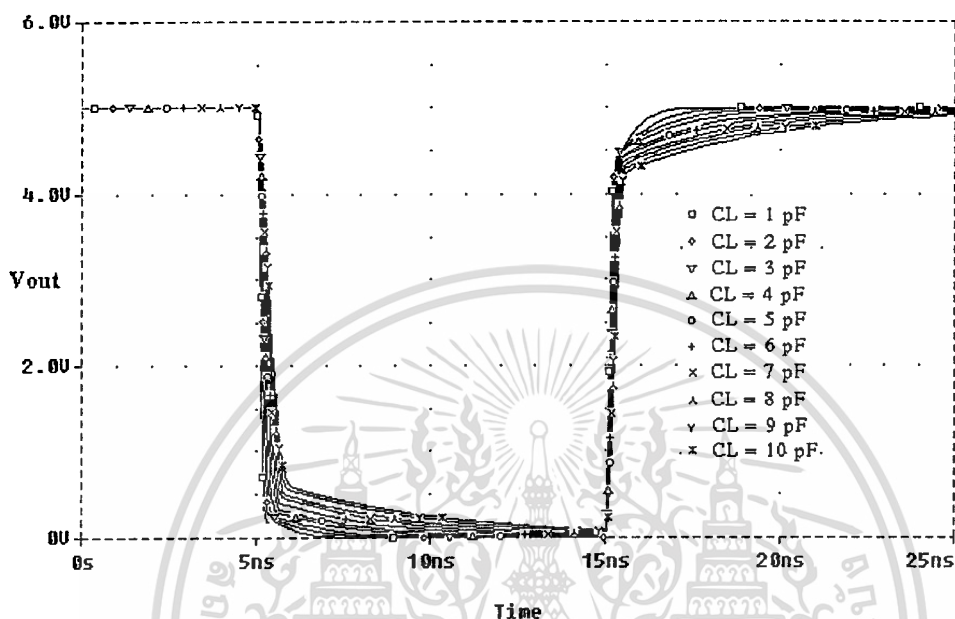


รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากกราวด์ไปยัง V_{DD} ของวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบที่เสนอ วงจรมอสอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบธรรมดา และวงจรมอสอินเวอร์เตอร์ซิมอสเมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

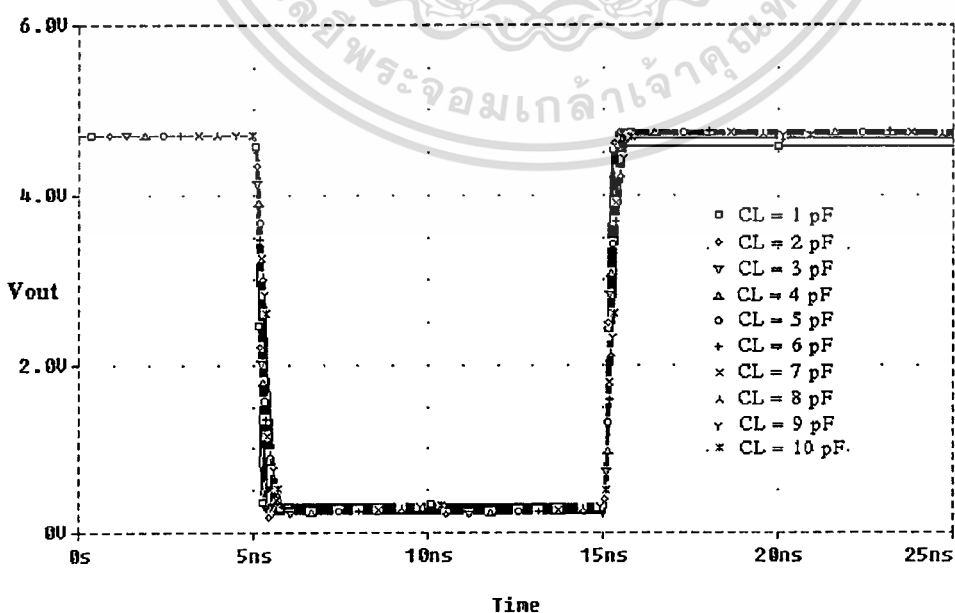


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงผลการตอบสนองของวงจรถิอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ เมื่อ $C_L = 1$ pF ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5$ V

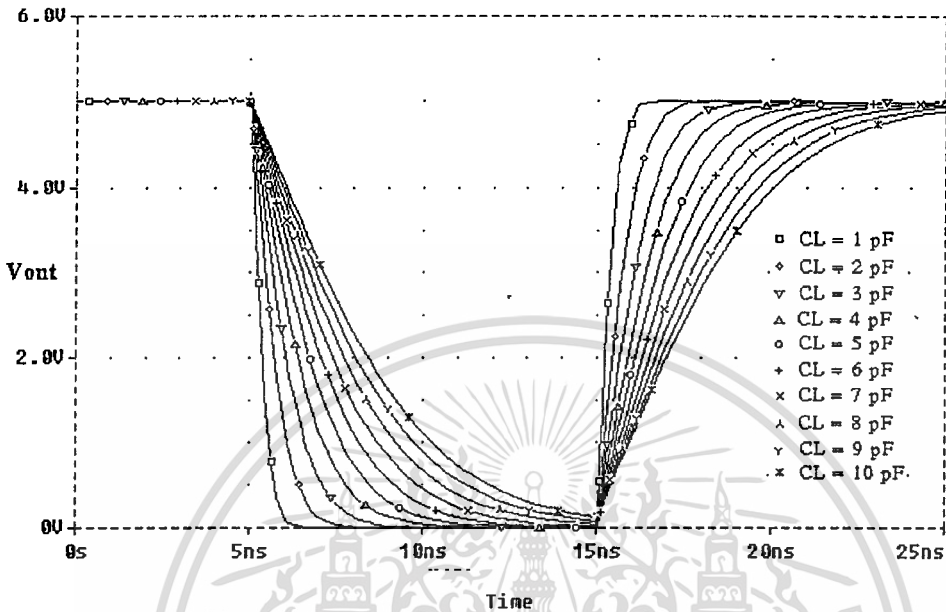


รูปที่ 4.7 แสดงผลการตอบสนองของวงจรถิอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดา เมื่อ $C_L = 1$ pF ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5$ V

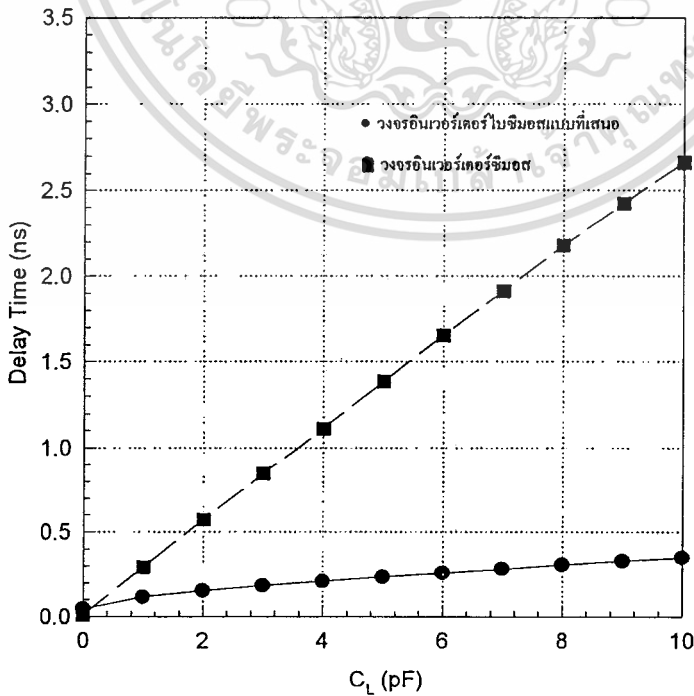


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 ผลการตอบสนองของวงจรรีเลย์เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ ถึง 10 pF ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

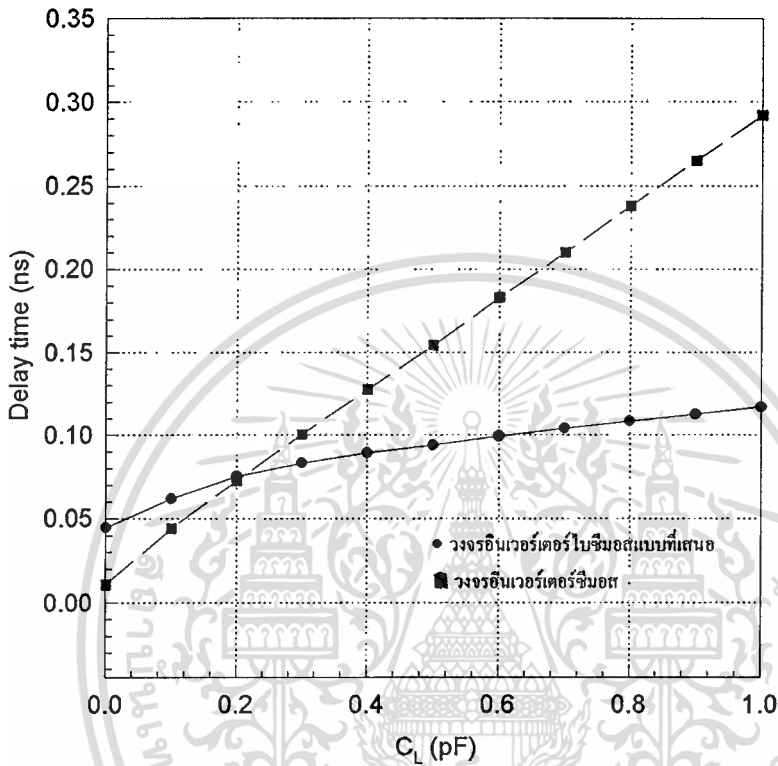


รูปที่ 4.9 แสดงค่าหน่วงเวลาเทียบกับ C_L เมื่อ C_L อยู่ในช่วง $0 \text{ pF} - 10 \text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 แสดงค่าหน่วงเวลาเทียบกับ C_L เมื่อ C_L อยู่ในช่วง 0 pF - 1 pF และ $V_{DD} = 5$ V

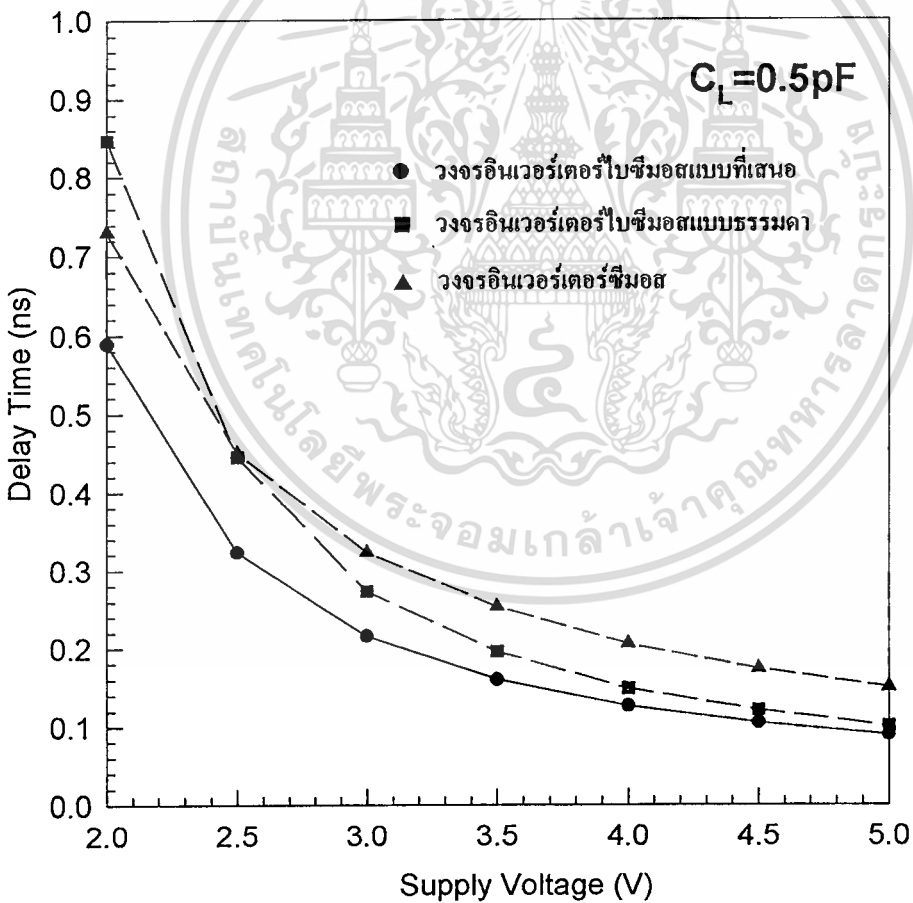


พิจารณาในรูปที่ 4.9 ที่ $V_{DD} = 5$ V และที่โหลดคาปาซิแตนซ์มีค่าเท่ากับ 10 pF จากการคำนวณพบว่าค่าหน่วงเวลาของวงจรงอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบที่เสนอจะมีค่าน้อยกว่าวงจรงอินเวอร์เตอร์ซิมอสอยู่ 6.63 เท่า แต่เมื่อพิจารณาที่โหลดคาปาซิเตอร์เล็ก ๆ ในรูปที่ 4.10 จะพบว่าเมื่อโหลดคาปาซิเตอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 0 pF ถึง 0.2 pF วงจรงอินเวอร์เตอร์ซิมอสจะมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรงอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบที่เสนอ และมีค่าหน่วงเวลาเท่ากันประมาณ 0.2 pF จากนั้นวงจรงอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบที่เสนอจะมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรงอินเวอร์เตอร์ซิมอส

