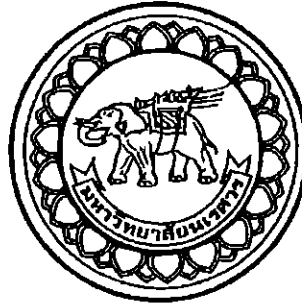




ศึกษาวงจรออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตส์ ความถี่ 35 MHz

Study the 35 MHz – Colpitts Oscillator Circuit

นายพรชัย แป้นเพชร

รหัส 46361697

นายณัฐวุฒิ สัตยาภิรณานนท์

รหัส 46363172

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 25 พ.ค. 2553
เลขทะเบียน..... 1502139X
เลขเรียกหนังสือ..... 918
มหาวิทยาลัยนเรศวร พ. 23105

2550

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2550



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	การศึกษาวงจรออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตตส์ ความถี่ 35 MHz		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายพรชัย	แป้นเพชร	รหัส 46361697
	นายณัฐวุฒิ	สัตยาภิรณานนท์	รหัส 46363172
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อัครพันธ์	วงศ์กังแห	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2550		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาดำเนินหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

.....กรรมการ
(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

หัวข้อโครงการ	ศึกษาวงจรออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตตส์ ความถี่ 35 MHz		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายพรชัย	เป็นเพชร	รหัส 46361697
	นายณัฐวุฒิ	สัตยาภิรณานนท์	รหัส 46363172
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อัครพันธ์	วงศ์กั้งแห	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2550		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาวงจรออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิตตส์ ที่กำเนิดสัญญาณไซน์ ความถี่ 35 MHz ซึ่ง ในโครงการนี้วงจรออสซิลเลเตอร์ ถูกจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม Pspice และ วงจรจริงได้ถูกสร้างขึ้น เพื่อเปรียบเทียบการทำงาน กับ การจำลองการทำงาน สำหรับวงจรออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิตตส์ มีข้อเด่นในแง่ของความง่ายที่จะทำความเข้าใจ ง่ายต่อการค้นหาความถี่ที่ต้องการ และสามารถสร้างความถี่ได้ในช่วงที่กว้าง ทำให้ง่ายต่อการนำมาศึกษา

Project title	Study the 35 MHz – Colpitts Oscillator Circuit		
Name	Mr. Ponchai	Panpet	ID. 46361697
	Mr. Natthawut	Sattayapirananon	ID. 46363172
Project advisor	Dr. Akaraphunt	Vongkumhae	
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic year	2007		

.....

Abstract

A 35-MHz Colpitts oscillator circuit is studied in this project. The simulated signals of the circuit using Pspice software are compared to the real signal measurements of a hand make circuit on a proto board. The hand analysis of circuit is also provided in this project. The Colpitts oscillator circuit is chosen for studying in this project because its circuit is easy to understand and build.

กิตติกรรมประกาศ

การที่โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีทางผู้จัดทำใคร่ขอแสดงความขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ดร.อักรพันธ์ วงศ์กังแห ดร.ชัยรัตน์ พินทอง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้กรุณาแนวความคิด ช่วยชี้แนะแนวทางในการทำโครงการ ตลอดจนกรุณาเอื้อเฟื้อเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ โครงการนี้อีกทั้งช่วยแนะนำแหล่งข้อมูลในการค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการของผู้จัดทำเป็นอย่างมาก

คณะผู้จัดทำโครงการ

นายพรชัย แป้นเพชร

นายณัฐวุฒิ สัตยาภิรณานนท์



สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงการวิจัย	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบข่ายของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า	3
2.1.1 การวิเคราะห์วงจรไฟกระแสตรง	4
2.1.2 การวิเคราะห์วงจรไฟกระแสสลับ	5
2.2 วงจรออสซิลเลเตอร์	7
2.3 ออสซิลเลเตอร์สัญญาณรูปไซน์แบบ LC (LC Sine-Oscillator)	9
2.3.1 การวิเคราะห์ด้วยผลรวมของอิมพีแดนซ์	10
บทที่ 3 การวิเคราะห์วงจร	17
3.1 การวิเคราะห์วงจรออสซิลเลเตอร์ 35 MHz โดยการคำนวณมือ	17
3.1.1 การวิเคราะห์ไฟตรง	18
3.1.2 การวิเคราะห์ไฟสลับ	21
3.2 การวิเคราะห์วงจรออสซิลเลเตอร์ 35 MHz ด้วยโปรแกรม PSpice	24
3.2.1 นำวงจรเข้าไปวิเคราะห์ในโปรแกรม	25

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.2 กำหนด Analysis Setup	26
3.2.3 พิจารณาค่า Bias Voltage และ Current	27
3.2.4 พิจารณาลักษณะสัญญาณที่ R_s	29
3.3 การปรับแต่งวงจร	29
3.3.1 ผลกระทบของค่า g_m	29
3.3.2 ความถี่ในการออสซิลเลต	30
บทที่ 4 การทดลอง	33
4.1 จุดประสงค์	33
4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	33
4.3 วิธีทำการทดลอง	34
4.4 ผลการทดลอง	35
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	40
5.1 การวิเคราะห์สัญญาณเพื่ออธิบายการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์	40
5.2 สรุปผล	47
5.3 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	51
ประวัติผู้ทำโครงการ	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการศึกษาโครงการ	2
4.1 แรงดันที่วัดได้จากโนคต่างๆ	35
5.1 การวิเคราะห์ค่าไฟกระแสตรง	40



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า	3
2.2 วงจรเทียบเคียงวงจรเทวินิน	4
2.3 วิเคราะห์วงจรเทียบเคียงวงจรเทวินิน	4
2.4 วงจรสมมูลแบบ ไฮบริด π โมเดล ของทรานซิสเตอร์ สำหรับสัญญาณขนาดเล็ก	5
2.5 บล็อกโคอะแกรมของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบพื้นฐาน	7
2.6 LC ออสซิลเลเตอร์แบบใช้วงจร $V \rightarrow I$ ร่วมกับอิมพีแดนซ์ 3 ตัว	10
2.7 การตัดรูปของวงจรใน รูปที่ 2.6 เพื่อวิเคราะห์หาสมการของรูปแกน	11
2.8 LC ออสซิลเลเตอร์แบบของโคลพิตตส์ในอุดมคติ	12
2.9 การจัดรูปใหม่ของ LC ออสซิลเลเตอร์แบบ โคลพิตตส์	14
2.10 วงจรสมมูลของ LC ออสซิลเลเตอร์ของรูปที่ 2.9	15
3.1 วงจรต้นแบบ	17
3.2 วงจรสำหรับวิเคราะห์ไฟตรง	18
3.3 วงจรสำหรับหา V_B	18
3.4 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ที่นำไปประมวลผลกับ โปรแกรม PSpice	25
3.5 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์	26
3.6 แสดงการกำหนดชนิดการวิเคราะห์	26
3.7 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์แบบ Transient	27
3.8 แสดงค่า Bias Voltage ของวงจร	27
3.9 แสดงค่า Bias Current ของวงจร	28
3.10 แสดงลักษณะสัญญาณที่ R_5	29
3.11 แสดงลักษณะสัญญาณทางเวลาที่เกิดขึ้นที่ R_5 หลังได้รับการเพิ่มค่าเป็น $1M\Omega$	30
3.12 แสดงลักษณะสัญญาณทางความถี่ที่เกิดขึ้นที่ R_5 หลังได้รับการเพิ่มค่าเป็น $1M\Omega$	30
3.13 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่จะนำไปสร้างจริง	31
3.14 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรในรูปที่ 3.13	32
3.15 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ ซึ่งมีความถี่ 35 MHz	32
4.1 แสดงวงจรที่ใช้ทดสอบ	34
4.2 สัญญาณที่วัดได้จาก R_5 โดยที่มี $\text{vol/div} = 200\text{mV}$ และ $\text{time/div} = 100\text{ns}$	37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 สัญญาณที่วัดได้จาก R_s โดยที่มี $\text{volt/div} = 200\text{mV}$, $\text{time/div} = 100\text{ns}$ และแสดงสัญญาณในเชิงความถี่ ที่ 35 MHz	37
4.4 สัญญาณที่วัดได้จาก R_s โดยที่มี $\text{volt/div} = 200\text{mV}$ และ $\text{time/div} = 10$	38
4.5 สัญญาณที่วัดได้จาก R_s โดยที่มี $\text{volt/div} = 200\text{mV}$ และ $\text{time/div} = 5\text{n}$	38
4.6 สัญญาณที่วัดได้จาก R_s โดยที่มี $\text{volt/div} = 200\text{mV}$ $\text{time/div} = 10\text{ns}$ และได้กำจัดสัญญาณรบกวนออกไป โดยการวัดค่าเฉลี่ยของสัญญาณ	39
5.1 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ที่สมบูรณ์	40
5.2 แสดงสัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุ C2	41
5.3 แสดงสัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุ C4	42
5.4 แสดงสัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุ C2 และ C4	43
5.5 แสดงสัญญาณกระแสที่ตัวต้านทาน R2	44
5.6 แสดงสัญญาณกระแสที่ตัวต้านทาน RC	45
5.7 แสดงวงจรเสมือนขณะที่ทรานซิสเตอร์ยังไม่ทำงาน และแสดงลักษณะการไหลของกระแส	46
5.8 แสดงลักษณะสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปตามการทำงานของอุปกรณ์ในวงจร	47
5.9 แสดงค่าความถี่ที่วัดได้จากวงจรจริง	48
5.10 สัญญาณที่วัดได้จาก R_s ที่มีลักษณะสัญญาณไซน์ที่เบี่ยงไปทางขวา	49
5.11 แสดงสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการใช้ตัวเหนี่ยวนำหลายตัวมาต่อกัน	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญโครงการ

อุปกรณ์ในการสื่อสาร โทรคมนาคม เครื่องมือวัดทางการแพทย์ และอุปกรณ์อื่นๆอีกมากมายส่วนใหญ่มักจะเกี่ยวข้องกับกลุ่มวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งวงจรอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้มักประกอบไปด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณ หรือ วงจรออสซิลเลเตอร์ และสัญญาณความถี่ต่างๆล้วนเกิดจากการออกแบบสร้างวงจรให้มีสัญญาณความถี่ออกมาตามที่ต้องการ

ดังนั้น ทางคณะของผู้เสนอได้เล็งเห็นความสำคัญในส่วนนี้ จึงได้ทำการศึกษาวงจรออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิตตส์ 35 MHz ซึ่งเป็นวงจรที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานการปรับเปลี่ยนความถี่ให้ตรงตามความต้องการ ได้ง่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาวงจรออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิตตส์ 35 MHz
2. เพื่อศึกษาวิธีการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิตตส์ 35 MHz
3. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิตตส์ 35 MHz
4. เพื่อพัฒนางจรและนำไปใช้ในควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อื่นๆได้

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1. ศึกษาส่วนต่างๆของวงจรออสซิลเลเตอร์
2. ศึกษาการทำงานของออสซิลเลเตอร์ แบบ โคลพิตตส์ 35 MHz
3. ศึกษาการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิตตส์ 35 MHz
4. ออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์
5. ทดลองและพัฒนาอุปกรณ์
6. สรุปผล

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการศึกษาโครงการ

กิจกรรม	เดือน – ปี/49				
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาคุณสมบัติต่างๆของทรานซิสเตอร์	↔				
2. ศึกษาการทำงานของออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตตส์ 35 MHz		↔			
3. ออกแบบออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิตตส์ 35 MHz			↔		
4. ทดลองและพัฒนาอุปกรณ์			↔		
5. สรุปผล					↔

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับ
 - 1.1 ทรานซิสเตอร์
 - 1.2 การทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์ แบบ โคลพิตตส์
 - 1.3 ออกแบบออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิตตส์
 - 1.4 การมอดูเลตสัญญาณ
2. ฝึกการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงาน
3. สามารถพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อื่นๆได้
4. เพื่อให้ผู้ที่สนใจศึกษาและทำการพัฒนาต่อไป

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

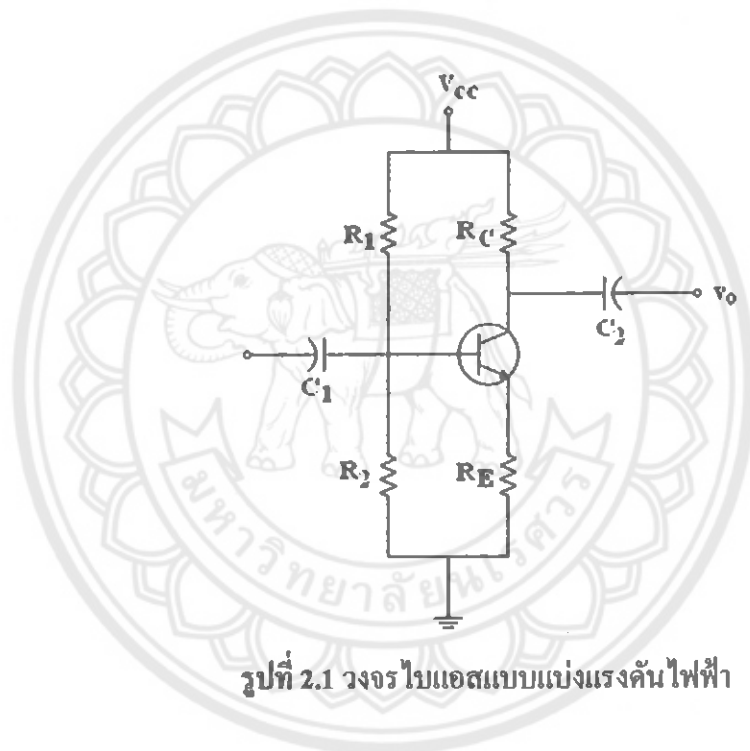
- | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1. ค่าถ่ายเอกสารและค่าเช่าเล่มโครงการ | 850 บาท |
| 2. ค่าแผ่นซีดี และ ค่าหมึกพิมพ์ | 450 บาท |
| 3. ค่าเอกสารในการประกอบการทำโครงการ | 700 บาท |
| รวมเป็นเงิน | <u>2,000</u> บาท (สองพันบาทถ้วน) |

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า

ในวงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้าและวงจรไบแอสอิมิตเตอร์สเตบิไลซ์ กระแสและแรงดันไบแอสที่จุด Q คือ I_{CQ} และ V_{CEQ} เป็นฟังก์ชันของอัตราขยายกระแส (β) ในทรานซิสเตอร์ แต่เนื่องจาก β ไวต่ออุณหภูมิโดยเฉพาะทรานซิสเตอร์ที่ทำจากซิลิคอน จึงไม่อาจกำหนดค่า β ให้เหมาะสมได้กับทุกสถานะที่ต้องการเสมอไป เราจำเป็นต้องสร้างวงจรไบแอสที่แยกค่า β ออกมาต่างหากได้วงจรดังกล่าวเรียกว่า วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า

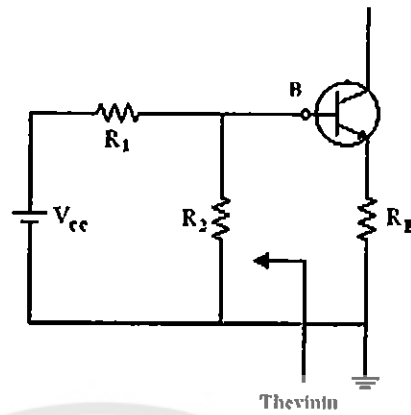


รูปที่ 2.1 วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า

ถ้ากำหนดเงื่อนไขในวงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม ค่า I_{CQ} และ V_{CEQ} ของวงจรจะเป็นอิสระไม่ขึ้นอยู่กับค่า β ผลกระทบจากค่า β จึงลดลงมาก

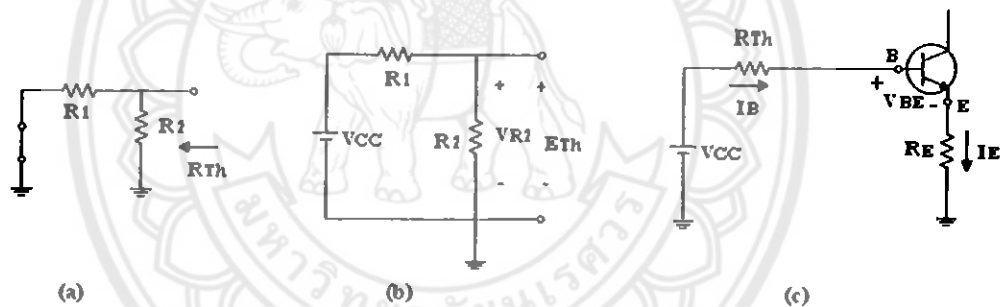
2.1.1 การวิเคราะห์วงจรไฟกระแสตรง

ด้านอินพุตในรูปที่ 2.1 นำมาเขียนวงจรได้ใหม่ดังนี้



รูปที่ 2.2 วงจรเทียบเคียงวงจรเทวินิน

เขียนวงจรเทียบเคียงเทวินินแทนส่วนด้านซ้ายของขั้ว B ได้โดยการพิจารณารูปดังนี้



รูปที่ 2.3 วิเคราะห์วงจรเทียบเคียงวงจรเทวินิน

หาค่า R_{TH} ด้วยการลดวงจรที่แหล่งจ่าย V_{CC} ดังรูปที่ 2.2(a)

$$R_{TH} = R_1 \parallel R_2 \quad (2.1)$$

หาค่า R_{TH} ด้วยการต่อแหล่งจ่าย V_{CC} เข้าไปดังรูปที่ 2.16 (b) เมื่อนำกฎการแบ่งแรงดันไฟฟ้ามารวมพิจารณา

$$E_{TH} = V_{R_2} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} \quad (2.2)$$

กระแสอิมิตเตอร์

$$I_E = \frac{V_B - V_T \left[\ln \left(\frac{I_E}{I_{ES}} + 1 \right) \right]}{R_E} \quad (2.3)$$

