ตู้เพลงหยอดเหรียญ ONLINE โดยใช้สมองกลฝังตัว

JUKEBOX VENDING MACHINE ONLINE USING EMBEDDED SYSTEM

โดย

นายวีระพล ทองยิ่ง

นายศรัญ จูจันทร์

นายศุภณัฐ รัตนเสนีย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ตู้เพลงหยอดเหรียญ ONLINE โดยใช้สมองกลฝังตัว

JUKEBOX VENDING MACHINE ONLINE USING EMBEDDED SYSTEM

โดย

นายวีระพล ทองยิ่ง

นายศรัญ จูจันทร์

นายศุภณัฐ รัตนเสนีย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

วิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตู้เพลงหยอดเหรียญ Online โดยใช้สมองกลฝังตัว

Jukebox Vending Machine Online Using Embedded System

โดย

นายวีระพล ทองยิ่ง	53011510
นายศรัญ จูจันทร์	53011526
นายศุภณัฐ รัตนเสนีย์	53011597

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี

ผศ.ดร.มนตรี คำเงิน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

24/มี.ค./57

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(.....)

กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

27/4/17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ตู้เพลงหยอดเหรียญ Online โดยใช้สมองกลฝังตัว

Jukebox Vending Machine Online Using Embedded System

ผู้จัดทำ

1. นายวีระพล ทองยิ่ง 53011510
2. นายศรัญ จูจันทร์ 53011526
3. นายศุภณัฐ รัตนเสนีย์ 53011597

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มนตรี คำเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานประกอบปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร. พิพัฒน์ พรหมมี และ ผศ.ดร.มนตรี คำเงิน อาจารย์ที่ให้คำปรึกษาโครงงานที่ได้ให้คำแนะนำที่ดีตลอดมา และเอื้อเฟื้อสถานที่ให้ในจัดทำโครงงาน ขอบคุณบิดามารดาที่คอยให้กำลังใจ ขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษาและคอยให้ความช่วยเหลือ และที่สำคัญที่สุดขอบคุณเพื่อนในกลุ่มที่ได้จัดทำปริญญานิพนธ์นี้ และได้ผ่านความยากลำบากมาด้วยกัน ทำโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องมา ณ โอกาสนี้

นายวีระพล ทองยิ่ง
นายศรัญ จูจันทร์
นายศุภณัฐ รัตนเสนีย์
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตู้เพลงหยอดเหรียญ ONLINE โดยใช้สมองกลฝังตัว
JUKEBOX VENDING MACHINE ONLINE USING EMBEDDED SYSTEM

โดย นายวีระพล ทองยิ่ง 53011510
นายศรัญ งูงันทร์ 53011526
นายศุภณัฐ รัตนเสนีย์ 53011597

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี
ผศ.ดร.มนตรี คำเงิน

บทคัดย่อ

โครงงานตู้เพลงหยอดเหรียญ Online โดยใช้สมองกลฝังตัว เป็นตู้เพลง ซึ่งใช้สมองกลเป็นตัวประมวลผลต่อร่วมกับเครื่องหยอดเหรียญ และเชื่อมต่อกับระบบอินเตอร์เน็ต โดยการทำงานจะประกอบด้วยเซิร์ฟเวอร์ โดยจะใช้เป็นคลังเก็บวิดีโอเพลง เมื่อเราหยอดเหรียญตามราคาที่กำหนดก็จะสามารถเลือกเพลงได้ สมองกลฝังตัวจะรับคำสั่งและตรวจสอบความถูกต้อง และทำการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์เพื่อดาวน์โหลดเพลงมาทำการเก็บไว้ในหน่วยความจำของสมองกลฝั่งตัว จากนั้นสมองกลฝังตัวก็จะเล่นวิดีโอเพลงที่ได้เลือกไว้

ABSTRACT

Online jukebox vending machine based on embedded system is presented. The Embedded system with coin acceptor is played in important role for processing the verification and providing the server connection using internet. The database server retains the various VDO and indexes their songs according to code of songs. After coins are inserted, user can select favorite songs by keyboard. The system connects

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

to server for verifying, downloading, and play song according to the system queue if song is valid.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		I
บทคัดย่อ		II
สารบัญ		III
สารบัญรูป		V
สารบัญตาราง		VI
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
บทที่ 2	**ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง**	**2**
	2.1 สมองกลฝังตัว (EMBEDDED SYSTEM)	2
	2.2 ระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ตแลน (ETHERNET LAN)	5
	2.3 เครื่องหยอดเหรียญ	7
	2.4 HUB	9
	2.5 FTP (FILE TRANSFER PROTOCOL)	10
	2.6 วงจรขยายเสียง	12
บทที่ 3	**การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์**	**15**
	3.1 การออกแบบ	15
	3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของตู้เพลง	26
	3.3 การสร้างเซิร์ฟเวอร์	27
	3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	31
	3.5 การจัดเก็บผลการทดลอง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	**ผลการทดลอง**	**32**
	4.1 วงจรเครื่องหยอดเหรียญ	32
	4.2 ส่วนของ RASPBERRY PI	32
	4.3 เซิร์ฟเวอร์	34
	4.4 วงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30W โมโน	37
	4.5 วงจรโทนคอนโทรล	47
บทที่ 5	**สรุปผลและข้อเสนอแนะ**	**48**
	5.1 อุปสรรคที่พบในการทำงาน	48
	5.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน	48
	5.3 สรุปผล	49
	5.4 ข้อเสนอแนะ	49
บรรณานุกรม		**50**
ภาคผนวก ก	PYTHON CODE	51
ภาคผนวก ข	DATASHEET	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 โครงสร้างของ RASPBERRY PI 3
2.2 บอร์ด RASPBERRY PI 4
2.3 วงจรของมินิบอร์ด R-PI I/O 4
2.4 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด RASPBERRY PI กับมินิบอร์ด R-PI I/O 5
2.5 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบบัส (BUS NETWORK) 6
2.6 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบสตาร์ (STAR NETWORK) 6
2.7 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบวงแหวน (RING NETWORK) 7
2.8 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบบัส (BUS NETWORK) 7
2.9 เครื่องหยอดเหรียญ 8
2.10 HUB 10
2.11 ตัวอย่างการส่ง – รับแฟ้มด้วย FTP ของ WINDOWS วงจรระหว่าง GPIO 11
2.12 วงจรขยายแบบคลาสเอ ซีรี่ฟีด 12
2.13 วงจรขยายพุชพูลที่ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว และส่งกำลังออกทางหม้อแปลง 13
2.14 วงจรเบื้องต้นการขยายคลาส เอบี 14
3.1 บล็อกไดอะแกรมของการทำงาน 16
3.2 ภาพรวมของการทำงานของตู้เพลงออนไลน์ 17
3.3 วงจรระหว่าง GPIO RASPBERRY PI กับเครื่องหยอดเหรียญ 18
3.4 สัญลักษณ์และโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN และ ชนิด PNP 19
3.5 วงจรไบอัสแบบคงที่ 20
3.6 วงจรไบอัสแบบป้อนกลับ 21
3.7 วงจรไบอัสแบบสเตบิไลซ์ 22
3.8 วงจรขยายเบสร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP 23
3.9 วงจรขยายคอลเล็คเตอร์ร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.10 แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP 25
3.11 การวัดกำลังต่อเนื่องของเพาเวอร์แอมป์ 26
3.12 การวัดความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ 27
3.13 การวัดการตอบสนองทางขนาด 28
3.14 ตัวอย่างกราฟระหว่างความถี่และกำลัง (DB) ของเพาเวอร์แอมป์ 29
3.15 การวัดการตอบสนองทางเฟส 29
3.16 วงจรโทรคอนโทรล MONO 30
3.17 ชุดควบคุมเสียงทุ้ม-แหลม (PASSIVE TONE CONTROL) 31
3.18 ชุดขยายเสียง (ACTIVE TONE CONTROL) 32
3.19 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของตู้เพลง 33
3.20 ขั้นตอนที่ 1 ในการสร้าง FTP SERVER BY WINDOW 34
3.21 ขั้นตอนที่ 2 ในการสร้าง FTP SERVER BY WINDOW 34
3.22 ขั้นตอนที่ 3 ในการสร้าง FTP SERVER BY WINDOW 35
3.23 ขั้นตอนที่ 4 ในการสร้าง FTP SERVER BY WINDOW 35
3.24 ขั้นตอนที่ 5 ในการสร้าง FTP SERVER BY WINDOW 36
3.25 ขั้นตอนที่ 6 ในการสร้าง FTP SERVER BY WINDOW 36
3.26 ขั้นตอนที่ 7 ในการสร้าง FTP SERVER BY WINDOW 37
3.27 ขั้นตอนที่ 8 ในการสร้าง FTP SERVER BY WINDOW 37
4.1 สัญญาณพัลส์ที่ออกมาจากเครื่องหยอดเหรียญ 10 บาท 39
4.2 GUI ของตู้เพลงออนไลน์ 40
4.3 GUI ขึ้นเตือนให้หยอดเหรียญ 40
4.4 เล่นวิดีโอเพลงตามรหัสที่ได้ใส่ในหน้า GUI 41
4.5 การอัพโหลดไฟล์จากเครื่องเซิร์ฟเวอร์ผ่าน FTP เซิร์ฟเวอร์ 41
4.6 การตรวจสอบส่งข้อมูลผ่าน FTP SERVER ฝั่งเครื่องเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้โปรแกรม WIRESHARK 42
4.7 CODE ของ RASPBERRY PI เพื่อดาวน์โหลดเพลงผ่าน FTP เซิร์ฟเวอร์ 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.8	การตรวจสอบการรับข้อมูลผ่าน FTP SERVER ฝั่ง RASPBERRY PI โดยใช้โปรแกรม WIRESHARK	43
4.9	PCB ของวงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30W โมโน	44
4.10	จุดการเก็บผลการทำงานของวงจรเพาเวอร์แอมป์	44
4.11	อินพุตของวงจรเพาเวอร์แอมป์ ที่ความถี่ 1KHZ ในส่วนที่ 1 ของจุด A	45
4.12	การเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของวงจรเพาเวอร์แอมป์ในส่วนที่ 1 ของจุด B	45
4.13	การเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของวงจรเพาเวอร์แอมป์ในส่วนที่ 2 ของจุด C	46
4.14	การเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของวงจรเพาเวอร์แอมป์ในส่วนที่ 2 ของจุด D	47
4.15	การเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่จุด C และสัญญาณที่จุด D ของวงจรเพาเวอร์แอมป์	47
4.16	จุดการทำงานซีกบวกของวงจรคลาสเอบี ในส่วนที่ 3 ของจุด E	48
4.17	จุดการทำงานซีกลบของวงจรคลาสเอบี ในส่วนที่ 3 ของจุด F	48
4.18	INPUT ของเพาเวอร์แอมป์ ที่ความถี่ 1KHZ	49
4.19	OUTPUT ของเพาเวอร์แอมป์ ที่ความถี่ 1KHZ	50
4.20	กราฟสัญญาณ OUTPUT (VOLT P-P) และ SPECTRUM ที่ออกจากลำโพง	51
4.21	สัญญาณ HARMONIC ที่ 1 กับ HARMONIC ที่ 2	52
4.22	แสดงสัญญาณ HARMONIC ที่ 2 กับ HARMONIC ที่ 3	52
4.23	แสดงสัญญาณ HARMONIC ที่ 3 กับ HARMONIC ที่ 4	53
4.24ก	กราฟความถี่และขนาดของเอาท์พุต (DB) ของเพาเวอร์แอมป์จำลองจากโปรแกรม PSPICE	57
4.24ข	กราฟความถี่และขนาดของเอาท์พุต (DB) ของเพาเวอร์แอมป์	58
4.25ก	กราฟการตอบสนองทางเฟส จำลองจากโปรแกรม PSPICE	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.25ข	กราฟการตอบสนองทางเฟส	59
4.26	วงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30W โมโน เมื่อทำการกัดปริ้นเสร็จเรียบร้อย	60
4.27	PCB ของวงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30W โมโน	60
4.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับความถี่ในภาคปรับเสียงทุ้ม-แหลม	63
4.29	วงจรโทนคอนโทรล เมื่อทำการกัดปริ้นเสร็จเรียบร้อย	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	บันทึกค่า FUNDAMENTAL FREQUENCY เปรียบเทียบกับสัญญาณ HARMONICSจากนั้นแปลง สัญญาณ HARMONICS เป็น AMPLITUDE RATIO (VOLT)	53
4.2	บันทึกค่าแรงดันเอาท์พุตและเฟสเมื่อเปลี่ยนความถี่เป็นค่าต่างๆ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Raspberry pi ถือเป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ราคาไม่แพง มีฟังก์ชันการทำงานมากมาย และสามารถประยุกต์ใช้กับงานได้หลายๆด้าน จึงกำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน ผู้จัดทำต้องการที่จะศึกษา code ที่ใช้กับ Raspberry pi ในรูปแบบต่างๆ เพราะ Raspberry pi เพิ่งถือกำเนิดมาได้ไม่นาน จึงมีความแปลกใหม่อยู่ค่อนข้างมาก ในสมัยก่อนตู้เล่นเพลงมีขนาดใหญ่จึงติดตั้ง แก้ไข ลงเพลงได้ลำบาก ผู้จัดทำจึงศึกษาและนำ Raspberry pi มาประยุกต์ใช้งาน ผู้จัดทำได้ทำ ตู้เพลงหยอดเหรียญ ความสะดวกในการติดตั้ง ลงเพลง แก้ไขอุปกรณ์ ในปัจจุบันผู้คนส่วนใหญ่มีการฟังเพลงกันมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นการฟังจากมือถือ จากเครื่องเล่น mp3 จากคอนเสิร์ต เป็นต้น เนื่องจากมีผู้ฟังเพลงเป็นจำนวนมากและอยากฟังเพลงจากศิลปินใหม่แบบก่อนใคร จึงได้เกิดชิ้นงานนี้ขึ้น โดยผู้จัดทำจะอัพโหลดเพลงใหม่ๆลงเซิร์ฟเวอร์ส่วนกลางสม่ำเสมอ

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาการใช้งานระบบสมองกลฝังตัว
2) เพื่อศึกษาการเชื่อมต่อระหว่างระบบสมองกลฝังตัวกับระบบเซิร์ฟเวอร์
3) เพื่อศึกษาการเชื่อมต่อระหว่างระบบสมองกลฝังตัวกับวงจรเครื่องหยอดเหรียญ
4) เพื่อศึกษาและสร้างวงจรขยายเสียง
5) สร้างตู้เพลงที่มีขนาดเล็กและสะดวกต่อการใช้งาน

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

โครงงานนี้จัดทำเพื่อศึกษาและสร้างตู้เพลงหยอดเหรียญ Online โดยใช้สมองกลฝังตัว (Raspberry pi) โดยมีการเชื่อมต่อระหว่างสมองกลฝังตัวกับวงจรหยอดเหรียญ และมีการเชื่อมต่อระหว่างสมองกลฝังตัวกับเซิร์ฟเวอร์ที่เก็บไฟล์เพลงผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เมื่อทำการหยอดเหรียญระบบจะเลือกรหัสเพลง และจะตรวจสอบว่าถูกต้องหรือไม่ หากถูกต้องก็จะติดต่อไปหาเซิร์ฟเวอร์ส่วนกลาง และดาวน์โหลดเพลงนั้นมายังตู้เพลงเพื่อเล่นเพลงให้กับผู้ที่หยอดเหรียญ ทางผู้จัดทำได้เพิ่มวงจรขยายเสียงให้กับ Raspberry Pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ตู้เพลงหยอดเหรียญ Online โดยใช้สมองกลฝังตัว (Jukebox Vending Machine Online Using Embedded System) เป็นการนำเอา Raspberry pi มาเป็นตู้เพลงโดยจะนำ Raspberry pi มาเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์เพื่อให้สามารถใช้งานออนไลน์ได้ และในส่วนของเชื่อมต่อกับเครื่องหยอดเหรียญ โดยจะนำ R-pi i/o ซึ่งเป็นแผงวงจรที่ทำหน้าเชื่อมต่อกับ Raspberry pi มาใช้เชื่อมต่อระหว่าง Raspberry pi กับเครื่องหยอดเหรียญ

2.1 สมองกลฝังตัว (embedded system)

ระบบประมวลผล ที่ใช้ชิปหรือไมโครโพรเซสเซอร์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ เป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วที่ฝังไว้ในอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องเล่นอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพื่อเพิ่มความฉลาด ความสามารถให้กับอุปกรณ์เหล่านั้นผ่านซอฟต์แวร์ซึ่งต่างจากระบบประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป ระบบฝังตัวถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในยานพาหนะ เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านและสำนักงาน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีฮาร์ดแวร์ เทคโนโลยีเครือข่ายเน็ตเวิร์ก เทคโนโลยีด้านการสื่อสาร เทคโนโลยีเครื่องกลและของเล่นต่าง ๆ คำว่าระบบฝังตัวเกิดจาก การที่ระบบนี้เป็นระบบประมวลผลเช่นเดียวกับระบบคอมพิวเตอร์ แต่ว่าระบบนี้จะฝังตัวลงในอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ไม่ใช่เครื่องคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันระบบสมองกลฝังตัวได้มีการพัฒนามากขึ้น โดยในระบบสมองกลฝังตัวอาจจะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือไมโครโปรเซสเซอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ระบบสมองกลฝังตัวที่เห็นได้ชัดเช่นโทรศัพท์มือถือ และในระบบสมองกลฝังตัวยังมีการใส่ระบบปฏิบัติการต่างๆแตกต่างกันไปอีกด้วย ดังนั้น ระบบสมองกลฝังตัวอาจจะทำงานได้ตั้งแต่ควบคุมหลอดไฟจนไปถึงใช้ในยานอวกาศ

2.1.1 ระบบปฏิบัติการสำหรับสมองกลฝังตัว

ในการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวอาจจะมีการใช้ระบบปฏิบัติการเป็นแกนหลักในการพัฒนา หรือไม่มีการใช้ในการพัฒนาก็ได้ ระบบปฏิบัติการสำหรับระบบสมองกลฝังตัวมีหลายประเภทมากตั้งแต่ RTOS , ucOS-II จนไปถึงระบบปฏิบัติการที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาเช่น Linux Window CE จนถึงระบบปฏิบัติการสมัยใหม่ที่มีการพัฒนา เช่น MeeGo Android, Raspberry pi

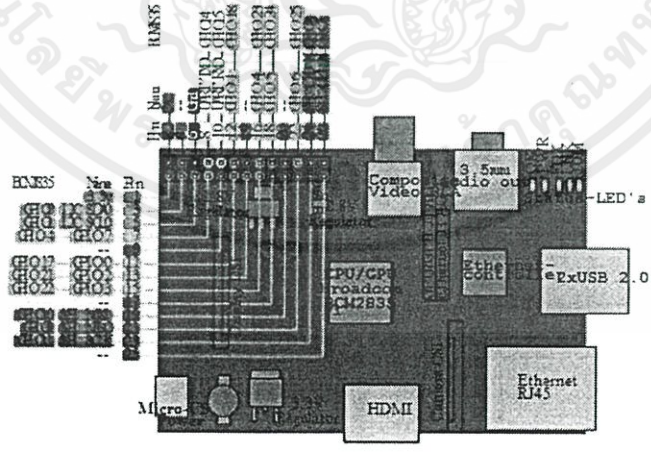
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาของระบบสมองกลฝังตัว

ในปัจจุบันมีภาษาโปรแกรมต่างๆมากมายที่ใช้ในการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวเช่น ภาษา assembly ภาษา C ,C++ หรือภาษาระดับสูงที่ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวที่มีระบบปฏิบัติการเช่น JAVA หรือ Python โดยผู้ใช้สามารถเลือกใช้ภาษาในการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวได้ตามความเหมาะสม

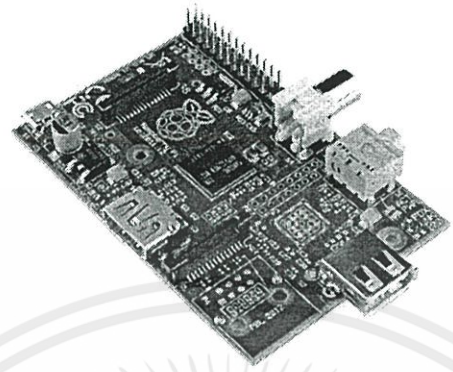
2.1.3 Raspberry pi

Raspberry Pi ก็คือคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋ว มีแต่สิ่งที่จำเป็นเพื่อการประมวลผล บอร์ดใช้ชิป SoC ของ Broadcom BCM2835 ซึ่งบรรจุ ARM1176JZFS พร้อมทั้งหน่วยประมวลผลเลขทศนิยม (floating point) ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 700Mhz DRAM ขนาด 256 MiB ซึ่งถ้าเป็น microcontroller ทั่วๆ ไป อาจมี RAM น้อยกว่านี้ (เป็น SRAM เพราะไม่มี MMU) งานบางอย่างอาจต้องใช้หน่วยความจำเยอะ เช่น งานประมวลผลภาพ Raspberry Pi จึงมีความเหมาะสม Raspberry Pi อาจมองว่ามันดูคล้าย tablet หรือ netbook ที่ไม่มีจอ ไม่มีแบตเตอรี่ ไม่มีคีย์บอร์ดหรือจอสัมผัส ก็ได้ ถ้าอยากได้ต้องหามาต่อเอง และถ้าต่อ Raspberry Pi กับ Monitor และ keyboard ก็สามารถใช้มันได้พอๆ กับ PC เหมือนกัน นอกจากนี้ยังสามารถต่ออุปกรณ์อื่นๆ ตามใช้ชอบได้เหมือนกัน และยังมี GPIO ที่รับส่งข้อมูลได้สารพัดนึกเหมือนกับพวก Microcontroller จึงอาจไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมอย่างอื่นได้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ Raspberry pi

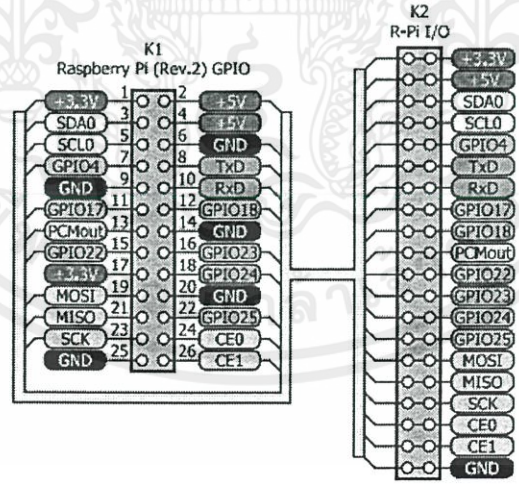
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 บอร์ด Raspberry pi

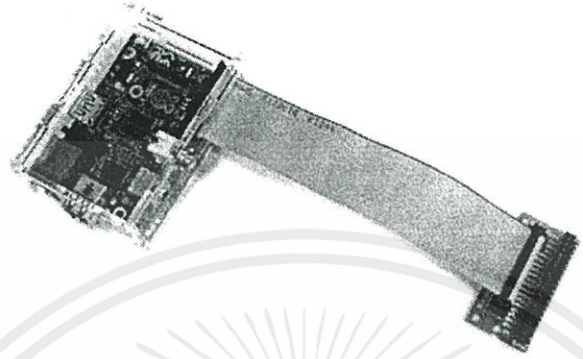
2.1.3.1 GPIO (R-Pi I/O)

Raspberry Pi มี พอร์ตอินพุตเอาต์พุต อเนกประสงค์ หรือ GPIO (General Purpose Input Output) ไว้ให้ไว้ งานรวม 21 ขา (ใน Rev.2 512MB) โดยมีขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลปกติ, ขาเชื่อมต่อระบบบัส I^2C และ SPI จึงทำให้ Raspberry pi สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้หลากหลาย



รูปที่ 2.3 วงจรของมินิบอร์ด R-Pi I/O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด Raspberry Pi กับมินิบอร์ด R-Pi I/O

2.2 ระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ตแลน (Ethernet LAN)

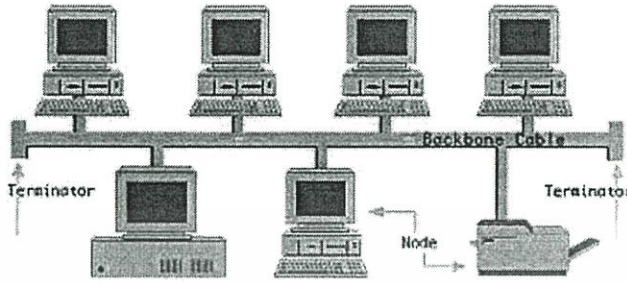
เป็นเครือข่ายแบบมาตรฐานแบบแรกของโลก ลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่ายเป็นระบบแลน และมีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่อง Server อย่างน้อย 1 เครื่อง อีเธอร์เน็ตเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาถูกและใช้งานง่าย เมื่อต้องการเชื่อมต่อเครือข่ายอีเธอร์เน็ต ก็ต้องมีการ์ดเชื่อมโยงอีเธอร์เน็ต หรือที่เรียกว่า NIC - Network Interface Card การ์ดเชื่อมโยงที่มีขายอยู่มักจะมีหัวต่อเชื่อมโยงทั้งที่เป็นแบบโคแอกเชียลและยูทีพี หรืออาจเรียกเป็นมาตราฐานกลาง คือ 10BASE-2 หรือ 10BASE-T การใช้งานเครือข่ายจึงทำได้ง่ายเพียงหาสายโคแอกเชียลต่อเชื่อม และโปรแกรมไมโครซอฟต์วินโดวส์ก็ทำให้ใช้ไฟล์ร่วมกันหรือใช้เครื่องพิมพ์ร่วมกันได้
ปัจจุบันมีมาตรฐาน 100BASE-T ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมเพราะสามารถดูและและใช้งานได้ดี

2.2.1 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบบัส (Bus Network)