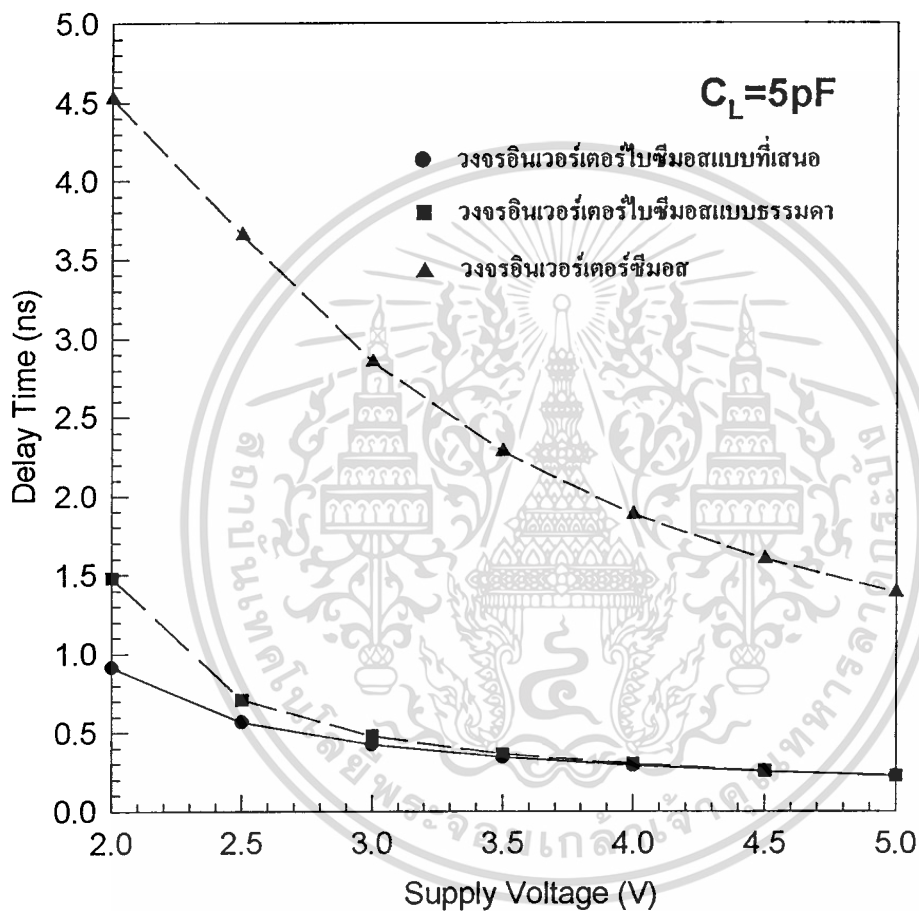
และเมื่อพิจารณาแหล่งจ่ายแรงดันที่โหลดคาปาซิแตนซ์มีค่า 0.5 pF ที่ $V_{DD} = 5$ V จากรูปที่ 4.11 สามารถคำนวณหาค่าหน่วงเวลาของวงจรงอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบที่เสนอว่ามีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรงไบซิมอสแบบธรรมดาอยู่ 12.88% และมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรงอินเวอร์เตอร์ซิมอสอยู่ 68.30% ที่ $V_{DD} = 2$ V วงจรงอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบที่เสนอจะใช้ค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรงไบซิมอสแบบธรรมดาอยู่ 43.64% และมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรงอินเวอร์เตอร์ซิมอสอยู่ 23.88% เมื่อพิจารณารูปที่ 4.12 ที่โหลดคาปาซิเตอร์มีค่า 5 pF ที่ $V_{DD} = 5$ จากการคำนวณพบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอจะใช้ค่าหน่วงเวลามากกว่าวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์แบบธรรมดาอยู่ 1.81% และมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 5.11 เท่า ที่ $V_{DD} = 2 \text{ V}$ วงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอจะใช้ค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์แบบธรรมดาอยู่ 62.08% และมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ซีมอสอยู่ 3.95 เท่า

รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายแรงดันของวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ วงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดา และวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 0.5 \text{ pF}$

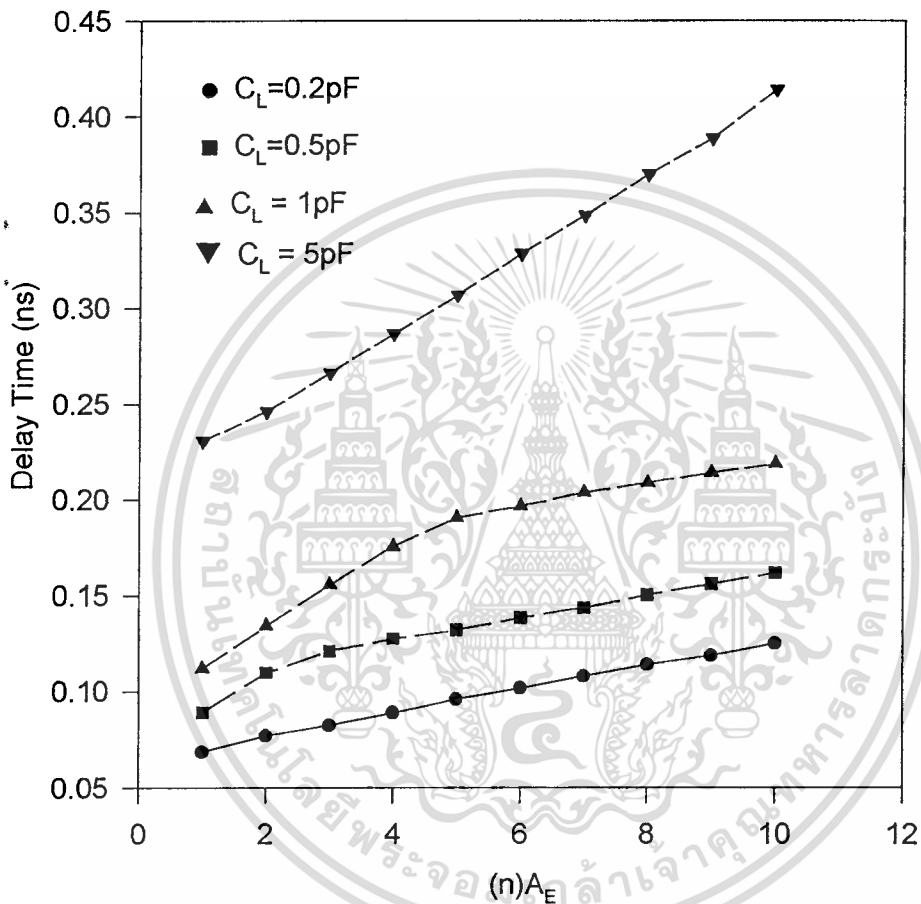


รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบระหว่างค่าหน่วงเวลาและแหล่งจ่ายแรงดันของวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ วงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ซีมอส เมื่อ $C_L = 5 \text{ pF}$



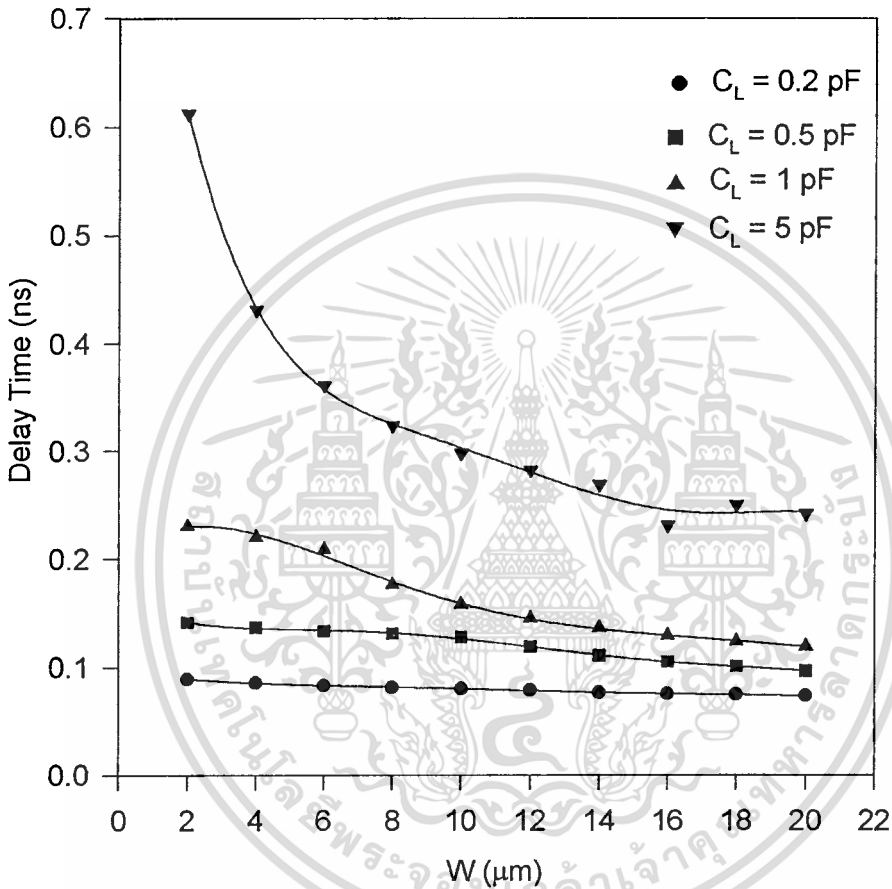
รูปที่ 4.13 แสดงค่าหน่วงเวลากับ $(n)A_E$ ของ Q1 เมื่อ $C_L = 0.2 \text{ pF}, 0.5 \text{ pF}, 1 \text{ pF}, 5 \text{ pF}$ และ

$$V_{DD} = 5 \text{ V}$$



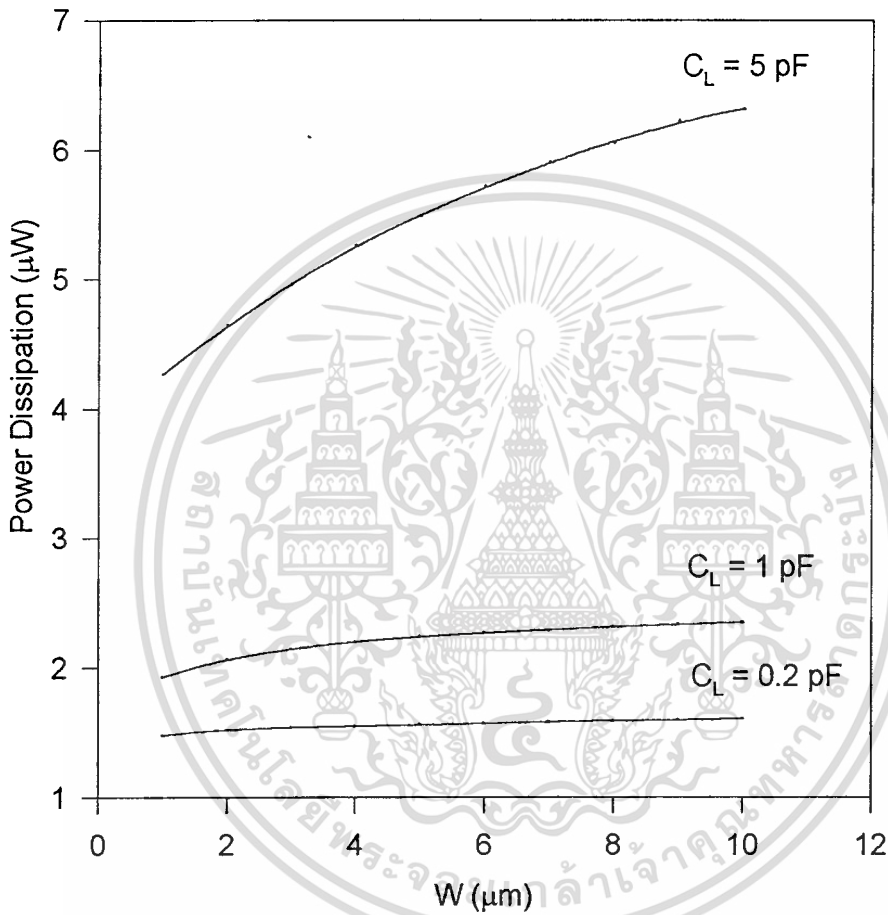
จากรูปที่ 4.13 ซึ่งแสดงค่าหน่วงเวลาต่อ $(n)A_E$ จะพบว่าเมื่อค่า $(n)A_E$ เพิ่มขึ้นค่าหน่วงเวลาจะมีค่าเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.14 แสดงค่าหน่วงเวลากับความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 เมื่อ $C_L = 0.2$ pF, 0.5 pF, 1 pF, 5 pF และ $V_{DD} = 5$ V



จากรูปที่ 4.14 ซึ่งแสดงค่าหน่วงเวลากับความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 จะพบว่าเมื่อความกว้างของทรานซิสเตอร์เพิ่มขึ้นค่าหน่วงเวลาก็จะลดลง เช่น โหลดคาปาซิแตนซ์มีค่าเท่ากับ 5 pF เมื่อเพิ่มความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ค่าหน่วงเวลาก็มีค่าลดลงซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.17