เมื่อค่า I_{ES} นั้นมีค่าระหว่าง 10^{-14} ถึง 10^{-16}

และ $V_T = 26mV$

$$\alpha = \frac{\beta_F}{1 + \beta_F} \quad (2.4)$$

เมื่อ ค่า β_F สามารถเลือกได้จากช่วง $[50, 500]$ สำหรับทรานซิสเตอร์ แบบ NPN

และ ค่า β_F สามารถเลือกได้จากช่วง $[10, 100]$ สำหรับทรานซิสเตอร์ แบบ PNP

กระแสคอลเล็กเตอร์

$$I_C = \alpha(-I_E) \quad (2.5)$$

กระแสเบส

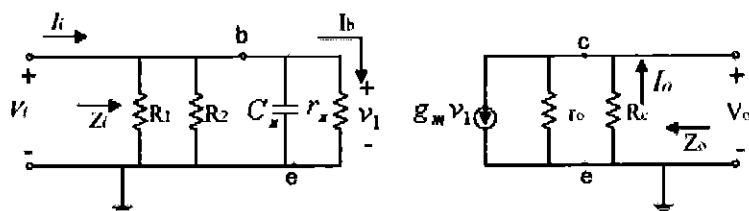
$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} \quad (2.6)$$

สำหรับสมการหาค่า V_{CE} ของวงจรไบแอสอิมิตเตอร์ คือ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \quad (2.7)$$

2.1.2 การวิเคราะห์วงจรไฟกระแสล้น

2.1.3



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลแบบ ไฮบริด π โมเดล ของทรานซิสเตอร์ สำหรับสัญญาณขนาดเล็ก

พารามิเตอร์สำหรับวงจรสมมูลนี้ มีดังต่อไปนี้

Transconductance:

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad (2.8)$$

Input Resistance:

$$r_\pi = \frac{\beta_0}{g_m} \Big|_{\beta_0 = \beta_F} \quad (2.9)$$

Output Resistance:

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} \quad (2.10)$$

เมื่อ V_A คือ Early Voltage สามารถได้จากการเลือกค่าจากช่วง $[15V, 100V]$

Base-Charging capacitance:

$$C_b = \tau_F g_m \quad (2.11)$$

โดยที่ τ_F คือ base transit time in the forward direction ซึ่งมีค่า ตั้งแต่ 10 ถึง 500 ps สำหรับ
ทรานซิสเตอร์แบบ NPN และมีค่า ตั้งแต่ 1 ถึง 40 ns สำหรับ ทรานซิสเตอร์แบบ PNP

Input capacitance:

$$C_\pi = C_b + C_{je} \quad (2.12)$$

Forward – active emitter – base junction depletion capacitance:

$$C_{je} \cong 2C_{je0} \quad (2.13)$$

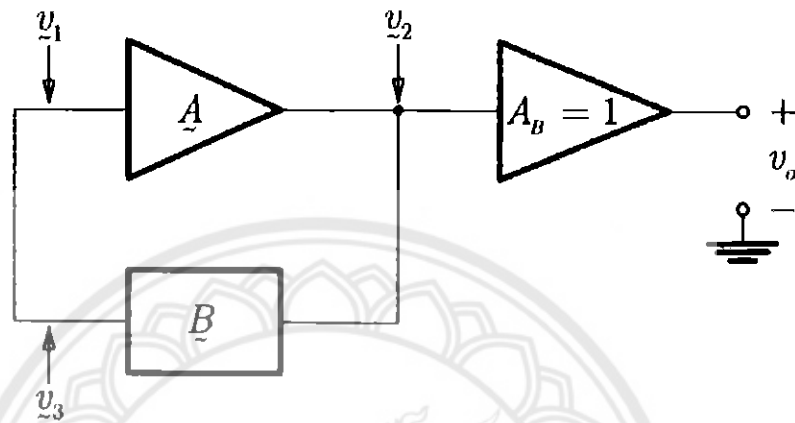
เมื่อ C_{je0} คือ B – E Zero – bias depletion capacitance สำหรับโมเดลใน PSpice มีค่า

2.2 วงจรออสซิลเลเตอร์

2.2.1 หลักการออสซิลเลเตอร์แบบสัญญาณรูปไซน์

2.2.1.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ เมื่อ มีการป้อนสัญญาณกลับแบบบวก (Positive Feedback)

2.2.1.2 วงจรพื้นฐาน



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบพื้นฐาน

2.2.1.3 ส่วนประกอบของวงจร มีดังนี้

1. วงจรขยายสัญญาณ มีอัตราขยายสัญญาณ คือ

$$\tilde{A} = Ae^{j\theta_A} \quad (2.14)$$

เมื่อ

A คือ ขนาดของสัญญาณ

θ_A คือ มุมเฟสของสัญญาณที่เลื่อนไป

2. วงจรป้อนสัญญาณกลับ มี Transfer Function เป็น

$$\tilde{B} = Be^{j\theta_B} \quad (2.15)$$

เมื่อ

B คือ ขนาดของสัญญาณ

θ_B คือ มุมเฟสของสัญญาณที่เลื่อนไป

(เครื่องหมาย $\sim$ คือ เครื่องหมายแสดงถึงจำนวนเชิงซ้อน)

3. วงจร A_B เป็นวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง
- ทุก Block Diagram ข้างต้นนั้น มีอิมพีแดนซ์อินพุตเป็นอนันต์และอิมพีแดนซ์เอาต์พุตเป็นศูนย์
 - A, B, θ_A และ θ_B มีความสัมพันธ์กับความถี่เชิงมุม ω
 - สมมติให้ v_1 ณ จุดอินพุตของวงจรขยายสัญญาณ จะได้ v_2 ซึ่งเป็นสัญญาณด้านเอาต์พุตเท่ากับ

$$v_2 = A(\omega) v_1 \quad (2.16)$$

ส่วนสัญญาณป้อนกลับ v_3 จะมีความสัมพันธ์กับสัญญาณ v_2 เท่ากับ

$$v_3 = B(\omega) v_2 \quad (2.17)$$

เมื่อแทนค่า ในสมการ (2.17) ด้วยสมการ (2.16) แล้วจะได้

$$v_3 = A(\omega) B(\omega) e^{j(\theta_A + \theta_B)} v_1 \quad (2.18)$$

โดยที่ อัตราส่วน v_3/v_1 คือ “ค่าขยายสัญญาณรอบวง หรือ ลูปเกน (Loop-gain)” แทนด้วยสัญลักษณ์ LG

$$LG = A(\omega) B(\omega) e^{j(\theta_A(\omega) + \theta_B(\omega))} \quad (2.19)$$

ที่สภาวะคงตัว (Steady-state) แล้ว นั่นคือ ลูปเกนเท่ากับหนึ่งตลอดเวลา ซึ่งเป็นเงื่อนไขการออสซิลเลต

ที่สภาวะดังกล่าว นั่นคือ

$$A(\omega) B(\omega) e^{j(\theta_A(\omega) + \theta_B(\omega))} = 1 \quad (2.20)$$

เมื่อละ ω แล้วเขียนใหม่ได้ว่า

$$AB\cos(\theta_A + \theta_B) + j[AB\sin(\theta_A + \theta_B)] = 1 \quad (2.21)$$

จากสมการ (2.20) จะเขียนได้ว่า

$$AB\cos(\theta_A + \theta_B) = 1 \quad (2.22)$$

และ

$$AB\sin(\theta_A + \theta_B) = 0 \quad (2.23)$$

ซึ่งสมการ (2.22) และสมการ (2.23) จะเป็นจริง เมื่อ

$$\theta_A(\omega) + \theta_B(\omega) = 2n\pi \quad (2.24)$$

โดย $n = 0, 1, 2, \dots$ และ

$$A(\omega)B(\omega) = 1 \quad (2.25)$$

สมการ (2.24) และสมการ (2.25) เป็นเงื่อนไขการออสซิลเลตที่สภาวะคงตัว

2.3 ออสซิลเลเตอร์สัญญาณรูปไซน์แบบ LC (LC Sine-Oscillator)

ต่อจะกล่าวถึงออสซิลเลเตอร์ที่มีสัญญาณรูปไซน์ ซึ่งจะใช้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) และค่าความจุไฟฟ้า (C) ร่วมกันในการกำหนดค่าความถี่ออสซิลเลเตอร์ลักษณะดังกล่าวนี้ จะเรียกย่อว่า “LC ออสซิลเลเตอร์”

เหตุผลหลักที่เราสนใจจะใช้ LC ออสซิลเลเตอร์ เนื่องจากเสถียรภาพของความถี่ระยะสั้นจะดีกว่า RC ออสซิลเลเตอร์มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในปัจจุบันเรามีความเข้าใจปรากฏการณ์ของเฟสชอยซ์ได้ดีขึ้น ทำให้เราสามารถจะออกแบบ LC ออสซิลเลเตอร์ให้มีเฟสชอยซ์ต่ำมากโดยที่ค่า Q ประสิทธิภาพของวงจร LC ที่มีค่าไม่สูงมากนักได้ เช่น มีค่า Q_{eff} ต่ำกว่า 10 ดังนั้น จึงเริ่มมีการประดิษฐ์วงจรสำหรับระบบสื่อสารต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยใช้ชิปเดียวได้ นอกจากนี้

เสถียรภาพของความถี่ระลอกกลางของ LC ออสซิลเลเตอร์ก็ยังคงดีกว่า RC ออสซิลเลเตอร์ด้วย และท้ายสุด เราจะสามารถออกแบบ LC ออสซิลเลเตอร์ให้ทำงานที่ความถี่สูง เช่น หลายร้อยเมกะเฮิร์ตซ์จนถึงหลายกิกะเฮิร์ตซ์ได้ง่ายกว่า RC ออสซิลเลเตอร์มาก

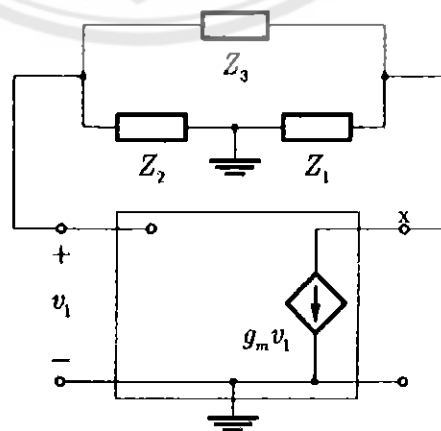
ส่วนข้อเสียเปรียบหลักของ LC ออสซิลเลเตอร์ก็คือ เราจะเปลี่ยนค่าความถี่ของการออสซิลเลต โดยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ควบคุมโดยแรงดันหรือกระแสได้ยากกว่า RC ออสซิลเลเตอร์ และช่วงของการกวาดความถี่ก็มักจะไม่สูงอย่างเช่นในกรณีของ RC ออสซิลเลเตอร์อีกด้วย

ดังนั้น ในบทนี้ เราจะกล่าวถึง หลักการทำงาน การวิเคราะห์ และการออกแบบ LC ออสซิลเลเตอร์ที่ถูกต้องและอย่างละเอียด โดยเราเน้นกล่าวถึง LC ออสซิลเลเตอร์สมัยใหม่ และมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีเท่านั้น โดยในหัวข้อแรก ๆ เราจะกล่าวถึงเฉพาะประเภทต่าง ๆ ของ LC ออสซิลเลเตอร์ซึ่งมีคุณสมบัติของส่วนวงจรกันมันต์เป็นไปตามอุดมคติเท่านั้น ในหัวข้อหลัง ๆ เราจึงจะพิจารณา LC ออสซิลเลเตอร์ ในทางปฏิบัติที่มีคุณสมบัติของส่วนวงจรกันมันต์เพี้ยนไปจากอุดมคติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อความถี่มีค่าสูง

2.3.1 ออสซิลเลเตอร์แบบใช้อิมพีแดนซ์สามตัว

กรณีในอุดมคติ

รูปที่ 2.6 แสดง LC ออสซิลเลเตอร์แบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ซึ่งในส่วนของวงจรป้อนกลับจะประกอบด้วยอิมพีแดนซ์สามตัว และในส่วนของวงจรกันมันต์ เราจะพิจารณากรณีที่ใช้วงจรเปลี่ยนแรงดันมาเป็นกระแส หรือวงจรขยายสัญญาณแบบทรานส์คอนดักต์แดนซ์ ซึ่งเราอาจจะเรียกสั้น ๆ ว่าเป็น วงจร $V \rightarrow I$



รูปที่ 2.6 LC ออสซิลเลเตอร์แบบใช้วงจร $V \rightarrow I$ ร่วมกับอิมพีแดนซ์ 3 ตัว

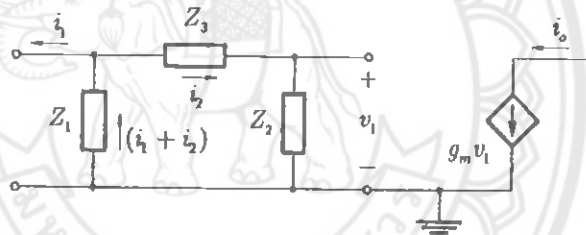
ในส่วนของวงจร $V \rightarrow I$ จะมีคุณสมบัติในอุดมคติดังนี้ คือ

1. มีอิมพีแดนซ์ด้านเข้าเท่ากับอนันต์ ($Z_{in} = \infty$)
2. มีอิมพีแดนซ์ด้านออกเท่ากับอนันต์ ($Z_{out} = \infty$)
3. มีค่าทรานสคอนดักแตนซ์ (Transconductance) หรืออัตราส่วนของกระแสด้านออกต่อแรงดันด้านเข้าเท่ากับ g_m
4. g_m จะไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ นั่นคือ วงจร $V \rightarrow I$ มีแบนด์วิดท์กว้างมาก

จากการพิจารณาวงจรใน รูปที่ 2.6 เราจะทำการตัดวงจร ณ จุด x เพื่อวิเคราะห์หาสมการของรูปแทน ซึ่งจะได้วงจรดัง รูปที่ 2.7

เราจะวิเคราะห์วงจรใน รูปที่ 2.7 เพื่อหาสมการของอัตราส่วนของ (i_o / i_i) ซึ่งมีทิศทางตามที่แสดง ในวงจรได้เท่ากับ

$$\frac{i_o(s)}{i_i(s)} = \frac{-g_m Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)} \quad (2.26)$$



รูปที่ 2.7 การตัดรูปของวงจรใน รูปที่ 2.6 เพื่อวิเคราะห์หาสมการของรูปแทน

ดังนั้น เมื่อการออสซิลเลตอยู่ในสภาวะคงตัว เราจะได้

$$\text{รูปแทน} = \frac{i_o(s)}{i_i(s)} = 1 \quad (2.27)$$

หรือเราอาจจะเขียนได้ว่าเงื่อนไขที่ออสซิลเลเตอร์ดังกล่าวจะออสซิลเลตอยู่ในสภาวะคงตัว ก็ต่อเมื่อ

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3) + g_m Z_1 Z_2 = 0 \quad (2.28)$$

ในขั้นตอนนี้ เราจะสมมติว่า $Z_1 = jX_1, Z_2 = jX_2, Z_3 = R_3 + jX_3$ ซึ่งเมื่อแทนค่าลงในสมการ (2.28) เราจะได้

$$j(X_1 + X_2 + X_3) + (R_3 - g_m X_1 X_2) = 0 \quad (2.29)$$

ซึ่งเมื่อเรานำส่วนจำนวนจริง และส่วนจำนวนเชิงจินตภาพมาให้เท่ากับศูนย์พร้อมกัน เราจะได้

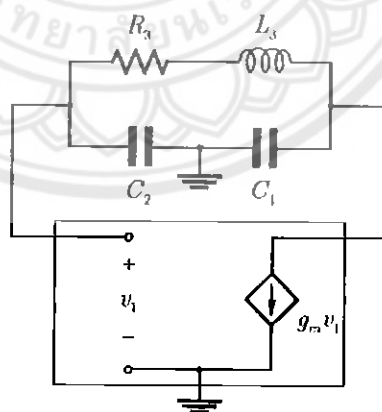
$$X_1 + X_2 + X_3 = 0 \quad (2.30)$$

$$g_m = \frac{R_3}{X_1 X_2} \quad (2.31)$$

จากสมการ (2.31) เราจะเห็นได้ว่า เนื่องจาก g_m จะมีค่าเป็นบวกเสมอ ดังนั้น X_1 และ X_2 จะต้องเป็นบวกเหมือนกันหรือลบเหมือนกันเสมอ นั่นคือ X_1 และ X_2 จะต้องเป็นรีแอคแตนซ์แบบเดียวกัน ขณะเดียวกันเมื่อเราพิจารณาสมการ (2.30) เราจะเห็นได้ว่า X_3 จำเป็นจะต้องมีเครื่องหมายตรงข้ามกันกับ X_1 และ X_2 เสมอ เช่น ถ้า X_1 และ X_2 มีค่าเป็นลบทั้งคู่ X_3 จะมีค่าเป็นบวก ซึ่งในกรณีที่ $X_1 = -1/\omega C_1$, $X_2 = -1/\omega C_2$ และ $X_3 = \omega L_3$ จะเป็นกรณีของ

“ออสซิลเลเตอร์แบบของโคลพิตต์ส (Colpitts LC oscillator)”

ในปัจจุบัน LC ออสซิลเลเตอร์แบบของโคลพิตต์สจะได้รับความนิยมมากกว่าแบบของฮาร์ทเลย์ เพราะใช้ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเพียงตัวเดียว ดังนั้น ถ้าเราพิจารณาในกรณีของโคลพิตต์ส เราจะถือได้ว่า R_3 คือ ค่าความต้านทานของขดลวดในการสร้างตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า L_3 นั้นเอง และเราจะเขียนวงจรของ LC ออสซิลเลเตอร์แบบของโคลพิตต์สได้ดังเช่นใน รูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 LC ออสซิลเลเตอร์แบบของโคลพิตต์สในอุดมคติ

ซึ่งเมื่อเราแทนค่า $X_1 = -1/\omega C_1$, $X_2 = -1/\omega C_2$ และ $X_3 = \omega L_3$ ลงในสมการ (2.30) เราจะได้ความถี่เชิงมุมของการออสซิลเลต เท่ากับ