เครือข่ายแบบนี้มีโครงสร้างไม่ยุ่งยาก และไม่ต้องใช้เครื่องขยายสัญญาณ หรืออุปกรณ์สลับสาย สถานีต่าง ๆ จะเชื่อมต่อเข้าหาบัสโดยผ่านทางอุปกรณ์เชื่อมต่อที่เป็นฮาร์ดแวร์ การจัดส่งข้อมูลจึงสามารถส่งไปถึงทุกสถานีได้ ระบบนี้มี

จุดอ่อนอยู่ที่ เมื่อคอมพิวเตอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่งมีปัญหากับสายเคเบิ้ล จะทำให้ระบบรวนไปทั้งระบบ และเมื่อเพิ่มคอมพิวเตอร์ในเครือข่าย จะต้องหยุดการใช้งานทั้งหมด เพื่อตัดต่อสายใหม่ ข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตัวกลางในการเชื่อมโยง เช่น ฮับ (Hub) หรือสวิตช์ (Switch)

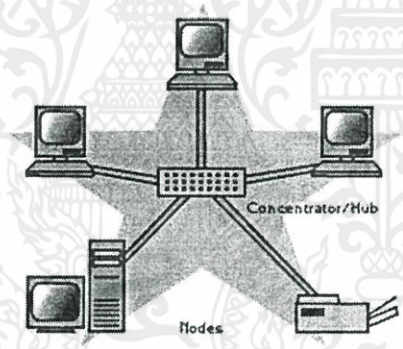
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบบัส (Bus Network)

2.2.2 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบสตาร์ (Star Network)

เครือข่ายแบบนี้จะมีลักษณะคล้ายกับดาวกระจาย มีอุปกรณ์ Hub เป็นศูนย์กลางการต่อเชื่อม โดยการนำสถานีต่าง ๆ มาต่อร่วมกันกับหน่วยสลับสายกลาง เพื่อเชื่อมโยงระหว่างสถานีต่างๆ ที่ต้องการติดต่อกัน ข้อดีของระบบนี้คือ เมื่อสายใดหลุดหรือขาดการต่อเชื่อม จะไม่มีผลต่อระบบทั้งหมด เป็นที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบันนี้

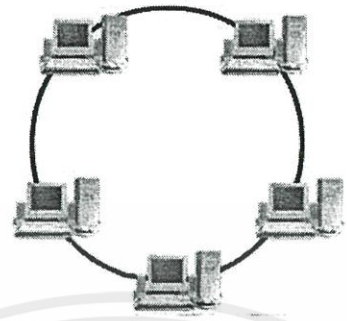


รูปที่ 2.6 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบสตาร์ (Star Network)

2.2.3 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบวงแหวน (Ring Network)

สถานีของเครือข่ายทุกสถานีจะทำการเชื่อมโยงเครื่องขยายสัญญาณของทุกสถานีเข้าไว้ด้วยกันเป็นวงแหวน โดยด้านหนึ่งเป็นตัวรับสัญญาณ และอีกด้านหนึ่งเป็นตัวส่งสัญญาณ การส่งข้อมูลเป็นลักษณะออกทั้งสองทาง ถ้าทางไหนถึงก่อนเครื่องคอมพิวเตอร์ก็จะรับเพ็จเก็จนั้น มีความเร็วในการ รับส่งสัญญาณได้ 16 ล้านบิตต่อวินาที ข้อมูลจะไม่ชนกันเพราะการรับส่งมีลำดับที่แน่นอน ว่ามาจากสถานีใด จะส่งไปยังสถานีปลายทางที่ใด นิยมใช้ในเครือข่ายของเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM โดยเฉพาะระบบธนาคาร ATM และระบบทางทหาร

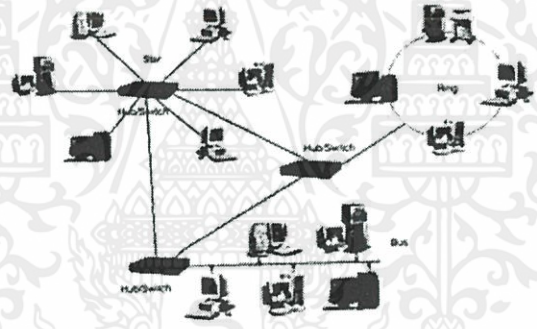
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบวงแหวน (Ring Network)

2.2.4 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบผสม (Hybrid Network)

เป็นการเชื่อมเครือข่ายแบบดาว บัส และวงแหวนมาผสมผสานกัน เพื่อลดจุดอ่อนและเพิ่มจุดเด่นให้กับระบบเครือข่าย โดยการใช้ฮับหรือสวิตช์ เป็นอุปกรณ์ต่อเชื่อม



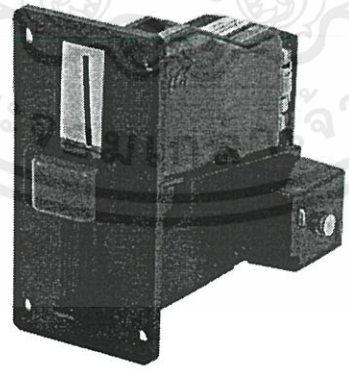
รูปที่ 2.8 โครงสร้างระบบเครือข่ายแลนแบบบัส (Bus Network)

2.3 เครื่องหยอดเหรียญ

เงินเหรียญทุกชนิดจะมีลักษณะเฉพาะตัว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ความหนา น้ำหนัก และองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ค่าที่ออกจะเป็นรูปของสัญญาณไฟฟ้าซึ่งจะเอาไปเปรียบเทียบกับค่าของเหรียญมาตรฐานที่บันทึกไว้เครื่องหยอดเหรียญจะตรวจสอบคุณสมบัติเหล่านี้ต่อเมื่อเหรียญไหลไปตามช่องทางที่ถูกต้องในเครื่องเท่านั้น จึงจะไปกระตุ้นให้กลไกของเครื่องทำงานได้ ถึงจะมีเพี้ยนแปรไปหลายแบบแต่เครื่องหยอดเหรียญโดยทั่วไปก็จะทำงานตามหลัก คือ เริ่มแรกช่องหยอดเหรียญจะตรวจสอบโดยไม่ยอมให้เหรียญที่กว้าง หนา หรือคิดเงินเกินไปผ่านเข้าไปในช่องได้ เหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ผ่านเข้าไปได้อาจผ่านเครื่องตรวจอีกว่ามีรูตรงกลางหรือไม่ (เครื่องจะจับ ได้ถ้าหยอดห่วงเข้าไป) ถ้าเป็นเหรียญก็จะตกลงไปที่คานกระดกที่ถ่วงน้ำหนักไว้พอดี ถ้าเหรียญหนักพอ คานจะกระดกลง ทำให้มันกลิ้งไปที่รางวิ่ง ถ้าเบาไปคานไม่กระดก มันจะตกสู่ช่องคายเหรียญคืน เหรียญที่เครื่องรับไว้ ณ จุดนี้จะกลิ้งตามคานวิ่งไปผ่านแม่เหล็ก ขณะผ่านสนามแม่เหล็กก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในเหรียญเล็กน้อยทำให้วิ่งช้าลง ปริมาณของกระแสไฟฟ้านี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเหรียญ เนื่องจากโลหะที่ต่างกันจะตอบสนองพลังของแม่เหล็กต่างกัน ถ้าเหรียญนั้นมีส่วนประกอบที่ถูกต้อง มันก็จะชะลอความเร็วลงพอเหมาะ ทำให้ตกจากราง วิ่งลงไปในทิศทางที่ไม่กระทบกับคานเบี่ยง ซึ่งเป็นเครื่องกรีดขวาง แต่จะไปกระทบคานแยกเหรียญ ซึ่งอยู่ต่ำลงมาในมุมตกกระทบ อันเหมาะสมส่งเหรียญให้ลงสู่ช่อง "ยอมรับ" ส่วนเหรียญที่หนักไปและที่ได้รับผลกระทบจากพลังแม่เหล็กน้อยเกินไปจะตกไปกระทบคานเบี่ยง แล้วกระดอนไปอีกด้านของคานแยกไหลลงสู่ช่องคายเหรียญคืน เครื่องหยอดเหรียญรุ่นล่าสุดใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ตรวจสอบความเป็นตัวนำไฟฟ้าของเหรียญว่ายอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้มากน้อยเพียงใด เหรียญที่ผ่านการทดสอบในขั้นนี้จะเข้าไปในช่องหนึ่งแล้วกลิ้งตามทางลาดที่อยู่ระหว่างแม่เหล็กสองชิ้น ความเร็วของเหรียญขณะผ่านแม่เหล็กออกมาจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางโลหะของมัน อุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วของเหรียญนั้นประกอบด้วยไดโอดเปล่งแสงและเครื่องวัดแสง ถ้าวัดความเร็วได้ค่าตรงกับที่อยู่ในความจำของเครื่องช่องก็จะเปิดรับเหรียญนั้น ถ้าไม่ตรงกัน เครื่องก็จะคายเหรียญออกมา บางตู้อาจตั้งโปรแกรมให้ตรวจเหรียญได้ถึง 8 ชนิด ตู้หยอดเหรียญยังอาจตั้งโปรแกรมให้ทอนเงินได้ด้วย ระบบตรวจสอบจะระบุค่าของเหรียญในขณะที่มันกลิ้งผ่านไป เมื่อเหรียญไปสุดทางแล้ว ไมโครชิพก็จะปล่อยเงินทอนที่ถูกต้องจากที่เตรียมไว้ในตู้ล้วนเป็นเหรียญที่มีค่าน้อยกว่าเหรียญที่หยอดเข้าไป



รูปที่ 2.9 เครื่องหยอดเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Hub

Hub หรือบางทีก็เรียกว่า "รีพีตเตอร์ (Repeater)" คือ อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกลุ่มของคอมพิวเตอร์ Hub มีหน้าที่รับส่งเฟรมข้อมูลทุกเฟรมที่ได้รับจากพอร์ตใดพอร์ตหนึ่งไปยังทุก ๆ พอร์ตที่เหลือ คอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อเข้ากับ Hub จะแชร์แบนด์วิธหรืออัตราข้อมูลของเครือข่าย ฉะนั้นยิ่งมีคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อเข้ากับ Hub มากเท่าใด ยิ่งทำให้แบนด์วิธต่อคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องลดลง ในท้องตลาดปัจจุบันมี Hub หลายชนิดจากหลายบริษัท ข้อแตกต่างระหว่าง Hub เหล่านี้ก็เป็นจำพวกพอร์ต สายสัญญาณที่ใช้ ประเภทของเครือข่าย และอัตราข้อมูลที่ Hub รองรับได้

2.4.1 หลักการทำงานของ Hub

เมื่อใดที่มีคอมพิวเตอร์ภายในเครือข่ายต้องการส่งข้อมูล Hub ทำจะหน้าที่ในการทำสำเนาข้อมูลและส่งไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ภายในเครือข่าย ไม่ใช่แค่คอมพิวเตอร์ แต่รวมถึงอุปกรณ์อื่นๆ ด้วย เช่น เครื่องพิมพ์ เป็นต้น เรียกว่าส่งข้อมูลไปทั้งหมด และถ้าข้อมูลนี้เป็นของอุปกรณ์ใด อุปกรณ์นั้นก็จะรับเองอัตโนมัติ และจุดด้อยของ Hub ที่ควรทราบคือ เวลามีอุปกรณ์ใดส่งข้อมูลในเครือข่ายผ่าน Hub อุปกรณ์อื่นๆ จะต้องรอให้การส่งสมบูรณ์ก่อน เปรียบเทียบได้กับถนน One-Way ห้ามส่งข้อมูลสวนทางกัน

Hub นั้นทำงานในระดับ layer 1 ซึ่งเป็น layer เกี่ยวข้องกับ เรื่องของการส่งสัญญาณออกไปสู่ media หรือ สื่อกลางที่ใช้ในการสื่อสาร รวมไปถึงเรื่องของการเข้ารหัสสัญญาณเพื่อที่จะส่งออกไปเป็นค่าต่างๆในทางไฟฟ้า และ เป็น layer ที่กำหนดถึง การเชื่อมต่อต่างๆที่เป็นไปในทาง physical hub นั้น จะทำงานในลักษณะของการทวนสัญญาณ หมายถึงว่า จะทำการทำซ้ำสัญญาณนั้นอีกครั้งซึ่งเป็นคนละอย่างกับการขยายสัญญาณนะครับ พอทำแล้วก็จะส่งออกไปยังเครือข่ายที่เชื่อมต่ออยู่โดยจะมีหลักว่า จะส่งออกไปยังทุกๆ port ยกเว้น port ที่เป็นตัวส่งสัญญาณออกมาและเมื่อปลายทางแต่ละจุดรับข้อมูลไปแล้ว ก็จะต้องพิจารณา ข้อมูลที่ได้มา ว่าข้อมูลนั้นส่งมาถึงตัวเองหรือไม่ ถ้าหากไม่ใช่ข้อมูลที่จะส่งมาถึงตัวเอง ก็จะไม่รับข้อมูลที่ส่งมานั้น

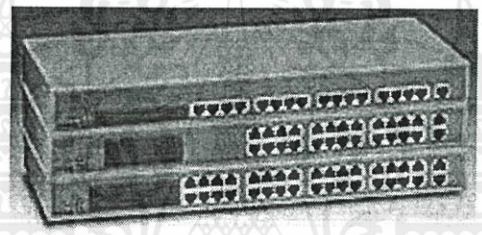
การทำงานในระดับนี้ ถ้าดูในส่วนของตัว Hub เองนั้น จะเห็นได้ว่า ตัวของ Hub นั้นเวลาส่งข้อมูลออกไป จะไม่มีการพิจารณาข้อมูลอย่างพวก mac address ของ layer 2 หรือ ip address ซึ่งเป็นของ layer 3 เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ประเภทของ Hub

2.4.3.1. Small Hub มีจำนวนพอร์ต RJ-45 ประมาณ 4, 5, 8, 2 และ 16 พอร์ต แล้วแต่รุ่น เหมาะกับระบบเครือข่ายขนาดเล็กที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่มากนัก ประมาณ 3-16 เครื่อง

2.4.3.2. Rack mount Hub ขนาดความกว้าง 19 นิ้ว พอร์ต RJ-45 มีมาก ตั้งแต่ 12, 16, 24 ถึง 48 พอร์ต เหมาะสำหรับใช้งานในเครือข่ายขนาดใหญ่ ที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ 12 เครื่องขึ้นไป Hub ใหญ่บางรุ่นจะมี Fiber Module สำหรับเชื่อมโยงอุปกรณ์ผ่านใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.10 Hub

2.5 FTP (File Transfer Protocol)

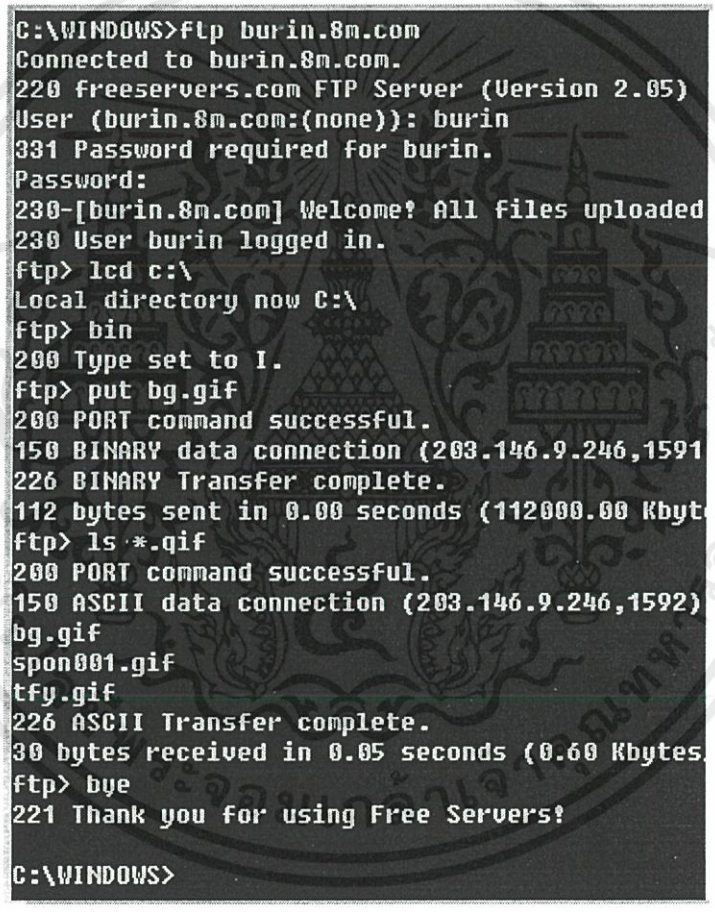
FTP ย่อมาจาก File Transfer Protocol คือ โปรโตคอลเครือข่ายชนิดหนึ่ง ถูกนำใช้ในการถ่ายโอนไฟล์ ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ อย่างการถ่ายโอนไฟล์ระหว่าง ไคลเอนต์ (client) กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นแม่ข่าย เรียกว่า โฮสติง (hosting) หรือ เซิร์ฟเวอร์ ซึ่งทำให้การถ่ายโอนไฟล์ง่ายและปลอดภัยในการแลกเปลี่ยนไฟล์ผ่านอินเตอร์เน็ต การใช้ FTP ที่พบบ่อยสุด ก็เช่น การดาวน์โหลดไฟล์จากอินเทอร์เน็ต ความสามารถในการถ่ายโอนไฟล์ ทำให้ FTP เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับทุกคนที่สร้างเว็บเพจ ทั้งมือสมัครเล่นและมืออาชีพ โดยที่การติดต่อกันทาง FTP เราจะต้องติดต่อกันทาง Port 21 ซึ่งก่อนที่จะเข้าใช้งานได้นั้น จะต้องเป็นสมาชิกและมีชื่อผู้เข้าใช้ (User) และรหัสผู้เข้าใช้ (password) ก่อน และโปรแกรมสำหรับติดต่อกับแม่ข่าย (server) ส่วนมากจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น โปรแกรม Filezilla, CuteFTP หรือ WSFTP ในการติดต่อ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FTP แบ่งเป็น 2 ส่วน

1. FTP server เป็นโปรแกรมที่ถูกติดตั้งไว้ที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ ทำหน้าที่ให้บริการ FTP หากมีการเชื่อมต่อจากไคลแอนเข้าไป

2. FTP client เป็นโปรแกรม FTP ที่ถูกติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ของ user ทั่วๆไป ทำหน้าที่เชื่อมต่อไปยัง FTP server และทำการอัพโหลด, ดาวน์โหลดไฟล์ หรือ จะสั่งแก้ไขชื่อไฟล์, ลบไฟล์ และเคลื่อนย้ายไฟล์ก็ได้เช่นกัน



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการส่ง – รับแฟ้มด้วย FTP ของ Windows

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วงจรขยายเสียง

วงจรขยายเพาเวอร์แอมปลิฟายเออร์ เป็นวงจรที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณเอซี สัญญาณที่มีอินพุตขนาดแรดันขนาดเล็กและทำการขยายสัญญาณออกทางเอาต์พุตให้มีขนาดแรงดันขนาดใหญ่ขนาดเดียวกัน ต้องมีกำลัง(watt)ที่สูงเพื่อที่สามารถไปขับลำโพงได้ โดยองค์ประกอบที่สำคัญของวงจรขยายวัตต์สูงๆ ก็คือ ประสิทธิภาพของวงจรและกำลังวัตต์สูงสุดที่วงจรภาคเอาต์พุต แต่ละภาคหรือเอาต์พุตภาคสุดท้าย เช่น ลำโพง ซึ่งจำเป็นจะต้องมีค่าที่เหมาะสมกัน

สามารถแยกวงจรขยายได้เป็น 3 ประเภทหลักดังนี้

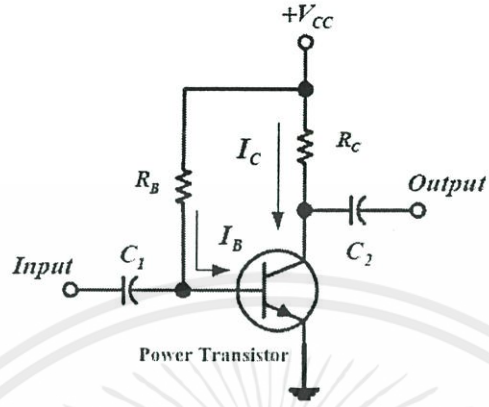
1. วงจรขยายคลาส เอ (Class A Power Amplifier Circuit)
2. วงจรขยายคลาส บี (Class B Power Amplifier Circuit)
3. วงจรขยายคลาส เอบี (Class AB Power Amplifier Circuit)

2.5.1 วงจรขยายแบบคลาสเอ (Class A Power Amplifier Circuit)

2.5.1.1. วงจรขยายแบบคลาสเอ ซีรี่ฟีด (Class A series-feed Circuit)

วงจรเริ่มต้นเป็นวงจรแบบง่ายที่สุดและเป็นแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ ชนิดของการไบอัส หรือการให้จุดทำงานเป็นแบบฟิกซ์ไบอัส (Fixed Bias) วงจรขยายคลาส-เอ เป็นวงจรขยายที่มีจุดการทำงานอยู่ในช่วงที่เรียกว่า แอกทีฟ คือ ช่วงการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่เป็นลิเนียร์ หรือหากเปรียบเทียบก็เหมือนเครื่องยนต์ที่ทำการเร่งเครื่องพร้อมจะรับงานหนักๆได้อยู่ตลอดเวลา วงจรของขยายคลาสเอ จะมีกระแสสงบไหลตลอดเวลาเพื่อให้จุดของการทำงานมีช่วงสวิงของสัญญาณเอาท์พุตไม่ต่ำกว่าจุดคัทออฟ (การหยุดนำกระแสของภาคขยาย) เพราะวงจรขยายคลาสเอจะขยายสัญญาณทั้งซีกบวกและซีกลบของสัญญาณที่ป้อนเข้ามาทางอินพุต หรือพูดง่ายๆ ก็คือจุดทำงานอยู่ตรงกลางเส้นโหลดไลน์หรือจุดต่ำสุดของสัญญาณซีกลบ อยู่สูงกว่าระดับคัทออฟนั่นเอง แต่วงจรคลาสนี้จะมีอัตราขยายสัญญาณไม่สูงมากนัก เพราะจุดประสงค์คลาสเอ คือ จะต้องขยายสัญญาณโดยไม่ผิดเพี้ยน

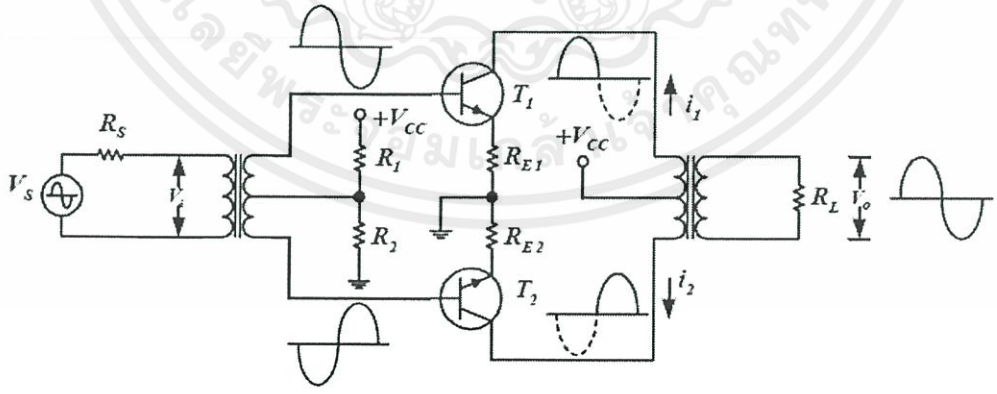
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 วงจรขยายแบบคลาสเอ ซีรี่ฟีด

2.5.2 วงจรขยายคลาสบี (Class B Power Amplifier Circuit)

ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายคลาสบี จะนำกระแสเพียงครึ่งคาบเท่านั้น ดังนั้นเพื่อที่จะให้สัญญาณออกไม่มีความเพี้ยน จึงจำเป็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ให้นำกระแสตัวละครึ่งคาบสลับกันวงจรชนิดนี้เรียกว่า วงจรพุช พูล (Push Pull Circuit) วงจรขยายแบบ Push Pull ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดเดียวกัน 2 ตัว แต่ละตัวจะส่งสัญญาณออกทางคอลเลคเตอร์ผ่านหม้อแปลงเข้าสู่โหลดหม้อแปลงทางด้านเข้าจะขับทรานซิสเตอร์แต่ละตัวสลับกัน ทำให้ทรานซิสเตอร์ 1 และ 2 ผลัดกันนำกระแสตัวละ 180° กระแสที่ไหลในโหลดซึ่งเป็นผลรวมของกระแสของทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะไหลตลอดคาบได้

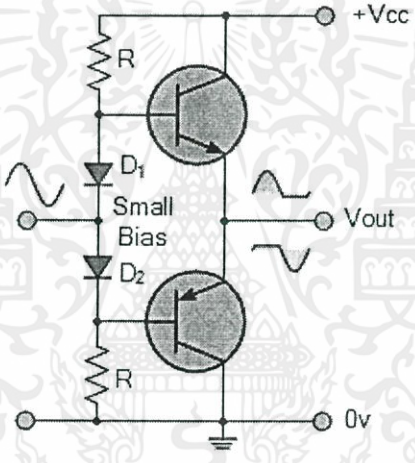


รูปที่ 2.13 วงจรขยายพุชพูลที่ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว และส่งกำลังออกทางหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 วงจรขยายคลาส เอบี (Class AB Power Amplifier Circuit)

วงจรขยายคลาสบีมีความเพี้ยนที่ช่วงรอยต่อเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์จะก่อให้เกิดความรำคาญให้กับผู้ฟังได้ เพราะความเพี้ยนมีค่าเปอร์เซ็นต์สูงขณะที่เสียงเบา วิธีแก้อย่างหนึ่งคือการไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนำกระแสเพียงเล็กน้อยเมื่อไม่มีสัญญาณเข้าทำให้สัญญาณออกจะไม่มีความเพี้ยน แต่ประสิทธิภาพจะลดลงและกำลังสูญเสียเมื่อไม่มีสัญญาณจะสูงขึ้นเรียกวงจรขยายชนิดนี้ว่าคลาสเอบี (Class AB) เพราะมีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์มากกว่า 180° เป็นพุช–พูล มี Diode ชดเชย Crossover