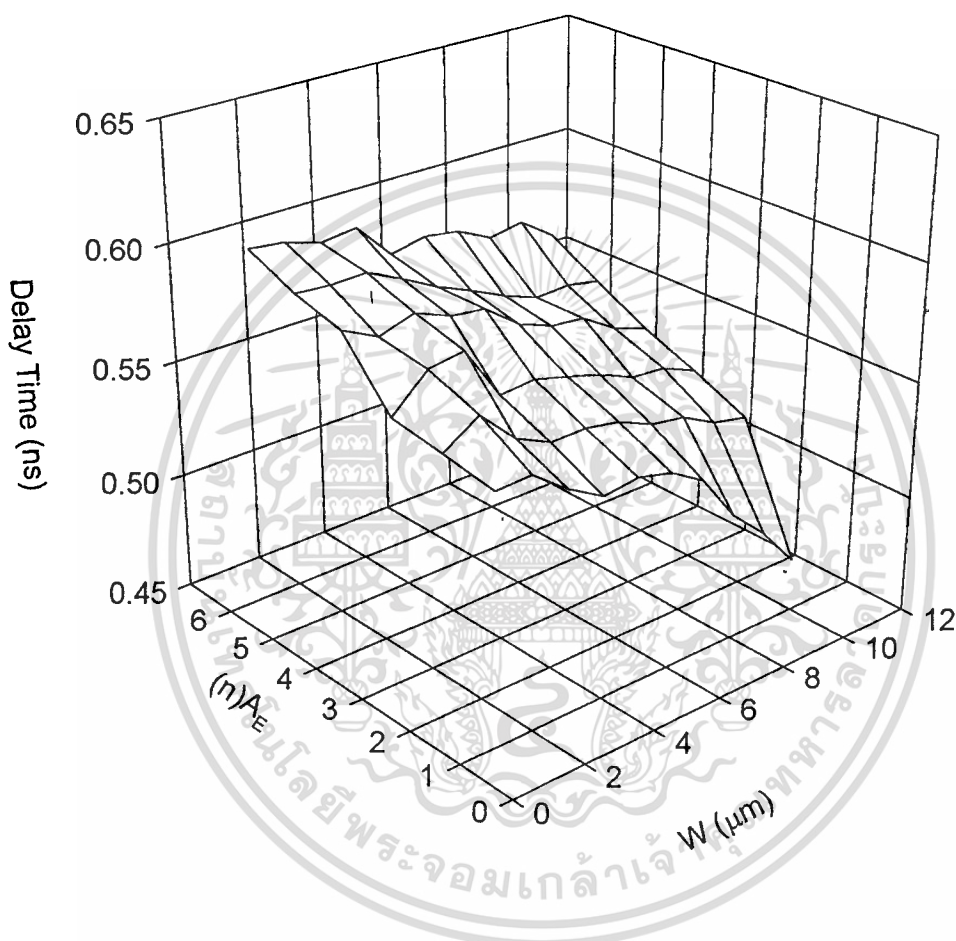
รูปที่ 4.15 แสดงกำลังงานที่สูญเสียไปต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 เมื่อ $C_L = 0.2 \text{ pF}, 1 \text{ pF}, 5 \text{ pF}$ ที่ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



จากรูปที่ 4.15 แสดงกำลังงานที่สูญเสียไปต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 จะพบว่าที่โหลดคาปาซิแตนซ์ค่าต่ำ ๆ เช่น 0.2 pF เมื่อเพิ่มความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 กำลังงานที่สูญเสียไปจะมีลักษณะคงที่ ซึ่งเมื่อเทียบกับที่โหลดคาปาซิแตนซ์สูง ๆ กำลังงานที่สูญเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอสเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.16 แสดงค่าหน่วยเวลาต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$ เมื่อ

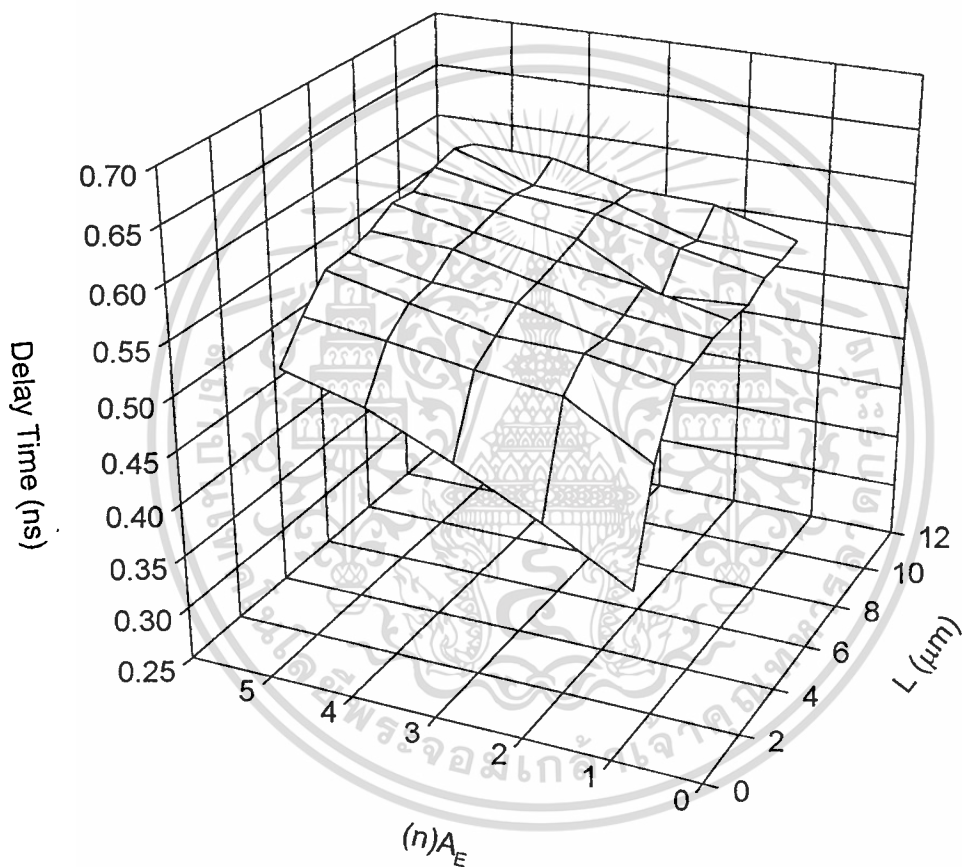
$$V_{DD} = 5 \text{ V}$$



จากรูปที่ 4.16 แสดงค่าหน่วยเวลาต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$ จะพบว่าจุดที่มีค่าหน่วยเวลาน้อยที่สุดคือ $n = 1$ และความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 มีค่าเท่ากับ $10 \mu\text{m}$

รูปที่.4.17 แสดงค่าหน่วยเวลาต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$ เมื่อ

$$V_{DD} = 5 \text{ V}$$

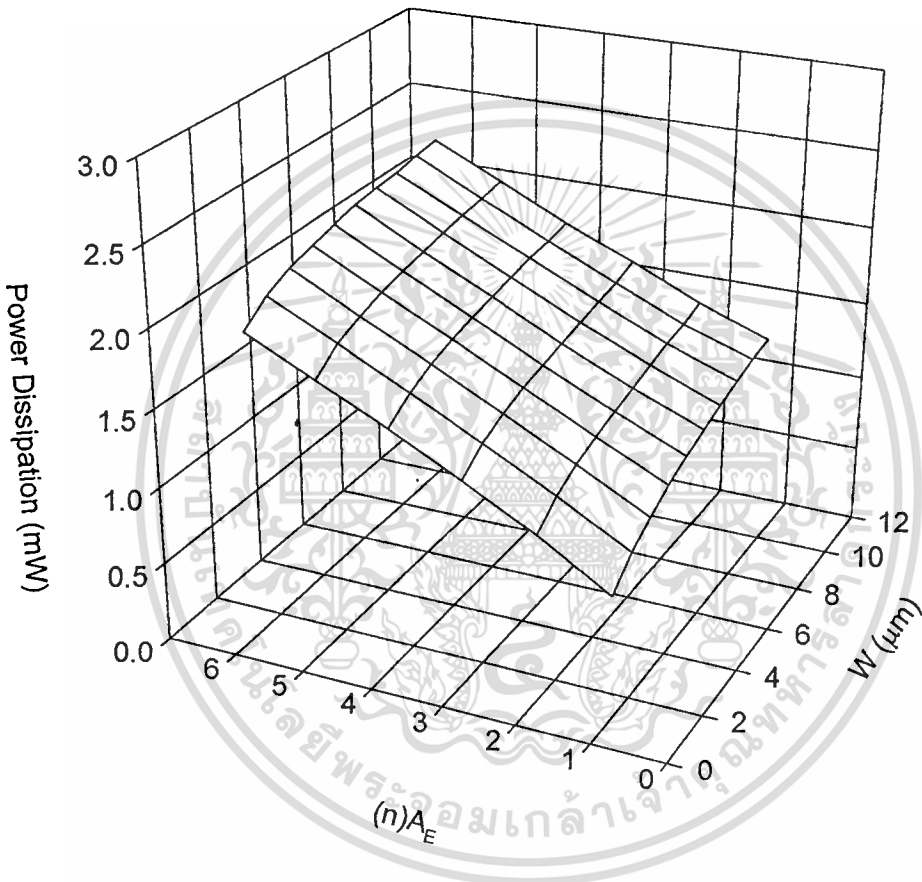


จากรูปที่ 4.17 แสดงค่าหน่วยเวลาต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$ จะพบว่าจุดที่มีค่าหน่วยเวลาน้อยที่สุดคือ $n = 1$ และ ความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอสมีค่าเท่ากับ $1 \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.18 แสดงค่ากำลังงานที่สูญเสียต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$

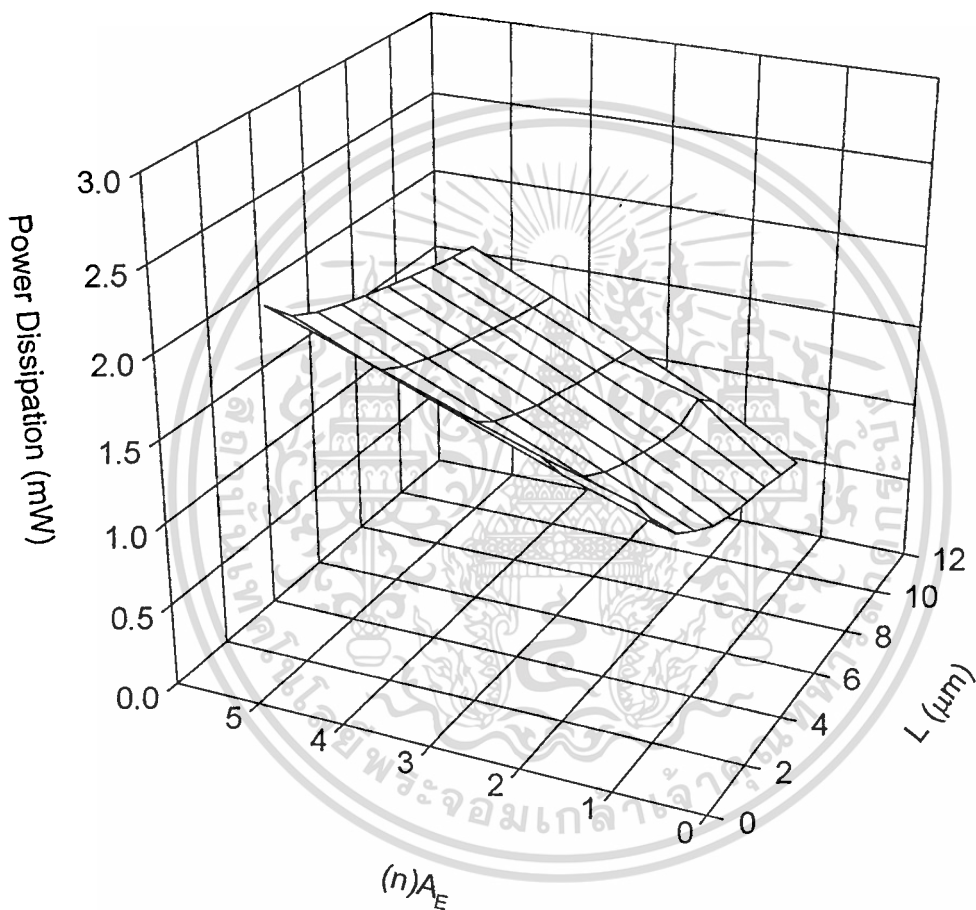
เมื่อ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



จากรูปที่ 4.18 แสดงค่ากำลังงานที่สูญเสียต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$ จะพบว่าค่ากำลังงานที่สูญเสียที่น้อยที่สุดคือ $n = 1$ และ ความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอสมีค่าเท่ากับ $1 \mu\text{m}$