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_3 C_r}} \quad (2.32)$$

โดย $C_r = (C_1 C_2)/(C_1 + C_2)$ คือค่าความจุไฟฟ้ารวมจากการต่ออนุกรมกันของ C_1 และ C_2 และจากสมการ (2.31) เราจะได้ว่า

$$g_m = R_3 C_1 C_2 \omega_o^2 = \frac{R_3 (C_1 + C_2)}{L_3} \quad (2.33)$$

ซึ่งจะเป็นค่า g_m เมื่อการออสซิลเลตอยู่ในสภาวะคงตัว และเพื่อให้ออสซิลเลเตอร์ สามารถจะเริ่มออสซิลเลตได้ ค่า g_m เริ่มต้นควรจะมีค่ามากกว่า $R_3 (C_1 + C_2)/L_3$ เล็กน้อย เพราะเมื่อระดับสัญญาณการออสซิลเลตสูงขึ้น ความไม่เป็นเชิงเส้นในวงจร $V \rightarrow I$ จะเริ่มมีผล และทำให้ค่า g_m ลดลง จนกระทั่งได้ตามเงื่อนไขของสมการ (2.33) ในที่สุด

และโดยทั่วไป ค่า Q ประสิทธิภาพของวงจร LC จะมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้น เรามักจะ ไม่ต้องใช้การจำกัดระดับของการออสซิลเลชันด้วยวิธีอื่นเพิ่มเติมอีก และแรงดันจากการออสซิลเลตในวงจรแทงก์ (Tank circuit) ของ LC จะมีลักษณะเป็นรูปไซน์ค่อนข้างบริสุทธิ์ แม้ว่าลักษณะของกระแสที่ไหลผ่านวงจรกันมันต์อาจจะไม่เป็นรูปไซน์บริสุทธิ์ก็ตาม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นของ g_m มาจำกัดระดับการออสซิลเลต

จากสมการ (2.32) เราจะเห็นได้ว่า ความถี่ ω_o ขึ้นอยู่กับค่า L_3 และ C_r เท่านั้น โดยไม่ขึ้นกับค่า R_3 เลย ดังนั้น จากทฤษฎีของการรีโซแนนซ์ของวงจร LC เราจะเห็นได้ว่า สำหรับวงจรโคพิดคัสในที่นี่ ในส่วนของวงจรแทงก์จะทำหน้าที่เป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม

2.3.1 การวิเคราะห์ด้วยผลรวมของอิมพีแดนซ์

ในหัวข้อนี้ เราจะยังพิจารณา LC ออสซิลเลเตอร์ในอุดมคติของ รูปที่ (2.8) อยู่ แต่เราจะวิเคราะห์ในอีกวิธีหนึ่งซึ่งเป็น วิธีการพิจารณาผลรวมของอิมพีแดนซ์ จะทำให้เราเข้าใจหลักการ ทำงานของ LC ออสซิลเลเตอร์ที่เรากำลังพิจารณาอยู่นี้ ได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้นและยังทำให้เกิดขึ้น และยังคงจะทำให้เกิดความเข้าใจในการออกแบบอีกด้วยประการหนึ่ง

เราจะเขียน LC ออสซิลเลเตอร์แบบโคพิดคัสใน รูปที่ (2.9) โดยการจัดรูปวงจรใหม่ เพื่อที่จะให้ได้จินตนาการการทำงานของวงจรที่แจ่มชัดขึ้น ดังเช่นที่แสดงในรูป รูปที่ (2.10)

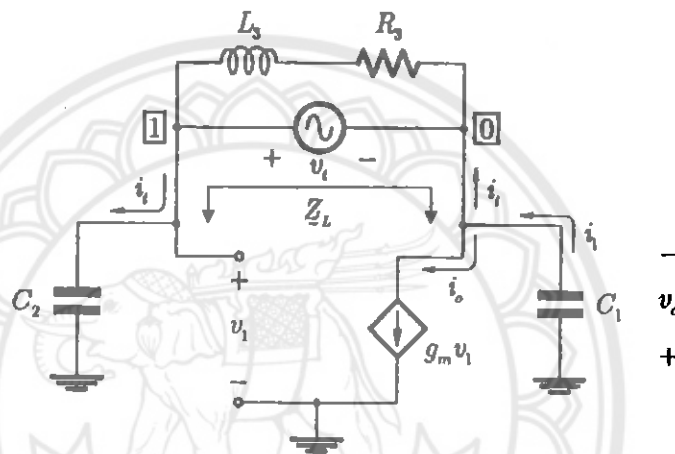
จากวงจรที่ได้จัดรูปใหม่แล้วนี้ เราจะจ่ายแรงดันทดสอบ $u_i(s)$ ระหว่างจุด 1 และ จุด 0 โดยกระแสจาก $u_i(s)$ ที่ไหลเข้าและออกจากวงจรส่วนล่างจะเท่ากับ $i_i(s)$ ซึ่งจากรูป ค่า

อิมพีแดนซ์ Z_L หมายถึง อิมพีแดนซ์ส่วนล่างของวงจร โดยตัวห้อย L ในที่นี้จะหมายถึงความถี่คำว่า “Lower” แทนคำว่า “Left”

จากการตรวจพินิจวงจร เราจะเขียนได้ว่า

$$Z_L(s) = \frac{u_i(s)}{i_i(s)} \quad (2.34)$$

จากจุด 1 เราจะเห็นได้ว่า กระแส $i_i(s)$ จะไหลผ่าน C_2 ดังนั้น เราจะได้



รูปที่ 2.9 การจัดรูปใหม่ของ LC ออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตส์

$$u_i(s) = \frac{i_i(s)}{sC_2} \quad (2.35)$$

จากจุด 0 เราจะรวมกระแสได้เท่ากับ

$$i_i(s) = i_o(s) + i_r(s) \quad (2.36)$$

โดยทิศทางของ $i_r(s)$ จะไหลเข้าจุด 0 ดังนั้น แรงดัน $u_o(s)$ ที่ตกคร่อม C_1 จะมีทิศทางดังเช่นที่แสดงในรูป ซึ่งเราจะเขียนสมการของ $u_o(s)$ ได้เป็น

$$u_o(s) = \frac{[i_i(s) + i_o(s)]}{sC_1} = \frac{[i_i(s) + g_m u_1(s)]}{sC_1} \quad (2.37)$$

เมื่อแทนค่า $u_i(s)$ ในสมการ (2.37) ด้วยสมการ (2.35) เราจะได้

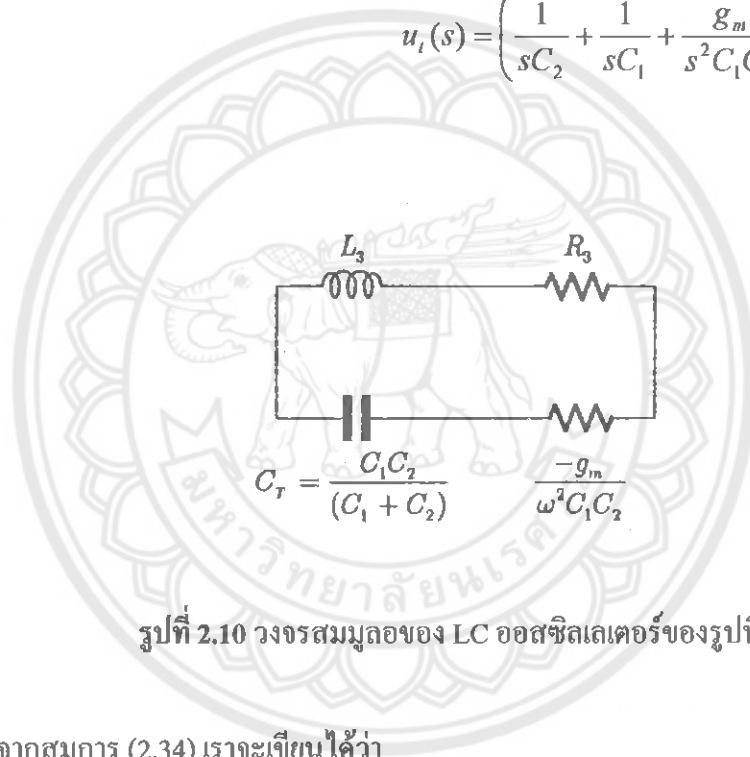
$$u_o(s) = \left(\frac{1}{sC_1} + \frac{g_m}{s^2 C_1 C_2} \right) i_i(s) \quad (2.38)$$

นอกจากนี้ จากวงจร เรายังจะเห็นได้ว่า

$$u_i(s) = u_1(s) + u_o(s) \quad (2.39)$$

ซึ่งจาก สมการ(39) และ (42) เราจะได้

$$u_i(s) = \left(\frac{1}{sC_2} + \frac{1}{sC_1} + \frac{g_m}{s^2 C_1 C_2} \right) i_i(s) \quad (2.40)$$



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลของ LC ออสซิลเลเตอร์ของรูปที่ 2.9

ดังนั้น จากสมการ (2.34) เราจะได้

$$Z_i(j\omega) = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} + \frac{1}{j\omega \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)} \quad (2.41)$$

นั่นคือ $Z_i(j\omega)$ จะประกอบไปด้วย การต่ออนุกรมของความต้านทานแบบลบซึ่งขึ้นกับความถี่ (FDNR) ที่มีค่า $(-g_m / \omega^2 C_1 C_2) R_3$ โดย ω_o คือ ค่าความถี่ที่ $\omega_o L_3 = (1 / \omega_o C_r)$ และเมื่อการออสซิลเลตเข้าสู่สภาวะคงตัว ผลของความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายสัญญาณจะทำให้เสมือนว่า g_m ลดค่าเฉลี่ยลงจนกระทั่งค่าของความต้านทานแบบลบและแบบบวกเท่ากันพอดี ดังนั้น เราจะเขียนได้ว่า

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{(L_3 C_r)}} \quad (2.42)$$

$$g_m = \frac{R_3(C_1 + C_2)}{L_3} \quad (2.43)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าเงื่อนไข

สมการ(2.42) และ สมการ(2.43) จะตรงกันกับ สมการ(2.32) และ สมการ(2.33) ทุกประการ

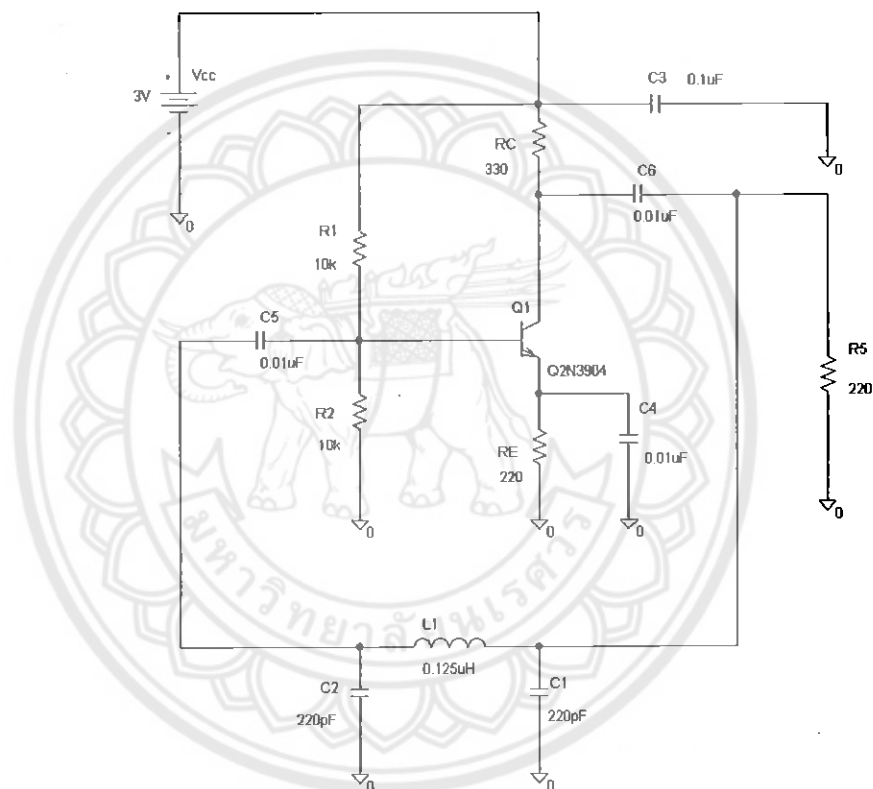


บทที่ 3

การวิเคราะห์วงจร

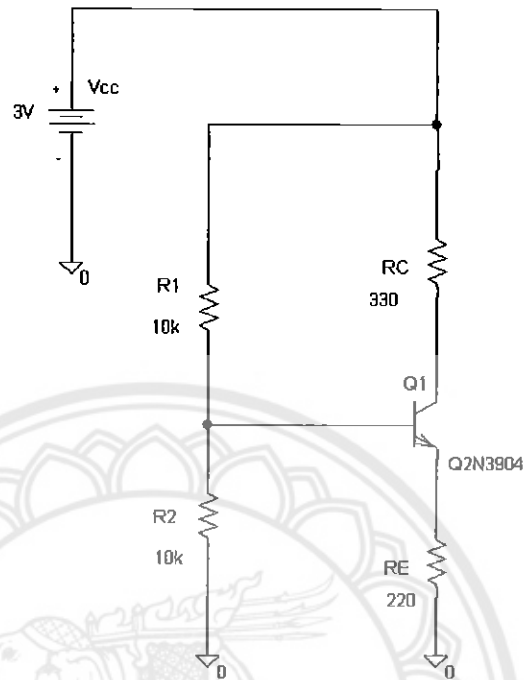
3.1 การวิเคราะห์วงจรออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตตส์ 35 MHz โดยการคำนวณมือ

ในขั้นแรก จะทำการวิเคราะห์วงจรต้นแบบของวงจรออสซิลเลเตอร์ [4] ก่อน เพื่อเป็นการทำความเข้าใจการทำงานของวงจร และนำผลที่ได้ไปช่วยในการออกแบบต่อไป ซึ่งวงจรที่นำมาทำการวิเคราะห์มีลักษณะดังนี้



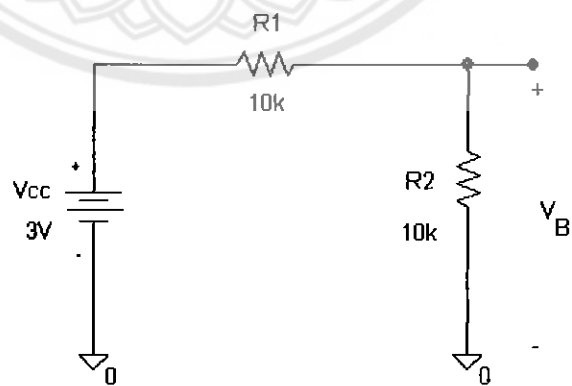
รูปที่ 3.1 วงจรต้นแบบ

3.1.1 การวิเคราะห์ไฟตรง



รูปที่ 3.2 วงจรสำหรับวิเคราะห์ไฟตรง

หา V_B จาก



รูปที่ 3.3 วงจรสำหรับหา V_B

$$V_{CC} = (R_1 + R_2)I \quad (3.1)$$

$$3V = (10k\Omega + 10k\Omega)I \quad (3.2)$$

$$I = \frac{3V}{20k\Omega} = 150\mu A \quad (3.3)$$

$$\therefore V_B = I \times R_2 \quad (3.4)$$

$$= (150\mu A)(10k\Omega) \quad (3.5)$$

$$V_B = 1.5V \quad (3.6)$$

หา I_E จาก

$$I_E = \frac{V_B - V_T \left[\ln \left(\frac{I_E}{I_{ES}} + 1 \right) \right]}{R_E} \quad (3.7)$$

สำหรับค่า I_{ES} นั้นมีค่าระหว่าง 10^{-14} ถึง 10^{-16}

ในที่นี้จะเลือกค่า I_{ES} เท่ากับ 10^{-14} มาใช้แทนค่าในสมการ

$$I_E = \frac{1.5V - 26mV \left[\ln \left(\frac{I_E}{10^{-14}} + 1 \right) \right]}{220\Omega} \quad (3.8)$$

เพื่อความสะดวกในการหาคำตอบของสมการนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB มาช่วย โดยใช้ Source Code ที่เขียนเป็น M-file ชื่อ findIE.m ดังนี้

```

Ie(1)=1*10^(-3);
Ie(2)=0;
Ies = 6.734*(10^(-15));
Beta = 416.4;
Vb = 1.5;
Re = 220;
n=1;
while Ie(n+1)-Ie(n) ~= 0
    Ie(n+1)=(Vb -(26*10^(-3))*(log((Ie(n)/Ies))+1))/Re;
    n=n+1;
    Ie(n+1)=(Vb -(26*10^(-3))*(log((Ie(n)/Ies))+1))/Re;
if n==100 ,break ,end
end
Ie(n-1),Ie(n)

```

จากการใช้โปรแกรมช่วยหาค่า I_E จะได้ว่า

$$I_E = 3.7 \text{ mA} \quad (3.9)$$

เพื่อที่จะหาค่า I_C จะต้องเลือกหาค่า α จากสมการ

$$\alpha = \frac{\beta_F}{1 + \beta_F} \quad (3.10)$$

ค่า β_F ได้จากช่วง [50,500] ก่อน

เลือกค่า $\beta_F = 100$

$$\alpha = \frac{100}{1 + 100} = 0.99 \quad (3.11)$$

$$\text{และจาก } I_E = \frac{-I_C}{\alpha}$$

จะได้ว่า $-I_C = \alpha I_E$

นั่นคือ $I_C = -(0.99)(-3.7mA) = 3.663mA$

แล้วหาค่า I_B จาก

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} \quad (3.12)$$

$$\therefore I_B = \frac{3.663mA}{100} \quad (3.13)$$

$$I_B = 36.63\mu A \quad (3.14)$$

3.1.2 การวิเคราะห์ไฟโสดับ

จาก $g_m = \frac{I_C}{V_T}$

$$g_m = \frac{3.663mA}{26mV} = 140.885mmho \quad (3.15)$$

หาค่า

$$r_\pi = \frac{\beta_0}{g_m} \Big|_{\beta_0 = \beta_F} = \frac{100}{140.885mmho} \quad (3.16)$$

$$r_\pi = 709.799\Omega \quad (3.17)$$

ต่อมาทำการหาค่า r_o จาก

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} \quad (3.18)$$

เมื่อ V_A สามารถได้จากการเลือกค่าจากช่วง $[15V, 100V]$

ในที่นี้เลือกค่า $V_A = 50V$

แทนค่าต่างๆในสมการ

$$r_o = \frac{50V}{3.663mA} \quad (3.19)$$

$$r_o = 13.65 k\Omega \quad (3.20)$$

การคำนวณหาค่า C_π

จาก

$$C_\pi = C_b + C_{je} \quad (3.21)$$

โดยที่

$$C_b = \tau_F g_m \quad (3.22)$$

สำหรับค่า τ_F จะเลือกให้เท่ากับ $0.1 ns$

ดังนั้น

$$C_b = (0.1 ns)(140.885 mmho) \quad (3.23)$$

$$C_b = 14.0885 pF \quad (3.24)$$

และจาก $C_{je} \cong 2C_{je0}$

เมื่อ $C_{je0} = 10 fF$

จะได้ $C_{je} \cong 2(10 fF)$

$$C_{je} \cong 20 fF = 0.02 pF \quad (3.25)$$

เพราะฉะนั้น

$$C_\pi = 14.0885 pF + 0.02 pF \quad (3.26)$$

$$C_\pi = 14.1086 pF \cong 14 pF \quad (3.27)$$

จากวงจรนี้สามารถหาค่า ω_0^2 และ g_m ได้ดังนี้

$$\omega_0^2 = \left(\frac{1}{L_1} \right) \left[\frac{1}{(C_2 + C_\pi)} + \frac{1}{C_1} \right] + \left(\frac{R_{L1}}{L_1} \right) \left[\frac{1}{Z_o C_1} + \frac{1}{Z_i (C_2 + C_\pi)} \right] + \frac{1}{Z_i Z_o C_1 (C_2 + C_\pi)} \quad (3.28)$$