รูปที่ 2.14 วงจรเบื้องต้นการขยายคลาส เอบี

2.7 โปรแกรม PSpice

PSpice เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่ง มีหน้าที่ในการเลียนแบบการทำงาน (Simulation) ถูกสร้างขึ้นตั้งแต่ปี 1975 โดย University of California, Berkeley เพื่อใช้ช่วยในการวิเคราะห์ และ ออกแบบวงจรไฟฟ้าต่อมามีหลายบริษัทได้นำมาพัฒนา Version ต่างๆเช่น HSpice, Spice2G (ซึ่งจะทำงานเครื่อง Unix หรือ Mainframe) เป็นต้น สวน PSpice บริษัท MicroSim Corporation ได้พัฒนาขึ้น ให้สามารถใช้งานบนเครื่อง PC โดยย่อมาจาก PC - Simulation Program for Integrated Circuit Emphasis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์การใช้งาน PSpice คือการใช้เลียนแบบการทำงานวงจรก่อนที่จะทดลองต่อวงจรจริงทำให้สามารถลดความยุ่งยาก และ ลดเวลาในการทดลองจริงลงไปได้มาก ซึ่งผลการเลยแบบนั้นจะเป็นน่าเชื่อถือมากและ เป็นที่ยอมรับในวงการวิชาการว่า ใกล้เคียงกับการทดลองจริง จึงทำให้ PSpice เป็นที่นิยมของนักวิจัย และนักออกแบบวงจรไฟฟ้าทั่วโลกอย่างขวาง ก่อนที่จะสร้างวงจรจริงในอันดับต่อไป

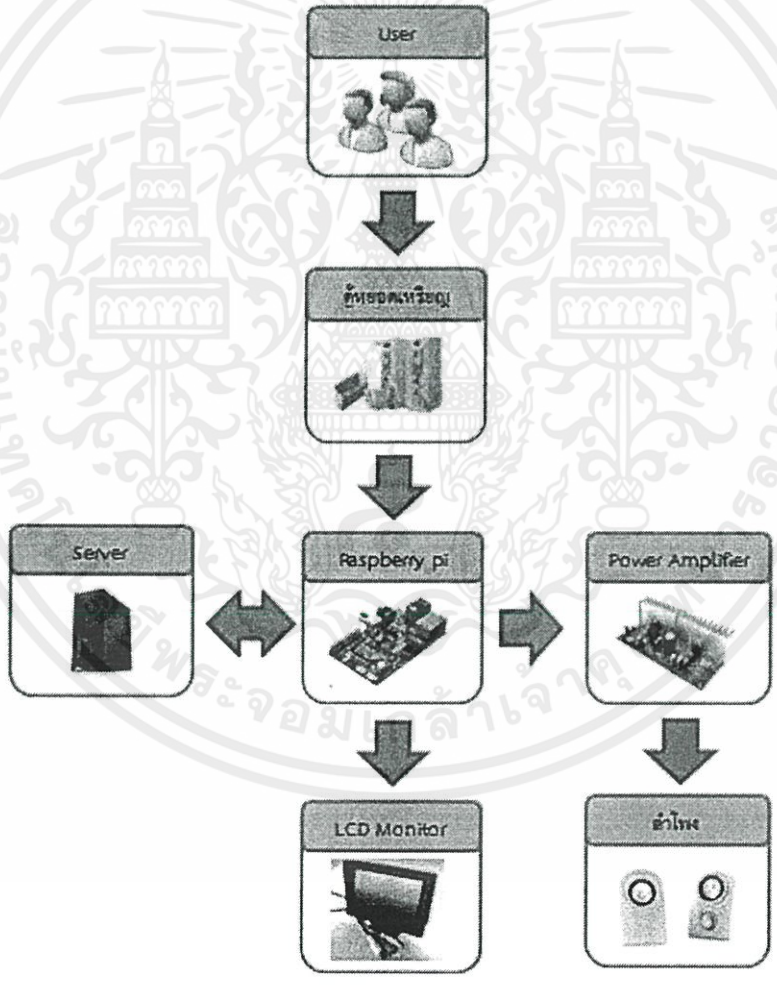
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

ในการปฏิบัติงานให้สำเร็จได้ตามเป้าและภายในระยะเวลาที่กำหนด จะเป็นต้องวางแผนโครงงานงาน เพื่อให้ทราบแนวทางและขั้นตอนการปฏิบัติงาน

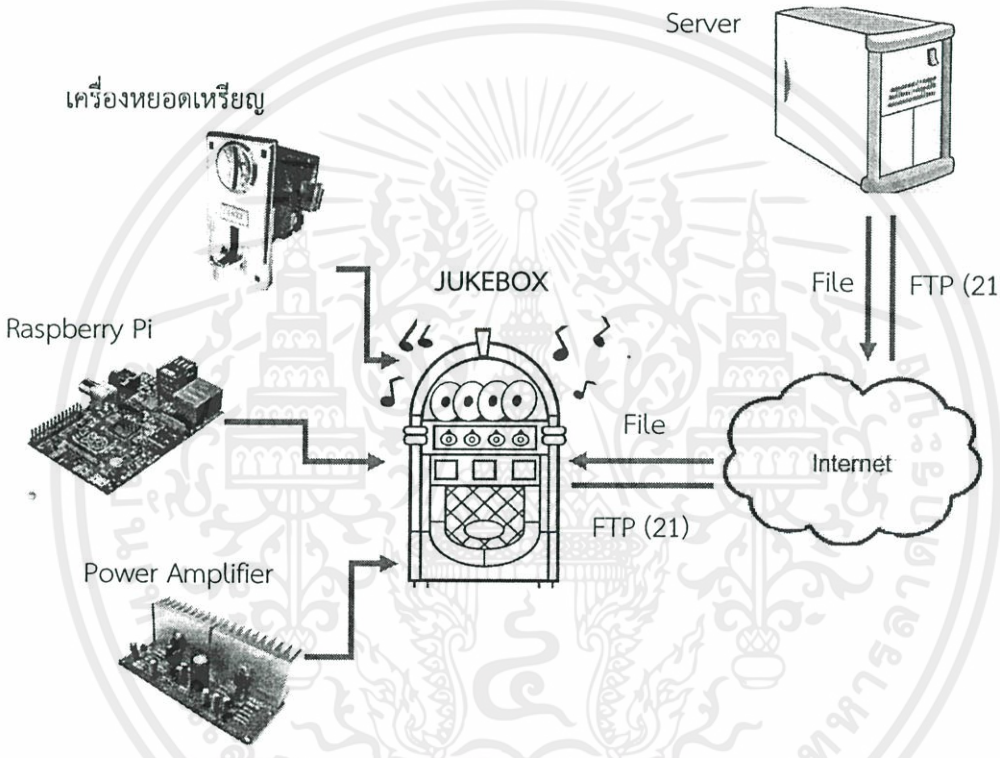
3.1 การออกแบบ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานตู้เพลงออนไลน์ โดยเริ่มจากผู้ใช้ต้องทำการหยอดเหรียญ และป้อนรหัสเพลงจากคีย์บอร์ด ไปยัง Raspberry Pi Raspberry Pi จะทำการประมวลผล และดึงเพลงจาก Server มายัง Raspberry Pi หลังจากนั้นก็จะแสดงแสดงภาพบนจอ LCD และจะส่งสัญญาณเสียงไปยัง Power Amplifier เพื่อขยายสัญญาณให้ออกมาที่ลำโพง



รูปที่ 3.2 ภาพรวมของการทำงานของตู้เพลงออนไลน์

จากรูปที่ 3.2 จะการแสดงภาพรวมของการทำงานของตู้เพลงออนไลน์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

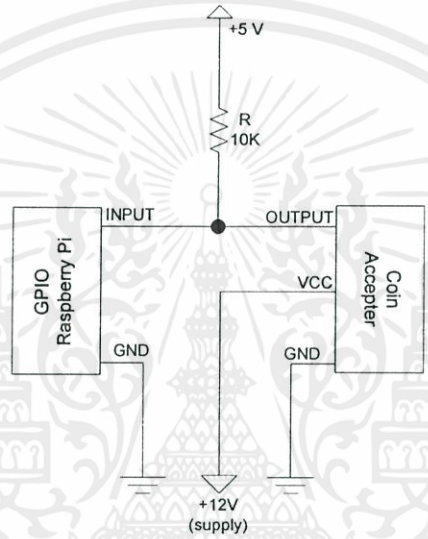
3.1.1 ตู้หยอดเหรียญ

ทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณพัลส์ออกมาตามจำนวนเหรียญที่หยอดเข้าไปและโปรแกรมจะทำการนับจำนวนพัลส์ที่ได้รับและนำประมวลผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 Raspberry Pi

ทำหน้าที่เป็นเป็นตัวประมวลผลโดยจะรับพัลส์จากตู้หยอดเหรียญที่ขาของเครื่องหยอดเหรียญ เอาท์พุตและเมื่อรับค่าพัลส์ถึงค่าที่กำหนดไว้ก็จะทำการให้เราเลือกเพลงและเล่นเพลงออกมา



รูปที่ 3.3 วงจรระหว่าง GPIO Raspberry pi กับเครื่องหยอดเหรียญ

จากรูปที่ 3.3 จากวงจรระหว่าง GPIO Raspberry pi กับเครื่องหยอดเหรียญ จะมี pull up ต่อเข้าที่ขา อินพุตของ Raspberry pi และ ต่อเอาท์พุตของเครื่องหยอดเหรียญ

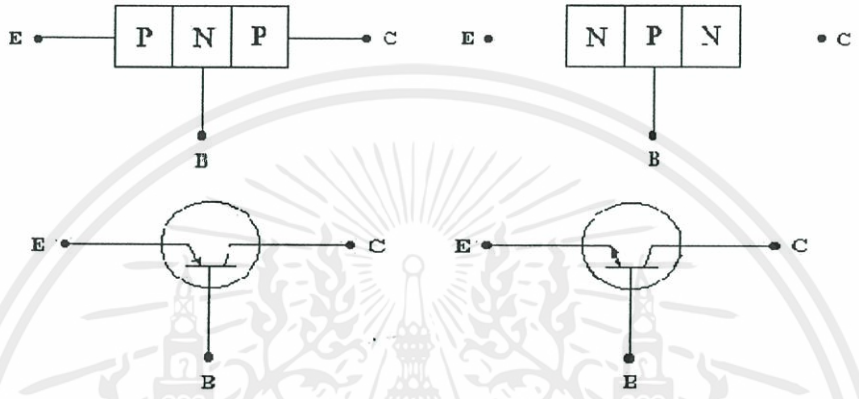
3.1.3 ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์สร้างมาจากวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N มารวมกัน โดยทำให้เกิดรอยต่อระหว่างเนื้อสารนี่สองรอยต่อ โดยสามารถจัดทรานซิสเตอร์ได้ 2 ชนิด คือ

1. ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN
2. ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยต่อจากเนื้อสารทั้ง 3 นี้ มีจุดต่อเป็นขาทรานซิสเตอร์ เพื่อใช้เชื่อมโยงหรือบัดกรีกับอุปกรณ์อื่น ดังนั้นทรานซิสเตอร์จึงมี 3 ขา มีชื่อเรียกว่า คอลเลคเตอร์ (สัญลักษณ์ C) อิมิตเตอร์ (สัญลักษณ์ E) และ เบส (สัญลักษณ์ B) รูปร่างโครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ดังรูป



รูปที่ 3.4 สัญลักษณ์และโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN และ ชนิด PNP

การสร้างทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และ PNP จะทำการเชื่อมส่วนที่ได้รับการโดปที่แตกต่างกันทั้ง 3 ส่วน ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การแพร่กระจาย ตัวอย่าง เช่น การสร้างทรานซิสเตอร์ประเภท NPN การบวนการสร้างจะเริ่มจากการแพร่กระจายส่วนที่เป็น p-type ของเบสเข้ากับส่วนที่เป็น n-type ของคอลเลคเตอร์ หลังจากส่วนของเบสที่เป็น p-type เริ่มเข้ารูปก็จะทำการแพร่กระจายส่วนที่เป็น n-type ของอิมิตเตอร์ให้เข้ากับส่วนที่เป็น p-type ของเบส ก็จะได้ทรานซิสเตอร์ NPN ที่เสร็จสมบูรณ์

ทรานซิสเตอร์แบบ NPN แรงดันไฟที่ขาคอลเลคเตอร์เป็นไฟลบ (-) ทรานซิสเตอร์แบบ PNP แรงดันไฟที่ขาคอลเลคเตอร์เป็นไฟบวก (+) ตามรูป จะเห็นว่าการจัดแรงดันไฟให้กับขาของทรานซิสเตอร์ทั้ง 3 ขา ต้องมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟ 2 ชุด ทั้งทรานซิสเตอร์แบบ PNP และ NPN เพื่อความสะดวกในการจัดแรงดันไฟไบแอสต้องต่อตัวต้านทานเข้าที่ ขาเบสของทรานซิสเตอร์และแหล่งจ่ายแรงดันไฟ เพื่อลดแหล่งจ่ายไม่ให้เหลือเพียงชุดเดียวตัวต้านทานจะเป็นตัวจัดแรงดันไฟไบแอสให้กับเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

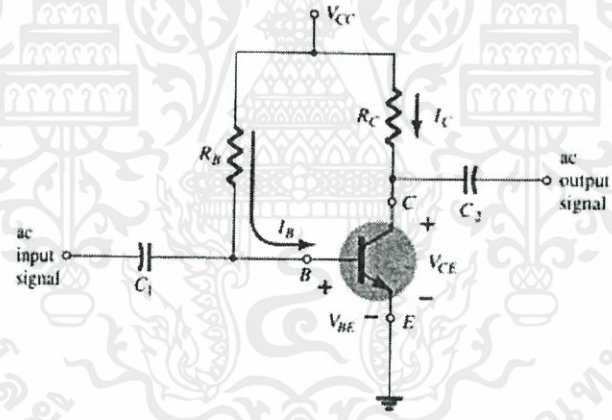
3.1.3.1 การไบอัสทรานซิสเตอร์

การไบอัส (Biasing) หมายถึง การกำหนดค่าแรงดันและกระแสทางไฟฟ้ากระแสตรงให้กับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้ทำงานตามต้องการการไบอัสทรานซิสเตอร์แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

- การไบอัสแบบคงที่ (Fixed Biasing)
- การไบอัสแบบป้อนกลับ (Self-Biasing)
- การไบอัสแบบสเตบิไลซ์ (Stabilize Biasing)

1) การไบอัสแบบคงที่

เป็นการไบอัสแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งเป็นการพิจารณาวงจรไบอัสแบบคงที่ ในขณะที่ไม่มีสัญญาณเข้ามาทาง อินพุต ซึ่ง C_1 เป็นตัวเก็บประจุทำหน้าที่ คัปปลิ้งสัญญาณอินพุต เข้ามายังขาเบสของทรานซิสเตอร์ทำให้กระแสเบสแปรไปตามอินพุต และกระแสคอลเลคเตอร์ก็จะแปรผันตามกระแสเบส ทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีขนาดใหญ่กว่าอินพุต และจะถูกนำออกไปยังวงจรอื่นโดย C_2



รูปที่ 3.5 วงจรไบอัสแบบคงที่

วงจรตามรูปที่ 3.5 ความต้านทาน R_B เป็นความต้านทานที่กำหนดค่ากระแส I_B โดยมีแรงดัน V_{CC} จ่ายไบอัสตรงให้กับขา B เทียบกับขา E เมื่อกระแส I_B ไหลจะทำให้กระแส I_C ไหลด้วย ทรานซิสเตอร์เมื่อนำกระแสจะเกิดความร้อน ทำให้ความต้านทานรอยต่อระหว่างขา C และขา E ลดลง กระแส I_C จะไหลมากขึ้น ซึ่งถ้ายังจ่าย V_{BE} เท่าเดิม กระแส I_B จะไหลมากขึ้น นั่นหมายถึง ไบอัสที่จ่ายให้ขา B ของทรานซิสเตอร์มากเกินไป R_B ซึ่งถูกกำหนดไบอัสให้ขา B ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ทำให้ไบอัสถูกจ่ายให้ขา B ของทรานซิสเตอร์มากขึ้นตลอดเวลา กระแส I_C ก็จะไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

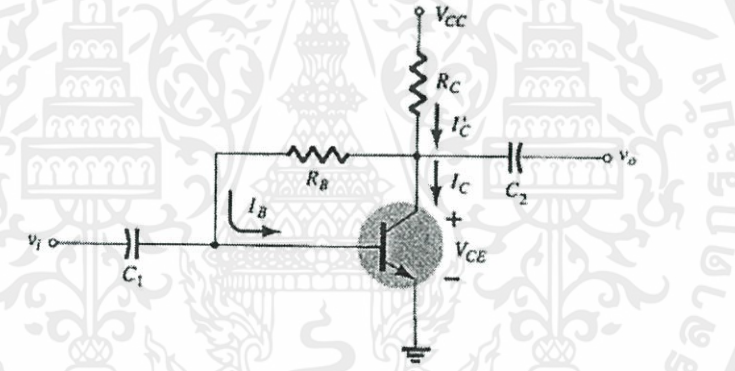
มากขึ้นตลอดเวลา ทรานซิสเตอร์จะร้อนมากขึ้นทุกขณะจนชำรุดเสียหายได้ นอกจากนี้ I_{CBO} ยังมีความไวต่ออุณหภูมิสูง เช่น ทรานซิสเตอร์ที่ทำจากเยอรมันเนียม ค่า I_{CBO} จะเพิ่มขึ้นประมาณหนึ่งเท่าตัวทุกๆ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เป็นผลให้ค่าของกระแส I_C มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

ข้อดี ใช้อุปกรณ์น้อย

ข้อเสีย ไม่คงที่ต่ออุณหภูมิ ไม่สามารถนำไปใช้งานแบบต่อเนื่องได้

2) การไบอัสทรานซิสเตอร์แบบป้อนกลับหรือการไบอัสตัวเอง

ในวงจรไบอัสแบบป้อนกลับดังรูปที่ 3.6 แทนที่ R_B จะรับกระแสเบสมาจาก V_{CC} เหมือนกับวงจรไบอัสคงที่ กลับนำกระแสเบสมาจากขาคอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 3.6 วงจรไบอัสแบบป้อนกลับ

จากรูปที่ 3.6 R_B เป็นความต้านทานกำหนดกระแส I_B โดย R_B จะต่อเข้ากับขา C และขา B ของทรานซิสเตอร์ เกิดแรงดัน V_{BE} จ่ายเป็นแรงดันไบอัสเมื่อกระแส I_B ไหลก็จะทำให้กระแส I_C ไหลมากขึ้นทำให้ความต้านทานระหว่างขา C และขา E ของทรานซิสเตอร์ลดลง ทำให้ VCE จะมีแรงดันตก การไบอัสคร่อมลดลงด้วย ทำให้แรงดันที่จ่ายให้ขา B ลดลงด้วย เมื่อแรงดัน V_{BE} ลดลง จะทำให้กระแส I_B ไหลน้อยลง ทรานซิสเตอร์จะทำงานลดลงจนเข้าสู่สภาวะปกติ จะเห็นว่าวงจรไบอัสแบบป้อนกลับมีเสถียรภาพทางอุณหภูมิดีกว่าการไบอัสแบบคงที่ เพราะมีการป้อนกลับแบบลบของ V_{CE} ซึ่งจะทำให้ I_C เพิ่มขึ้นน้อยกว่าในกรณีที่ต่อ R_B กับ V_{CC} โดยตรง

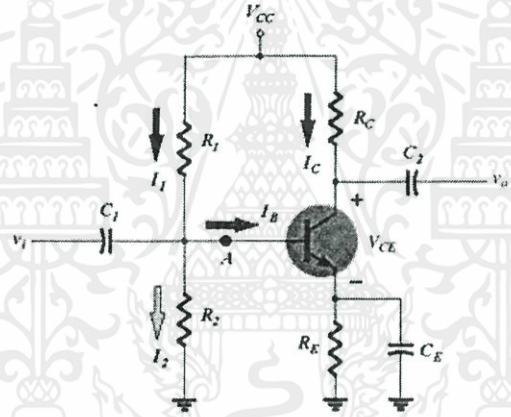
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ข้อดี</u> มีความคงที่ต่ออุณหภูมิดี และสัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตมีความเพี้ยนต่ำ

<u>ข้อเสีย</u> มีอัตราขยายตาเพราะสัญญาณที่ส่งออกเอาต์พุต มีบางส่วนถูกป้อนกลับมาอินพุต

3) การไบอัสทรานซิสเตอร์แบบสเตบิไลซ์

การไบอัสแบบสเตบิไลซ์อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อิมิตเตอร์ไบอัส ซึ่งมักจะนิยมจัดวงจรแบบวงจรแบ่งแรงดันทางอินพุต ทำให้บางครั้งการจัดไบอัสแบบนี้ถูกเรียกว่าการไบอัสแบบแบ่ง แรงดัน (Voltage Divider Bias) คือการจ่ายแรงดันไบอัสที่ขา B ของทรานซิสเตอร์เป็นแบบไบอัส คงที่ ซึ่งถูกจัดเป็นวงจรแบ่งแรงดัน และใส่ความต้านทานที่ขา E ที่เรียกว่าความต้านทานสเตบิไลซ์ (Stabilize Resistor) เป็นตัวช่วยปรับการไบอัสให้ขา B ของทรานซิสเตอร์อย่างพอเหมาะกับที่ทรานซิสเตอร์ต้องการ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรไบอัสแบบสเตบิไลซ์

วงจรสเตบิไลซ์ไบอัสมีการป้อนกลับแบบลบโดยใช้ตัวต้านทาน R_E ต่อระหว่างอิมิเตอร์กับกราวด์ แรงดันของเบสถูกกำหนดโดยตัวต้านทานแบ่งแรงดัน R ,$R_{1\ 2}$ ปกติจะมีกระแสไหลใน R ,$R_{1\ 2}$ มากกว่า BI หลายเท่า ดังนั้นแรงดันที่เบสจึงค่อนข้างคงที่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ I_C เพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันที่ตกคร่อม R_E เพิ่มขึ้นตามไปด้วยเป็นผลให้ V_{BE} ลดลง จึงทำให้ I_B ไหลน้อยลง ซึ่ง I_B จะเป็นตัวควบคุม I_C ไหลลดลงเข้าสู่สภาวะปกติจากการป้อนกลับแบบลบด้วย และ CE เป็นการลัดวงจรเมื่องมองวงจรด้วยเงื่อนไขไฟฟ้ากระแสสลับ

<u>ข้อดี</u> มีความคงที่ต่ออุณหภูมิดีมาก R_E ที่เพิ่มขึ้นมาทำให้กระแส CI ไหลคงที่

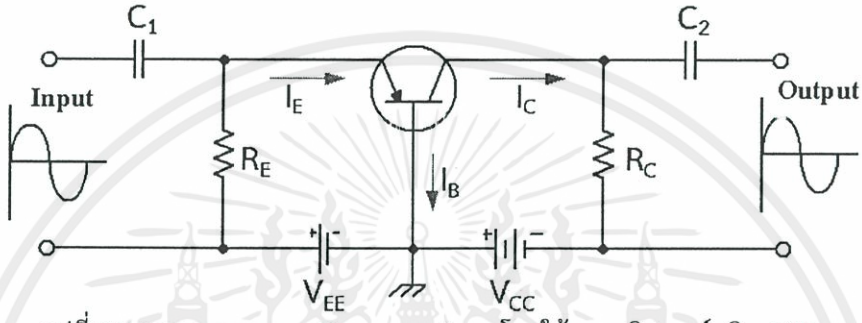
<u>ข้อเสีย</u> ใช้อุปกรณ์ในการต่อวงจรมากค่าใช้จ่ายก็ขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 รูปลักษณ์ของวงจรทรานซิสเตอร์

1) วงจรขยายเบสร่วม (Common Base Amplifier)

เป็นวงจรที่เอาขาเบส (B) เป็นจุดร่วมระหว่าง Input และ Output โดยการป้อนสัญญาณ Input เข้าที่ขา Emitter (E)และ Output ออกที่ขา Collector (C) วงจรเป็นดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรขยาย Common Base โดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

จากวงจร Common Base โดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ทำการจัดไบอัสทาง Input โดยใช้ แหล่งจ่าย VEE ไบอัส ตรงระหว่างขา B และ E ซึ่งค่าความต้านทาน R_E เป็นตัวกำหนดค่ากระแส ทาง Input (IE) ตามกฎของโอห์ม กล่าวคือ $I_E = V_{EE} R_E$ และผลของกระแส I_E จะทำ ให้เกิดกระแส Output (IC) ดังสมการ $I_E = I_B + I_C$ ส่วนแหล่งจ่าย VCC เป็นแหล่งจ่ายที่ป้อนไบอัสกลับระหว่างขา C และขา B ในวงจรจะเห็นว่า มีC_1 และ C_2 ต่ออยู่ที่ด้าน Input และด้าน Output ทำหน้าที่ Coupling Capacitor โดย C_1 จะยอมให้สัญญาณ Input ผ่านเข้าไปที่ตัวทรานซิสเตอร์และ C_2 จะเป็นทางผ่านของสัญญาณ Output ออกไปใช้งาน ทั้ง C_1 และ C_2 ยังเป็นตัวกั้น (Block) ไม่ให้ไฟ DC จาก V_{EE} ไหลย้อนกลับไปที่แหล่งจ่าย Input ซึ่งอาจเป็นไมโครโฟน หรือส่วนอื่น ๆ และยังไม่ให้ไฟ DC จาก V_{CC} ไหลออกขา Output ซึ่งเป็นลำโพงจะทำ ให้เกิดความเสียหายได้

การทำงานของวงจรขยายเบสร่วม (Common Base Amplifier)

