

การสร้างสัญญาณไซนุชอชดอลด้วยออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์

พลกฤษณ์ คุ่มกล้า

สลักจิต พุกจรรยา

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณผลประโยชน์ประจำปีงบประมาณ 2552
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



Implementation of Sinusoidal Using Wein-Bridge Oscillator



PONLAKRIT KUMKLAM

SALAKCHIT PUKJAROON

This Research in Funded by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon,

Fiscal Year 2009

ชื่อเรื่อง : การสร้างสัญญาณไซน์ชอยดอลด้วยออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์
ผู้วิจัย : นายพลกฤษณ์ คุ้มกล้า สัดส่วนการวิจัย 60%
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สลักจิต พุกจรรย์ สัดส่วนการวิจัย 40%
ปีที่ทำการวิจัย : 2552

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอวิธีการสร้างสัญญาณไซน์ชอยดอลด้วยออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์ ซึ่งอาศัยสมการคณิตศาสตร์อธิบายการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์ ผลตอบสนองทางธรรมชาติของวงจรอยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์อันดับที่ 2 การออกแบบเริ่มจากการสร้างวงจรขึ้นบนคอมพิวเตอร์ และจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice เมื่อผลการจำลองการทำงานของวงจรถูกต้องตามหลักทฤษฎี จึงสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์ขึ้นเพื่อนำมาใช้งานจริง ผลการทดลองวัดสัญญาณไซน์ชอยดอลที่เอาพุตของวงจร ให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ตามหลักการในทฤษฎีด้วยดี

คำสำคัญ: ไชนูชอยดอล, ออสซิลเลเตอร์

Title : Implementation of Sinusoidal Using Wein-Bridge Oscillator
Researcher : Ponlakrit Kumklam 60%
Salakchit Pukjaron 40%
Year of research : 2552

Abstract

This research present the method for generate sinusoidal signal with Wein-Bridge Oscillator circuit. This method used the mathematic analysis for determining the operation of the oscillator circuit. The natural response was second order differential equation. The circuit design begins from simulation with PSpice. When experimental result followed to theory, Hardware Circuit was constructed. Analytical theory was confirmed by experimental result well agree.

Keywords: sinusoidal, oscillator

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายฝ่ายที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ ดังนี้

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ประดิษฐ์ พงศ์ทองคำ รองผู้อำนวยการสำนักทะเบียนและประเมินผล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ ปิยโชคนากุล รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ อภิลิทธิวานิช รองศาสตราจารย์ เสาวนีย์ สุพุทธิธาดา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และอาจารย์เกรียงศักดิ์ พรหมภักดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์กรุณารับเป็นที่ปรึกษาโครงการวิจัยและตรวจสอบแก้ไขปรับปรุงให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

และสุดท้ายขอขอบคุณ อาจารย์สุพร กิตติสารวัฒน์ คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และนิสิตแพทย์กฤษฎณลักษณ์ พุกจรรยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนจนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



พลกฤษณ์ คุ้มกล้า
สลักจิต พุกจรรยา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญภาพ	(5)
บทที่	
1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
ขอบเขตการวิจัย	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
นิยามศัพท์เฉพาะ	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ประวัติความเป็นมาของออปแอมป์	3
คุณสมบัติออปแอมป์ทางอุดมคติ	6
ทฤษฎีวงจรรอสซิลเลเตอร์	8
การวิเคราะห์วิเคราะห์วงจรถอนิกส์ด้วยโปรแกรม PSpice	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
3 วิธีดำเนินการวิจัย	20
การออกแบบวงจรด้วยโปรแกรม PSpice	20
การสร้างวงจรจริง	22

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง	25
สัญญาณไขนุชอยดอลจากการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์	25
สัญญาณไขนุชอยดอลจากการสร้างวงจรจริง	32
5 สรุปผล อภิปรายผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	36
สรุปผลการทดลองการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์	36
สรุปผลการทดลองจากการสร้างวงจรจริง	37
อภิปรายผลการทดลอง	37
ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย	37
บรรณานุกรม	39
ภาคผนวก	40
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งานออปแอมป์เบอร์741	41
ประวัติผู้วิจัย	51

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ออปแอมป์แบบหลอดสูญญากาศเดี่ยว	3
2 ออปแอมป์ในปัจจุบัน	4
3 วงจรสมมูลของออปแอมป์	6
4 การจัดเรียงขาของออปแอมป์เบอร์ 741	7
5 การจัดเรียงขาของออปแอมป์เบอร์ 358	7
6 ทฤษฎีวงจรออสซิลเลเตอร์ที่สร้างสัญญาณไซน์	8
7 ออปแอมป์ทำหน้าที่อัดสำเนาเฉพาะสัญญาณ E_0 เท่านั้น	9
8 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวนบริดจ์	9
9 ตัวอย่างวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวนบริดจ์	14
10 การเลือกรูปแบบในการวิเคราะห์วงจร	15
11 การใส่ค่าต่างๆ เพื่อทำการวิเคราะห์วงจร	15
12 ภาพสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรในโดเมนของเวลา	16
13 การใส่ค่าต่างๆ ในโดเมนของความถี่	17
14 แสดงการวัดหาค่าความถี่และแรงดันของวงจรในโดเมนของความถี่	18
15 การสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวนบริดจ์โดยใช้ออปแอมป์เบอร์ 741	21
16 การสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวนบริดจ์	22
17 (ก) สัญญาณเอาพุตความถี่ 500 Hz. จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนเวลา	23
(ข) สัญญาณเอาพุตความถี่ 500 Hz. จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนความถี่	23
18 สัญญาณเอาพุตความถี่ 500 Hz. จากการสร้างวงจรจริง	24
19 (ก) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 1 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนเวลา	26
(ข) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 1 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนความถี่	26

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
20 (ก) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 2 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนเวลา	27
(ข) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 2 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนความถี่	27
21 (ก) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 3 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนเวลา	28
(ข) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 3 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนความถี่	28
22 (ก) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 4 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนเวลา	29
(ข) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 4 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนความถี่	29
23 (ก) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 5 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนเวลา	30
(ข) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 5 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนความถี่	30
24 (ก) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 10 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนเวลา	31
(ข) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 10 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร ในโดเมนความถี่	31
25 สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 1 kHz จากวงจรจริงในโดเมนเวลา	32
26 สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 2 kHz จากวงจรจริงในโดเมนเวลา	33
27 สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 3 kHz จากวงจรจริงในโดเมนเวลา	33
28 สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 4 kHz จากวงจรจริงในโดเมนเวลา	34

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
29	สัญญาณเอพุดที่ความถี่ 5 kHz จากวงจรจริงในโดเมนเวลา	34
30	สัญญาณเอพุดที่ความถี่ 10 kHz จากวงจรจริงในโดเมนเวลา	35
31	การนำไดโอดมาใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์	38



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แทบทุกวงจรจะมีส่วนประกอบของวงจรร้อยยที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณให้กับวงจรโดยรวม ซึ่งวงจรงดังกล่าวเรียกว่า วงจรออสซิลเลเตอร์ สัญญาณที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์นั้นขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบวงจรว่าต้องการใช้สัญญาณรูปแบบใด เช่น สัญญาณคลื่นรูปไซน์ สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม สัญญาณรูปสามเหลี่ยม เป็นต้น ทั้งนี้สัญญาณต่างๆ ที่เราสามารถควบคุมความถี่ และแอมพลิจูดได้ตามความต้องการด้วยการออกแบบและปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า วงจรออสซิลเลเตอร์มีความสำคัญมากในงานอิเล็กทรอนิกส์ แต่ในปัจจุบันตำราที่อธิบายถึงที่มาของทฤษฎีและสมการคณิตศาสตร์ ของการออกแบบสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์มีน้อยมาก โดยส่วนใหญ่จะกล่าวถึงวงจรและสมการคณิตศาสตร์สุดท้าย ที่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที

โครงการวิจัยนี้นำเสนอวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวเนบริดจ์ (Vein Bridge Oscillator) ซึ่งเป็นวงจรที่สร้างขึ้นจากออปแอมป์ มีอุปกรณ์ในวงจรมีน้อย วงจรมีเสถียรภาพที่ดี การออกแบบสร้างวงจรเริ่มตั้งแต่การพิสูจน์หาที่มาของสมการคณิตศาสตร์ของวงจร ไปจนถึงผลของสัญญาณที่ได้จากการออกแบบสร้างวงจร โดยมีการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์ (Simulation) จากนั้นจึงนำไปสร้างเป็นวงจรจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. นำเสนอทฤษฎีและสมการคณิตศาสตร์ ของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวเนบริดจ์
2. จำลองการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวเนบริดจ์ด้วยโปรแกรม PSpice
3. สร้างสัญญาณไซน์ชอยดอลที่สามารถควบคุมความถี่ได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างสัญญาณไซน์ชอยดอลที่ความถี่ 500 Hz ถึง 10 kHz
2. สร้างวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวเนบริดจ์ด้วยไอซีออปแอมป์เบอร์ 741

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการทำงานและทฤษฎีของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวกนบริดจ์
2. ได้สัญญาณไซน์ชอยดอลที่มีความผิดเพี้ยนต่ำ
3. สามารถนำวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวกนบริดจ์ไปประยุกต์ใช้กับงานอิเล็กทรอนิกส์ได้

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

ไซน์ชอยดอล (Sinusoidal) หมายถึง สัญญาณรูปคลื่นใดๆ ที่เกิดจากคลื่นหลายลูกคลื่นมารวมกัน และสามารถใช้เทคนิคของอนุกรมแยกสัญญาณรายคาบนั้นออกเป็นสัญญาณรูปไซน์หลายๆ รูปประกอบกัน

ออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) หมายถึง วงจรที่ทำให้เกิดการแกว่งทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากตัววงจร โดยไม่มีสัญญาณอินพุตจากภายนอกป้อนให้กับวงจร



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมาของออปแอมป์

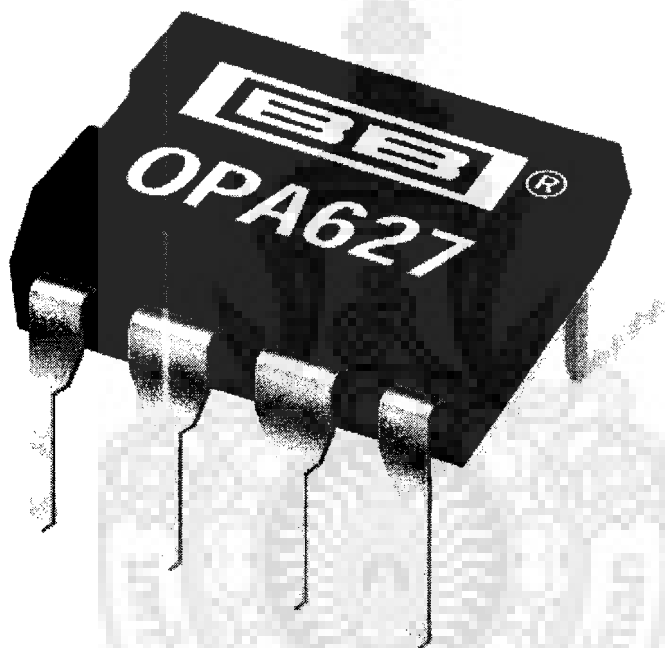
โอเปอเรชันแอมพลิไฟเออร์ (Operational amplifier) หรือที่เรียกสั้นๆว่า ออปแอมป์ (Op amp) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่น่าสนใจและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการใช้งานเชิงเส้น (Linear application) สาเหตุที่ทำให้ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์ยอดนิยม เพราะมีราคาถูก ใช้งานง่าย สามารถนำมาสร้างเป็นวงจรได้โดยไม่ต้องมีความรู้เกี่ยวกับวงจรภายในตัวมันเลย

จอร์จ ฟิลบริค (George Philbrick) เป็นบุคคลหนึ่งที่ทำกรพัฒนาและทำให้ออปแอมป์เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง สำหรับประวัติการทำงานของเขา นั้น ในตอนแรกฟิลบริคเริ่มทำงานที่ฮันติงตันเอ็นจิเนียริงแล็บ (Huntington Engineering Labs) ต่อมาเขาได้ตั้งบริษัทของเขาเองโดยใช้ชื่อว่า ฟิลบริคแอสโซซิเอต (Philbrick Associates) ฟิลบริคได้ออกแบบและผลิตออปแอมป์แบบหลอดสุญญากาศเดี่ยว (Single vacuum tube op amp) ขึ้นมาและได้นำออกสู่ตลาดในปี พ.ศ. 2491 แสดงดังภาพที่ 1 ต่อมาจึงมีการพัฒนาออปแอมป์เพื่อการใช้งานกับอนาลอกคอมพิวเตอร์ (Analog computer) ซึ่งตอนนั้นการนำออปแอมป์มาใช้จะเป็นการใช้งานในเชิงคณิตศาสตร์เท่านั้น โดยใช้ต่อเป็นวงจรเพื่อ บวก ลบ คูณ และแก้สมการดิฟเฟอเรนเชียล



ภาพที่ 1 ออปแอมป์แบบหลอดสุญญากาศเดี่ยว

ในปัจจุบันออปแอมป์ ในรูปแบบไอซี (IC) ถูกผลิตขึ้นมาโดยบริษัทเฟร์ไรเซลด์ ซึ่งผลิตออปแอมป์เบอร์ 702, 709, และ 741 ขึ้นมาในช่วงปี พ.ศ.2507-2511 ขณะที่บริษัทเนชั่นแนลเซมิคอนดักเตอร์ ได้ผลิตไอซีออปแอมป์เบอร์ 101/103 ขึ้นมาเช่นกัน เมื่อออปแอมป์มีการเปลี่ยนรูปแบบจากหลอดสุญญากาศเป็นไอซี ดังภาพที่ 2 ซึ่งมีขนาดเล็กและราคาถูก ส่งผลให้การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ง่ายขึ้น ใช้เวลาในการออกแบบน้อยลง การใช้เนื้อที่ในการต่อวงจรและแหล่งจ่ายไฟก็สามารถลดขนาดลงได้ นอกจากนี้ยังได้วงจรรขยายที่ดียิ่งกว่าการใช้อุปกรณ์แบบเดิมอีกด้วย



ภาพที่ 2 ออปแอมป์ในปัจจุบัน

สำหรับเทคโนโลยีในการผลิตออปแอมป์เพื่อให้ได้โครงสร้างภายในดียิ่งกว่าเดิม ได้มีการพัฒนาที่สำคัญใน 2 ประการคือ

1. มีการนำฟิลด์เอฟเฟกทรานซิสเตอร์ (Field Effect Transistor หรือ FET) มาใช้แทนที่ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ (Bipolar Transistor) โดยการนำเจเฟต (JFET) มาเป็นส่วนอินพุตของออปแอมป์ ทำให้กินกระแสด้านอินพุตน้อยกว่าการใช้ไบโพลาร์ และทำให้แรงดันด้านอินพุตเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงที่แหล่งจ่ายไฟกำหนด ส่วนทางด้านเอาพุตของออปแอมป์จะใช้มอส (Metal Oxide Semiconductor หรือ MOS) เป็นส่วนประกอบในการสร้าง ทำให้ได้แรงดันเอาพุตออกมาเป็นมิลลิโวลต์ในช่วงที่แหล่งจ่ายไฟกำหนด การพัฒนาเช่นนี้มีตัวอย่างที่แสดงให้เห็นได้คือ ออป

แอมป์เบอร์ CA3130 ใช้ไบโพลาร์เป็นอินพุต และใช้มอสเป็นส่วนประกอบตัวหนึ่งทางด้านเอาพุต เมื่อนำออปแอมป์เบอร์นี้มาสร้างเป็นวงจรรขยาย วงจรจะสามารถทำงานได้เร็วขึ้น และใช้งานที่ความถี่สูงขึ้นกว่าเดิม โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับออปแอมป์เบอร์ 741 ซึ่งทั้งอินพุตและเอาพุตเป็นไบโพลาร์

2. สามารถสร้างออปแอมป์ 2 ตัว และ 4 ตัว ไว้ในตัวถังเดียวกันได้ ออปแอมป์ทุกตัวจะใช้แหล่งจ่ายไฟร่วมกัน ตัวอย่างของออปแอมป์ 2 ตัวในตัวถังเดียวกันคือ LM324 ส่วนออปแอมป์ 4 ตัว ในตัวถังเดียวกันคือ LM358

ออปแอมป์ในตอนแรกของการพัฒนานั้น ส่วนใหญ่จะออกแบบออปแอมป์ให้ใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ทั่วไป ทำให้ออปแอมป์เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ในบางครั้งก็ไม่เหมาะสำหรับใช้งานเฉพาะกิจบางอย่าง เช่น LM324 เหมาะที่จะใช้ขยายแรงดันแต่ไม่เหมาะสำหรับงานที่ใช้ความถี่สูงๆ บริษัทผู้ผลิตไอซีต่างๆ จึงได้มีการดัดแปลงและเพิ่มคุณสมบัติหลายประการให้กับออปแอมป์ประเภทนี้ ทำให้เกิดออปแอมป์ที่ทำหน้าที่พิเศษเช่น เป็นตัวเรกูเลเตอร์ ออปแอมป์สำหรับงานความถี่สูง เป็นต้น และได้มีการออกแบบให้สามารถบรรจุออปแอมป์หลายตัวภายในชิปแพคเกจตัวเดียวได้อีกด้วย

ข้อดีสำหรับการออกแบบออปแอมป์เฉพาะกิจขึ้นมา ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกหาออปแอมป์ให้เหมาะสมกับลักษณะของงานที่ใช้ได้สะดวกขึ้น เวลาที่ผู้ใช้ต้องการเลือกออปแอมป์ที่ใช้สำหรับงานหนึ่งๆ ผู้ใช้สามารถเลือกดูชนิดของออปแอมป์ว่าต้องการชนิดใด ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. พวกที่มีความสามารถทนกระแสสูง
2. พวกที่ใช้เป็นตัวรับ-ส่งโซนาร์
3. ออปแอมป์สำหรับงานมัลติเพลกซ์สัญญาณ
4. วงจรรขยายที่โปรแกรมอัตราการขยายได้
5. พวกที่ใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ในเครื่องมือวัด หรือเครื่องมือสำหรับควบคุมอัตโนมัติ
6. ไอซีที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร
7. ไอซีที่ใช้กับโทรทัศน์ เครื่องเสียง วิดีโอ

ออปแอมป์บางตัวที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง อาจไม่ได้ถูกสร้างขึ้นจากบริษัทเพียงบริษัทเดียว ซึ่งจะเรียกว่าแหล่งผลิตแหล่งที่สอง (Second source) หมายความว่าบริษัทหนึ่งเป็นผู้ออกแบบออปแอมป์ต้นแบบขึ้นมา หลังจากนั้นอาจมีบริษัทอื่นทำสัญญาขออนุญาตนำวงจรออปแอมป์ต้นแบบไปผลิต หรือพัฒนาต่อ ดังนั้นออปแอมป์เบอร์เดียวกันอาจมีบริษัทที่ผลิตออปแอมป์เบอร์นี้ขึ้นมาหลายๆ บริษัทก็ได้ เช่น แพรี่ไซลด์เป็นผู้ผลิตออปแอมป์เบอร์ 741 ต้นแบบขึ้นมา แต่มี