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ จะแยกเทอมพิจารณา

$$\left(\frac{1}{L_1}\right)\left[\frac{1}{C_2 + C_\pi} + \frac{1}{C_1}\right] = \left(\frac{1}{0.125\mu H}\right)\left[\frac{1}{220pF + 14pF} + \frac{1}{220pF}\right] \cong 70.5517 \times 10^{15} \quad (3.29)$$

$$\left(\frac{R_3}{L_1}\right)\left[\frac{1}{Z_o C_1} + \frac{1}{Z_i(C_2 + C_\pi)}\right] = \left(\frac{0.5\Omega}{0.125\mu H}\right)\left[\frac{1}{(330\Omega)(220pF)} + \frac{1}{(710\Omega)(220pF + 14pF)}\right]$$

$$\cong 36.1892 \times 10^{12} \quad (3.30)$$

$$\frac{1}{Z_i Z_o C_1 (C_2 + C_\pi)} = \frac{1}{(710\Omega)(330\Omega)(220pF)(220pF + 14pF)} \cong 82.9066 \times 10^{12} \quad (3.31)$$

เมื่อทำการรวมค่าในเทอมต่างๆ พบว่าค่าที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเทอมแรก เพราะฉะนั้น จึงอาจประมาณได้ว่า

$$\omega_0^2 \cong \left(\frac{1}{L_1}\right)\left[\frac{1}{C_2 + C_\pi} + \frac{1}{C_1}\right] \quad (3.32)$$

$$\omega_0^2 \cong 70.5517 \times 10^{15} \quad (3.33)$$

$$\therefore \omega_0 = \sqrt{70.5517 \times 10^{15}} \text{ rad/s} = 265.6157 \text{ Mrad/s} \quad (3.34)$$

จาก $\omega_0 = 2\pi f_0$

จะหา f_0 ได้เท่ากับ

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{265.6157 \text{ Mrad/s}}{2\pi} \quad (3.35)$$

$$\therefore f_0 = 42.27 \text{ MHz} \quad (3.36)$$

ต่อมาหาค่า g_m ที่น้อยที่สุดที่ทำให้วงจรยังคงออสซิลเลตอยู่

จาก

$$g_m = \omega_0^2 \left\{ R_3 C_1 (C_2 + C_\pi) + L_1 \left[\frac{C_1}{Z_i} + \frac{(C_2 + C_\pi)}{Z_o} \right] \right\} - \left(\frac{R_3}{Z_o Z_i} + \frac{1}{Z_o} + \frac{1}{Z_i} \right) \quad (3.37)$$

แยกเทอมพิจารณา

$$\omega_0^2 R_3 C_1 (C_2 + C_\pi) = (70.5517 \times 10^{15}) (0.5 \Omega) (220 \text{ pF}) (220 \text{ pF}) \cong 1.8 \times 10^{-3} \quad (3.38)$$

$$\omega_0^2 \frac{L_1 C_1}{Z_i} = (70.5517 \times 10^{15}) \frac{(0.125 \mu H) (220 \text{ pF})}{710 \Omega} \cong 2.7 \times 10^{-3} \quad (3.39)$$

$$\omega_0^2 \frac{L_1 (C_2 + C_1)}{Z_o} = (70.5517 \times 10^{15}) \frac{(0.125 \mu H) (220 \text{ pF} + 14 \text{ pF})}{330 \Omega} \cong 6.3 \times 10^{-3} \quad (3.40)$$

$$-\frac{R_3}{Z_o Z_i} = -\frac{(0.5 \Omega)}{(330 \Omega) (710 \Omega)} \cong -2.1 \times 10^{-6} \quad (3.41)$$

$$-\frac{1}{Z_o} = -\frac{1}{(330 \Omega)} \cong -3 \times 10^{-3} \quad (3.42)$$

$$-\frac{1}{Z_\pi} = -\frac{1}{(710 \Omega)} = -1.4 \times 10^{-3} \quad (3.43)$$

รวมทุกเทอม จะได้

$$g_m = 6.4 \text{ mmho} \quad (3.44)$$

ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุด ที่จะทำให้วงจรยังคงมีการออสซิลเลตอยู่ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า g_m จากวงจรขยายแล้ว จะพบว่า g_m ของวงจรขยายมีค่าที่สูงกว่าค่า g_m ที่น้อยที่สุดนี้ ดังนั้นวงจรจะสามารถเกิดการออสซิลเลตได้

3.2 การวิเคราะห์วงจรออสซิลเลเตอร์ 35 MHz ด้วยโปรแกรม PSpice

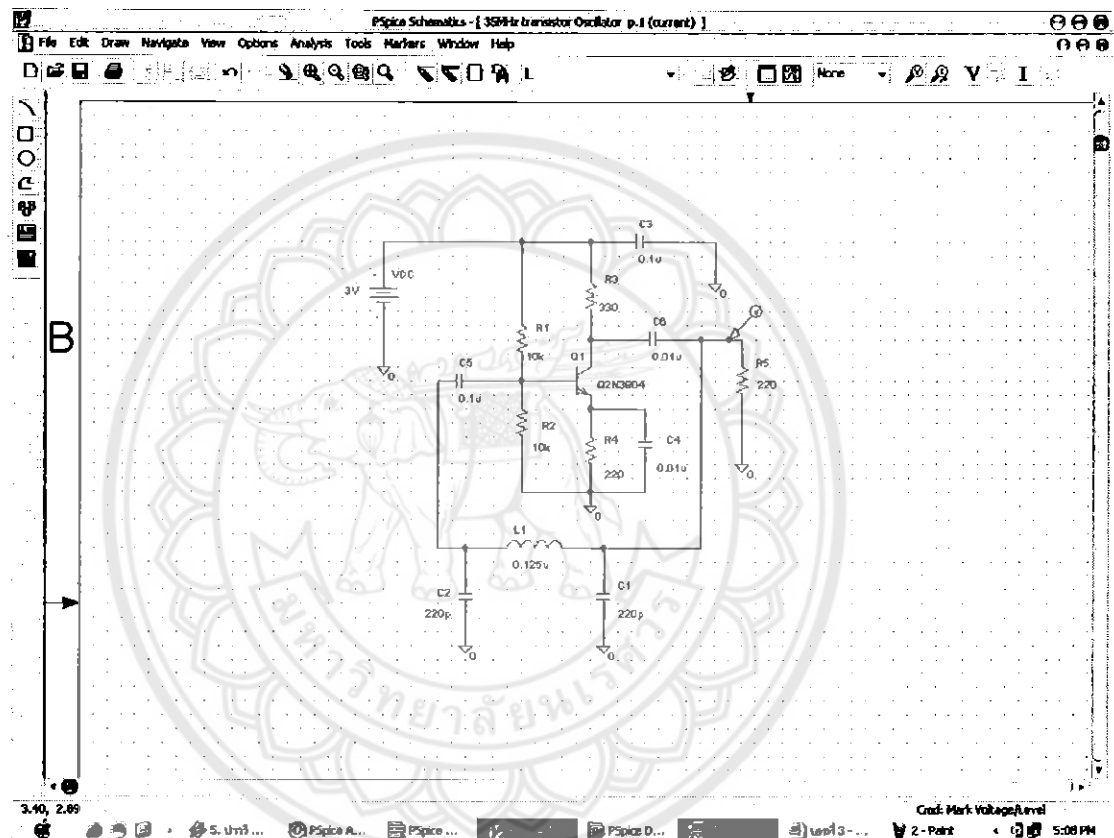
เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณมือแล้ว นำวงจรตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PSpice เพื่อดูว่าวงจรดังกล่าวจะสามารถออสซิลเลตให้สัญญาณไซน์ได้หรือไม่ นอกจากนี้การใช้โปรแกรมยังมีประโยชน์ในการปรับแต่งเพื่อให้วงจรดังกล่าวสามารถออสซิลเลตได้ มีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 นำวงจรเข้าไปวิเคราะห์ในโปรแกรม

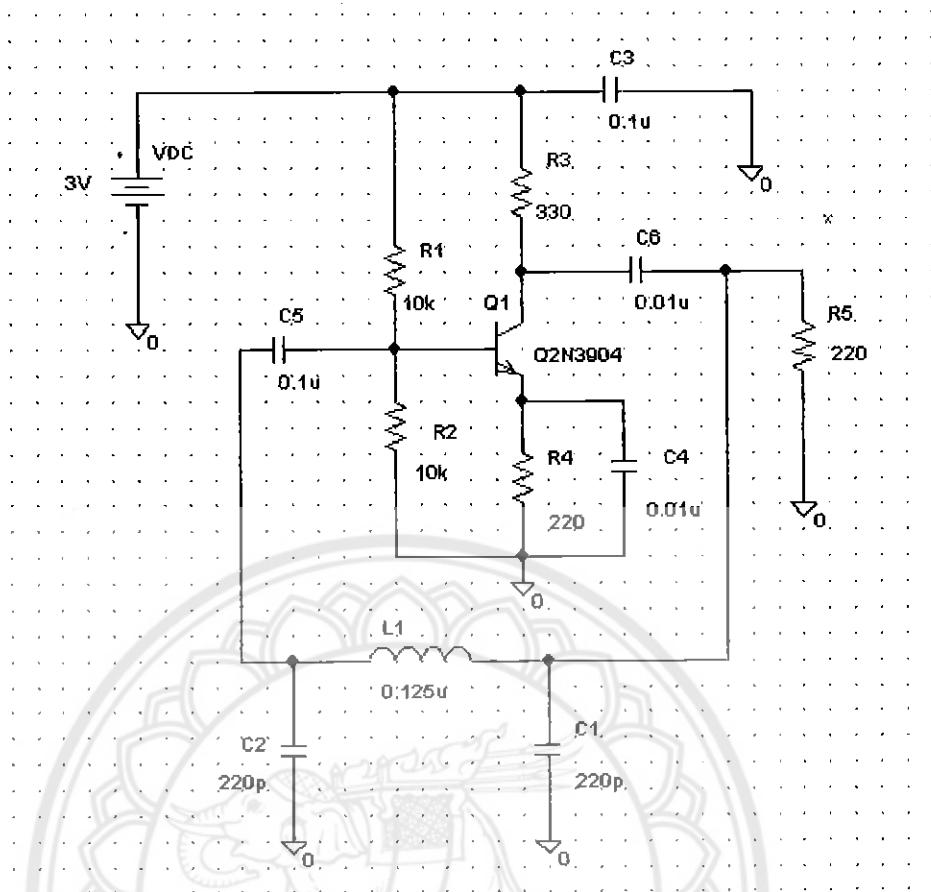
๑๕.

๗/๒๘/๐๕

๒๕๕๐.



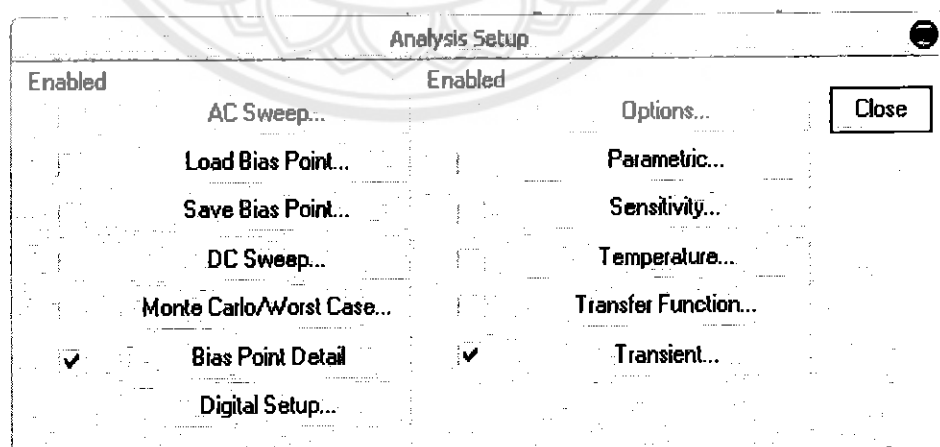
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ที่นำไปประมวลผลกับโปรแกรม PSpice



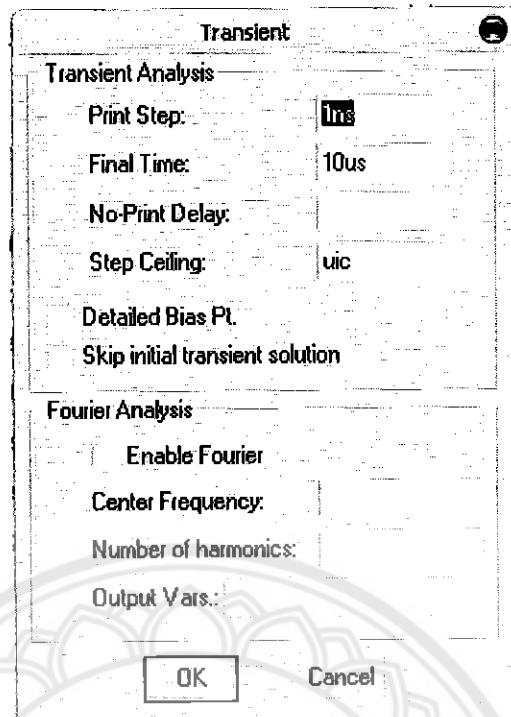
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์