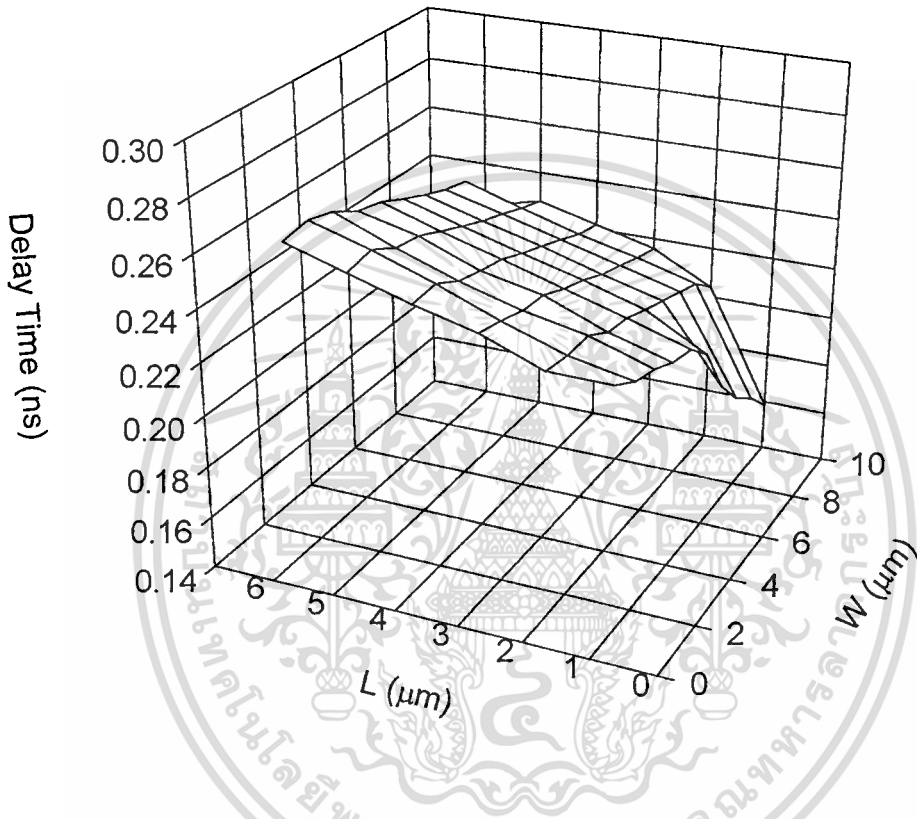
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.19 แสดงค่ากำลังงานที่สูญเสียต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$
เมื่อ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



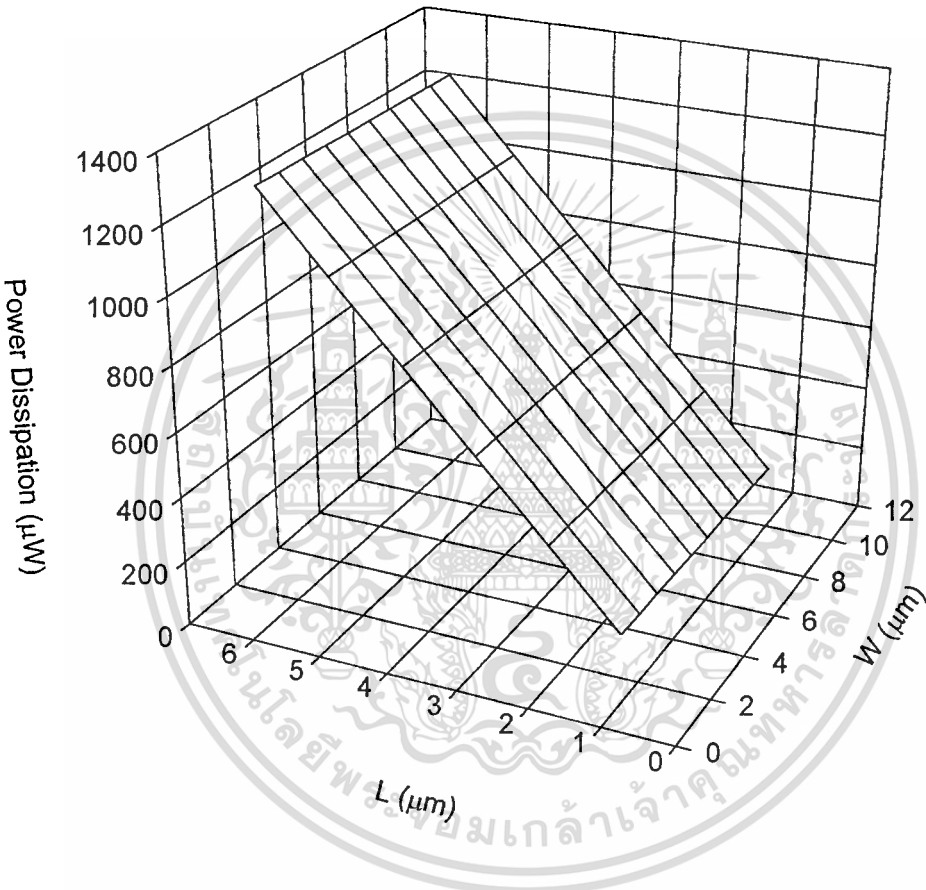
จากรูปที่ 4.19 แสดงค่ากำลังงานที่สูญเสียต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ $(n)A_E$ จะพบว่าค่ากำลังงานที่สูญเสียขึ้นอยู่กับ การเลือกความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส

รูปที่ 4.20 แสดงค่าหน่วยเวลาต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ ความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 เมื่อ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



จากรูปที่ 4.20 แสดงค่าหน่วยเวลาต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 จะพบว่าค่าหน่วยเวลาจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 มีค่าเท่ากับ 1 μm และที่ค่าหน่วยเวลาน้อยที่สุดนี้ความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 มีค่าเท่ากับ 10 μm

รูปที่ 4.21 แสดงค่ากำลังงานที่สูญเสียต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ ความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$



จากรูปที่ 4.21 แสดงค่ากำลังงานที่สูญเสียต่อความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 ต่อ ความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 จะพบว่าถ้าความยาวของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1 มีค่าน้อยค่ากำลังงานที่สูญเสียก็จะมีค่าน้อย ดังนั้นค่ากำลังงานที่สูญเสียจะซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับความกว้างของทรานซิสเตอร์แบบพีมอส M1

บทที่ 5

การประยุกต์ใช้งานอินเวอร์เตอร์ไบซีมอส

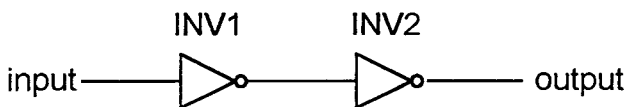
5.1 บทนำ

ดังที่กล่าวมาในบทข้างต้นวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่างเนื่องจากเป็นวงจรพื้นฐาน โดยในบทนี้จะกล่าวถึงการนำเอาวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสไปประยุกต์ใช้งานกับวงจรอื่นเช่น วงจรบัฟเฟอร์ วงจรแลทช์ และ Fan-out เป็นต้น

5.2 วงจรบัฟเฟอร์

วงจรบัฟเฟอร์เป็นวงจรพื้นฐานอีกวงจรหนึ่งที่ใช้มากในการออกแบบวงจรรวม VLSI ดังรูปที่ 5.1 โดยที่อินพุตจะมีสถานะเดียวกับเอาต์พุต ซึ่งวงจรบัฟเฟอร์ที่ดีจะต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ด้านอินพุตที่สูงและมีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเอาต์พุตที่ต่ำ ในหัวข้อนี้จะนำวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสที่เสนอเปรียบเทียบกับวงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอสและวงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบธรรมดา

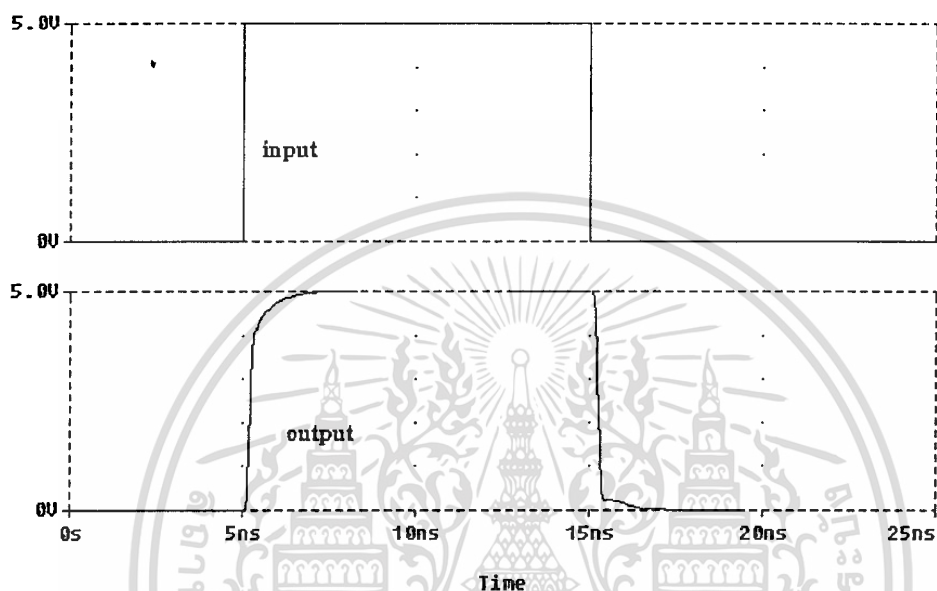
รูปที่ 5.1 แสดงสัญลักษณ์ของวงจรบัฟเฟอร์



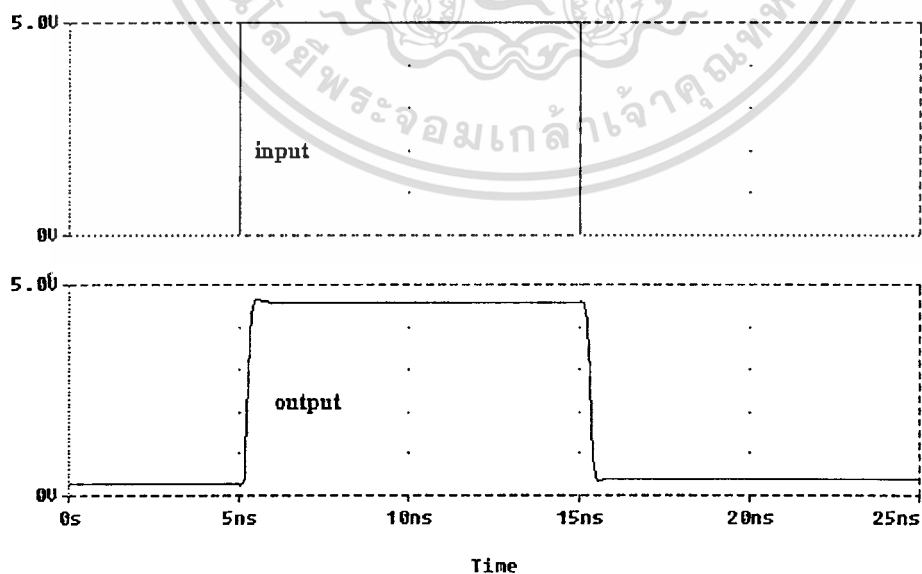
จากรูปที่ 5.2 5.3 และ 5.4 แสดงรูปคลื่นของวงจรบัฟเฟอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ วงจรบัฟเฟอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรบัฟเฟอร์ซีมอส จากรูปที่ 5.5 แสดงค่าหน่วงเวลาต่อตัวเก็บประจุของวงจรบัฟเฟอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ วงจรบัฟเฟอร์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรบัฟเฟอร์ซีมอสซึ่งที่ $C_L = 1 \text{ pF}$ ค่าหน่วงเวลาของวงจรบัฟเฟอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอมีค่าเท่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับวงจรบัฟเฟอร์ไบโพลาร์และที่ $C_L = 1.6 \text{ pF}$ ค่าหน่วงเวลาของวงจรไบโพลาร์แบบธรรมดาที่มีค่าเท่ากับวงจรบัฟเฟอร์ไบโพลาร์