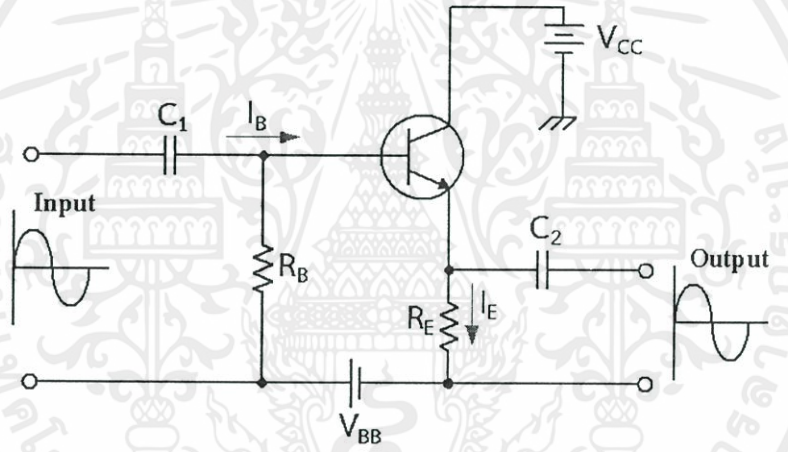
เมื่อมีสัญญาณ Input เข้ามา ทา ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส I_E เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของสัญญาณในครึ่งบวกของสัญญาณ Input จึงทา ให้ขั้วบนของ R_E เป็นบวกขั้วล่างเป็นลบ ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะไปอนุกรมเสริมกับ แรงดัน V_{EE} ทำให้กระแส I_E มีค่าสูงขึ้นกระแส I_C จึงมีค่าสูงขึ้นตาม ส่งผลให้แรงดัน ที่ตกคร่อม ความต้านทาน R_C มีค่ามากขึ้น โดยขั้วบนของ R_C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นบวกมากขึ้น ดังนั้นขณะนี้แรงดัน Output ครึ่งบวก จึงมีค่ามากกว่า แรงดันครึ่งบวกของค่า Input ส่วนในครึ่งลบของสัญญาณ Input จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วบนของ ความต้านทาน R_E เป็นลบ ขั้วล่างเป็นบวกไปหักล้างกับ แรงดัน V_{EE} ทำให้กระแส I_E มีค่าน้อยลง กระแส I_C ก็จะน้อยลงตาม ศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วบนของความต้านทาน R_C จึงเป็นบวกน้อยลง แรงดัน Output ครึ่งลบจึง มีค่าสูงกว่าระดับแรงดันครึ่งลบทางด้าน Input จึงถือได้ว่า สัญญาณ Input และสัญญาณ Output มีเฟสเดียวกัน

2) วงจรขยายคอลเล็คเตอร์ร่วม (Common Collector Amplifier)

วงจรนี้จะเอาขา Collector (C) เป็นขาร่วม โดยป้อนสัญญาณ Input ที่ขา Base (B) และ Output ที่ขา Emitter (E) ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 3.9



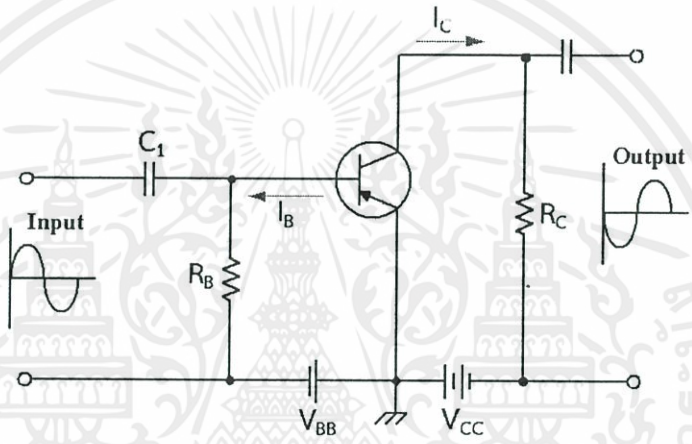
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรขยายคอลเล็คเตอร์ร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

การทำงานของวงจรขยายคอลเล็คเตอร์ร่วม (Common Collector Amplifier) โดยการป้อนสัญญาณ Input เข้าที่ขา Base (B) ทำให้กระแส I_B ไหลเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่ป้อนเข้ามา จึงมีผลทำให้กระแส I_E ไหลเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จากผลของการป้อนสัญญาณเข้าทาง Input ทำให้ระดับแรงดัน Input เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ระดับแรงดัน Output เปลี่ยนแปลงตาม จึงทำให้เกิดการขยายสัญญาณขึ้น จากวงจรจะเห็นได้ว่า ความต้านทาน R_B และ ความต้านทาน R_E อยู่ในช่วง Loop เดียวกัน เหมือนกับ เป็นวงจรแบ่งแรงดัน สัญญาณที่ป้อนที่ขา Base (B) และออกที่ขา Emitter (E) จึงแบ่งกันตกคร่อม เราจึงเรียกวงจรนี้อีกอย่างหนึ่งว่า Emitter Follower ซึ่งสัญญาณที่ Input และสัญญาณที่Output มีเฟสเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม (Common Emitter Amplifier)

เป็นวงจรที่เอาขา Emitter (E) เป็นขาร่วมระหว่าง Input กับ Output โดยป้อนสัญญาณ Input เข้าที่ขา Base (B) และ Output ออกที่ขา Collector (C) ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมโดยใช้ ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

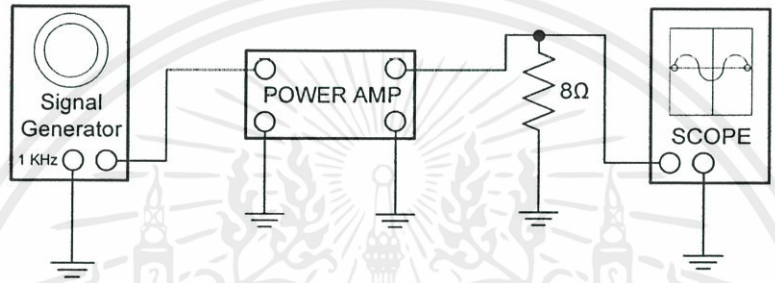
การทำงานของวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม (Common Emitter Amplifier) โดยการป้อนสัญญาณ Input เข้าที่ขา Base (B) ทำให้กระแส I_B เปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณ Input ในขณะที่สัญญาณ Input ครึ่งบวกเข้ามาทำให้ขั้วบนของความต้านทาน R_B มีศักย์เป็นบวกและขั้วล่างมีศักย์เป็นลบ ไปอนุกรมต้านกับ แรงดัน V_{BB} ทำให้กระแส I_B ไหลน้อยลง เป็นผลให้กระแส I_C ไหลน้อยลงตาม แรงดันตกคร่อมที่ความต้านทาน R_C จึงเป็นบวกน้อยลงหรือ เป็นลบมากขึ้น ในขณะที่สัญญาณ Input ครึ่งลบเข้ามาจะทำ ให้ขั้วบนของ R_B มีศักย์เป็นลบและขั้วล่างมีศักย์เป็นบวกไปอนุกรมเสริมกับ แรงดัน V_{BB} ทำให้กระแส I_B ไหลมากขึ้นกระแส I_C จึงไหลมากขึ้นตาม จึงทา ให้แรงดัน ตกคร่อมที่ R_C เป็นบวกมากขึ้น ดังนั้น เราจะเห็นได้ว่า สัญญาณ Input กับ Output มีเฟสตรงกันข้ามกันอยู่ 180 องศา หรือ Out off Phase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การทดสอบคุณสมบัติของวงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30W MONO

1) การวัดกำลังของเพาเวอร์แอมป์ (Power Rating)

กำลังที่ขับออกลำโพง เป็นกำลังต่อเนื่อง (Continuous RMS Power) กำลังที่พูดถึงนี้เป็นกำลังเฉลี่ยต่อเนื่องในหน่วย Watts RMS



รูปที่ 3.11 การวัดกำลังต่อเนื่องของเพาเวอร์แอมป์

วิธีการวัดกำลังต่อเนื่องของเพาเวอร์แอมป์

1) ต่ออุปกรณ์ตามรูป 3.11

2) ปรับปุ่มลดสัญญาณของเครื่องกำเนิดสัญญาณลงต่ำที่สุด และตั้งความถี่ 1 KHz

3) ค่อยๆเร่งปุ่มลดสัญญาณของเครื่องกำเนิดสัญญาณฯแล้วสังเกตรูปคลื่นบนจอออสซิลโลสโคปเร่งสัญญาณรูปคลื่น เริ่มจะคลิป อ่านค่าแรงดันยอดคลื่น (V_{p-p} หรือ Peak to Peak Voltage)

4) คำนวณหากำลังได้จากสูตร

$$P_{rms} = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

หรือ $$P_{rms} = \frac{V_{rms}^2}{8}$$ เพราะใช้โหลด 8 Ω

$$V_{rms} = \frac{V_{p-p}}{2\sqrt{2}} \qquad (V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}})$$

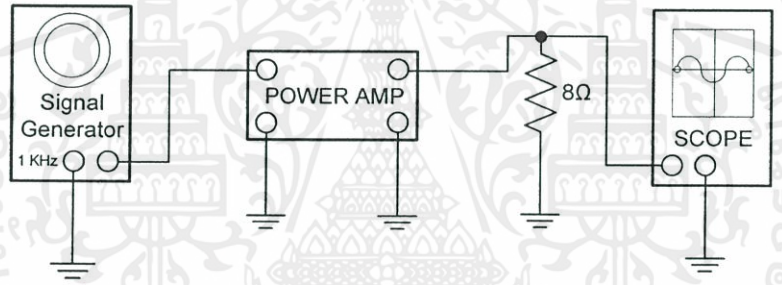
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \quad P_{rms} = \frac{V_{p-p}^2}{8 \times 8}$$

2) ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ (Total Harmonics Distortion)

ในการบ่งบอกถึงปริมาณความเพี้ยนของรูปคลื่นที่ต่างไปจากความถี่มูลฐาน ทำได้โดยรวมขนาดของฮาร์มอนิกส์ตั้งแต่ลำดับที่สองขึ้นไป แล้วนำมาหารด้วยขนาดของความถี่มูลฐาน หน่วยวัดที่ใช้โดยทั่วไปจะบอกเป็นเปอร์เซนต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ ดังสมการ

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2} (Vn)^2}{(V_1)^2}} \times 100$$

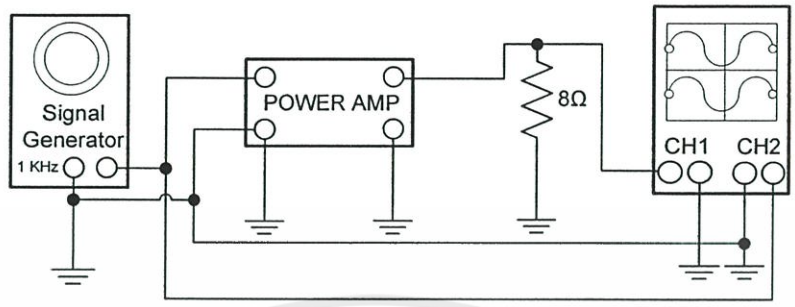


รูปที่ 3.12 การวัดความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์

3) การตอบสนองความถี่ (Frequency Response)

3.1) การตอบสนองความทางขนาดเป็นคุณสมบัติข้อสำคัญข้อหนึ่งของเครื่องขยายเสียง โดยเงื่อนไขการวัดนั้นใช้ขนาดสัญญาณอินพุทเท่ากันที่ความถี่ตอบสนองต่ำสุดและสูงสุด แรงดันสัญญาณเอาท์พุตจะต้องตกลงไม่เกิน 3 dB หรือต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.707 เท่าของค่าสูงสุดที่ความถี่ขนาดกลาง (1 KHz) หรือกำลังต้องไม่ตกลงไม่เกินครึ่งหนึ่ง ($P = V^2/R$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การวัดการตอบสนองทางขนาด

วิธีการวัดการตอบสนองความถี่

1) ต่ออุปกรณ์ตามรูป 3.13

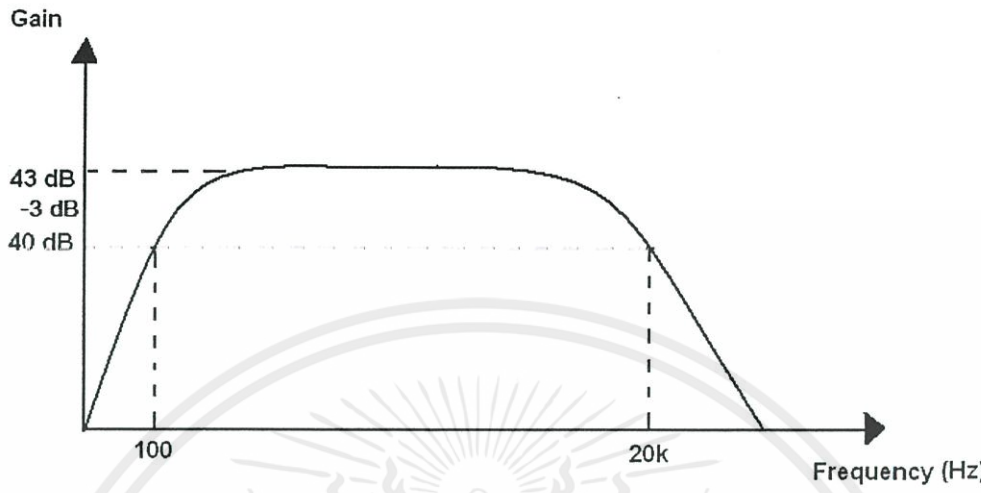
2) ตั้งความถี่เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ 1 KHz ปรับปุ่มเพิ่มขนาดของสัญญาณจนรูปคลื่นบนจอสโคปสูงสุด (ไม่คลิป) อ่านค่าขนาดของแรงดันอินพุทจาก CH_2 (V_{in}) และค่าแรงดันเอาท์พุตจาก CH_1 (V_o)

3) เปลี่ยนความถี่ Signal Generator จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ จากความถี่ต่ำสุดประมาณ 10 Hz แล้วบันทึกค่า V_{in} และ V_o จาก CH_2 และ CH_1

4) เปลี่ยนความถี่ Signal Generator จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เพิ่มขึ้นไปจนถึง 1MHz แล้วบันทึกค่า V_{in} และ V_o จาก CH_2 และ CH_1

5) นำค่า $20\log V_o/ V_{in}$ และค่าความถี่มาเขียนกราฟชนิด Semilog โดยให้แกนความถี่เป็นแกน X ซึ่งเป็นแกนแบบ log และค่า $20\log V_o/ V_{in}$ หรือค่ากำลังเป็นแกน Y ซึ่งเป็นแกน linear

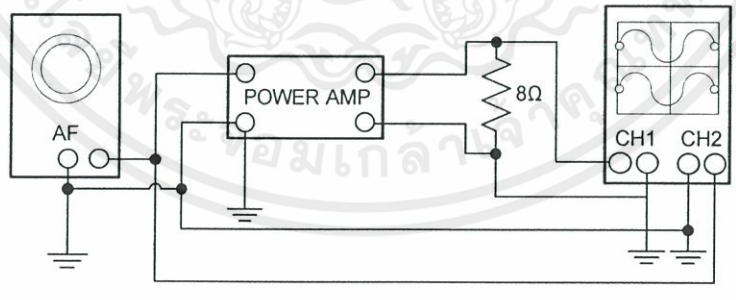
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างกราฟระหว่างความถี่และกำลัง (dB) ของเพาเวอร์แอมป์

จากรูปที่ 3.14 ตัวอย่างกราฟระหว่างความถี่และกำลัง (dB) ของเพาเวอร์แอมป์ มี gain ขยาย 43 dB f_L ความถี่ตัดทางต่ำ (Low Cut Frequency) เท่ากับ 100 Hz และ f_H ความถี่ตัดทางสูง (High Cut Frequency) เท่ากับ 20 KHz

3.2) การตอบสนองความทางเฟส



รูปที่ 3.15 การวัดการตอบสนองทางเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวัดเฟสระหว่างอินพุทกับเอาท์พุท

1) ต่ออุปกรณ์ตามรูป 3.15

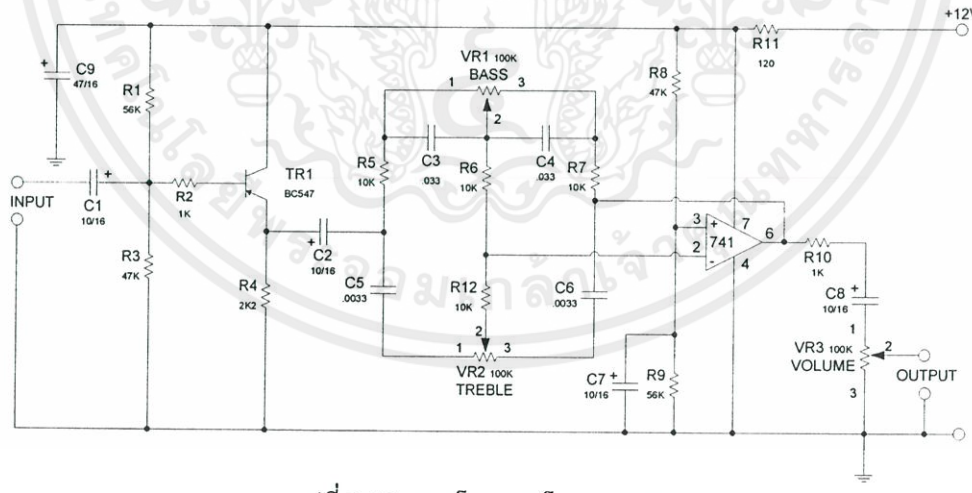
2) เปลี่ยนความถี่ Signal Generator จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ จากความถี่ต่ำสุดประมาณ 10 Hz แล้วบันทึกค่า V_{in} และ V_o จาก CH_2 และ CH_1

3) เปลี่ยนความถี่ Signal Generator จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เพิ่มขึ้นไปจนถึง 1MHz แล้วบันทึกค่า V_{in} และ V_o จาก CH_2 และ CH_1

4) แล้วเปรียบเทียบเฟสของรูปคลื่นทางอินพุทกับเอ้าท์พุทของเพาเวอร์แอมป์จาก CH_2 และ CH_1

3.1.5 วงจรโทนคอนโทรล MONO

ทำหน้าที่ต่อกับวงจรวงจรเพาเวอร์แอมป์ เพื่อปรับเสียงทุ้มและแหลมในตัว รวมทั้งมีตัวเร่งเร่งลดเสียง เพื่อทำการควบคุมเสียงได้ตามต้องการ จากรูปที่ 3.16 เป็นวงจรโทรคอนโทรล MONO



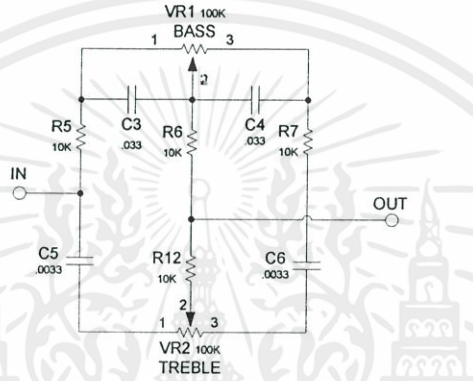
รูปที่ 3.16 วงจรโทรคอนโทรล MONO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5.1 หลักการของวงจรโทรคอนโทรล MONO

วงจรควบคุมปรับแต่งเสียงทุ้มและแหลม เรียกว่า วงจรโทนคอนโทรล (Tone Control Circuit) มี 2 แบบ

1) Passive Tone Control คือ ใช้อุปกรณ์ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่ กรองความถี่ ปรับค่าได้ แบบพาสซีฟ ดังรูปที่ 3.17



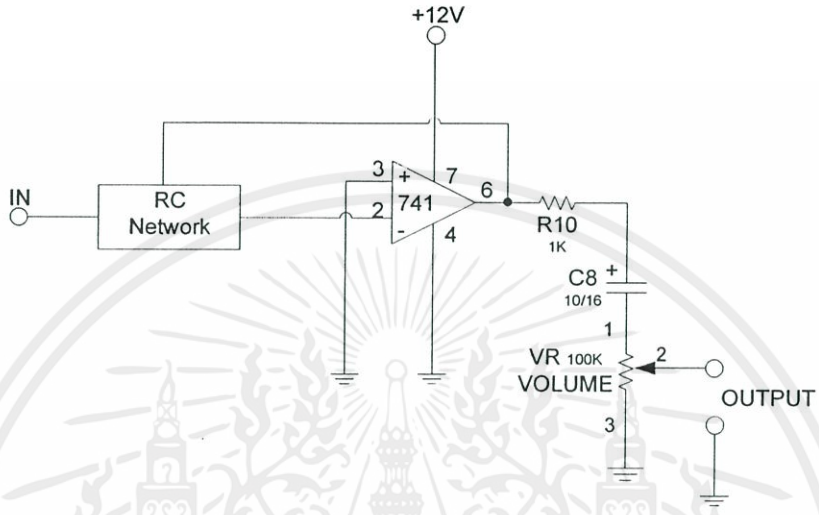
รูปที่ 3.17 ชุดควบคุมเสียงทุ้ม-แหลม (Passive Tone Control)

- ควบคุมวงจรเสียงทุ้ม (BASS) ตามรูปภาพที่ หากมีการปรับโวลุ่ม VR1 ไปทางตัวต้านทาน R5 ย่อมทำให้ C3 ถูกลัดวงจร ช่วยเพิ่มเสียงทุ้มที่ได้ให้มีความหนักแน่น เรียกว่า การบูสต์ (Boost) และถ้าหากมีปรับ VR2 หมุนไปทาง R7 ย่อมทำให้ C4 ถูกลัดวงจร อัตราการขยายลดลง เสียงทุ้มก็จะลดลง และเพื่อป้องกันการบกวนจากความถี่สูง จึงมี C3 กับ C4 มาทำหน้าที่โดยมิให้เสียงแหลมผ่านเข้ามาได้

- ควบควบวงจรเสียงแหลม (TREBLE) ตามรูปภาพที่ ตัวเก็บประจุ C5 กับ C6 ทำหน้าป้องกันไม่ให้ความถี่ต่ำเข้ามารบกวน ให้เสียงสูงผ่านตลอดทุกย่านความถี่ โดย R12 ทำการต่ออนุกรมกับ VR2 หากมีการปรับ VR2 ไปทาง C5 ทำให้ค่าความต้านทานของ VR2 น้อยลง อัตราการขยายสูงขึ้น เสียงแหลมที่ได้จะมีค่าสูงขึ้น หากมีการปรับ VR2 ไปทาง C6 ทำให้ค่าความต้านทานของ VR2 เพิ่มสูงขึ้น อัตราการขยายลดลง เป็นการลดเสียงแหลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Active Tone Control คือ ใช้ทรานซิสเตอร์และไอซีออปแอมป์ต่อร่วมกับอุปกรณ์ Passive Tone Control ช่วยให้อัตราขยายแรงดันสูงขึ้น ดังรูป 3.18



รูปที่ 3.18 ชุดขยายเสียง (Active Tone Control)

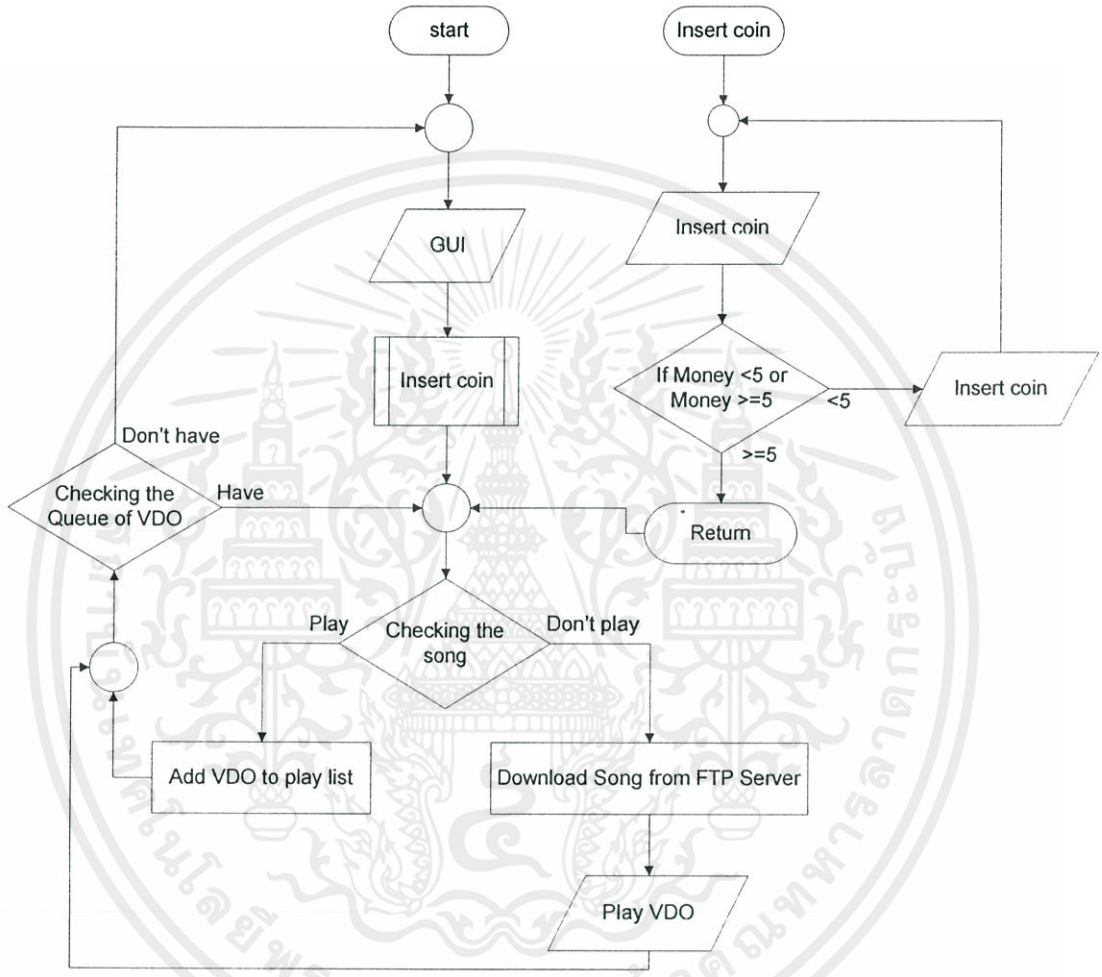
- ทำหน้าที่เหมือนวงจรกรองความถี่โดยปรับค่าได้จาก ที่ขา inverting (ขา 3) เป็นเทคนิคการสร้างกราวด์เทียมเพื่อให้ LM741 ทำงานได้กับไฟเลี้ยงเดี่ยว

3.1.4.2 การทำงานของวงจรโทรคอนโทรล MONO จากรูปที่ 3.16

สัญญาณที่ป้อนเข้าที่จุดอินพุต จะผ่าน C_1, R_1 เข้า TR_1 โดย TR_1 จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ขยายเสียงเท่ากับ 1 สัญญาณจะออก มาขา E ของ TR_1 ผ่าน C_2 ไปเข้าชุดควบคุมการปรับเสียงทุ้ม-แหลม สัญญาณเสียงทุ้มจะผ่านทาง R5 ออกทางขากลาง VR_1 ผ่าน R_6 มา เข้าขา 2 ของ IC ส่วนสัญญาณเสียงแหลมจะผ่าน C_5 ผ่านขากลาง VR_3 ผ่าน R_{12} มารวมกับเสียงทุ้มที่ขา 2 เช่นกัน สัญญาณทั้งสองที่ถูกปรับแต่งแล้วจะถูกขยายโดย IC1 ขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับไม่เกิน 1 Vp-p ออกทางขา 6 ผ่าน R10, R8 เข้า VR3 ซึ่ง VR ตัวนี้จะทำหน้าที่เร่ง-ลดเสียงเพื่อส่งออกไปจุด OUT ต่อไป ที่ขา 6 ของ IC ป้อนกลับผ่าน R1 และ C6 ไปเข้า VR2 เพื่อส่งไปทำหน้าที่ บูส-คัทสัญญาณ (การบูส หมายถึงการเพิ่มความแรงของสัญญาณ การคัทหมายถึงการลดทอนความแรงของสัญญาณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของตู้เพลง



รูปที่ 3.19 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของตู้เพลง

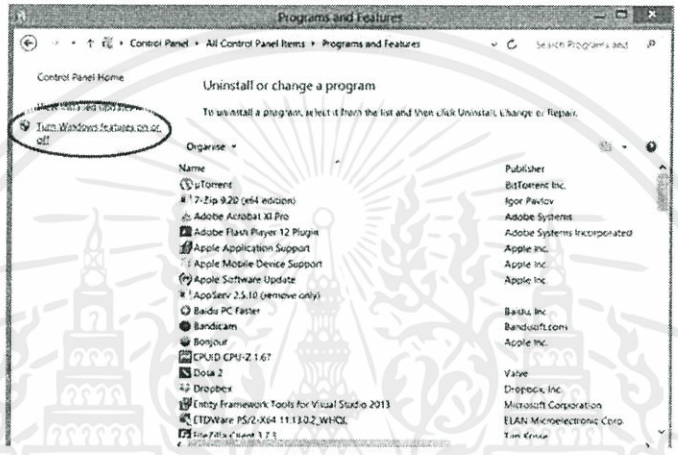
จากรูปที่ 3.19 เป็นการแสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของตู้เพลง เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานจะแสดง Graphic user interface (GUI) ผู้ใช้ต้องการทำหยอดเหรียญ ให้ครบตามจำนวนที่กำหนด เมื่อหยอดเหรียญครบแล้วจะสามารถใส่รหัสเพลงได้ โปรแกรมจะเช็คว่ามีเพลงกำลังเล่นอยู่หรือไม่ ถ้ามีเพลงเล่นอยู่ จะนำเพลงเข้า Playlist แต่ถ้าไม่มีเพลงเล่นอยู่ จะ Download เพลงจาก FTP Server เมื่อเล่นเพลงจบ จะมีการเช็คว่ามี Queue อยู่หรือไม่ ถ้ามี Queue จะวนกลับไปเช็คว่ามีเพลงเล่นอยู่ไหม ถ้าไม่มี Queue จะวนกลับไปหน้า GUI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างเซิร์ฟเวอร์

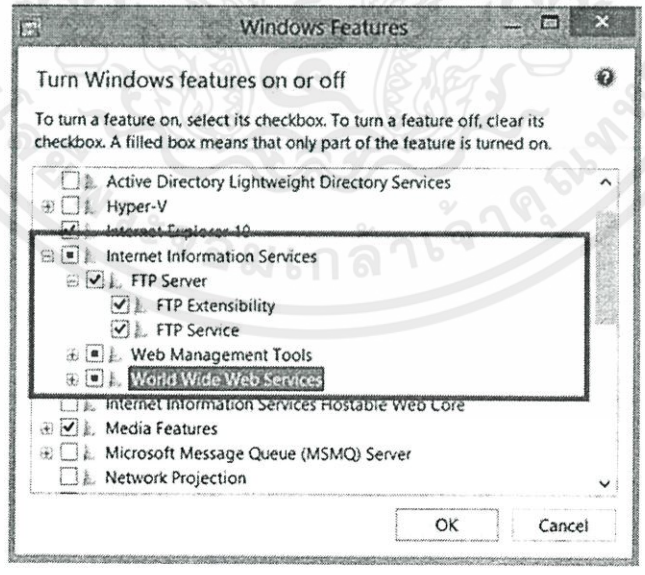
3.3.1 ขั้นตอนการสร้าง FTP Server by window

1. เลือก control Panel > Turn Windows features in or off ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ขั้นตอนที่ 1 ในการสร้าง FTP Server by window

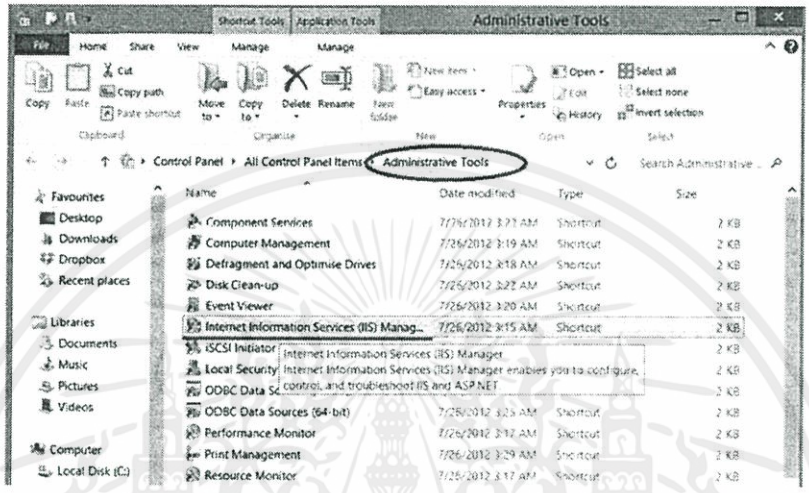
2. เลือก Folder ตรงช่องในกรอบสีแดง ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ขั้นตอนที่ 2 ในการสร้าง FTP Server by window

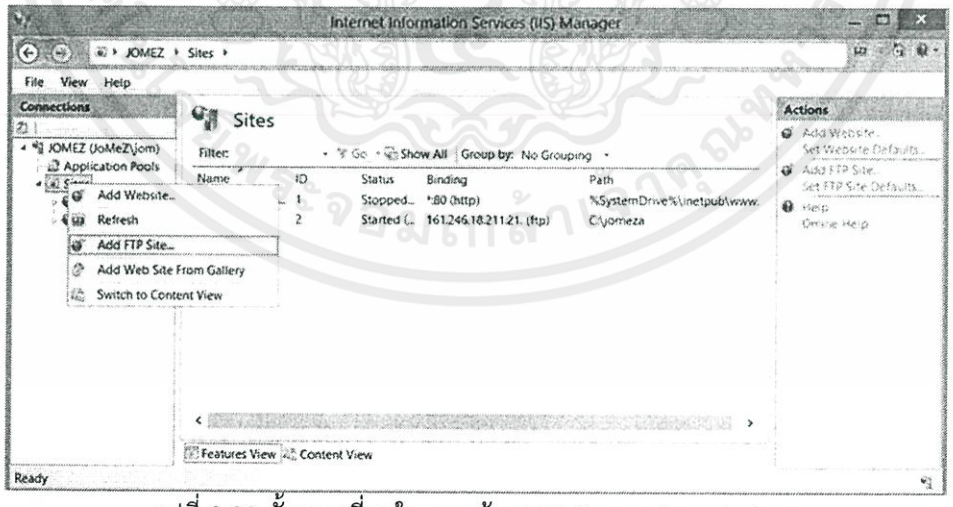
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กลับไปที่หน้า Control Panel > Administrative Tools > Internet Information Services Manager ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ขั้นตอนที่ 3 ในการสร้าง FTP Server by window

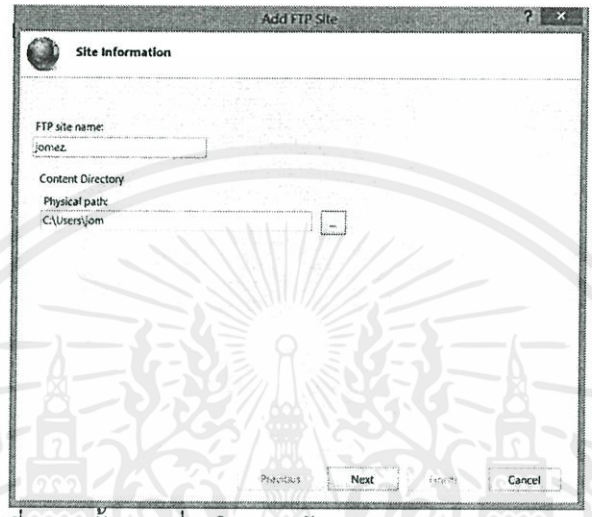
4. ดูด้านซ้าย คลิกขยาย ไปจนถึงคำว่า Site > คลิกขวา เลือก Add FTP Site ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ขั้นตอนที่ 4 ในการสร้าง FTP Server by window

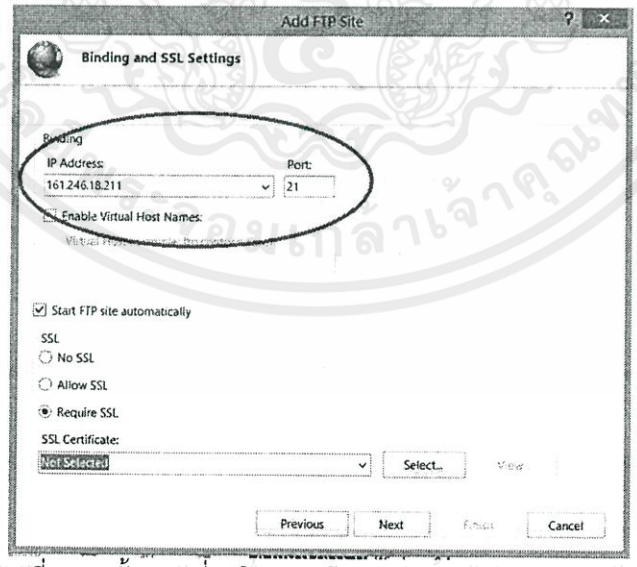
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ตั้งชื่อ FTP Site และ กำหนด path ปลายทางของการเก็บข้อมูล จากนั้นกด Next ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ขั้นตอนที่ 5 ในการสร้าง FTP Server by window

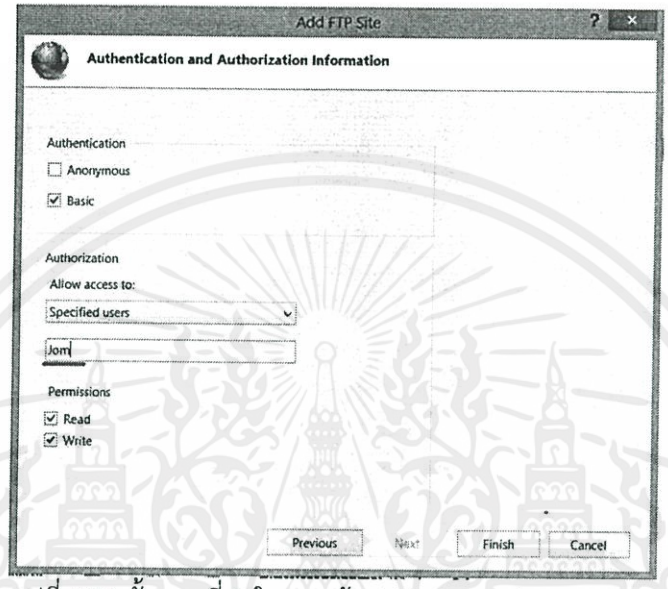
6. กำหนด IP Address กับ Port ปลายทาง และเลือก require SSL จากนั้นกด Next ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ขั้นตอนที่ 6 ในการสร้าง FTP Server by window

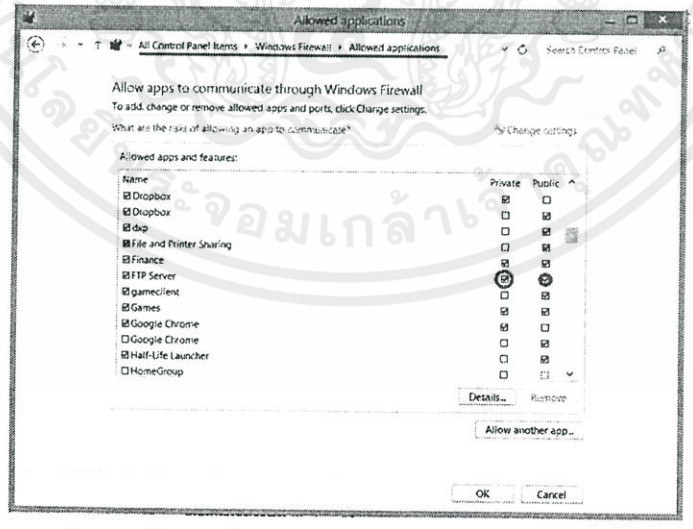
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เลือกชนิดการระบุตัวตน ในที่นี้ให้ระบุตัวตนการเข้า Server เป็นชื่อคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ และกำหนดสิทธิในการแก้ไขไฟล์ คลิก Finish ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ขั้นตอนที่ 7 ในการสร้าง FTP Server by window

8. ขั้นตอนสุดท้าย ปิด window firewall และเลือก allowed applications > change settings > กดถูกตรง FTP Server ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ขั้นตอนที่ 8 ในการสร้าง FTP Server by window

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1. Raspberry Pi

3.4.2. มินิบอร์ด R-Pi I/O

3.4.3. เครื่องหยอดเหรียญ

3.4.4. ฮับ (TE100-DX16 - TRENDnet)

3.4.5. คอมพิวเตอร์ (เซิร์ฟเวอร์)

3.4.6. สาย LAN (RJ 45)

3.4.7. จอ TFT-LCD color Monitor 4.3"

3.4.8. ลำโพง

3.4.9. คีบอร์ด

3.4.10. เม้าส์

3.4.11. วงจรโทรคอนโทรล MONO

3.4.12. วงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30 W MONO

3.5 การจัดเก็บผลการทดลอง

1. การติดต่อระหว่างเครื่องหยอดเหรียญกับ Raspberry Pi ว่าเมื่อหยอดเหรียญจะได้รับสัญญาณอย่างไร

2. วัดสัญญาณกำลังงานของ Power Amplifier วัดความเพี้ยนฮารมอนิกส์ และวัดตอบสนองความถี่

3. จำลองผลการทดลองด้วยโปรแกรม Pspice กับผลการทดลองจริง

4. วัดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับความถี่ของโทนคอนโทรล

5. ใช้โปรแกรม Wireshark ตรวจสอบผลการส่งข้อมูลระหว่าง เครื่องเซิร์ฟเวอร์กับ Raspberry Pi ในกรณีตรวจสอบเพลง และดาวน์โหลดพลงจาก Server

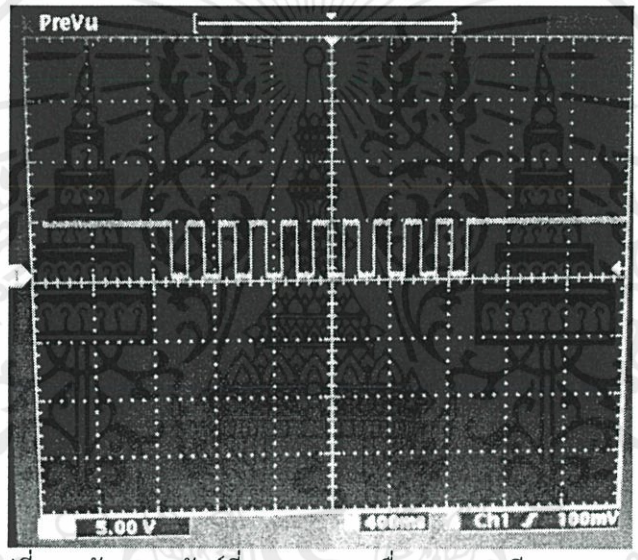
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วงจรเครื่องหยอดเหรียญ

ในส่วนของเครื่องหยอดเหรียญอัตโนมัติสามารถรับเหรียญได้ 3 ประเภทคือ เหรียญ 1 บาท เหรียญ 5 บาท และเหรียญ 10 บาท ซึ่งแสดงตัวอย่างเอาต์พุตที่ออกมาจะอยู่ในรูปของสัญญาณพัลส์ 10 พัลส์ขนาด 5 โวลต์ ดังรูป



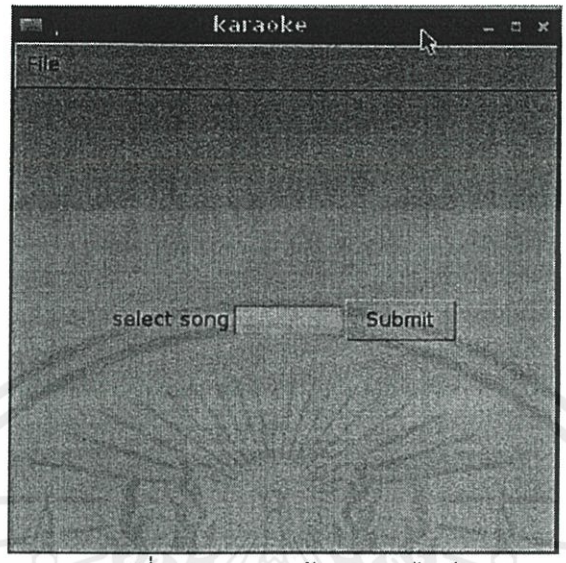
รูปที่ 4.1 สัญญาณพัลส์ที่ออกมาจากเครื่องหยอดเหรียญ 10 บาท

4.2 ส่วนของ Raspberry Pi

4.2.1 ส่วนของ GUI (Graphical User Interface) ของ Raspberry Pi

แสดงหน้าอินเตอร์เฟซของตู้เพลงหยอดเหรียญ Online โดยเมื่อทำการใส่รหัสเพลงแล้วกดปุ่ม submit โปรแกรมก็จะทำการเล่นเพลงตามรหัสที่ได้กำหนดไว้

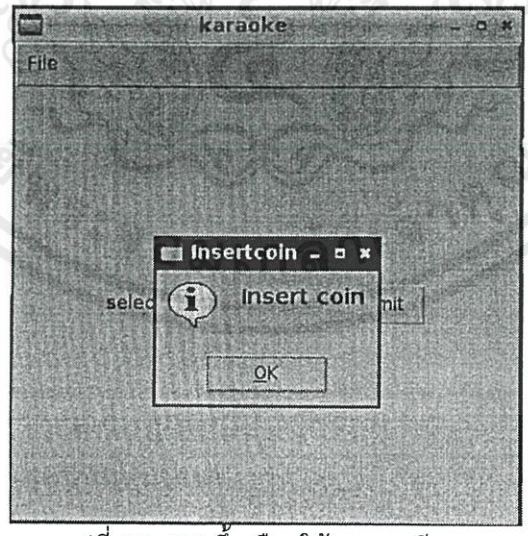
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 GUI ของตู้เพลงออนไลน์

4.2.2 ส่วนของ Raspberry Pi กับเครื่องหยอดเหรียญ

ในส่วนนี้ทางผู้จัดทำได้กำหนดราคาต่อเพลง เพลงละ 5 บาท โดยทำการหยอดเหรียญก่อนเลือกเพลง แล้วจึงใส่รหัสเพลงตามต้องการ ถ้าไม่มีการหยอดเหรียญก่อนใส่รหัสเพลง โปรแกรมจะแจ้งเตือนให้ผู้ที่เล่นเพลงทราบ



รูปที่ 4.3 GUI ขึ้นเตือนให้หยอดเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

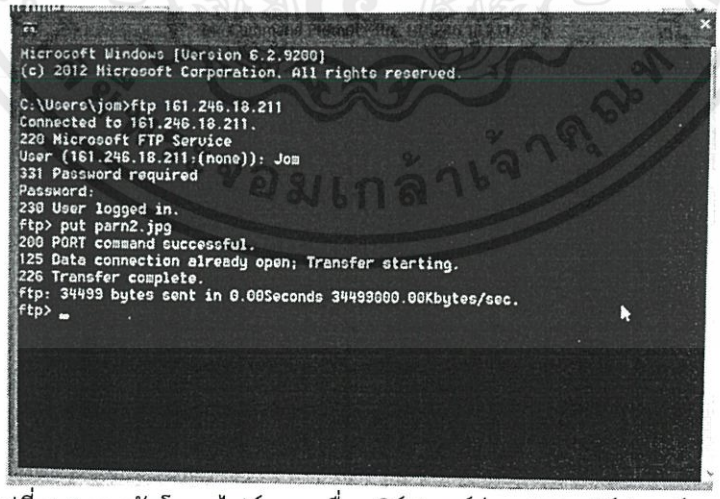
โปรแกรมกำลังเล่นเพลงตามที่ผู้เล่นได้ใส่รหัสเพลง

รูปที่ 4.4 เล่นวิดีโอเพลงตามรหัสที่ได้ใส่ในหน้า GUI

4.3 ส่วนของเซิร์ฟเวอร์

4.3.1 ส่วนของฝั่งเครื่องเซิร์ฟเวอร์

การส่งข้อมูล จากฝั่งเครื่องเซิร์ฟเวอร์ ไปยัง IP address ของ FTP server โดยใช้ DOS FTP on Command line

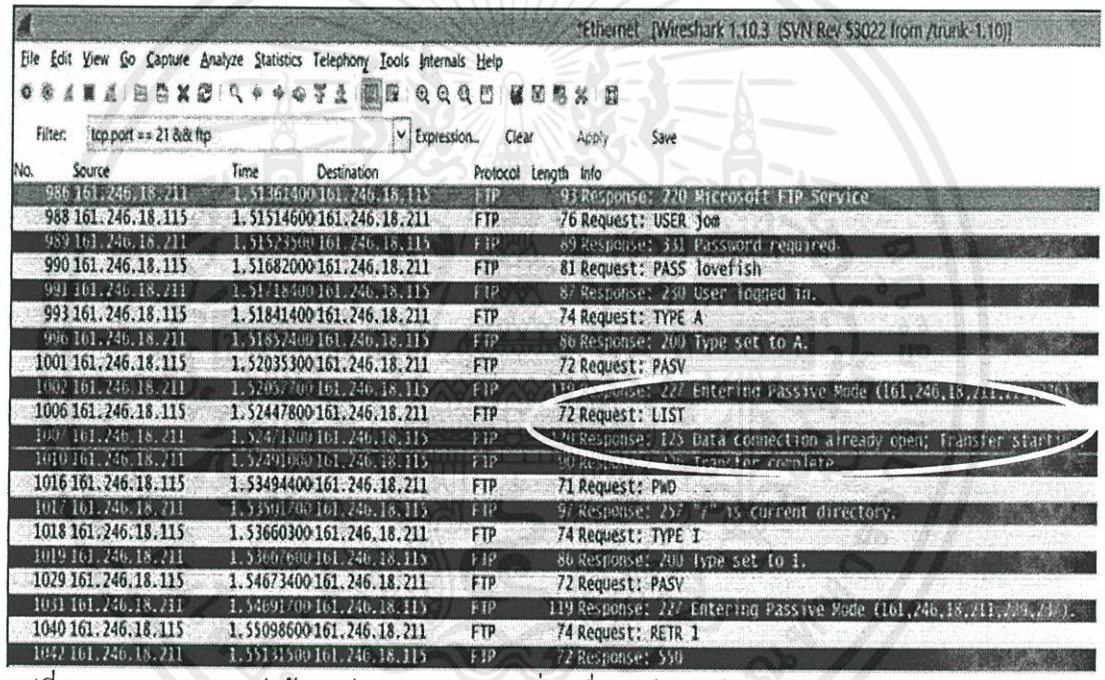


รูปที่ 4.5 การอัพโหลดไฟล์จากเครื่องเซิร์ฟเวอร์ผ่าน FTP เซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.1 การตรวจสอบการส่งข้อมูลผ่าน FTP Server ฝั่งเครื่องเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้โปรแกรม Wireshark

ใช้โปรแกรม Wireshark เพื่อทำการตรวจสอบการส่งข้อมูลผ่าน FTP เซิร์ฟเวอร์จากด้านของฝั่งเครื่องเซิร์ฟเวอร์ส่งไปยัง Raspberry Pi ในวงกลมของรูปที่ 4.6 แสดง IP Address Server และ IP Address client รูปแบบโปรโตคอล อีกทั้งยังแสดงรายละเอียดการส่งข้อมูล และแสดงผลเมื่อทำการส่งเสร็จสิ้น



รูปที่ 4.6 การตรวจสอบส่งข้อมูลผ่าน FTP Server ฝั่งเครื่องเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้โปรแกรม Wireshark

4.3.2 เซิร์ฟเวอร์ในส่วนของ Raspberry Pi

ในส่วนเซิร์ฟเวอร์ของ Raspberry Pi ทำการเขียน Code เชื่อมต่อกับฝั่งเครื่องเซิร์ฟเวอร์ เพื่อทำการดาวน์โหลดเพลงจากเครื่องเซิร์ฟเวอร์มาทำการเล่นเพลง โดยผ่าน FTP เซิร์ฟเวอร์

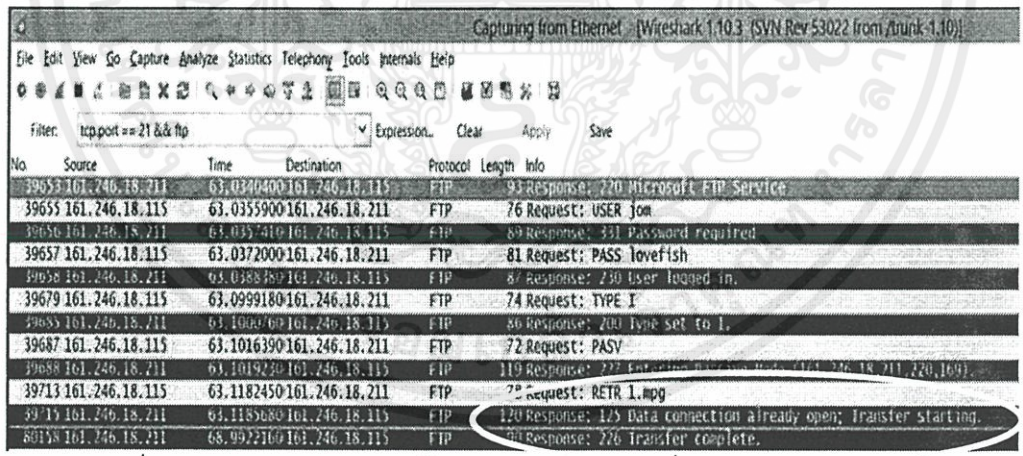
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                time.sleep(0.2)
if i >= 5:
        global load
        global a
        ftp = FTP("161.246.18.211")
        ftp.login("jom", "lovefish")
        a = song.get().strip() + str(".mpg")
        filename = a
        file = open(filename, 'wb')
        ftp.retrbinary('RETR %s' % filename, file.write)
        pygame.init
        screen = pygame.display.set_mode((352,240))
        pygame.mixer.quit()
        movie = pygame.movie.Movie(a)
```

รูปที่ 4.7 Code ของ Raspberry pi เพื่อดาวน์โหลดเพลงผ่าน FTP เซิร์ฟเวอร์

4.3.2.1 การตรวจสอบการรับข้อมูลผ่าน FTP Server ฝั่ง Raspberry Pi โดยใช้โปรแกรมWireshark

ใช้โปรแกรม Wireshark (เช็คจากฝั่ง server) เพื่อทำการตรวจสอบการส่งข้อมูลผ่าน FTP เซิร์ฟเวอร์จากด้านของฝั่ง Raspberry Pi ซึ่งรับเพลงจากเครื่อง server (161.246.18.211) และไปประมวลผลใน Raspberry Pi (161.246.18.115) โดยจากวงกลมในรูป 4.8 จะแสดงทั้งข้อมูลตอนกำลังส่งเพลงและตอนรับเพลงเสร็จ

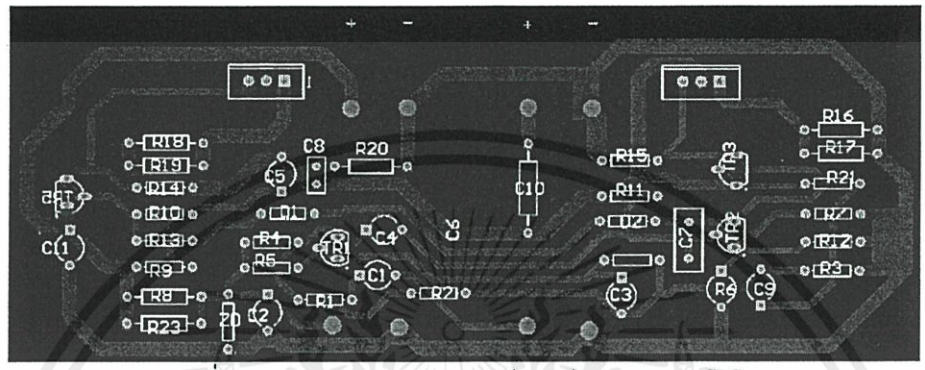


รูปที่ 4.8 การตรวจสอบการรับข้อมูลผ่าน FTP Server ฝั่ง Raspberry Pi โดยใช้โปรแกรม Wireshark

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

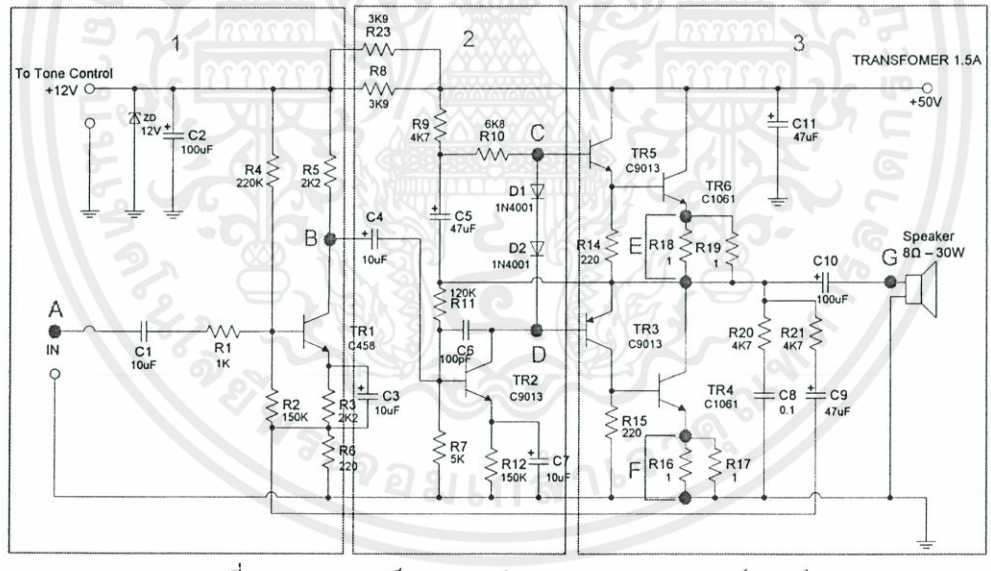
4.4 วงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30W โมโน

ใช้โปรแกรม Altium Designer ในการเขียนลายวงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30W โมโน



รูปที่ 4.9 PCB ของวงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30W โมโน

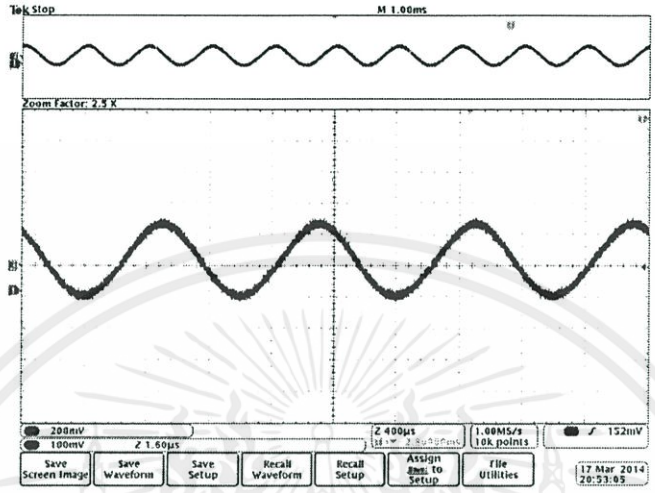
4.4.1 ผลการทำงานของเพาเวอร์แอมป์ในแต่ละส่วน



รูปที่ 4.10 จุดการเก็บผลการทำงานของวงจรเพาเวอร์แอมป์

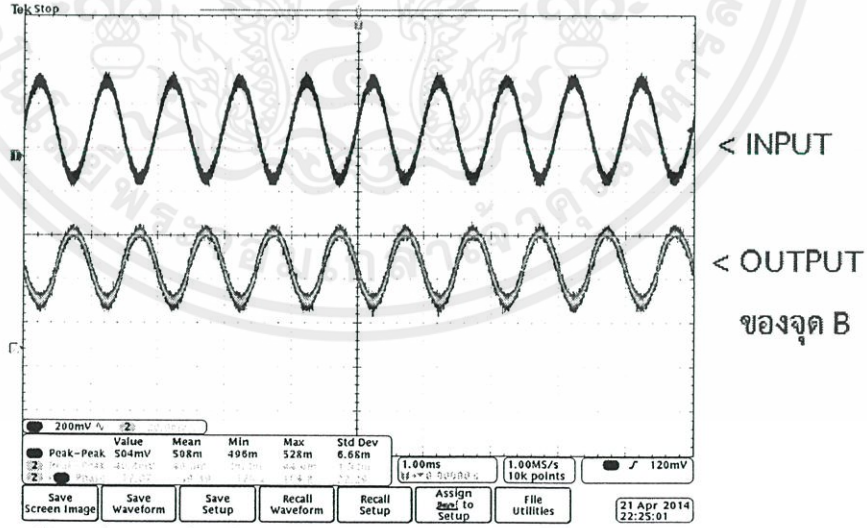
<u>ในส่วนที่ 1 ของจุด A จากรูปที่ 4.10</u> เป็นการวัดสัญญาณอินพุตของเพาเวอร์แอมป์ที่ความถี่ 1kHz สามารถวัดแรงดันยอดคลื่น (Peak to Peak Voltage) ได้ 520 mVp-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 อินพุตของวงจรเพาเวอร์แอมป์ ที่ความถี่ 1kHz ในส่วนที่ 1 ของจุด A

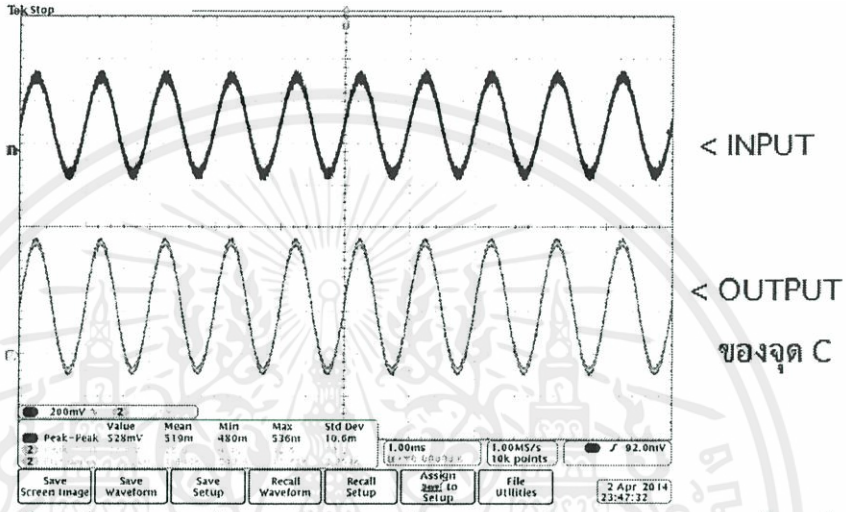
<u>ในส่วนที่ 1 ของจุด Bจากรูปที่ 4.10</u> ทรานซิสเตอร์เอาท์พุตที่จุด B เป็นทรานซิสเตอร์ต่อแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ ซึ่งจะได้เอาท์พุตที่กลับเฟสจากอินพุต 180 องศา แต่ gain จะถูกควบคุมด้วยความต้านทานป้อนกลับ R_{21} ให้มีเสถียรภาพตามข้อกำหนดของวงจร



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของวงจรเพาเวอร์แอมป์ในส่วนที่ 1 ของจุด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

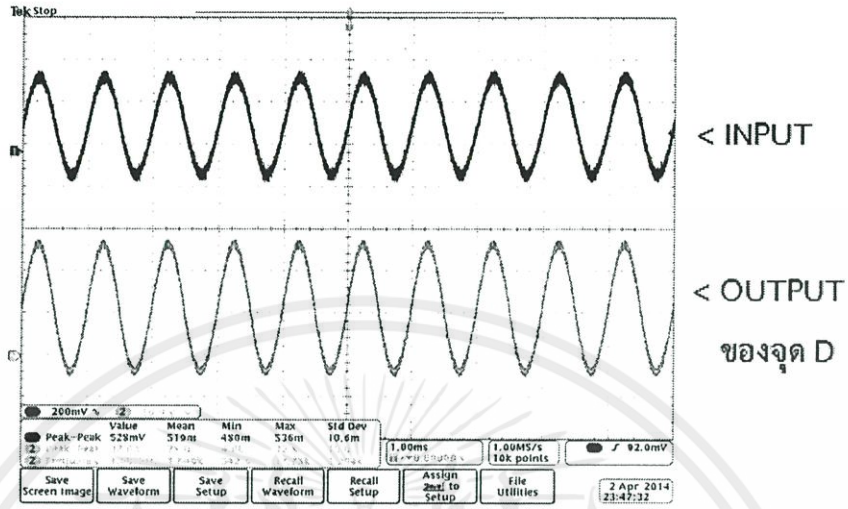
<u>ในส่วนที่ 2 ของจุด C จากรูปที่ 4.10</u> จะแสดงการวัดสัญญาณ 2 จุดคือ จุด C และจุด D จุด C จะเป็นการวัดสัญญาณที่ออกจาก TR2 โดยค่าอินพุตมีค่าเท่ากับ 520 mV และเอาท์พุตมีค่าเท่ากับ 30 V สามารถหาอัตราขยายของสัญญาณได้ประมาณ 57.7 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของวงจรเพาเวอร์แอมป์ในส่วนที่ 2 ของจุด C

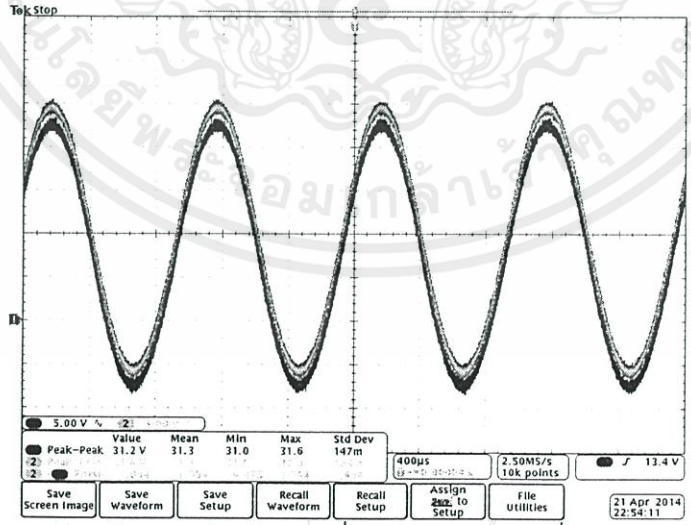
<u>จากรูปที่ 4.10 ในส่วนที่ 2 ของจุด D</u> โดยค่าอินพุตมีค่าเท่ากับ 520 mV และเอาท์พุตมีค่าเท่ากับ 29.6 V สามารถหาอัตราขยายของสัญญาณได้ประมาณ 56.9 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของวงจรเพาเวอร์แอมป์ในส่วนที่ 2 ของจุด D

เมื่อทำการสัญญาณเปรียบเทียบที่จุด C กับ จุด D เพื่อต้องการแก้ปัญหาการเกิดความผิดเพี้ยนระหว่างรอยต่อ (Cross over Distortion) ของคลาส เอบี จะทำการยกระดับแรงดับที่ป้อนให้กับทรานซิสเตอร์คลาส เอบี ด้วย Diode 2 ตัว (D_1, D_2) ทำให้แรงดันที่ จุด C และ จุด D มีค่าแรงดัน offset ต่างกันประมาณ 1.2 V จากรูปที่ 4.15 แสดงค่าแรงดันที่ จุด C และ จุด D พบว่ามีแรงดัน offset ต่างกัน 1.6 V

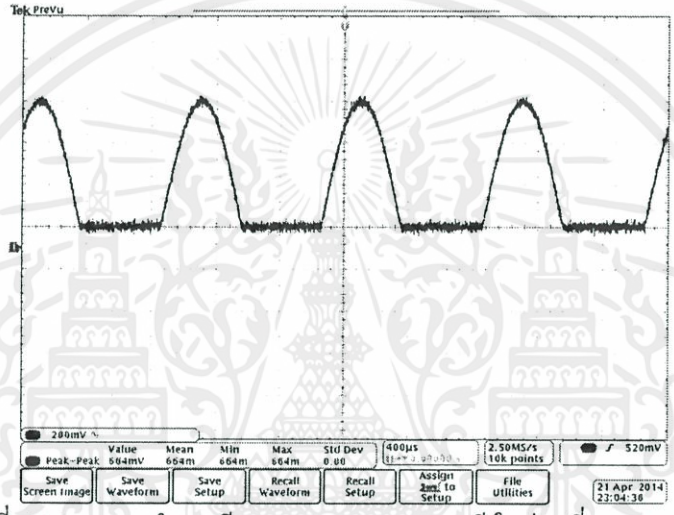


รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่จุด C และสัญญาณที่จุด D ของวงจรเพาเวอร์แอมป์

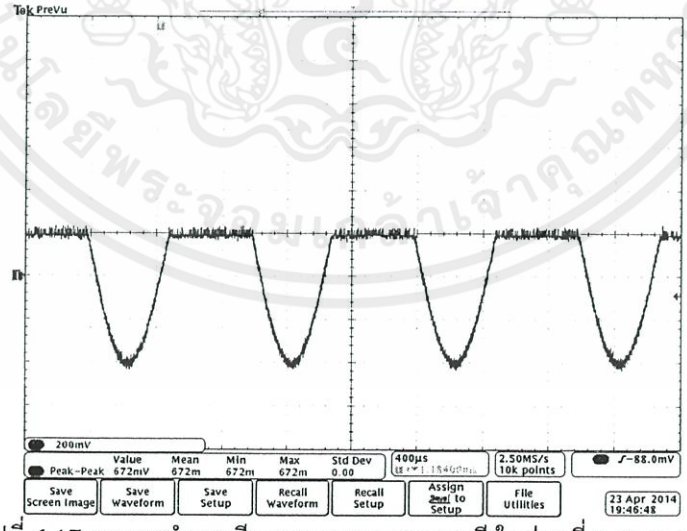
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อต้องการทดสอบว่าการทำงานของวงจรขยายคลาส เอบี ทำงานอย่างถูกต้อง (TR6 ทำงานเฉพาะซีกบวกและ TR4 ทำงานเฉพาะซีกลบ) จะทำได้โดยวัดกระแสที่ไหลผ่าน TR6 และ TR7 ในทางอ้อมโดยวัดจากแรงดันตกคร่อม R_{18} และ R_{16} (มีค่าเท่ากับ 0.5 Ω) ซึ่งแสดงดังรูป 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ พบว่ามีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 600 mV ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นกระแสเท่ากับ

$$\frac{600mV}{0.5\Omega} = 1.2A$$



รูปที่ 4.16 จุดการทำงานซีกบวกของวงจรคลาสเอบี ในส่วนที่ 3 ของจุด E



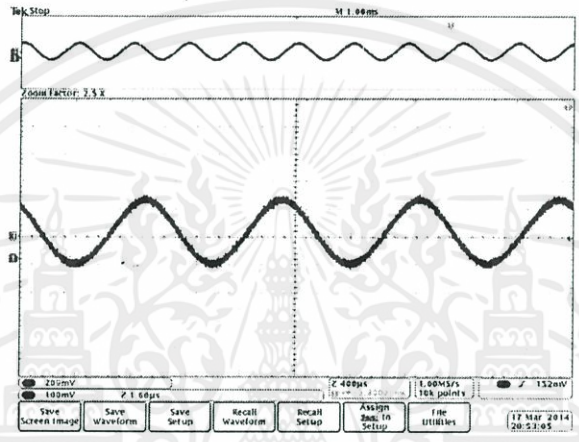
รูปที่ 4.17 จุดการทำงานซีกลบของวงจรคลาสเอบี ในส่วนที่ 3 ของจุด F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการทดลองคุณสมบัติของวงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30W MONO

1) การวัดกำลังของเพาเวอร์แอมป์ (Power Rating)

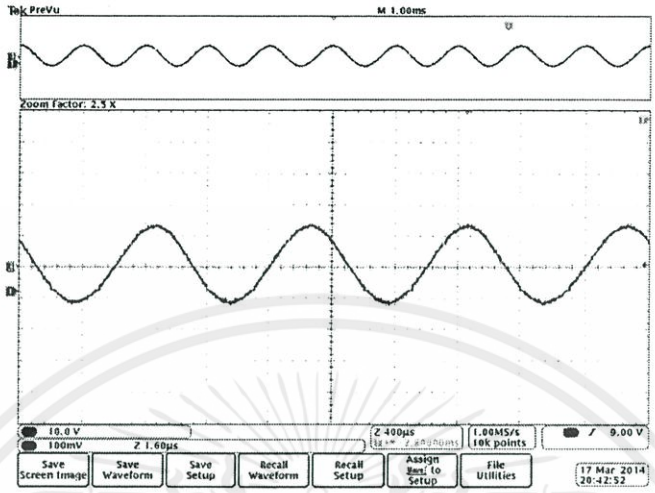
จากรูปที่ 4.10 เป็นการวัดสัญญาณอินพุตของเพาเวอร์แอมป์ ที่ความถี่ 1kHz สามารถวัดแรงดันยอดคลื่น (Peak to Peak Voltage) ได้ 520 mVp-p



รูปที่ 4.18 อินพุตของเพาเวอร์แอมป์ ที่ความถี่ 1kHz

การวัดกำลังของเพาเวอร์แอมป์ ทำการปรับปุ่มลดสัญญาณจาก Signal Generator ให้สัญญาณฯ ลงต่ำที่สุดและตั้งความถี่ที่ 1 KHz จากนั้นค่อยๆ เร่งปุ่มปรับสัญญาณของเครื่องกำเนิดสัญญาณฯ จนสัญญาณฯ มีค่าสูงสุด ก่อนที่รูปจะเกิดการคลิป และจากรูปที่ 4.18 เป็นการวัดสัญญาณ Output ของเพาเวอร์แอมป์ สามารถวัดแรงดันยอดคลื่น (Peak to Peak Voltage) ได้ 26 Vp-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 เอาท์พุตของเพาเวอร์แอมป์ ที่ความถี่ 1kHz

จากสมการ

$$P_{rms} = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

หรือ $P_{rms} = \frac{V_{rms}^2}{8}$ เพราะใช้โหลด 8 Ω

$$V_{rms} = \frac{V_{p-p}}{2\sqrt{2}} \quad (V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}})$$

จากรูปที่ 4.18 นำ Vp-p มาแทนค่าในสมการ

$$V_{rms} = \frac{26}{2\sqrt{2}}$$

$$= 9.19V$$

$$P_{rms} = \frac{(9.19)^2}{8}$$

$$= 10.57 \text{ Watts}$$

∴ กำลังของเพาเวอร์แอมป์ ที่ความถี่ 1 KHz มีค่าเท่ากับ 10.57 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 สามารถหา Gain ของพาวเวอร์แอมป์ (ที่ความถี่ 1 KH) ได้จาก $\frac{Vout}{Vin}$

จากสมการ

$$Gain = \frac{Vout}{Vin}$$

แทนค่า

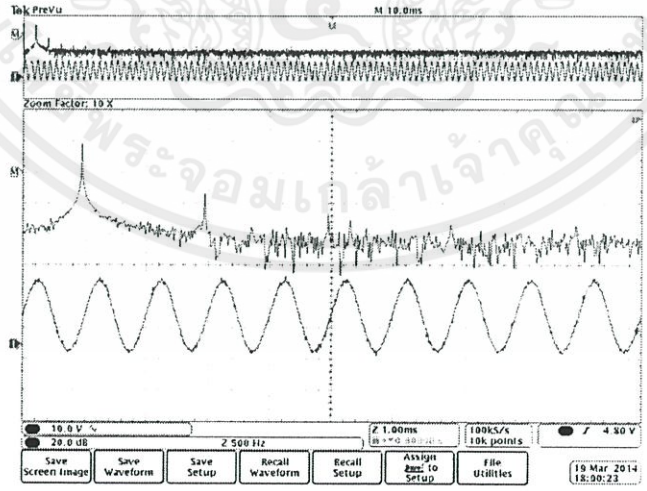
$$Gain = \frac{26V}{520mV}$$

$$= 50$$

∴ กำลังขยายของเพาเวอร์แอมป์ ที่ความถี่ 1 KHz มีค่าเท่ากับ 50 เท่า

2) ความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ (Total Harmonics Distortion)

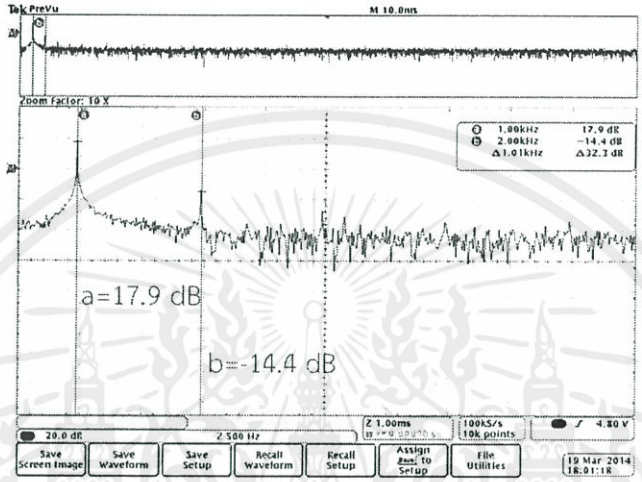
จากสัญญาณฯ รูปเดิม (แอมพลิจูดสูงสุดก่อนคลิป) ที่ความถี่ 1 KHz แล้วทำการวัดด้วย Oscilloscope โดยแปลงสัญญาณฯ รูปเดิมให้เป็น spectrum ที่ความถี่ 1 KHz (fundamental frequency) โดยใช้ฟังก์ชัน FFT เพื่อหาสัญญาณ Harmonic



รูปที่ 4.20 กราฟสัญญาณ output (Volt p-p) และ spectrum ที่ออกจากลำโพง

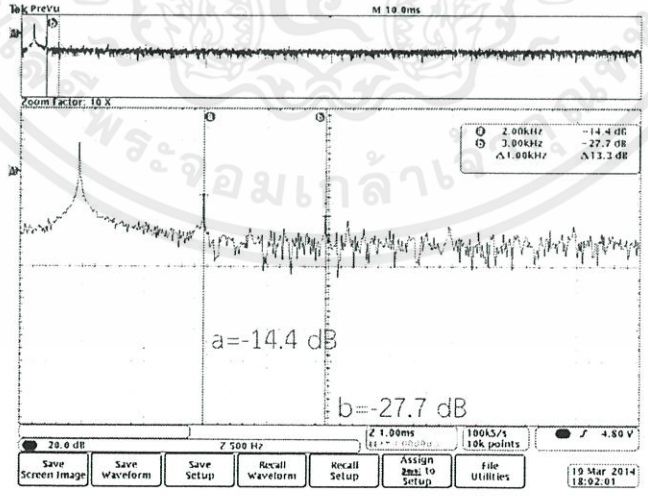
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณ Harmonic ที่ 1 (a) มีค่าเท่ากับ 17.9 dB และ Harmonic ที่ 2 (b) มีค่าเท่ากับ -14.4 dB



รูปที่ 4.21 สัญญาณ Harmonic ที่ 1 กับ Harmonic ที่ 2

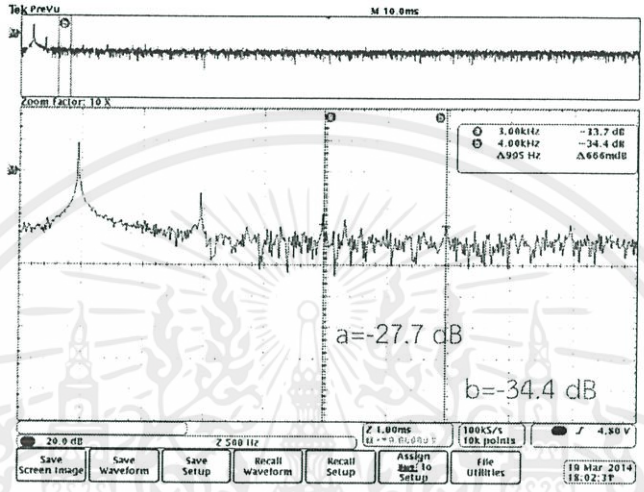
จากรูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณ Harmonic ที่ 2 (a) มีค่าเท่ากับ -14.4 dB และ Harmonic ที่ 3 (b) มีค่าเท่ากับ -27.7 dB



รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณ Harmonic ที่ 2 กับ Harmonic ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณ Harmonic ที่ 3 (a) มีค่าเท่ากับ -27.7 dB และ Harmonic ที่ 4 (b) มีค่าเท่ากับ -34.4 dB



รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณ Harmonic ที่ 3 กับ Harmonic ที่ 4

จากตารางที่ 4.1 บันทึกค่า Fundamental Frequency เปรียบเทียบกับสัญญาณ Harmonics จากนั้นแปลง สัญญาณ Harmonics เป็น Amplitude ratio (Volt)

	Fundamental Frequency (KHz)	ขนาดของ Harmonics (dB)	Amplitude ratio (Volt)
First Harmonics	1	17.9	7.85
Second Harmonics	2	-14.4	0.19
Third Harmonics	3	-27.7	0.041
Fourth Harmonics	4	-35.5	0.019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}(Vn)^2}{(V_1)^2}} \times 100$$

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2}}{V_1} \times 100$$

แทนค่าจากตารางที่ 4.1

$$THD = \frac{\sqrt{(0.19)^2 + (0.041)^2 + (0.019)^2}}{7.85} \times 100$$

$$\therefore THD = 2.5\%$$

$\therefore$ ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ (Total Harmonics Distortion) มีค่าเท่ากับ 2.5%

3) การตอบสนองความถี่ (Frequency Response)

3.1) การวัดการตอบสนองทางขนาด โดยการตั้งความถี่ที่ 1 KHz ปรับปุ่มเพิ่มขนาดของสัญญาณไปทางค่าต่ำและค่าสูง อ่านค่าแล้วจดบันทึกลงในตารางที่ 4.2 คือ ขนาดของแรงดันอินพุตและขนาดของแรงดันเอาท์พุต นำค่าเอาท์พุตที่ได้ แปลงเป็นแรงดันเอาพุตในหน่วย dB โดยคำนวณจากสูตร $20 \cdot \log_{10}(V_0 / V_{in})dB$

3.2) การวัดการตอบสนองทางเฟส วิธีการเก็บผลคล้ายกับวิธีการตอบสนองทางขนาด แต่เปลี่ยนมาตรจากมาตรวัดทางขนาดเป็นมาตรวัดทางเฟส

ตารางที่ 4.2 บันทึกค่าแรงดันเอาท์พุตและเฟสเมื่อเปลี่ยนความถี่เป็นค่าต่างๆ

Frequency (Hz)	Vout (V)	V (dB)	Phase (°)
10	7.1	28.08200635	-100
20	10.7	31.64451493	-95
30	18.7	36.4936715	-51
40	20.9	37.4597651	-46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

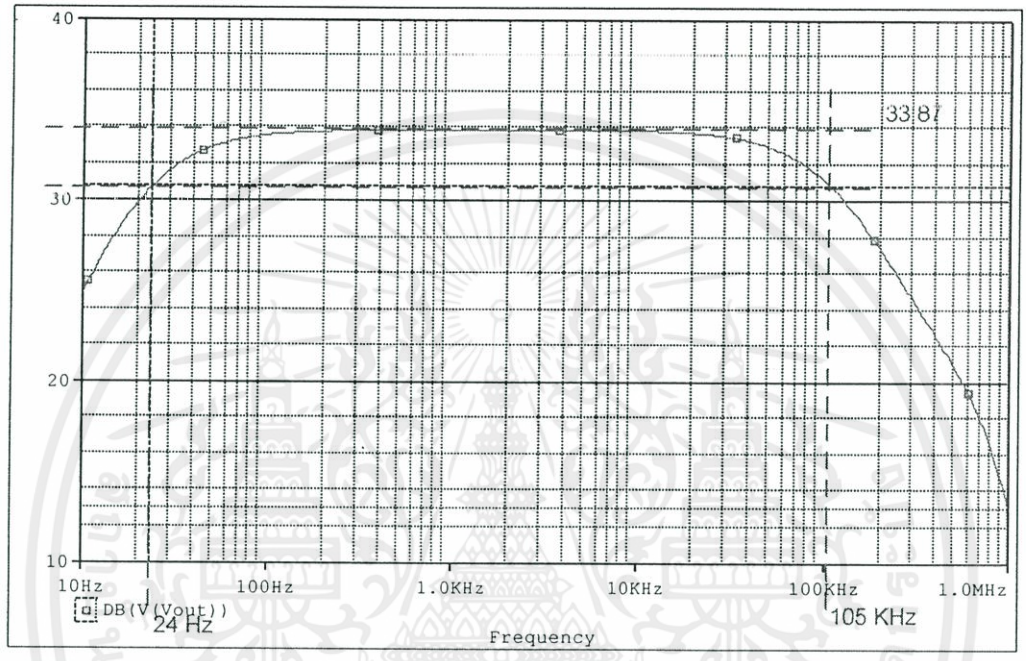
Frequency (Hz)	Vout (V)	V (dB)	Phase (°)
50	22.4	38.06179974	-33
60	22.8	38.21553631	-31
70	23.5	38.47819662	-27
80	24	38.66106421	-23
90	24	38.66106421	-21
100	24.5	38.84016106	-17
200	24.5	38.84016106	-10.5
300	24.5	38.84016106	-5.3
400	24.5	38.84016106	-3.2
500	24.5	38.84016106	-2.05
600	24.5	38.84016106	-1.9
700	24.5	38.84016106	-0.32
800	24.6	38.87554152	1.9
900	24.6	38.87554152	3
1000	25	39.01563955	2.2
2000	25	39.01563955	3.5
3000	25	39.01563955	3.9
4000	25	39.01563955	4.65
5000	25	39.01563955	5.07
6000	25	39.01563955	7.5
7000	25	39.01563955	8.5
8000	25	39.01563955	9.83
9000	25	39.01563955	12.64
10 K	25	39.01563955	15.24
20 K	24.6	38.87554152	16.81
30 K	24	38.66106421	24.09
40 K	23.5	38.47819662	25.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency (Hz)	Vout (V)	V (dB)	Phase (°)
50 K	22.9	38.25354902	36.02
60 K	22	37.90529299	42.32
70 K	20.8	37.41810607	43.96
80 K	20.3	37.20676013	44.71
90 K	19.9	37.0339009	46.67
100 K	19	36.63191139	52.85
200 K	15	34.57866455	78.81
300 K	10	31.05683937	88.9
400 K	8	29.11863911	98.87
500 K	5	25.03623946	100.46
600 K	3.5	21.93820026	102.8
700 K	3	20.59926447	108.1
800 K	2.2	17.90529299	108.5
900 K	2	17.07743929	109.2
1 M	1.8	16.16228948	109.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่ได้จากตารางมาเขียนกราฟชนิด Semilog โดยให้แกนความถี่เป็นแกนราบ ซึ่งเป็นแกนแบบ log และค่า $20 \cdot \log_{10}(V_0 / V_{in})dB$ หรือค่ากำลังเป็นแกนดิ่งซึ่งเป็นแกนธรรมดา

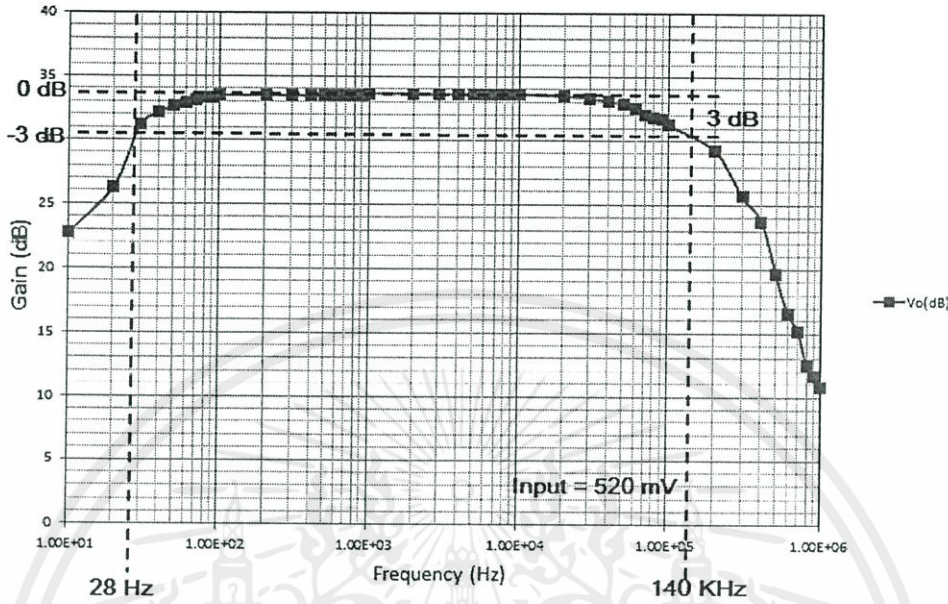


(ก)

รูปที่ 4.24ก กราฟความถี่และขนาดของเอาท์พุต (dB) ของเพาเวอร์แอมป์ จำลองจากโปรแกรม PSpice

กราฟตามรูปที่ 4.23ก เป็นการจำลองกราฟความถี่และขนาดของเอาท์พุต (dB) ของเพาเวอร์แอมป์ จะได้ f_L ความถี่ตัดทางต่ำ (Low Cut Frequency) เท่ากับ 24 Hz และ f_H ความถี่ตัดทางสูง (High Cut Frequency) เท่ากับ 105 KHz และ gain มีค่าเท่ากับ 33.87 โดยวัดจากเส้นที่มีอัตราขยายสูงสุดที่เป็นเส้นตรง (Flat) ต่ำลงมา 3 dB คือที่ -3dB (เส้นสูงสุดเป็น 0 dB) แล้วลากเส้นตัดแกนความถี่ทางด้านความถี่ต่ำเป็น f_L และด้านความถี่สูงเป็น f_H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



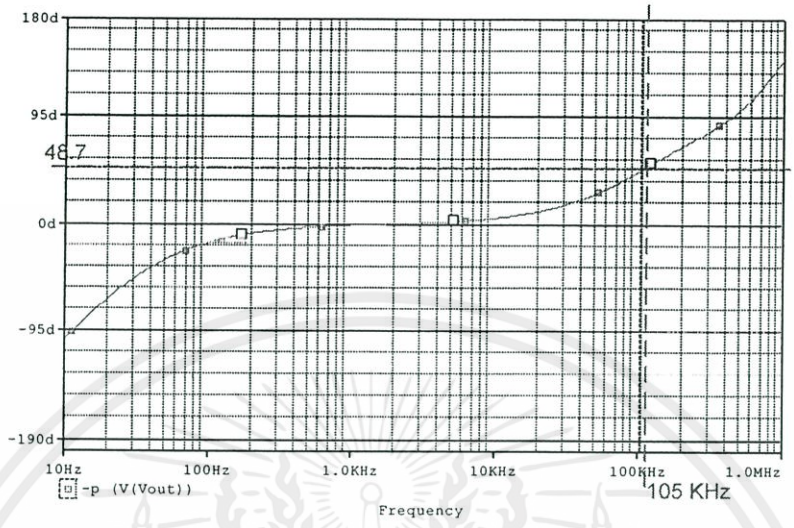
(ข)

รูปที่ 4.24ข กราฟความถี่และขนาดของเอาท์พุต (dB) ของเพาเวอร์แอมป์

กราฟตามรูปที่ 4.23ข จะได้ f_L ความถี่ตัดทางต่ำ (Low Cut Frequency) เท่ากับ 28 Hz และ f_H ความถี่ตัดทางสูง (High Cut Frequency) เท่ากับ 140 KHz และ gain มีค่าเท่ากับ 33.6

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลอง จากรูปที่ 4.23ก กับผลจากการทดลองจริง จากรูปที่ 4.23ข ค่า error ที่ความถี่ตัดทางต่ำ (Low Cut Frequency) มีค่าเท่ากับ 16.66% ค่า error ที่ความถี่ตัดทางสูง (High Cut Frequency)มีค่าเท่ากับ 25% และค่า error ที่ gain ของวงจรเพาเวอร์แอมป์มีค่าเท่ากับ 0.71%

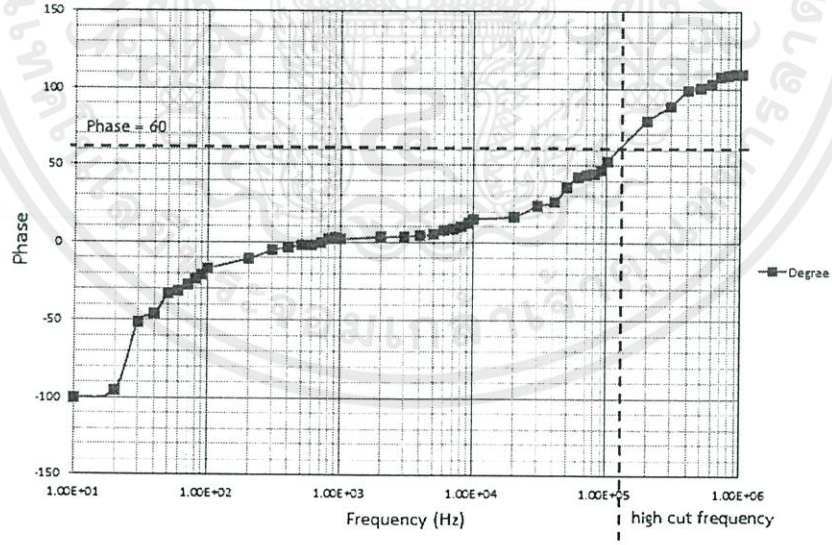
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

รูปที่ 4.25ก กราฟการตอบสนองทางเฟส จำลองจากโปรแกรม PSpice

จากรูปที่ 4. 24ก กราฟการตอบสนองทางเฟส จำลองจากโปรแกรม PSpice จากจุดความถี่คัตออฟจะเกิดการเลื่อนของเฟสเท่ากับ 48.7 องศา



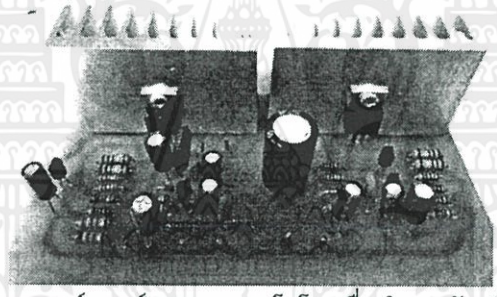
(ข)

รูปที่ 4.25ข กราฟการตอบสนองทางเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.24ข กราฟการตอบสนองทางเฟส จำลองจากโปรแกรม PSpice จากจุดความถี่คัตออฟจะเกิดการเลื่อนของเฟสเท่ากับ 60 องศา

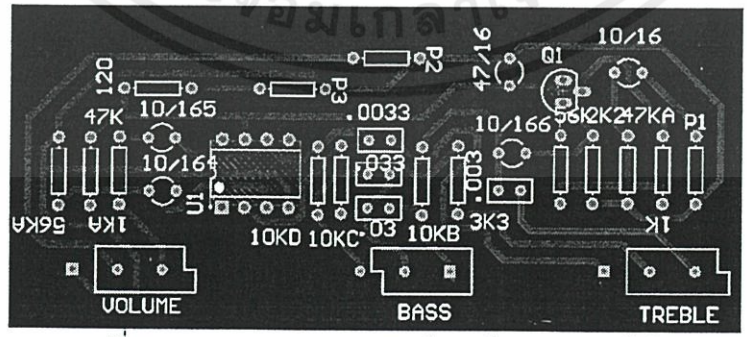
จากการเปรียบเทียบผลจากกราฟรูปที่ 4.24ก กับกราฟรูปที่ 4.24ข ทำให้สามารถอธิบายการเปรียบเทียบการตอบสนองทางขนาดกับการตอบสนองทางเฟสได้ โดยการเกิดเฟสในช่วงแรกจะมีการเปลี่ยนแปลงมาก แต่เมื่อถึงช่วงความถี่ 1kHz – 100kHz ค่ามุมจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย แต่เมื่อเกินความถี่ที่ 100 kHZ ขึ้นไปความถี่จะมีการเปลี่ยนแปลงมาก เมื่อนำกราฟของรูปที่ และกราฟของรูปที่ สามารถหาค่า error จากจุดความถี่คัตออฟจะเกิดการเลื่อนของเฟสเท่ากับ 23.2%



รูปที่ 4.26 วงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30W โมโน เมื่อทำการกัดปริ้นเสร็จเรียบร้อย

4.5 วงจรโทนคอนโทรล MONO

ใช้โปรแกรม Altium Designer ในการเขียนลายวงจรโทนคอนโทรล MONO



รูปที่ 4.27 PCB ของวงจรเพาเวอร์แอมป์ OTL 30W โมโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 ผลการวัดภาคปรับเสียงทุ้ม-แหลมของโทนคอนโทรล

จะแบ่งการวัดออกเป็น 4 ค่าได้แก่ ปิดทั้งเสียงทุ้ม-แหลม เปิดทั้งเสียงทุ้ม-แหลม เปิดเสียงทุ้มปิดเสียงแหลม และปิดเสียงทุ้มเปิดเสียงแหลม โดยการตั้งความถี่ที่ 1 KHz ปรับปุ่มเพิ่มขนาดของสัญญาณไปทางค่าต่ำและค่าสูง อ่านค่าแล้วจดบันทึกในตารางที่ 4.3 นำค่าที่ได้จากตารางที่ 4.3 มาเขียนกราฟชนิด Semilog แสดงความสัมพันธ์อัตราขยายแรงดันกับความถี่ในภาคปรับเสียงทุ้ม-แหลม

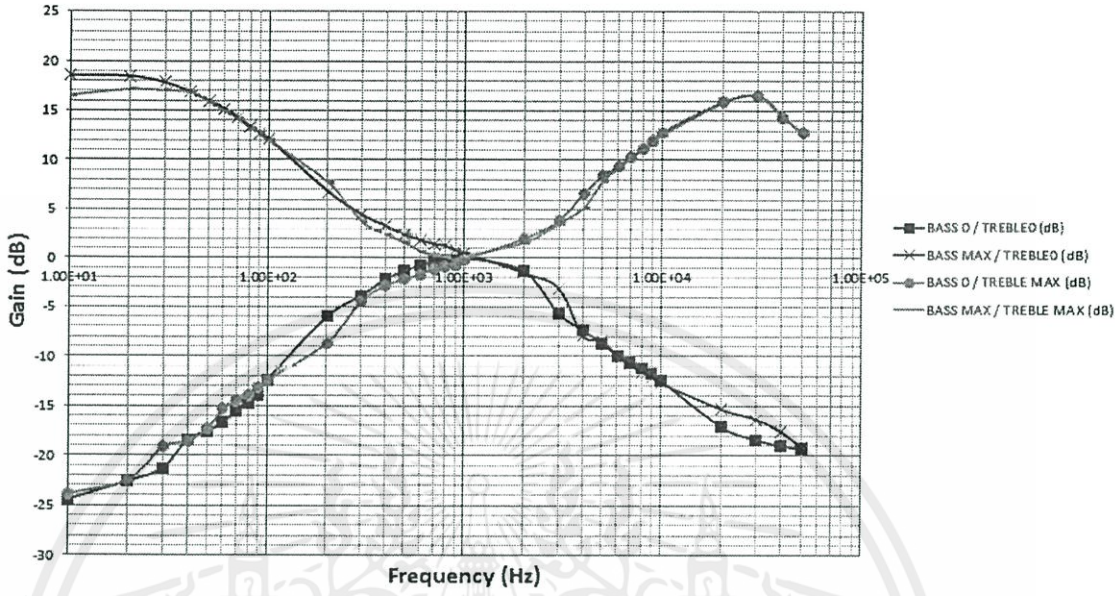
ตารางที่ 4.3 บันทึกค่าแรงดันเอาท์พุตโทนคอนโทรลในค่าต่างๆ

Frequency (Hz)	ปิด BASS / ปิด TREBLE	เปิด BASS / ปิด TREBLE	ปิด BASS / เปิด TREBLE	เปิด BASS / เปิด TREBLE
10	0.06	8.48	0.064	6.72
20	0.074	8.4	0.075	7.2
30	0.086	7.8	0.11	7.1
40	0.12	7	0.118	6.96
50	0.132	6.28	0.136	6.2
60	0.146	5.76	0.172	5.56
70	0.166	5.2	0.188	5.08
80	0.182	4.68	0.2	4.6
90	0.2	4.32	0.22	4.28
100	0.24	4.04	0.24	3.96
200	0.5	2.2	0.368	2.44
300	0.64	1.68	0.6	1.54
400	0.78	1.46	0.72	1.32
500	0.86	1.32	0.78	1.2
600	0.92	1.24	0.82	1.08
700	0.96	1.18	0.88	1.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

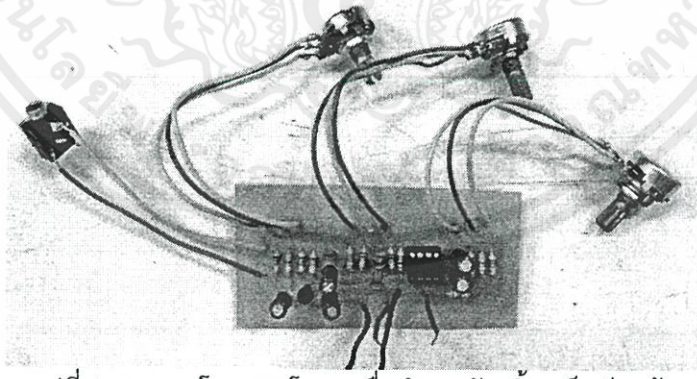
Frequency (Hz)	ปิด BASS / ปิด TREBLE	เปิด BASS / ปิด TREBLE	ปิด BASS / เปิด TREBLE	เปิด BASS / เปิด TREBLE
800	0.98	1.16	0.9	1.02
900	0.98	1.1	0.92	0.98
1000	1	1.06	0.98	1.02
2000	0.86	0.84	1.26	1.2
3000	0.52	0.7	1.56	1.5
4000	0.43	0.4	2.16	1.82
5000	0.368	0.38	2.64	2.48
6000	0.32	0.32	2.96	2.9
7000	0.296	0.288	3.28	3.24
8000	0.278	0.264	3.64	3.6
9000	0.26	0.248	4	3.92
10 K	0.24	0.232	4.4	4.26
20 K	0.14	0.172	6.24	6.16
30 K	0.12	0.152	6.72	6.72
40 K	0.112	0.132	5.2	5.28
50 K	0.108	0.11	4.4	4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับความถี่ในภาคปรับเสียงทุ้ม-แหลม

จะเห็นว่าเมื่อมีการเปิดเสียงทุ้มปิดเสียงแหลม ที่ความถี่ต่ำ gain จะสูง เมื่อมีการปิดเสียงทุ้มเปิดเสียงแหลม ที่ความถี่สูง gain ที่ได้จะสูง โดยเริ่มปรับตั้งแต่ค่า 1 KHz ทั้งนี้เนื่องจากว่าที่ความถี่ขนาดกลาง (1 KHz และบริเวณใกล้เคียง) เป็นความถี่ที่หูคนเราไวต่อเสียงมากที่สุด จากรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.29 วงจรโทนคอนโทรล เมื่อทำการกัดปริ้นเสร็จเรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 อุปสรรคที่พบในการทำงาน

5.1.1 Raspberry Pi เกิดอาการดับบ่อย (จอดำ)

5.1.2 มีปัญหาการต่อวงจรกับเครื่องหยอดเหรียญกับ Raspberry Pi

5.1.3 มีปัญหาการต่อวงจรเพาเวอร์แอมป์ เนื่องจากใช้ไฟบ้านทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้ง่าย

5.1.4 ใช้เวลาในการศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับ Raspberry Pi และเซิร์ฟเวอร์ค่อยข้างนาน เนื่องจากเป็นเรื่องใหม่ ผู้ที่ศึกษาเรื่องพวกนี้ยังไม่อยู่น้อย

5.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

5.2.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับ Linux ที่นำมาประยุกต์ใช้งานกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์

5.2.2 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการสร้างเซิร์ฟเวอร์ผ่านวงแลน

5.2.3 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมบน Linux

5.2.4 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการสร้าง GUI (Graphical User Interface) ของ Raspberry Pi

5.2.5 ออกแบบและสร้างตู้เพลงจำลอง

5.2.6 ได้รับความรู้จากสร้างวงจรเพาเวอร์แอมป์

5.2.6 ได้รับความรู้การสร้างวงจรเพาเวอร์แอมป์และโทนคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 สรุปผล

5.3.1 ในส่วนของเครื่องหยอดเหรียญ

เมื่อเราทำการหยอดเหรียญจะพบว่ามีพัลส์เกิดขึ้น โดยจะทำการต่อไฟ 12V (สายสีแดง) เข้ากับเครื่องหยอดเหรียญ เมื่อทำการหยอดเหรียญ เครื่องหยอดเหรียญจะส่งพัลส์ไปยังสมองกลฝังตัว (สายสีน้ำเงิน) โดยเมื่อหยอดเหรียญ 1 บาทจะได้ 1 พัลส์ เหรียญ 2 บาทจะได้ 2 พัลส์ เหรียญ 5 บาท จะได้ 5 พัลส์ เหรียญ 10 บาท จะได้ 10 พัลส์โดยทางผู้จัดทำได้ตั้งค่าความกว้างของพัลส์ที่เครื่องหยอดเหรียญคือ 100 ms โดยทางผู้จัดได้กำหนดเพลงละ 5 บาท

5.3.2 ในส่วนของสมองกลฝังตัว

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่กำหนดว่าถ้า ส่วนประมวลผลได้รับจำนวนพัลส์ตามที่กำหนดไว้ คือ 5 พัลส์ โปรแกรมก็โชว์หน้า GUI (Graphical User Interface) เพื่อให้ใส่ชื่อเพลงและสามารถดาวน์โหลดเพลงผ่านเซิร์ฟเวอร์

5.3.3 ในส่วนของเซิร์ฟเวอร์จำลอง

ผู้จัดทำได้ทำการสร้างเป็นเซิร์ฟเวอร์จำลองโดยใช้ FTP เซิร์ฟเวอร์เป็นตัวเชื่อมระหว่าง คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์กับ Raspberry Pi

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในการต่อเครื่องหยอดเหรียญเข้ากับ Raspberry Pi ควรระวังการต่อไฟสลับขั้วเพราะจะทำให้เครื่องหยอดเหรียญเสียหายได้ ควรใช้คำสั่งทำการปิดเครื่อง Raspberry Pi ก่อนดึงสายดึงสาย Adapter และทำการเปิด-ปิดสวิตช์เพาเวอร์แอมป์ก่อนเริ่มใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] สมเกียรติ กิจวงศ์วัฒนะ. (2556, กุมภาพันธ์). Raspberry Pi. The Prototype Electronics. (32), 42-48

[2] http://blog.websocket.asia/p/gpio-raspberry-pi-python-module-rpigpio.html

[3] http://www.pygame.org/docs/ref/music.html

[4] http://www.joomlacorner.com/article/12-other-articles/164--pc-server-appserv-2510.html

[5] http://www.tutorialspoint.com/python/tk_menu.htm

[6] http://stackoverflow.com/questions/11573817/how-to-download-a-file-via-ftp-with-python-ftplib

[7] http://www.pygame.org/docs/ref/movie.html

[8] http://www.sysprobs.com/step-by-step-guide-how-to-setup-ftp-server-on-windows-8

[9] http://www.reocities.com/Wellesley/gazebo/5754/sound7.html

[10] วิชาญ ก่องตาวงษ์. (2528). หลักการและเทคนิคการซ่อมสร้างเครื่องขยายทรานซิสเตอร์ ครั้งที่พิมพ์ 1. กรุงเทพฯ : นำอักษรการพิมพ์.

[11] https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly_electronics/wiki/399f3/

[12] เอกสารประกอบการสอน http://www.telecom.kmitl.ac.th/~pipat/practice.pdf

[13] พินัน พลับเจริญสุข อลงกรณ์ กล่อมเจริญ, ภาคขยายเสียงคุณภาพสูง. เทคนิคอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543

[14] http://www.tnk.ac.th/data%20file/Research/Transistors%20and%20applications

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Python Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
import RPi.GPIO as gpio
import string
import pygame
import time
import string
import tkMessageBox
from Tkinter import *
from ftplib import FTP
import Queue
global i
i = 0
def main():
    global root
    global i
    global song
    global load
    root = Tk()
    root.title("karaoke")
    root["padx"] = 60
    root["pady"] = 130
     menubar = Menu(root)
    filemenu = Menu(menubar,tearoff=0)
    filemenu.add_command(label="Exit",command=root.quit)
    menubar.add_cascade(label="File",menu=filemenu)
    root.config(menu=menubar)
     select = Label(root,text="select song")
    select.pack(side=LEFT)
    song = Entry(root, width=8)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        song.pack(side=LEFT)
         button = Button(root, text="Submit", command=openFile)
        button.pack(side=LEFT)
         root.mainloop()

def openFile():
        global i
        global song
        global root
        global a
        if i == 0:
              tkMessageBox.showinfo("Insertcoin", "Insert coin")
               pin = 24
               gpio.setmode(gpio.BOARD)
               gpio.setup(pin, gpio.IN)
               while i>=0 and i<5:
               if gpio.input(pin) == False:
                              i = i+1
                              time.sleep(0.2)
        if i >= 5:
               global load
               global a
               pygame.init
               ftp = FTP("161.246.18.211")
        ftp.login("jom", "lovefish")
               a = song.get().strip() + str(".mpg")
               filename = a
               file = open(filename, 'wb')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ftp.retrbinary('RETR %s' % filename, file.write)
                screen = pygame.display.set_mode((352,240))
                pygame.mixer.quit()
                movie = pygame.movie.Movie(a)
                movie.set_display(screen,(0,0))
                res = movie.get_length()
                movie.play()
                time.sleep(res)
                movie.set_volume(3000)
                i = i-5

main()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

Datasheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PJ2N9012

PNP Epitaxial Silicon Transistor

1W OUTPUT AMPLIFIER OF POTABLE RADIOS IN CLASS B PUSH-PULL OPERATION

- High total power dissipation(PT=625mW)
- High collector Current (Ic=-500mA)
- Complementary to 2N9013
- Excellent h_{EF} Linearity

TO-92

Pin : 1.Emitter
2.Base
3.Collector

SOT-23

Pin : 1. Base
2. Emitter
3. Collector

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta= 25℃)

Rating	Symbol	Value	Uint
Collector Base Voltage	V_{CBO}	-40	V
Collector Emitter Voltage	V_{CEO}	-20	V
Emitter Base Voltage	V_{EBO}	-5	V
Collector Current	Ic	-500	A
Collector Dissipation	Pc	625	W
Junction Temperature	Tj	150	^{0}C
Storage Temperature	Tstg	-55 ~150	^{0}C

ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature	Package
PJ2N9012CT	-20℃ ~+85℃	TO-92
PJ2N9012CX		SOT-23

ELECTRICAL CHARACTERISTICS(Ta= 25 ^{0}C)

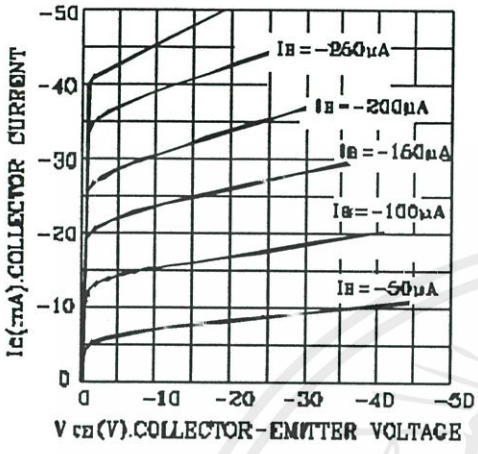
Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Collector-Base Breakdown Voltage	BV_{CBO}	I_C= -100 μ A , I_E=0	-40			V
Collector-Emitter Breakdown Voltage	BV_{CEO}	I_C= -1mA , I_B=0	-20			V
Emitter-Base Breakdown Voltage	BV_{EBO}	I_E=-100 μ A , I_C=0	-5			V
Collector Cut-off Current	I_{CBO}	V_{CB}= -25V , I_E = 0			-100	nA
Emitter Cut-off Current	I_{EBO}	V_{EB}= -3V , I_C=0			-100	nA
DC Current Gain	h_{FE1}	V_{EB}= -1V, I_C =-50mA	64	120	202	
	h_{FE2}	V_{EB}= -1V, I_C =-500mA	40	90		
Collector- Base Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	I_C= -500 mA , I_B=-50mA		0.14	0.3	V
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	I_C= -500mA , I_B=-50mA	0.58	0.84	1.0	V
Base-Emitter On Voltage	$V_{BE(ON)}$	V_{CE} =-1V, Ic =-10mA		0.63	0.7	V

h_{EF} *CLASSIFICATION*

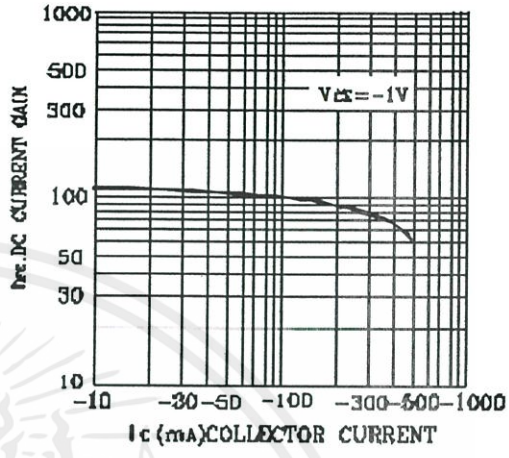
Classification	D	E	F	G	H
h_{EF}	64-91	78-112	96-135	112-166	144-202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

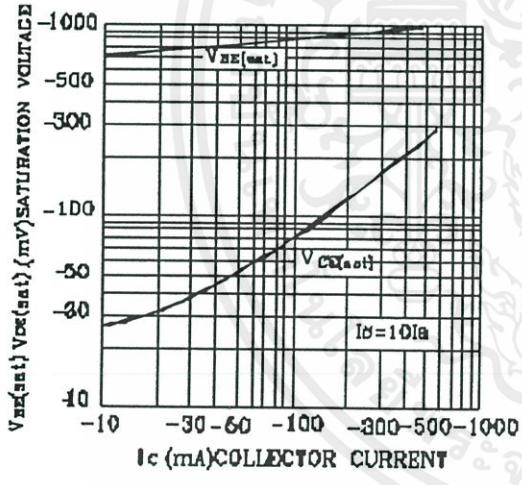
STATIC CHARACTERISTIC



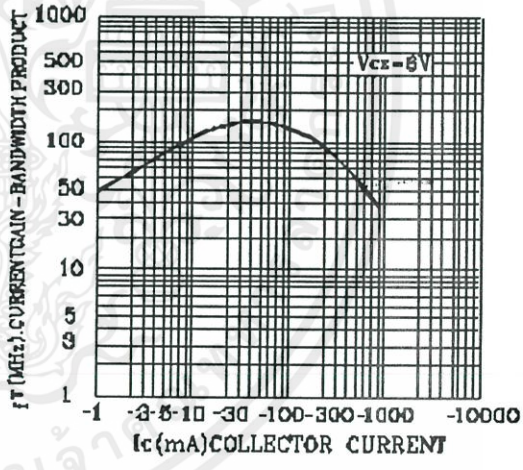
DC CURRENT GAIN



BASE-EMITTER SATURATION VOLTAGE
COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE



CURRENT GAIN-BANDWIDTH PRODUCT



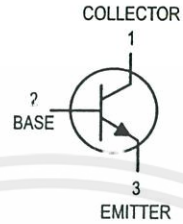
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by BC546/D

Amplifier Transistors
NPN Silicon

BC546, B
BC547, A, B, C
BC548, A, B, C



CASE 29–04, STYLE 17
TO–92 (TO–226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC 546	BC 547	BC 548	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	65	45	30	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	80	50	30	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EBO}	6.0			Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	100			mAdc
Total Device Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	625 5.0			mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D	1.5 12			Watt mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	−55 to +150			°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS						
Collector–Emitter Breakdown Voltage (I_C = 1.0 mA, I_B = 0)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)CEO}$	65 45 30	— — —	— — —	V
Collector–Base Breakdown Voltage (I_C = 100 μAdc)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)CBO}$	80 50 30	— — —	— — —	V
Emitter–Base Breakdown Voltage (I_E = 10 μA, I_C = 0)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)EBO}$	6.0 6.0 6.0	— — —	— — —	V
Collector Cutoff Current		I_{CES}				
(V_{CE} = 70 V, V_{BE} = 0)	BC546		—	0.2	15	nA
(V_{CE} = 50 V, V_{BE} = 0)	BC547		—	0.2	15	
(V_{CE} = 35 V, V_{BE} = 0)	BC548		—	0.2	15	
(V_{CE} = 30 V, T_A = 125°C)	BC546/547/548		—	—	4.0	μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REV 1

© Motorola, Inc. 1996

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS						
DC Current Gain		h_{FE}				—
(I_C = 10 μA, V_{CE} = 5.0 V)	BC547A/548A		—	90	—	
	BC546B/547B/548B		—	150	—	
	BC548C		—	270	—	
(I_C = 2.0 mA, V_{CE} = 5.0 V)	BC546		110	—	450	
	BC547		110	—	800	
	BC548		110	—	800	
	BC547A/548A		110	180	220	
	BC546B/547B/548B		200	290	450	
	BC547C/BC548C		420	520	800	
(I_C = 100 mA, V_{CE} = 5.0 V)	BC547A/548A		—	120	—	
	BC546B/547B/548B		—	180	—	
	BC548C		—	300	—	
Collector–Emitter Saturation Voltage		$V_{CE(sat)}$				V
(I_C = 10 mA, I_B = 0.5 mA)			—	0.09	0.25	
(I_C = 100 mA, I_B = 5.0 mA)			—	0.2	0.6	
(I_C = 10 mA, I_B = See Note 1)			—	0.3	0.6	
Base–Emitter Saturation Voltage		$V_{BE(sat)}$	—	0.7	—	V
(I_C = 10 mA, I_B = 0.5 mA)						
Base–Emitter On Voltage		$V_{BE(on)}$				V
(I_C = 2.0 mA, V_{CE} = 5.0 V)			0.55	—	0.7	
(I_C = 10 mA, V_{CE} = 5.0 V)			—	—	0.77	
SMALL–SIGNAL CHARACTERISTICS						
Current–Gain — Bandwidth Product		f_T				MHz
(I_C = 10 mA, V_{CE} = 5.0 V, f = 100 MHz)	BC546		150	300	—	
	BC547		150	300	—	
	BC548		150	300	—	
Output Capacitance		C_{obo}	—	1.7	4.5	pF
(V_{CB} = 10 V, I_C = 0, f = 1.0 MHz)						
Input Capacitance		C_{ibo}	—	10	—	pF
(V_{EB} = 0.5 V, I_C = 0, f = 1.0 MHz)						
Small–Signal Current Gain		h_{fe}				—
(I_C = 2.0 mA, V_{CE} = 5.0 V, f = 1.0 kHz)	BC546		125	—	500	
	BC547/548		125	—	900	
	BC547A/548A		125	220	260	
	BC546B/547B/548B		240	330	500	
	BC547C/548C		450	600	900	
Noise Figure		NF				dB
(I_C = 0.2 mA, V_{CE} = 5.0 V, R_S = 2 kΩ,	BC546		—	2.0	10	
f = 1.0 kHz, Δf = 200 Hz)	BC547		—	2.0	10	
	BC548		—	2.0	10	

Note 1: I_B is value for which I_C = 11 mA at V_{CE} = 1.0 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

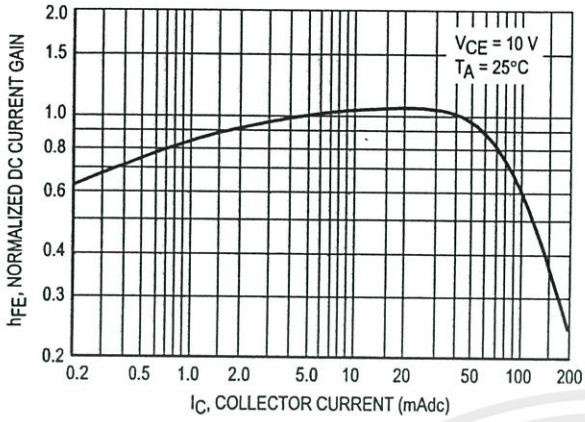


Figure 1. Normalized DC Current Gain

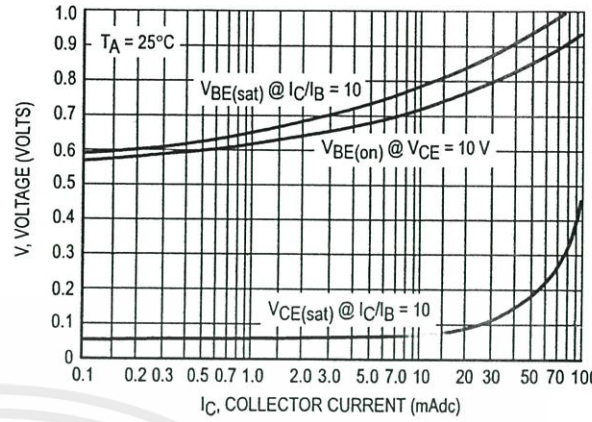


Figure 2. "Saturation" and "On" Voltages

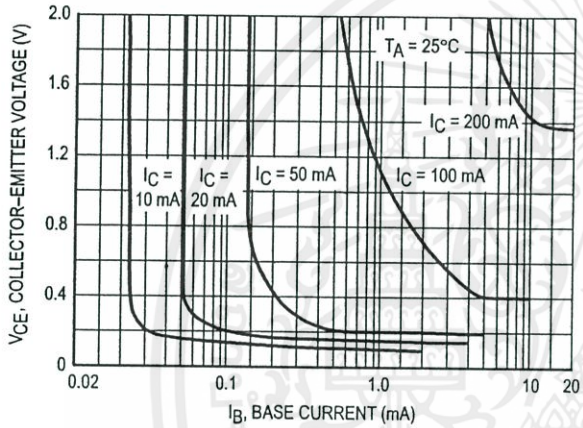


Figure 3. Collector Saturation Region

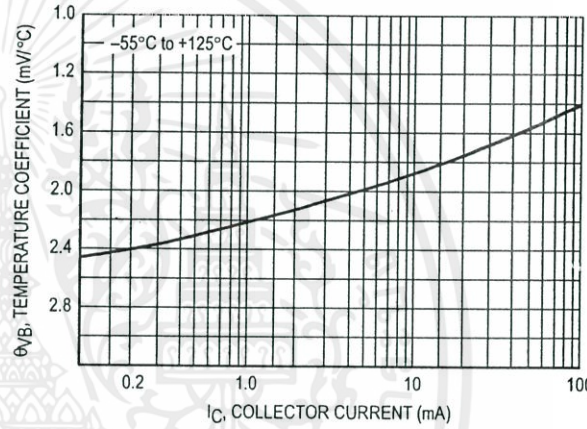


Figure 4. Base–Emitter Temperature Coefficient

BC547/BC548

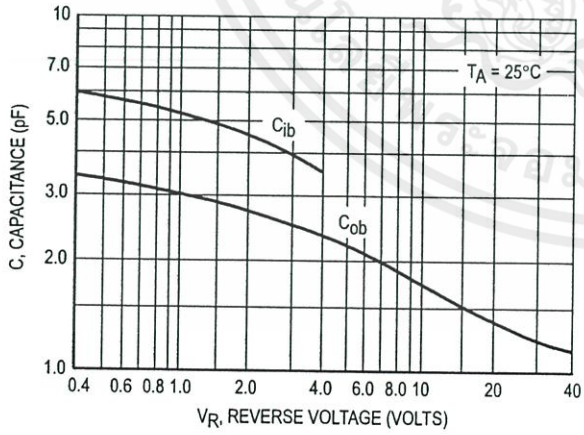


Figure 5. Capacitances

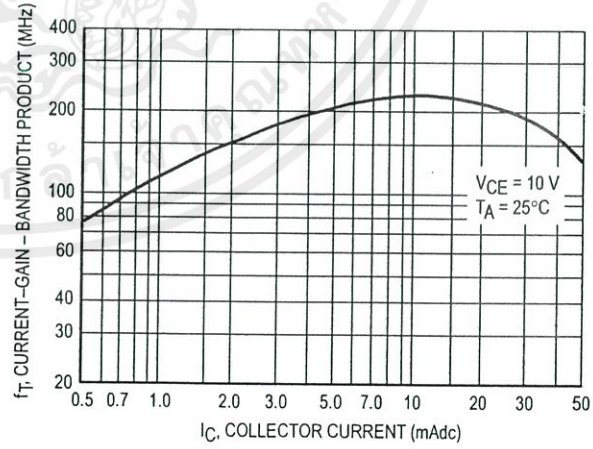


Figure 6. Current–Gain – Bandwidth Product

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BC547/BC548

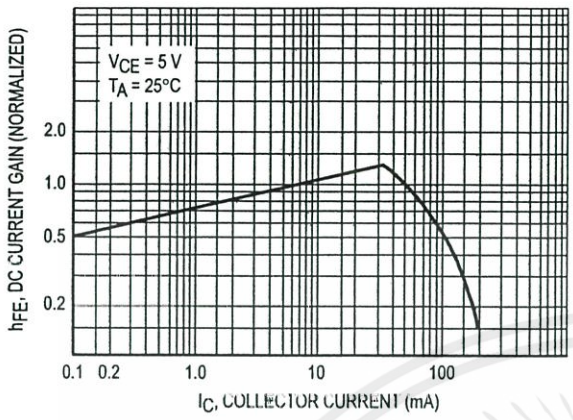


Figure 7. DC Current Gain

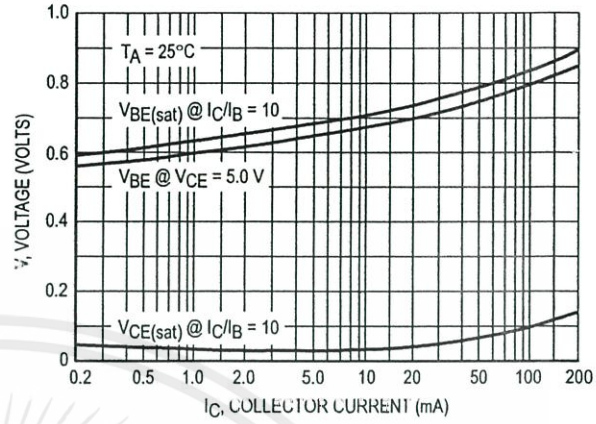


Figure 8. "On" Voltage

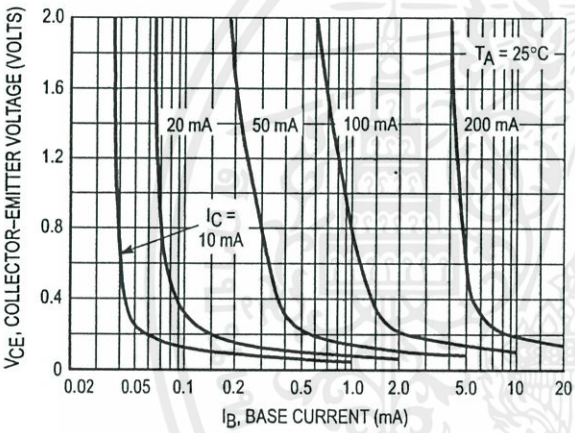


Figure 9. Collector Saturation Region

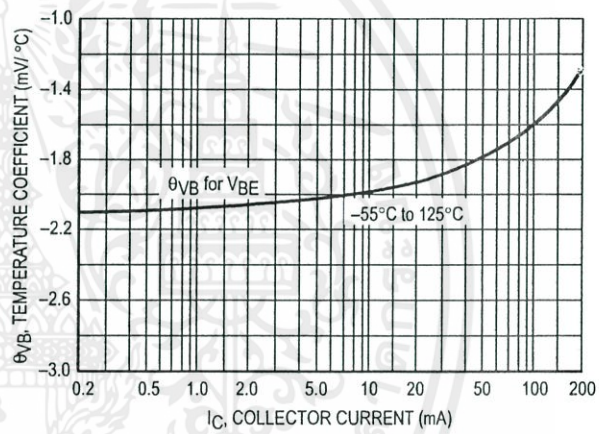


Figure 10. Base–Emitter Temperature Coefficient

BC546

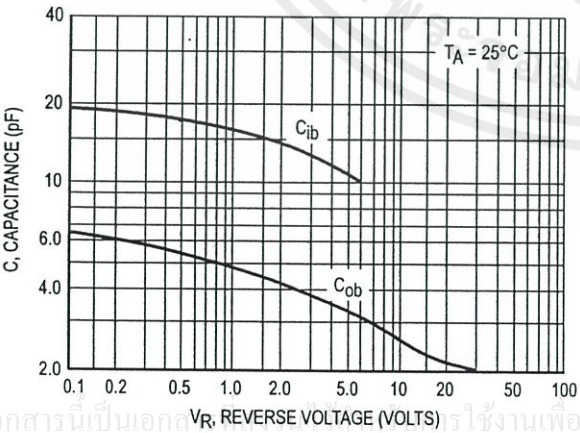


Figure 11. Capacitance

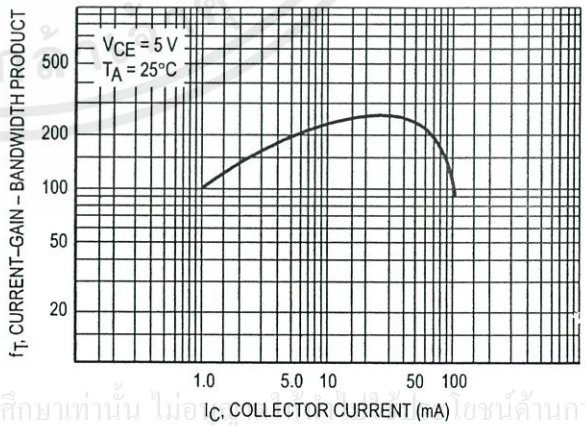


Figure 12. Current–Gain – Bandwidth Product

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้