3.2.2 กำหนด Analysis Setup

ให้ enable ที่ Bias Point Detail และ Transient แล้วกำหนดค่าต่างๆดังรูป

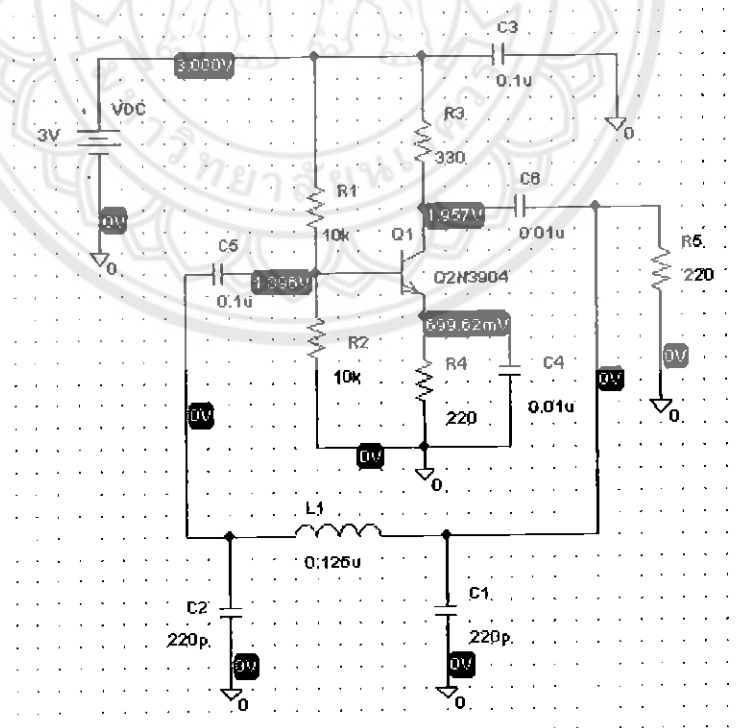


รูปที่ 3.6 แสดงการกำหนดชนิดการวิเคราะห์

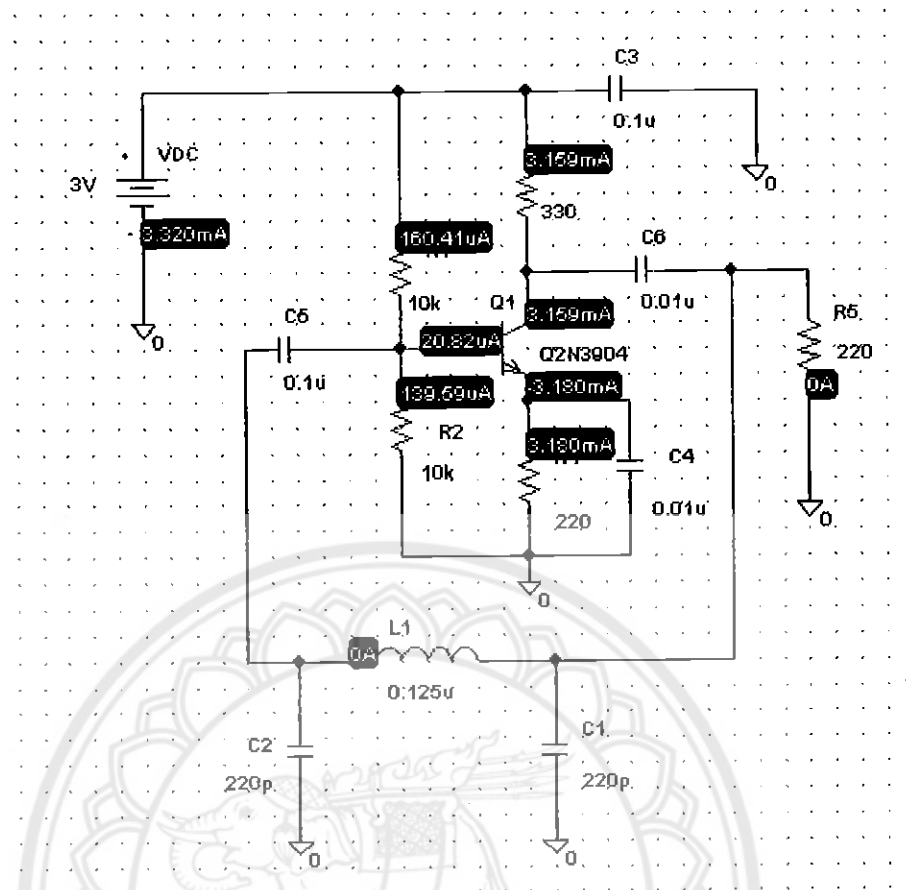


รูปที่ 3.7 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์แบบ Transient

3.2.3 พิจารณาค่า Bias Voltage และ Current



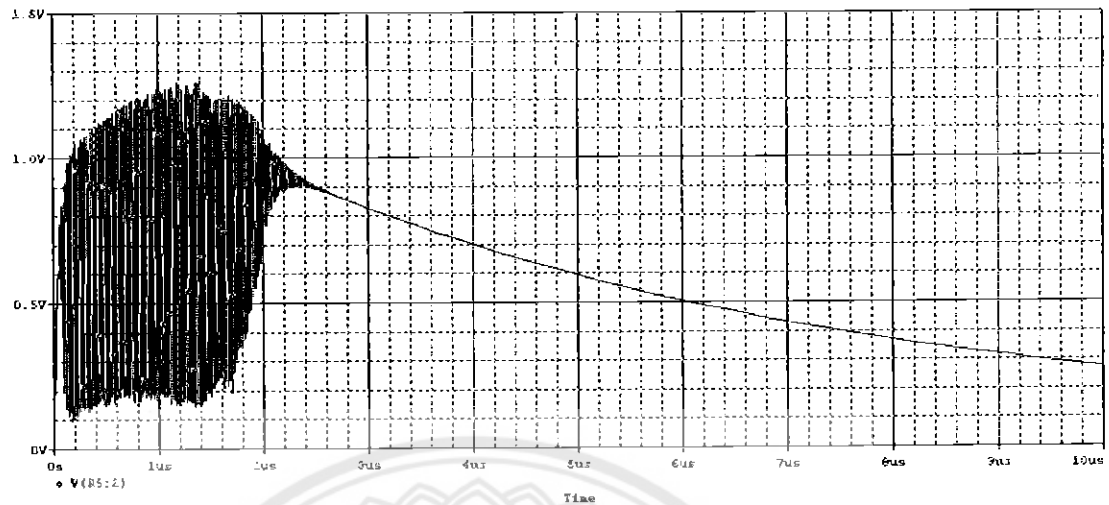
รูปที่ 3.8 แสดงค่า Bias Voltage ของวงจร



รูปที่ 3.9 แสดงค่า Bias Current ของวงจร

เมื่อพิจารณา ค่า Bias Voltage ได้ว่า $V_{be} = V_B - V_{RE} = 1.396V - 699.62mV = 696.38mV$
 ดังนั้น วงจรขยายสามารถทำงานได้

3.2.4 พิจารณาลักษณะสัญญาณที่ R_5



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะสัญญาณที่ R_5

จากรูปจะพบว่า วงจรยังไม่สามารถผลิตสัญญาณไซน์ได้ จึงต้องทำการปรับแต่งวงจรให้ได้สัญญาณต่อไป

3.3 การปรับแต่งวงจร

จากการวิเคราะห์วงจรด้วยการคำนวณด้วยมือ จะพบว่า

3.3.1 ผลกระทบของค่า g_m

วงจรจะออสซิลเลตได้ เมื่อ $g_m \geq 6.4 \text{ mmho}$ ดังนั้นเราจะทดสอบค่า g_m ของวงจรว่ามีพอที่จะกำเนิดสัญญาณไซน์ได้หรือไม่ โดยการคำนวณและใช้ค่าของพารามิเตอร์ต่างเหมือนกับโมเดลของทรานซิสเตอร์ เบอร์ 2N3904 ในโปรแกรม PSpice ซึ่งให้ผลดังนี้

$$I_E = 3.5 \text{ mA} \quad (3.45)$$

$$\alpha_F = 997.6 \times 10^{-3} \quad (3.46)$$

$$I_C = 3.14916 \text{ mA} \quad (3.47)$$

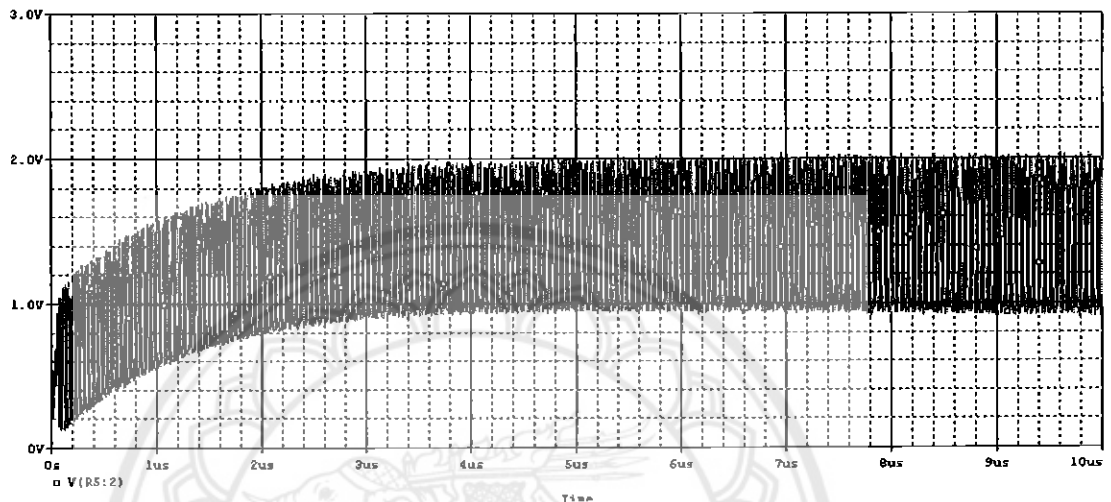
$$I_B = 8.38 \mu\text{A} \quad (3.48)$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 134.29 \text{ mmho} \quad (3.49)$$

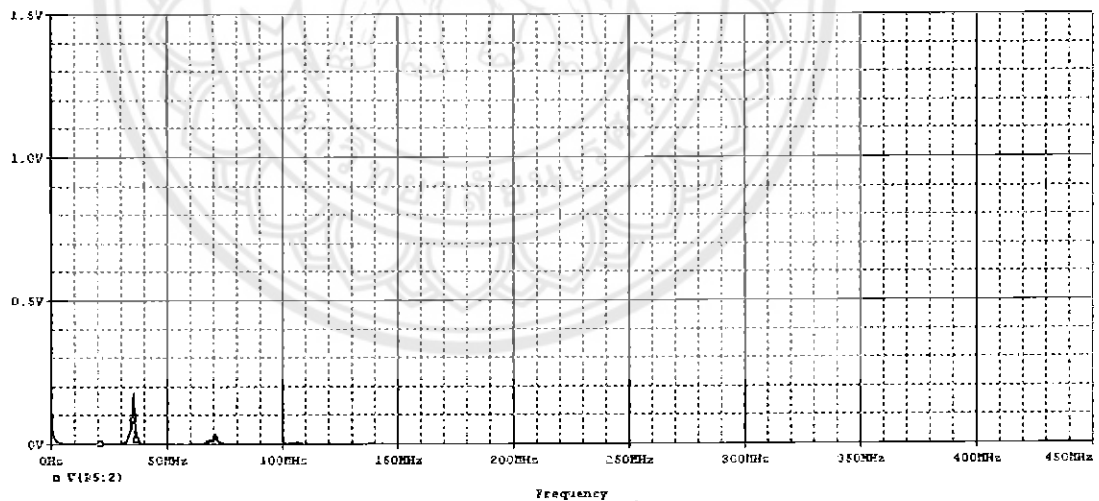
$$r_\pi = 3.1k\Omega \quad (3.50)$$

จากค่า g_m ที่หาได้นั้น แสดงว่าวงจรมีค่า g_m พอที่จะทำให้หลอดซิลิเกตได้

ทดลองเพิ่มค่า $R_s = 1M\Omega$ จะให้ผลดังนี้



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะสัญญาณทางเวลาที่เกิดขึ้นที่ R_s หลังได้รับการเพิ่มค่าเป็น $1M\Omega$



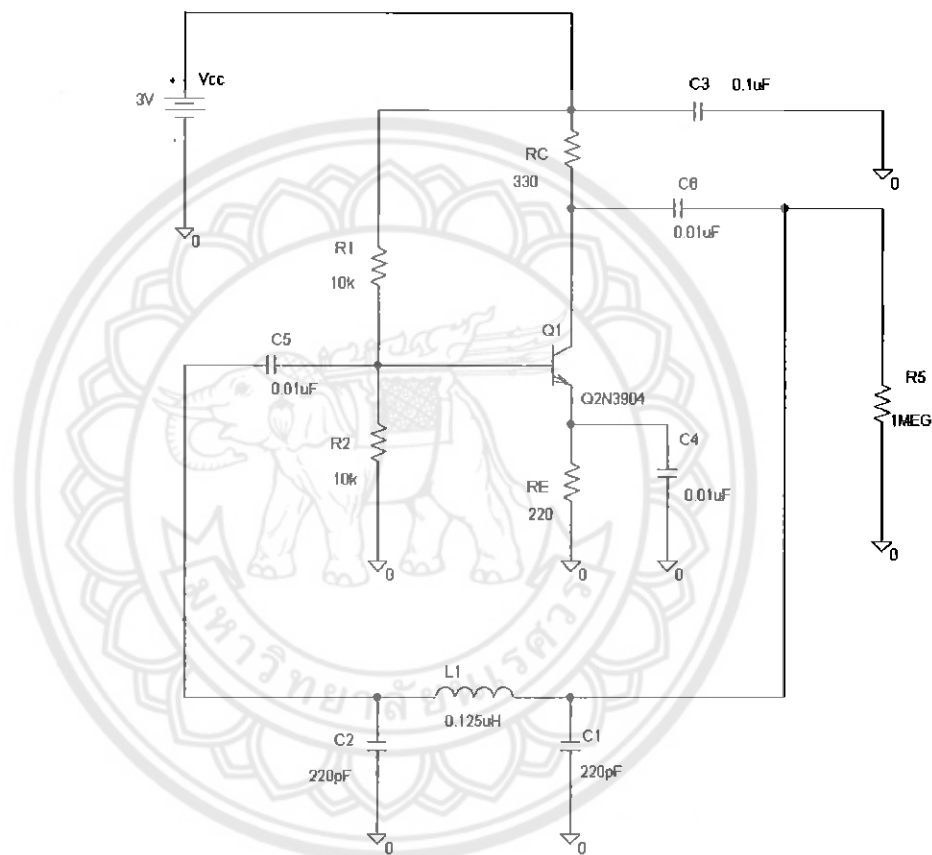
รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะสัญญาณทางความถี่ที่เกิดขึ้นที่ R_s หลังได้รับการเพิ่มค่าเป็น $1M\Omega$

3.3.2 ความถี่ในการออกซิลเลต คือ

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + (C_2 + C_\pi)}{L_1 C_1 (C_2 + C_\pi)}} \quad (3.51)$$

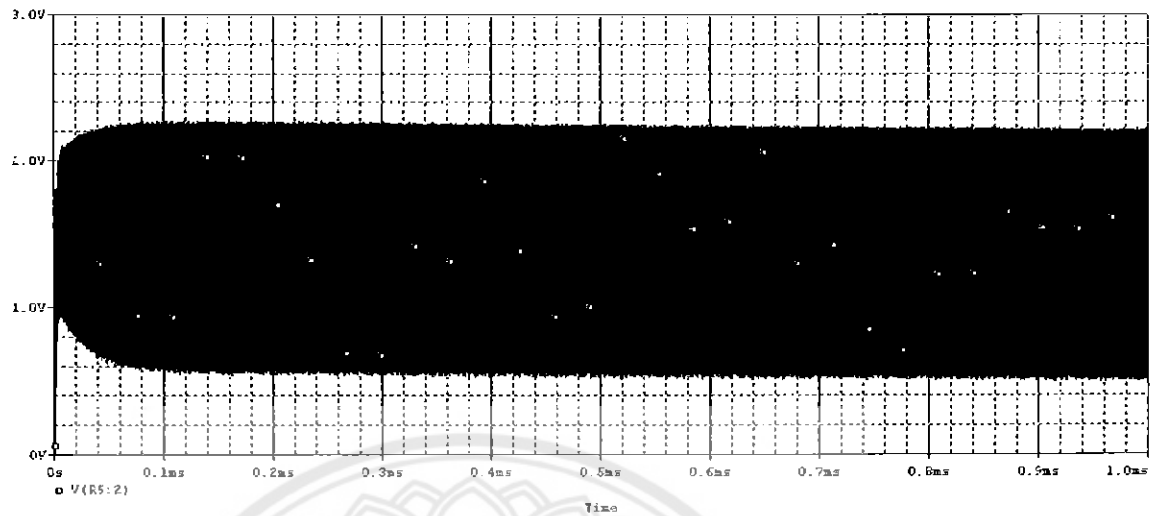
นั่นคือ อุปกรณ์ที่มีผลกับความถี่ของการออสซิลเลตอุปกรณ์ที่อยู่ในส่วนป้อนกลับ นั่นคือ C_1, C_2, C_π และ L_1 แต่เมื่อพิจารณาว่า C_π จะพบว่ามีผลกับความถี่ได้น้อยกว่า C_2 สำหรับการปรับแต่งในทางปฏิบัตินั้น การปรับค่าตัวเก็บประจุได้ง่ายกว่าการปรับค่าความนำไฟฟ้า ดังนั้นจะทำการปรับแต่งด้วย โปรแกรม PSpice ต่อไป เพื่อให้ได้ความถี่ที่ 35MHz

เพราะฉะนั้น วงจรที่จะนำไปสร้างเป็นวงจรในทางปฏิบัติ คือ

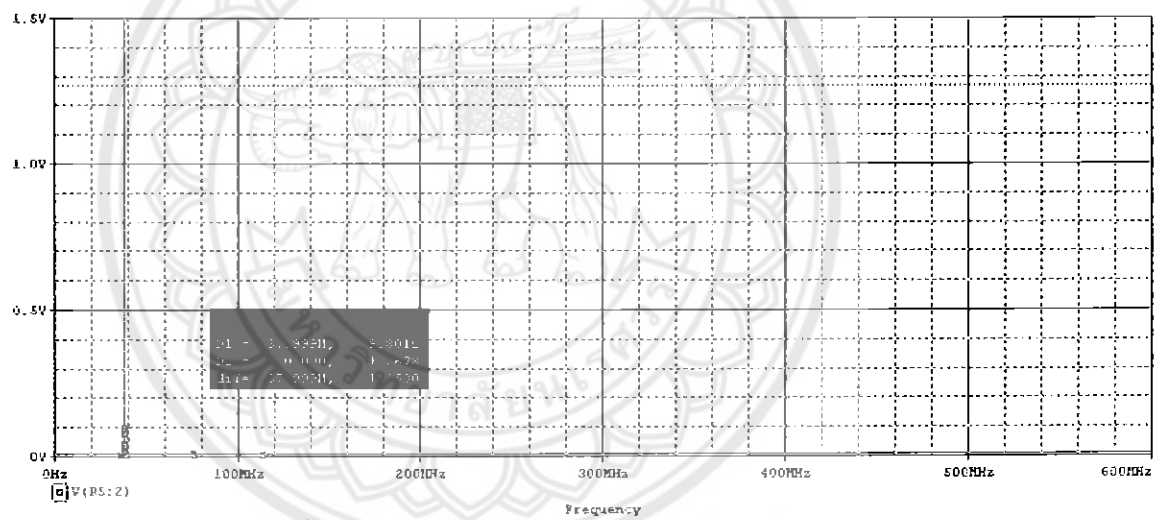


รูปที่ 3.13 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่จะนำไปสร้างจริง

ซึ่งให้ผลตอบสนองทางเวลาและความถี่ดังนี้



รูปที่ 3.14 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.15 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ ซึ่งมีความถี่ 35 MHz

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 จุดประสงค์

1. เพื่อตรวจสอบการไบแอสของวงจรทรานซิสเตอร์
2. เพื่อคุณลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้แล้ว

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

4.2.1 ตัวต้านทาน $\frac{1}{4}$ วัตต์ $\pm 5\%$ ค่า

- | | |
|------------------|-------|
| 1. $330\ \Omega$ | 1 ตัว |
| 2. $220\ \Omega$ | 2 ตัว |
| 3. $10\ k\Omega$ | 2 ตัว |

4.2.2 ตัวเก็บประจุ แบบเซรามิก ค่า

- | | |
|------------------|-------|
| 1. $0.1\ \mu F$ | 2 ตัว |
| 2. $0.01\ \mu F$ | 2 ตัว |
| 3. $220\ pF$ | 1 ตัว |
| 4. $1\ M\Omega$ | 1 ตัว |

4.2.3 ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า ค่า $0.125\ \mu H$

1 ตัว

หมายเหตุ สำหรับการทดลองนี้ ได้ใช้ตัวเหนี่ยวนำ ค่า $8\ \mu H$ จำนวน 8 ตัว
ต่อขนานกัน