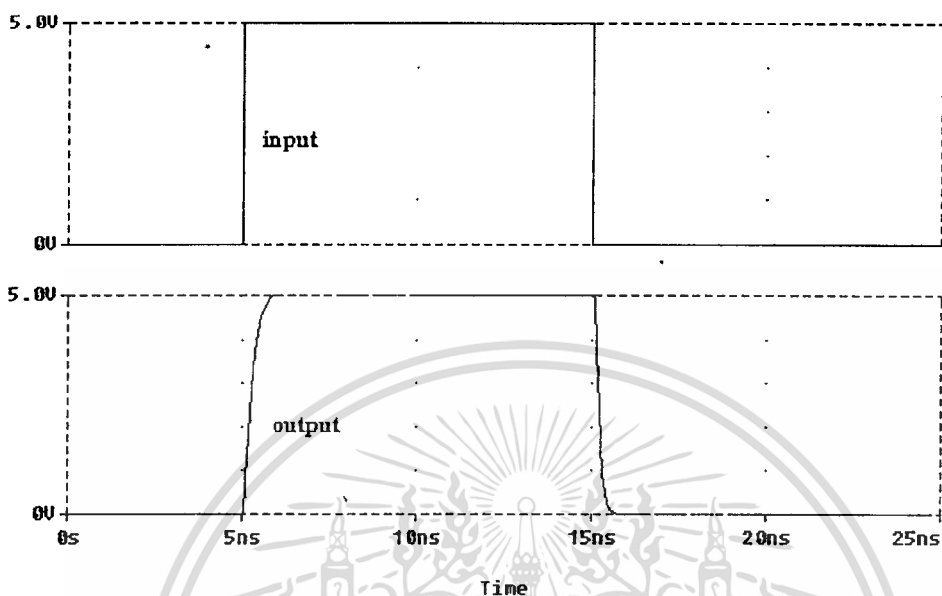
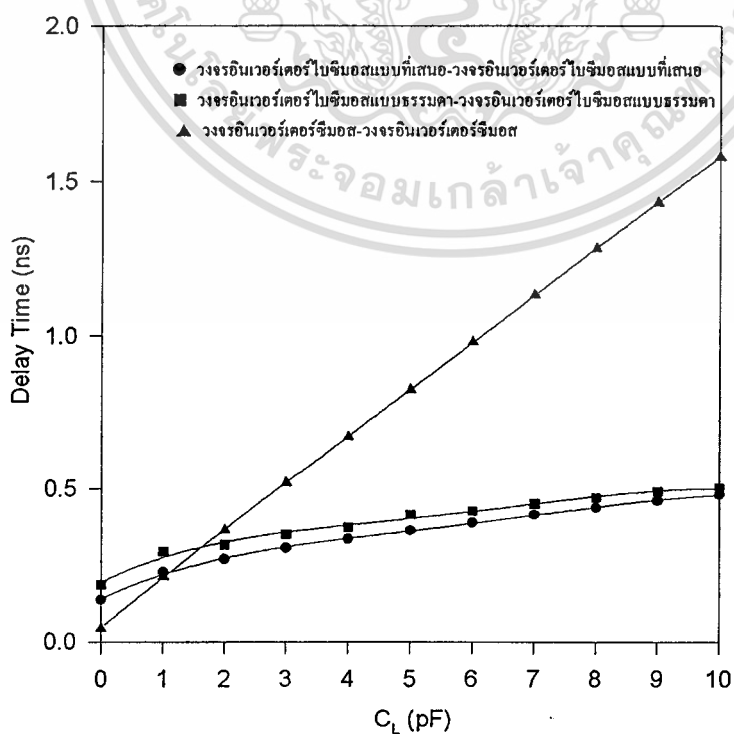
รูปที่ 5.2 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรบัฟเฟอร์ไบโพลาร์แบบที่เสนอ



รูปที่ 5.3 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรบัฟเฟอร์ไบโพลาร์แบบธรรมดา



รูปที่ 5.4 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์

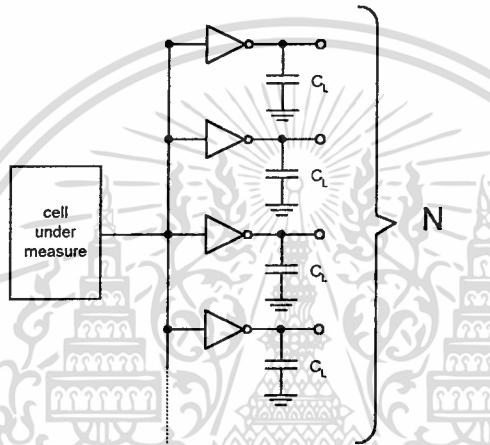
รูปที่ 5.5 แสดงค่าหน่วงเวลากับตัวเก็บประจุของวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ไบซิมอสแบบที่เสนอ วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ไบซิมอสแบบธรรมดาและวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ที่ $V_{DD} = 5\text{ V}$ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 Fan-out

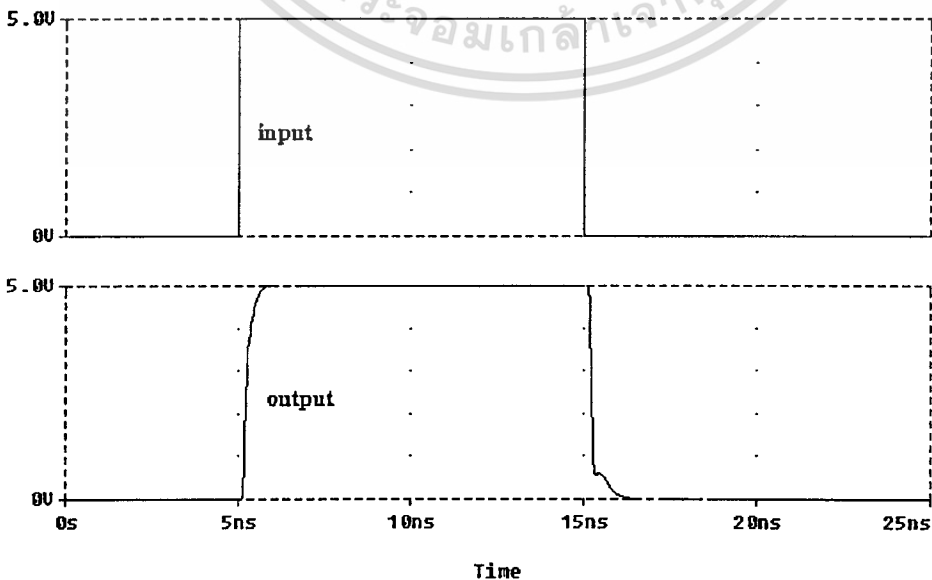
การประยุกต์ใช้งานอีกอย่างหนึ่งคือเรื่อง Fan-in และ Fan-out โดยที่ Fan-in เป็นจำนวนเกทของขาอินพุต และ Fan-out เป็นจำนวนเกททั้งหมดของขาเอาต์พุตดังรูปที่ 5.5

รูปที่ 5.6 แสดง Fan-out



รูปที่ 5.7 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรไบซีมอสแบบที่เสนอที่ Fan-out = 10 เมื่อ

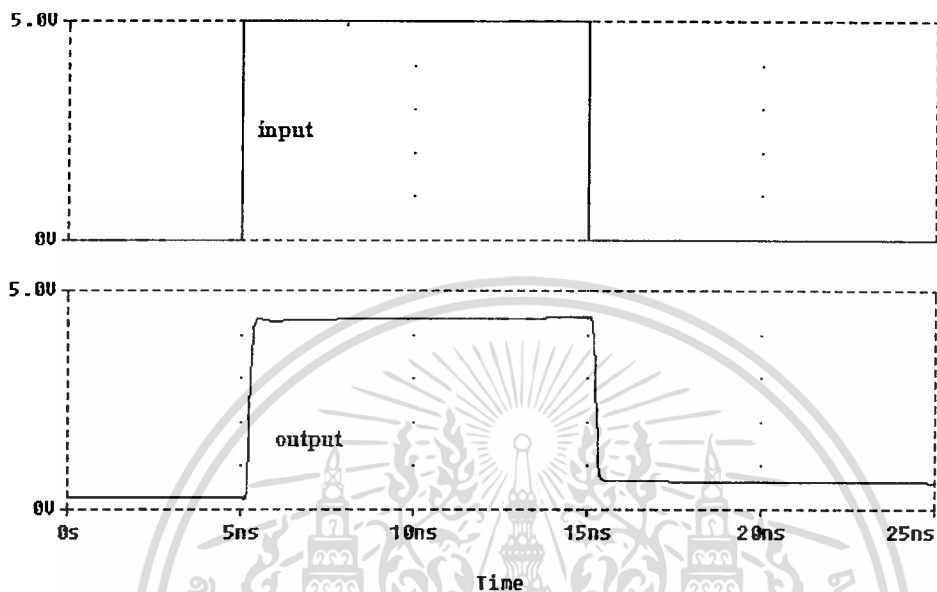
$$V_{DD} = 5 \text{ V และ } C_L = 0.1 \text{ pF}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

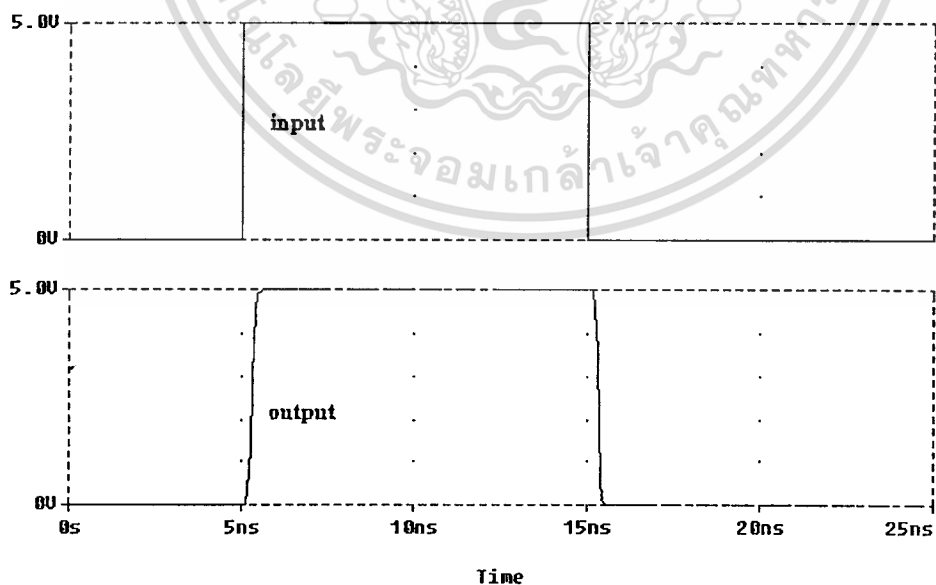
รูปที่ 5.8 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรไบซีมอสแบบธรรมดาที่ Fan-out = 10 เมื่อ

$$V_{DD} = 5 \text{ V และ } C_L = 0.1 \text{ pF}$$



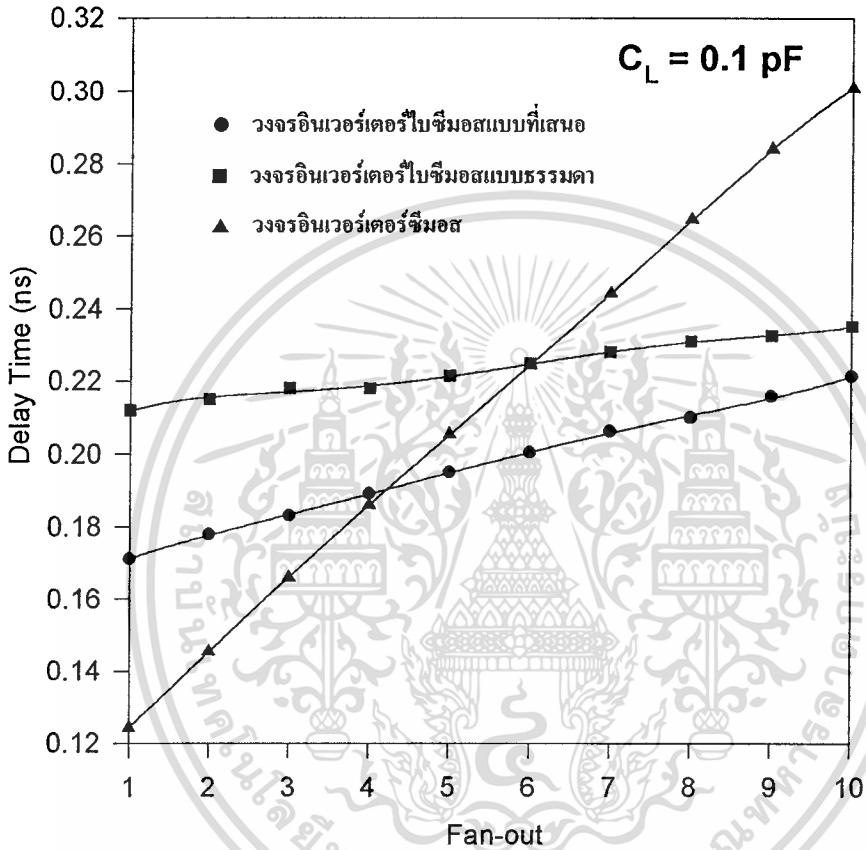
รูปที่ 5.9 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจรซีมอสที่ Fan-out = 10 เมื่อ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

$$\text{และ } C_L = 0.1 \text{ pF}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.10 แสดงค่าหน่วงเวลาต่อ Fan-out ของวงจรมอสแบบที่เสนอ วงจรมอสแบบ
ธรรมดาและวงจรมอส เมื่อ $C_L = 0.1 \text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

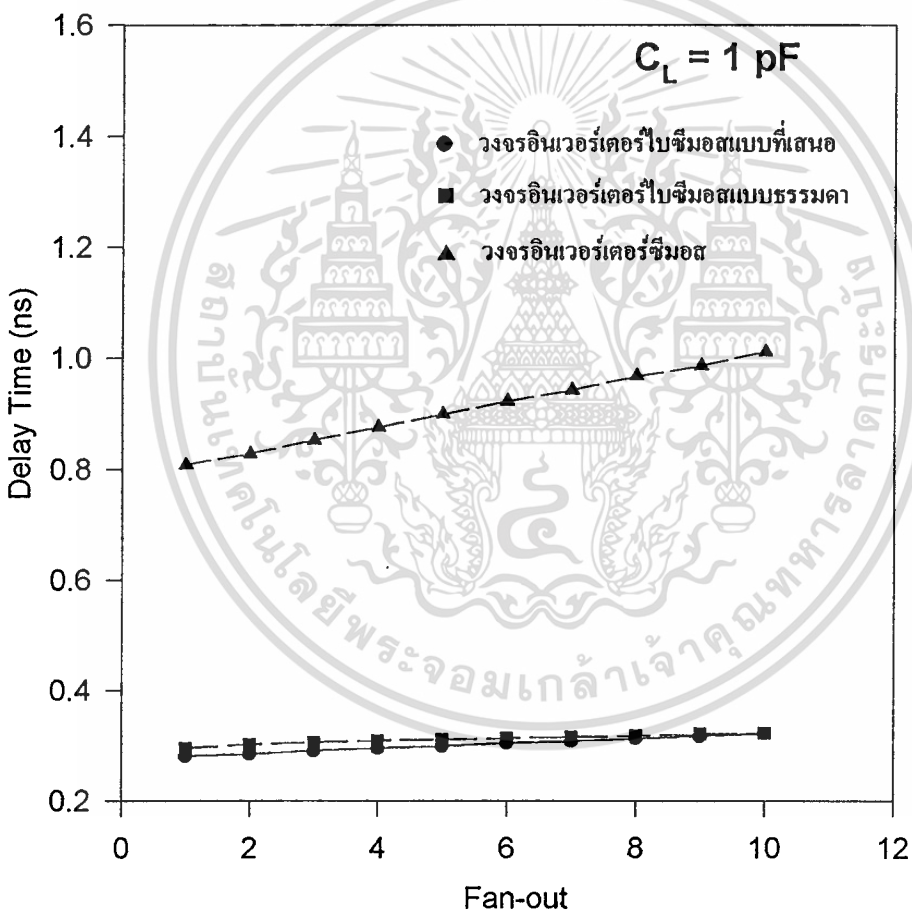


จากรูปที่ 5.10 แสดงค่าหน่วงเวลาต่อ Fan-out ของวงจรมอสแบบที่เสนอ วงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอส เมื่อ $C_L = 0.1 \text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ จากรูปที่ 5.10 สามารถคำนวณหาค่าหน่วงเวลาของวงจรมอสแบบที่เสนอที่ Fan-out เท่ากับ 1 มีค่าน้อยกว่าวงจรมอสแบบธรรมดาอยู่ 18.99% และมากกว่าวงจรมอส 9% และที่ Fan-out เท่ากับ 10 วงจรมอสแบบที่เสนอมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรมอสแบบธรรมดา 6.23% และน้อยกว่าวงจรมอส 35.86% และจากรูปที่ 5.11 แสดงค่าหน่วงเวลาต่อ Fan-out ของวงจรมอสแบบที่เสนอ วงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอส เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5 \text{ V}$ จากรูปที่ 5.11 สามารถคำนวณหาค่าหน่วงเวลาของวงจรมอสแบบที่เสนอที่ Fan-out เท่ากับ 1 มีค่าน้อยกว่าวงจรมอสแบบธรรมดาอยู่ 5.12% และน้อยกว่าวงจรมอส 1.87 เท่า ที่ Fan-out เท่ากับ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรมอสแบบที่เสนอมีค่าหน่วงเวลาน้อยกว่าวงจรมอสแบบธรรมดา 0.31% และน้อยกว่าวงจรมอส 2.14 เท่า

รูปที่ 5.11 แสดงค่าหน่วงเวลาต่อ Fan-out ของวงจรมอสแบบที่เสนอ วงจรมอสแบบธรรมดาและวงจรมอส เมื่อ $C_L = 1 \text{ pF}$ และ $V_{DD} = 5 \text{ V}$

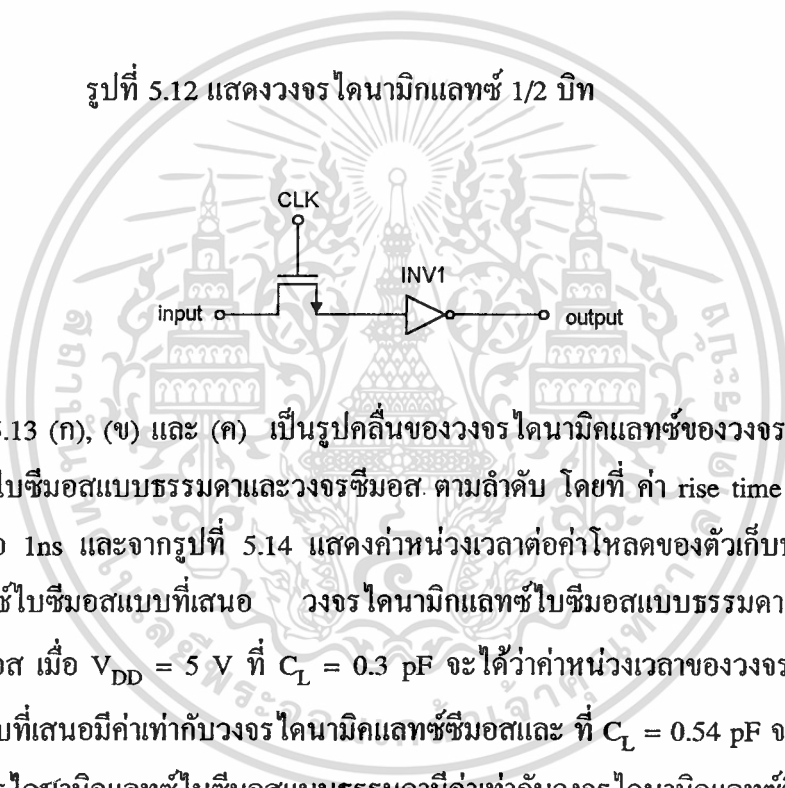


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 วงจรไดนามิกแลตช์

วงจรไดนามิกลอจิกเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานโดยใช้ประโยชน์จากความจุแฝงที่โหนดต่าง ๆ ภายในวงจร โดยจะต้องออกแบบให้วงจรมีความต้านทานขาเข้าสูง ๆ เพื่อป้องกันการรั่วของประจุและถึงแม้ว่า ความต้านทานขาเข้าจะสูงเพียงใด แต่คาบเวลาสูงสุดในการเก็บค่า (maximum storage period) ก็อยู่ในระดับนาโนวินาทีเท่านั้น ดังนั้นวงจรไดนามิก จึงจำเป็นต้องมีการป้อนข้อมูลใหม่ตามคาบเวลาทุกครั้งดังรูปที่ 5.12

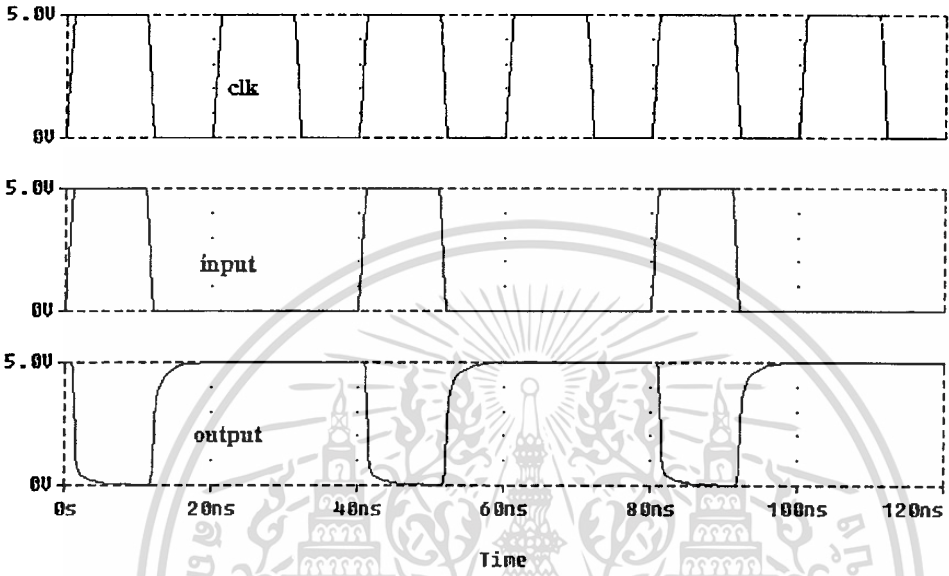
รูปที่ 5.12 แสดงวงจรไดนามิกแลตช์ 1/2 บิต



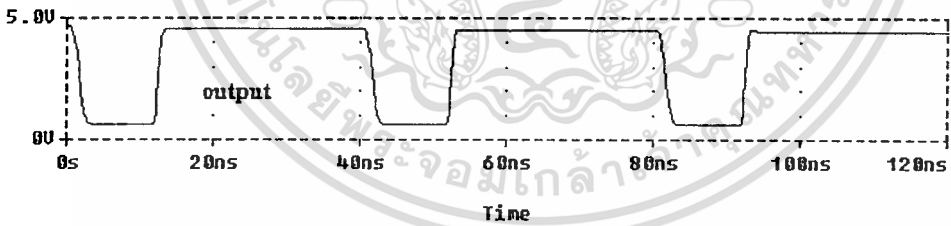
จากรูปที่ 5.13 (ก), (ข) และ (ค) เป็นรูปคลื่นของวงจรไดนามิกแลตช์ของวงจรไบซิมอสแบบที่เสนอ วงจรไบซิมอสแบบธรรมดาและวงจรซิมอส ตามลำดับ โดยที่ ค่า rise time และ fall time มีค่าเท่ากันคือ 1ns และจากรูปที่ 5.14 แสดงกำหนดวงเวลาที่ต่อค่าโหลดของตัวเก็บประจุของวงจรไดนามิกแลตช์ไบซิมอสแบบที่เสนอ วงจรไดนามิกแลตช์ไบซิมอสแบบธรรมดาและวงจรไดนามิกแลตช์ซิมอส เมื่อ $V_{DD} = 5\text{ V}$ ที่ $C_L = 0.3\text{ pF}$ จะได้ว่ากำหนดวงเวลาของวงจรไดนามิกแลตช์ไบซิมอสแบบที่เสนอมีค่าเท่ากับวงจรไดนามิกแลตช์ซิมอสและ ที่ $C_L = 0.54\text{ pF}$ จะได้ว่าค่ากำหนดวงเวลาของวงจร ไดนามิกแลตช์ไบซิมอสแบบธรรมดามีค่าเท่ากับวงจร ไดนามิกแลตช์ซิมอส

รูปที่ 5.13 แสดงรูปคลื่นเข้าพุตเทียบกับอินพุตของวงจร ไดนามิกแลตซ์ เมื่อ $C_L = 0.5 \text{ pF}$ และ

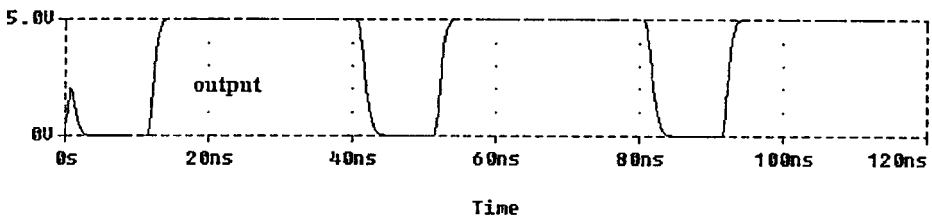
$$V_{DD} = 5 \text{ V}$$



ก) วงจร ไดนามิกแลตซ์ไบซีมอสแบบที่เสนอ



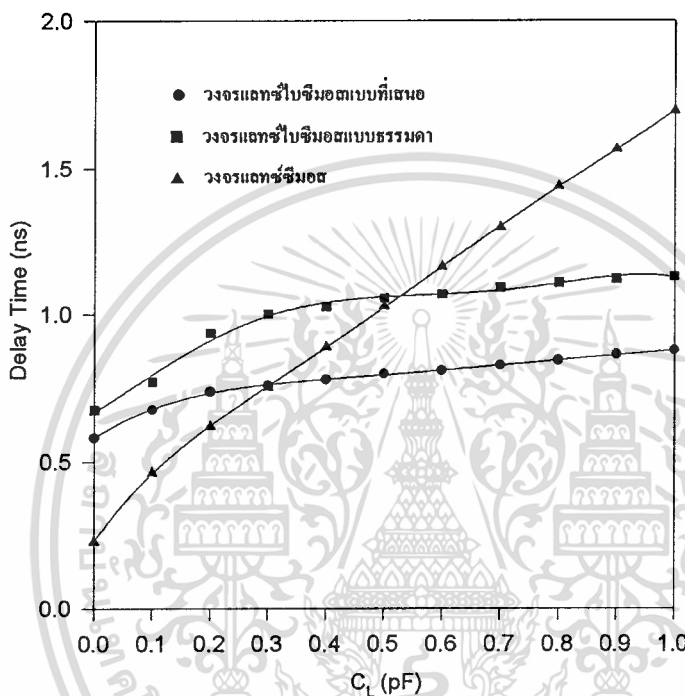
ข) วงจร ไดนามิกแลตซ์ไบซีมอสแบบธรรมดา



ค) วงจร ไดนามิกแลตซ์ซีมอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

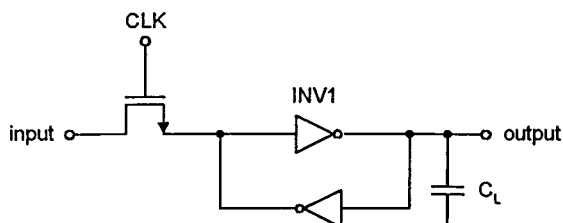
รูปที่ 5.14 แสดงค่าหน่วงเวลาต่อค่าโหลดคาปาซิแตนซ์ของวงจรไดนามิกแลตซ์ไบซีมอส
แบบที่เสนอ วงจรไดนามิกแลตซ์ไบซีมอสแบบธรรมดาและวงจรไดนามิกแลตซ์ซีมอส
เมื่อ $V_{DD} = 5 \text{ V}$



5.5 วงจรสแตติกแลตซ์

วงจรสแตติกแลตซ์เป็นวงจรหนึ่งที่น่าสนใจในการออกแบบวงจรรวม VLSI โดยจะทำให้หน้าที่เก็บค่าระดับสัญญาณและหน่วงเวลาในวงจรประมวลสัญญาณต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ผ่าน (Pass transistor) และวงจรถูกอินเวอร์เตอร์ซึ่งต่อกันอยู่แบบ Cross-Couple โดยที่ทรานซิสเตอร์ผ่านจะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ผ่านสัญญาณและแยกสัญญาณดังรูปที่ 5.15

รูปที่ 5.15 แสดงวงจรสแตติกแลตซ์ 1/2 บิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] E. W. Greeneich et al., "Analysis and characterization of BiCMOS for high-speed digital logic," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 23, no. 2, pp. 558-565, April 1988.
- [15] S. M. Kang, "Accurate Simulation of Power Dissipation in VLSI Circuit," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. SC-21, no. 5, pp. 889-891, Oct. 1986.
- [16] S.H.K. Embabi and R. Damodaran, "Delay Models for Timing Simulation of CMOS/BiCMOS/BiNMOS Mixed Digital Circuits," *IEEE Bipolar Circuits and Technology Meeting*, pp. 106-109, 1993.
- [17] S. S. Rofail and Y. K. Seng, "A precise transient model for delayed input BiCMOS digital circuits," *Int. J. Electronics*, vol. 83, no. 4, pp. 441-454, 1997.
- [18] Y. Nishio et al., "A feedback-type BiCMOS logic gate," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 24, no. 5, pp. 1360-1362, Oct. 1989.
- [19] Y. Nishio et al., "A BiCMOS logic gate with positive feedback," in *ISSCC Dig. Tech. Paper*, pp. 116-117, Feb. 1989.
- [20] H. J. Shin, "Full-swing logic circuits in a complementary BiCMOS technology," in *Proc. of the Symposium on VLSI*, pp. 89-90, 1990.
- [21] H.J. Shin, "Performance Comparison of Driver Configurations and Full-Swing Techniques for BiCMOS Logic Circuits," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 25, no. 3, pp. 863-865, June 1990.
- [22] H. J. Shin, "Full-swing logic circuits with complementary BiCMOS emitter-follower driver configuration," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 26, no. 4, pp. 578-584, April 1991.
- [23] K. Yano et al., "Quasi-complementary BiCMOS for sub-3-V digital circuits," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 26, no. 11, pp. 1708-1719, Nov. 1991.
- [24] J. M. Rabaey, "Digital Integrated Circuits," Prentice-Hall, Inc., 1996.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
โปรแกรม PSpice ที่ใช้วิเคราะห์

รูปที่ 1.2 วงจรอินเวอร์เตอร์ซีมอส

VDD 1 0 DC 5

M1 3 2 1 1 MP L=0.8U W=24U

M2 3 2 0 0 MN L=0.8U W=8U

CL 3 0 1E-12

VIN 2 0 DC 0

.MODEL MN NMOS LEVEL=2 VTO=0.75 UO=540 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=380U CJSW=150P

.MODEL MP PMOS LEVEL=2 VTO=-0.92 UO=195 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=600U CJSW=260P

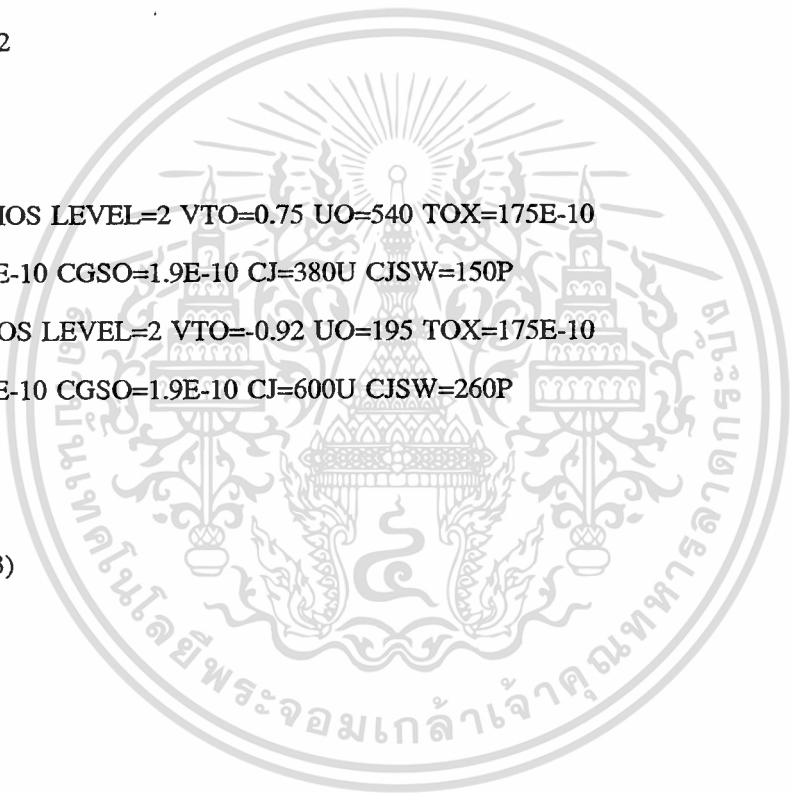
.DC VIN 0 5 0.1

.OP

.PLOT TRAN V(3)

.PROBE

.END



รูปที่ 1.6 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสแบบธรรมดา

M1 3 2 1 1 MP L=0.8U W=24U
 M2 5 2 4 4 MN L=0.8U W=8U
 M3 3 2 0 0 MN L=0.8U W=8U
 M4 4 3 0 0 MN L=0.8U W=2U
 Q1 1 3 5 NPN
 Q2 5 4 0 NPN
 CL 5 0 1E-12
 VIN 2 0 DC 0

.MODEL MN NMOS LEVEL=2 VTO=0.75 UO=540 TOX=175E-10
 + CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=380U CJSW=150P
 .MODEL MP PMOS LEVEL=2 VTO=-0.92 UO=195 TOX=175E-10
 + CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=600U CJSW=260P
 .MODEL PNP PNP IS=6.0E-17 BF=100 VAF=11 IKF=2.0E-02 ISE=2.0E-15 NE=1.67
 + BR=2 VAR=2 IKR=1.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=2.0E-01 RB=4.0E+01
 + RBM=5.0E+00 IRB=2E-04 RC=2.0E+01 CJE=4.0E-14 VJE=0.6 MJE=0.5
 + CJC=7.5E-14 VJC=0.6 MJC=0.33 CJS=7.5E-14 VJS=0.6 MJS=0.33
 + TF=20.0E-12 ITF=2.0E-02 TR=5.0E-09 XCJC=0.5
 .MODEL NPN NPN IS=1.0E-16 BF=150 VAF=33 IKF=6.0E-02 ISE=1.5E-15 NE=1.67
 + BR=4 VAR=3 IKR=3.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=1.2E-00 RB=4.0E+01
 + RBM=2.0E+00 IRB=2E-04 RC=1.5E+01 CJE=1.4E-13 VJE=0.85 MJE=0.5
 + CJC=1.4E-13 VJC=0.6 MJC=0.33 CJS=1.48E-13 VJS=0.6 MJS=0.33
 + TF=6.5E-12 ITF=3.0E-02 TR=1.0E-09 XCJC=0.2
 .DC VIN 0 5 0.1
 .PROBE
 .END

รูปที่ 4.1 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสแบบที่เสนอ

VDD 1 0 DC 5

M1 3 2 1 1 MP L=0.8U W=24U

M2 4 2 0 0 MN L=0.8U W=8U

M3 3 2 0 0 MN L=0.8U W=8U

M4 4 2 1 1 MP L=0.8U W=24U

M5 6 5 3 3 MP L=0.8U W=24U

M6 6 5 4 4 MN L=0.8U W=8U

M7 5 6 1 1 MP L=0.8U W=2U

M8 5 6 0 0 MN L=0.8U W=6U

Q1 1 3 6 NPN

Q2 0 4 6 PNP

CL 6 0 1E-12

VIN 2 0 DC 0

.MODEL MN NMOS LEVEL=2 VTO=0.75 UO=540 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=380U CJSW=150P

.MODEL MP PMOS LEVEL=2 VTO=-0.92 UO=195 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=600U CJSW=260P

.MODEL PNP PNP IS=6.0E-17 BF=100 VAF=11 IKF=2.0E-02 ISE=2.0E-15 NE=1.67 BR=2

+ VAR=2 IKR=1.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=2.0E-01 RB=4.0E+01 RBM=5.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=2.0E+01 CJE=4.0E-14 VJE=0.6 MJE=0.5 CJC=7.5E-14 VJC=0.6 MJC=0.33

+ CJS=7.5E-14 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=20.0E-12 ITF=2.0E-02 TR=5.0E-09 XCJC=0.5

.MODEL NPN NPN IS=1.0E-16 BF=150 VAF=33 IKF=6.0E-02 ISE=1.5E-15 NE=1.67 BR=4

+ VAR=3 IKR=3.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=1.2E-00 RB=4.0E+01 RBM=2.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=1.5E+01 CJE=1.4E-13 VJE=0.85 MJE=0.5 CJC=1.4E-13 VJC=0.6

+ MJC=0.33 CJS=1.48E-13 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=6.5E-12 ITF=3.0E-02 TR=1.0E-09

+ XCJC=0.2

.DC VIN 0 5 0.1

.PROBE

.END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบเอินมอส

M1 3 2 1 1 MP L=0.8U W=24U

M2 0 4 0 0 MN L = 0.8U W=8U

M3 0 2 3 3 MN L=0.8U W=8U

Q1 1 3 4 NPN

VDD 1 0 DC 5

CL 4 0 1E-12

VIN 2 0 DC 0

.MODEL MN NMOS LEVEL=2 VTO=0.75 UO=540 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=380U CJSW=150P

.MODEL MP PMOS LEVEL=2 VTO=-0.92 UO=195 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=600U CJSW=260P

.MODEL PNP PNP IS=6.0E-17 BF=100 VAF=11 IKF=2.0E-02 ISE=2.0E-15 NE=1.67 BR=2

+ VAR=2 IKR=1.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=2.0E-01 RB=4.0E+01 RBM=5.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=2.0E+01 CJE=4.0E-14 VJE=0.6 MJE=0.5 CJC=7.5E-14 VJC=0.6 MJC=0.33

+ CJS=7.5E-14 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=20.0E-12 ITF=2.0E-02 TR=5.0E-09 XCJC=0.5

.MODEL NPN NPN IS=1.0E-16 BF=150 VAF=33 IKF=6.0E-02 ISE=1.5E-15 NE=1.67 BR=4

+ VAR=3 IKR=3.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=1.2E-00 RB=4.0E+01 RBM=2.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=1.5E+01 CJE=1.4E-13 VJE=0.85 MJE=0.5 CJC=1.4E-13 VJC=0.6

+ MJC=0.33 CJS=1.48E-13 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=6.5E-12 ITF=3.0E-02 TR=1.0E-09

+ XCJC=0.2

.DC VIN 0 5 0.1

.PROBE

.END

รูปที่ 3.33 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซิมอสขนานกับคอลเล็กเตอร์-อิมิตอร์

M1 3 2 1 1 MP L=0.8U W=24U

M2 4 2 5 5 MN L=0.8U W=8U

M3 3 2 0 0 MN L=0.8U W=8U

M4 5 3 0 0 MN L=0.8U W=2U

M5 4 2 1 1 MP L=0.8U W=24U

M6 4 2 0 0 MN L=0.8U W=8U

Q1 1 3 4 NPN

Q2 4 5 0 NPN

VDD 1 0 DC 5

CL 4 0 1E-12

VIN 2 0 DC 0

.MODEL MN NMOS LEVEL=2 VTO=0.75 UO=540 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=380U CJSW=150P

.MODEL MP PMOS LEVEL=2 VTO=-0.92 UO=195 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=600U CJSW=260P

.MODEL PNP PNP IS=6.0E-17 BF=100 VAF=11 IKF=2.0E-02 ISE=2.0E-15 NE=1.67 BR=2

+ VAR=2 IKR=1.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=2.0E-01 RB=4.0E+01 RBM=5.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=2.0E+01 CJE=4.0E-14 VJE=0.6 MJE=0.5 CJC=7.5E-14 VJC=0.6 MJC=0.33

+ CJS=7.5E-14 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=20.0E-12 ITF=2.0E-02 TR=5.0E-09 XCJC=0.5

.MODEL NPN NPN IS=1.0E-16 BF=150 VAF=33 IKF=6.0E-02 ISE=1.5E-15 NE=1.67 BR=4

+ VAR=3 IKR=3.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=1.2E-00 RB=4.0E+01 RBM=2.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=1.5E+01 CJE=1.4E-13 VJE=0.85 MJE=0.5 CJC=1.4E-13 VJC=0.6

+ MJC=0.33 CJS=1.48E-13 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=6.5E-12 ITF=3.0E-02 TR=1.0E-09

+ XCJC=0.2

.DC VIN 0 5 0.1

.PROBE

.END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.41 วงจรอินเวอร์เตอร์ไปซีมอสแบบคอมพิวเมนทรารี

```
VDD 1 0 DC 5
```

```
M1 3 2 1 1 MP L=0.8U W=24U
```

```
M2 5 2 0 0 MN L=0.8U W=8U
```

```
M3 4 0 3 3 MP L=0.8U W=24U
```

```
M4 4 1 5 5 MN L=0.8U W=20U
```

```
Q1 1 3 4 NPN
```

```
Q2 0 5 4 PNP
```

```
CL 4 0 1E-12
```

```
VIN 2 0 DC 0
```

```
.MODEL MN NMOS LEVEL=2 VTO=0.75 UO=540 TOX=175E-10
```

```
+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=380U CJSW=150P
```

```
.MODEL MP PMOS LEVEL=2 VTO=-0.92 UO=195 TOX=175E-10
```

```
+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=600U CJSW=260P
```

```
.MODEL PNP PNP IS=6.0E-17 BF=100 VAF=11 IKF=2.0E-02 ISE=2.0E-15 NE=1.67 BR=2
```

```
+ VAR=2 IKR=1.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=2.0E-01 RB=4.0E+01 RBM=5.0E+00
```

```
+ IRB=2E-04 RC=2.0E+01 CJE=4.0E-14 VJE=0.6 MJE=0.5 CJC=7.5E-14 VJC=0.6 MJC=0.33
```

```
+ CJS=7.5E-14 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=20.0E-12 ITF=2.0E-02 TR=5.0E-09 XCJC=0.5
```

```
.MODEL NPN NPN IS=1.0E-16 BF=150 VAF=33 IKF=6.0E-02 ISE=1.5E-15 NE=1.67 BR=4
```

```
+ VAR=3 IKR=3.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=1.2E-00 RB=4.0E+01 RBM=2.0E+00
```

```
+ IRB=2E-04 RC=1.5E+01 CJE=1.4E-13 VJE=0.85 MJE=0.5 CJC=1.4E-13 VJC=0.6
```

```
+ MJC=0.33 CJS=1.48E-13 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=6.5E-12 ITF=3.0E-02 TR=1.0E-09
```

```
+ XCJC=0.2
```

```
.DC VIN 0 5 0.1
```

```
.PROBE
```

```
.END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.25 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับวงจรป้อนกลับ

M1 3 2 1 1 MP L=0.8U W=24U

M2 4 2 6 6 MN L=0.8U W=8U

M3 3 2 0 0 MN L=0.8U W=32U

M4 4 5 3 3 MP L=0.8U W=8U

M5 6 5 0 0 MN L=0.8U W=16U

M6 5 4 1 1 MP L=0.8U W=2U

M7 5 4 0 0 MN L=0.8U W=8U

Q1 1 3 4 NPN

Q2 4 5 0 NPN

VDD 1 0 DC 5

CL 4 0 1E-12

VIN 2 0 DC 0

.MODEL MN NMOS LEVEL=2 VTO=0.75 UO=540 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=380U CJSW=150P

.MODEL MP PMOS LEVEL=2 VTO=-0.92 UO=195 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=600U CJSW=260P

.MODEL PNP PNP IS=6.0E-17 BF=100 VAF=11 IKF=2.0E-02 ISE=2.0E-15 NE=1.67 BR=2

+ VAR=2 IKR=1.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=2.0E-01 RB=4.0E+01 RBM=5.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=2.0E+01 CJE=4.0E-14 VJE=0.6 MJE=0.5 CJC=7.5E-14 VJC=0.6 MJC=0.33

+ CJS=7.5E-14 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=20.0E-12 ITF=2.0E-02 TR=5.0E-09 XCJC=0.5

.MODEL NPN NPN IS=1.0E-16 BF=150 VAF=33 IKF=6.0E-02 ISE=1.5E-15 NE=1.67 BR=4

+ VAR=3 IKR=3.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=1.2E-00 RB=4.0E+01 RBM=2.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=1.5E+01 CJE=1.4E-13 VJE=0.85 MJE=0.5 CJC=1.4E-13 VJC=0.6

+ MJC=0.33 CJS=1.48E-13 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=6.5E-12 ITF=3.0E-02 TR=1.0E-09

+ XCJC=0.2

.DC VIN 0 5 0.1

.PROBE

.END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 วงจรอินเวอร์เตอร์ไบซีมอสขนานกับทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟส

M1 3 2 1 1 MP L=0.8U W=24U

M2 4 2 5 5 MN L=0.8U W=8U

M3 3 2 0 0 MN L=0.8U W=8U

M4 4 0 3 3 MP L=0.8U W=2U

M5 5 1 0 0 MN L=0.8U W=8U

Q1 1 3 4 NPN

Q2 4 5 0 NPN

VDD 1 0 DC 5

CL 4 0 1E-12

VIN 2 0 DC 0

.MODEL MN NMOS LEVEL=2 VTO=0.75 UO=540 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=380U CJSW=150P

.MODEL MP PMOS LEVEL=2 VTO=-0.92 UO=195 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=600U CJSW=260P

.MODEL PNP PNP IS=6.0E-17 BF=100 VAF=11 IKF=2.0E-02 ISE=2.0E-15 NE=1.67 BR=2

+ VAR=2 IKR=1.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=2.0E-01 RB=4.0E+01 RBM=5.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=2.0E+01 CJE=4.0E-14 VJE=0.6 MJE=0.5 CJC=7.5E-14 VJC=0.6 MJC=0.33

+ CJS=7.5E-14 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=20.0E-12 ITF=2.0E-02 TR=5.0E-09 XCJC=0.5

.MODEL NPN NPN IS=1.0E-16 BF=150 VAF=33 IKF=6.0E-02 ISE=1.5E-15 NE=1.67 BR=4

+ VAR=3 IKR=3.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=1.2E-00 RB=4.0E+01 RBM=2.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=1.5E+01 CJE=1.4E-13 VJE=0.85 MJE=0.5 CJC=1.4E-13 VJC=0.6

+ MJC=0.33 CJS=1.48E-13 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=6.5E-12 ITF=3.0E-02 TR=1.0E-09

+ XCJC=0.2

.DC VIN 0 5 0.1

.PROBE

.END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 วงจรอินเวอร์เตอร์ไปซีมอสขนานกับความต้านทาน

M1 3 2 1 1 MP L=0.8U W=24U

M2 4 2 5 0 MN L=0.8U W=8U

Q1 1 3 4 NPN

Q2 4 5 0 NPN

R1 3 4 50

R2 5 0 50

VDD 1 0 DC 5

CL 4 0 1E-12

VIN 2 0 DC 0

.MODEL MN NMOS LEVEL=2 VTO=0.75 UO=540 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=380U CJSW=150P

.MODEL MP PMOS LEVEL=2 VTO=-0.92 UO=195 TOX=175E-10

+ CGDO=1.9E-10 CGSO=1.9E-10 CJ=600U CJSW=260P

.MODEL PNP PNP IS=6.0E-17 BF=100 VAF=11 IKF=2.0E-02 ISE=2.0E-15 NE=1.67 BR=2

+ VAR=2 IKR=1.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=2.0E-01 RB=4.0E+01 RBM=5.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=2.0E+01 CJE=4.0E-14 VJE=0.6 MJE=0.5 CJC=7.5E-14 VJC=0.6 MJC=0.33

+ CJS=7.5E-14 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=20.0E-12 ITF=2.0E-02 TR=5.0E-09 XCJC=0.5

.MODEL NPN NPN IS=1.0E-16 BF=150 VAF=33 IKF=6.0E-02 ISE=1.5E-15 NE=1.67 BR=4

+ VAR=3 IKR=3.0E-02 ISC=5.0E-16 NC=1.67 RE=1.2E-00 RB=4.0E+01 RBM=2.0E+00

+ IRB=2E-04 RC=1.5E+01 CJE=1.4E-13 VJE=0.85 MJE=0.5 CJC=1.4E-13 VJC=0.6

+ MJC=0.33 CJS=1.48E-13 VJS=0.6 MJS=0.33 TF=6.5E-12 ITF=3.0E-02 TR=1.0E-09

+ XCJC=0.2

.DC VIN 0 5 0.1

.PROBE

.END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การหาค่าพลังงานที่สูญเสียด้วยวิธีทางอ้อม

- กรณี Current-Controlled Current Source

$$\beta = V_{DD} C_y f \quad (\text{ข.1})$$

โดย β เป็นพารามิเตอร์ของอัตรากรขยายกระแสคร่อม C_y ในวงจรรย่อย

- กรณี Voltage-Controlled Current Source

$$g_m = V_{DD} C_y f / V_X \quad (\text{ข.2})$$

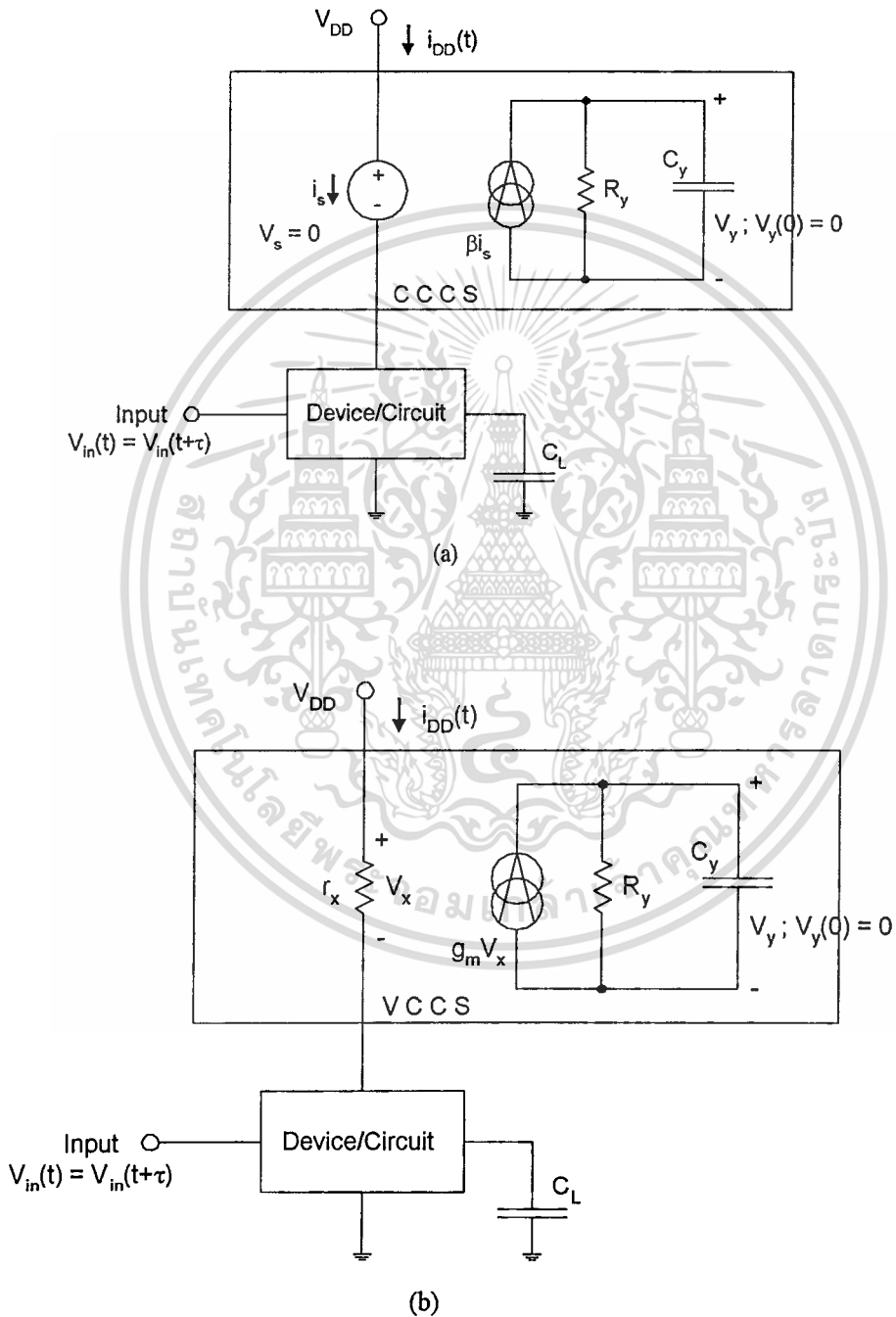
โดยที่ g_m เป็นค่าทรานคอนดักแตนซ์และ r_X เป็นค่าความต้านทานอนุกรมต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับวงจรที่จะวัด

ทั้งสองกรณีเป็นการวัดค่ากำลังงาน ที่ถูกนอมัลไรซ์โดยค่า V_{DD} หมายความว่าค่ากำลังงานที่แท้จริงคือ การคูณ β กับ g_m ด้วย V_{DD}

รูปที่ ข1.1 แสดงมิเตอร์วัดกำลังงานสูญเสีย

(a) วงจรย่อยพร้อม Current-Controlled Current Source

(b) วงจรย่อยพร้อม Voltage-Controlled Current Source



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายไพบูรณ์ ผู้ประกาย เกิดเมื่อวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2516 ที่จังหวัดไทเป ประเทศไต้หวัน สำเร็จการศึกษาวissenschaftบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2537 ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. ไพบูรณ์ ผู้ประกาย จูติพงศ์ บุศบงกรศ และ กอบชัย เดชหาญ, “การออกแบบวงจรถูกอนาลอกแบบ 4 ควอดแดรนต์โดยใช้ซีมอส,” วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 หน้าที่ 95-100 กรกฎาคม 2539
2. ไพบูรณ์ ผู้ประกาย ฉัตรพงศ์ สุริยาอมรานนท์ และ กอบชัย เดชหาญ, “การออกแบบวงจรถูกอินเวอร์เตอร์/บัฟเฟอร์ด้วยไบซีมอส,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20 ณ โรงแรมโซลทวิน ทาวเวอร์ วันที่ 13-14 พฤศจิกายน 2540