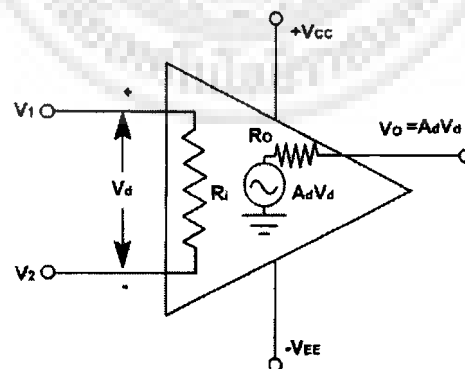
บริษัทอื่นอีกหลายบริษัทได้นำต้นแบบมาผลิตและพัฒนาต่อ ดังนั้นจึงได้เกิด LM741, A741 และ AD741 ขึ้นมา

2.2 คุณสมบัติของออปแอมป์ทางอุดมคติ

ออปแอมป์ในทางอุดมคตินั้นต้องการวงจรรขยายที่มีความต้านทานทางด้านอินพุตมีค่าเป็นอนันต์ ความต้านทานทางด้านเอาพุตมีค่าเป็นศูนย์ และมีอัตราขยายที่เป็นอนันต์ แต่ในความเป็นจริงยังไม่สามารถผลิตออปแอมป์ที่มีคุณสมบัติในทางอุดมคตินี้ได้ เพียงแต่ใช้คุณสมบัติในทางอุดมคติมาช่วยออกแบบวงจรรใช้งานต่างๆ เช่น ถ้าออปแอมป์มีความต้านทานทางด้านอินพุตเป็นอนันต์ เราก็ไม่ต้องสนใจความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายสัญญาณ ดังนั้นจึงสามารถต่อวงจรรขยายสัญญาณกับแหล่งจ่ายสัญญาณ และไม่มีสัญญาณแรงดันตกคร่อมภายในแหล่งจ่าย ถ้าความต้านทานทางด้านเอาพุตมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อวงจรต่อกับโหลดจะทำให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมที่วงจรรขยายสัญญาณ ดังนั้นสามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญของออปแอมป์ในอุดมคติดังนี้

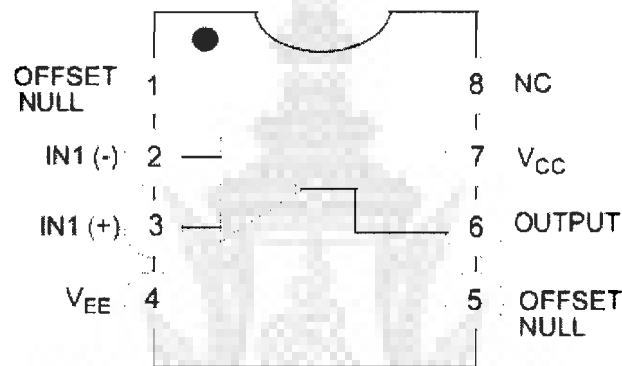
1. อัตราขยายแรงดันแบบลูเปิด (Open Loop Gain)
2. อินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงเป็นอนันต์ (Infinite Input Impedance)
3. เอาพุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำเป็นศูนย์ (Infinite Output Impedance)
4. ช่วงความถี่แบนด์วิดท์มีค่ามากเป็นอนันต์
5. แรงดันอินพุตออฟเซตมีค่าต่ำเป็นศูนย์

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์ที่มีความยืดหยุ่นสำหรับการทำงาน สามารถนำมาสร้างเป็นวงจรได้หลากหลายประเภท ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยวงจรสมมูลของออปแอมป์ (Equivalent Circuit) แสดงดังภาพที่ 3

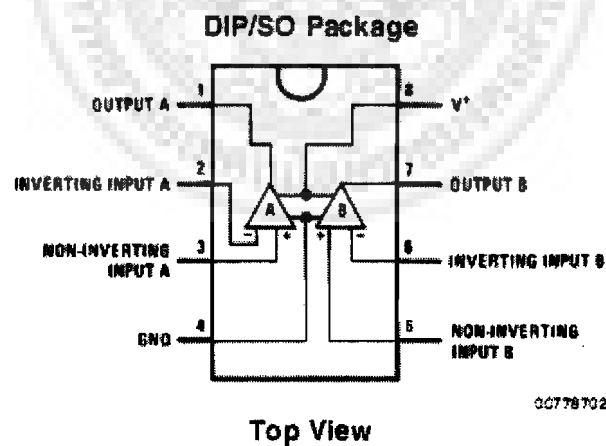


ภาพที่ 3 วงจรสมมูลของออปแอมป์

ลักษณะการจัดเรียงขาของออปแอมป์รวมทั้งโครงสร้างภายในจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเบอร์ของออปแอมป์ที่นำมาใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น ออปแอมป์เบอร์ 741 มีออปแอมป์ 1 ตัว ภายในตัวถัง รับสัญญาณอินพุตที่ขา 2 และ 3 ส่งสัญญาณเอาพุตออกที่ขา 6 ส่วนออปแอมป์เบอร์ 358 มีออปแอมป์ 2 ตัว ภายในตัวถัง รับสัญญาณอินพุตที่ขา 2, 3, 5 และ 6 ส่งสัญญาณเอาพุตออกที่ขา 1 และ 7 แสดงดังภาพที่ 4 และ 5 ดังนั้นการนำออปแอมป์มาใช้งานควรศึกษาคู่มือการใช้ (Datasheet) ของออปแอมป์ให้ละเอียด เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวออปแอมป์



ภาพที่ 4 การจัดเรียงขาของออปแอมป์เบอร์ 741



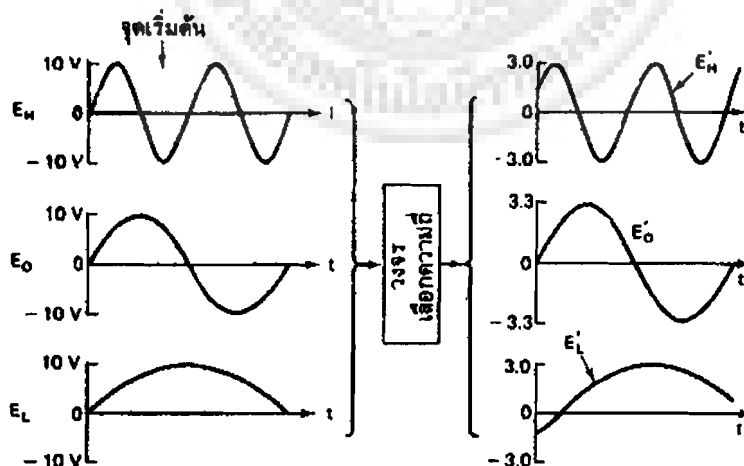
ภาพที่ 5 การจัดเรียงขาของออปแอมป์เบอร์ 358

2.3 ทฤษฎีวงจรออสซิลเลเตอร์

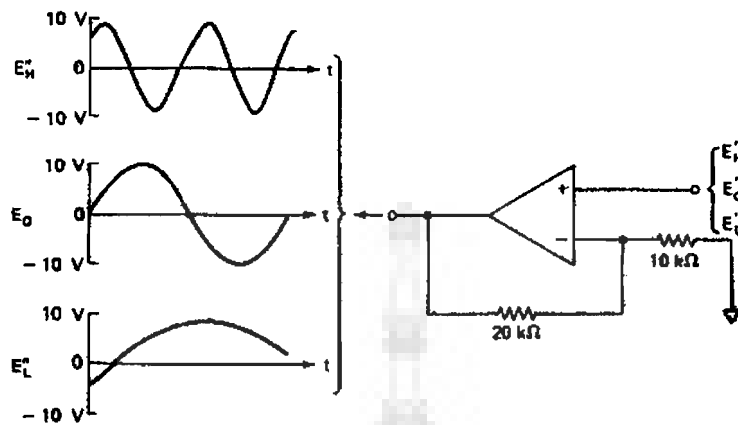
วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ได้นั้นจะต้องให้สัญญาณไซน์ที่มีความถี่เพียงความถี่เดียว ในการสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ให้สัญญาณความถี่เดียวนี้ทำได้ด้วยการนำสัญญาณไซน์หลายความถี่เข้ามาแล้วเลือกความถี่ที่ต้องการ โดยการนำสัญญาณดังกล่าวไปผ่านวงจรเลือกความถี่(Filter) เมื่อสัญญาณไซน์ความถี่ต่างๆ ที่ไม่ตรงกับที่วงจรเลือกผ่านออกมายังเอาพุตของวงจร แอมพลิฟิเคชันที่ได้จะมีค่าลดลงอย่างมาก และมูมเฟสที่ได้ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไป

สมมุติให้สัญญาณอินพุตหนึ่งๆ มีสัญญาณรูปไซน์ที่แตกต่างกัน 3 รูปรวมกัน ดังภาพที่ 6 สัญญาณทั้งสามจะถูกต่อเข้ากับวงจรเนตเวิร์กเลือกความถี่ ซึ่งเราคาดว่าจะมีความถี่หนึ่งๆ ที่ต้องการเลือกผ่านออกมาเท่านั้น โดยความถี่นี้จะให้มูมเฟสและขนาดที่เหมือนกับสัญญาณเดิมทุกประการเมื่อผ่านออกมาที่เอาพุต หลังจากนั้นเราจะนำเอาสัญญาณไซน์ที่ได้จากวงจรเลือกความถี่นี้ไปผ่านวงจรออปแอมป์แบบนอนอินเวอร์ตติ้ง สัญญาณไซน์จากเอาพุตของออปแอมป์ส่วนหนึ่งจะมีการป้อนกลับไปยังอินพุตอีกครั้ง สัญญาณไซน์ที่มีมูมเฟสและขนาดที่เหมือนกับอินพุต จะทำให้ออปแอมป์เกิดการออสซิลเลตขึ้น

จากภาพที่ 7 สัญญาณที่เกิดการออสซิลเลตก็คือ E_0 ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์ความถี่เดียวที่ต้องการ ส่วน E_L ซึ่งมีความถี่ต่ำกว่า และ E_H ซึ่งมีความถี่ที่สูงกว่านั้น จะมีมูมเฟสที่เอาพุตไม่ตรงกับอินพุต ทำให้ไม่เกิดการออสซิลเลตที่ความถี่นี้ เมื่อมีการป้อนกลับของสัญญาณที่เอาพุตไปยังอินพุตอยู่เข้าไปข้ามาระยะหนึ่ง สัญญาณดังกล่าวก็จะถูกลดทอนหายไปสัญญาณไซน์ที่เหลือจะปรากฏที่เอาพุต เป็นสัญญาณที่มีมูมเฟส ขนาด และความถี่เดียวกับที่อินพุตเท่านั้น ดังนั้นสัญญาณไซน์ E_0 จะเป็นสัญญาณไซน์ความถี่เดียวในที่สุด

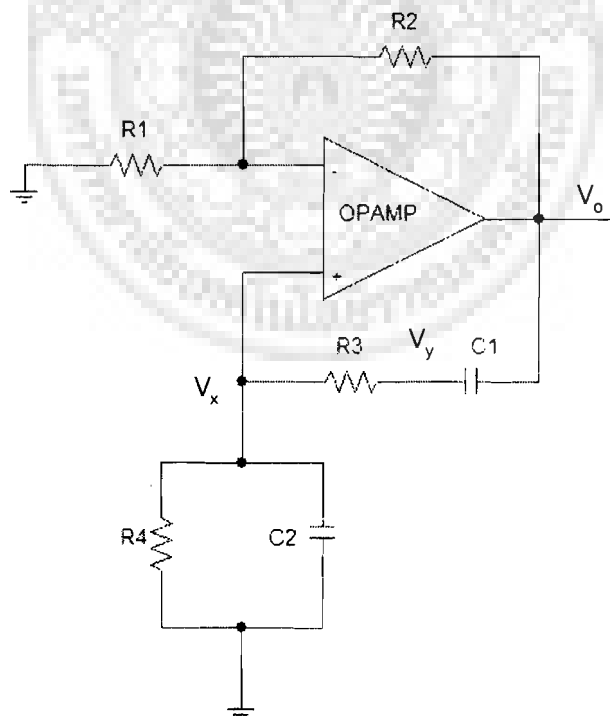


ภาพที่ 6 ทฤษฎีวงจรออสซิลเลเตอร์ที่สร้างสัญญาณไซน์



ภาพที่ 7 ออปแอมป์ทำหน้าที่อินทิเกรตสัญญาณ E_o เท่านั้น

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวกนบริดจ์ เป็นวงจรกำเนิดคลื่นรูปไซน์แบบหนึ่งที่ใช้วงจรเลือกความถี่แบบอาร์-ซีบริดจ์ และต่อวงจรด้านออกให้กับวงจรขยายสัญญาณ โดยใช้ออปแอมป์แบบไม่กลับเฟส โดยมีสัญญาณป้อนกลับจากด้านออกของออปแอมป์เป็นตัวควบคุมการออสซิลเลต ซึ่งวงจรนี้เป็นออสซิลเลเตอร์แบบหนึ่งที่ยอมรับใช้กันทั่วไปในวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่มีความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ต่ำ โดยการทำงานของวงจรแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวกนบริดจ์

จากภาพที่ 8 เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบวงนบรีดจ์ ที่ให้เอาพุตเป็นสัญญาณไซน์ ขอยอดอลที่ V_o ของออปแอมป์ ส่วนความถี่ของสัญญาณเอาพุตสามารถคำนวณได้จากค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร เมื่อกำหนดให้ $R_3=R_4=R$ และ $C_1=C_2=C$ ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานของวงจรเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ใช้ Node equation ที่ขา inverting

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)v_x - \frac{v_o}{R_2} = 0$$

คูณสมการที่ ตลอดด้วย R_2

$$\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)v_x - v_o = 0$$

$$v_x = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)v_o \quad (1)$$

ให้ $k = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ ดังนั้น

$$v_x = kv_o \quad (2)$$

Node equation ที่ขา non-inverting

$$\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R}\right)v_x + \frac{cdv_x}{dt} - \frac{v_y}{R} = 0$$

$$\frac{2v_x}{R} + \frac{cdv_x}{dt} - \frac{v_y}{R} = 0$$

$$v_y = 2v_x + \frac{Rcdv_x}{dt} \quad (3)$$

Node equation ที่ v_y

$$\frac{v_y}{R} + c \frac{d(v_y - v_o)}{dt} - \frac{v_x}{R} = 0 \quad (4)$$

คูณสมการที่ (4) ตลอดด้วย R แล้วจัดรูปสมการได้

$$\frac{Rcdv_y}{dt} - \frac{Rcdv_o}{dt} + v_y - v_x = 0 \quad (5)$$

นำ v_y จากสมการที่ (3) แทนในสมการที่ (5)

$$Rc \frac{d}{dt} \left(2v_x + \frac{Rcdv_x}{dt}\right) - \frac{Rcdv_o}{dt} + 2v_x + \frac{Rcdv_x}{dt} - v_x = 0 \quad (6)$$

นำ v_x จากสมการที่ (2) แทนในสมการที่ (6)

$$\begin{aligned} 2Rck \frac{dv_o}{dt} + kR^2c^2 \frac{d^2v_o}{dt^2} - Rc \frac{dv_o}{dt} + kv_o + Rck \frac{dv_o}{dt} &= 0 \\ kR^2c^2 \frac{d^2v_o}{dt^2} + (3Rck - Rc) \frac{dv_o}{dt} + kv_o &= 0 \\ kR^2c^2 \frac{d^2v_o}{dt^2} + (3k - 1)Rc \frac{dv_o}{dt} + kv_o &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

จากสมการที่ (7) เป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียล ออเดอร์ 2 ที่มีรูปทั่วไปคือ

$$a_2 \frac{d^2x}{dt^2} + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0x = f(t)$$

กรณีนี้ที่ $f(t) = 0$ เป็น Homogenous equation เขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$a_2s^2 + a_1s + a_0 = 0 \quad (8)$$

จากสมการที่ (8) ถ้ากำหนดให้ $a_1 = 0$ จะเป็นสมการการอสซิลเลตในทางฟิสิกส์ ดังนั้นจากสมการที่ (7) ให้ $3k - 1 = 0$ เพื่อเป็นเงื่อนไขให้เกิดการอสซิลเลต ดังนั้นจะได้

$$kR^2c^2 \frac{d^2v_o}{dt^2} + kv_o = 0 \quad (9)$$

$$kR^2c^2s^2 + k = 0$$

$$s^2 = -\frac{1}{R^2c^2}$$

$$s = \pm \frac{\sqrt{-1}}{Rc}$$

$$s = \pm \frac{j}{Rc} \quad (10)$$

สมการ (10) อยู่ในรูป $s = \alpha \pm j\beta$ โดย $\beta = \frac{1}{Rc}$ ดังนั้น

$$v_o = e^{\alpha t} (A_1 \cos \beta t + A_2 \sin \beta t) \quad (11)$$

สมการที่ (11) คือ ผลตอบสนองทางธรรมชาติของวงจร (Natural Response) และสามารถหาสมการทั่วไปได้จากการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น $v_o(0) = 0$ จะได้

$$v_o = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t} \quad (12)$$

โดยที่ $A_1 \cos \beta t + A_2 \sin \beta t = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \cos(\beta t + \tan^{-1} \left(\frac{A_2}{A_1} \right))$

จาก $s = \alpha \pm j\beta$

$$X_n = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t}$$

$$X_n = A_1 e^{(\alpha + j\beta)t} + A_2 e^{(\alpha - j\beta)t}$$

ดังนั้น

$$v_o = A_1 e^{j\beta t} + A_2 e^{j\beta t}$$

$$v_o = A_1 e^{\frac{t}{Rc}} + A_2 e^{-\frac{t}{Rc}}$$

กำหนดให้เงื่อนไขเริ่มต้น $v_o(0) = 0$ จะได้

$$0 = A_1 + A_2, \quad A_1 = -A_2, \quad A_2 = -A_1$$

$$\begin{aligned} v_o &= A_1 e^{\frac{t}{Rc}} - A_1 e^{-\frac{t}{Rc}} \\ &= A_1 \left(e^{\frac{t}{Rc}} - e^{-\frac{t}{Rc}} \right) \\ &= \frac{A_1 2j \left(e^{\frac{t}{Rc}} - e^{-\frac{t}{Rc}} \right)}{2j} \end{aligned}$$

จากกฎของ Sine

$$\sin \theta = \frac{e^{j\theta} - e^{-j\theta}}{2j}$$

ได้สมการสุดท้ายของ v_o คือ

$$v_o = A_1 2j \sin\left(\frac{t}{Rc}\right) \quad (13)$$

จากสมการที่ (13) สามารถกำหนดความถี่ของการออสซิลเลตได้จาก

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{1}{Rc} \\ f &= \frac{1}{2\pi Rc} \end{aligned} \quad (14)$$

สมการที่ (14) เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณความถี่สัญญาณไซน์ชอยดอล จากวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวอนบริดจ์ โดยเราสามารถปรับเปลี่ยนค่า R และ C ให้ได้สัญญาณที่มีความถี่ตามต้องการ ทั้งนี้ค่าความถี่ที่คำนวณต้องอยู่ในช่วงที่ออปแอมป์สามารถทำงานได้

2.4 การวิเคราะห์วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรม PSpice

การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น ก่อนที่จะนำไปสร้างวงจรจริง ต้องทำการทดสอบด้วยโปรแกรมทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก่อน เพื่อให้ทราบว่าวงจรที่ออกแบบมานั้นสามารถทำงานได้ตรงตามความต้องการ โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจร ที่ได้รับความนิยมโปรแกรมหนึ่งคือ โปรแกรม PSpice เนื่องจากความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน ผลการ

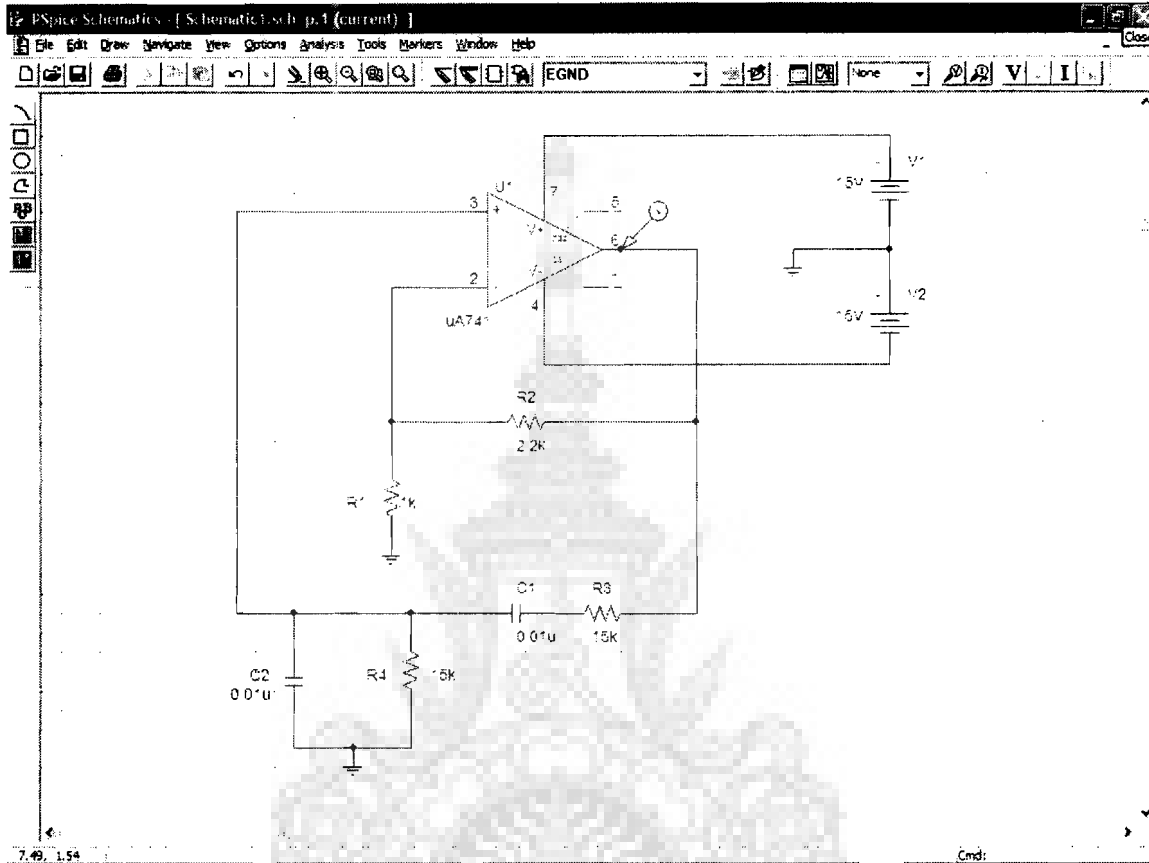
ทดสอบที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรมีความถูกต้องแม่นยำ สามารถลดเวลาในการทำความเข้าใจในวงจรที่สร้างขึ้นได้เป็นอย่างดี เพราะการทำงานของโปรแกรมจะแสดงถึงค่าแรงดันและค่ากระแสที่จุดต่างๆ ของวงจรให้เป็นอย่างดี

บริษัท Microsim เป็นผู้สร้างโปรแกรม PSpice ขึ้นมาในช่วงปี ค.ศ. 1980-1998 และได้มีการพัฒนาโปรแกรมอยู่ตลอดเวลา จนมาถึงประมาณปี ค.ศ. 1998 ได้มีการเทคโอเวอร์จาก OrCAD แต่ถ้าพูดถึง version ของโปรแกรมในช่วงที่บริษัท Microsim เป็นผู้ดำเนินการนั้น มีการพัฒนาโปรแกรม PSpice ถึง version 8 (Microsim version 8) ซึ่งถือเป็นเวอร์ชันสุดท้ายที่ยังอยู่ในชื่อของบริษัท Microsim จากนั้นเมื่อเปลี่ยนเป็นของบริษัท OrCAD ได้มีการพัฒนาโปรแกรมต่อเนื่องเป็น version 9 หรือที่เรียกว่า OrCAD version 9 และจากนั้นก็ได้มีการพัฒนาต่อมาอีกเรื่อยๆ

ลักษณะของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ได้นั้น ควรมีความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นต่ำ มีเสถียรภาพทางความถี่ มีเสถียรภาพทางขนาดของสัญญาณ การโปรแกรม PSpice มาใช้ในการทดสอบผลของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์ เพื่อดูว่าวงจรที่ได้ทำการออกแบบนั้นให้ผลตอบสนองตามที่ตามที่ได้ออกแบบหรือไม่ มีขั้นตอนต่างๆ ดังที่จะอธิบายต่อไปนี้



1. วาดวงจรตามภาพที่ 9

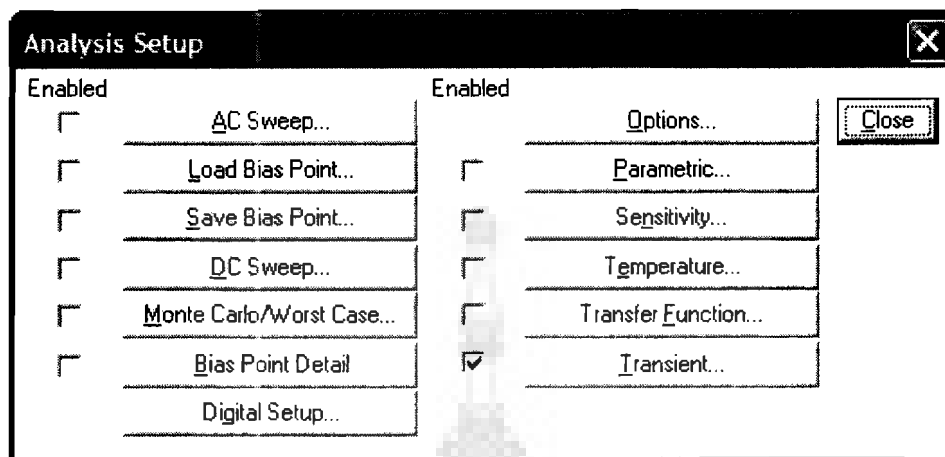


ภาพที่ 9 ตัวอย่างวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวนบริดจ์

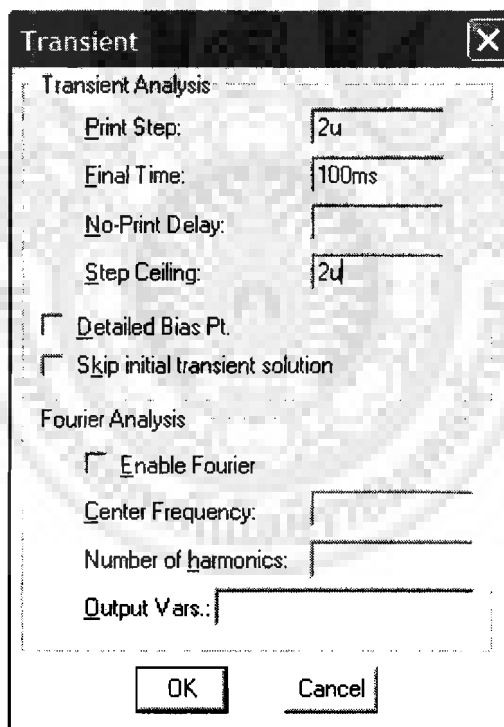
จากภาพที่ 9 เป็นตัวอย่างการทดสอบวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวนบริดจ์ ซึ่งได้ออกแบบวงจรให้ผลิตค่าความถี่ออกมาที่ 1 kHz ซึ่งความถี่ที่ได้จากวงจรสามารถคำนวณได้จาก

$$f = \frac{1}{2\pi R_3 C_1} \text{ เมื่อกำหนดให้ } R_3 = R_4, C_1 = C_2$$

2. เมื่อทำการวาดรูปวงจรเสร็จแล้ว ให้กำหนดค่าของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในวงจรให้ถูกต้อง จากนั้นให้เลือกรูปแบบการวิเคราะห์วงจรตามภาพที่ 10 เป็นการเลือกแบบ Transient ซึ่งการเลือกในลักษณะนี้ เป็นการวิเคราะห์หิโนโดเมนของเวลา เพื่อที่จะดูลักษณะสัญญาณของวงจร และดูค่าของความถี่ที่วงจรผลิตออกมา



ภาพที่ 10 การเลือกรูปแบบในการวิเคราะห์วงจร

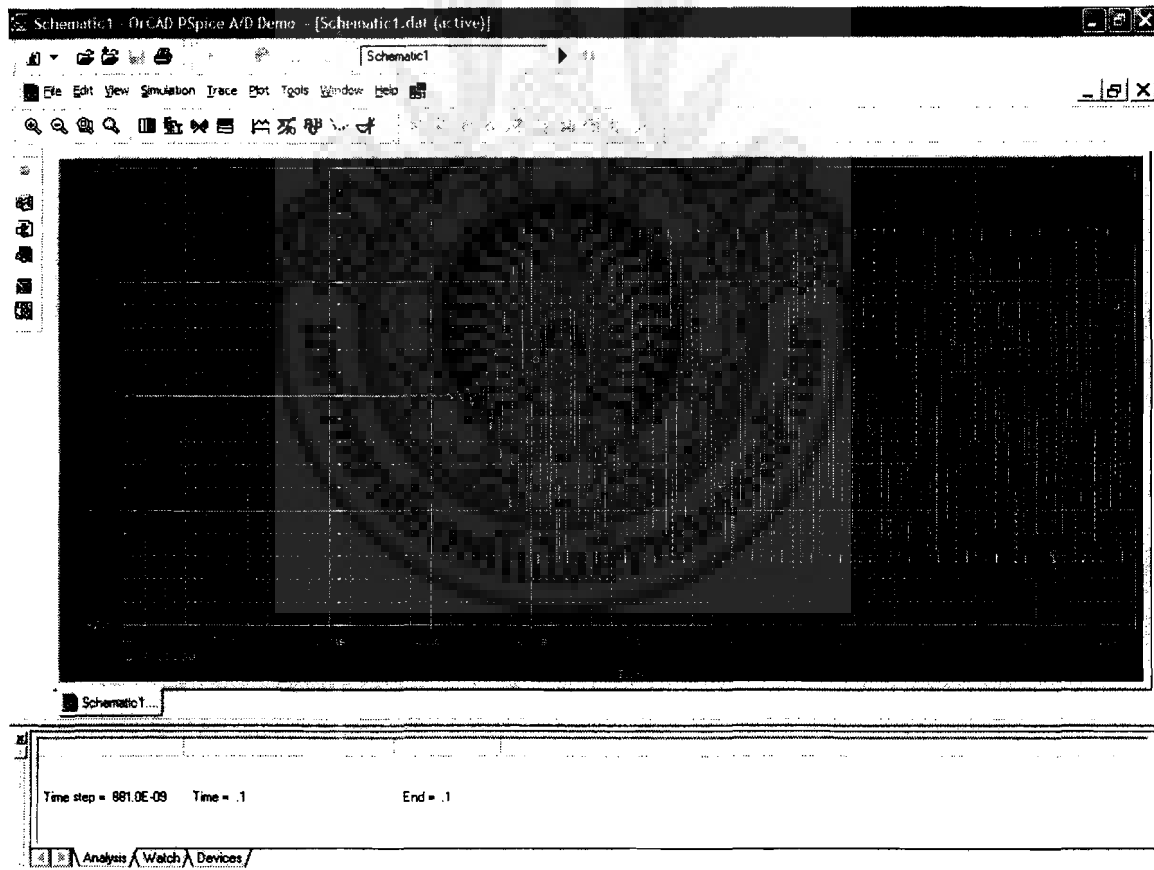


ภาพที่ 11 การใส่ค่าต่างๆ เพื่อทำการวิเคราะห์วงจร

3. เซตค่าตามภาพที่ 11 ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์วงจร โดยมีทั้งหมด 3 จุด คือ

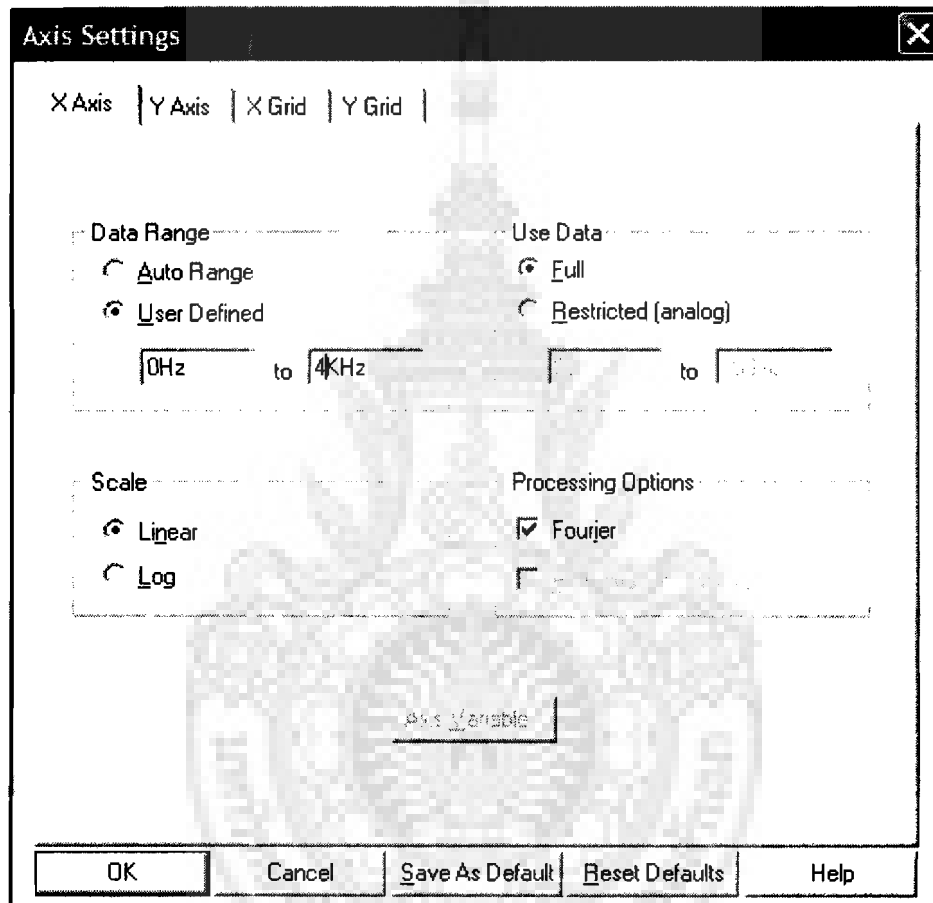
- 1) Print Step หมายถึง การกำหนดช่วงเพิ่มขึ้นของเวลาในการวาดรูปสัญญาณ โดยทั่วไปจะคำนวณหาค่านี้จาก Final Time / 50 แต่ในที่นี้ต้องการความละเอียดของสัญญาณที่จะได้จึงกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2u
- 2) Final Time เป็นการกำหนดจุดสุดท้ายของเวลาที่จะทำการวิเคราะห์สัญญาณ
- 3) Step Ceiling เป็นการกำหนดความละเอียดของรูปสัญญาณที่จะได้ โดยส่วนใหญ่แล้วถ้ากำหนดให้น้อยกว่า Final Time มากเท่าใด รูปสัญญาณที่ได้จะมีความละเอียดมากขึ้นเท่านั้น หรือจะไม่ใส่ก็ได้

เมื่อกำหนดค่าต่างๆ แล้ว ก็สามารถวิเคราะห์วงจรได้ด้วยการสั่งให้โปรแกรมทำการจำลองการทำงานของวงจร (Simulation) ตามภาพที่ 12 แสดงถึงภาพสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรที่ได้ทดสอบ

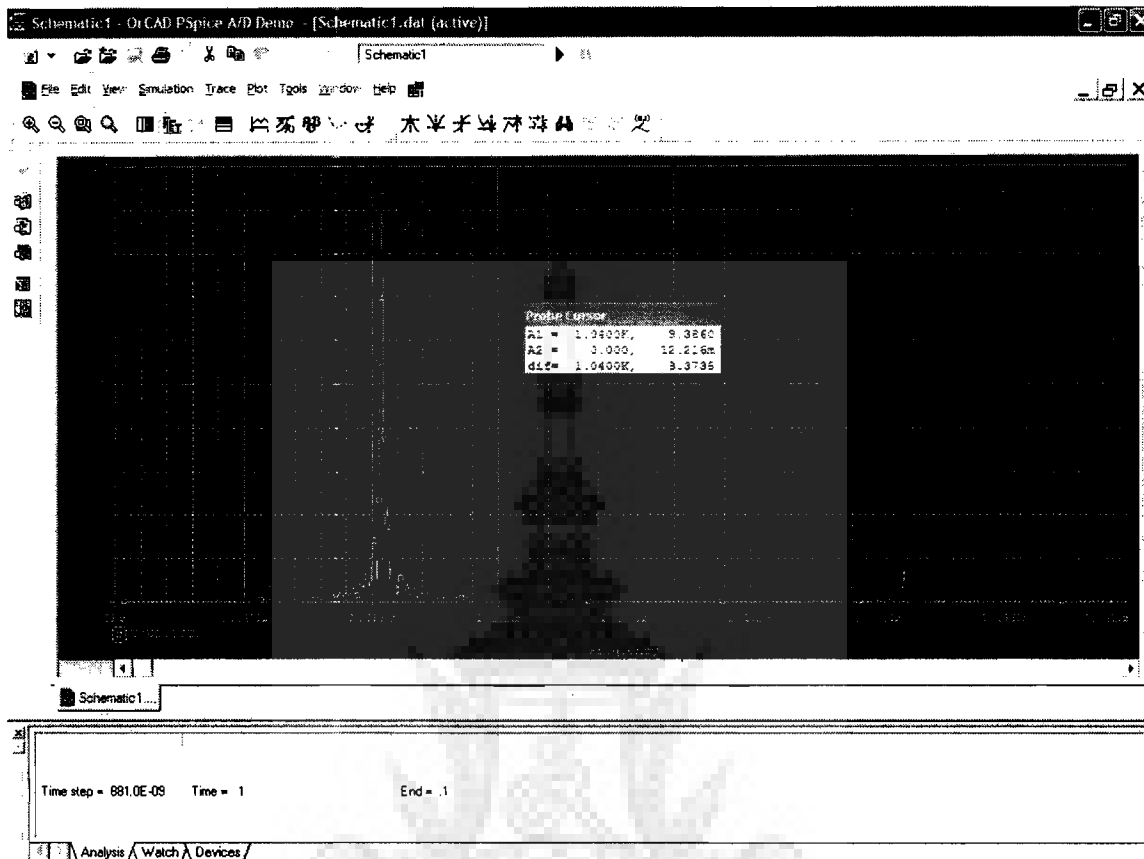


ภาพที่ 12 ภาพสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรในโดเมนของเวลา

4. ดูผลการทดสอบวงจรในโดเมนของความถี่ โดยใช้เครื่องมือที่เมนู Plot จากนั้น กำหนดค่าต่างๆ ของแกน X ตามภาพที่ 13 เมื่อทำการวิเคราะห์ห้วงจร ผลของสัญญาณที่ได้จะแสดง ให้เห็นในภาพโดเมนของความถี่ ตามภาพที่ 14 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความถี่ที่วงจรผลิตออกมาให้ผล ตามต้องการคือ 1 kHz



ภาพที่ 13 การใส่ค่าต่างๆ ในโดเมนของความถี่



ภาพที่ 14 แสดงการวัดค่าความถี่และแรงดันของวงจรในโดเมนของความถี่

จากภาพที่ 14 ค่าความถี่ที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวกนบริดจ์คือ 1.04 kHz และค่าของแรงดันคือ 9.006 V. ส่วนแถบความถี่อื่นๆ ที่เกิดขึ้นมีผลมาจากตัวอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้งาน เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวไอซี เป็นต้น ซึ่งความถี่หลักของวงจรมันตรงกับที่ได้คำนวณไว้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกรียงศักดิ์ พรหมภักดี. (2547). ได้ศึกษาการสังเคราะห์สัญญาณไซน์ชอยดอล ด้วยเทคนิคการสังเคราะห์ 3 เทคนิค คือ เปิดตาราง คำนวณโดยตรง และสมการเชิงผลต่าง โดยใช้บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล TMS320C31 ผลการสังเคราะห์สัญญาณได้สัญญาณคลื่นรูปไซน์มีความถี่ในช่วง 10 Hz ถึง 3000 Hz มีเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนต่ำ ซึ่งอยู่ในช่วง 0.01 % ถึง 0.07 %

ธงชัย มณีชูเกตุ. (2544). ได้เสนอเทคนิคการควบคุมแอมพลิจูดของสัญญาณ ออสซิลเลเตอร์ โดยการป้อนโวลเตจให้เป็นอินพุตของการตอบสนองบังคับให้กับวงจร ออสซิลเลเตอร์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสัญญาณที่ได้มีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์จาก ทฤษฎี จึงทำให้สามารถควบคุมแอมพลิจูดได้โดยวิธีการง่ายๆ และยังไม่ส่งผลกระทบต่อ เสถียรภาพของวงจรอีกด้วย

ปราโมทย์ วาดเขียน. (2545). ได้เสนอวิธีวิเคราะห์และควบคุมขนาดสัญญาณไซน์ ขอยดอลออสซิลเลเตอร์ ด้วยผลตอบสนองบังคับ (Force Response) พบว่าเมื่อพิจารณาเฉพาะ ขนาดผลตอบสนองธรรมชาติ (Natural Response) หรือสัญญาณออสซิลเลตจะเห็นได้ว่า สัญญาณประกอบด้วยผลรวมระหว่างค่าเงื่อนไขเริ่มต้นกับผลตอบสนองบังคับ ทำให้เราสามารถ ควบคุมขนาดของสัญญาณออสซิลเลตได้ด้วยผลตอบสนองบังคับแทนการกำหนดค่าเงื่อนไข เริ่มต้นให้กับวงจร

Nigel P. Cook. (2002). ได้เสนอการควบคุมขนาดของสัญญาณคลื่นไซน์ ที่กำเนิดจาก วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวนบริดจ์ เฟสชิฟ และทวินที่อย่างง่าย โดยอาศัยการกำหนดเงื่อนไข เริ่มต้นให้กับวงจรซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อเงื่อนไขของเสถียรภาพในการออสซิลเลต และความถี่ที่ ออสซิลเลตโดยใช้โวลเตจซอร์สบังคับให้เกิดการตอบสนองบังคับ ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าเงื่อนไข เริ่มต้นของการออสซิลเลต ทำให้เอาต์พุตของวงจรอยู่ในรูปของผลตอบสนองธรรมชาติและ ผลตอบสนองบังคับ โดยผลการวิเคราะห์และการทดลองให้ผลสอดคล้องไปในทางเดียวกัน

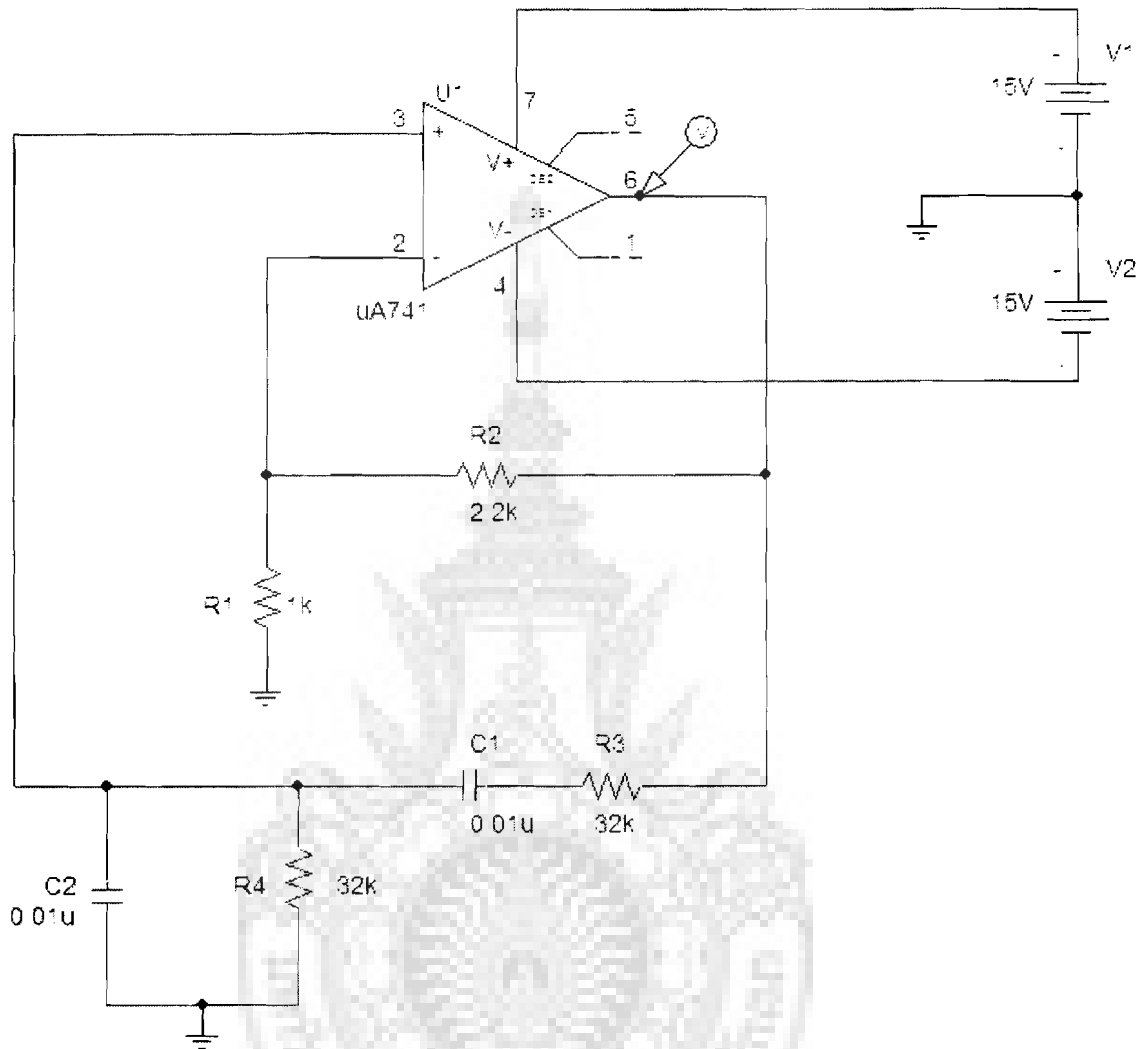
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวกนปริตจี้ด้วยออปแอมป์เบอร์ 741 ให้ได้คุณสมบัติตามต้องการคือ สัญญาณที่ได้จากวงจรมีความถี่ตรงตามที่ได้คำนวณไว้ วงจรมีเสถียรภาพที่ดี สัญญาณไซน์ชอยดอลที่ได้มีสัญญาณรบกวนต่ำ ทั้งนี้การออกแบบได้เริ่มต้นจากทฤษฎีการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ทำให้ได้มาซึ่งการออสซิลเลตของสัญญาณไซน์ชอยดอล จากนั้นจึงสร้างวงจรบนคอมพิวเตอร์และจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice ทำให้ทราบถึงความถูกต้องของวงจวก่อนการนำไปสร้างเป็นวงจรจริง

3.1 การออกแบบวงจรด้วยโปรแกรม PSpice

การจำลองการทำงานของวงจรถอนิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากผู้ใช้สามารถออกแบบวงจรและทราบสัญญาณเอาพุตต่างๆ จากวงจรที่ได้ออกแบบไว้ อีกทั้งยังปรับเปลี่ยนค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรที่น่าจะจคอมพิวเตอรี้ได้อย่างง่ายดาย ส่งผลให้ลดเวลาในการสร้างวงจรจริง และวงจรที่ออกแบบสามารถทำงานได้ถูกต้องแม่นยำ โปรแกรม PSpice เป็นโปรแกรมหนึ่งที่น่าสนใจอย่างแพร่หลายในวงจรถอนิกส์ เป็นโปรแกรมจำลองการทำงานของวงจรถองานง่าย มีเวอร์ชันที่เปิดให้บริการสำหรับการศึกษา (PSpice Student) ซึ่งผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดมาใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ

การสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์ในโครงการวิจัยนี้ใช้โปรแกรม PSpice สำหรับจำลองการทำงานของวงจวก่อนการนำไปสร้างเป็นวงจรจริง โดยใช้ออปแอมป์เบอร์ 741 เป็นตัวไอซีในวงจร ซึ่งข้อดีของไอซีตัวนี้คือสามารถหาซื้อได้ง่าย และราคาข้อมเยาว่า โดยวงจรได้รับการออกแบบให้มีสัญญาณเอาพุตเป็นสัญญาณไซน์ชอยดอลที่มีความถี่ 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3kHz, 4 kHz, 5kHz และ 10 kHz โดยที่ค่า R และ C ของวงจรถองานได้จากสมการที่ (14) ตัวอย่างวงจรถอนิกส์แบบเวกนปริตจี้ที่ให้ค่าความถี่ 500 Hz แสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวกนบริดจ์โดยใช้ออปแอมป์เบอร์ 741

จากวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ได้ออกแบบดังกล่าว สัญญาณเอาต์พุตของวงจรสามารถวัดได้จากขาเอาต์พุตของออปแอมป์ โดยสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นเมื่อให้โปรแกรมทำการจำลองการทำงานของวงจร เมื่อได้ผลการทดลองและสรุปได้ว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ที่สร้างขึ้นบนคอมพิวเตอร์ ให้สัญญาณเอาต์พุตที่ถูกต้องแล้วจึงนำสร้างเป็นวงจรใช้งานจริงในขั้นตอนต่อไป

3.2 การสร้างวงจรจริง

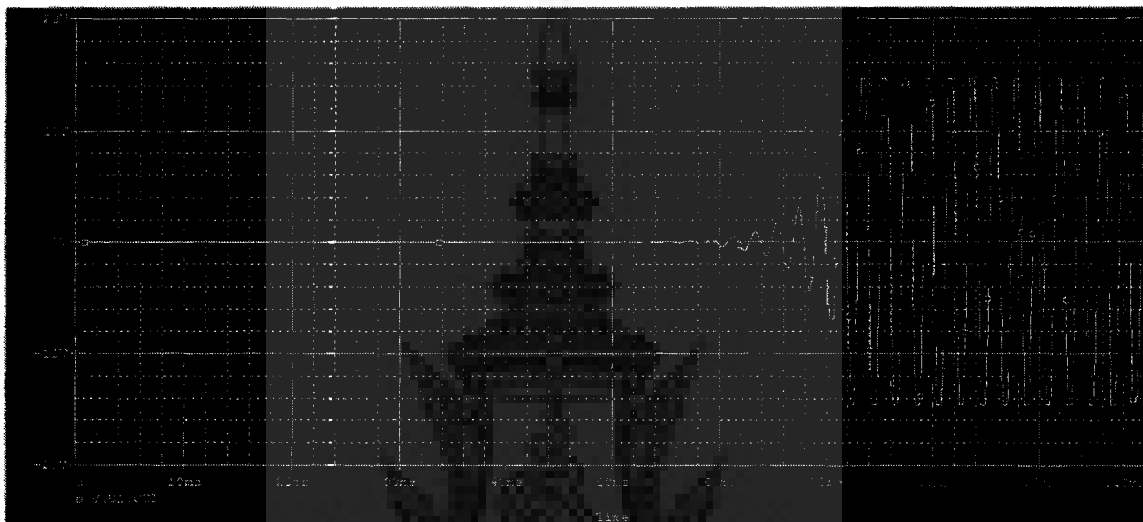
หลังจากได้ผลของสัญญาณเอาต์พุตดังกล่าวจากหัวข้อข้างต้น จึงนำวงจรที่ได้จากคอมพิวเตอร์มาสร้างเป็นวงจรจริง โดยเริ่มจากการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น ตัวไอซีออปแอมป์เบอร์ 741 ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ มาต่อเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์บนบอร์ดดอเนกประสงค์ แล้วตรวจสอบว่าวงจรที่สร้างขึ้นถูกต้องทั้งหมด จึงจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรด้วยแหล่งจ่ายไฟคู่ ± 15 โวลต์ ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรจากตัวไอซีออปแอมป์เบอร์ 741 ภาพที่ 16 แสดงการสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์ และการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรด้วยออสซิลโลสโคป



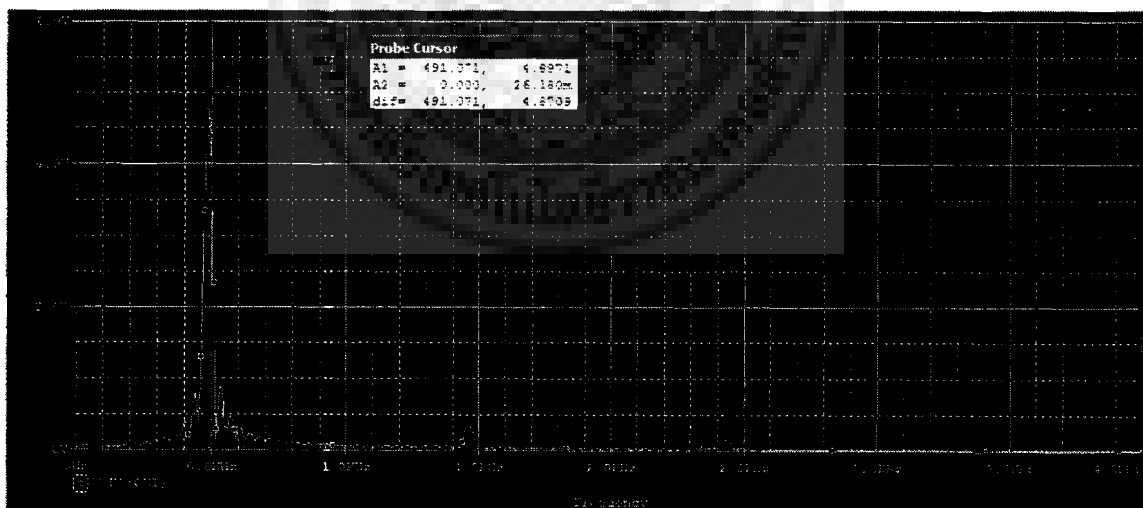
ภาพที่ 16 การสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์

ส่วนการปรับเปลี่ยนค่าความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการสร้างวงจรจริง สามารถใช้สมการที่ (14) คำนวณหาค่า R และ C ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ความถี่ของสัญญาณตามต้องการ

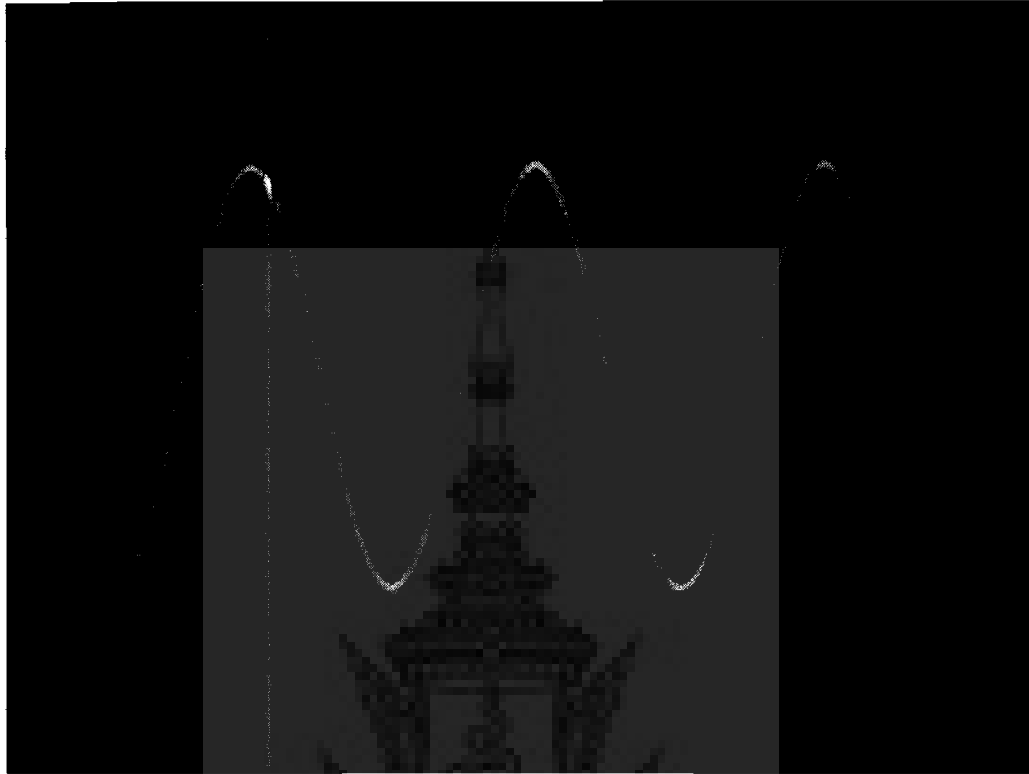
แต่ในทางปฏิบัติในบางครั้งอาจได้ค่าของตัวอุปกรณ์ที่ไม่มีจำหน่ายในท้องตลาด ในกรณีนี้เราสามารถให้ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบละเอียด (Trim Pot) มาใช้ในวงจร วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวอนบริดจ์ที่สร้างขึ้นจึงให้สัญญาณเอาพุตที่มีความถี่ตามต้องการได้ ภาพที่ 17 (ก) และ (ข) แสดงสัญญาณเอาพุตที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวอนบริดจ์



ภาพที่ 17 (ก) สัญญาณเอาพุตความถี่ 500 Hz. จากการจำลองการทำงานของวงจร
ในโดเมนเวลา



ภาพที่ 17 (ข) สัญญาณเอาพุตความถี่ 500 Hz. จากการจำลองการทำงานของวงจร
ในโดเมนความถี่



ภาพที่ 18 สัญญาณเอพิตความถี่ 500 Hz. จากการสร้างวงจรจริง

ผลการทดลองที่ได้จากการออสซิลเลตของสัญญาณดังแสดงข้างต้นนั้น จะเห็นได้ว่า สัญญาณมีความถี่ตรงกับที่ได้ออกแบบไว้ นั้นหมายความว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ที่สร้างขึ้นเป็น วงจรที่ออกแบบง่าย มีเสถียรภาพของวงจรที่ดี และสามารถควบคุมความถี่ของสัญญาณได้ตาม ต้องการ มีประโยชน์ในการนำมาเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับการออกแบบและทดลองทาง อิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 4

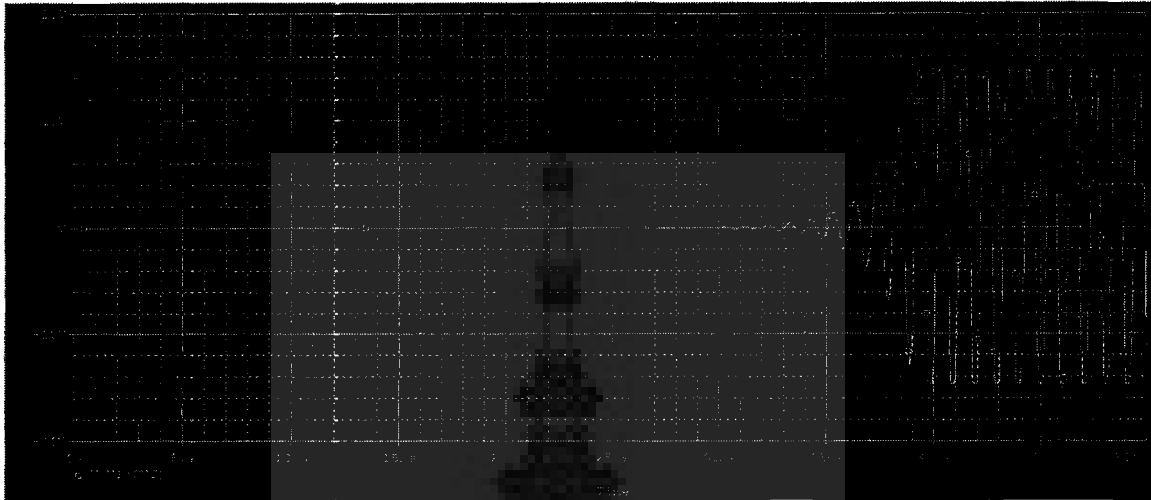
ผลการทดลอง

สัญญาณไซน์ชอยดอลที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวกนบริดจ์ จะมีค่าความถี่ต่างๆ กัน ตามการปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ของอุปกรณ์ภายในวงจร ผลการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนผลการทดลองที่ได้สัญญาณจากการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์ และผลการทดลองที่ได้จากการวัดสัญญาณเอาพุตจากการสร้างวงจรจริง

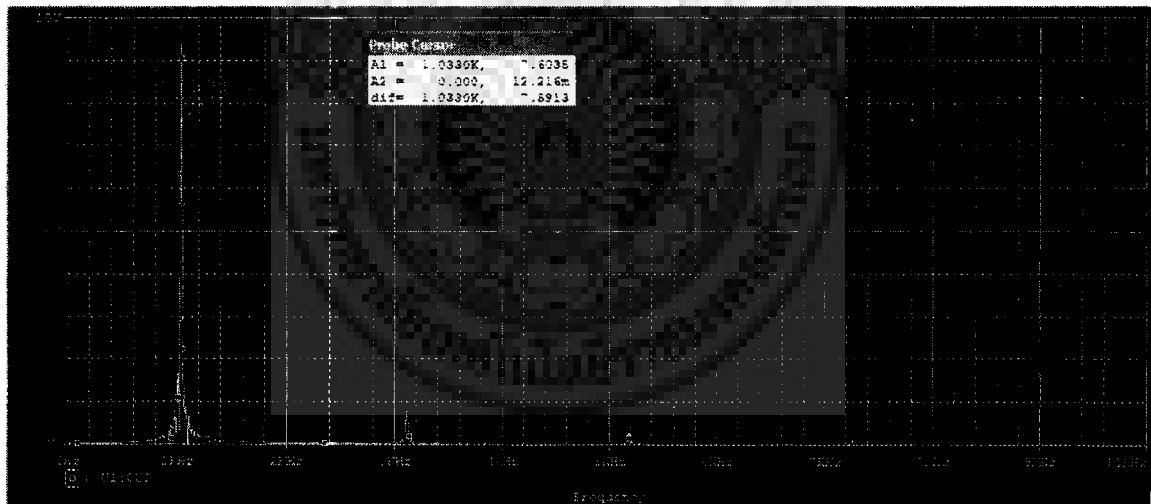
4.1 สัญญาณไซน์ชอยดอลจากการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์

ทฤษฎีวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวกนบริดจ์ดังกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3 ทำให้เราสามารถปรับเปลี่ยนความถี่สัญญาณเอาพุตของวงจรจากการคำนวณค่า R และ C ได้จากสมการที่ (14) เมื่อคำนวณค่าของอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว เราสามารถจำลองการทำงานของวงจรได้ด้วยโปรแกรม PSpice ซึ่งสัญญาณเอาพุตที่ได้จากวงจรแสดงดังภาพที่ 19 - 24 ทั้งในโดเมนของเวลาและโดเมนของความถี่

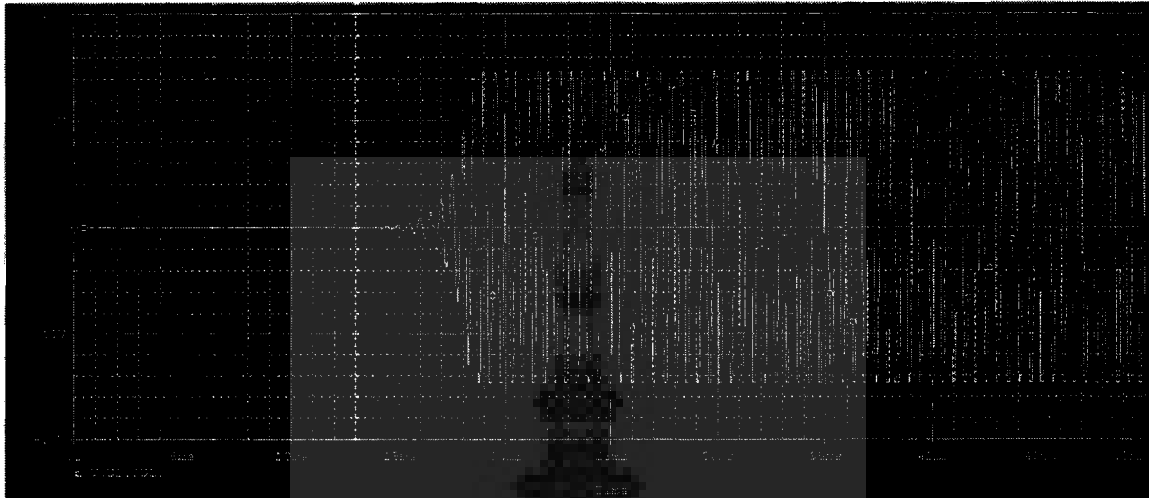




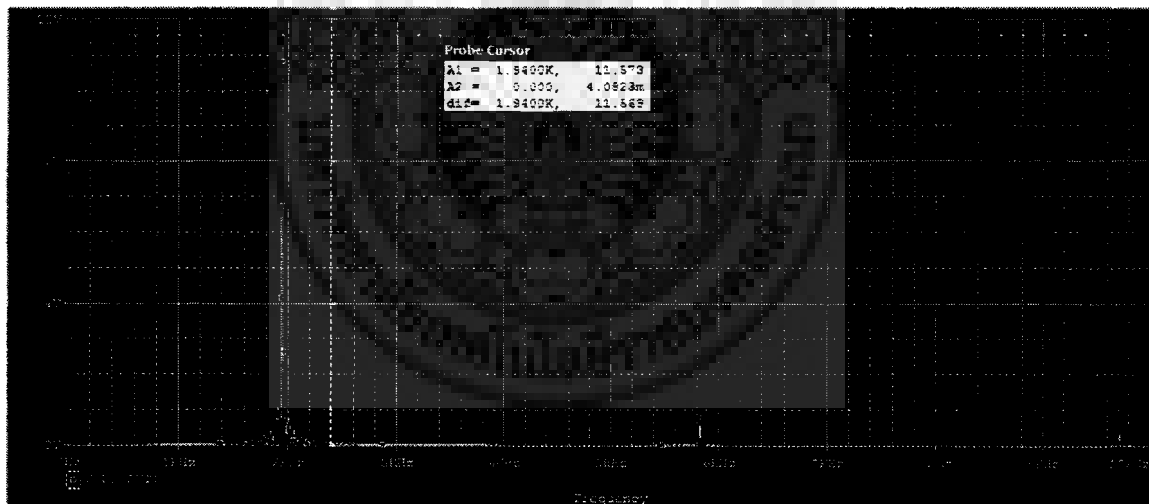
ภาพที่ 19 (ก) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 1 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจรในโดเมนเวลา



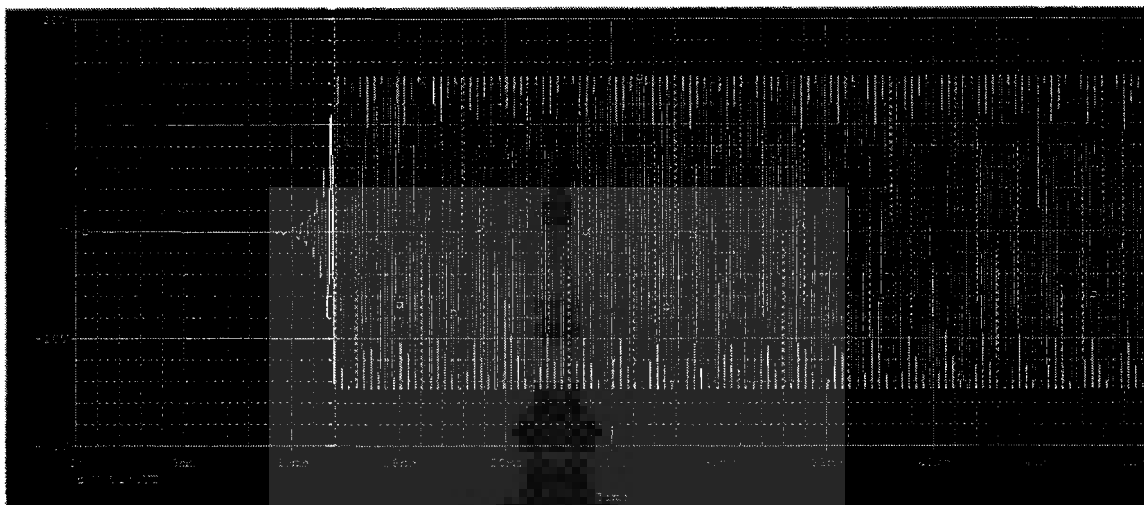
ภาพที่ 19 (ข) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 1 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร
ในโดเมนความถี่



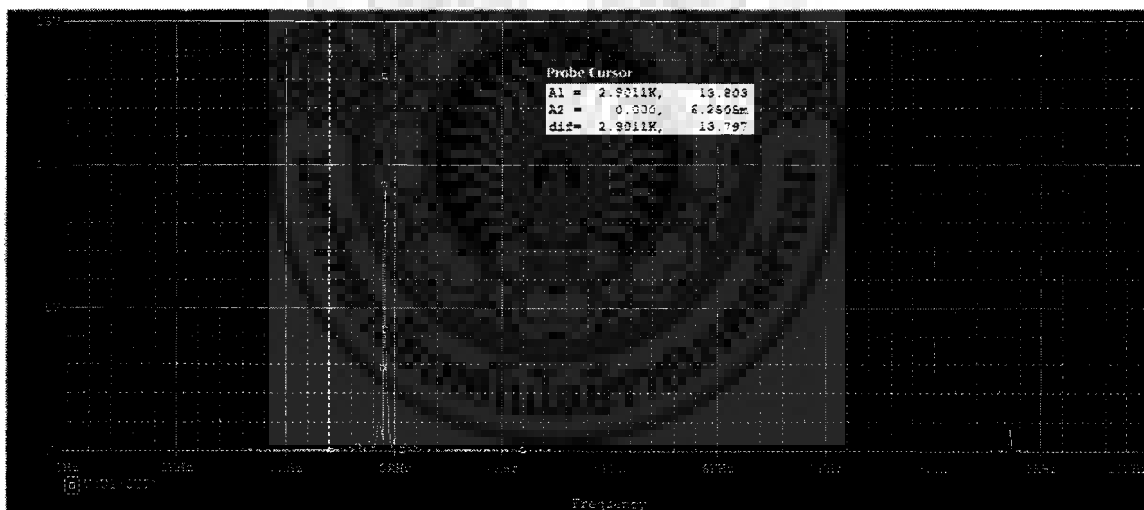
ภาพที่ 20 (ก) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 2 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจรในโดเมนเวลา



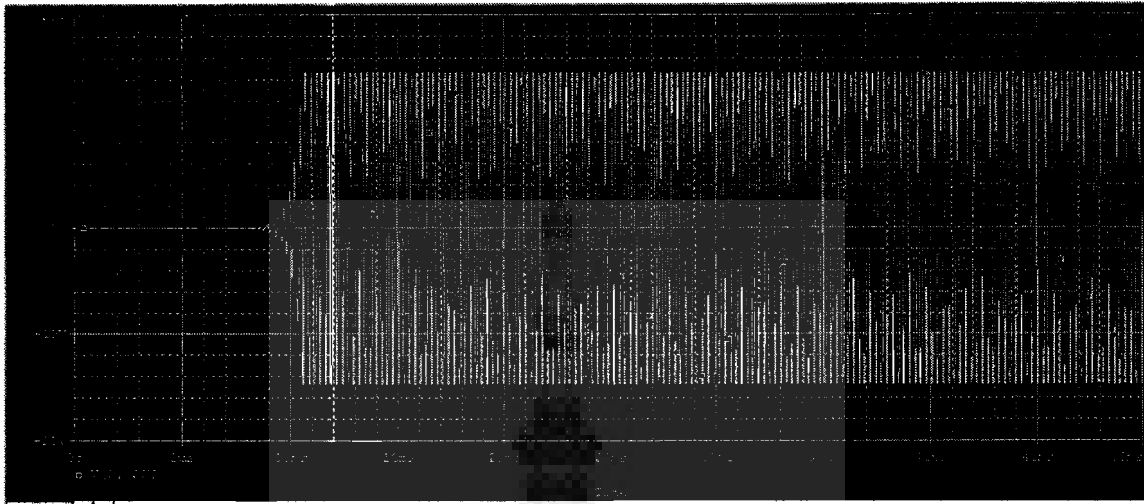
ภาพที่ 20 (ข) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 2 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร
ในโดเมนความถี่



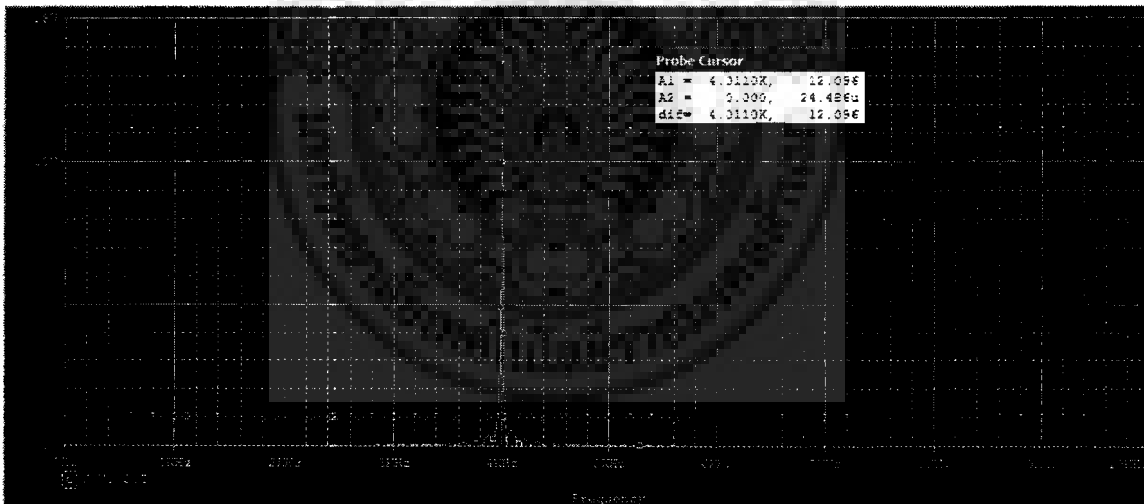
ภาพที่ 21 (ก) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 3 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจรในโดเมนเวลา



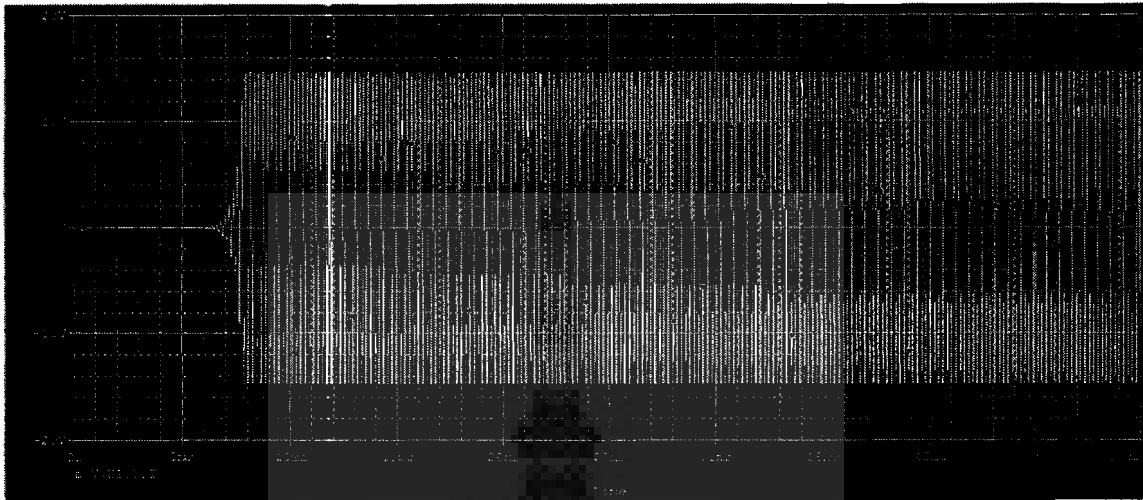
ภาพที่ 21 (ข) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 3 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร
ในโดเมนความถี่



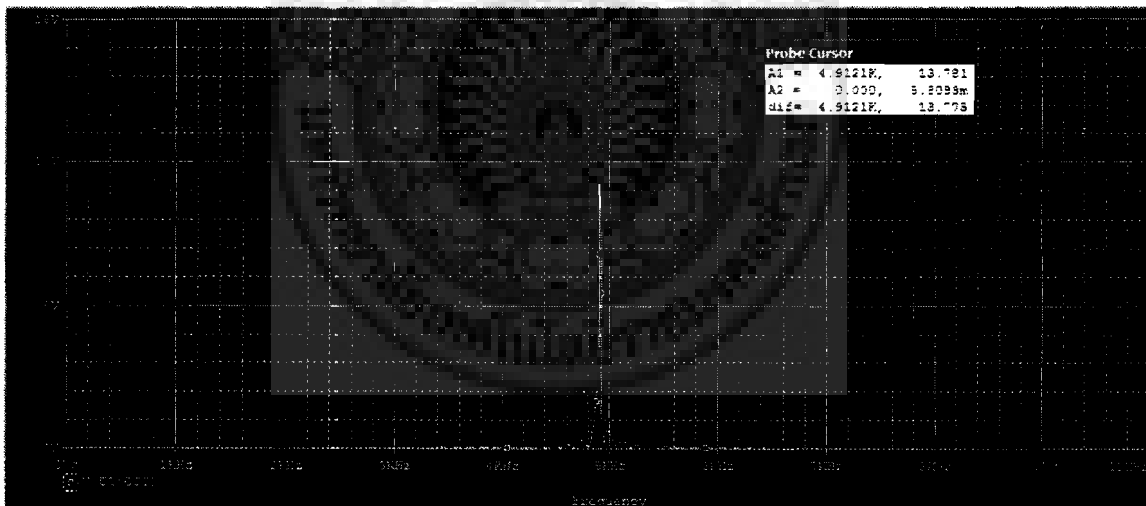
ภาพที่ 22 (ก) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 4 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจรในโดเมนเวลา



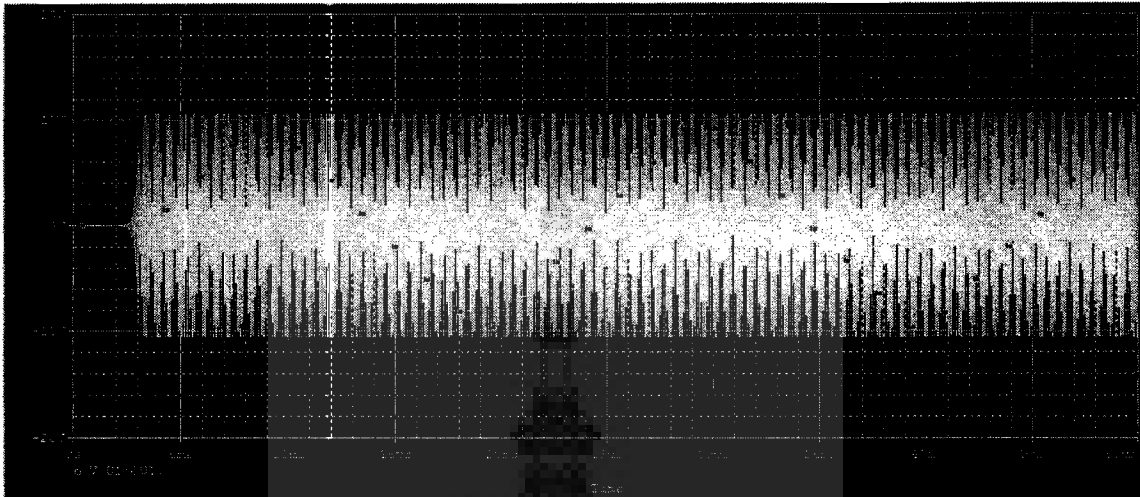
ภาพที่ 22 (ข) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 4 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร
ในโดเมนความถี่



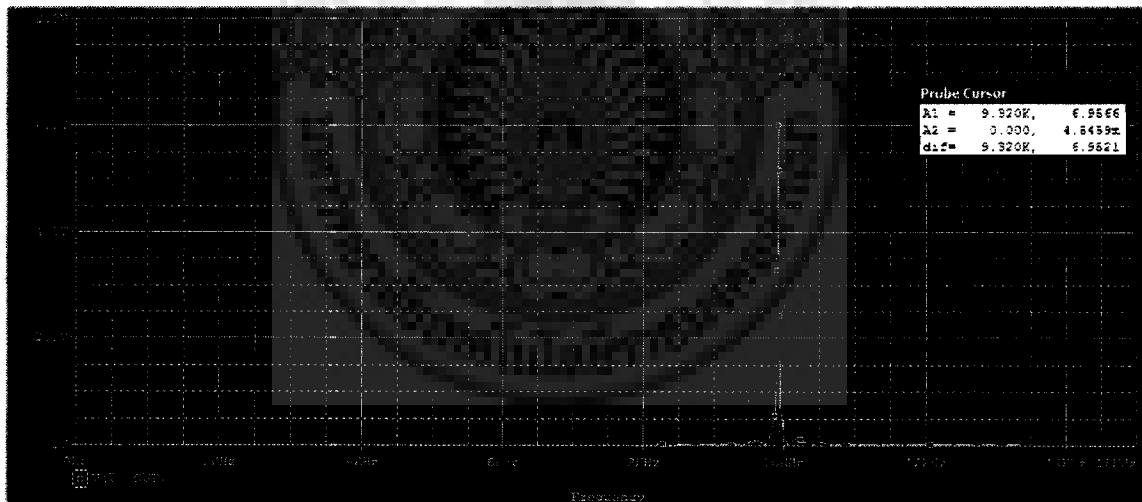
ภาพที่ 23 (ก) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 5 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจรในโดเมนเวลา



ภาพที่ 23 (ข) สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 5 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร
ในโดเมนความถี่



ภาพที่ 24 (ก) สัญญาณเอาพุตที่มีความถี่ 10 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจรในโดเมนเวลา



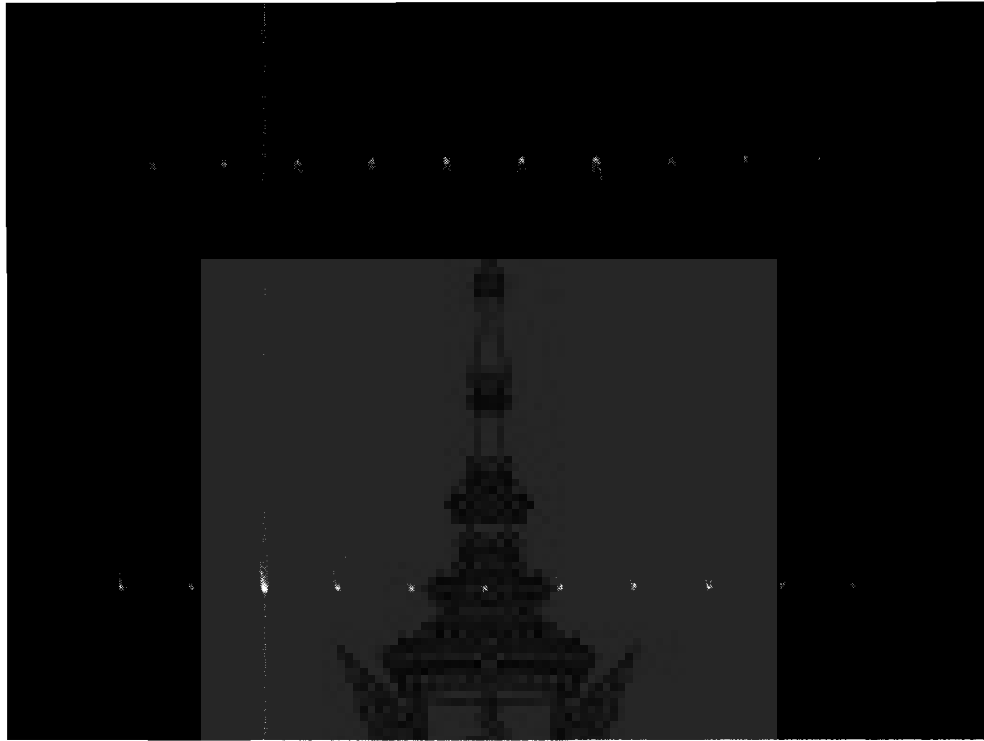
ภาพที่ 24 (ข) สัญญาณเอาพุตที่มีความถี่ 10 kHz จากการจำลองการทำงานของวงจร
ในโดเมนความถี่

4.2 สัญญาณไขว้ชอยดอลจากการสร้างวงจรถจริง

หลังจากทำการสร้างวงจรถจริงออสซิลเลเตอร์แบบเวอนบริดจ์ และตรวจสอบการทำงานของวงจรถด้วยคอมพิวเตอร์แล้ว จึงนำวงจรถที่ได้ออกแบบไว้มาสร้างเป็นวงจรถจริง และวัดสัญญาณเอาพุตของวงจรถด้วยออสซิลโลสโคป ทำให้ได้สัญญาณไขว้ชอยดอลที่ออสซิลเลตจากวงจรถที่ได้สร้างขึ้น แสดงผลสัญญาณเอาพุตให้เห็นบนหน้าจอออสซิลโลสโคป โดยภาพที่ 25 - 30 แสดงสัญญาณเอาพุตของวงจรถจากการวัดสัญญาณที่ขาเอาพุตของออปแอมป์เบอร์ 741



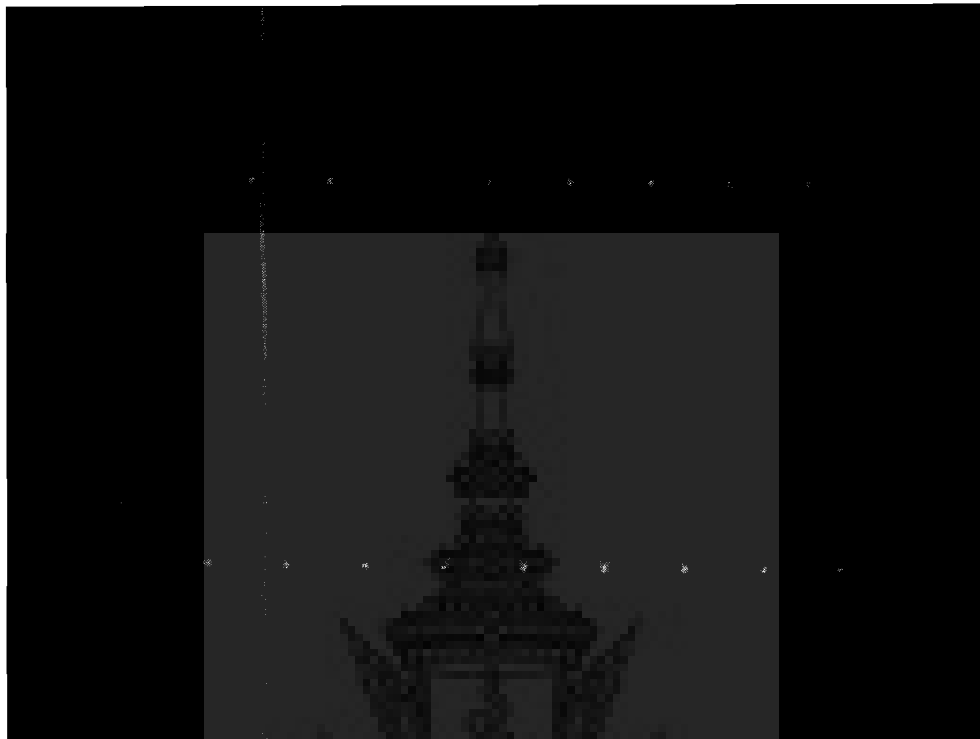
ภาพที่ 25 สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 1 kHz จากวงจรถจริงในโดเมนเวลา



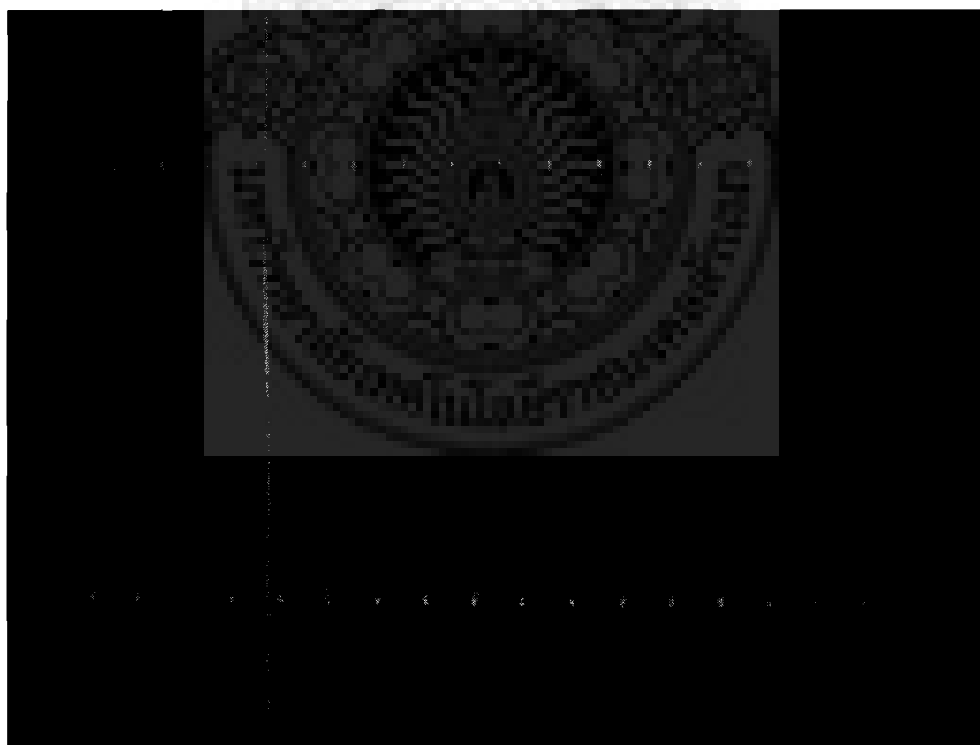
ภาพที่ 26 สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 2 kHz จากวงจรจริงในโดเมนเวลา



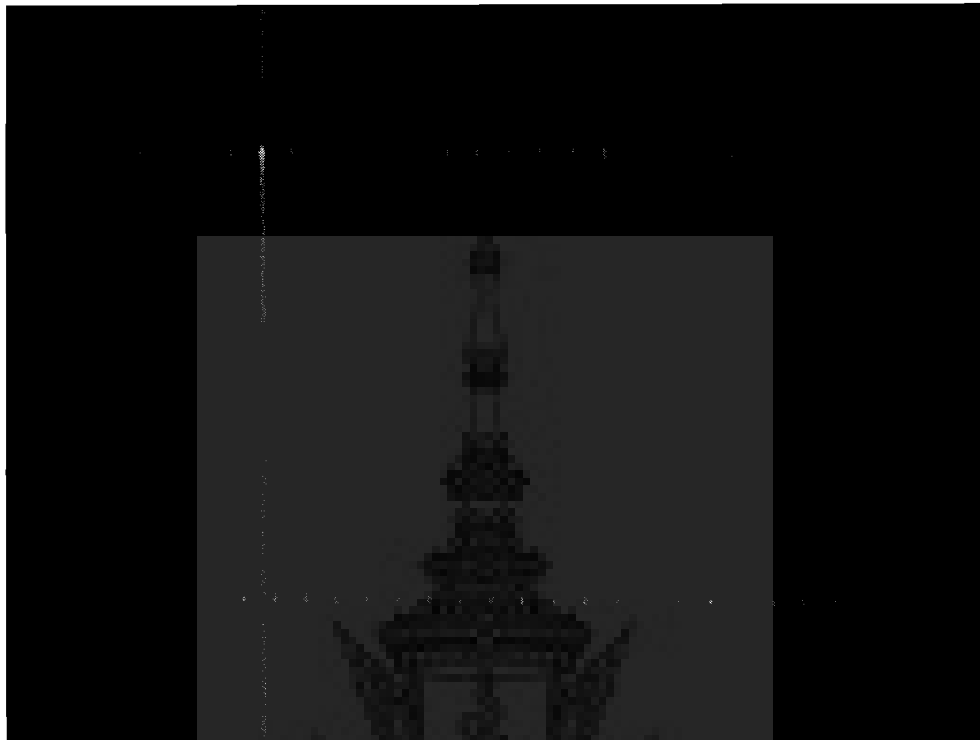
ภาพที่ 27 สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 3 kHz จากวงจรจริงในโดเมนเวลา



ภาพที่ 28 สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 4 kHz จากวงจรถริงในโดเมนเวลา



ภาพที่ 29 สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 5 kHz จากวงจรถริงในโดเมนเวลา



ภาพที่ 30 สัญญาณเอาพุตที่ความถี่ 10 kHz จากวงจรจริงในโดเมนเวลา

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์ และสัญญาณที่ได้จากการวัดจากวงจรที่สร้างขึ้นจริงด้วยออสซิลโลสโคป ได้ค่าสัญญาณไซน์ชอยดอลที่ใกล้เคียงกัน โดยความถี่ของสัญญาณแสดงให้เห็นได้ในภาพที่ 19 - 24 ซึ่งเป็นการแสดงผลสัญญาณในรูปโดเมนของความถี่ ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าทฤษฎีวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์มีความถูกต้อง โดยเราสามารถปรับเปลี่ยนค่า R และ C เพื่อให้ได้ความถี่ของสัญญาณเอาพุตตามต้องการ

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การสร้างสัญญาณไซน์ชอยดอลเพื่อนำมาใช้ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีด้วยกันหลายวิธี การใช้วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวนบริดจ์เป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากวงจรไม่ซับซ้อน อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรมีจำนวนน้อย และวงจรมีเสถียรภาพ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและสมการคณิตศาสตร์ ที่อธิบายถึงหลักการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวนบริดจ์ การออกแบบสร้างวงจร ทั้งการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์ และการสร้างวงจรจริง รวมทั้งแสดงผลการทดลองสร้างสัญญาณไซน์ชอยดอล จากวงจรที่สร้างบนคอมพิวเตอร์ และสัญญาณที่ได้จากการวัดจากวงจรจริง โดยผลการทดลองสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลองการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการทดลองจากการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปแบบที่ 19 - 24 เป็นสัญญาณไซน์ชอยดอลที่มีค่าความถี่ที่ตรงกับทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยค่าความถี่ที่ได้คือ $f = \frac{1}{2\pi RC}$ ดังจะเห็นได้จากการแสดงผลทั้งสัญญาณที่ได้ในโดเมนของเวลา กับสัญญาณที่ได้ในโดเมนของความถี่ ซึ่งสัญญาณที่แสดงในโดเมนของเวลาแสดงให้เห็นถึงการออสซิลเลตของสัญญาณ กล่าวคือ สัญญาณมีการแกว่งเริ่มจากที่แอมพลิจูดเท่ากับ 0 โวลต์ แล้วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีแอมพลิจูดสูงสุดที่ ± 15 โวลต์ ซึ่งเป็นความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับออปแอมป์ ส่วนสัญญาณที่แสดงในโดเมนของความถี่นั้น เป็นผลการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวนบริดจ์ที่สร้างขึ้นบนคอมพิวเตอร์ ทำงานได้ถูกต้องตามหลักทฤษฎี เนื่องจากค่าความถี่ที่สร้างขึ้นใกล้เคียงกับที่คำนวณจากทฤษฎี ในการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์ ได้แสดงผลความถี่สูงสุดไว้ที่ 10 kHz. เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของออปแอมป์เบอร์ 741 จะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นถึงย่านที่กำหนด จากผลการทดลองที่ความถี่นี้ เห็นได้ว่าสัญญาณในโดเมนของความถี่คลาดเคลื่อนกับที่คำนวณไว้เล็กน้อย ส่วนในย่านความถี่ต่ำลงไปออปแอมป์ยังสามารถทำงานได้ดี

5.2 สรุปผลการทดลองจากการสร้างวงจรจริง

ผลจากการวัดสัญญาณเอาพุตจากวงจรออสซิลเลเตอร์ที่สร้างขึ้น ดังแสดงผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 นั้นเป็นภาพของสัญญาณไซน์ชวยดอลที่ได้จากเอาพุตของวงจร ซึ่งทำการวัดด้วยออสซิลโลสโคป จะเห็นได้ว่าภาพสัญญาณที่ได้จากวงจรที่สร้างขึ้นจริงมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองจากการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์ โดยสัญญาณที่วัดได้จากวงจรจริงยังมีค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นน้อย สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

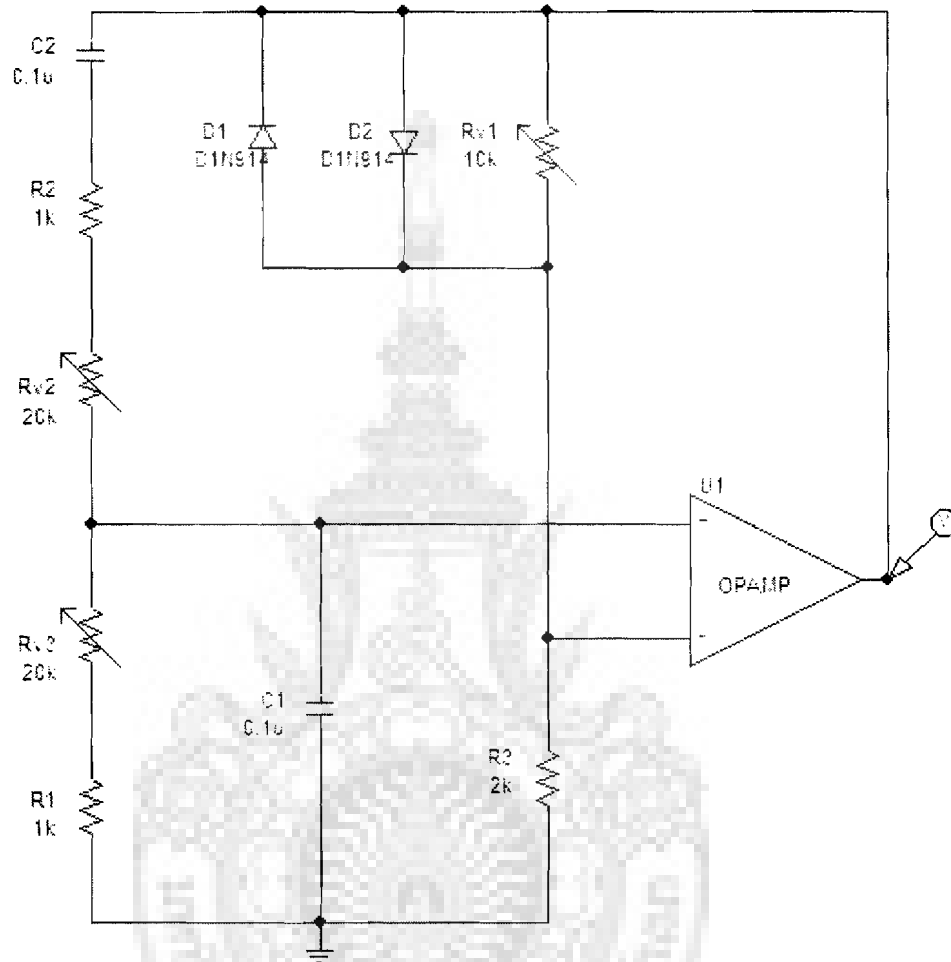
5.3 อภิปรายผลการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างผลจากการจำลองการทำงานของวงจรด้วยคอมพิวเตอร์ กับผลจากการวัดสัญญาณจากวงจรจริง จะเห็นว่าสัญญาณในโดเมนของเวลาจะเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ในผลการทดลองทั้งสองส่วน ในส่วนการจำลองการทำงานของวงจรสามารถมองเห็นสัญญาณตั้งแต่เริ่มต้นออสซิลเลต แต่ในการวัดสัญญาณจากวงจรจริงด้วยออสซิลโลสโคปไม่สามารถจับภาพตอนเริ่มต้นออสซิลเลตได้ เนื่องจากเวลาในการเริ่มต้นออสซิลเลตที่ช้าที่สุดอยู่ที่ 30 ms. ในการทดลองที่ความถี่ 1 kHz. ซึ่งเวลาเริ่มต้นออสซิลเลตนี้จะแตกต่างกันไปตามความถี่ที่ได้คำนวณให้กับวงจร ส่วนสัญญาณในโดเมนของความถี่ จากการจำลองการทำงานของวงจรพบว่า ความถี่มีค่าที่ตรงกับที่ออกแบบไว้ แสดงให้เห็นว่า วงจรออสซิลเลเตอร์มีการทำงานที่ตรงตามหลักทฤษฎี แต่จากการวัดสัญญาณจากวงจรจริงไม่สามารถแสดงผลของสัญญาณในโดเมนของความถี่ได้ เนื่องจากข้อจำกัดในด้านเครื่องมือวัด โดยเครื่องมือที่ใช้วัดสัญญาณในโดเมนของความถี่หรือที่เรียกว่า สเปกตรัมอะนาไลเซอร์ (Spectrum Analyzer) มีราคาค่อนข้างสูง แต่ถ้าพิจารณาสัญญาณที่แสดงผลบนหน้าจอออสซิลโลสโคป จะเห็นได้ว่าค่าความยาวคลื่น หรือคาบเวลา ค่อยๆ ลดลงตามค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลการทดลองจากการสร้างวงจรจริงมีค่าที่ตรงกับการคำนวณตามทฤษฎี

5.4 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

สัญญาณไซน์ชวยดอลที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์ เกิดจากการป้อนกลับของสัญญาณสองทางด้วยกันคือ การป้อนกลับแบบบวก และการป้อนกลับแบบลบ โดยมีค่า R และ C ที่ต่อแบบอนุกรมและแบบขนานเป็นตัวกำหนดความถี่ ส่วน R_1 และ R_2 เป็นตัวกำหนดเกณฑ์การขยายของวงจร โดยแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณเอาพุตเท่ากับ $\pm V_{sat}$ และถ้าเกณฑ์การขยายมากเกินไปคลื่นรูปไซน์จะถูกปรับเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม เราสามารถใช้ไดโอด 2 ตัว ต่อกลับหัวกันเป็นตัวป้องกันแรงดันเกินทางด้านอินพุต นั่นคือถ้าเอาพุตมีค่าสูงขึ้น ไดโอดจะนำกระแส

และลดเกนของวงจรลง ทำให้วงจรมีเสถียรภาพของเกนที่ดี ภาพที่ 31 แสดงการนำไดโอดมาใช้ป้องกันแรงดันเกินทางด้านอินพุตของวงจร



ภาพที่ 31 การนำไดโอดมาใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเวเนบริดจ์

จากรูปด้านบน R_{v2} และ R_{v3} เป็นตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ ทำหน้าที่ปรับขนาดแอมพลิจูดสัญญาณไซน์ที่จะเกิดการออสซิลเลต สามารถปรับได้จากศูนย์โวลต์จนกระทั่งประมาณ $\pm V_{sat}$ หรือความต่างศักย์จากแหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับออปแอมป์ ในทางปฏิบัติตัวต้านทานที่ใช้ในวงจรควรเป็นตัวต้านทานที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนตัวต้านทานปรับค่าได้ควรเลือกใช้ที่ปรับค่าได้แบบละเอียด หรือ Trim Pot สำหรับวงจรที่ออกแบบเพื่อการใช้งานแบบถาวรควรใช้การหยดติดที่เกลียวปรับค่าความต้านทาน เพื่อให้ค่าความต้านทานคงที่ตลอดระยะเวลาการใช้งาน

บรรณานุกรม

- เกรียงศักดิ์ พรหมภักดี. (2547). การศึกษาและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำหลายเทคนิคด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล TMS320C31 DSK. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ฟิลิสิกส์ประยุกต์). พิษณุโลก: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ปราโมทย์ วาดเขียน. (2543). การควบคุมแอมพลิฟายเออร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยผล การตอบสนองบังคับแบบง่าย. การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 23 หน้า 645-648.
- ธงชัย มณีชูเกตุ. (2547). วิเคราะห์และควบคุมขนาดสัญญาณไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยผลตอบสนองบังคับ, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27 หน้า 554-560
- ธำมรงค์ ศรีสุกุล. (2550). การวิเคราะห์วงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรม PSpice. กรุงเทพฯ: วิตตี้กรุ๊ป.
- วิโรจน์ อัครรังสี. (2540). ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- Donald A. Neamen. (2001). Electronic Circuit Analysis and Design. Michigan: McGraw-Hill.
- Floyd and Buchla. (1999). Basic Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuit, New Jersey: Prentice Hall.
- Nigel P. Cook. (2002). Practical Electronics. New Jersey: Prentice Hall.
- Sergio Franco. (1998). Design with Operational Amplifier and Analog Integrated Circuit. Michigan: McGraw-Hill.
- Thomas Schubert. (1996). Active and non-linear electronics. New York: John Wiley & Son, Inc.



ภาคผนวก



February 2007

LM741

Single Operational Amplifier

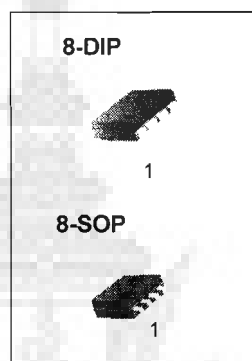
คู่มือการใช้งานออปแอมป์เบอร์ 741

Features

- Short Circuit Protection
- Excellent Temperature Stability
- Internal Frequency Compensation
- High Input Voltage Range
- Null of Offset

Description

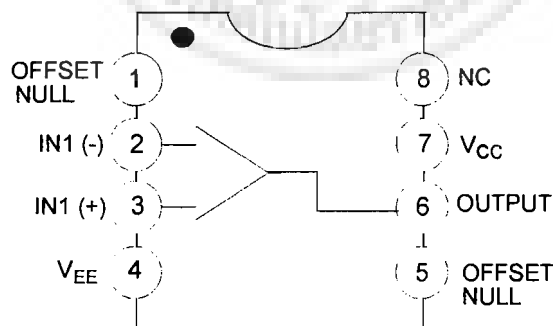
The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications..



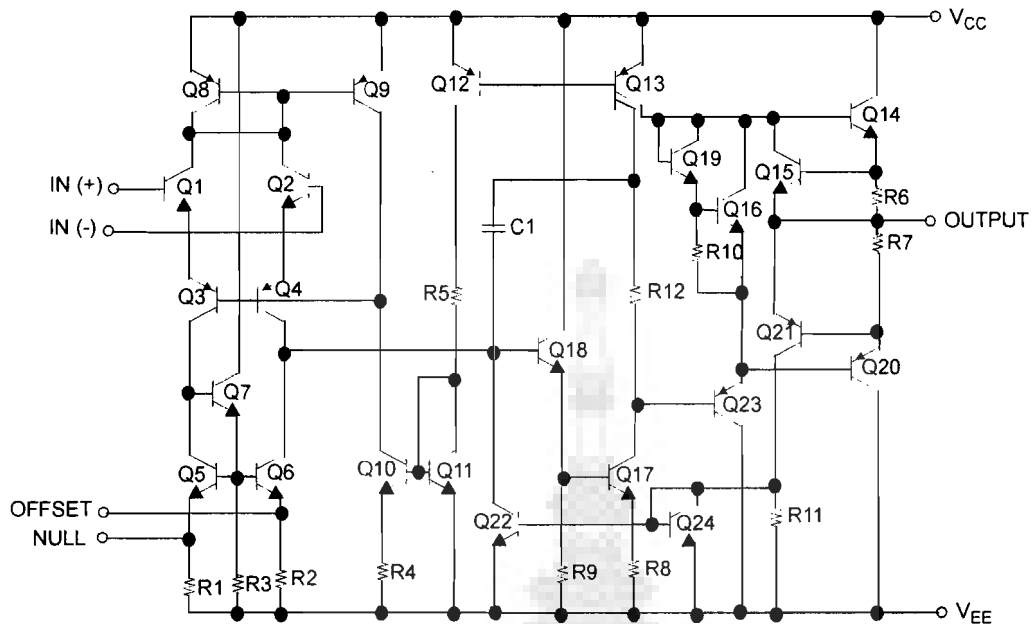
Ordering Information

Part Number	Operating Temp. Range	Pb-Free	Package	Packing Method	Marking Code
LM741CN	0 ~ +70°C	YES	8-DIP	Rail	LM741CN
LM741CM		YES	8-SOP	Rail	LM741CM
LM741CMX		YES	8-SOP	Tape & Reel	LM741CM

Internal Block Diagram



Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. $T_A=25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	± 18	V
$V_{I(DIFF)}$	Differential Input Voltage	30	V
V_I	Input Voltage	± 15	V
-	Output Short Circuit Duration	Indefinite	-
P_D	Power Dissipation	500	mW
T_{OPR}	Operating Temperature Range	$0 \sim +70$	$^{\circ}\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature Range	$-65 \sim +150$	$^{\circ}\text{C}$

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter		Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input Offset Voltage		V_{IO}	$R_S \leq 10k\Omega$	-	2.0	6.0	mV
			$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	
Input Offset Voltage Adjustment Range		$V_{IO(R)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	-	± 15	-	mV
Input Offset Current		I_{IO}	-	-	20	200	nA
Input Bias Current		I_{BIAS}	-	-	80	500	nA
Input Resistance (Note 1)		R_I	$V_{CC} = \pm 20V$	0.3	2.0	-	M Ω
Input Voltage Range		$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V
Large Signal Voltage Gain		G_V	$R_L \geq 2k\Omega$ $V_{CC} = \pm 20V$, $V_{O(P-P)} = \pm 15V$	-	-	-	V/mV
			$V_{CC} = \pm 15V$, $V_{O(P-P)} = \pm 10V$	20	200	-	
Output Short Circuit Current		I_{SC}	-	-	25	-	mA
Output Voltage Swing		$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20V$ $R_L \geq 10k\Omega$	-	-	-	V
			$R_L \geq 2k\Omega$	-	-	-	
			$V_{CC} = \pm 15V$ $R_L \geq 10k\Omega$	± 12	± 14	-	
			$R_L \geq 2k\Omega$	± 10	± 13	-	
Common Mode Rejection Ratio		CMRR	$R_S \leq 10k\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	70	90	-	dB
			$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio		PSRR	$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$ $R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB
			$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$ $R_S \leq 10k\Omega$	77	96	-	
Transient Response	Rise Time	T_R	Unity Gain	-	0.3	-	μs
	Overshoot	OS		-	10	-	%
Bandwidth		BW	-	-	-	-	MHz
Slew Rate		SR	Unity Gain	-	0.5	-	V/ μs
Supply Current		I_{CC}	$R_L = \infty\Omega$	-	1.5	2.8	mA
Power Consumption		P_C	$V_{CC} = \pm 20V$	-	-	-	mW
			$V_{CC} = \pm 15V$	-	50	85	

Note:

1. Guaranteed by design.

Electrical Characteristics (Continued)($0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = \pm 15\text{V}$, unless otherwise specified)The following specification apply over the range of $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM741C

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	mV	
		$R_S \leq 10k\Omega$	-	-	7.5		
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	-	-	-	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	300	nA	
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	-	-	$\text{nA}/^{\circ}\text{C}$	
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	-	0.8	μA	
Input Resistance (Note1)	R_I	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	-	-	-	$\text{M}\Omega$	
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	$R_S \geq 10k\Omega$	-	-	-	V
			$R_S \geq 2k\Omega$	-	-	-	
		$V_{CC} = \pm 15\text{V}$	$R_S \geq 10k\Omega$	± 12	± 14	-	
			$R_S \geq 2k\Omega$	± 10	± 13	-	
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-	10	-	40	mA	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10k\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	70	90	-	dB	
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	-	-	-		
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB
			$R_S \leq 10k\Omega$	77	96	-	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_S \geq 2k\Omega$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 15\text{V}$	-	-	-	V/mV
			$V_{CC} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 10\text{V}$	15	-	-	
			$V_{CC} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 2\text{V}$	-	-	-	

Note :

1. Guaranteed by design.

Typical Performance Characteristics

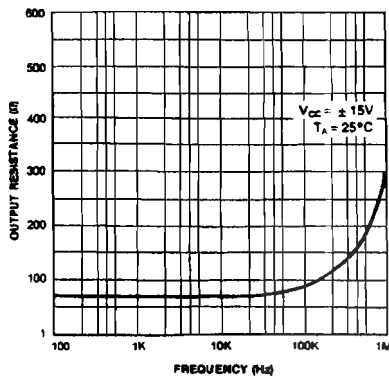


Figure 1. Output Resistance vs Frequency

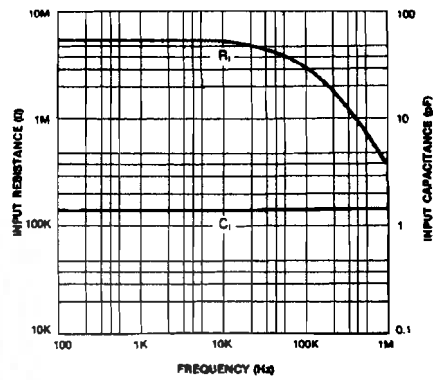


Figure 2. Input Resistance and Input Capacitance vs Frequency

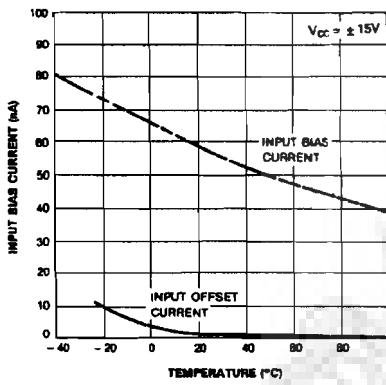


Figure 3. Input Bias Current vs Ambient Temperature

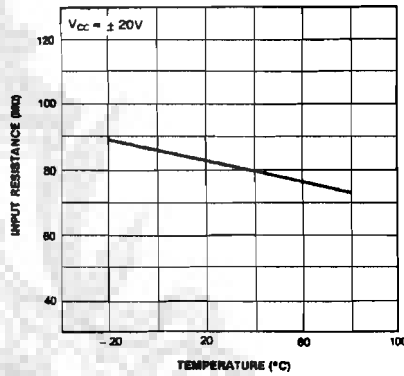


Figure 4. Power Consumption vs Ambient Temperature

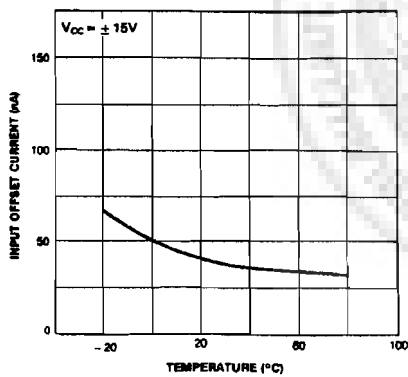


Figure 5. Input Offset Current vs Ambient Temperature

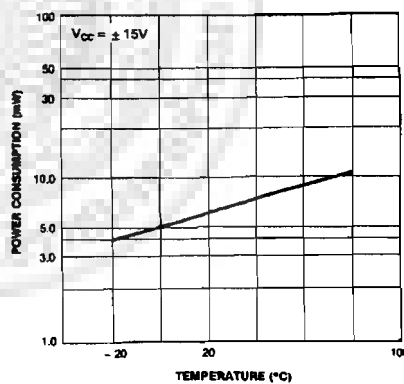


Figure 6. Input Resistance vs Ambient Temperature

Typical Performance Characteristics (Continued)

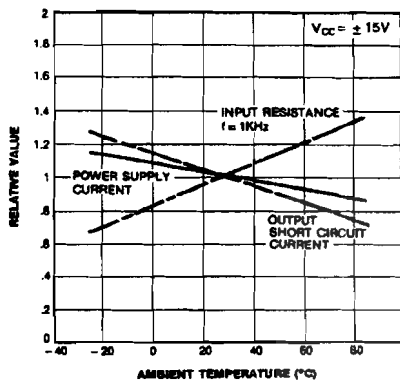


Figure 7. Normalized DC Parameters vs Ambient Temperature

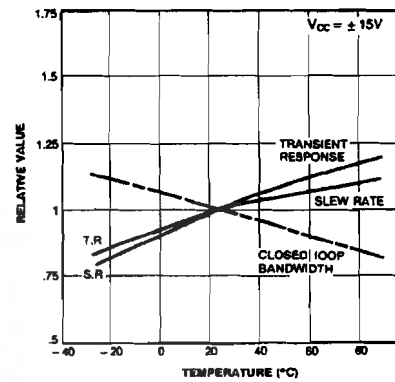


Figure 8. Frequency Characteristics vs Ambient Temperature

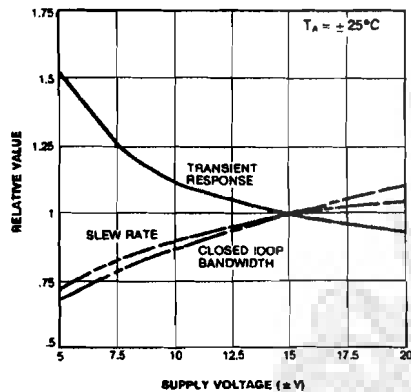


Figure 9. Frequency Characteristics vs Supply Voltage

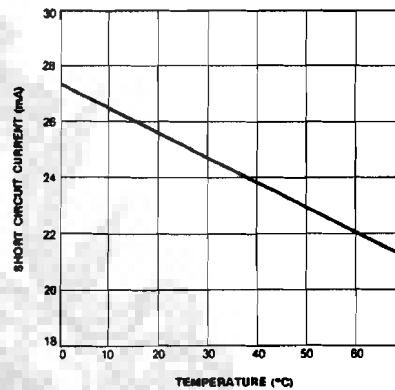


Figure 10. Output Short Circuit Current vs Ambient Temperature

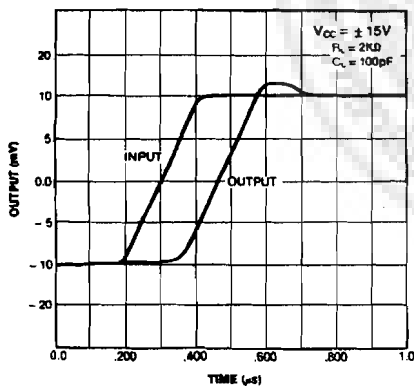


Figure 11. Transient Response

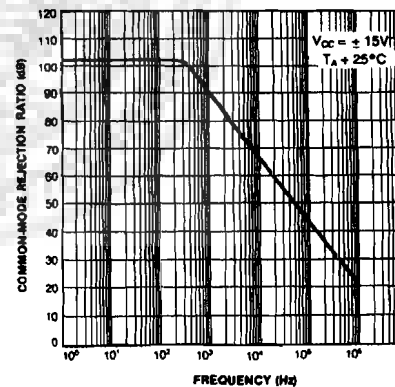


Figure 12. Common-Mode Rejection Ratio vs Frequency

Typical Performance Characteristics (Continued)

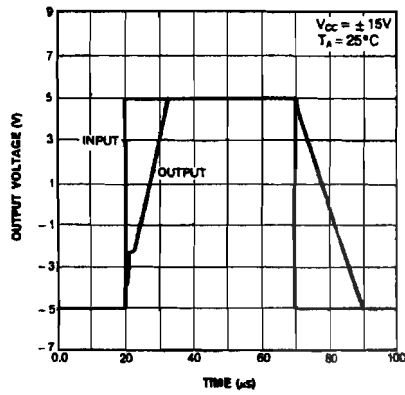


Figure 1. Voltage Follower Large Signal Pulse Response

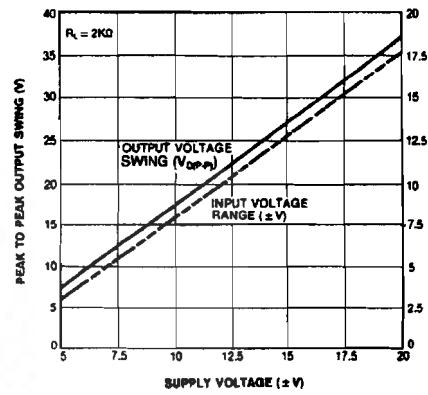
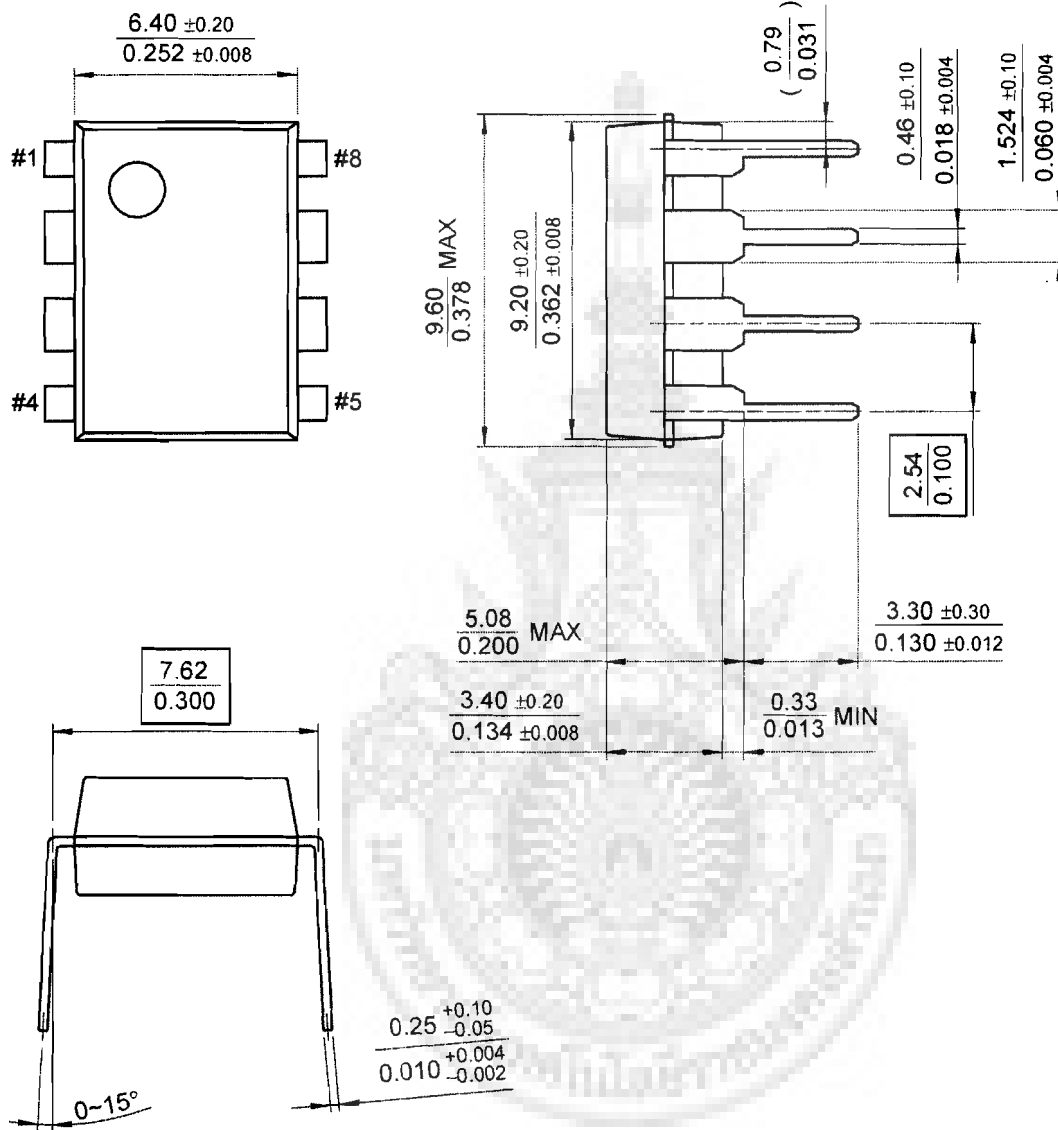


Figure 2. Output Swing and Input Range vs Supply Voltage

Package

Dimensions in millimeters

8-DIP

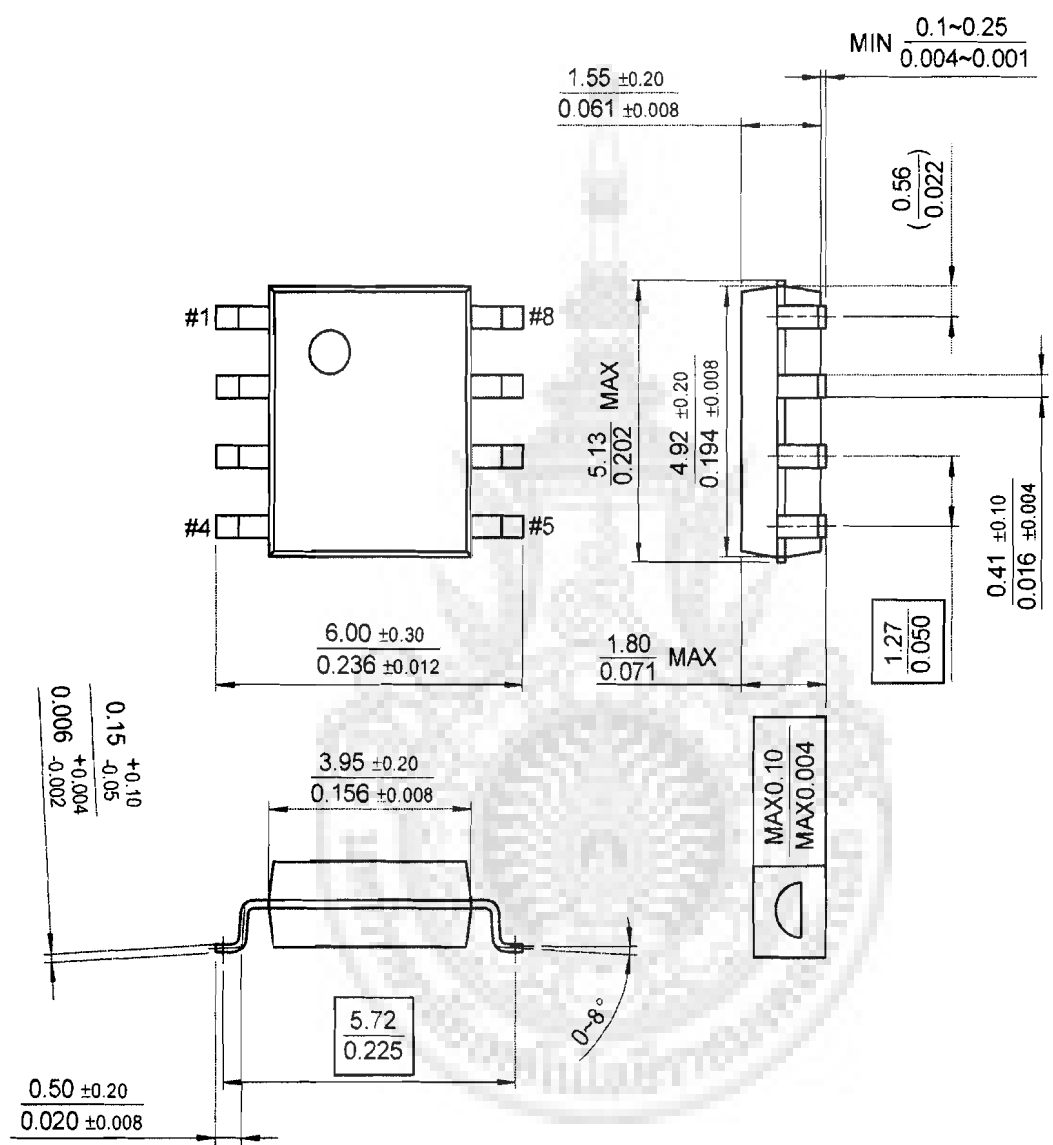


Mechanical Dimensions (Continued)

Package

Dimensions in millimeters

8-SOP



FAIRCHILD SEMICONDUCTOR TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE ^x ™	FACT Quiet Series™	OCX™	SILENT SWITCHER®	UniFET™
ActiveArray™	GlobalOptoisolator™	OCXPro™	SMART START™	VCX™
Bottomless™	GTO™	OPTOLOGIC®	SPM™	Wire™
Build it Now™	HiSeC™	OPTOPLANAR™	Stealth™	
CoolFET™	i ² C™	PACMAN™	SuperFET™	
CROSSVOLT™	i-Lo™	POP™	SuperSOT™-3	
DOME™	ImpliedDisconnect™	Power247™	SuperSOT™-6	
EcoSPARK™	IntelliMAX™	PowerEdge™	SuperSOT™-8	
E ² CMOS™	ISOPLANAR™	PowerSaver™	SyncFET™	
EnSigna™	LittleFET™	PowerTrench®	TCM™	
FACT®	MICROCOUPLER™	QFET®	TinyBoost™	
FAST®	MicroFET™	QS™	TinyBuck™	
FASTr™	MicroPak™	QT Optoelectronics™	TinyPWM™	
FPS™	MICROWIRE™	Quiet Series™	TinyPower™	
FRFET™	MSX™	RapidConfigure™	TinyLogic®	
	MSXPro™	RapidConnect™	TINYOPTO™	
Across the board. Around the world.™		μSerDes™	TruTranslation™	
The Power Franchise®		ScalarPump™	UHC®	
Programmable Active Droop™				

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. I22

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นายพลกฤษณ์ คุ่มกล้า
ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Ponlakrit Kumklam
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1805-00593-98-5
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
- หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
 - คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 - โทรศัพท์ 0-2913-2424 โทรสาร 0-2913-2424 ต่อ 105
 - E-mail: kumklam@yahoo.com
- ประวัติการศึกษา
 - 2544 วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยนเรศวร
 - 2547 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) มหาวิทยาลัยนเรศวร
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - Linear Integrated Circuit, Array Theory, Acoustic Beam Steering
- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
 - การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน
ปีที่เผยแพร่ : 2546
 - การปรับเปลี่ยนทิศทางของลำคลื่นเสียงด้วยการปรับเปลี่ยนเฟส
ปีที่เผยแพร่ : 2547
 - ความคาดหวังในด้านบริการวิชาการและกิจการนักศึกษาของนักศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีที่เผยแพร่ : 2551
 - ความตระหนักทางจริยศาสตร์สิ่งแวดล้อมของนักศึกษามหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลพระนครต่อปัญหาการทิ้งขยะ
ปีที่เผยแพร่ : 2551

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์สลักจิต พุกจรูญ
ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Salakchit Pukjaroon
รหัสนักวิจัย 00133847
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1020-02153-17-9
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
 - คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 - โทรศัพท์ 0-2913-2424 โทรสาร 0-2913-2424 ต่อ 105
 - E-mail: p.salakchit@yahoo.com
5. ประวัติการศึกษา
 - วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 - วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พันธุศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - Plant breeding, Mechanical Physics, Environmental and Resource Management
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย
 - โครงการขยะหอม
ปีที่เผยแพร่ : 2548
การเผยแพร่ : โทรทัศน์ วิทยุ หนังสือพิมพ์ และอินเทอร์เน็ต
 - เทคนิคการใช้แผนผังมโนคติในการศึกษาการปรับโครงสร้างความรู้สึกลและการเปลี่ยนมโนคติในวิชา "สิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร" ของนักศึกษา ระดับปริญญาตรีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครวิทยาเขต พณิชการพระนคร
ปีที่เผยแพร่ : 2548
การเผยแพร่ : วารสารวิจัยและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (มกราคม – เมษายน 2548)
 - ความคาดหวังในด้านบริการวิชาการและกิจกรรมนักศึกษาของนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีที่เผยแพร่ : 2551

- ความตระหนักทางจริยศาสตร์สิ่งแวดล้อมของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครต่อปัญหาการทิ้งขยะ
ปีที่เผยแพร่ : 2551