4.2.4 ทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN เบอร์ 2N3904

1 ตัว

4.2.5 โฟโตบอร์ด

1 อัน

4.2.6 สายไฟเส้นเล็กสำหรับใช้ต่อวงจร

หลาย เส้น

4.2.7 แหล่งจ่ายไฟตรง

1 เครื่อง

4.2.8 คิวคิตออสซิลโลสโคป

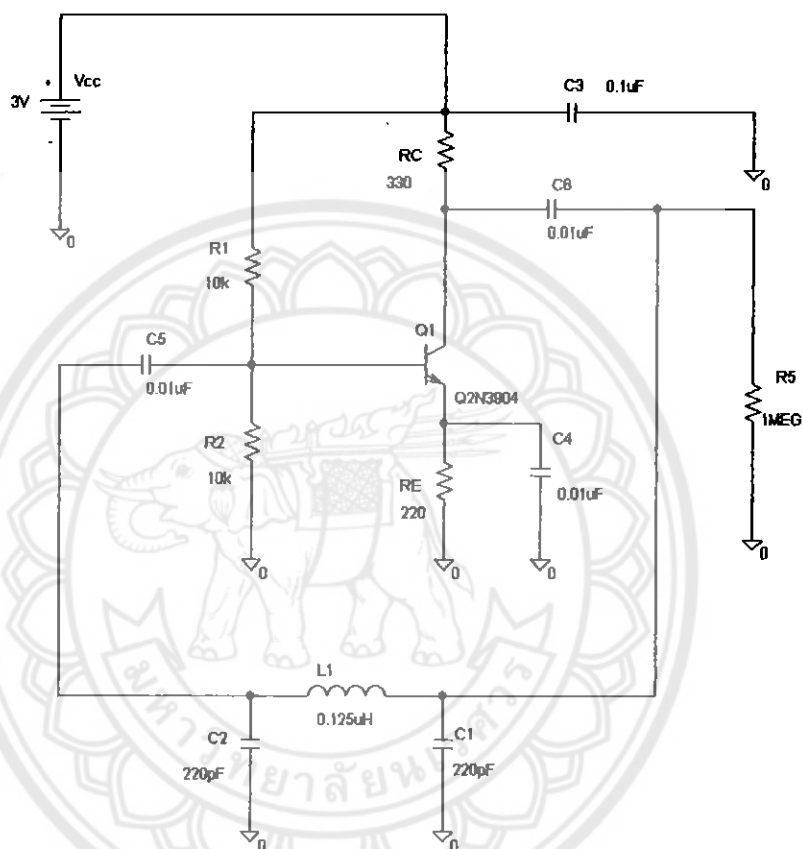
1 เครื่อง

4.2.9 มัลติมิเตอร์

1 เครื่อง

4.3 วิธีทำการทดลอง

1. ต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรที่ใช้ทดสอบ

2. ทำการวัดค่าแรงดันโหนดต่างๆ ดังนี้ V_B , V_C , V_E , V_{BE} , และ V_{CE} และบันทึกค่าลงในตาราง
3. คำนวณหาค่า V_{BE} , I_B , I_C , I_E
4. ใช้ คิจิตอลออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณ ดังรูป โดยพิจารณาทั้งในทางเวลาและทางความถี่
5. บันทึกผล

4.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แรงดันที่วัดได้จากโนดต่างๆ

V_B (V)	V_C (V)	V_E (V)	V_{BE} (V)	V_{CE} (V)
1.369	1.733	0.937	0.482	0.863

การคำนวณหาค่า

$$V_{BE} = V_B - V_E = 1.369V - 0.937V = 0.432V \quad (4.1)$$

หา I_B

จาก
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{eq}}{R_{eq}} \quad (4.2)$$

เมื่อ
$$R_{eq} = R_1 \parallel R_2 \quad (4.4)$$

และ
$$V_{eq} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{CC} \quad (4.5)$$

แล้ว
$$R_{eq} = 10k\Omega \parallel 10k\Omega = 5k\Omega \quad (4.6)$$

$$V_{eq} = \frac{10k\Omega}{(10k\Omega + 10k\Omega)} 3V = 1.5V \quad (4.7)$$

ดังนั้น
$$I_B = \frac{3V - 1.5V}{5k\Omega} = 300\mu A \quad (4.8)$$

เมื่อพิจารณาค่าผิดพลาดของตัวต้านทาน ตัวละ $\pm 5\%$

$$R_1 = R_2 = R \pm 5\% = 10k\Omega \pm 500\Omega = 9.5k\Omega, 10.5k\Omega \quad (4.9)$$

โดยทั่วไปแล้วค่ามักมีต่ำกว่าค่าที่ระบุไว้ ทำให้ค่าผิดพลาด $R + 5\%$ จึงไม่มีผล

$$R_{eq} = 9.5k\Omega \parallel 9.5k\Omega = 4.75k\Omega \quad (4.10)$$

$$V_{eq} = \frac{9.5k\Omega}{(9.5k\Omega + 9.5k\Omega)} 3V = 1.5V \quad (4.11)$$

$$\therefore I_B = \frac{3V - 1.5V}{4.75k\Omega} = 315.79\mu A \quad (4.12)$$

ดังนั้น จะได้ค่าของกระแสจริง อยู่ในช่วง $I_B = [300\mu A, 315.79\mu A]$

หา I_C

จาก
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{3V - 1.733V}{330\Omega} = 3.839mA \quad (4.13)$$

เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดของตัวต้านทานด้วยจะได้

$$R_C = R \pm 5\% = 330\Omega \pm 16.5\Omega = 313.5\Omega, 346.5\Omega \quad (4.14)$$

เช่นเดียวกัน ถ้าไม่พิจารณาค่าความผิดพลาด +5%

จะได้ค่า
$$I_C = \frac{3V - 1.733V}{313.5\Omega} = 4.042mA \quad (4.15)$$

ดังนั้นจะได้กระแส $I_C = [3.839mA, 4.042mA]$

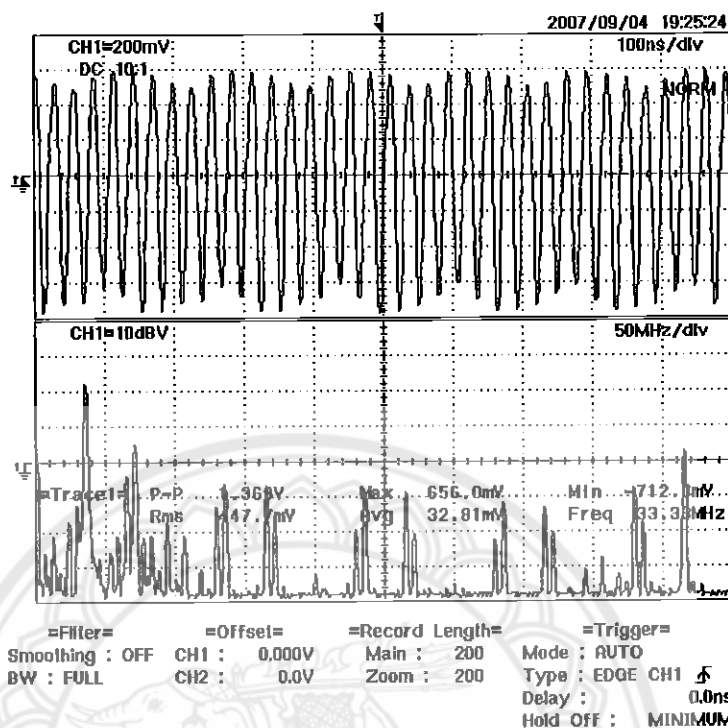
หาค่า I_E

จาก

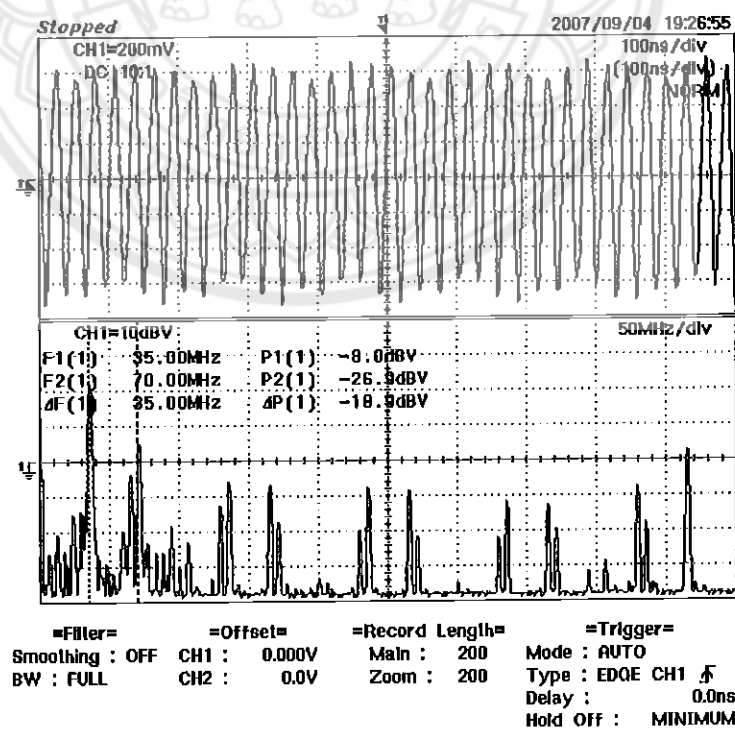
$$I_E = I_C + I_B = [(3.839mA + 300\mu A), (4.042mA + 315.79\mu A)] \quad (4.16)$$

$$= [4.139mA, 4.358mA] \quad (4.17)$$

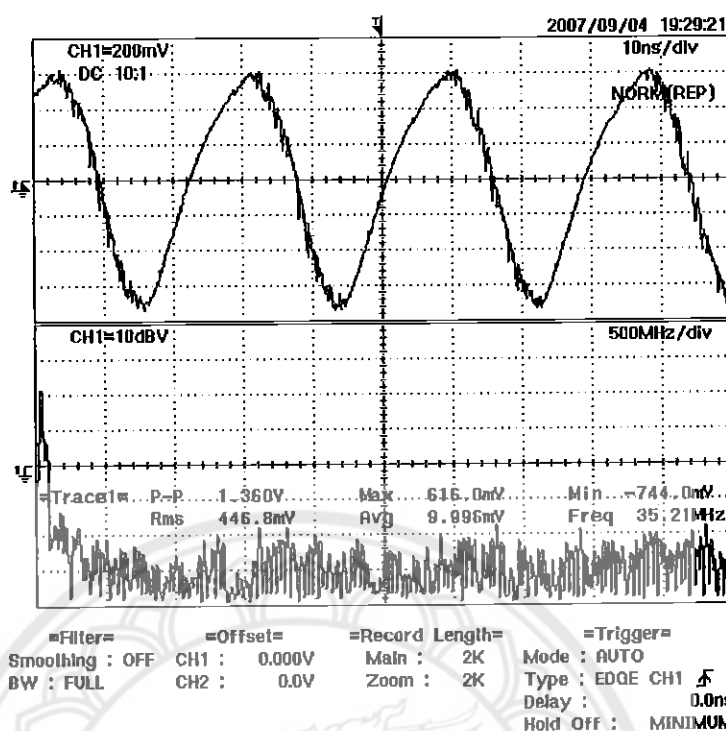
ลักษณะสัญญาณที่วัดได้



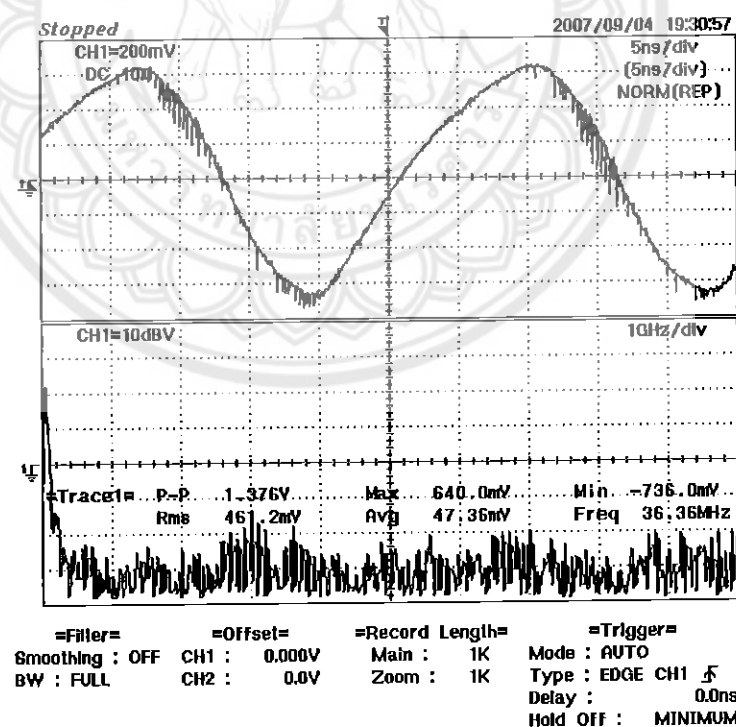
รูปที่ 4.2 สัญญาณที่วัดได้จาก R_s โดยที่มี volt/div = 200mV และ time/div = 100ns



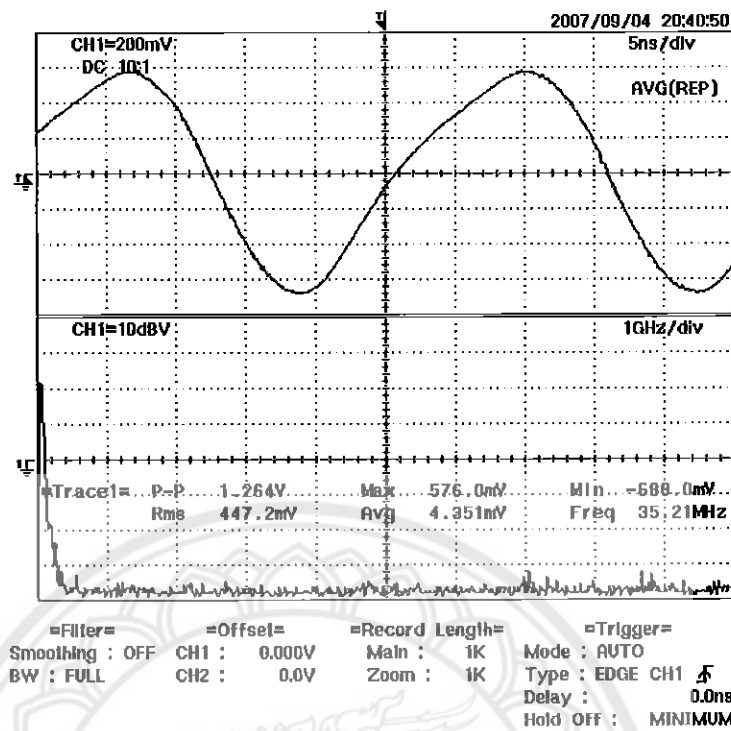
รูปที่ 4.3 สัญญาณที่วัดได้จาก R_s โดยที่มี volt/div = 200mV , time/div = 100ns
และแสดงสัญญาณในเชิงความถี่ ที่ 35 MHz



รูปที่ 4.4 สัญญาณที่วัดได้จาก R_s โดยที่มี volt/div = 200mV และ time/div = 10ns



รูปที่ 4.5 สัญญาณที่วัดได้จาก R_s โดยที่มี volt/div = 200mV และ time/div = 5ns



รูปที่ 4.6 สัญญาณที่วัดได้จาก R_s โดยที่มี $\text{volt/div} = 200\text{mV}$ $\text{time/div} = 10\text{ns}$

และได้กำจัดสัญญาณรบกวนออกไป โดยการวัดค่าเฉลี่ยของสัญญาณ

บทที่ 5

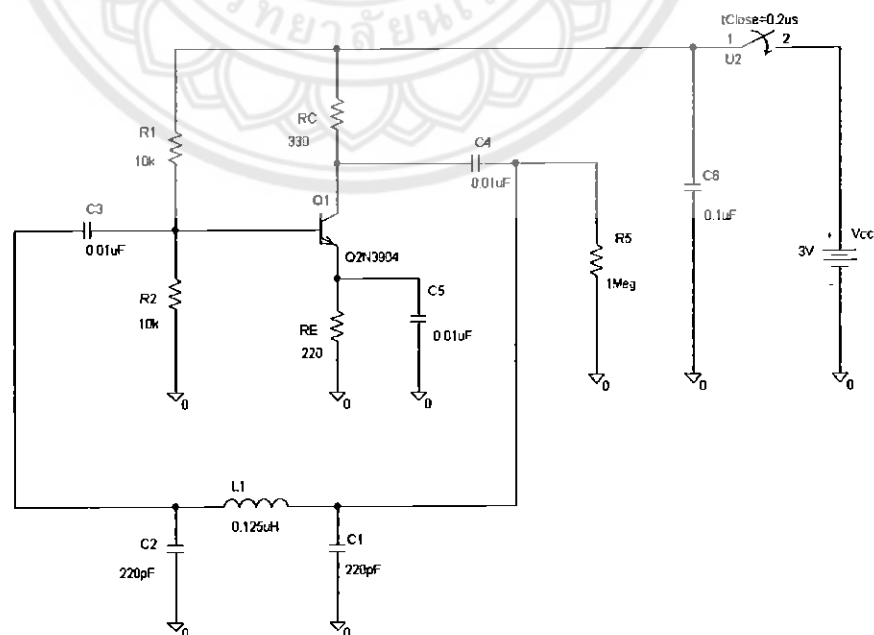
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 การวิเคราะห์สัญญาณเพื่ออธิบายการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์ค่าไฟกระแสตรง

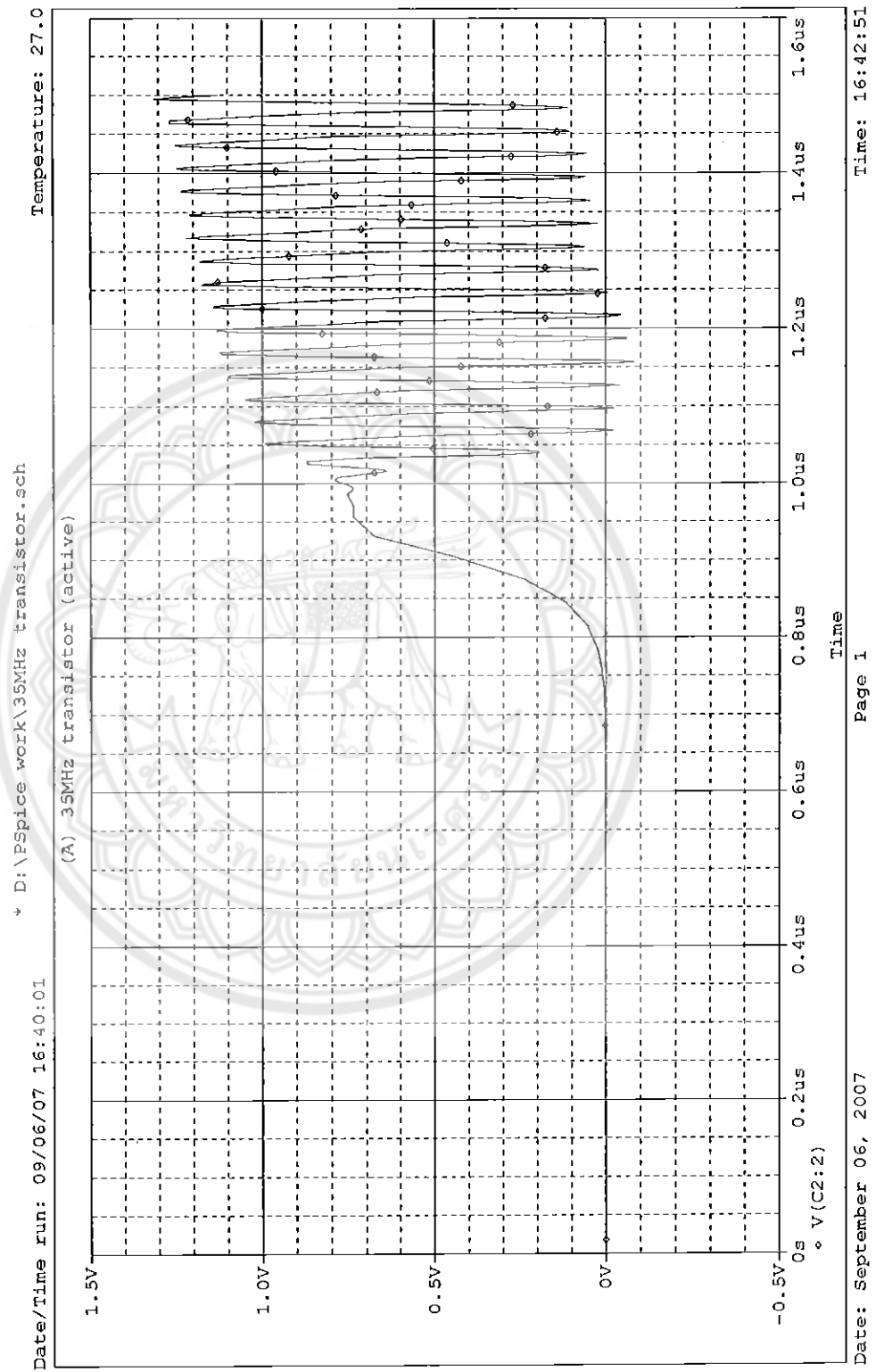
	โดยคำนวณด้วยมือ	โดยการ simulate ด้วยโปรแกรม PSpice	โดยการทดลองจริง
V_B	1.5 V	1.396 V	1.369 V
V_C	2.038 V	1.957 V	1.733 V
V_E	770 mV	699.62 mV	0.937 V
V_{BE}	730 mV	696.38 mV	0.482 V
V_{CE}	1.278 V	1.257 mV	0.863 V
I_B	8.38 μA	20.82 μA	300 μA - 315.79 μA
I_C	3.149 mA	3.159 mA	3.839 mA - 4.042 mA
I_E	3.5 mA	3.180 mA	4.139 mA - 4.358 mA

ด้วยการวิเคราะห์กราฟที่ได้จากผลการรันโปรแกรม PSpice

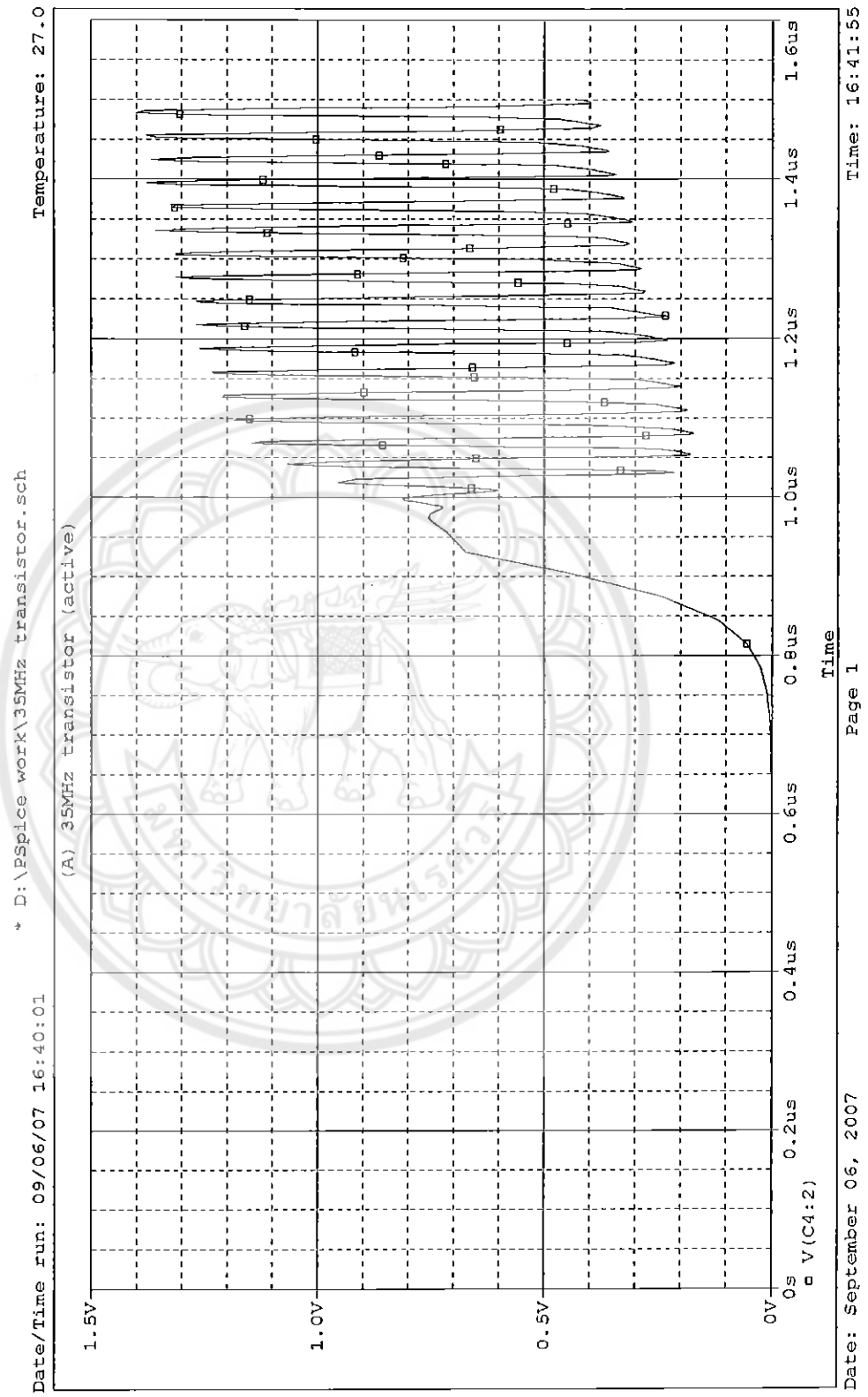


รูปที่ 5.1 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ที่สมบูรณ์

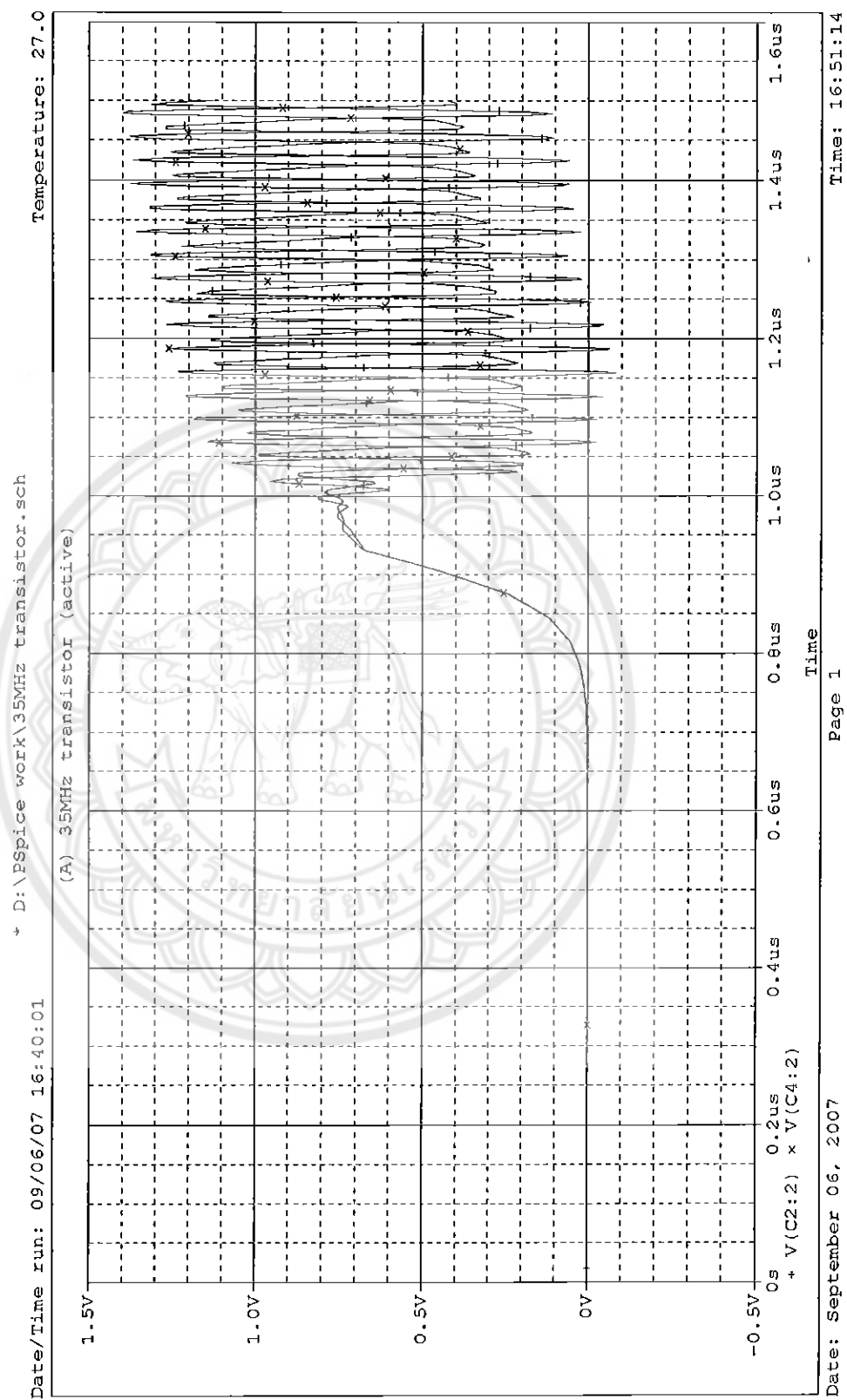
จากรูป 5.1 เมื่อนำเข้าไปประมวลผลด้วยโปรแกรม PSpice จะได้ผลลัพธ์ทางสัญญาณดังนี้



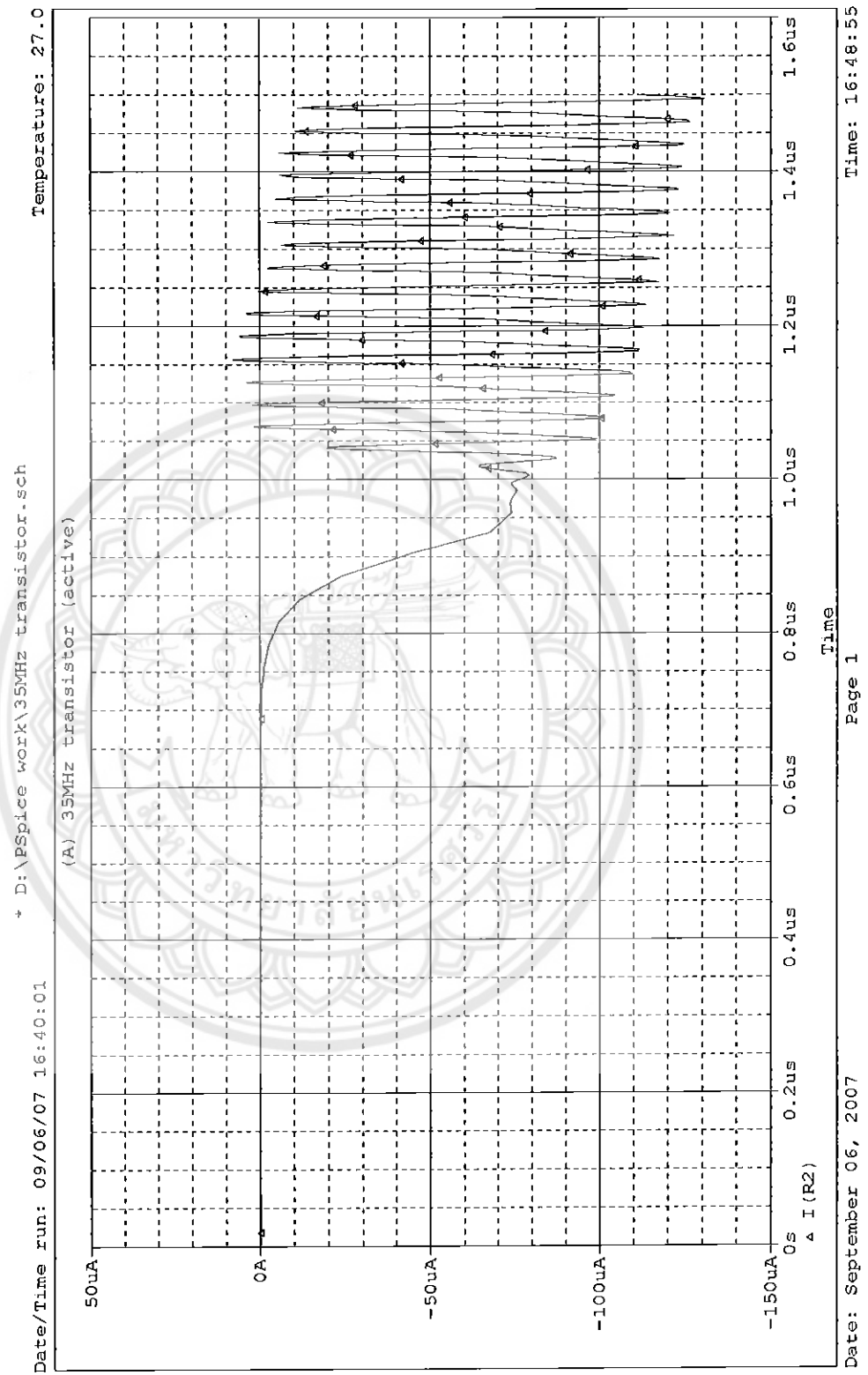
รูปที่ 5.2 แสดงสัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุ C2



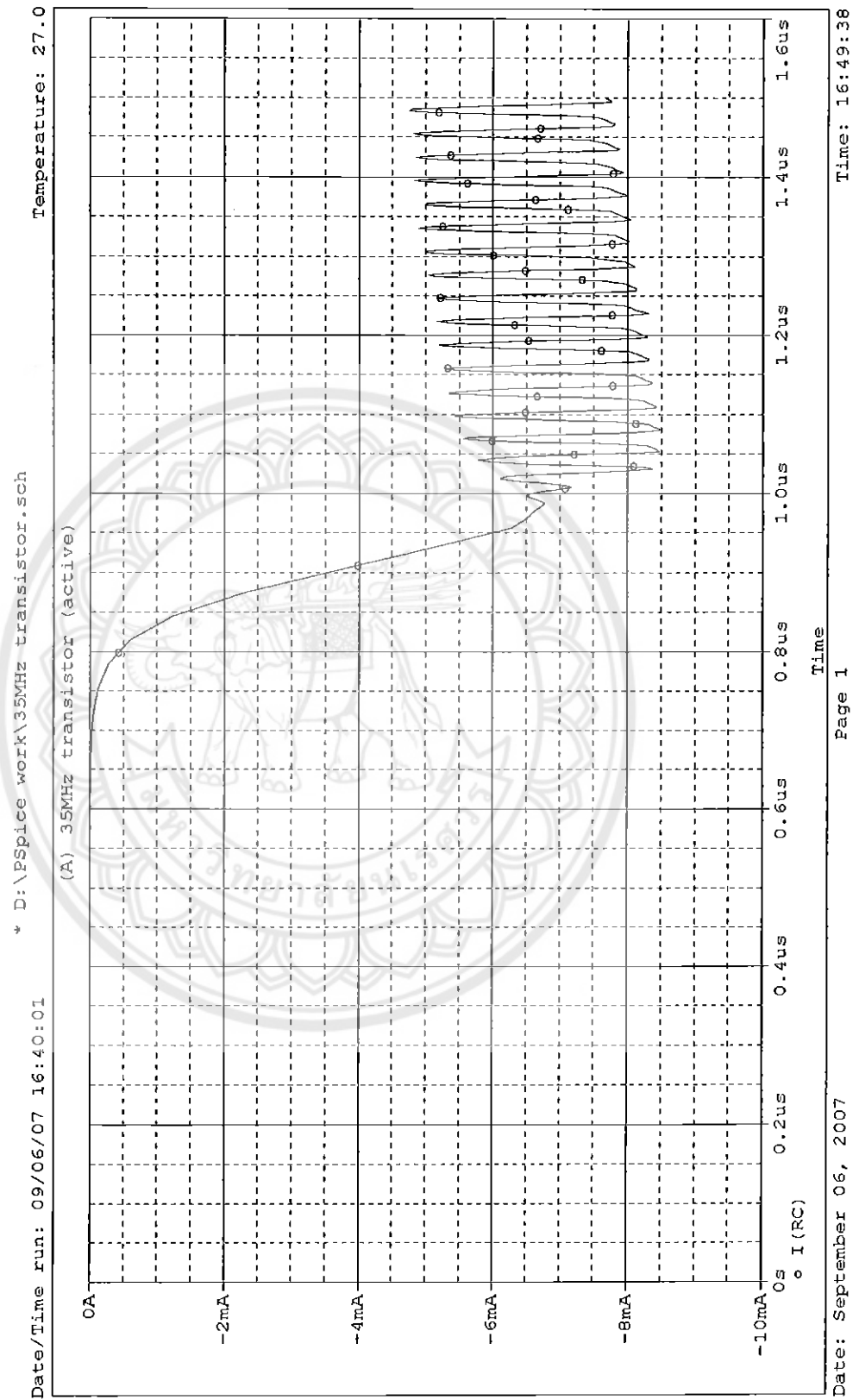
รูปที่ 5.3 แสดงสัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุ C4



รูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณแรงดันที่ตัวเก็บประจุ C2 และ C4

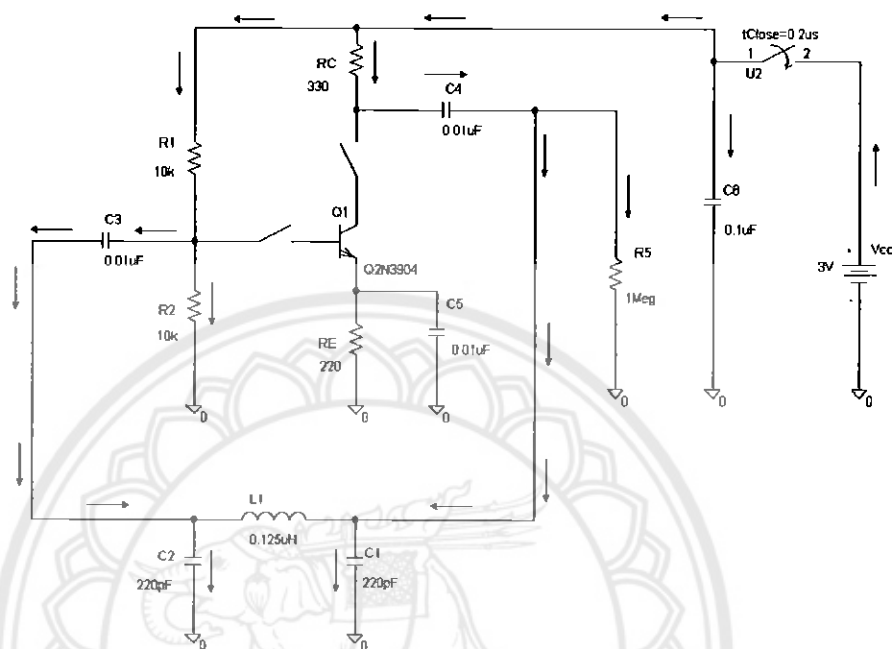


รูปที่ 5.5 แสดงสัญญาณกระแสที่ตัวต้านทาน R2



รูปที่ 5.6 แสดงสัญญาณกระแสที่ตัวต้านทาน RC

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.1 ถึง รูปที่ 5.6 จะสามารถอธิบายการทำงานของวงจรนี้ได้ว่า เมื่อทำการปิดสวิตช์แรงจ่ายแรงดัน กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายแรงดันผ่าน R_1 , R_2 , R_C , C_3 , C_4 , C_2 , L_1 , C_1 และลงสู่กราวด์ ดังรูปที่ 3.15

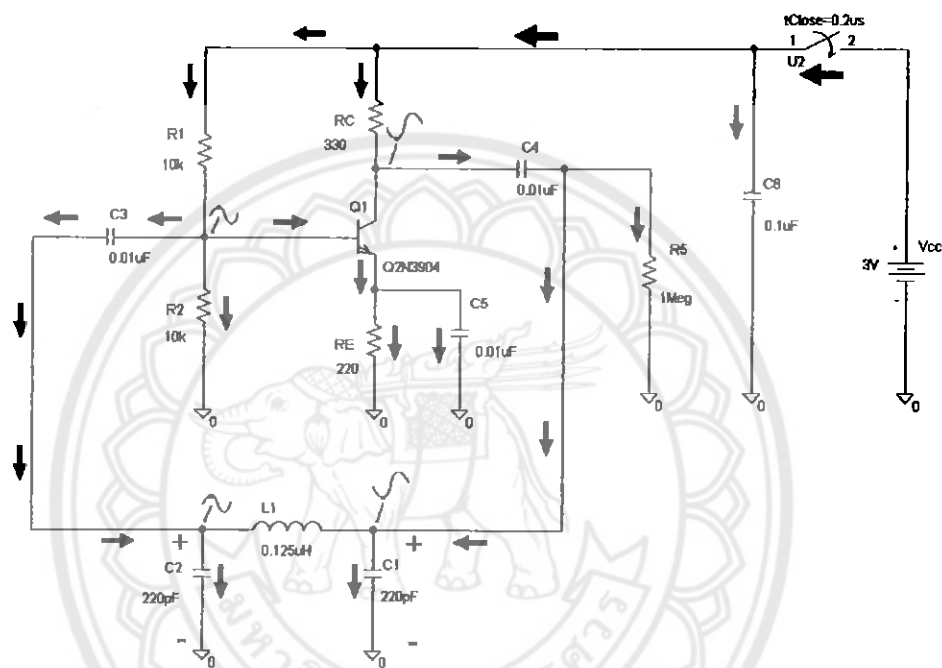


รูปที่ 5.7 แสดงวงจรเสมือนขณะที่ทรานซิสเตอร์ยังไม่ทำงานและแสดงลักษณะการไหลของกระแส

ทำให้ C_2 และ C_1 เกิดการชาร์จประจุ ส่วน L_1 จะชาร์จกระแส ซึ่งขณะนี้ทรานซิสเตอร์ยังไม่ทำงาน

เมื่อ C_2 ชาร์จประจุจนได้แรงดันประมาณ 0.6 โวลต์ ซึ่ง ณ แรงดันนี้ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน จึงเกิดกระแสไหลผ่าน R_E และ C_5 สู่กราวด์ขึ้น ทำให้แรงดันด้านเอาต์พุตเกิดการเพิ่มค่าทางด้านลบนั่นคือ แรงดันที่ C_1 จะมีค่าลดลง ส่งผลถึงศักย์ไฟฟ้าที่ L_1 ลดลง (แรงดันที่ C_2 น้อยกว่าแรงดันที่ C_1) กระแสจึงไหลจากขา B ของทรานซิสเตอร์ผ่าน C_3 เข้าสู่ L_1 (L_1 คือกระแสกลับ) ดังรูปที่ 5.8

การไหลกลับของกระแสดังกล่าว ทำให้แรงดันที่ขา B ของทรานซิสเตอร์ลดลง เป็นเหตุให้มีแรงดันด้านบวกที่ขา B ได้รับการขยายขนาดที่ด้านเอาต์พุต แล้ว C_1 ก็จะรับแรงดันนี้ไปทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ L_1 เพิ่มขึ้น กระแสก็จะไหลไปที่ขา B แรงดันที่ขา B จึงเพิ่มขึ้นแรงดันที่เอาต์พุตจะเป็นแรงดันทางต้านลบ แล้วเหตุการณ์เช่นนี้ก็จะดำเนินต่อไปจนกระทั่งวงจรเกิดการอิมพัลส์ในเชิงแรงดันและกระแส ผลสุดท้ายจะได้สัญญาณไซน์ออกมาดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แสดงลักษณะสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปตามการทำงานของอุปกรณ์ในวงจร

5.2 สรุปผล

ในการสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตตส์ ซึ่งเป็นการใช้วงจร LC เข้ามาช่วยสร้างสัญญาณไซน์นั้น มีสิ่งที่จะต้องพิจารณาดังนี้

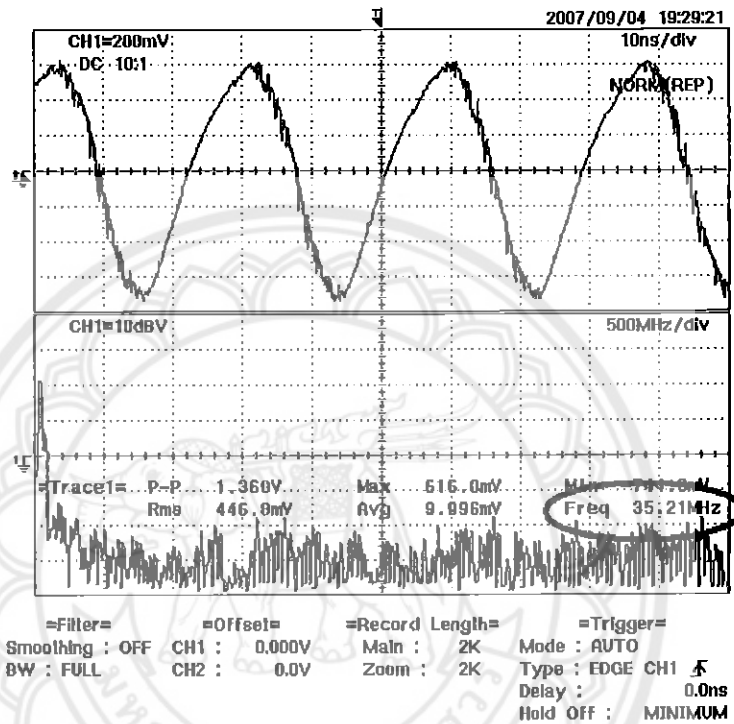
1. ความถี่ของการออสซิลเลตมีค่าขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ในวงจรแท็งค์หรือวงจร LC โดยค่าความถี่มีความสัมพันธ์กับค่าของอุปกรณ์ดังนี้

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + (C_2 + C_x)}{L_1 C_1 (C_2 + C_x)}}$$

ค่าความถี่ที่ได้จากการคำนวณมือจากสมการ (3.36) มีค่า f_0 เท่ากับ

$$f_0 = 42.27 \text{ MHz}$$

ค่าความถี่ที่วัดได้จากวงจรจริงดังรูปที่ 5.9 มีค่าเท่ากับ $f_0 = 35.21 \text{ MHz}$



รูปที่ 5.9 แสดงค่าความถี่ที่วัดได้จากวงจรจริง

จะพบว่าความถี่ที่ได้จากการคำนวณมือนั้นมีค่าแตกต่างจากความถี่ที่ได้จากการวัด เท่ากับ $42.27 \text{ MHz} - 35.21 \text{ MHz} = 7.06 \text{ MHz}$ ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองซึ่งก็คือ C_1 , C_2 และ L_1 มีค่าความผิดพลาด

2. ถ้า g_m ของวงจรขยายมีพอหรือไม่ โดยค่าดังกล่าวต้องมากกว่าค่า g_m ที่คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ซึ่งเป็นค่าน้อยที่สุดที่วงจรจะสามารถทำงานได้

$$g_m = \omega_0^2 \left\{ R_3 C_1 (C_2 + C_\pi) + L_1 \left[\frac{C_1}{Z_i} + \frac{(C_2 + C_\pi)}{Z_o} \right] \right\} - \left(\frac{R_3}{Z_o Z_i} + \frac{1}{Z_o} + \frac{1}{Z_i} \right)$$

ค่า g_m ที่ได้จากการคำนวณมือ จากสมการ (3.44) มีค่าเท่ากับ

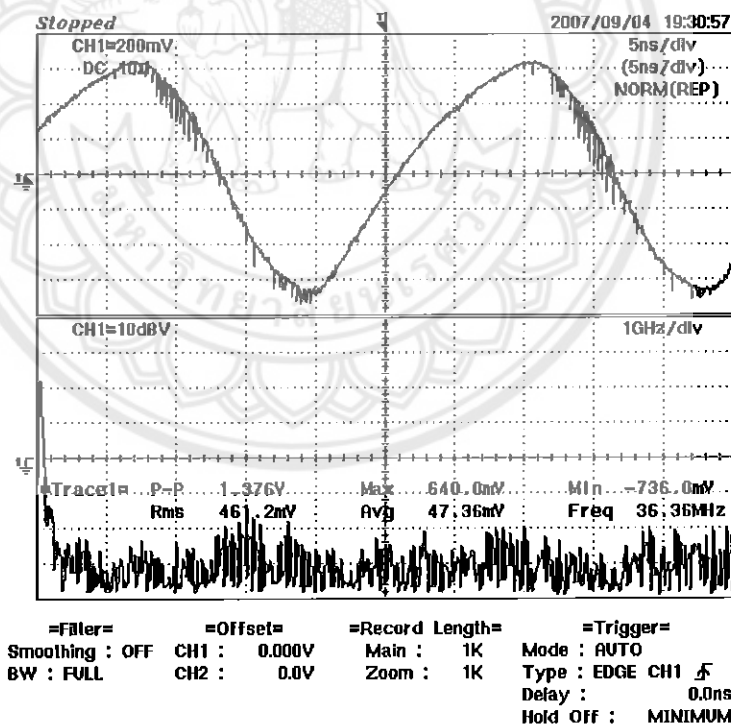
$$g_m = 6.4 \text{ mmho}$$

ค่า g_m ที่คำนวณได้จากวงจรจริง

$$g_m = 3.1 \text{ mmho}$$

จะพบว่าค่า g_m ที่ได้จากการคำนวณมือนั้นมีค่าแตกต่างจากค่า g_m ที่คำนวณได้จากวงจรจริง เท่ากับ $6.4 \text{ mmho} - 3.1 \text{ mmho} = 3.3 \text{ mmho}$ ทั้งนี้เนื่องจากค่าความถี่จากการออสซิลเลตที่วัดได้จากวงจรจริงมีค่าเปลี่ยนไป

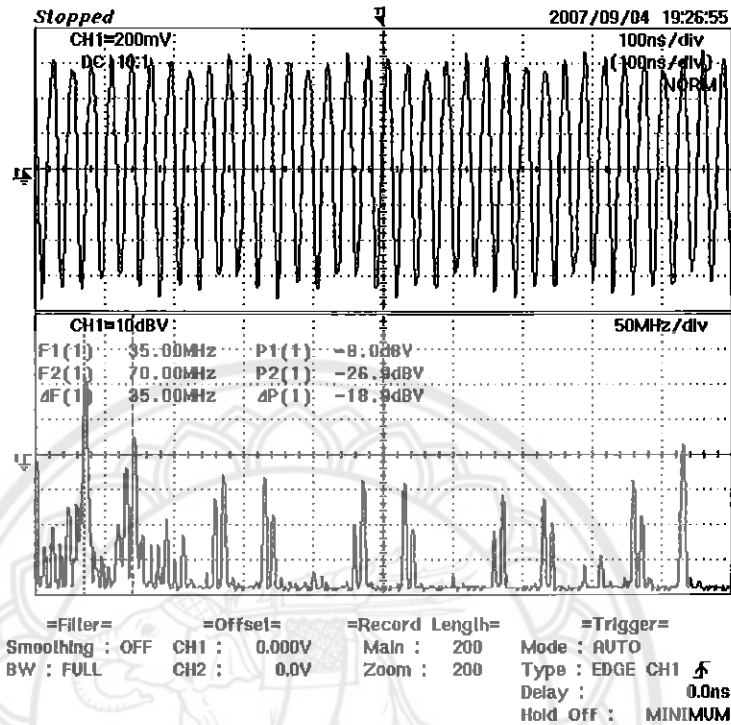
3. สำหรับวงจรในทางปฏิบัติ นั้น จะสังเกตได้ว่าสัญญาณที่ได้มีลักษณะสัญญาณไซน์ที่เบ้ไปทางขวา ซึ่งจะต้องหาวิธีปรับปรุงรูปสัญญาณต่อไป



รูปที่ 5.10 สัญญาณที่วัดได้จาก R_s ที่มีลักษณะสัญญาณไซน์ที่เบ้ไปทางขวา

4. สำหรับวงจรที่ใช้ทดสอบนั้นได้ใช้ตัวเหนี่ยวนำหลายตัวมาต่อกัน เพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการ ผลที่ตามมาคือเกิดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นดังรูป 5.10 ซึ่งอาจจะต้องได้รับการแก้ไขด้วยการพันตัว

เหนี่ยวนำขึ้นมาใหม่เพียงหนึ่งตัวหรือเพิ่มวงจรกรองสัญญาณที่สามารถกรองสัญญาณที่ความถี่ที่เราต้องการออกมาได้เพียงความถี่เดียว



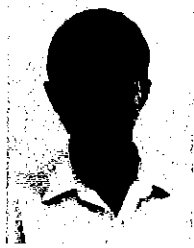
รูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการใช้ตัวเหนี่ยวนำหลายตัวมาต่อกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] สิทธิชัย โกไคยอุดม. วงจรป้อนกลับแบบลบและออสซิลเลเตอร์. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. 2548.
- [2] มงคล ทองสงคราม, อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น, กรุงเทพฯ ฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินต์จิง.
- [3] มงคล ทองสงคราม, อิเล็กทรอนิกส์ 2, กรุงเทพฯ ฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินต์จิง.
- [4] ไพโรจน์ เหลืองวงศกร. “ออสซิลเลเตอร์ ตอน 1.” เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์. ฉบับที่ 297, มกราคม 2550. หน้า 203–209.
- [5] Paul R. Gray and Robert G. Meyer. **Analysis and Design of Analog Intregreted Circuits.** 3rdED.. John Wiley & Sons, Inc. 1942.
- [6] Integrated Publishing. “HARTLEY OSCILLATOR.” [Online]. Available:
http://www.tpub.com/content/neets/14181/css/14181_81.htm



ประวัติผู้ทำโครงการ



ชื่อ นายพรชัย เปิ่นเพชร
ภูมิลำเนา 210 ม.9 ตำบลโคกเคือ อำเภอไพศาลี จังหวัด
นครสวรรค์ 60220

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนท่าตะโก
พิทยาคม จังหวัดนครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยนเรศวร



ชื่อ นายณัฐฉัตร สัตยภิรณานนท์
ภูมิลำเนา 681/2 ม.6 ตำบลอินทร์บุรี อำเภออินทร์บุรี
จังหวัดสิงห์บุรี 16110

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสิงห์บุรี
จังหวัดสิงห์บุรี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยนเรศวร