

การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุวัตรวรากร อุดมวัฒนาถาวร

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

พฤษภาคม 2547

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

๖๒๑.๖๘๒๒
ศ ๘๗๕๐
ร.๓

การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

บทคัดย่อ

ของ

สุวัตรธารกร อุดมวัฒนาถาวร

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
พฤษภาคม ๒๕๔๗

สุวัตรธารกร อุดมวัฒนาถาวร. (2547). การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์. ปรินญา
นิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะ
กรรมการควบคุม : อาจารย์ ดร. อุปวิทย์ สุวคันธกุล , อาจารย์ สุดใจ เห่งสำไพโร.

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ แล้วหา
ประสิทธิภาพและลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ที่สร้างขึ้น มีหลักการทำงานเทียบเคียงกับเครื่องของบริษัท
Eurodesk รุ่น MX 3282A จากประเทศเยอรมันนี ในการผสมสัญญาณเสียงที่รับเข้ามา จำนวน 4 ช่องสัญญาณ
มีระดับสัญญาณบันทึกเสียง +22 เดซิเบล ระดับสัญญาณแสดงผลและสัญญาณส่งออกไปยังภายนอก 22 เดซิเบล
(Unbalance) เพื่อส่งไปยังเครื่องส่งสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์เทียบเคียงกับเครื่องจากบริษัท Axel technology รุ่น
Macrotel 5 จากประเทศอิตาลี ที่ระดับสัญญาณ ± 16 เดซิเบล ค่าความต้านทานต่อสัญญาณไฟสลับ 100 โอห์ม

การทำงานของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ สามารถใช้จัดรายการวิทยุ เพื่อส่งไปยังสถานี
ปลายทาง สามารถทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศได้เป็นอย่างดี ผลปรากฏดังนี้

ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 1 และ 2	วัดค่าได้	25.44	เดซิเบล
ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 3 และ 4	วัดค่าได้	10.00	เดซิเบล
ระดับสัญญาณเสียงสำหรับนำไปบันทึก	วัดค่าได้	25.44	เดซิเบล
ระดับสัญญาณเสียงส่งเข้าภาคโทรศัพท์	วัดค่าได้	25.44	เดซิเบล
ระดับสัญญาณแสดงผลของสัญญาณเสียง	วัดค่าได้	25.44	เดซิเบล
ระดับสัญญาณเสียงที่ส่งออกในสายโทรศัพท์	วัดค่าได้	± 18.06	เดซิเบล
ค่าความต้านทานต่อสัญญาณไฟสลับ	วัดค่าได้	160	โอห์ม

ลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ได้ทำการประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญ/
ชาญ/ผู้ชำนาญการ จำนวน 3 คน ในด้านต่าง ๆ ดังนี้ คือ ด้านการออกแบบวงจร ด้านการบำรุงรักษาซ่อมแซม และ
ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน มีค่าเฉลี่ยโดยรวมทั้ง 3 ด้าน ของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
อยู่ในระดับ ดี

การประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ทั้ง 3 ด้าน โดยผู้เชี่ยวชาญ/
ชาญ/ผู้ชำนาญการ 3 คน ผลปรากฏว่า ด้านการออกแบบเครื่อง อยู่ในระดับ ดี ด้านการบำรุงรักษาซ่อมแซม อยู่
ในระดับ ดี ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน อยู่ในระดับ ดี

DESIGN AND CONSTRUCTION OF SIGNAL MIXER THROUGH TELEPHONE LINES

AN ABSTRACT

BY

SUWATCHARAKORN UDOMWATTANATHAVORN

Presented in partial fulfillment of the requirement
for the Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot university
May 2004

Suwatcharakorn Udomwattanathavorn. (2004). *Design and construction of signal mixer through telephone lines*. Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot university. Advisor Committee: Asst. Prof. Dr. Uppawit Suwakhunthakul , Assoc Prof. Mr. Soodchai Ngaosiprai.

The purposes of the research were design and construction of signal mixer through telephone lines and then test its efficiency and physical characteristics.

The working ability of the constructed device was comparable to the signal mixer MX 3282A produced by Eurodesk Company in Germany. The input of +22 decibels audio signal from 4 channels are mixed and results in the output of + 22 decibels. The signal displayed and the 22 decibels signal output through telephone lines are comparable to the device made by Axel technology, model Macrotel 5 with the signal of ± 16 decibels and impedance 100 ohms , made in Italy.

The operation of signal mixer through telephone lines can be used to arrange the radio programs to be sent to the destination stations. The device can well substitute the import of the similar devices produced in foreign countries. The results were as follow:

The level signals of channels 1 and 2	were	25.44	decibels
The level signals of channels 3 and 4	were	10.00	decibels
The audio signals for recording	were	25.44	decibels
The level signals through telephone lines	were	25.44	decibels
The level signals displaying sound level	were	25.44	decibels
The level signals of the output through telephone lines	were	± 18.06	decibels
The impedance	were	160	ohm

The physical characteristics of the signal mixer through telephone lines were evaluated by 3 people who were experts in three different fields: Circuit design, maintenance, and feasible installation. The general accumulation of the characteristics of the signal mixer through telephone lines were good

According to the evaluation of the three experts, the design of the model were good The maintenance were good and the feasible installation were good

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

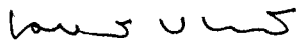
ของ

นายสุวัชรกร อุดมวัฒนาถาวร

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

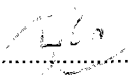


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. นภาพร หะวานนท์)

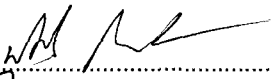
วันที่ 12 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2547

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



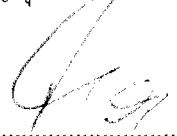
.....ประธาน

(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุคันทรกุล)



.....กรรมการ

(อาจารย์ สุดใจ เห่งสีไพร)



.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)



.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ โสภา สุขหวาน)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จำเป็นต้องอาศัยการสนับสนุน ความร่วมมือจากบุคลากรฝ่ายต่าง ๆ โดยข้าพเจ้าขอกล่าวเพื่อสักการะบุคคลที่มีความสำคัญในการศึกษาครั้งนี้ตามลำดับ ที่ทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ซึ่งเป็นครั้งแรกในชีวิตที่เคยฝันไว้เมื่อครั้งยังเป็นเด็กและไม่เคยคิดว่าจะก้าวเดินมาสู่ความสำเร็จในวันนี้ได้

ด้วยเมตตาของพระราชพิพัฒนาทร (ถาวร จิตตถาวโร) ผู้อุปถัมภ์ มูลนิธิศาลาพระราชศรัทธา และ มูลนิธิถาวรจิตตถาวโร-วงศ์มัลย์ ที่ได้ให้คำอบรมสั่งสอน แบบอย่างที่ดีโดยเฉพาะเรื่องความอดทน เป็นทั้งพ่อแม่ เป็นทั้งครูบาอาจารย์ เป็นทั้งผู้ให้กำลังใจ เปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าสอบเข้าศึกษาต่อ ณ สถาบันการศึกษาแห่งนี้ และมอบทุนการศึกษาตั้งแต่ระดับอุดมศึกษา จนถึงปริญญาโทมาโดยตลอด โดยไม่มีข้อผูกพันใดๆ ทั้งสิ้น ซึ่งในส่วนตัวและครอบครัวคงไม่สามารถหาค่าใช้จ่ายในการเรียนในระดับนี้ได้ จึงขอกล่าวมาเพื่อสักการะ ประกาศเทิดพระคุณอันล้นเหลือในชีวิตของข้าพเจ้าเป็นอันดับแรกก่อนจะกล่าวถึงบุคคลอื่นๆ ต่อไป

ขอขอบคุณคณะศิษย์พระราชพิพัฒนาทร (ถาวร จิตตถาวโร) ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา ที่ให้มีโอกาสได้เรียนหนังสือ ทำงานให้สังคม และถวายพระพุทธศาสนา สำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุลและอาจารย์สุดใจ เห่งสีไพร ที่ให้กำลังใจ เป็นอาจารย์ควบคุมปริญญานิพนธ์ ตลอดจนคณะกรรมการทุกท่าน อาจารย์ประจำสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร อาจารย์โอภาส สุขหวาน และอาจารย์ทุกๆ ท่าน ที่ให้การอบรม สั่งสอน ให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ จนทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ ตรวจสอบและประเมินเครื่องมืองานวิจัยให้สำเร็จด้วยดี คือ (1) รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมศรี จันทร์อ่อน อาจารย์คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2) อาจารย์บุญสืบ ทองกำพร้าว อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น (3) อาจารย์ลิขสิทธิ์ ทองเพ็ญ ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (4) คุณกุศ สองทิศ วิศวกรระบบโทรศัพท์ บริษัท ทีเอ ออเรน รีเทล จำกัด (5) คุณเกรียงไกร โสมนิล ผู้จัดการฝ่ายขาย บริษัท เอ็น เบส (ไทยแลนด์) จำกัด (6) คุณสมชาติ อุปสีดา วิศวกรงานระบบสื่อสาร สถานีดาวเทียมไทยคม และผู้ช่วยวิจัยทุกท่าน

อนึ่ง ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน ทั้งเพื่อนร่วมรุ่น รุ่นพี่ และเพื่อนเก่าทุกท่านที่ให้การสนับสนุนเป็นกำลังใจช่วยเหลืองานของมูลนิธิฯ การศึกษาทุกด้าน

นอกจากนี้ ข้าพเจ้ามีความตั้งใจจะทำให้งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จ เพื่อน้อมสักการะแด่ พ่อแม่ครูบาอาจารย์ พระราชพิพัฒนาทร (ถาวร จิตตถาวโร) และมอบแก่ผู้มีพระคุณคือ นายสนั่น - นางสาววย มูลอุดม บิดามารดา คุณอัลเบโต - คุณศรีนวล โคลัมโบ ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เป็นผู้อยู่เบื้องหลังแห่งความสำเร็จ สนับสนุนทุนการศึกษาตั้งแต่เริ่มต้น ญาติพี่น้อง ครูบาอาจารย์ บุคคลผู้เป็นกำลังใจทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษางานวิจัยเล่มนี้มาได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณทุกท่านมาอีกครั้งหนึ่ง

สุวัตรวรกร อุดมวัฒนาถาวร

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
ความสำคัญของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
ตัวแปรที่ศึกษา	4
นิยามศัพท์เฉพาะ	5
กรอบแนวคิดในการวิจัย	6
สมมติฐานในการวิจัย	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
ระบบสื่อสารและกระจายเสียง	7
ลักษณะทั่วไปและหัวข้อพื้นฐานของการสื่อสารด้วยไฟฟ้า	7
ลักษณะทั่วไปของการสื่อสารด้วยไฟฟ้า	7
แนวคิดทางด้านวิศวกรรมของระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้า	9
พื้นฐานของระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้า	10
รูปแบบของระบบสื่อสารและโมเดลในการคิดสัญญาณรบกวน	12
โมเดลของระบบสื่อสาร	13
โมเดลของระบบสื่อสารที่เสนอโดยฟาโน	14
ระบบการส่งวิทยุกระจายเสียง	14
ระบบการผสมสัญญาณเสียง	18
คุณสมบัติของคลื่นเสียง	18
วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก	24
ข้อมูลเบื้องต้นของออปแอมป์	29
สัญญาณรบกวนในระบบเสียง	35
เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	42
ระบบสัญญาณโทรศัพท์	43
การหาประสิทธิภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	44
การทดสอบคุณสมบัติของระบบเสียง	44
การหาประสิทธิภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	49
การประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	50
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	51
งานวิจัยในประเทศ	51
งานวิจัยต่างประเทศ	54

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	56
ศึกษาปัญหาของการวิจัยออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	56
ลำดับขั้นตอนในการวิจัยเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	56
ศึกษาการทำงาน หลักการของวงจรและการสร้าง	56
ลำดับขั้นตอนในการวิจัย	57
การออกแบบวงจรและหลักการทำงาน	58
กำหนดเครื่องมือวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง	65
สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย	67
การทดสอบประสิทธิภาพ	67
การประเมินลักษณะทางกายภาพ	68
การสร้างแบบประเมินทางกายภาพ	68
4	72
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	72
ผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	75
ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	76
5	77
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	77
ความมุ่งหมายการวิจัย	77
ความสำคัญของการวิจัย	77
สมมติฐานการวิจัย	77
การดำเนินการวิจัย	77
สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล	78
อภิปรายผล	79
ข้อเสนอแนะ	81
บรรณานุกรม	82
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก หนังสือขอความร่วมมือในงานวิจัย	86
ภาคผนวก ข รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในงานวิจัย	95
ภาคผนวก ค แบบประเมินและทดสอบเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	97
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งานเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	103
ภาคผนวก จ รายละเอียดวงจรและแผ่นพิมพ์เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	116
ภาคผนวก ฉ เอกสารอ้างอิงอุปกรณ์เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	133
ภาคผนวก ช แบบประเมินราคาวัสดุอุปกรณ์เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	145
ประวัติย่อผู้วิจัย	148

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดในการวิจัย	6
2 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้า	8
3 แสดงระบบส่งกระจายเสียงวิทยุ	15
4 แสดงขั้นตอนการสร้างคลื่นจากเสียงเพื่อส่งกระจายออก	16
5 แสดงโครงสร้างของคลื่นวิทยุ	17
6 แสดงค่าความถี่สเปกตรัมของรูปคลื่นที่ไม่ซ้ำ	20
7 แสดงความสูงของจุดที่เปลี่ยนตามค่ามอดูเลชัน	21
8 แสดงรูปคลื่นมีค่าต่ำกว่า 90 องศา	21
9 แสดงไมโครโฟนทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงความกดดันของอากาศ	22
10 แสดงสเปกตรัมจะมีการทำงานที่แตกต่างกัน	22
11 แสดงวงจรขยายทรานซิสเตอร์ที่ไบอัสแบบวิธีแบ่งแรงดัน มีสัญญาณอินพุตเป็นคลื่นไซน์	24
12 แสดงกราฟการทำงานของวงจรขยายทรานซิสเตอร์ แสดงลักษณะของ I_B I_C และ V_{CB}	25
13 แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม	25
14 แสดงวงจรวิเคราะห์ไฟตรงของวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม	26
15 แสดงวงจรสมมูลไฟสลับของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม	27
16 แสดงวงจรสมมูลไฟสลับที่เบสของวงจรขยายทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม	27
17 แสดงวงจรสมมูลที่ใช้หาค่าอัตราขยายแรงดัน	28
18 แสดงวงจรอิมิตเตอร์ร่วมแสดงอัตราขยายOverallและการลดทอนของสัญญาณอินพุต	29
19 แสดงสัญลักษณ์ของออปแอมป์ทั่วไป	29
20 แสดงการต่อขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้า สัญลักษณ์ของออปแอมป์	30
21 แสดงวงจรสร้างแรงดันไบอัสบวกลบสำหรับวงจรออปแอมป์	30
22 แสดงวงจรขยายแบบกลับเฟส และกระแสไบอัสที่อินพุต	31
23 แสดงการต่อ R_{comp} ชดเชยผลของกระแสไบอัสที่อินพุต	32
24 แสดงวงจรขยายกลับเฟสมีโครงข่ายป้อนกลับแบบที่	32
25 แสดงแรงดันออฟเซตอินพุต	33
26 แสดงวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	34
27 แสดงวงจรขยายแบบกลับเฟส	34
28 แสดงแผนภาพบล็อกทางเดินของเสียงรบกวน	35
29 แสดงตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ ที่ใช้ได้กับค่าโดยประมาณของย่านความถี่นั้น ๆ	36
30 แสดงกราฟผลความถี่และกระแสบนค่าแรงดันเสียงรบกวน	37
31 แสดงการใช้ตัวเก็บประจุต่อคร่อมไดโอดเพื่อลดเสียงรบกวน	37
32 แสดงตัวเลขสัญญาณรบกวนของทรานซิสเตอร์ในย่านความถี่ต่างๆ	38
33 แสดงภาพสัญญาณรบกวนจากความร้อนบนจอออสซิลโลสโคป	38
34 แสดงรูปคลื่นทางเอาท์พุตของไอซีออปแอมป์กับสัญญาณรบกวน	39

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
35 แสดงการแกัเสียงรบกวนขณะเปิด – ปิด สวิตช์	39
36 แสดงการต่อสายกราวด์แบบหลายจุด	40
37 แสดงกราวด์ลู่ระหว่างสองวงจร เมื่อต่อกราวด์หลายจุด	41
38 แสดงส่วนการทำงานหลักของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	42
39 แสดงการต่อเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อหาความต้านทานอินพุต	45
40 แสดงการทดลองหาค่ากำลังเอาต์พุตของระบบเสียง	45
41 แสดงการต่อเครื่องและอุปกรณ์ทดลองค่าการตอบสนองความถี่	47
42 แสดงกราฟผลตอบสนองความถี่ที่ได้จากการทดสอบ	48
43 แสดงวงจรสมมูลย์ของการทดสอบ	48
44 แสดงกราฟการตอบสนองความถี่มาตรฐานของลำโพง	49
45 แสดงส่วนการทำงานหลักของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	56
46 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย	57
47 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	58
48 แสดงแสดงการทำงานของวงจรภาคขยายสัญญาณไมโครโฟน	58
49 แสดงวงจรปรับระดับการขยายสัญญาณเสียงท่มด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์	59
50 แสดงวงจรปรับระดับการขยายสัญญาณเสียงกลาง แหลม ด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์	60
51 แสดงวงจรขยายสัญญาณเสียงเบื้องต้น	61
52 แสดงการกรองสัญญาณด้วยคาปาซิเตอร์และรีซิสเตอร์	61
53 แสดงวงจรภายในของไอซี เบอร์ TDA2822A	62
54 แสดงวงจรไฟเลี้ยงส่วนต่าง ๆ	63
55 แสดงวงจรแสดงผลระดับสัญญาณด้วยหลอดแอลอีดี 18 หลอด	63
56 แสดงวงจรส่งผ่านสัญญาณโทรศัพท์	64
57 แสดงแจ๊คเสียบแบบโมโน	64

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แบบตรวจประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ ลักษณะทางกายภาพของ เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	70
2	แสดงผลการทดสอบสัญญาณของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	72
3	แสดงรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	75
4	แสดงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ชำนาญการ	76
5	แสดงผลการทดสอบสัญญาณของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์	78

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ในสมัยโบราณมนุษย์ได้คิดหาวิธีการต่างๆ ที่จะส่งข่าวสารเพื่อให้ผู้ที่อยู่ห่างไกลสามารถรับรู้ความตั้งใจหรือความประสงค์ของตนเองได้ แสงเป็นตัวกลางหนึ่งที่มีมนุษย์ได้นำมาใช้ในการสื่อสาร เช่น การใช้สัญญาณไฟ การทำให้แสงตะเกียงสว่างหรือมืด การใช้ควันไฟ การให้สัญญาณธง และวิธีการอื่นๆ แนวความคิดเหล่านี้ก็เพื่อการส่งข่าวสารไปไกลๆ นั่นเอง ซึ่งกระทำโดยการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาข่าวสารที่ต้องการส่งออกไปนั้น ให้เป็นรูปร่างของควันไฟที่ตกลงกันเอาไว้ล่วงหน้า หรือเป็นจังหวะการส่องสว่างและมืดของตะเกียง หรือวิธีโบกธงเสียก่อน แล้วจึงส่งออกไป ส่วนทางด้านรับนั้นจะใช้วิธีแปลความหมายให้กลับเป็นข่าวสารตามเดิมโดยอาศัยข้อตกลงต่างๆ ที่ได้ตกลงกันเอาไว้ล่วงหน้าแล้ว วิธีการเหล่านี้จัดเป็นการสื่อสารแสงชนิดหนึ่งในธรรมชาติ (อภินันท์ มัญญานนท์. 2540 : 1) นอกจากนั้นแล้วก็ยังมีการสื่อสารอีกหลายชนิด โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น การสื่อสารระบบอะนาล็อก (Analog system) และระบบดิจิทัล (Digital system) ที่นำมาใช้เป็นหลักการในการสร้างเครื่องมือติดต่อสื่อสาร ทำให้มีชื่อเรียกกันออกไปตามยุคสมัยและการพัฒนาการของเทคโนโลยี

การนำเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information technology) และเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ (Electronic and computer technology) เข้ามาผสมผสานกับเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคม (Communication technology) เทคโนโลยีการสื่อสารที่มารวมตัวกันนี้ได้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการสื่อสาร ที่มีอิทธิพลต่อระบบเศรษฐกิจ สังคม การเมือง การปกครอง ตลอดจนการศึกษาของประชาคมโลกอย่างต่อเนื่อง การเรียนรู้ของคนยุคใหม่และในอนาคตนั้นเป็นการเรียนรู้ที่แตกต่างจากในอดีตที่ผ่านมา การเรียนรู้ต่อจากนี้ไปจะต้องเป็นการเรียนรู้ที่ต้องอาศัยประสบการณ์ชีวิต ฝึกหาความรู้ใหม่ด้วยตนเองที่เรียกว่า ความรู้ใหม่ (New knowledge) ซึ่งมีอยู่รอบตัวของเราและกระจายอยู่ทั่วโลก เพราะฉะนั้นไม่มีการเรียนการสอนใดที่จะสามารถครอบคลุมความรู้ที่เกิดขึ้นใหม่อย่างรวดเร็ว แต่ทุกคนจะต้องหันไปศึกษาหาความรู้ในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า เป็นการเรียนรู้ตลอดชีวิตด้วยตนเอง โดยอาศัยทั้งประสบการณ์ชีวิตและเครื่องมือที่มีชื่อเรียกว่า เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information and communication technology : ICT) เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการศึกษา จึงเป็นเครื่องมือที่จะเป็นพลังในการขับเคลื่อนให้การเรียนรู้ตลอดชีวิตเป็นจริงได้ในทุกสังคมที่รู้จักกับการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีอย่างถูกวิธี โดยโครงสร้างพื้นฐานสารสนเทศ ถือว่าเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่ทุกองค์กร หน่วยงานในทุกประเทศต้องตระหนักถึงคุณค่า เพื่อรองรับการเดินทางของข้อมูลข่าวสารที่เกิดขึ้นมากมายภายใต้โลกยุคไร้พรมแดน ที่ถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญของกิจการต่างๆ ซึ่งเทคโนโลยีจะมาเป็นตัวช่วยเสริมให้การเรียนรู้ตลอดชีวิตด้วยตนเองนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้นและต้องอาศัยองค์ประกอบพื้นฐานเป็นตัวเสริมโครงสร้างการทำงานให้ประสบผลสำเร็จ เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบโทรศัพท์พื้นฐาน และเครือข่ายโทรคมนาคม มาเป็นตัวประสาน (สื่อพลัง. 2546 : 4) การสร้างเสริมคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น สภาพความเป็นอยู่ของสังคม มีการพัฒนาโดยใช้ระบบการสื่อสารโทรคมนาคม เพื่อติดต่อสื่อสารให้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น มีการประยุกต์มาใช้กับเครื่องอำนวยความสะดวกภายในครอบครัว สำนักงาน ที่อยู่อาศัย สร้างความเท่าเทียมในสังคม เทคโนโลยีสารสนเทศทำให้เกิดการกระจายไปทุกพื้นที่ แม้ในถิ่นทุรกันดารห่างไกล ทำให้มีการกระจายโอกาสการเรียนรู้มากขึ้น (<http://www.geocities.com/rsstudent2002>)

การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศได้ก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และระบบสื่อสารโทรคมนาคม ที่สามารถประมวลผลข้อมูลข่าวสารได้เร็ว และสื่อสารกันได้สะดวก ฉะนั้นเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร จึงมีบทบาทที่สำคัญต่อการศึกษาอย่างมาก โดยเฉพาะการประยุกต์ในระบบการศึกษาสมัยใหม่ (http://www.ku.ac.th/magazine_online/ict_1.html) และการทำงานจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีนั้น เป็นการทำงานอย่างเป็นระบบ โดยนำเอาความรู้มาประยุกต์ใช้กับสื่อเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการทำงานให้ดีขึ้นและมีมากยิ่งขึ้น ระบบเครือข่ายโทรคมนาคมนับว่าเป็นตัวติดต่อสื่อสารกันมากที่สุดในวงการธุรกิจ และสื่อสารมวลชนโดยทั่วไป ทั้งนี้เพราะสามารถส่งและรับข้อมูลข่าวสารต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วทันต่อเหตุการณ์ อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเครือข่ายโทรคมนาคมนี้ มีด้วยกันมากมายหลายอย่าง ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในวงการต่างๆ ซึ่งรวมทั้งการสื่อสารมวลชนด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การกระจายเสียงวิทยุ ในรายการต่างๆ ที่จะเป็นสื่อสำหรับผู้ที่อยู่ห่างไกล ในสถานที่ที่แตกต่างกัน สามารถรับฟังข้อมูล ข่าวสาร ได้ทันต่อสถานการณ์ปัจจุบันได้เป็นอย่างดี จึงจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ ทั้งทางด้าน วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนบุคลากรที่มีประสิทธิภาพ

ระบบการสื่อสารแบบอะนาล็อกเป็นระบบที่ออกแบบให้ส่งสัญญาณอะนาล็อก เช่น สัญญาณเสียง แต่ได้มีการพัฒนาให้สามารถส่งข้อมูลข่าวสารได้ด้วย ปัญหาสำคัญสำหรับการสื่อสารแบบอะนาล็อก ก็คือเรื่องสัญญาณรบกวน ซึ่งบางครั้งอาจทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นการสื่อสารแบบดิจิทัลจึงได้เข้ามามีบทบาทในการสื่อสารด้านต่างๆ มากมาย แต่อย่างไรก็ตามการสื่อสารแบบดิจิทัลก็ไม่สามารถที่จะแทนการสื่อสารแบบอะนาล็อกได้ทั้งหมด เนื่องจากสัญญาณที่เกิดขึ้นในธรรมชาติทั้งหมดเป็นสัญญาณอะนาล็อกและเป็นต้นแบบของการพัฒนาการสื่อสารแบบอะนาล็อกในช่วงต่อมา รูปแบบการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพบางรูปแบบยังคงนิยมใช้กันอยู่ เช่น การมอดูเลตแอมพลิจูด (Amplitude modulation หรือ AM) การมอดูเลตความถี่ (Frequency modulation หรือ FM) ระบบสัญญาณโทรศัพท์พื้นฐาน เป็นต้น

ระบบการติดต่อสื่อสารนั้น อาศัยข้อมูลในรูปสัญญาณต่างๆ ต้องเคลื่อนที่ผ่านช่องสัญญาณเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างจุดสองจุด แยกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การสื่อสารแบบมีสาย และ การสื่อสารแบบไม่มีสาย แบบไม่มีสายจะเป็นประเภทการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุที่มีความถี่ต่างๆ เช่น สถานีวิทยุภาค AM และ FM วิทยุสื่อสาร ส่วนการสื่อสารแบบมีสาย ตัวอย่างสายนำสัญญาณ จำแนกออกได้เป็น สายทองแดงตีเกลียว (Twisted pair) สายโคแอกเชียล (Coaxial) และสายใยแก้วนำแสง (Optic fiber) สายนำสัญญาณแต่ละชนิดมีข้อแตกต่างกัน เช่น ราคา การทนต่อสัญญาณรบกวน ความสูญเสียของสัญญาณ ความยากง่ายในการใช้งาน ความเหมาะสม เป็นต้น (ประสิทธิ์ ทิมพุดิ, 2542? : 23 – 24)

การจัดรายการวิทยุ ผู้จัดจะต้องดำเนินรายการต่างๆ ตามเนื้อหาสาระและรูปแบบของรายการที่กำหนดเอาไว้เหมาะสม โดยมีสื่อผสมผสานกับการดำเนินรายการ เพื่อให้เกิดความสนใจแก่ผู้ฟังรายการ อาทิ เช่น เสียงเพลง ดนตรีบรรเลง ห้วนรายการและปิดรายการ เป็นต้น การดำเนินรายการจำเป็นต้องอาศัยทั้งความรู้ ทักษะความสามารถตลอดจนประสบการณ์ สิ่งสำคัญที่จะช่วยให้การดำเนินรายการมีคุณภาพมากขึ้นต้องอาศัยอุปกรณ์ เครื่องมือ เป็นสื่อกลางในการนำเนื้อหาสาระต่างๆ ไปยังพื้นที่ภายนอก ประกอบด้วยอุปกรณ์ เครื่องมือหลายชนิด เช่น ชุดผสมสัญญาณเสียง ชุดปรับแต่งสัญญาณเสียง ชุดรับส่งสัญญาณเสียง ไมโครโฟน เครื่องเล่นเทป เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือสัญญาณจากแหล่งอื่นๆ ถือว่าเป็นสื่อตัวกลางที่มีความสำคัญในการดำเนินรายการ และใช้กันอย่างกว้างขวางในการเผยแพร่ความรู้ ไปยังผู้ฟังในเวลาเดียวกัน จำเป็นต้องมีเทคนิควิธีการ อุปกรณ์ เครื่องมือเป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงระหว่างผู้รับและผู้ส่งสื่อนั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปแล้วการดำเนินการจัดรายการวิทยุ ผู้จัดรายการวิทยุจะต้องเดินทางไปจัดรายการที่สถานีวิทยุหรือห้องส่งประจำสถานีวิทยุสาเหตุเนื่องมาจากการจัดรายการวิทยุต้องอาศัยอุปกรณ์ เครื่องมือและผู้ควบคุมระบบการส่งกระจายเสียงเพื่อส่งสัญญาณไปยังผู้ฟังรายการวิทยุ บางสถานีอาจจะอยู่ห่างไกลหรือไม่สะดวกในการเดินทางไปจัดรายการ จำ

เป็นต้องใช้ระบบการสื่อสารโทรคมนาคมพื้นฐานมาแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยนำเครื่องโทรศัพท์ไฮบริดจ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ประกอบติดตั้ง แต่ก็ยังเกิดปัญหาเรื่องต้นทุนของเครื่องสูง เนื่องจากกลุ่มของการใช้เครื่องยังมีขนาดเล็กและเป็นเครื่องมือเฉพาะทาง ต้องสั่งซื้อจากบริษัทผู้ผลิตจากต่างประเทศ โดยในประเทศไทยได้มีการนำเข้าเครื่องของบริษัท เจเนเนอร์ คอมมูนิเคชั่น คอเปอร์เรชั่น จำกัด (Gentner communications corporation) โดยบริษัท สยามเวอร์เทค จำกัด (Siam vertex co., ltd) เป็นตัวแทนนำเข้าและบริษัท กมลสุโกศล จำกัด (Kamol sukosol electric co., ltd) เป็นตัวแทนนำเข้าเครื่องมือจาก บริษัท เอเซล เทคโนโลยี จำกัด (Axel technology) ซึ่งทั้งสองบริษัทเป็นตัวแทนจำหน่ายแต่เพียงผู้เดียวในประเทศไทย

ผู้วิจัยได้ช่วยงานควบคุมระบบกระจายเสียงอยู่ที่ศาลาพระราชศรัทธา มูลนิธิถาวรจิตตาวโร-วงศ์มัลย์ พระราม1 เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ทำงานเกี่ยวข้องกับการจัดรายการวิทยุ ควบคุมระบบการกระจายเสียง ออกอากาศในรายการวิทยุ เผยแพร่ธรรมะประจำวัน จึงเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดรายการที่จำเป็นใช้วิทยุการบรรยายให้สาระความรู้หลายท่าน ซึ่งคนละพื้นที่ ต้องเดินทางมาดำเนินรายการวิทยุที่สถานีวิทยุและห้องส่งศาลาพระราชศรัทธา บางครั้งเจ้าหน้าที่จะต้องนำเครื่องมือ เช่น เครื่องมือหลายชนิด เช่น ชุดผสมสัญญาณเสียง ชุดปรับแต่งสัญญาณเสียง ชุดรับส่งสัญญาณเสียง ไปตามพื้นที่ต่าง ๆ ในกรณีของผู้บรรยายไม่สะดวกในการเดินทางมาจัดรายการวิทยุที่ห้องส่งกระจายเสียง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดและสนใจที่จะออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ เพื่อช่วยลดการนำเข้าจากต่างประเทศ สะดวกต่อการใช้งานและการบำรุงรักษา สามารถที่จะผลิตใช้ได้เอง โดยมีหลักการทำงาน และประสิทธิภาพใกล้เคียงกันกับเครื่องต้นแบบ ผู้ใช้สามารถนำไปใช้งานได้เหมาะสม

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
3. เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

ความสำคัญของการวิจัย

ได้เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ เพื่อใช้ในการจัดรายการวิทยุ สามารถใช้งานแทนการสั่งซื้อเครื่องผสมสัญญาณเสียงและเครื่องส่งสัญญาณโทรศัพท์จากต่างประเทศ เพราะมีราคาสูง

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องการที่จะทำการออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ เพื่อใช้ในการจัดรายการวิทยุกระจายเสียง โดยมีองค์ประกอบของเครื่องดังนี้ คือ

1. ประสิทธิภาพ โดยการเทียบเคียงกับเครื่องมือที่ใช้ในห้องควบคุมระบบเสียง ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1.1 เครื่องผสมสัญญาณเสียง ได้เทียบเคียงกับเครื่องผสมสัญญาณเสียง บริษัท Eurodesk รุ่น MX 3282A จากประเทศเยอรมันนี้

1.1.1 เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ สามารถควบคุม ปรับแต่งสัญญาณเสียง ได้ดังนี้คือ

1.1.1.1 สามารถควบคุมการปรับแต่ง สัญญาณเสียง ได้ทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณ

1.1.1.2 สามารถนำเอาสัญญาณเสียงไปบันทึกเสียง 1 ช่องสัญญาณที่ +22 เดซิเบล

1.1.2 เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ สามารถส่งสัญญาณเสียงไปยังภาคส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ที่ 22 เดซิเบล (Unbalance)

1.1.3 เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ สามารถแสดงระดับสัญญาณเสียง โดยแสดงผลระดับสัญญาณ ที่ 22 เดซิเบล (Unbalance)

1.2 เครื่องส่งสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์ ได้เทียบเคียงกับเครื่องส่งสัญญาณโทรศัพท์ บริษัท Axel technology รุ่น Macrotel 5 จากประเทศอิตาลี

1.2.1 เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ สามารถส่งสัญญาณไปในสายโทรศัพท์ ที่ระดับสัญญาณ ± 16 เดซิเบล

1.2.2 เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ มีค่าความต้านทานต่อสัญญาณไฟสลับ 100 โอห์ม

2. ลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

2.1 ด้านการออกแบบเครื่อง

2.2 ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม

2.3 ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ประสิทธิภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยการเทียบเคียงกับเครื่องบริษัท Eurodesk รุ่น MX 3282A และ เครื่องบริษัท Axel technology รุ่น Macrotel 5 ดังนี้

1.1 ควบคุมการปรับแต่ง สัญญาณเสียง ได้ทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณ

1.2 นำเอาสัญญาณเสียงไปบันทึกขนาด +22 เดซิเบล

1.3 ส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์และแสดงระดับสัญญาณขนาด 22 เดซิเบล

1.4 ส่งสัญญาณไปในสายโทรศัพท์ ที่ระดับสัญญาณ ± 16 เดซิเบล และมีค่าความต้านทานสัญญาณไฟสลับ 100 โอห์ม

2. ลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

2.1 ด้านการออกแบบเครื่อง

2.2 ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม

2.3 ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการแปลงสัญญาณเสียงจากแหล่งต่างๆ ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยสามารถนำสัญญาณไฟฟ้าเข้ามาทางอินพุตของเครื่อง เช่น สัญญาณจากเครื่องเล่นเทป ซีดี ไมโครโฟน เป็นต้น ผสมสัญญาณเสียง ปรับแต่งให้ได้ตามต้องการ ก่อนส่งออกผ่านสายโทรศัพท์ไปยังผู้รับปลายทาง

2. ควบคุมการปรับแต่งสัญญาณเสียง หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ปรับแต่งสัญญาณที่รับเข้ามาทางอินพุตของเครื่อง เช่น เครื่องเล่นเทป ซีดี ไมโครโฟน เป็นต้น แล้วทำการปรับคุณภาพของสัญญาณเสียง โดยมีเสียงทุ้ม เสียงแหลม และเสียงกลาง ก่อนที่จะส่งออกไปยังภาคส่งสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์

3. ประสิทธิภาพหมายถึง คุณสมบัติของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์แต่ละส่วนที่นำมาประกอบและสร้างเครื่องมือ โดยเปรียบเทียบกับค่าต่างๆ ของเครื่องที่ใช้งานจริงในห้องควบคุมเสียง

3.1 เปรียบเทียบกับเครื่องผสมสัญญาณเสียง ได้เทียบเคียงกับเครื่องบริษัท Eurodesk รุ่น MX 3282A จากประเทศเยอรมันนี้ คือ มีเตอร์แอลอีดีแสดงผลของระดับสัญญาณเสียง สัญญาณเสียงด้านเอาต์พุตเพื่อส่งไปยังภาคส่งสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์ ที่ 22 เดซิเบล (Unbalance) และสัญญาณเสียงสำหรับการบันทึก ที่ +22 เดซิเบล

3.2 เครื่องส่งสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์ ได้เทียบเคียงกับเครื่องบริษัท Axel technology รุ่น Macrotel 5 จากประเทศอิตาลี คือ สามารถส่งสัญญาณไปในสายโทรศัพท์ ที่ระดับสัญญาณ ± 16 เดซิเบล และมีความต้านทานสัญญาณไฟสลับ 100 โอห์ม

4. ลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

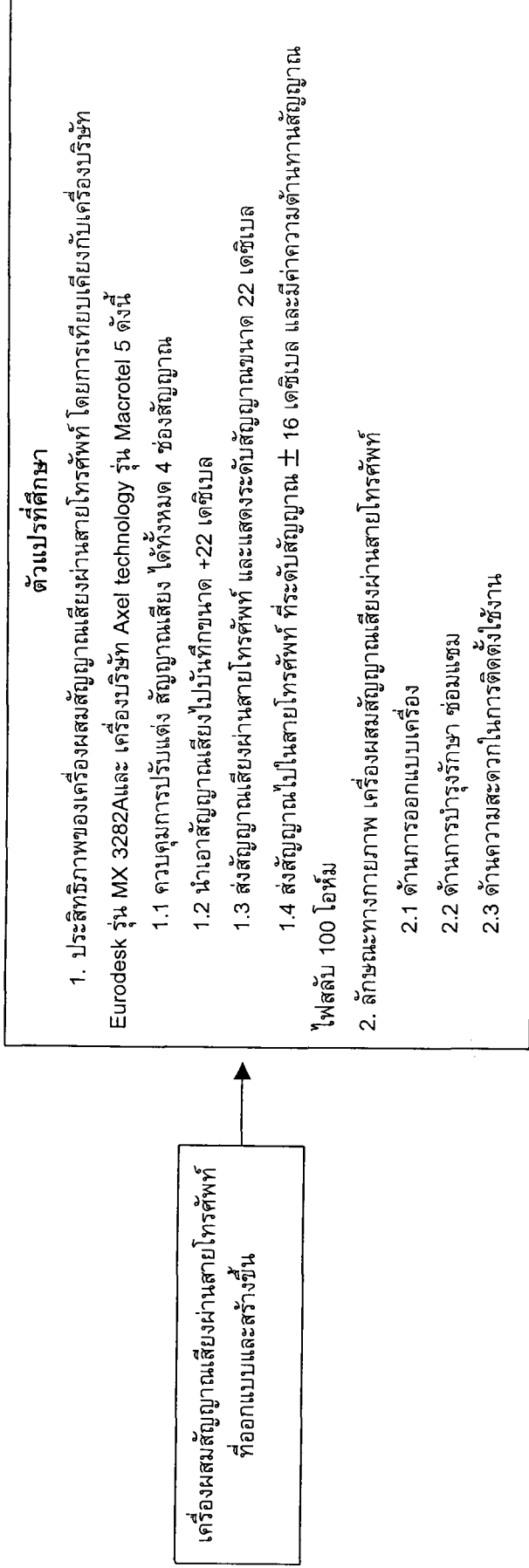
4.1 ด้านการออกแบบเครื่อง หมายถึง โครงสร้าง ความแข็งแรง ทนทาน ของเครื่อง รูปทรง สี สันขนาด ความเหมาะสมต่อการใช้งาน การจัดเรียง อุปกรณ์ต่างๆ ภายในเครื่อง ความสะดวกต่อการใช้งานของเครื่อง

4.2 ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม หมายถึง สามารถเปลี่ยน อะไหล่ ชิ้นส่วน ต่างๆ ได้ ตรวจสอบแก้ไข บำรุงรักษาเครื่องได้ง่าย ความเหมาะสมในการแยกส่วนประกอบภายในเครื่อง ราคาอุปกรณ์ เหมาะสมในการจัดซื้อและหาได้ง่าย

4.3 ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน หมายถึง ติดตั้งและประกอบใช้ร่วมกับเครื่องชนิดต่างๆ ได้ ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่อง สามารถถอดประกอบและแยกอุปกรณ์ของเครื่องได้ ขนาดกะทัดรัดเมื่อเทียบกับเครื่องใช้งานจริง

กรอบแนวความคิดในการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างกรอบแนวความคิดของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ไว้ดังนี้



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

1. เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ โดยเทียบเคียงกับเครื่องผสมสัญญาณเสียง บริษัท Eurodesk รุ่น MX 3282A จากประเทศเยอรมนีและเครื่องส่งสัญญาณโทรศัพท์ บริษัท Axel technology รุ่น MacroTel 5 จากประเทศอิตาลี
2. ลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ อยู่ในเกณฑ์ดี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากโครงการวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ได้มีการรวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้คือ

1. ระบบสื่อสารและกระจายเสียง
2. ระบบการผสมสัญญาณเสียง
3. เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
4. การหาประสิทธิภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
5. การประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

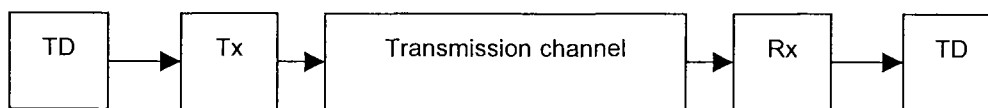
ระบบสื่อสารและการกระจายเสียง

1. ลักษณะทั่วไปและหัวข้อพื้นฐานของการสื่อสารด้วยไฟฟ้า

การสื่อสารนั้นอาจกล่าวได้ว่า ได้เริ่มต้นขึ้นพร้อมกับประวัติศาสตร์มนุษย์ แต่การสื่อสารด้วยไฟฟ้านั้นได้เริ่มต้นขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อมอร์ส (F.B. Morse) ได้ทำการส่งสัญญาณโทรเลขในรูปของสัญญาณไฟฟ้าเป็นผลสำเร็จเมื่อปี พ.ศ. 2381 ความสำเร็จของมอร์สนับเป็นการเปิดศักราชใหม่ของการสื่อสารด้วยไฟฟ้า ซึ่งให้ความสะดวกและรวดเร็วเมื่อเทียบกับการสื่อสารแบบอื่นๆ มาก ในช่วง 150 ปีเศษ ที่ผ่านมานี้ การสื่อสารด้วยไฟฟ้าได้พัฒนาไปกว้างไกลมากและได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นตามลำดับ ดังจะเห็นได้จากแหล่งบันเทิง พื้นฐานในบ้าน เช่น วิทยุและโทรทัศน์ ก็เป็นผลมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีด้านสื่อสาร และที่สำคัญมากก็คือ การติดต่อธุรกิจทั้งหลายล้วนแต่ต้องใช้การสื่อสารด้วยไฟฟ้าทั้งสิ้นนับตั้งแต่โทรศัพท์ เทเล็กซ์ การสื่อสารข้อมูล และโทรสาร เป็นต้น ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการสื่อสารด้วยไฟฟ้าเป็นระบบสื่อสารโทรคมนาคมที่มีบทบาทสูงสุดและนับวันจะเพิ่มพูนความสำคัญขึ้นไปเป็นลำดับ

1.1 ลักษณะทั่วไปของการสื่อสารด้วยไฟฟ้า

การสื่อสารด้วยไฟฟ้านั้นในช่วงเริ่มต้นเป็นการส่งข่าวสารที่เป็นตัวอักษร โดยส่งในรูปของโทรเลข หลังจากนั้นก็เป็นการส่งสัญญาณเสียงพูดในรูปของโทรศัพท์ ข่าวสารที่สามารถส่งได้นั้นมีรูปแบบที่เพิ่มมากขึ้นคือ นอกจากตัวอักษรและเสียงพูดแล้วยังมีเสียงดนตรี ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น เนื่องจากการสื่อสารด้วยไฟฟ้านั้นสัญญาณที่ส่งจากต้นทางไปจนถึงปลายทางจะอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงส่วนประกอบของระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้าและส่วนประกอบพื้นฐานจะเป็นดังที่แสดงในภาพประกอบ 2 กล่าวคือ ทางด้านส่งจะประกอบด้วยทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ที่ทำหน้าที่แปลงข่าวสารที่ต้องการส่งให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า และจะมีเครื่องส่ง (Transmitter) ที่จะจัดการกับสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่เหมาะสมที่จะส่งผ่านช่องส่งผ่านสัญญาณ (Transmission channel) ต่อไป สำหรับทางด้านรับนั้นจะมีเฉพาะเครื่องรับ (Receiver) ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ส่งผ่านช่องสัญญาณให้กลับเป็นรูปสัญญาณไฟฟ้ารูปเดิมที่จะนำไปขับทรานสดิวเซอร์เพื่อแปลงให้เป็นข่าวสารเดิมออกมา



TD : Transducer , Tx : Transmitter , Rx : Receiver

ภาพประกอบ 2 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้า
(บัณฑิต วิจารณ์ารยานนท์. 2539 : 2)

ทรานสดิวเซอร์ทางด้านส่งและทางด้านรับนั้นนับว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นเพราะแหล่งกำเนิดข่าวสารโดยทั่วไปไม่ได้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น ในการส่งข่าวสารที่เป็นเสียงทั้งหลายก็ต้องใช้ไมโครโฟนที่เป็นทรานสดิวเซอร์ทำหน้าที่แปลงเสียงหรือความดันของอากาศให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ในขณะเดียวกันทางด้านรับก็จะมีลำโพงซึ่งเป็นทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นเสียงเดิมกลับคืนมา ในกรณีของการส่งภาพนั้นกล้องโทรทัศน์จะเป็นทรานสดิวเซอร์ทางด้านส่ง และจอภาพของโทรทัศน์จะเป็น ทรานสดิวเซอร์ทางด้านรับ และอีกตัวอย่างหนึ่งคือในระบบวัดระยะไกล (telemetry – telecontrol) ทรานสดิวเซอร์ที่อยู่ในสนามก็ทำหน้าที่แปลงความดัน อุณหภูมิ หรือ อัตราการไหลให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังศูนย์ควบคุม และศูนย์ควบคุมก็จะส่งสัญญาณควบคุมกลับไปที่สนามเพื่อทำการเปิดปิดวาล์ว ให้ได้เงื่อนไขของการทำงานตามที่ต้องการ ข้อสังเกตจากที่กล่าวมานี้ก็คือ ทรานสดิวเซอร์ทางด้านรับนี้ไม่จำเป็นต้องทำงานย้อนรอยของทรานสดิวเซอร์ทางด้านส่งเสมอไป ในกรณีของไมโครโฟนกับลำโพงนั้นเป็นการทำงานย้อนรอยกัน แต่ในกรณีของระบบการวัดค่านั้น ทรานสดิวเซอร์ที่ศูนย์ควบคุมจะไม่จำเป็นต้องแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นความดันหรืออุณหภูมิกลับมาเพียงแต่แปลงสัญญาณไฟฟ้านั้นให้อยู่ในรูปสัญญาณบางอย่างที่มนุษย์เข้าใจได้ง่ายก็เพียงพอ เมื่อพิจารณาจากมนุษย์เป็นหลัก เนื่องจากมนุษย์สามารถสื่อสารด้วยประสาทสัมผัสทั้งห้า ในรูปของ รูป รส กลิ่น เสียง และการสัมผัส ดังนั้นทรานสดิวเซอร์ทางด้านรับทั้งหลายก็ต้องสามารถแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณที่มนุษย์รับรู้ได้ ทรานสดิวเซอร์ที่ได้รับการพัฒนามีคุณสมบัติดีมาก แล้วก็ยังมีพวกที่เกี่ยวกับเสียงซึ่งได้แก่ ลำโพง และพวกที่เกี่ยวกับรูปและตัวอักษรซึ่งได้แก่ จอภาพ เครื่องพิมพ์ดีด เครื่องพิมพ์ที่ใช้กับคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ทรานสดิวเซอร์เกี่ยวกับด้านสัมผัสก็มีบ้าง สำหรับทรานสดิวเซอร์เกี่ยวกับรสและกลิ่นนั้นก็มีการพัฒนาออกมาใช้มากขึ้นตามลำดับ ยกตัวอย่าง เช่น เซนเซอร์ (sensor) ของแก๊สชนิดต่างๆ เป็นต้น เมื่อกล่าวโดยสรุปแล้วจะได้ว่า แหล่งกำเนิดข่าวสารมีมากมายหลายแบบด้วยกัน และการที่จะทำการสื่อสารด้วยไฟฟ้าได้นั้นจะต้องมีทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่แปลงข่าวสารให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนทางด้านรับก็จะมีทรานสดิวเซอร์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นข่าวสารที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้

ส่วนประกอบต่อไปของระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้าได้แก่เครื่องส่ง เครื่องส่งเป็นอุปกรณ์ที่จัดการกับสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กให้เป็นสัญญาณที่มีขนาดและรูปแบบที่เหมาะสมที่จะส่งออกไปยังที่ห่างไกล การจัดการดังกล่าวอาจเป็นการขยายกำลังของสัญญาณ และแปลงความถี่ของสัญญาณ และการเข้ารหัสของสัญญาณ เป็นต้น เครื่องส่งนั้นจะถูกออกแบบให้เหมาะสมกับช่องส่งผ่านสัญญาณที่นำมาใช้

ช่องส่งผ่านสัญญาณนั้นจะเป็นตัวกลางที่ให้อำนาจสัญญาณไฟฟ้าส่งผ่านจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ ตัวกลางที่เป็นไปได้นั้นมี 2 แบบคือ สายนำสัญญาณแบบต่างๆ ซึ่งได้แก่สายคู่ตีเกลียว สายโคแอกเชียล ท่อนำคลื่นและเส้นใยนำแสง และตัวกลางที่เป็นบรรยากาศโดยตัวกลางที่เป็นบรรยากาศก็ต้องส่งออกไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศโดยใช้สายอากาศ ตัวกลางทั้งสองนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียกำลัง

ของสัญญาณในระหว่างการส่งออกไปเสมอ ช่องส่งผ่านสัญญาณในระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้างานี้มีลักษณะพิเศษที่เด่นมากคือ สัญญาณไฟฟ้าจะสามารถส่งผ่านไปได้อย่างรวดเร็วสูงมากหรือ คือสูงเท่าความเร็วแสงในกรณีส่งผ่านบรรยากาศ และสูงประมาณ 60% - 100% ของความเร็วแสงเมื่อส่งผ่านสายนำสัญญาณโดยขึ้นอยู่กับชนิดของสายนำสัญญาณ จึงเป็นแรงดึงดูดที่สำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาในระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้า

เครื่องรับปลายทางนั้นจะทำหน้าที่จัดการกับสัญญาณที่ได้รับจากช่องส่งผ่านสัญญาณที่มีกำลังลดต่ำลงให้เป็นสัญญาณที่มีกำลังสูงขึ้นโดยการขยายกำลัง จากนั้นจะทำการแปลงความถี่และทำการถอดรหัสตามที่จำเป็น เสร็จแล้วก็ทำการส่งสัญญาณที่ดีเทคมาได้ไปยังทรานสดิวเซอร์เพื่อแปลงให้เป็นข่าวสารเดิมกลับมาหรือเป็นข่าวสารในรูปแบบอื่นๆ ที่ต้องการ อนึ่งในช่องส่งผ่านสัญญาณนั้นจะเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นและปะปนกับสัญญาณจริงเข้ามาสู่เครื่องรับเสมอ นอกจากนั้นจะเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณเมื่อส่งผ่านสายนำสัญญาณเป็นระยะทางไกล ๆ ได้เสมอ

1.2 แนวคิดทางด้านวิศวกรรมของระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้า

งานทางด้านวิศวกรรมโดยทั่วไปนั้นอาจกล่าวได้ว่าเป็นการสร้างชิ้นงานตามข้อกำหนดโดยพยายามใช้ ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด ทรัพยากรที่เป็นพื้นฐานโดยทั่วไปนั้นคือ วัสดุและพลังงาน สำหรับการทำให้ต้นทุนต่ำนั้นนอกจากต้องใช้วัสดุและพลังงานน้อยแล้วยังต้องมีการควบคุมการผลิตที่เหมาะสมด้วย ในงานทางด้านระบบไฟฟ้าสื่อสารนั้นข้อคำนึงพื้นฐานทางด้านทรัพยากร และกระบวนการผลิตก็ต้องเหมือนกันงานทางด้านวิศวกรรมทั่วไปแต่จะมีทรัพยากรอีกอย่างหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษคือแถบความถี่ที่ต้องการ ความถี่ถือว่าเป็นทรัพยากรที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบไฟฟ้าสื่อสารเพราะความถี่ที่ใช้ในระบบสื่อสารมีจำนวนจำกัด และไม่สามารถใช้ความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียงกันในบริเวณเดียวกันได้เพราะจะเกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน ดังนั้นระบบที่ใช้แถบความถี่น้อยกว่าก็จัดว่าเป็นระบบที่ใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า อนึ่งทรัพยากรทางด้านพลังงานนั้นนอกจากจะหมายถึงทรัพยากรที่จะต้องใช้ในการสร้างชิ้นงานแล้วจะรวมถึงพลังงานที่จะต้องใช้ในการระหว่างการใช้ชิ้นงานนั้น เช่น พลังงานที่เครื่องส่งและเครื่องรับต้องการในขณะที่ทำงาน พลังงานในส่วนนี้จะต้องคำนึงถึงมากเป็นพิเศษในกรณีที่ใช้อุปกรณ์สื่อสารนั้นเป็นแบบเคลื่อนย้ายซึ่งแหล่งพลังงานที่เคลื่อนย้ายไปด้วยนั้นจะมีความจุจำกัดทั้งสิ้น

ข้อคำนึงที่สำคัญอีกด้านหนึ่งของระบบทางวิศวกรรมก็คือ ข้อกำหนดของชิ้นงานหรือของระบบที่ทำการสร้างจะต้องเป็นที่ยอมรับได้ ซึ่งหมายถึงชิ้นงานหรือระบบที่สร้างขึ้นจะต้องทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้โดยที่มีความปลอดภัย ในระบบไฟฟ้าสื่อสารนั้นข้อกำหนดหรือความต้องการที่สำคัญอาจแบ่งแยกออกได้เป็น 3 ประการหลัก ๆ ด้วยกันคือ ความรวดเร็ว ความถูกต้อง ความเชื่อถือได้

ความต้องการประการแรกคือความต้องการนั้น ถ้าพิจารณาในด้านที่ใช้สัญญาณไฟฟ้าซึ่งสามารถส่งผ่านไปได้อย่างรวดเร็วสูงจนหาวิธีส่งวิธีอื่นมาเทียบไม่ได้ ก็อาจทำให้เข้าใจว่าไม่มีวิธีสื่อสารแบบอื่นมาเทียบได้ อย่างไรก็ตามความเร็วในที่นี้หมายถึง ความเร็วในการส่งข่าวสารด้วย ซึ่งเกี่ยวข้องกับความจุของสัญญาณ (channel capacity) ยกตัวอย่างเช่น ในการส่งเอกสารชุดหนึ่งสมมุติว่า หนา 5000 หน้า ซึ่งมีปริมาณข่าวสารอยู่ประมาณ 8×10^7 บิต เมื่อส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีความจุเป็น 2400 บิต ต่อ วินาที จะต้องใช้เวลาในการส่งประมาณ 9 ชั่วโมงเศษ ดังนั้นถ้าจุดต้นทางและจุดปลายทางของการสื่อสารไม่ห่างไกลกันนัก การสื่อสารด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น ใช้ยานพาหนะก็จะมีผลรวดเร็วเร็วกว่าได้ แต่ถ้าสามารถส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีความจุเป็น 64,000 บิตต่อวินาที ก็สามารถส่งข่าวสารนั้นได้ในเวลาเพียง 20 นาทีเศษเท่านั้น โดยสรุปแล้วจะต้องพิจารณาที่ความรวดเร็วในการส่งข่าวสารเป็นหลัก

ความต้องการประการที่สองคือความถูกต้องนั้น ก็หมายถึงข่าวสารที่ปลายทางที่เครือข่ายปลายทางรับมาจะต้องถูกต้องตรงกับข่าวสารที่ส่งออกมาจากต้นทาง แต่เนื่องจากในช่วงของการส่งผ่าน

สัญญาณและการจัดการกับสัญญาณที่เครื่องรับนั้นจะทำให้มีสัญญาณรบกวนเพิ่มสูงขึ้นเสมอ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นก็คือจะทำให้คุณภาพของข่าวสารที่สร้างกลับคืนมาได้มีน้อยลงเสมอ สำหรับในเชิงของการส่งสัญญาณในระบบดิจิทัลนั้นสัญญาณรบกวนจะส่งผลให้มีการตีความผิดพลาดที่ปลายทางเกิดขึ้น ซึ่งก็จะทำให้ข่าวสารที่รับมาได้ผิดไปจากที่ส่งมาจากต้นทาง โดยสรุปแล้วความถูกต้องของข่าวสารนั้นในกรณีของสัญญาณแบบอนาล็อก เช่น เสียงและภาพ จะพิจารณาที่คุณภาพของสัญญาณที่ได้กลับคืนมา โดยมักจะดูที่อัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio) ในกรณีของการส่งสัญญาณดิจิทัลนั้นก็จะพิจารณาที่อัตราความผิดพลาดของสัญญาณดิจิทัลที่รับมาได้ ในระบบสื่อสารที่ได้มาตรฐานโดยทั่วไปจะมีการกำหนดค่าดังกล่าว

สำหรับความต้องการประการที่สามคือ ความเชื่อถือได้ หมายถึง การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบที่คงเส้นคงวา ไม่ถูกกระทบกระเทือนจากสภาพแวดล้อมได้โดยง่าย เช่น อุณหภูมิหรือความชื้นเปลี่ยนแปลงในช่วงที่กำหนดให้จะต้องทำงานได้ตามปกติ ถ้าเป็นอุปกรณ์สื่อสารประเภทเคลื่อนย้ายก็ต้องทนต่อการสั่นสะเทือนหรือแรงกระได้ เป็นต้น ความต้องการทั้งสามประการที่กล่าวมานี้ถือว่าเป็นความต้องการของระบบสื่อสารทุกแบบ นอกจากความต้องการที่กล่าวมานี้ในระบบไฟฟ้าสื่อสารบางแบบ เช่น ในระบบสื่อสารข้อมูลนั้น อาจจะมี ความต้องการทางด้านความปลอดภัยของข้อมูล (security) เพิ่มขึ้นอีกเป็นต้น การออกแบบระบบโดยทั่วไปนั้นจะนำความต้องการทั้งหลายที่มีอยู่มาพิจารณาร่วมกัน แล้วทำการสร้างระบบที่ใช้ทรัพยากรที่น้อยที่สุด

1.3 พื้นฐานของระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้า

ในระบบไฟฟ้าสื่อสารนั้น จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่จัดการกับสัญญาณไฟฟ้าที่ได้มาจากทรานสดิวเซอร์ให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมที่จะส่งออกไป ในขณะที่เดียวกันก็จำเป็นจะต้องรู้ว่า สัญญาณไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดข่าวสารแต่ละแบบจะมีแบนด์วิดท์อย่างไร และสัญญาณที่สร้างขึ้นเพื่อจะทำการส่งนั้นจะมีแบนด์วิดท์อย่างไร และต้องการกำลังไฟฟ้ามากน้อยเพียงไร ดังนั้นจึงมีหัวข้อพื้นฐานที่สำคัญบางประการที่ต้องทำการศึกษาเพื่อให้เข้าใจหลักการสื่อสารด้วยไฟฟ้าให้ถูกต้องและลึกซึ้ง ได้แก่

1.3.1 การวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณ

การวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณนั้นจัดว่าเป็นหัวข้อพื้นฐานที่สำคัญยิ่งของระบบการสื่อสารเพราะจำเป็นต้องรู้ถึงการกระจายของความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังของสัญญาณ (power spectral density) เพื่อจะได้รู้ว่าสัญญาณนั้นมีแบนด์วิดท์เป็นอย่างไร สามารถที่จะส่งได้โดยใช้แบนด์วิดท์เท่าไรและมีโอกาสที่จะลดแบนด์วิดท์ของสัญญาณโดยไม่กระทบกระเทือนคุณภาพของสัญญาณได้หรือไม่การหาสเปกตรัมของสัญญาณนั้นจำเป็นต้องใช้คณิตศาสตร์อยู่ 2 เรื่อง คือ ฟูเรียร์อินทิกรัล หรือ ฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม กับคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการกับกระบวนการเร้นดัม (random process) ต้องใช้หลักการของกระบวนการเร้นดัมในการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณนั้นเป็นเพราะว่าสัญญาณที่มีข่าวสารบรรจุอยู่โดยทั่วไปนั้นจะมีลักษณะอยู่ในรูปของสัญญาณเร้นดัม คณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณที่ข่าวสารนี้ จะสามารถใช้ในการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณรบกวนซึ่งก็เป็นสัญญาณเร้นดัมในตัวเองด้วย

1.3.2 การส่งผ่านของสัญญาณในระบบเชิงเส้น

ระบบเชิงเส้นนั้นเป็นระบบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยไฟฟ้า ดังนั้นการศึกษาคูณสมบัติของระบบเชิงเส้น เช่น การตอบสนองความถี่ของระบบเป็นต้น จึงเป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้เพราะสัญญาณที่ต้องการส่งนั้นโดยทั่วไปจะมีแบนด์วิดท์กว้างขนาดหนึ่ง เมื่อส่งผ่านระบบเชิงเส้นที่มีการตอบสนองต่อความถี่ต่างๆ ในแบนด์วิดท์ของสัญญาณไม่เหมือนกันก็จะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณขึ้นซึ่งการผิดเพี้ยนของสัญญาณจะทำให้คุณภาพของสัญญาณที่รับได้ด้อยลงไป การผิดเพี้ยนของสัญญาณจะเกิดขึ้นเสมอในการส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณที่มีความยาวมากๆ เพราะสายนำสัญญาณโดยทั่วไปจะตอบสนองต่อความถี่ต่างๆ ไม่เหมือนกัน

1.3.3 การมอดูเลตและการดีมอดูเลตสัญญาณ

การมอดูเลตสัญญาณไฟฟ้าหมายถึงการนำสัญญาณที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ทางด้านต้นทางผสมเข้าไปกับสัญญาณคลื่นพาห์เพื่อฝากข่าวสารที่มีอยู่ในสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปกับสัญญาณคลื่นพาห์ที่มีความถี่สูงกว่ามาก ๆ การมอดูเลตสัญญาณเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งถ้าต้องการส่งสัญญาณออกไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่านทางบรรยากาศ ทั้งเพราะไม่สามารถสร้างระบบสายอากาศให้ทำงานได้ดีที่มีความถี่ต่ำๆ ได้ เช่น ในช่วงความถี่เสียงที่มีสเปกตรัมอยู่ระหว่าง 300 – 3400 Hz จะไม่มีโอกาสที่จะสร้างสายอากาศให้ทำงานได้ดีตลอดช่วงความถี่นี้ได้ หรือในกรณีของสัญญาณภาพที่มีสเปกตรัมตั้งแต่ 50 Hz ถึงประมาณ 5 MHz ก็เช่นเดียวกัน ดังนั้นการมอดูเลตเพื่อย้ายเอาสเปกตรัมของสัญญาณเดิมไปอยู่รอบสเปกตรัมของสัญญาณคลื่นพาห์ ก็จะเปิดโอกาสให้สามารถลดแบนด์วิดท์ที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของสัญญาณที่ส่งออกไปได้ ยกตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณภาพที่มีแบนด์วิดท์ประมาณ 5 MHz โดยมอดูเลตแบบ AM เข้ากับสัญญาณคลื่นพาห์ความถี่ 200 MHz แบนด์วิดท์ที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ก็จะเป็นเพียง 5% การที่แบนด์วิดท์ลดลงอย่างนี้ ก็จะทำให้ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ เช่น สายอากาศ วงจรเรโซแนนท์ และวงจรขยาย เป็นต้น สร้างได้ง่ายขึ้น การมอดูเลตจึงเป็นการแปลงความถี่ของสัญญาณให้อยู่ในความถี่สูง เพื่อสะดวกในการส่งออกไปเป็นคลื่นวิทยุ และในขณะเดียวกันก็ทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ลดลงด้วย

ประโยชน์ของการมอดูเลตนั้นมีหลายประการด้วยกัน ประโยชน์ที่เด่นชัดมากๆ ก็คือ เพื่อให้ส่งสัญญาณหลายๆ สัญญาณพร้อมๆ กันได้ โดยการมอดูเลตเข้าไปกับคลื่นพาห์ที่มีความถี่ต่างกัน ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่าการมัลติเพล็กซ์เชิงความถี่ (frequency division multiplexing ย่อว่า FDM) การสื่อสารที่ใช้มัลติเพล็กซ์เชิงความถี่ที่เห็นได้ชัดก็คือระบบวิทยุกระจายเสียง หรือวิทยุโทรทัศน์ที่ใช้กันอยู่ การส่งสัญญาณที่ใช้การมอดูเลตนี้มักเรียกว่า ระบบส่งสัญญาณแบบแบนด์พาส (bandpass transmission system) และระบบที่ใช้การมัลติเพล็กซ์เชิงความถี่ด้วยนั้นมักจะเรียกว่า ระบบการส่งสัญญาณแบบ บรอดแบนด์ (broadband transmission system) สำหรับการส่งสัญญาณโดยส่งในรูปของสัญญาณเดิมนั้นเรียกว่าระบบส่งสัญญาณแบบเบสแบนด์ (baseband transmission system) ตัวอย่าง การส่งสัญญาณแบบเบสแบนด์ ได้แก่ การส่งสัญญาณออดิโอ (audio signal) จากเครื่องขยายกำลังไปยังลำโพง และการส่งสัญญาณ PCM แบบเบสแบนด์ เป็นต้น

1.3.4 การจัดการกับสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเสมอในระบบการสื่อสาร และจะเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ด้วย ทั้งนี้เพราะชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อยู่ทั้งหลาย เช่น ความต้านทาน ทรานซิสเตอร์ และไดโอด เป็นต้น ล้วนแต่เป็นต้นกำเนิดของสัญญาณรบกวนทั้งสิ้น นอกจากสัญญาณรบกวนประเภทที่เป็นเนื้อแท้ของระบบเกิดขึ้นจากการที่รบกวนจากการรบกวนภายนอก (interference) และความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายอีกด้วย ความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายนั่น ทำให้เกิดการสัญญาณรบกวนในรูปของอินเตอร์มอดูเลชัน และ ครอสมอดูเลชัน (intermodulation and cross modulation) ซึ่งก็เป็นปัญหาหลักของระบบมัลติเพล็กซ์เชิงความถี่ทั้งหลาย เนื่องจากสัญญาณรบกวนประเภทที่เป็นเนื้อแท้ของระบบมักจะมีค่านาเนนของสเปกตรัมกำลังกระจายอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจะสามารถใช้ฟิลเตอร์ในการสกัดกำลังของสัญญาณรบกวนในช่วงของความถี่ที่ไม่ต้องการออกไปได้ ฟิลเตอร์เป็นวงจรพื้นฐานที่ใช้ในรับสื่อสารทุกประเภท นอกจากการใช้ฟิลเตอร์แล้วยังสามารถลดกำลังของสัญญาณรบกวนได้ด้วยวิธีดีมอดูเลต วิธีดีมอดูเลตแบบโคฮีเรนซ์ดีเทกชันหรือ ซิงโครไนส์ดีเทกชันเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดกำลังของสัญญาณรบกวนลงได้

1.4 รูปแบบของระบบสื่อสารและโมเดลในการคิดสัญญาณรบกวน

ในการส่งสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับนั้น รูปแบบของการสื่อสาร ที่สามารถทำได้ก็คือ การส่งสัญญาณไปตามสายนำสัญญาณ และการส่งด้วยวิธีการกระจายคลื่น ในทางปฏิบัตินั้นไม่ว่าจะเป็นการส่งแบบไหน สัญญาณที่เข้าสู่เครื่องรับปลายทางนั้นจะมีระดับต่ำกว่าสัญญาณที่ออกจากเครื่องส่งต้นทางอย่างมาก ๆ เสมอ ดังนั้น ผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่จะมีต่อคุณภาพของสัญญาณจึงขึ้นอยู่กับความสามารถ และคุณภาพของเครื่องรับสัญญาณปลายทางเป็นหลัก เพื่อให้ระดับสัญญาณที่เครื่องรับกับระดับสัญญาณที่ภาคส่งแตกต่างกันมาก เช่น ตัวเลขที่ใช้อยู่ในระบบจริง ๆ 2 ระบบคือ ระบบส่งโทรทัศน์ตามสาย และระบบโทรทัศน์โดยการกระจายคลื่นออกอากาศ ซึ่งความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วง VHF (30 MHz – 300MHz) และช่วง UHF ด้านต่ำ (470MHz – 830 MHz) ระบบทั้งสองนี้จะแตกต่างกันที่ประเด็นหลัก ๆ 2 ประเด็น คือ ระบบส่งสัญญาณตามสาย ซึ่งสายที่ใช้มักจะเป็นสายโคแอกเชียลนั้น กำลังของสัญญาณทั้งหมดจะถูกส่งไปตามสายนำสัญญาณ ดังนั้นการลดต่ำลงของกำลังสัญญาณจะเกิดจากการสูญเสียในสายนำสัญญาณเป็นหลัก สำหรับระบบการส่งกระจายคลื่นนั้น ถึงแม้อากาศจะทำให้เกิดการสูญเสียของกำลังสัญญาณน้อยมาก แต่การกระจายคลื่นออกไปรอบทิศทาง (หรือถึงแม้จะอยู่ในมุมที่จำกัด) ก็จะทำให้ความหนาแน่นของกำลังคลื่นลดต่ำลงตามกฎกำลังสองผกผัน ซึ่งก็จะทำให้กำลังคลื่นที่ตำแหน่งรับลดต่ำลงไปได้มาก ข้อแตกต่างประเด็นที่สองก็คือ ระบบส่งตามสายนั้นถ้าเป็นการส่งที่มีระยะทางไกล ๆ มักจะต้องใช้เครื่องทวนสัญญาณระหว่างทางซึ่งอาจจะต้องใช้เป็นจำนวนหลาย ๆ เครื่องถ้าระยะทางไกลมาก แต่ระบบที่ส่งโดยวิธีการกระจายคลื่นนั้น เครื่องรับปลายทางจะรับกำลังคลื่นจากสายอากาศรับมาโดยตรงโดยไม่ต้องมีเครื่องทวนสัญญาณระหว่างทาง ในระบบส่งตามสายโคแอกเชียลนั้นกำลังส่งจากต้นทางจะเป็นประมาณ -15 dB_m และการสูญเสียในสายโคแอกเชียลนั้นจะอยู่ในช่วง 10 dB/km ถึง 50 dB/km ขึ้นอยู่กับความถี่ แต่เนื่องจากไม่สามารถปล่อยระดับสัญญาณต่ำลงไปมาก ๆ แล้วค่อยขยายด้วยเครื่องทวนสัญญาณ เพราะจะทำให้สัญญาณที่ออกจากเครื่องทวนสัญญาณมีคุณภาพด้อยลงมาก ดังนั้นในระบบนี้สัญญาณขาเข้าของเครื่องทวนสัญญาณจะเป็นประมาณ -40 dB_m นั้นหมายความว่าค่าการสูญเสียกำลังสัญญาณจะเป็นประมาณ 25 dB หรือคิดเป็นความยาวของสายนำสัญญาณได้ประมาณ 500 m เพราะฉะนั้นถ้าอัตราขยายของเครื่องทวนสัญญาณเป็น 25 dB ก็จะได้ระยะห่างระหว่างเครื่องทวนสัญญาณเป็น 500 m สำหรับระดับสัญญาณที่เครื่องรับโทรทัศน์ต้องการจะอยู่ในช่วงประมาณ -40 dB_m เช่นเดียวกัน

สำหรับระบบกระจายคลื่นนั้นความหนาแน่นของกำลังคลื่นจะลดต่ำลงตามกฎกำลังสองผกผันดังกล่าวข้างต้น ถ้าให้ P_t เป็นกำลังส่ง G_t และ G_r เป็นอัตราขยายของสายอากาศส่งและสายอากาศรับตามลำดับ ตามสูตรของฟรีส (Friis's formula) จะสามารถเขียนกำลังที่สายอากาศรับได้คือ

$$P_r = P_t G_t G_r (\lambda/4\pi R)^2$$

โดยที่ λ เป็นความยาวคลื่นและ R เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ค่า P_t G_t มักจะถูกเรียกว่า ค่ากำลังส่งประสิทธิภาพหรือ EIRP ซึ่งย่อมาจาก Effective isotropically radiated power จากสมการ (1) นี้จะสามารถคำนวณความสัมพันธ์ระหว่าง EIRP และกำลังรับในรูปแบบ dB ได้ดังต่อไปนี้

$$[\text{EIRP}] = [P_r] - [G_r] - 10 \log (\lambda/4\pi R)^2$$

ถ้าให้ $[P_r] = -40 \text{ dB}_m$, $[G_r] = 8 \text{ dB}$, $\lambda = 1.5 \text{ m}$ และ $R = 50 \text{ Km}$ ก็สามารถคำนวณหาค่า EIRP ที่ต้องการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 [EIRP] &= -40 \text{ dB}_m - 8 \text{ dB} - 10 \log \left(1.5 / 4\pi \times 50000 \right)^2 \\
 &= 64.4 \text{ dB}_m = 34.4 \text{ dB}_w
 \end{aligned}$$

และ ถ้าให้ $[G_r] = 12 \text{ dB}$ ค่ากำลังที่ต้องการก็จะเป็น

$$[P_t] = 34.4 \text{ dB}_w - 12 \text{ dB} = 22.4 \text{ dB}_w$$

จะเห็นว่ากำลังส่งจะสูงกว่ากำลังรับถึง 92.4 dB เทอมสุดท้ายในสมการ (2) คือ $10 \log (\lambda/4\pi R)^2$ นั้นบางครั้งเรียกว่าการสูญเสียในอวกาศว่าง (Free space loss) เพราะถึงแม้ตัวกลางที่คลื่นส่งผ่านจะเป็นอวกาศว่างก็จะต้องมีเทอมนี้อยู่เสมอ

จากตัวอย่างที่กล่าวมาพอจะสรุปได้ว่า ไม่ว่าจะเป็นระบบการสื่อสารแบบส่งสัญญาณผ่านสายหรือแบบกระจายคลื่นออกไป กำลังสัญญาณที่เข้าสู่เครื่องรับจะต่ำลงไปจากกำลังสัญญาณที่ออกจากเครื่องส่งมาก

1.5 โมเดลของระบบสื่อสาร

การสื่อสารนั้นโดยนิยามทั่วไปก็คือ การส่งผ่านข่าวสารจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของการสื่อสารได้อย่างถูกต้องและตรงประเด็น แชนนอนได้เป็นผู้เสนอโมเดลของระบบสื่อสารขึ้นเป็นคนแรกใน ค.ศ. 1948 โดยแบ่งระบบสื่อสารออกเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ตามหน้าที่ และต่อมาใน ค.ศ. 1961 ฟาโน (R.M. Fano) ได้เสนอโมเดลของระบบสื่อสารที่ละเอียดขึ้นไปกว่าของแชนนอนและเป็นโมเดลที่เป็นที่ยอมรับมากที่สุด

1.5.1 โมเดลระบบสื่อสารที่เสนอโดยแชนนอน

แชนนอนได้เสนอโมเดลของระบบสื่อสาร โดยแบ่งระบบสื่อสารออกเป็นส่วนประกอบหลัก ๆ คือ แหล่งกำเนิดข่าวสาร (Information Source) เครื่องส่งสัญญาณ (Transmitter) ช่องสัญญาณ (Channel) เครื่องรับสัญญาณ (Receiver) และผู้รับข่าวสารปลายทาง (Distination) แหล่งกำเนิดข่าวสารจะเป็นแหล่งที่ให้กำเนิดข่าวสาร (Message) ซึ่งข่าวสารนั้นอาจจะเป็นตัวอักษรที่เรียงกันเป็นคำและมีความหมาย หรือเป็นเสียงพูด เป็นต้น ช่องสัญญาณนั้นก็หมายถึงตัวกลางที่จะให้สัญญาณผ่านไปซึ่งจะหมายถึงตั้งแต่ออกจากเครื่องส่งจนถึงเครื่องรับ และสัญญาณรบกวนจะเข้าสู่ช่องสัญญาณในระหว่างทาง

สำหรับเครื่องส่งนั้นจะทำหน้าที่ในการแปลงข่าวสารให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่เหมาะสมที่จะส่งผ่านช่องสัญญาณ แชนนอนได้เรียกขั้นตอนนี้ว่า การเข้ารหัส (Coding หรือ Encoding) สัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นนี้เมื่อส่งผ่านไปยังช่องสัญญาณก็จะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาปะปน และก็ส่งผ่านถึงเครื่องรับในสภาพที่สัญญาณรบกวนปะปนอยู่ เครื่องรับนั้นก็จะทำหน้าที่ย้อนขั้นตอนของการส่งคือ ทำการแปลงสัญญาณที่รับเข้ามากลับเป็นข่าวสาร ในขั้นตอนดังกล่าวนี้ถ้าสัญญาณที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณที่ไม่มีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ เครื่องรับก็อาจจะทำงานได้อย่างสมบูรณ์แบบคือ แปลงสัญญาณให้กลับมาเป็นข่าวสารได้อย่างถูกต้องแต่ในสภาพที่มีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่นั้นเครื่องรับที่ดีก็คือเครื่องรับที่แปลงสัญญาณกลับมาเป็นข่าวสารโดยมีการผิดพลาดน้อยที่สุด

ขั้นตอนในการแปลงสัญญาณให้กลับมาเป็นข่าวสารนี้เรียกว่า การถอดรหัส (Decoding) ในระบบสื่อสารที่ดีนั้นการเข้ารหัสจะต้องทำให้สัญญาณที่ได้มีความสามารถในการต่อต้านสัญญาณรบกวนสูง ในขณะที่เดียวกันก็ต้องเอื้ออำนวยต่อการถอดรหัสที่จะทำให้เกิดการผิดพลาดต่ำที่สุด การเข้ารหัสโดยใช้รหัสสมอร์ส (Morse code) ในการส่งโทรเลขก็ดี การมอดูเลตแบบ FM ก็ดี และการมอดูเลตแบบ PCM ก็ดี จัดได้ว่าเป็นการเข้ารหัสที่ทำให้ได้สัญญาณที่มีความสามารถในการต่อต้านสัญญาณรบกวนสูง สำหรับการเข้า

รหัสแบบที่ใช้รหัสแก้ความผิดพลาด (error-correcting) ที่ใช้ในระบบข่าวสารข้อมูลก็ว่าเป็นการเข้ารหัสที่เอื้ออำนวยให้การถอดรหัสมีการผิดพลาดน้อยที่สุด

1.6 โมเดลของระบบสื่อสารที่เสนอโดยฟาโน

ในปี ค.ศ. 1961 ฟาโนได้เสนอโมเดลของระบบสื่อสารโดยดัดแปลงจากโมเดลของแชนนอนและเรียกโมเดลนี้ว่าโมเดลของระบบสื่อสารข้อมูล ลักษณะของโมเดลก็คือ ฟาโนได้แยกส่วนที่เป็นเครื่องส่งในโมเดลของแชนนอนออกเป็นเครื่องเข้ารหัสข่าวสาร (source encoder) และเครื่องเข้ารหัสช่องสัญญาณ (channel encoder) ในขณะเดียวกันก็แยกเครื่องรับในโมเดลของแชนนอนเป็น เครื่องถอดรหัสช่องสัญญาณ (channel decoder) และเครื่องถอดรหัสข่าวสาร (source decoder) นอกจากนั้นสัญญาณในช่วงระหว่างเครื่องเข้ารหัสข่าวสารและเครื่องเข้ารหัสช่องสัญญาณก็พิจารณาในรูปของสัญญาณไบนารี ดังนั้นเครื่องเข้ารหัสข่าวสารก็จะต้องทำการแปลงข่าวสารให้ออกมาอยู่ในรูปของของสัญญาณไบนารี ต่อจากนั้นเครื่องเข้ารหัสช่องสัญญาณก็จะจัดการกับสัญญาณไบนารีนั้นให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับส่งผ่านช่องสัญญาณต่อไป

การที่ฟาโนแบ่งเครื่องส่งและเครื่องรับออกเป็น 2 ส่วน ก็เพราะเห็นว่าการเข้ารหัสข่าวสารและการถอดรหัสข่าวสารนั้นเป็นขั้นตอนที่อยู่ในลักษณะสมบัติของพروبอบิลิตีของการเกิดของข่าวสาร ในขณะที่การเข้ารหัสของช่องสัญญาณนั้นจะขึ้นอยู่กับ ลักษณะสมบัติของช่องสัญญาณที่ส่งผ่านสัญญาณไป การแยกเป็น 2 ส่วนอย่างชัดเจนเช่นนี้ทำให้เห็นชัดขึ้นว่า ในส่วนของการเข้ารหัสข่าวสารนั้นเมื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมของพروبอบิลิตีของการเกิดข่าวสารก็จะทำให้ใช้ความยาวโดยเฉลี่ยของสัญญาณไบนารีที่สั้นที่สุดในการส่งข่าวสารได้ นั่นคือ มีโอกาสอดข่าวสารได้ สำหรับในส่วนของการเข้ารหัสช่องสัญญาณนั้นก็หมายถึงสามารถเลือกรูปแบบของการส่งสัญญาณที่เหมาะสมกับช่องสัญญาณที่มีอยู่เพื่อให้สัญญาณที่ได้จากเครื่องถอดรหัสช่องสัญญาณปลายทางมีการผิดพลาดที่น้อยที่สุด เมื่อกล่าวโดยสรุปแล้วโมเดลของฟาโนนี้ได้แยกหน้าที่หลักเป็น 2 ประการของระบบสื่อสารคือ (1) การส่งข่าวสารอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงให้เป็นหน้าที่ของเครื่องเข้ารหัสข่าวสาร และ (2) การส่งสัญญาณให้มีความถูกต้องสูงให้กับเครื่องเข้ารหัสช่องสัญญาณ การแบ่งหน้าที่กันอย่างชัดเจน นอกจากจะมีประโยชน์ทางด้านทฤษฎีแล้วยังประโยชน์อย่างยิ่งในการออกแบบระบบสื่อสารในภาคปฏิบัติ การที่ฟาโนเรียกโมเดลของระบบสื่อสารที่เสนอขึ้นนี้ว่าโมเดลของระบบสื่อสารข้อมูล เพราะว่าฟาโนได้แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ข่าวสารที่ต้องการส่งจะเป็นสัญญาณที่มีค่าต่อเนื่อง เช่น สัญญาณเสียง สัญญาณภาพ เป็นต้น เครื่องเข้ารหัสข่าวสารก็จะสามารถแปลงให้สัญญาณนั้นอยู่ในรูปของสัญญาณไบนารีเสมอ ดังนั้นโมเดลของฟาโนนี้จึงเป็นโมเดลที่ใช้โดยทั่วไปในขณะนี้

1.7 ระบบการส่งวิทยุกระจายเสียง

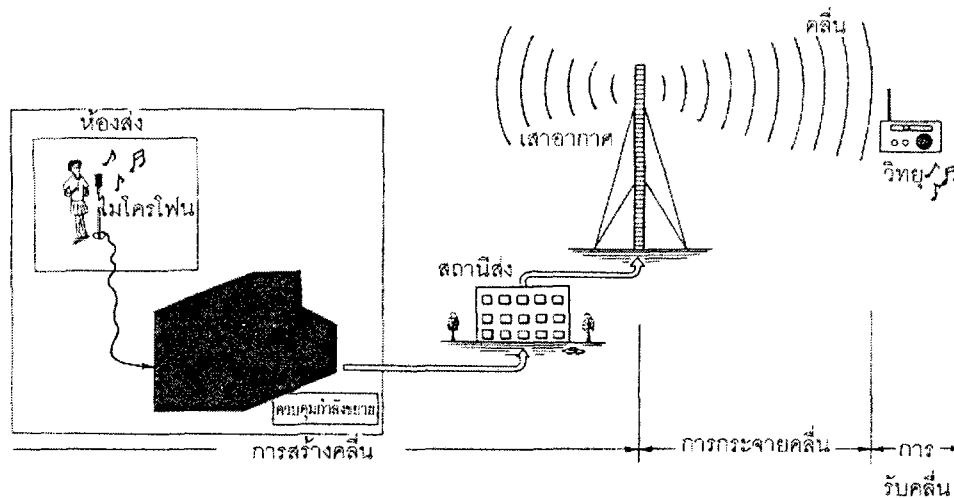
การส่งกระจายเสียงวิทยุ เสียงคือคลื่นที่เกิดการสั่นไหวของอากาศ ดังนั้นระยะทางการเคลื่อนกระจายของเสียงจึงมีขอบเขตจำกัด อย่างมากก็เพียง 400 – 500 เมตร แต่การกระจายเสียงในลักษณะเช่นนี้กระทำได้ในระยะทางจำกัด ในการกระจายคลื่นเสียงให้ได้ไกลๆ นั้น จำเป็นต้องเปลี่ยนรูปลักษณะใหม่โดยอาศัยคลื่นวิทยุมาเป็นตัวพาคลื่นเสียงไป คลื่นวิทยุนั้นสามารถส่งกระจายไปได้ทั้งภายในและภายนอกประเทศ และสามารถส่งกระจายไปในอวกาศถึงดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ ก็ได้ ฉะนั้นถ้าสามารถสร้างคลื่นวิทยุที่นำพาคลื่นเสียงไปด้วยได้แล้ว จะทำให้คลื่นเสียงกระจายไปได้ไกลทั่วทุกแห่งแม้แต่ในอวกาศ

การส่งกระจายเสียงวิทยุในระยะแรกๆ นั้นสถานีวิทยุมีน้อย จึงใช้คลื่นขนาดกลางก็เพียงพอแล้ว แต่ถ้าเมื่อสถานีส่งมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ขนาดคลื่นที่ใช้จึงเปลี่ยนเป็นคลื่นสั้น และในระยะสิบปีก่อนหน้านี้ก็ขยายคลื่นสั้นให้สั้นลงไปอีกเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ และได้มีการปรับปรุงระบบการส่งวิทยุเสียใหม่ด้วย (ระบบ FM)

1.7.1 องค์ประกอบของระบบการส่งกระจายเสียงวิทยุ

องค์ประกอบของระบบการส่งกระจายเสียงวิทยุมีดังภาพประกอบ 3 จะเห็นได้ว่ามี 3 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันคือ ส่วนที่ทำหน้าที่สร้างคลื่นโดยเปลี่ยนคลื่นเสียงเป็นคลื่นของกระแสไฟฟ้า จนกระทั่งแปลงเป็นคลื่นวิทยุส่งกระจายออก และส่วนที่ทำหน้าที่จับคลื่นวิทยุเหล่านี้มาแปลงกลับเป็นเสียงเดิมอีกทีหนึ่ง

ส่วนที่ทำหน้าที่สร้างคลื่นและส่งกระจายออกไปนั้นคือสถานีวิทยุ ส่วนที่ทำหน้าที่รับและแปลงกลับเป็นคลื่นเสียงนั้นก็คือเครื่องรับวิทยุนั่นเอง จึงขอนำเอาองค์ประกอบทั้ง 2 มากล่าวแยกพิจารณากันอีกทีหนึ่ง



ภาพประกอบ 3 แสดงระบบส่งกระจายเสียงวิทยุ
(สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว, 2545 : 194)

1.7.2 การส่งกระจายเสียง

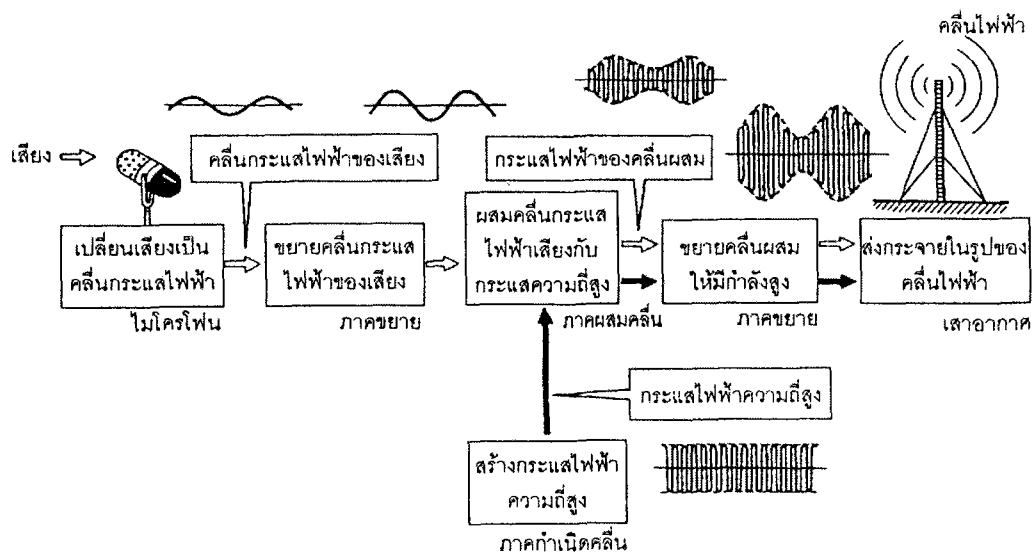
ภาพประกอบ 4 แสดงขั้นตอนต่างๆ ในการเปลี่ยนแปลงคลื่นเสียง เพื่อให้คลื่นวิทยุนำพาออกไปเพื่อส่งกระจายในบรรยากาศโดยผ่านเสาอากาศ ซึ่งจะอธิบายตามลำดับขั้นตอนจากซ้ายไปขวาดังต่อไปนี้คือ

1.7.2.1 การเปลี่ยนเสียงเป็นคลื่นกระแสไฟฟ้า - ไมโครโฟน (Microphone)

ถ้าไม่เปลี่ยนรูปลักษณะของเสียงแล้ว คลื่นวิทยุก็ไม่นำพาคลื่นเสียงนั้นไปได้ จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนเสียงเป็นกระแสไฟฟ้าเสียก่อน ส่วนประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่ดังกล่าวได้แก่ ไมโครโฟน ซึ่งจะเปลี่ยนการสั่นของคลื่นเสียงเป็นการสั่นของกระแสไฟฟ้า โดยที่ปริมาณของกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับระดับเสียงนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า "คลื่นกระแสไฟฟ้าของเสียง"

2.7.2.2 การขยายคลื่นกระแสไฟฟ้าของเสียง-ภาคขยายคลื่นต่ำคลื่นกระแส

ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากไมโครโฟนมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที จึงจำเป็นต้องมีการขยายให้ใหญ่เสียก่อนอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ขยายกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้นนั้นเรียกว่า "เครื่องขยาย" ซึ่งแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามความถี่ของกระแสหรือแรงดันไฟฟ้านั้น เช่น เครื่องขยายกระแสไฟฟ้าตรง เครื่องขยายคลื่นความถี่ต่ำ เครื่องขยายคลื่นความถี่สูงหลักการในการแบ่งชนิดของเครื่องขยายสัญญาณนี้ไม่ได้กำหนดแน่นอนแต่โดยปกติแล้วภาคขยายกระแสไฟฟ้าตรงจะใช้กับไฟฟ้าที่มีคลื่นความถี่ต่ำกว่า 20 Hz ภาคขยายคลื่นความถี่ต่ำใช้กับคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 Hz เพราะฉะนั้นเครื่องขยายคลื่นความถี่ต่ำจึงเหมาะสมที่จะใช้กับคลื่นความถี่เสียง



ภาพประกอบ 4 แสดงขั้นตอนการสร้างคลื่นจากเสียงเพื่อส่งกระจายออก
(สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว, 2545 : 195)

1.7.2.3 การสร้างกระแสคลื่นความถี่สูง - วงจรกำเนิดคลื่น (Oscillator) ถ้านำคลื่นกระแสไฟฟ้าของเสียงซึ่งมีความถี่ต่ำเกินไป ไปไหลผ่านเสาอากาศเพื่อส่งกระจายแล้ว การกระจายคลื่นจะไปได้ไม่ไกล ฉะนั้น จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนคลื่นกระแสไฟฟ้าของเสียงให้เป็นคลื่นวิทยุความถี่สูง เพื่อจุดประสงค์ในการกระจายคลื่นไปในบรรยากาศให้ได้ไกล ถ้าเป็นกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำ เช่น ไฟ 50 Hz หรือ 60 Hz อาจจะทำให้ขึ้นได้ง่ายโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยทั่วไป แต่เมื่อความถี่มีค่าสูงขึ้นก็จำเป็นต้องสร้างวงจรกำเนิดคลื่นที่อาศัยหลักการสั่นไหวของไฟฟ้าโดยใช้ทรานซิสเตอร์หรือหลอดสุญญากาศ ซึ่งเรียกววงจรไฟฟ้างี้ว่า “วงจรกำเนิดคลื่น”

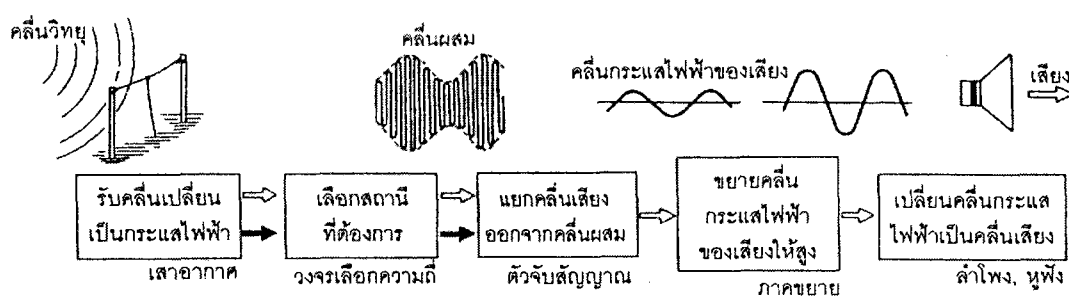
1.7.2.4 การผสมคลื่นกระแสไฟฟ้าของเสียงกับกระแสคลื่นความถี่สูง - การผสมคลื่น เมื่อมีการสร้างคลื่นความถี่สูงจากตัวกำเนิดคลื่นแล้ว ก็จะมีการผสมคลื่นความถี่สูงนี้กับคลื่นเสียง หรือเพื่อให้เข้าใจง่าย ๆ คือ ใช้คลื่นความถี่สูงเป็นตัวบรรจุทุกพาดคลื่นเสียงไปนั่นเอง การผสมคลื่นความถี่สูงกับคลื่นเสียงนี้เรียกว่า การผสมคลื่น (Modulation) โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “ตัวผสมคลื่น” คลื่นความถี่สูงจะทำหน้าที่บรรจุทุกพาดคลื่นเสียงให้กระจายส่งออกไปจึงเรียกว่า คลื่นพาหะ (Carrier) และคลื่นเสียงจะเป็นคลื่นสัญญาณ (Signal) ที่ถูกพาไปด้วย วิธีการผสมคลื่นระหว่างคลื่นพาหะและคลื่นสัญญาณนี้มีหลายรูปแบบด้วยกัน วิธีที่ใช้สำหรับส่งกระจายเสียงวิทยุนี้มีเพียง 2 แบบคือ การผสมคลื่นตามขนาดความสูงของคลื่น (Amplitude Modulation) ซึ่งใช้ตัวย่อว่า AM และการผสมคลื่นตามความถี่ของคลื่น (Frequency Modulation) ซึ่งใช้ตัวย่อว่า FM การผสมคลื่นตามขนาดความสูงของคลื่นนั้น เป็นวิธีการเปลี่ยนค่าความสูงของคลื่นพาหะตามความแรงของคลื่นสัญญาณ ส่วนการผสมตามความถี่ของคลื่นนั้น เป็นวิธีการเปลี่ยนค่าความถี่ของคลื่นพาหะตามความแรงของคลื่นสัญญาณ การผสมคลื่นในภาพประกอบ 5 นั้นเป็นการผสมคลื่นตามขนาดความสูงของคลื่น ระหว่างการผสมคลื่นแบบตามความสูงของคลื่นและตามความถี่ของคลื่นนั้น การผสมคลื่นตามความสูงของคลื่นที่นิยมใช้กับคลื่นความถี่กลาง เมื่อความถี่ของคลื่นพาหะมีค่าค่อนข้างต่ำ การส่งกระจายเสียงภาค AM จะดีกว่าการส่งกระจายเสียงภาค FM ในเรื่องคุณภาพเสียง การผสมคลื่นตามความถี่ของคลื่นเป็นวิธีที่ใช้กับคลื่นสั้นมากๆ ได้แก่ คลื่นพาหะที่มีความถี่สูงระหว่าง

88 – 108 MHz การส่งกระจายเสียงภาค FM มักจะบอกให้ทราบได้จากสถานีส่ง เช่น ททท. ภาค FM คุณภาพเสียงในการส่งกระจายเสียงภาค FM จะดีกว่าแบบ AM จึงเหมาะสมที่ใช้ในการส่งกระจายเสียงดนตรี

1.7.2.5 การขยายคลื่นผสม - ภาคขยายกำลังความถี่สูง คลื่นผสมระหว่างคลื่นพาหะและคลื่นสัญญาณจะเป็นคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก จึงมีกำลังไฟฟ้าต่ำ ถ้านำไปไหลผ่านเสาอากาศเพื่อสร้างคลื่นไฟฟ้าสำหรับกระจายออกไปนั้นจะไปไม่ได้ไกล จึงจำเป็นต้องมีการขยายกำลังคลื่นผสมนี้ให้ มีกำลังไฟฟ้าสูงขนาดหลายสิบหรือหลายร้อยกิโลวัตต์ การเพิ่มขยายกำลังไฟฟ้าให้มากขึ้นนี้เรียกว่า การขยายกำลังไฟฟ้า สำหรับการขยายคลื่นผสมนี้จะเป็นการขยายกำลังไฟฟ้าของคลื่นที่มีความถี่สูง

1.7.3 การรับคลื่นส่งกระจายเสียงมาเป็นเสียง - โครงสร้างของเครื่องรับวิทยุ

เครื่องรับวิทยุ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการรับคลื่นและเปลี่ยนเป็นเสียงให้ได้ยิน การส่งกระจายเสียงนั้นๆ มักเรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า “วิทยุ” แต่ถ้าจะเรียกให้ถูกต้องควรเรียกว่า “เครื่องรับวิทยุ”



ภาพประกอบ 5 แสดงโครงสร้างของคลื่นวิทยุ

(สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. 2545 : 197)

โครงสร้างของเครื่องรับวิทยุมีแสดงไว้ดังภาพประกอบ 5 เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา ดังนี้คือ

1.7.3.1 การจับคลื่นส่งกระจายเสียง - เสาอากาศ เสาอากาศเป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่รับคลื่นการส่งกระจายเสียงมาเปลี่ยนให้เป็นคลื่นกระแสไฟฟ้าความสูง ถ้าเครื่องรับวิทยุไม่อยู่ในตำแหน่งที่ไกลจากสถานีส่ง หรือไม่อยู่ในตัวดึกที่คลื่นไฟฟ้าส่งกระจายเข้าไปถึงได้ยากแล้ว การติดตั้งเสาอากาศก็ไม่จำเป็นต้องยื่นออกไปนอกตัวอาคาร เพียงแต่เป็นสายไฟฟ้าต่อไว้สั้นๆ ก็พอ

1.7.3.2 การเลือกสถานีส่งตามต้องการ - วงจรเลือกความถี่ (Tuning - circuit) การกระจายเสียงวิทยุนั้นไม่ได้กระทำกันเพียงสถานีเดียว แต่จะมีการส่งกันหลายสถานีพร้อมๆ กัน ในขณะเดียวกันเสาอากาศรับคลื่นการส่งกระจายเสียงจากสถานีต่างๆ เหล่านี้ไว้ แต่การที่จะรับฟังเสียงจากสถานีต่างๆ ในเวลาที่พร้อมกันนั้นย่อมไม่ดีแน่ จึงจำเป็นต้องมีระบบเลือกฟังแต่เพียงสถานีเดียวส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ดังกล่าวจะเป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุที่เปลี่ยนค่าได้และขดลวด โดยอาศัยหลักการเกิดกำหนดโดยการปรับค่าของตัวเก็บประจุ จะทำให้วงจรเลือกความถี่กำหนดซึ่งมีค่าเท่ากับความถี่ของคลื่นของสถานีส่งที่ต้องการรับฟังได้

1.7.3.3 การเปลี่ยนคลื่นผสมมาเป็นคลื่นกระแสไฟฟ้าของเสียง - ตัวจับสัญญาณ (Detector) วงจรเลือกความถี่จะรับสัญญาณคลื่นผสม ซึ่งประกอบด้วยคลื่นพาหะความถี่สูงกับสัญญาณเสียงความถี่ต่ำ จากนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการแยกสัญญาณเสียงออกจากคลื่นผสมนั้นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่นี้ก็คือตัวจับสัญญาณ วิธีแยกสัญญาณขึ้นอยู่กับวิธีการผสมคลื่น ฉะนั้นวิธีแยกสัญญาณคลื่นที่ผสมตามขนาดของความสูงของคลื่น และวิธีแยกสัญญาณคลื่นที่ผสมตามขนาดของความถี่ของคลื่นย่อมแตกต่างกัน ดังนั้น

เครื่องรับวิทยุจึงมีทั้งแบบรับ AM และ FM เพื่อให้เป็นไปตามระบบการส่งกระจายเสียงของสถานีนั่น โครงสร้างของเครื่องรับวิทยุที่เขียนแสดงไว้ในภาพประกอบ 5 เป็นแบบที่ใช้รับภาค AM

1.7.3.4 การขยายสัญญาณกระแสไฟฟ้าของเสียง – สร้างวงจรขยายคลื่นความถี่ต่ำ สัญญาณกระแสไฟฟ้าของเสียงที่ตัวจับสัญญาณซึ่งแยกออกจากคลื่นผสมนั้นมีขนาดเล็กมาก จึงไม่สามารถทำให้เกิดเสียงดังเพียงพอ ดังนั้นในเครื่องรับวิทยุจึงจำเป็นต้องมีภาคขยายคลื่นความถี่ต่ำไว้ เพื่อเพิ่มกำลังของกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอที่จะใช้กับลำโพง แต่เครื่องรับวิทยุบางชนิดที่ใช้หูฟังและที่ไม่มีวงจรขยายนี้ก็มีเหมือนกันการเปลี่ยนคลื่นกระแสไฟฟ้าของเสียงให้เป็นเสียง – ลำโพง – หูฟัง องค์ประกอบที่ทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นกระแสไฟฟ้าของเสียง ได้แก่ ลำโพงและหูฟัง

ระบบการผสมสัญญาณเสียง

การผสมสัญญาณของเสียง ประกอบด้วยการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผสมสัญญาณเสียง และขยายเสียง โดยนำเอาสัญญาณที่ได้จากการผสมสัญญาณมาทำการขยายขนาดของสัญญาณเพิ่มขึ้น โดยใช้วงจรต่างๆ เช่น วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก ทรานซิสเตอร์หรือออปแอมป์ เป็นตัวขยายสัญญาณ นอกจากนั้นแล้วต้องกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดเนื่องจากอุปกรณ์ การรบกวนจากภายนอกหรือภาคการทำงานต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของการรบกวนสัญญาณ เพื่อให้คุณภาพของสัญญาณเสียงมีคุณภาพมากที่สุด

1. คุณสมบัติของคลื่นเสียง

เสียงเป็นแหล่งกำเนิดของการสั่นสะเทือนคลื่นเป็นลักษณะของการถ่ายทอดพลังงาน จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง พลังงานอาจจะอยู่ในรูปของพลังงานกล พลังงานความร้อน พลังงานแสง พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าหรือพลังงานเสียง เป็นต้น

1.1 ลักษณะสมบัติของคลื่นเสียง

ลักษณะการแกว่งของแหล่งกำเนิดทำให้เกิดเป็นความถี่ของคลื่นเสียง มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz) หรือรอบต่อวินาที (cps) จำนวนของอัดและขยายของอากาศที่มีผลมาจากการเคลื่อนที่ของทรงกลมคือ ส่วนสูงหรือแอมพลิจูดของคลื่นเสียงที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความดัง (Loudness) ของเสียงที่บ่งบอกถึงความเข้มเสียงที่มาถึงหูมนุษย์ ส่วนระยะทางระหว่างยอดคลื่นที่อยู่ใกล้ชิดกัน หรือระยะทางของหนึ่งลูกคลื่นเรียกว่า ความยาวคลื่น (wavelength) ของคลื่นเสียง เรียกเป็นภาษากิตว่า แลมด้า อย่างไรก็ตาม ความคลื่นจะขึ้นอยู่กับความเร็วของคลื่นเสียง เมื่อคลื่นเดินทางด้วยความเร็ว ระยะทางระหว่างยอดคลื่นจะมีค่ามากกว่าคลื่นที่เดินทางช้า โดยให้เวลาคงที่ระหว่างช่วงอัดของยอดคลื่น (นั่นคือความถี่ของการออสซิลเลตแหล่งกำเนิดจะคงที่) ลักษณะสมบัติของคลื่นเสียงสามารถแทนได้ด้วยกราฟ แกนทางแนวดิ่งเป็นค่าแอมพลิจูด แกนทางแนวนอนเป็นเวลา โดยการแทนช่วงอัดของอากาศเป็นบวก (+) และช่วงขยายเป็นลบ (-) สำหรับการเคลื่อนที่เมื่อเคลื่อนผ่านตัวกลางไปในตัวกลาง อนุภาคของตัวกลางจะสั่นสะเทือนด้วยอัตราเดียวกันกับการสั่นสะเทือนของวัตถุที่เป็นต้นกำเนิด การสั่นสะเทือนนั้นเป็นไปอย่างมีจังหวะ คือเป็นไปในรูปซิมเปิลฮาร์โมนิก (Simple harmonic motion : S.H.M.) ซึ่งได้รูปคลื่นเสียงที่รู้จักโดยทั่วไปคือ รูปคลื่นไซน์ที่ปราศจากฮาร์โมนิกใด ๆ ประปน

1.2 เสียงเดินทางด้วยอากาศเป็นตัวกลาง

คลื่นเสียงในอากาศ เป็นชนิดของคลื่นตามยาวที่โมเลกุลของอากาศเคลื่อนที่รอบตำแหน่งสมดุลกับจุดกึ่งกลางในแนวที่ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง ดังนั้น เมื่อมีเสียงเดินทางไปในตัวกลางที่เป็นอากาศ จะเกิดการอัดตัวและขยายตัวสลับกันไปดังที่กล่าวมาแล้วลักษณะคลื่นที่มีการสั่นสะเทือนของตัวกลางนี้จะเป็นการสั่นสะเทือนที่มีความยืดหยุ่น ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวกลางที่เรียกว่า Elastic property ทั้งนี้ถ้าหากตัว

กลางไม่มีความยืดหยุ่นแล้ว การสั่นสะท้อนของส่วนใดส่วนหนึ่งของตัวกลางย่อมไม่สามารถทำให้ส่วนที่อยู่ถัดไปของตัวกลางสั่นสะท้อนได้

ในกรณีของคลื่นเสียงในอากาศ ถ้าหากอากาศมีความหนาแน่นสม่ำเสมอ คลื่นเสียงจะมีอัตราความเร็วคงที่ประมาณ 340 เมตรต่อวินาที แต่ความเร็วของเสียงในอากาศที่จุดน้ำเป็นน้ำแข็งความเร็วจะลดลงเหลือประมาณ 330 เมตรต่อวินาที ในเหล็กซึ่งเป็นตัวกลางที่เป็นของแข็ง ความเร็วของเสียงจะมีค่าประมาณ 5100 เมตรต่อวินาที ค่าความถี่และค่าความยาวคลื่นของคลื่นเสียง จะเกี่ยวข้องกันโดยตรงกับค่าความเร็วเสียง (c) จะได้ว่า

$$c = f\lambda \text{ หรือ } \lambda = c/f$$

ตัวอย่าง ความยาวคลื่นเสียงในอากาศที่ 20 เฮิรตซ์ (ความถี่ต่ำ) อุณหภูมิห้องปกติควรจะมีค่าเท่าใด

$$\lambda = 340/20 = 17 \text{ เมตร}$$

สำหรับความยาวคลื่นความถี่เสียงในอากาศที่ 20 kHz จะมีค่า 1.7 Cm

1.3 เสียงอย่างง่ายและเสียงเชิง

เสียงจะมีรูปคลื่นอย่างง่ายเป็นคลื่นรูปไซน์ ซึ่งเป็นผลมาจากระบบการสั่นสะท้อนอย่างง่ายของน้ำหนักรวมที่ผูกติดไว้ที่ปลายสปริง คลื่นรูปไซน์ที่มีเสียงบริสุทธิ์มากที่สุด จะเป็นคลื่นที่ประกอบด้วยพลังที่มีความถี่เดียว (Fundamental) ปราศจากฮาร์โมนิกเสียงทุ้มแหลมใดๆ ปะปน จึงมักจะเรียกคลื่นรูปไซน์นี้ว่า คลื่นที่มีเสียงทุ้มแหลมที่บริสุทธิ์ (pure tone) แต่ถ้าหากแหล่งกำเนิดเสียงถูกผสมกับค่าความถี่แปลกปลอม จะทำให้เกิดเป็นรูปคลื่นเชิงซ้อนเสียงรบกวน (Noise) ก็เกิดขึ้น เช่น เสียงรบกวนที่เกิดขึ้นในเครื่องบันทึกเสียงดนตรีต่างๆ หรือเสียงฮัม เป็นต้น ลักษณะสำคัญของเสียงที่มีความทุ้มแหลมของเสียง (Pitch) ที่แน่นอนจะไม่ใช่เป็นรูปคลื่นเชิงซ้อนซึ่งความทุ้มแหลมของเสียงนี้ก็คือความถี่นั่นเอง ความถี่ในการรับฟังที่ตอบสนองได้ไวที่สุดคือประมาณ 3,000 เฮิรตซ์

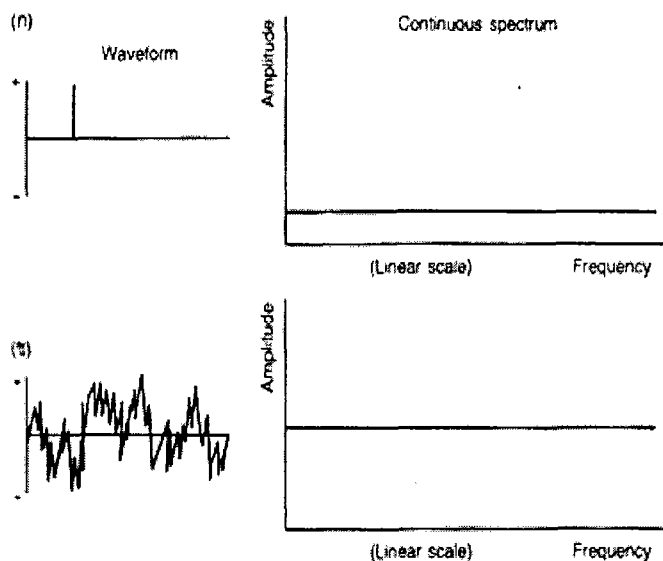
1.4 ความถี่สเปกตรัมของเสียงซ้ำ

ลักษณะคลื่นอย่างง่าย เส้นสเปกตรัมมีส่วนประกอบเดียวที่ความถี่ของรูปคลื่นไซน์เป็นความถี่มูลฐานในการออสซิลเลต ส่วนรูปคลื่นที่เกิดขึ้นซ้ำ เช่น รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะมีความถี่มูลฐานเช่นเดียวกัน และประกอบด้วยความถี่ที่สูงกว่าความถี่มูลฐานค่าต่างๆ กัน โดยเรียกความถี่ที่สูงกว่านี้ว่า ความถี่ฮาร์โมนิก ฮาร์โมนิกประกอบด้วยเสียงที่มีความถี่เป็นทวีคูณของความถี่เดิมเป็นสองเท่า สามเวลาและสี่เวลาเป็นต้น เช่น เสียงที่มีความถี่เดิมเท่ากับ 100 เฮิรตซ์ ประกอบด้วยฮาร์โมนิก 200 เฮิรตซ์ 400 เฮิรตซ์ และ 600 เฮิรตซ์

1.5 ความถี่สเปกตรัมของเสียง

ลักษณะของลูกคลื่นที่ไม่เกิดขึ้นซ้ำๆ หรือคลื่นเดิม จะไม่มีความทุ้มแหลมของเสียงเกิดขึ้นเป็นเหตุให้สัญญาณรบกวนของเสียงมักจะปะปนมากับเสียงเดิม ทำให้คุณภาพเสียงตก ความผิดเพี้ยนเกิดขึ้นเพราะเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ที่ป้อนเข้าวงจรขยายเสียง รวมทั้งอุปกรณ์ประกอบภายในวงจร สัญญาณรบกวนทางอุณหภูมิที่เป็นคุณสมบัติประจำตัวของอุปกรณ์นั้นๆ ตลอดทั้งการเดินสายวงจร นอกจากนี้ยังมีความถี่ออสซิลเลตที่มีผลต่อวงจรขยาย หากเกิดออสซิลเลตนานๆ โดยไม่เปิดสวิตช์เครื่อง ลำโพงและอุปกรณ์ภายในเครื่องอาจจะเสียหายได้ จากภาพประกอบ 6 รูปคลื่นที่ปรากฏจะมีเสียงแปลกปลอมเป็นสัญญาณรบกวนที่ประกอบด้วยความถี่หลายความถี่ มีพลังงานความถี่ตลอดย่านความถี่สเปกตรัม เมื่อคิดค่าเฉลี่ยแถบของความถี่จะเป็นเส้นตรง

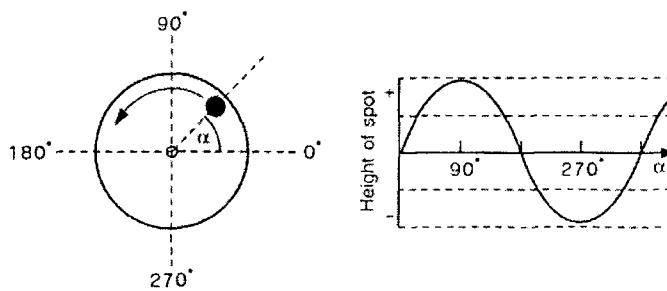
จึงเรียกว่าสัญญาณรบกวนขาว (White noise) และหากความถี่หลายความถี่ที่กล่าวมาแล้วมีความแรงของสัญญาณที่ปรากฏเท่าๆ กัน ความถี่สเปกตรัมจะเป็นเส้นตรงตลอดย่านความถี่ แต่ถ้าค่าของความถี่สูงขึ้น สัญญาณของพลังงานจะลดลง เรียกว่าสัญญาณรบกวนชมพู (Pink noise)



ภาพประกอบ 6 แสดงค่าความถี่สเปกตรัมของรูปคลื่นที่ไม่ซ้ำ (ก) รูปพัลส์ (ข) สัญญาณรบกวน
(ธนภัทร ฐิริพิทักษ์. 2545 : 17)

1.6 เฟส

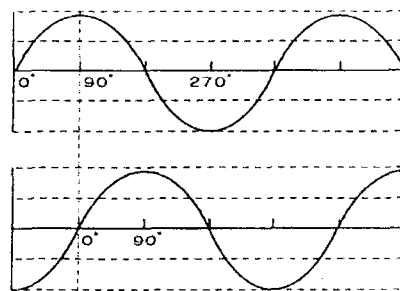
หากคลื่นสองคลื่นมีความถี่และแอมพลิจูดเดียวกัน หรือเกิดขึ้นพร้อมกัน กล่าวคือ เริ่มต้นจุดเดียวกันและจบลงที่จุดเดียวกัน เรียกว่า คลื่นที่มีเฟสเดียวกัน (Inphase) ถ้าสัญญาณสองสัญญาณมีเฟสเดียวกัน ค่าแอมพลิจูดจะเป็นบวก หมายถึง ความสูงของแอมพลิจูดจะมีค่าเป็นสองเท่า สำหรับคลื่นที่มีเฟสต่างกัน (Out of phase) เกิดจากคลื่นสองคลื่นที่มีความถี่และแอมพลิจูดเดียวกัน แต่เกิดขึ้นไม่พร้อมกัน กล่าวคือ คลื่นแรกจะเริ่มต้นทางครึ่งรอบบวก (Positive half cycle) คลื่นหลังจะเริ่มต้นทางครึ่งรอบลบ (Negative half cycle) ในลักษณะที่ตรงข้ามกันผลรวมที่ได้จะเป็นศูนย์ หรือไม่มีสัญญาณนั่นเอง และอีกกรณีหนึ่งหากสัญญาณสองสัญญาณมีขนาดเท่ากัน แต่เฟสไม่ต่างกันแล้วนำมารวมกัน ผลที่ได้คือคลื่นบางส่วนจะเป็นบวก บางส่วนจะหักล้างกัน เมื่อกล่าวถึงเรื่องเฟสมักจะเกี่ยวข้องกับค่าองศาเสมอ โดยพิจารณาได้จากภาพประกอบ 7 แสดงคลื่นรูปไซน์ที่ได้จากเคลื่อนที่ของจุดบนขอบนอกของแผ่นกลม เริ่มต้นจาก 0 - 360 องศาต่อ 1 รอบ ซึ่งแต่ละองศาทำมุมการเคลื่อนที่บนจุดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าไซน์ในตรีโกณมิติ เมื่อการเคลื่อนที่ของจุดมีมุม 90 องศา กราฟที่ได้จะมีค่าสูงสุดทางบวก ($\sin 180^\circ = 0$) ที่ 270 องศาจะมีค่าสูงสุดทางลบ ($\sin 270^\circ = -1$) และที่ 360 องศาจะเป็นศูนย์



ภาพประกอบ 7 แสดงความสูงของจุดที่เปลี่ยนตามค่ามุมไชน์ ส่วนมุมของเฟสคือจำนวนองศาของการหมุนรอบ
(ธนภัทร ภูริพิทักษ์. 2545 : 20)

ถ้าคลื่นสองคลื่นมีขนาดเท่ากันแต่เฟสไม่ตรงกัน ดังภาพประกอบ 8 คลื่นที่ 1 ต่างเฟสกับ 90 องศากับคลื่นที่ 2 นั่นก็คือเฟสทั้งสองจะต่อสัมพันธ์ต่อกันอย่างแท้จริง โดยเฉพาะรูปคลื่นที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กันอย่างต่อเนื่อง เช่น ผลบางประการที่เกิดขึ้นต่อสัญญาณเสียงในภาวะชั่วคราวในช่วงเวลาสั้นๆ คือ การเปิด-ปิดขยายจะมีเสียงดังออกจากลำโพงทันทีทันใด ถึงแม้จะไม่เปิดเสียงก็ตาม และส่งผลให้ลำโพงเสียหายได้หากไม่แก้ไข ทั้งนี้เพราะกระแสไฟสลับกระชากเข้าวงจรอย่างรวดเร็ว จึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าเสียงในภาวะชั่วคราว (Transient sounds)

เพราะฉะนั้นเรื่องของเฟสจึงมีส่วนเกี่ยวข้องกับวงจรขยายเสียง กล่าวคือ เมื่อมีสัญญาณผ่านเข้าวงจร จะมีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดและเฟสเกิดขึ้น ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่ต่างๆ โดยการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดต่อความถี่เรียกว่า การตอบสนองความถี่ (frequency response) ส่วนเฟสสัญญาณที่เลื่อนไปตามค่าความถี่ต่างๆ เรียกว่า การตอบสนองเฟส (phase response)



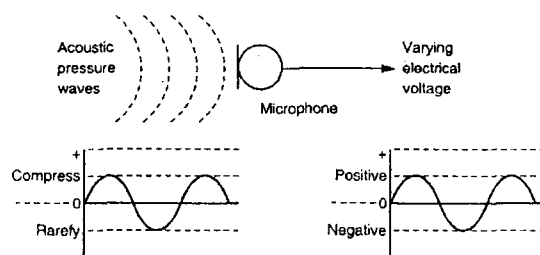
ภาพประกอบ 8 แสดงรูปคลื่นมีค่าต่ำกว่า 90 องศา ต่างเฟสกับรูปคลื่นที่มีจำนวนองศาสูงกว่า
(ธนภัทร ภูริพิทักษ์. 2545 : 20)

สรุป การหักล้างทางเฟสหรือเฟสต่างกัน 90 องศา ค่าแอมพลิจูดจะถูกลดทอนลงตามเฟสที่เลื่อนไป แต่ถ้าเฟสต่างกันคาบเวลาของคลื่นทั้งสองจะแตกต่างกันอีก ผลรวมจะมีทั้งเพิ่มและลดค่าแอมพลิจูด ตรงกันข้ามหากคลื่นสองคลื่นมีเฟสเดียวกัน ผลรวมค่าที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น

1.7 เสียงในรูปลักษณะทางไฟฟ้า

เสียงที่ได้ยินเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ ขณะที่เสียงเดินทางไปในตัวกลาง อนุภาคของอากาศจะเกิดการอัดตัวและขยายตัว แรงกดอัดดังกล่าวเมื่อกระทบกับไมโครโฟน ส่งผลให้ไมโครโฟนทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยนำเสียงที่ได้ไปขยายบันทึกและผสมกับสัญญาณอื่นๆ เป็นต้น สำหรับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เกี่ยวกับเสียงในทางไฟฟ้า หมายถึง ค่าแรงดันไฟฟ้า จากภาพประกอบ 13 คลื่นรูปไซน์

ที่ได้เกิดจากการอัดตัวและการขยายตัวของอากาศ สัญญาณเครื่องบวกเกิดจากจังหวะอัด และในช่วงการขยายตัวของอากาศ จะได้สัญญาณเครื่องทางลบสลับกันไปเรื่อยๆ จึงเป็นเหตุให้เกิดค่าของกระแสไฟสลับ หรือ AC ขึ้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นจากสัญญาณเสียงจะนำไปใช้งานต่อไป



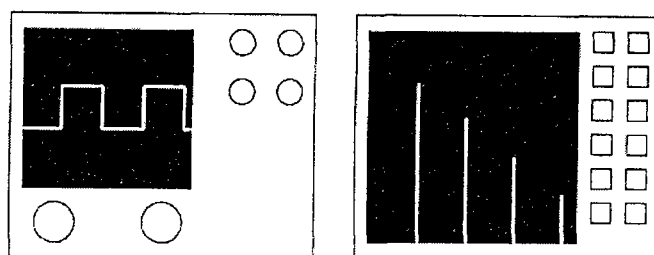
ภาพประกอบ 9 แสดงไมโครโฟนทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงความกดดันของอากาศ
(ธนภัทร ฐิริพิทักษ์. 2545 : 21)

ในระบบเอซีค่าความต้านทานจะถูกแทนด้วยค่าอิมพีแดนซ์ที่ประกอบด้วยค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ โดยรีแอกแตนซ์จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความถี่ของสัญญาณ ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความถี่ของสัญญาณด้วย ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงที่สัญญาณความถี่ต่ำ และค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่สัญญาณความถี่สูง ทั้งนี้จะไม่ให้ไฟตรงไหลผ่าน สำหรับตัวเหนี่ยวนำก็เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่อิมพีแดนซ์มีค่าสูง และอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำกับสัญญาณความถี่ต่ำ ดังนั้นตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำจะมีผลต่อค่าความถี่หรือเอชี่นเอง

1.8 การแสดงผลคุณลักษณะของคลื่นเสียง

ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำนอกจากจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของสัญญาณเสียงแล้ว ยังสามารถใช้ประโยชน์ได้อีกคือ แสดงผลลักษณะรูปคลื่นของเสียง และแสดงผลความถี่สเปกตรัมของเสียง โดยจอออสซิลโลสโคปจะแสดงผลรูปคลื่นเสียง สำหรับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมจะใช้แสดงค่าของสัญญาณที่ประกอบด้วยความถี่ หรือค่าของแอมพลิจูดต่างๆ ดังภาพประกอบ 10 เครื่องมืออุปกรณ์ทั้งสองจะมีลักษณะเป็นไปตามสัญญาณเสียงที่รับเข้ามา โดยผลที่ได้จะปรากฏบนจอ กล่าวคือ ออสซิลโลสโคปจะแสดงผลการเคลื่อนที่ของจุด เป็นลักษณะรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านวงจรขยาย แล้วจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าเวลา และสามารถเปรียบเทียบความสัมพันธ์ทางเฟสของสองสัญญาณอินพุตได้ โดยการใช้ออสซิลโลสโคปที่มีสองสัญญาณอินพุต

เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมจะมีการทำงานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัม กล่าวคือ จะเห็นเป็นเส้นตรงตลอดย่านความถี่ หรือเห็นเป็นเส้นลาดชัน



ภาพประกอบ 10 แสดงสเปกตรัมจะมีการทำงานที่แตกต่างกัน
(ธนภัทร ฐิริพิทักษ์. 2545 : 22)

(ก) ออสซิลโลสโคปแสดงรูปคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้า

(ข) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม แสดงผลความถี่สเปกตรัมของรูปคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าในรูปแบบเส้น ใช้แทนค่าแอมพลิจูดของสัญญาณความถี่ที่แตกต่าง

1.9 เดซิเบล

เดซิเบล (Decibbel) หรือ dB เป็นหน่วยพื้นฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวิศวกรรมระบบเสียงจะพบเห็นอยู่บ่อยๆ เช่นเดียวกับหน่วยของโวลต์ หรือ วัตต์ และใช้ในการวัดระดับสัญญาณเสียงโดยมีความสัมพันธ์กับลอการิทึม (Logarithm) ซึ่งวิศวกรโทรศัพท์ได้เรียกชื่อหน่วยนี้ว่า ลอการิทึม ของอัตราส่วนระหว่างกำลังเสียงของสัญญาณ และตั้งหน่วยพื้นฐานของระบบเป็นเบล (Ble) เพื่อให้เกียรติแก่อเล็กซานเดอร์ เกรแฮมเบลล์ ผู้คิดประดิษฐ์โทรศัพท์ขึ้นเป็นคนแรก

จะได้ค่า Ble ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Ble} &= \log (p_1/p_2) \\ \text{dB} &= 10 \log (p_1/p_2) \end{aligned}$$

ตัวอย่างเช่น ค่าความแตกต่างของเดซิเบลระหว่างของสัญญาณของกำลังเสียง 1 และ 2 วัตต์คือ $10 \log(2/1)$ เท่ากับ 3 dB

ถ้าเดซิเบลเป็นอัตราส่วนระหว่างสัญญาณเสียงสองสัญญาณ การเปรียบเทียบกับค่าอื่นๆ ที่นอกเหนือจากกำลังสัญญาณเสียง หมายถึงกำลังสัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{dB} &= 10 \log (v_1^2/v_2^2) \\ &= 10 \log (v_1/v_2)^2 \\ &= 20 \log (v_1/v_2) \end{aligned}$$

ตัวอย่างเช่น ค่าความแตกต่างของเดซิเบลระหว่างสัญญาณของแรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ และ 2 โวลต์ คือ $20 \log(2/1)$ เท่ากับ 6 dB

จากหน่วยวัด dB จะกำหนดเสียงที่มนุษย์ฟังได้ยิน สูงสุดโดยไม่เป็นอันตรายต่อหู คืออยู่ในช่วง 120 dB ลงมา ส่วนเสียงที่มนุษย์ฟังได้ยินเบาที่สุดคือ 0 dB ถ้าต่ำกว่า 0 dB จะฟังไม่ได้ยิน นอกจากนี้ระดับความดังของเสียง SPL (Sound Pressure Levels) ใช้วัดค่าเป็น dB อ้างอิงกับความดันที่ $2 \times 10^{-5} \text{ Nm}^{-2}$ (0.0002 ไมโครบาร์ หรือ 0.0002 dyne/cm^2) ที่ความถี่มาตรฐาน 1,000 เฮิรตซ์

$$\text{SPL} = 20 \log (p_2/p_1)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \text{SPL} &= \text{ระดับความดังของเสียง (dB)} \\ P_2 &= \text{ความดันของเสียงใดๆ (Nm}^{-2}\text{)} \\ P_1 &= \text{ความดังของเสียงที่ระดับเปรียบเทียบ (Nm}^{-2}\text{)} \end{aligned}$$

การทดลองเพื่อค่าที่ดีที่สุดในการรับฟัง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายขึ้นกับหูของมนุษย์ กล่าวคือ หูของมนุษย์เริ่มได้ยินเสียงเมื่อหูได้รับความดัน $2 \times 10^{-5} \text{ Nm}^{-2}$ จนกระทั่งความดันสูงสุดที่ 200 Nm^{-2}

คำย่อ	ระดับอ้างอิงมาตรฐาน
dBv	1 volt
dBu	0.775 volt (Europe)
dBv	0.775 volt (USA)
dBm	1 Milliwatt
dBA	dB SPL, A-Weighted response

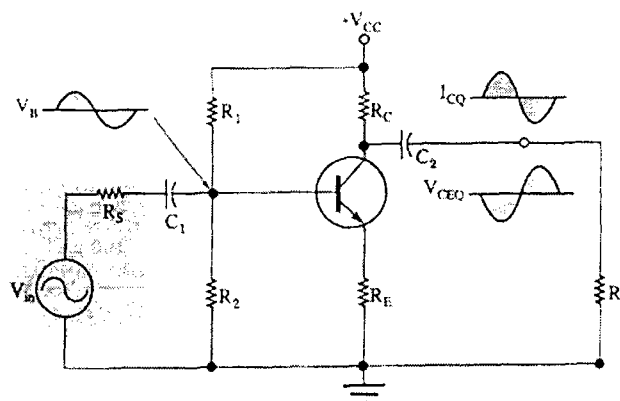
หมายเหตุ Weighted หมายถึง การวัดสัญญาณทดสอบโดยการจัดให้ผ่านวงจรฟิลเตอร์ เพื่อให้สัญญาณทางเอาต์พุตมีการลดทอนในแต่ละความถี่ คล้ายๆ กับธรรมชาติของการได้ยินเสียง ถ้าหากเป็นการ Weight แบบ A จะลดทอนสัญญาณความถี่ต่ำกว่า 1 กิโลเฮิร์ตซ์

2. วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

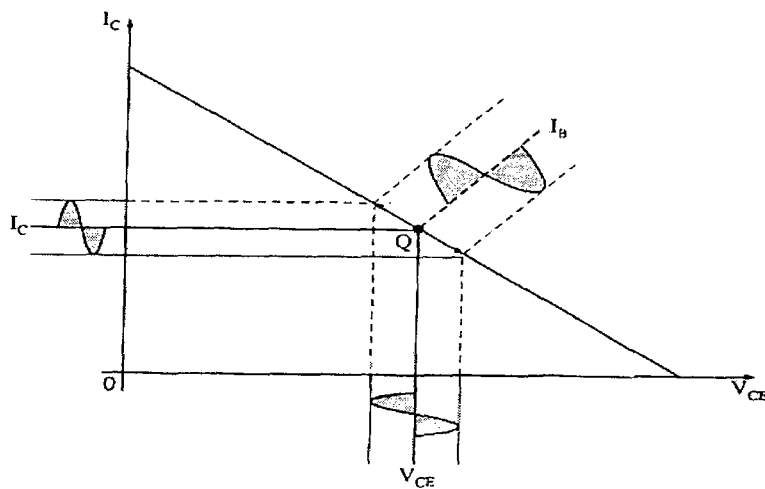
ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญโดยเฉพาะงานขยายสัญญาณ เช่น ในเครื่องรับวิทยุ วงจรขยายเสียงจากไมโครโฟน เครื่องขยายเสียงแบบต่าง ๆ ดังนั้นทรานซิสเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในวงจรขยายสัญญาณ

2.1. การทำงานของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

การไบอัสทรานซิสเตอร์ด้วยไฟตรงมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรให้อยู่กึ่งกลางเส้นโหลด เพื่อให้การขยายสัญญาณไฟสลับสามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะเมื่อจุดทำงานอยู่กึ่งกลางเส้นโหลด อัตราการขยายสัญญาณทางด้านบวกสามารถขยายด้านสูงสุดถึงค่าสูงสุดของแรงดันไบอัส และอัตราการขยายแรงดันทางด้านลบสามารถขยายให้สูงสุดถึงจุดดิน ลักษณะของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก ภาพประกอบ 11 คือวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ NPN ด้วยวิธีแบ่งแรงดัน โดยสัญญาณอินพุตมาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ V_{in} ซึ่งมีความต้านทานภายในเท่ากับ R_s และมี C_1 เป็นตัวเก็บประจุเชื่อมโยง ทำหน้าที่กั้นไฟตรงของอินพุต V_{in} ดังนั้นสัญญาณที่เบสของทรานซิสเตอร์ คือ V_B และ I_{CQ} คือสัญญาณกระแสคอลเล็กเตอร์ ซึ่งขนาดของมันขึ้นอยู่กับกระแสเบส I_{BQ} และอัตราการขยายกระแส (B) ของทรานซิสเตอร์ รูปคลื่นของแรงดันเอาพุต คือ V_{CEQ} มีลักษณะกลับเฟสกับสัญญาณอินพุต (V_B)



ภาพประกอบ 11 แสดงวงจรขยายทรานซิสเตอร์ที่ไบอัสแบบวิธีแบ่งแรงดัน มีสัญญาณอินพุตเป็นคลื่นไซน์
(นภัทร วจนเทพินทร์. 2545 : 181)



ภาพประกอบ 12 แสดงกราฟการทำงานของวงจรขยายทรานซิสเตอร์ แสดงลักษณะของ I_B , I_C และ V_{CE}
(นักตร วจนเทพินทร์. 2545 : 181)

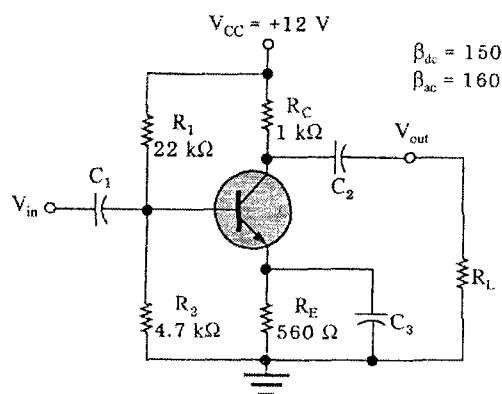
การทำงานของวงจรในภาพประกอบ 11 แสดงได้โดยกราฟคุณลักษณะของคอลเล็กเตอร์ในภาพประกอบ 13 เมื่อจุด Q อยู่กึ่งกลางเส้นโหลด สัญญาณอินพุตที่เบสจะทำให้เกิดกระแสเบส I_B เท่ากับ βI_B และเฟสคลื่นไซน์ของ I_C เหมือนกับ I_B สำหรับค่าแรงดันเอาต์พุตยอติถึงยอติคือแรงดัน $V_{CE(P-P)}$ ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแส I_C

2.2. วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม

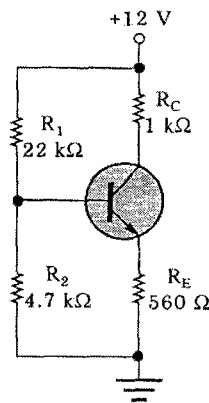
จากวงจรขยายทรานซิสเตอร์ ที่แสดงในภาพประกอบ 11 คือวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม ซึ่งมีการไบอัสด้วยวิธีแบ่งแรงดัน มีตัวเก็บประจุเชื่อมต่อที่อินพุตคือ C_1 และเอาต์พุตคือ C_2 มีตัวเก็บประจุบายพาสคือ C_3 ต่อระหว่างอิมิตเตอร์และจุดดิน วงจรดังกล่าวนี้ทำงานผสมกันระหว่างสัญญาณไฟสลับและไฟตรง

2.3 การวิเคราะห์ไฟตรง

วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมในภาพประกอบ 13 เมื่อวิเคราะห์ไฟตรงจะต้องเปิดวงจรของตัวเก็บประจุทุกตัวออกจากวงจร ดังนั้นวงจรขยายดังกล่าวเมื่อวิเคราะห์ไฟตรงจะมีวงจรเปลี่ยนแปลงไป ดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 13 แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม
(นักตร วจนเทพินทร์. 2545 : 188)



ภาพประกอบ 14 แสดงวงจรวิเคราะห์ไฟตรงของวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม
(นักตร วังเทพินทร์. 2545 : 188)

จากวงจรในภาพประกอบ 13 และ ภาพประกอบ 14

$$R_{in (base)} = \beta_{dc} R_E$$

$$R_{in (base)} = (150) (560 \Omega) = 84 \text{ k}\Omega$$

เนื่องจาก $R_{in (base)}$ มีค่ามากกว่า R_2 มากกว่า 10 เท่า ดังนั้นอาจจะทิ้งได้ในการคำนวณหา

$$V_B = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{CC} = \left(\frac{4.7 \text{ k}\Omega}{26.7 \text{ k}\Omega} \right) 12 \text{ V} = 2.11 \text{ V}$$

$$\text{และ } V_E = 2.11 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 1.41 \text{ V}$$

$$\text{แต่ } I_E = \left(\frac{V_E}{R_E} \right) = \frac{1.41 \text{ V}}{560 \Omega} = 2.5 \text{ mA}$$

โดยประมาณค่า $I_C = I_E$ ดังนั้น

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 12 \text{ V} - 2.5 \text{ V} = 9.5 \text{ V}$$

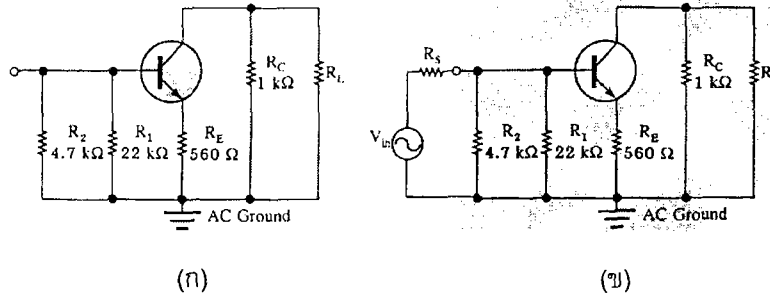
$$\text{ดังนั้น } V_{CE} = V_C - V_E = 9.5 \text{ V} - 1.41 \text{ V} = 8.09 \text{ V}$$

2.4 วงจรสมมูลไฟสลับ

เมื่อวิเคราะห์การทำงานของสัญญาณไฟสลับ สำหรับวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม ดังภาพประกอบ 14 ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 จะทำงานในสภาวะลัดวงจร นั่นคือ $X_C = 0$ ที่ความถี่ใด ๆ ของสัญญาณไฟสลับอินพุต สำหรับ C_2 ก็เช่นเดียวกัน

แหล่งจ่ายไฟตรงที่ไบอัสวงจรถูกประมาณว่าเป็นแหล่งจ่ายแรงดันที่มีความต้านทานภายในวงจรของแหล่งจ่ายเป็น 0Ω ดังนั้นจึงไม่มีแรงดันไฟสลับตกคร่อมระหว่างขั้วทั้งสองของแหล่งจ่ายใดก็ตาม ขั้ว V_{CC} ของแหล่งจ่ายคือ จุดแรงดัน 0 V จะถูกเรียกว่า จุดดินของไฟสลับ (AC Ground)

ดังนั้น วงจรสมมูลไฟสลับของวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมจะแสดงได้ดังภาพประกอบ 15 (ก) และ (ข) จะเห็นว่า R_C และ R_L ต่อร่วมกันบนจุดดินของไฟสลับของวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมจะแสดงได้ดังภาพประกอบ 16 R_C และ R_L ต่ออยู่กับ V_{CC} (V_{CC} คือ AC Ground ในการวิเคราะห์ไฟสลับ)

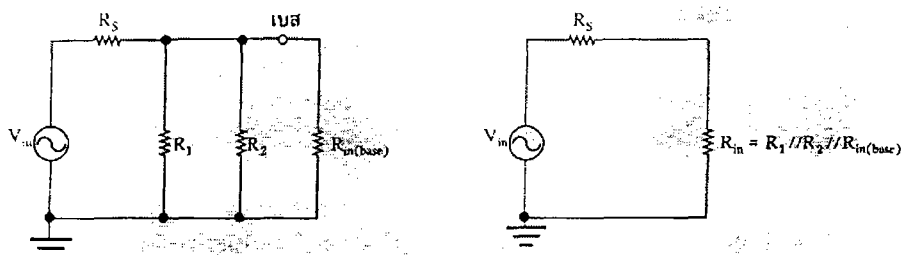


ภาพประกอบ 15 แสดงวงจรสมมูลไฟสลับของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม
(นักตร วังเทพินทร์. 2545 : 189)

2.5 สัญญาณแรงดันไฟสลับที่เบส

จากวงจรสมมูลในภาพประกอบ 15 (ข) แหล่งจ่ายไฟสลับอินพุตคือ V_{in} เนื่องจากความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟสลับไม่เท่ากับศูนย์ จึงมีองค์ประกอบในการคำนวณหาค่าแรงดันจริงที่เบส 3 ตัวคือ ความต้านทานของแหล่งจ่าย (R_S) ความต้านทานไบอัส (R_1 และ R_2) และความต้านทานอินพุตของเบส ($R_{in(base)}$) ดังภาพประกอบ 16 (ก) วงจรดังกล่าวสามารถดัดแปลงได้ ดังภาพประกอบ 16 (ข) เมื่อกำหนดให้ R_{in} เท่ากับ R_1 ขนานกับ R_2 ขนานกับ ($R_{in(base)}$) จากวงจรในภาพประกอบ 16 (ข) จะสามารถหาค่าแรงดันที่เบส (V_b) ได้ว่า

$$V_b = \left(\frac{R_{in}}{R_S + R_{in}} \right) V_{in}$$



หมายเหตุ = ถ้า $R_S \ll R_{in}$ จะได้ว่า $V_b \cong V_{in}$

(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 16 แสดงวงจรสมมูลไฟสลับที่เบสของวงจรขยายทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม
(นักตร วังเทพินทร์. 2545 : 190)

2.6 ความต้านทานทางอินพุต

เมื่อจะหาค่าความต้านทานอินพุตของวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม จะต้องมองความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายในวงจรภายในของแหล่งจ่าย และความต้านที่เบสของทรานซิสเตอร์ ถ้าใช้พารามิเตอร์ - อาร์ ซึ่งแสดงโมเดลของทรานซิสเตอร์ ดังภาพประกอบ 20 จะเห็นว่ามี R_E และ R_C ต่ออยู่ โดยไม่พิจารณา C_3 ได้ว่า

$$R_{in (base)} = \frac{V_b}{I_b}$$

$$V_b = I_e (r_e + R_E) \quad \text{และ} \quad I_b \cong \frac{I_e}{\beta_{ac}} \quad \text{แทนค่า } I_b \text{ ได้ว่า}$$

$$R_{in (base)} = \beta_{ac} (r_e + R_E)$$

ความต้านทานอินพุตรวม เมื่อพิจารณาความต้านทาน R_s และ R_1 R_2 และ $R_{in (base)}$ คือ

$$R_{in} = R_1 // R_2 // R_{in (base)}$$

2.7 ความต้านทานเอาต์พุต

เมื่อปลดโหลดออกจากวงจร ความต้านทานเอาต์พุตของวงจรขยายมองเข้าทางคอลเล็กเตอร์ จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับค่าความต้านทานที่คอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์

$$R_{out} \cong R_C$$

ในความเป็นจริง $R_{out} = R_C // r_c$ แต่ค่าความต้านทาน r_c จะมีค่ามากกว่า R_C มาก ดังนั้นจึงประมาณค่า R_{out} ได้ดังสมการ

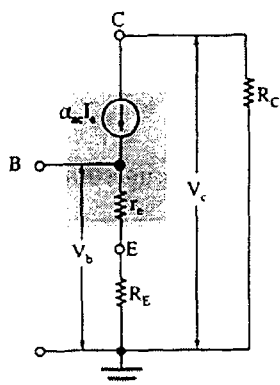
2.8 อัตราขยายแรงดัน

สมการหาอัตราขยายแรงดันไฟสลับ หาได้จากวงจรมูล ในภาพประกอบ 17 เมื่อไม่มีโหลดต่ออยู่ที่คอลเล็กเตอร์ของวงจรขยาย อัตราขยายคือ อัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุต (V_C) กับแรงดันอินพุตที่เบส (V_b) ดังนั้น

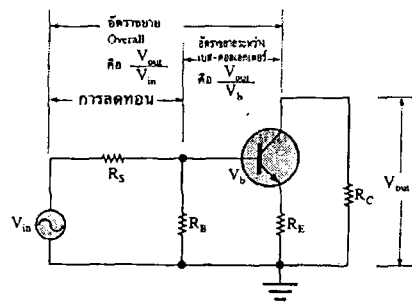
$$A_v = \frac{V_C}{V_b} \quad \text{จากภาพประกอบ 17 เมื่อ } V_C = \alpha_{ac} I_e R_C \text{ และ } V_b = I_e (r_e + R_E)$$

$$\text{ดังนั้น } A_v = \frac{I_e R_C}{I_e (r_e + R_E)} = \frac{R_C}{(r_e + R_E)}$$

จากสมการอัตราขยายแรงดันหาได้จากเบสกับคอลเล็กเตอร์ ในความเป็นจริงจะเกิดการลดทอนของสัญญาณ V_{in} เรียกว่า Attenuation ดังภาพประกอบ 18 ดังนั้นจะเห็นว่าอัตราขยาย Overall หมายถึง อัตราส่วนระหว่างสัญญาณเอาต์พุต (V_{out}) กับสัญญาณอินพุต (V_{in}) สมมุติว่า ในภาพประกอบ 18 สัญญาณ $V_{in} = 10 \text{ mV}$ แต่ ปรากฏว่าแรงดัน $V_b = 5 \text{ mV}$ ดังนั้นเกิดการลดทอนที่ R_s เท่ากับ $\frac{5 \text{ mV}}{10 \text{ mV}} = 0.5$ ถ้าอัตราขยายแรงดันระหว่างเบสกับคอลเล็กเตอร์เท่ากับ 20 แรงดันเอาต์พุต $V_{out} = 5 \text{ mV} \times 20 = 100 \text{ mV}$ และอัตราขยาย Overall = $\frac{100 \text{ mV}}{10 \text{ mV}} = 10$ ซึ่งจะเท่ากับอัตราลดทอนคือ $(0.5 \times 20 = 10)$ ดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 17 แสดงวงจรสมมูลที่ใช้หาอัตราขยายแรงดัน
(นักตร วจนเทพินทร์. 2545 : 193)



ภาพประกอบ 18 แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมแสดงอัตราขยาย Overall และการลดทอนของสัญญาณอินพุต
(นภัทร วจนเทพินทร์. 2545 : 193)

จากวงจรในภาพประกอบ 18

$$V_b / V_{in} = R_{in} / (R_s + R_{in})$$

อัตราขยาย Overall คือ A_v หาได้จาก A_v คูณกับ V_b / V_{in}

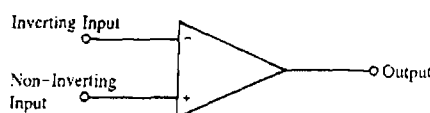
$$A_v = A_v (V_b / V_{in})$$

3. ข้อมูลเบื้องต้นของออปแอมป์

วงจรออปแอมป์เป็นวงจรรวมเชิงเส้นที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่งในทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ในระบบขยายเสียง ด้านการสื่อสารข้อมูล และระบบควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ เพราะออปแอมป์สามารถประยุกต์กับการทำงานของวงจรอื่นหลายอย่าง จึงเป็นที่นิยมโดยทั่วไป ควรจะต้องศึกษาคุณลักษณะเฉพาะ การออกแบบการทำงาน ของออปแอมป์ในการใช้งาน

3.1 สัญลักษณ์

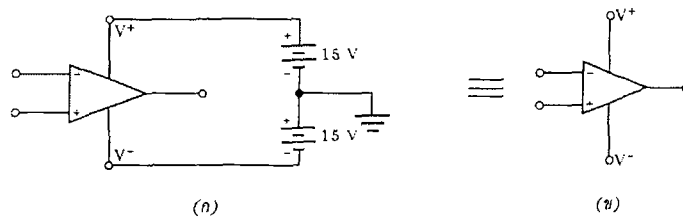
สัญลักษณ์แทนออปแอมป์เป็นรูปสามเหลี่ยม ดังภาพประกอบ 32 คือมีขาอินพุต 2 ขั้ว และขาเอาต์พุต 1 ขั้ว ขาอินพุต 2 ขั้ว คือมีเครื่องหมาย (+) เรียกว่าอินพุตไม่กลับ (Non-Inverting Input) และขาที่มีเครื่องหมาย (-) เรียกว่า อินพุตกลับ (Inversion)



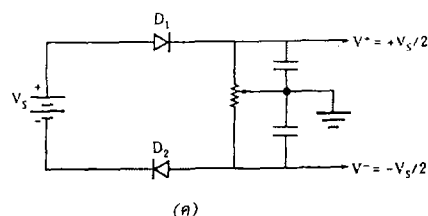
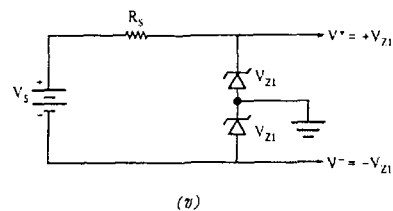
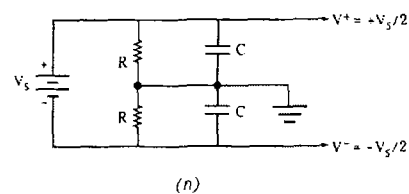
ภาพประกอบ 19 แสดงสัญลักษณ์ของออปแอมป์ทั่วไป
(นภัทร วจนเทพินทร์. 2545 : 220)

3.3 การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า

สำหรับวงจรรวมออปแอมป์มีขาแหล่งจ่ายแรงดันไบอัส 2 ขั้ว คือ V^+ และ V^- ใช้สำหรับต่อแรงดันไฟตรงบวกและลบที่มีศักย์เท่า ดังภาพประกอบ 20 (ก) เป็นการไบอัสออปแอมป์ด้วยแหล่งจ่ายไฟตรง $\pm 15V$ ออปแอมป์โดยทั่วไประดับย่านของแรงดันไบอัสจะถูกกำหนดจากข้อมูลทางเทคนิค ซึ่งอาจมีค่าแรงดันไบอัสอยู่ระหว่าง $\pm 5V$ ถึง $\pm 22V$



ภาพประกอบ 20 (ก) แสดงการต่อขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้า (ข) แสดงสัญลักษณ์ของออปแอมป์ที่แสดงขั้วแรงดันไบอัส
(นักตร วจนเทพินทร์. 2545 : 223)



ภาพประกอบ 21 แสดงวงจรสร้างแรงดันไบอัสบวกลบสำหรับวงจรออปแอมป์
(นักตร วจนเทพินทร์. 2545 : 223)

สำหรับในกรณีที่ไม่มีแหล่งจ่ายแรงดันแบบสองขั้วคือ V^+ และ V^- อาจใช้แหล่งจ่ายไฟตรง หรือ แบตเตอรี่ 1 ตัว สร้างแทนได้ดังภาพประกอบ 21 (ก) (ข) และ (ค)

สำหรับภาพประกอบ 21 (ก) ตัวต้านทาน R ต้องมีค่ามากกว่า $10\text{ k}\Omega$ ตัวเก็บประจุ C ทั้งสองตัวต้องเป็นชนิดมีขั้วและมีค่าตั้งแต่ $0.01 - 10\text{ }\mu\text{F}$

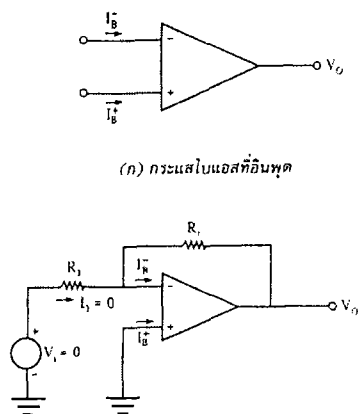
สำหรับภาพประกอบ 21 (ข) ซีเนอร์ไดโอดต้องมีค่าแรงดัน $V_{z1} = V_{z2}$ และค่าของ R_s ต้องเลือกให้ค่าไม่สูงมากนัก เพื่อให้ซีเนอร์ไดโอดทั้งสองตัวทำงาน

สำหรับภาพประกอบ 21 (ค) ตัวต้านทานปรับค่าได้จะเป็นตัวปรับขนาดของ V^+ ให้เท่ากับ V^- และไดโอด $D1$ และ $D2$ จะทำหน้าที่ป้องกันออปแอมป์เมื่อเกิดกรณีแรงดันเอาต์พุตกลับขั้วจากการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้

3.4 คุณลักษณะทางไฟตรงของออปแอมป์

เนื่องจากในความเป็นจริงออปแอมป์ไม่สามารถมีคุณสมบัติตามที่กำหนดทางอุดมคติได้ เพราะการผิดพลาดจากการทำงานของอุปกรณ์ภายในโครงสร้างของออปแอมป์ ซึ่งคุณลักษณะทางไฟตรงที่สำคัญมี 4 ประการคือ กระแสไบอัสอินพุต (Input Bias Current) กระแสออฟเซตอินพุต (Input Offset Current) แรงดันออฟเซตอินพุต (Input Offset Voltage) และ Thermal Drift

กระแสไบอัสอินพุต สำหรับออปแอมป์ในอุดมคติจะพิจารณาว่ากระแสอินพุตที่ไหลเข้าอินพุต (+) และอินพุต (-) มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากความต้านทานอินพุตของออปแอมป์เป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติจะยังคงมีกระแสไบอัสเข้าทางอินพุตจำนวนเล็กน้อยไหลเข้าสู่อินพุตทั้งสองของออปแอมป์ ค่ากระแสอินพุตไบอัส คือ กระแสเบสของวงจรขยายความแตกต่าง ดังภาพประกอบ 22



(ข) แสดงวงจรขยายแบบกลับเฟส และกระแสไบอัสที่อินพุต

ภาพประกอบ 22 แสดงความแตกต่างของกระแสเบสของวงจรขยาย

(นภัทร วจนเทพินทร์. 2545 : 231)

จากภาพประกอบ 22 กระแสไบอัสอินพุตเฉลี่ย คือ

$$I_B = \frac{I_B^+ + I_B^-}{2} \quad \dots\dots\dots(1)$$

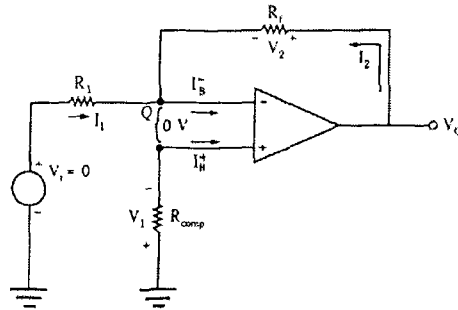
สำหรับออปแอมป์ เบอร์ 741 กระแสไบอัสอินพุตมีค่าน้อยกว่า 500 nA และสำหรับเฟดออปแอมป์จะมีกระแสไบอัสอินพุตน้อยกว่า 50 pA เมื่อพิจารณาวงจรในภาพประกอบ 22 (ข) จะพบว่าแรงดันอินพุต $V_i = 0\text{ V}$ และแรงดันเอาต์พุตควรเท่ากับ 0 V ด้วย แต่เนื่องจากกระแสไบอัสอินพุตไม่ได้เป็นศูนย์ ดังนั้นจึงเกิดแรงดันที่เอาต์พุต ดังสมการ (2)

$$V_O = (I_B) R_f \quad \dots\dots\dots(2)$$

สำหรับออปแอมป์เบอร์ 741 ถ้า $R_f = 1\text{ M}\Omega$

$$V_O = 500\text{ nA} \times 1\text{ M}\Omega = 500\text{ mV}$$

แม้แรงดันอินพุตจะเป็น 0 V แต่ยังคงมีแรงดันที่เอาต์พุตถึง 500 mV วิธีการลดแรงดันเอาต์พุตแบบนี้จะทำได้โดยใช้ตัวต้านทานชดเชยต่อที่ขา (+) ดังภาพประกอบ 23 ตัวต้านทานนี้คือ R_{comp} จะส่งผลให้กระแส I_B^+ ไหลผ่าน R_{comp} ทำให้เกิดแรงดัน V_1 ตกคร่อม R_{comp} ดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 แสดงการต่อ R_{comp} ชดเชยผลของกระแสไบอัสที่อินพุต
(นักทรร วังนเทพินทร์. 2545 : 232)

ใช้กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟได้ว่า

$$\begin{aligned} V_1 + 0 + V_2 - V_O &= 0 \\ V_O &= V_2 - V_1 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(3)$$

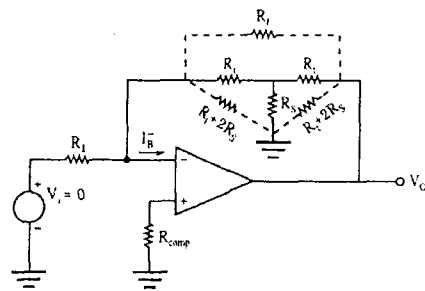
ค่าของ R_{comp} หาได้จากสมการ

$$V_1 = I_B^+ R_{comp}$$

หรือ
$$I_B^+ = \frac{V_1}{R_{comp}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

แม้จะมีการชดเชยกระแสไบอัสก็ไม่สามารถทำให้ออฟเซตเป็นศูนย์ในทางปฏิบัติมีแรงดันเอาต์พุตออฟเซตเป็นศูนย์ เพราะว่า $V_O \propto R_f$ ถ้า R_f มีค่ามากๆ V_O จะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ในขณะที่ใช้ความต้านทานอินพุต (R_1) มีค่ามากๆ แต่ต้องการอัตราขยายกระแสสูงๆ เช่นกัน ซึ่งอาจพิจารณาการกำหนดค่า R_f ด้วยโครงข่ายป้อนกลับแบบที่ (T- Feedback Network) สำหรับวงจรป้อนกลับแบบที่ ในภาพประกอบ 24 คือวิธีการแก้ปัญหาที่ดี เพราะว่ายังคงรักษาค่า R_f ให้มีค่าสูงๆ ได้ ค่าของ R_f หาได้จากสมการ (5)

$$R_f = \frac{R_1^2 + 2R_1R_s}{R_s} \quad \dots\dots\dots(5)$$



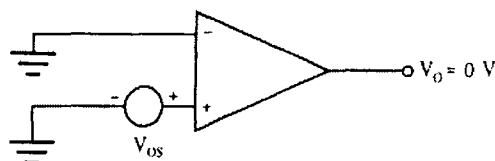
ภาพประกอบ 24 แสดงวงจรขยายกลับเฟสมีโครงข่ายป้อนกลับแบบที่
(นักตร วจนเทพินทร์. 2545 : 234)

ในการหาค่า R_1 และ R_s หาได้จาก

$$R_t \ll \frac{R_f}{2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

และ
$$R_s = \frac{R_t^2}{R_t - 2R_t} \quad \dots\dots\dots(7)$$

3.5 แรงดันออฟเซตอินพุต สำหรับออปแอมป์ในทางปฏิบัติจะพบว่าแรงดันอินพุตจะไม่เป็น 0 V แม้ว่าแรงดันอินพุตที่ขาอินพุต (+) และขาอินพุต (-) จะเป็นศูนย์เนื่องจากความไม่สมดุลภายในของตัวออปแอมป์ ถ้าต้องการให้แรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์จะต้องป้อนแรงดันเข้าที่ขาอินพุตใดอินพุตหนึ่ง ซึ่งเป็นแรงดันจำนวนเพียงเล็กน้อย แรงดันนี้เรียกว่า แรงดันออฟเซตอินพุต หรือ V_{os}



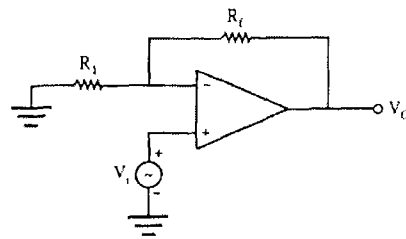
ภาพประกอบ 25 แสดงแรงดันออฟเซตอินพุต
(นักตร วจนเทพินทร์. 2545 : 236)

3.6 แรงดันออฟเซตเอาต์พุต ผลรวมของแรงดันออฟเซตทางเอาต์พุต (Total Output Offset Voltage) หรือ V_{OT} จะพบว่าผลของอินพุตที่จะทำให้แรงดันออฟเซตเอาต์พุตเกิดขึ้นได้มาจากสาเหตุ สองประการ คือ ประการแรกเกิดจากแรงดันออฟเซตอินพุต และประการที่สอง คือ เกิดจากกระแสไบอัสเฉลี่ยที่อินพุต ในกรณีที่วงจขยายออปแอมป์ไม่มี R_{comp} สำหรับวงจขยายแบบไม่กลับเฟสในภาพประกอบ 26 แรงดันออฟเซตเอาต์พุตเมื่อวงจรไม่มี R_{comp} คือสมการ (8) และเมื่อวงจรมี R_{comp} คือสมการ (9)

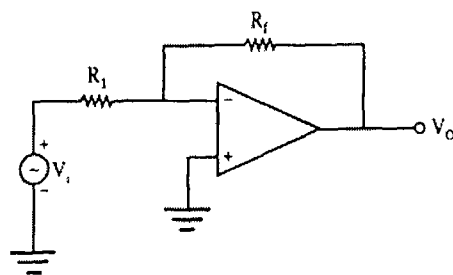
$$V_{OT} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) V_{os} + R_f I_B \quad \dots\dots\dots(8)$$

วงจรในภาพประกอบ 26 (ก) เมื่อมี R_{comp}

$$V_{OT} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) V_{os} + R_f I_{os} \quad \dots\dots\dots(9)$$



ภาพประกอบ 26 แสดงวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส
(นักตร วจนเทพินทร์. 2545 : 236)



ภาพประกอบ 27 แสดงวงจรขยายแบบกลับเฟส
(นักตร วจนเทพินทร์. 2545 : 237)

สำหรับวงจรขยายแบบกลับเฟสดังภาพประกอบ 27 หาค่าแรงดันเอาต์พุตออฟเซตรวมเมื่อไม่มี

R_{comp}

คือสมการ(10) และสมการของวงจรที่มี R_{comp} คือสมการ(11)

$$V_{OT} = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)V_{OS} + R_f I_B \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$V_{OT} = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)V_{OS} + R_f I_{OS} \quad \dots\dots\dots(11)$$

3.7 ผลของอุณหภูมิ ที่มีผลต่อออปแอมป์เรียกว่า Thermal drift หรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกของออปแอมป์ จะเป็นผลให้กระแสไบอัสแรงดันออฟเซตอินพุต และแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปในคู่มือออปแอมป์จะกำหนดค่าความเปลี่ยนแปลงของกระแสไบอัส และกระแสออฟเซตในหน่วยของ $nA / ^\circ C$ และสำหรับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปในหน่วยของ $mV / ^\circ C$ ซึ่งมีวิธีการลดผลของ Thermal drift ทำได้โดยการพยายามติดตั้งตัวออปแอมป์บนแผ่นวงจรพิมพ์ให้ห่างจากส่วนที่มีความร้อน และแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีออปแอมป์ติดตั้งอยู่ จะต้องอยู่ในที่ระบายความร้อนได้ดี หรือมีการควบคุมอุณหภูมิขณะทำงาน

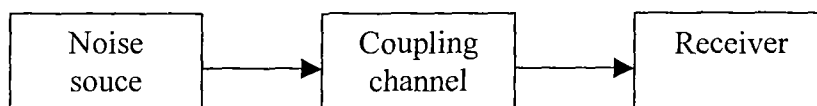
4. สัญญาณรบกวนในระบบเสียง

การใช้กระแสไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นไปอย่างแพร่หลายมากมาย ไม่ว่าจะเป็นด้านการสื่อสาร โทรคมนาคม ขนส่ง ข้อมูลข่าวสาร คอมพิวเตอร์ หรือความบันเทิง ก็ล้วนแล้วแต่ก่อให้เกิดปัญหาทั้งสิ้น โดยเฉพาะสัญญาณรบกวนหรือเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบวงจร ทั้งนี้เพราะว่าสัญญาณรบกวนอาจจะเกิดขึ้นได้ในระบบ นอกกระบวน หรืออาจจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เป็นต้น

ดังนั้นเสียงรบกวน คือ เสียงที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น หรือไม่ปรากฏทางเอาต์พุต เพราะมีผลทำให้คุณภาพเสียงลดลง และเกิดค่าความเพี้ยนขึ้น โดยเสียงรบกวนนี้เป็นเสียงที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆ มากมาย เช่น จากเครื่องวิทยุ เสียงรบกวนจะเกิดขึ้นโดยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กและจุดต่อลงกราวด์ ในเครื่องเล่นเทป เสียงรบกวนจะเกิดจากการเสียดสีกันระหว่างหัวเทปและเนื้อเทปที่เรียกว่า ฮิสส์ (Hiss) ซึ่งมีความถี่สูง ขณะรับฟังเสียงดนตรีที่มีเสียงแหลมความถี่ต่ำ และในเครื่องเล่นแผ่นเสียงที่เกิดขึ้นจากแผ่นสกรก หรือที่รับฟังได้ชัดเจน คือเสียงดังออกจากลำโพง และเสียงดังกระโชกชั่วขณะ เมื่อ เปิด - ปิด สวิตช์ กระแสไฟฟ้าเข้าเครื่องขยายเสียง เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีเสียงรบกวนอีกหลายชนิดที่เกิดขึ้นในส่วนของเครื่องเสียง และค้นหาสาเหตุได้ยาก คือ เสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากส่วนประกอบภายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่บกพร่องหรืออุปกรณ์ขาดคุณภาพ เป็นต้น

4.1 สัญญาณรบกวนที่เกิดจากภายในอุปกรณ์

ปัญหาเสียงรบกวนจัดเป็นปัญหาใหญ่ทางด้านเครื่องเสียง ซึ่งไม่สามารถจัดให้หมดไปได้เลย ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งที่มาของเสียงรบกวนมีมากมายหลายชนิด และมีการเชื่อมต่อกันถึงแหล่งรับสัญญาณรบกวนนั้นๆ ดังภาพประกอบ 28 เมื่อรู้ความต่อเนื่องของเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น ก็สามารถหาทางแก้ไขไม่ให้มีเสียงรบกวนเกิดขึ้นมากจนเกินไป ซึ่งอุปกรณ์ส่วนประกอบภายในวงจรที่ก่อให้เกิดเสียงรบกวนมีดังนี้

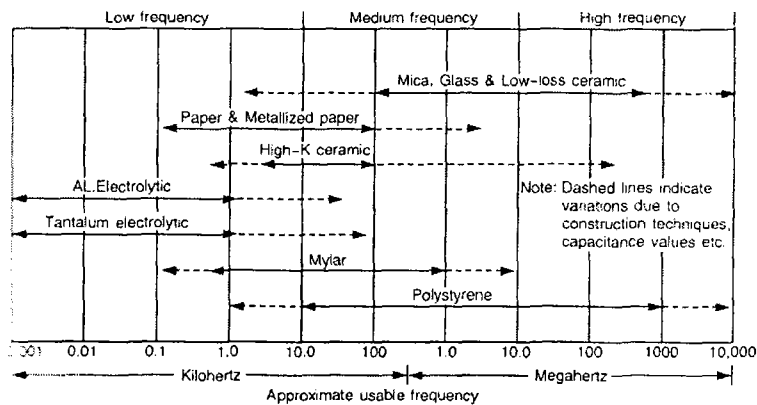


ภาพประกอบ 28 แสดงแผนภาพบล็อกทางเดินของเสียงรบกวน

(ชนภัทร ฐิริพิทักษ์. 2545 : 234)

4.2 ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

จัดเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในวงจรเครื่องขยายเสียง และมีหลายชนิดที่ใช้งานแตกต่างกัน กล่าวคือ ในวงจรฟิลเตอร์จะใช้ชนิดอิเล็กโทรลิติก ส่วนตัวเก็บประจุที่เชื่อมต่อทางด้านอินพุตหรือตัวเก็บประจุบายพาสส์ มักจะใช้ชนิดฟิล์ม นอกจากนี้แล้วยังต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ของตัวเก็บประจุที่เกิดขึ้นได้ เช่นกัน เช่น วงจรเชื่อมต่อใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรลิติก จะมีกระแสรั่วไหลมากทำให้เสียงรบกวนเกิดขึ้น ส่วนเสียงรบกวนในลักษณะออสซิลเลตจะให้หมดไปต้องใช้ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกหรือไม่ก็ เป็นต้น



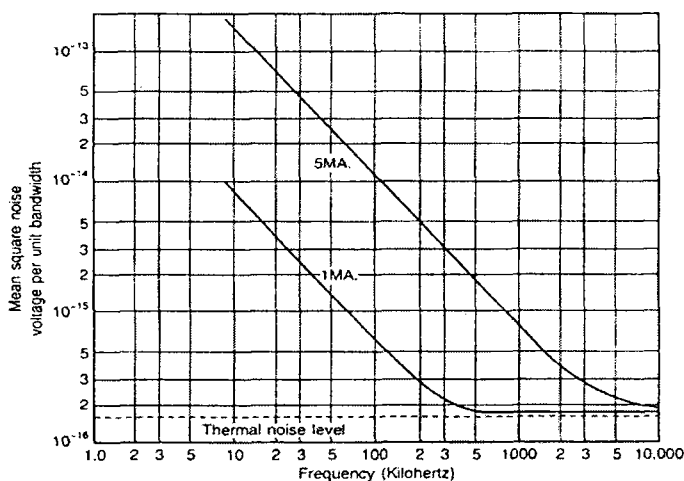
ภาพประกอบ 29 แสดงตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ ที่ใช้ได้กับค่าโดยประมาณของย่านความถี่นั้น ๆ
(ธนภัทร ภูริพิทักษ์, 2545 : 235)

4.3 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำ คือ อุปกรณ์ประเภทขดลวดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับในเรื่องเสียงรบกวนที่มักจะเป็นหม้อแปลงเสียงส่วนใหญ่ ที่ใช้ในวงจรเรียงกระแสไฟตรงของแหล่งจ่ายไฟ หากสนามแม่เหล็กรั่วไหลออกจากหม้อแปลงจะเหนี่ยวนำสายไฟหรืออิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ใกล้ๆ จะส่งผลให้เกิดเสียงรบกวน หรือสัญญาณรบกวนขึ้นได้ ส่วนวิธีป้องกันนั้นให้เลือกใช้หม้อแปลงที่มีคุณภาพ กล่าวคือใช้หม้อแปลงที่ใช้แกนเหล็กแบบมีทิศทางลักษณะแกนตัดไม่สั้น ติดแหวนรัตรอบขดลวดของหม้อแปลง มีแผ่นโลหะครอบด้านนอกสุด รวมทั้งแผ่นโลหะชีลด์ของหม้อแปลงก็จะไม่เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนในส่วนของหม้อแปลงอีก

4.4 ตัวต้านทาน (Resistor)

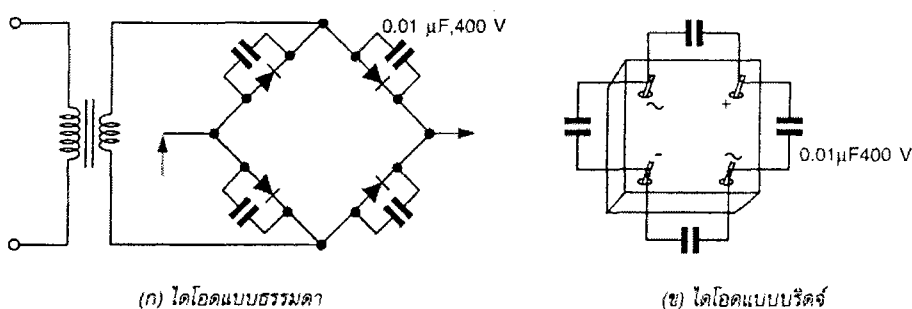
ในจำนวนตัวต้านทานทั้งหมดหากไม่คำนึงถึงโครงสร้างแล้ว ย่อมก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นซึ่งแรงดันที่กล่าวนี้เป็นผลมาจากเสียงรบกวนจากความร้อน (Thermal noise) และแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนอื่นๆ เช่น เสียงรบกวนปะทุ (Shot noise) และเสียงรบกวนสัมผัส (Contact noise) โดยเฉพาะเสียงรบกวนจากความร้อนไม่สามารถที่จะกำจัดให้หมดไปได้ ส่วนขนาดของสัญญาณรบกวนจะขึ้นอยู่กับชนิดและค่าความต้านทานที่ใช้ ซึ่งตัวต้านทานที่นิยมใช้ได้แก่ ตัวต้านทานชนิดฟิล์มคาร์บอน ชนิดฟิล์มโลหะออกไซด์ และชนิดพันลวด (Wire wound) โดยเฉพาะตัวต้านทานแบบพันลวดจะมีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุดแต่คุณสมบัติเชิงความถี่ไม่ค่อยดีนักอีกทั้งค่าความต้านทานสูงๆ จะหาได้ยาก ส่วนตัวต้านทานชนิดฟิล์มโลหะจะให้สัญญาณรบกวนต่ำเช่นกันเมื่อเทียบกับชนิดฟิล์มคาร์บอน คือมีค่าน้อยกว่า 0.1 ไมโครโวลต์ต่อโวลต์ ถ้าหากพิจารณาขณะไม่มีกระแสไหลค่าของสัญญาณรบกวนจะเข้าใกล้สัญญาณรบกวนความร้อน แต่เมื่อมีกระแสไหลในวงจร เสียงรบกวนจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับกระแส ดังภาพประกอบ 30 หากสังเกตจะเห็นว่าความถี่ที่ทำให้เสียงรบกวนมีค่าอยู่ในระดับต่ำจะเท่ากับเสียงรบกวนจากความร้อน ดังนั้นในวงจรอินพุตของเครื่องขยายเสียงหากใช้วงจรขยายความแตกต่างแล้ว ควรใช้ความต้านทานชนิดฟิล์มโลหะทั้งหมด ยกเว้นตัวต้านทานบางตัวที่สำคัญ ซึ่งทำหน้าที่ป้อนกลับสัญญาณต้องใช้ตัวต้านทานที่ดีมีความเที่ยงตรงสูงเป็นพิเศษ โดยทั่วไปมักจะใช้ตัวต้านทานชนิดความคลาดเคลื่อน 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อขจัดปัญหาสัญญาณรบกวนให้ลดน้อยลง โดยเฉพาะตัวต้านทานที่แปรค่าได้ในเครื่องเสียงชั้นนำมักทำมาจากเซรามิกผสมเงินหรือที่เรียกว่า เซอร์เมท (Cermet) ทั้งนี้จะไม่มีปัญหาเรื่องความชื้นด้วย



ภาพประกอบ 30 แสดงกราฟผลความถี่และกระแสบนค่าแรงดันเสียงรบกวน
(ธนภัทร ฐิริพิทักษ์. 2545 : 236)

4.5 ไดโอด

ไดโอดเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ทำให้เกิดเสียงรบกวนได้หากเสื่อมสภาพ จึงจำเป็นต้องศึกษาข้อกำหนดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอัตราทนกระแสหรือแรงดันก็ตาม ในกรณีไดโอดชนิดบริดจ์ที่ประกอบด้วยไดโอด 4 ตัวใช้ในวงจรเรียงกระแสไฟตรงเกิดชำรุดตัวใดตัวหนึ่ง จะทำให้มีเสียงรบกวนออกลำโพง ดังๆ เบาๆ และเสียงจะดังมากกว่าการรั่วของฟลักซ์แม่เหล็กในหม้อแปลง หรือเสียงรบกวนที่ดังออกทางลำโพงเสียงสูงก็ตาม ซึ่งสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้ โดยตัวเก็บประจุแบบเซรามิกขนาด 0.1 ไมโครฟารัด 400 โวลต์ต่อขนานกับไดโอด ดังภาพประกอบ 31 อีกทั้งสายไฟที่ต่อเข้ากับขั้วไดโอดบริดจ์ ต้องพยายามให้ห่างจากสายเอาต์พุตที่จะต่อเข้าลำโพงด้วยเพื่อลดการรบกวนได้อีกทางหนึ่งเช่นกัน



(ก) ไดโอดแบบธรรมดา

(ข) ไดโอดแบบบริดจ์

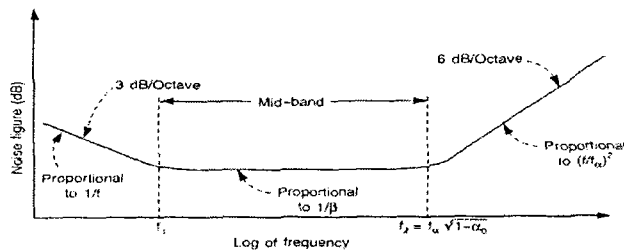
ภาพประกอบ 31 แสดงการใช้ตัวเก็บประจุต่อคร่อมไดโอดเพื่อลดเสียงรบกวนจากไดโอดธรรมดาและไดโอดบริดจ์
(ธนภัทร ฐิริพิทักษ์. 2545 : 237)

4.6 ทรานซิสเตอร์

ตัวเลขสัญญาณรบกวน (Noise figure) ของทรานซิสเตอร์ในย่านความถี่ต่างๆ ดังภาพประกอบ 32 ซึ่งมองเห็นภาพสัญญาณรบกวนบางส่วนเป็นค่าคงที่ตกคร่อมย่านกลางๆ ลาดขึ้นไปทั้งสองข้าง เมื่อความถี่ต่ำลงตัวเลขสัญญาณรบกวนจะสูงขึ้นเป็นสัดส่วนกับ $1/f$ ส่วนความถี่ที่สูงกว่า f_1 จะเป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนสัญญาณขาว ประกอบไปด้วยสัญญาณรบกวนที่เกิดความร้อน จากค่าความต้านทานที่ขาเบส และสัญญาณรบกวนประทุที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของตัวนำผ่านรอยต่อจากขาอีมิเตอร์มายังคอลเลกเตอร์ ซึ่งเสียงรบกวนขาวนี้จะ

ให้เสียงดัง ซ้ำมากที่สุดจะกำจัดหรือหลีกเลี่ยงลำบาก ทั้งนี้เพราะสัญญาณรบกวนส่วนนี้มักจะติดมากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตั้งที่กล่าวมาแล้ว แต่ก็สามารถทำให้แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนขามีค่าต่ำลง โดยเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีค่าความต้านทานเบสต่ำ ๆ อัตราการขยายทางกระแสสูง

เสียงรบกวนจากการกระพริบ (Flicker noise) จัดเป็นเสียงรบกวนอีกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำในย่านความถี่ต่ำๆ สังเกตจากภาพประกอบ 32 เส้นกราฟที่ลากขึ้นไปทางซ้ายมือ ในอัตราความชัน 3 dB ต่อออกเทป ซึ่งเรียกเส้นกราฟที่ลากขึ้นไปจากจุด f_1 นี้ว่า เสียงรบกวนจากการกระพริบ ซึ่งมีขนาดแปรผกผันกับความถี่ ($1/f$) โดยเฉพาะภาคพรีแอมพลิไฟเออร์ หรือ อีควอไลเซอร์จะเป็นปัญหามาก อนึ่งตัวเลขสัญญาณรบกวนจะเพิ่มมากขึ้นในย่านความถี่สูงๆ คือสูงกว่าความถี่ f_2 (ประมาณ 10 กิโลเฮิรตซ์) ขึ้นไป เรียกสัญญาณรบกวนนี้ว่า เอ็กเซส (Excess noise) มีลักษณะคล้ายปูเมฆเป็นเส้นยาวบนออสซิลโลสโคป



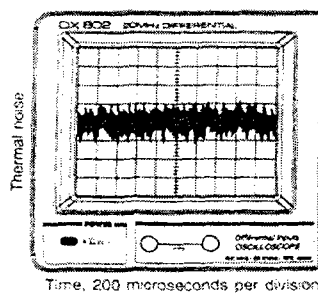
ภาพประกอบ 32 แสดงตัวเลขสัญญาณรบกวนของทรานซิสเตอร์ในย่านความถี่ต่างๆ
(ธนภัทร ภูรีพิทักษ์. 2545 : 237)

4.7 เจเฟต

มีกลไกของเสียงรบกวนที่สำคัญอยู่ 3 ชนิดคือ

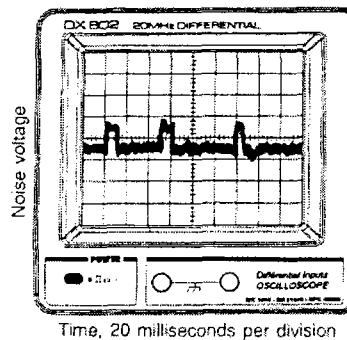
- 4.7.1 เสียงรบกวนประทุที่เกิดขึ้นโดยการจ่ายแรงดันไบอัสย้อนกลับที่ขาเกต
- 4.7.2 เสียงรบกวนจากความร้อนที่เกิดขึ้นในแชนเนลระหว่างซอร์สกับเดรน
- 4.7.3 เสียงรบกวน $1/f$ ที่เกิดขึ้นบริเวณประจุค้าง (Space charge region) ระหว่างเกต

และแชนเนล



ภาพประกอบ 33 แสดงภาพสัญญาณรบกวนจากความร้อนบนจอออสซิลโลสโคป
(ธนภัทร ภูรีพิทักษ์. 2545 : 238)

ดังนั้นในย่านความถี่สูงๆ อุปกรณ์เฟตจะก่อให้เกิดเสียงรบกวนได้มากกว่าทรานซิสเตอร์ การเลือกใช้เฟตจะต้องเลือกใช้เฟตชนิดที่มีเสียงรบกวนต่ำ



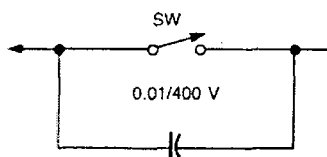
ภาพประกอบ 34 แสดงรูปคลื่นทางเอาต์พุตของไอซีออปแอมป์กับสัญญาณรบกวน
(ธนภัทร ภูริพิทักษ์, 2545 : 239)

ในภาพประกอบ 34 แสดงรูปคลื่นทางเอาต์พุตของไอซีออปแอมป์กับสัญญาณรบกวนที่ให้เสียง “บล็อก” หรือ “ปัง” เรียกว่า สัญญาณรบกวน “ป๊อปคอร์น” (Popcorn Noise) โดยที่สัญญาณเป็นเสียงรบกวนสุ่ม (Random Noise) ส่วนยอดเป็นเสียงรบกวนจากความร้อน

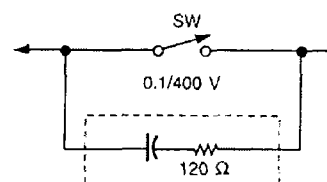
4.8 สัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายกำลัง

ในวงจรเรียงกระแสไฟตรงค่าความพลั่วจะเกิดขึ้น มีความถี่สูงเป็นหลายเท่า และกลายเป็นเสียงรบกวนทันที วิธีลดค่าความพลั่วกระทำโดยใช้แหล่งจ่ายกำลังแบบคงค่าขนาดเล็กจ่ายให้วงจรขยายภาคพลัสแอมป์ ส่วนภาคขยายกำลังก็ใช้วงจรเรียงกระแสแบบธรรมดา จึงเป็นการแยกแหล่งจ่ายไฟออกจากกัน หากเป็นเครื่องขยายสเตอริโอจะต้องมีแหล่งจ่ายกำลังกระแสตรงสองชุดเช่นกันคือ แยกเป็นชุดซ้ายและชุดขวา นอกจากนี้ขณะที่เปิด – ปิด เครื่องขยายเสียงโดยเฉพาะตอนปิดแล้วจะได้ยินเสียงดัง “ปึก” ออกที่ลำโพงอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นเสียงรบกวนความถี่สูงเกิดจากประกายไฟที่สวิตช์ โดยส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปเหนี่ยวนำในวงจรผ่านการขยายออกทางลำโพง หากทั้งไว้ลำโพงอาจเสียหายได้ วิธีแก้ไขเพียงแค่ต่อตัวเก็บประจุขนาด 0.01 ไมโครฟารัดชนิดทนแรงดันได้มากกว่า 400 โวลต์ขึ้นไป ต่อคร่อมที่หน้าสัมผัสของสวิตช์ ดังภาพประกอบ 35

จากภาพประกอบ 35 (ข) ลักษณะการต่อตัวเก็บประจุอนุกรมกับตัวต้านทานนี้มีชื่อเรียกว่า สปาร์กคิลเลอร์ (Spark Killer)



(ก) ใช้ตัวเก็บประจุต่อคร่อมสวิตช์



(ข) ใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุก่อนคร่อมสวิตช์

ภาพประกอบ 35 แสดงการแก้เสียงรบกวนขณะเปิด – ปิด สวิตช์

(ธนภัทร ภูริพิทักษ์, 2545 : 239)

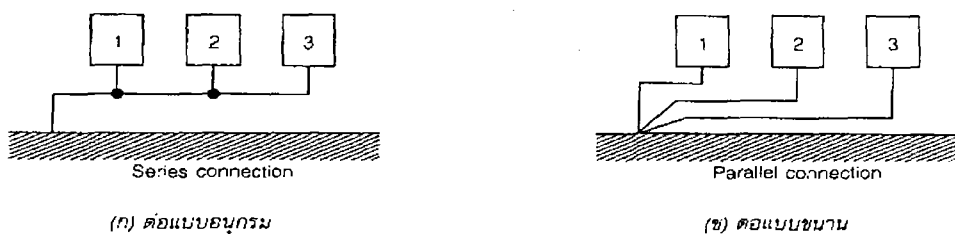
4.9 สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการวางตำแหน่งและติดตั้งหม้อแปลงผิด

สืบเนื่องจากอุปกรณ์ในภาคแหล่งจ่ายกำลังกระแสตรงจะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนมากที่สุด โดยเฉพาะหม้อแปลง จะต้องแยกออกจากวงจรพิมพ์และวางให้ห่างกัน กล่าวคือ ส่วนของขดลวดที่ไปออกมาทั้งสองข้างของหม้อแปลงจะมีฟลักซ์แม่เหล็กรั่วไหลออกมา จึงจำเป็นต้องหันทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กไม่ให้วิ่งเข้าหาแผ่นวงจรพิมพ์ หากเลือกทิศทางไม่ได้ อาจจะทำให้หม้อแปลงและแผ่นวงจรพิมพ์ของภาคขยายต่างๆ ให้ห่างกันในแนวเส้นทแยงมุม เสียงรบกวนในส่วนนี้จะลดลง แต่หากไม่พิจารณาให้รอบคอบเสียงรบกวนจากฟลักซ์แม่เหล็กที่ลงแท่นจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสวน (Eddy current) ขึ้นได้ ดังนั้นควรเสริมฉนวน หรือ แหวนพลาสติกกรองระหว่างหม้อแปลงกับแท่นเครื่อง โดยให้หม้อแปลงลอยตัวขึ้นเป็นการกั้นฟลักซ์แม่เหล็กให้ลงแท่นได้ยากขึ้น เพราะมีอากาศคั่นอยู่ระหว่างกลาง ซึ่งเป็นการแก้ปัญหากระแสวนได้อีกวิธีหนึ่ง

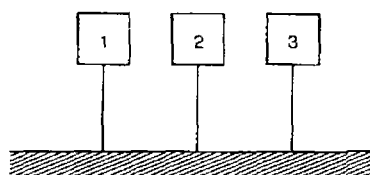
4.10 สัญญาณรบกวนจากกราวด์

ในวงจรเครื่องขยายเสียง กราวด์นับว่าเป็นเรื่องสำคัญอีกเรื่องหนึ่งที่เป็นสาเหตุให้เกิดเสียงรบกวนขึ้นโดยมีหลักการทางวงจรไฟฟ้าถือว่ากราวด์มีระดับแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ และจุดใดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่ากราวด์จะเป็นไฟบวก ส่วนจุดใดที่มีไฟฟ้าต่ำกว่ากราวด์จะเป็นไฟลบ ส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นกราวด์ที่ไม่ได้ต่อลงดิน มักจะเรียกว่ากราวด์ลอย (Floating ground) หากกราวด์ลอยต่อแท่นเครื่องก็จะเรียกว่า (Chassis ground) จากการใช้งานของระบบกราวด์ที่ถูกต้องนั้น มีวัตถุประสงค์เบื้องต้นอยู่ 2 ประการ กล่าวคือ ประการแรก การกำเนิดของค่าแรงดันรบกวนจะต้องมีค่าต่ำโดยมีกระแสจากสองหรือสามวงจรไหลผ่านค่าอิมพีแดนซ์ของกราวด์ร่วม ประการที่สอง จะต้องหลีกเลี่ยงการเกิดกราวด์ลูป ซึ่งมักจะเกิดขึ้นจากการใช้สายชีลด์โดยการต่อทั้งต้นสายและปลายสายลงกราวด์สองจุด จะทำให้เกิดกราวด์ลูปขึ้นทันที หากพื้นที่ของกราวด์ลูปมากก็จะถูกรบกวนจากสนามแม่เหล็กได้ง่าย และเหนี่ยวนำมายังสายกราวด์กลายเป็นสัญญาณรบกวนทันที ถ้าต้องการตัดกราวด์ ลูป ออกให้ต่อกราวด์เพียงจุดเดียว หรืออย่าให้สายกราวด์ต่อไปมาครบวงจรจนเกิดลูป

สายกราวด์จะมีการต่ออยู่ 2 แบบ สำหรับการขยายสัญญาณความถี่ที่ต่ำกว่า 1 เมกะเฮิร์ตซ์ คือแบบใช้สายร่วมกัน (แบบอนุกรม) และแบบใช้สายแต่ละวงจรไปรวมที่จุดๆ เดียว (แบบขนาน) 11 ส่วนสัญญาณความถี่ที่สูงกว่า 10 เมกะเฮิร์ตซ์ จะใช้การต่อระบบกราวด์หลายจุด ดังภาพประกอบ 36



แสดงการต่อสายกราวด์ไปรวมกันที่จุด ๆ เดียว



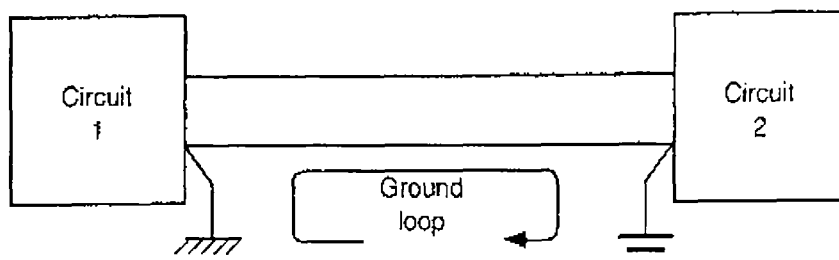
ภาพประกอบ 36 แสดงการต่อสายกราวด์แบบหลายจุด

(ธนภัทร ฐวีพิทักษ์. 2545 : 241)

สายกราวด์ทุกวงจรจะใช้สายกราวด์ร่วมกันคือ ต่อพ่วงสายกัน ซึ่งมีข้อเสนอแนะว่าภาคขยายที่มีขนาดสัญญาณเล็กสายกราวด์ควรต่ออยู่ใกล้ปลายสายที่จะลงแท่นให้มากที่สุด การต่อแบบขนานคือ ทุกสายจะไปรวมกันที่จุดๆ เดียว สามารถป้องกันการรบกวนจากสนามไฟฟ้าได้อีกส่วนหนึ่ง ในกรณีส่วนของวงจรพิมพ์สายกราวด์จะต่อออกจากบริเวณอินพุตของภาคนั้นๆ ที่มีสัญญาณขนาดเล็กอยู่ โดยให้ถูกรบกวนจากการใช้สายกราวด์ร่วมกันน้อยที่สุด หนึ่งในเรื่องของกราวด์แท่นเครื่องมักใช้สายจากแหล่งจ่ายกำลังไฟตรง ลำโพง หรือภาคขยายที่กำลังนิยมใช้สายเส้นโตลงกราวด์แท่นใกล้บริเวณแหล่งจ่ายกำลัง เพื่อความมั่นใจควรใช้วิธีบัดกรีกับแท่นเครื่องโดยตรง โดยเฉพาะเครื่องเสียงระบบใหญ่ๆ จะประกอบด้วยหลายแท่นเครื่องแต่จะต่อสายกราวด์เข้าด้วยกันเรียกว่า กราวด์แท่นเครื่อง (Hardware ground) ซึ่งส่งผลในเรื่องความปลอดภัยด้วย นอกจากนี้แล้วในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ระบบใหญ่อาจมีจุดลงกราวด์ร่วมกันของกราวด์แท่นเครื่อง กราวด์สัญญาณ (Signal ground) และกราวด์กระแสรบกวน (Noise ground) เป็นต้น

สายชีลด์ในวงจรขยาย คือสายไฟหุ้มฉนวนเส้นเล็ก ซึ่งรอบนอกของสายไฟที่มีฉนวนหุ้มจะมีโลหะถักคลุมอยู่ตลอดความยาวของสาย และมีฉนวนหุ้มรอบทั้งหมดอีกชั้นหนึ่ง ดังนั้นสายด้านในตรงกลางจะกลายเป็นสายสัญญาณ โดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 ชนิดคือ สายชีลด์เส้นเดียว และสายชีลด์ชนิดคู่ ลักษณะการใช้งานจะใช้ต่อวงจรภายนอกของแผ่นวงจรพิมพ์กับปั๊มปรับต่างๆ เพื่อนำสัญญาณส่งผ่านไปยังจุดต่างๆ ตามวงจร เช่น ต่อกับสวิทช์ ต่อกับสัญญาณอินพุตต่างๆ บนแจ็คอาร์ซีเอ (RCA Jack) ตัวเมีย หรือเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างภาคพรีแอมพลิไฟเออร์กับภาคขยายกำลัง เป็นต้น

ทั้งนี้เนื่องจากเสียงรบกวนในวงจรขยายสามารถเกิดขึ้นได้ในหลายกรณีดังที่กล่าวแล้วเฉพาะการรบกวนจากสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อสายสัญญาณขนาดเล็กหากใช้สายธรรมดา จึงจำเป็นต้องใช้สายชีลด์เข้ามาแก้ปัญหาแทนสายไฟธรรมดา ซึ่งมีวิธีใช้ดังนี้คือ สายสัญญาณเส้นในสุดจะไม่ต่อกับสัญญาณ และส่วนที่เป็นชีลด์จะต่อลงกราวด์ ผลที่ได้คือบริเวณรอบนอกของสายสัญญาณจะมีแรงดัน 0 โวลต์ตลอดความยาวของสาย ทำให้สนามไฟฟ้าจากภายนอกมาหยุดบริเวณด้านนอกของสายชีลด์ ไม่สามารถผ่านเข้าไปรบกวนสายสัญญาณภายในได้ ทำนองเดียวกันหากมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นจากสายสัญญาณเส้นในสุดก็จะหยุดอยู่ ณ บริเวณผิวด้านในของสายชีลด์เช่นกัน ทั้งนี้การใช้สายชีลด์ให้เกิดผลดีควรต่อปลายเพียงด้านเดียวของชีลด์ลงกราวด์ จะได้แรงดันต่ำสุดหรือใกล้เคียง 0 โวลต์ หากต่อทั้งต้นสายและปลายสายลงกราวด์ จะเกิดกราวด์ลูปขึ้น แม้แต่ในวงจรเรียงกระแสไฟตรงที่ใช้หม้อแปลงชนิดมีจุดกึ่งกลางของขดทุติยภูมิ การต่อสายกราวด์จะต้องใช้วิธีการนำสายไฟเส้นใหญ่ต่อเชื่อมระหว่างจุดกึ่งกลางกับขั้วของตัวเก็บประจุฟิเตอร์ด้านกราวด์มาลงที่จุดกราวด์ร่วมที่จะต่อไปยังขั้วลบของลำโพง หรือไปต่อกราวด์กับแผ่นวงจรพิมพ์ จะทำให้เกิดปัญหาน้อยที่สุด ในทางตรงกันข้ามหากที่จุดกึ่งกลางของขดทุติยภูมิต่อลงกราวด์โดยตรง และที่ตัวเก็บประจุก็ต่อลงกราวด์โดยตรงเช่นกัน เสียงรบกวนจะเกิดขึ้นทันที



ภาพประกอบ 37 แสดงกราวด์ลูประหว่างสองวงจร เมื่อต่อกราวด์หลายจุด

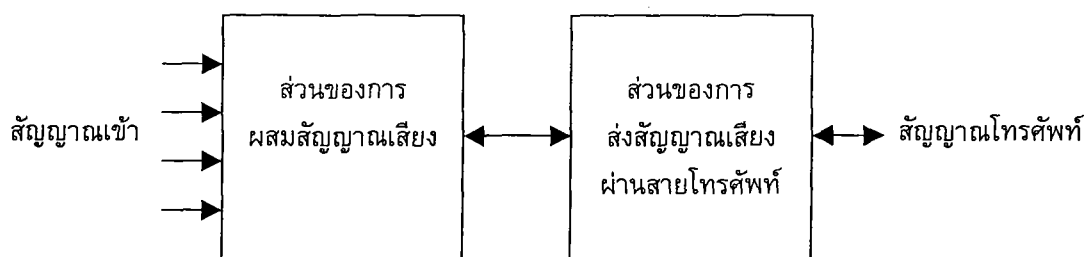
(ธนภัทร ภูริพิทักษ์, 2545 : 242)

จุดต่อลงกราวด์ของเครื่องขยายเสียงนับว่าเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่สำคัญที่จะละเอียดไม่ได้ดังที่กล่าวในทำนองของกราวด์และสายชิลด์ที่ช่วยลงสัญญาณรบกวนในเครื่องขยายเสียง แต่มีอุปกรณ์ที่สำคัญที่มองข้ามไม่ได้เช่นกันคือ หม้อแปลงที่ป้องกันไม่ให้สนามแม่ไฟฟ้าจากหม้อแปลงไปรบกวนวงจร หรือสายส่งสัญญาณข้างเคียง โดยใช้หม้อแปลงที่มีคุณภาพประกอบด้วยแกนที่ใช้เป็นแกนทอรอยด์ มีชิลด์เป็นสนามแม่เหล็ก โดยใช้สารแม่เหล็กทำเป็นฝาครอบ ทั้งนี้การชิลด์แบบนี้หนึ่งจะใช้แผ่นทองแดงคลุมรอบขดลวดภายนอก แต่ไม่ครบวงจร คือมีระยะห่างและมีแผ่นฉนวนกัน เมื่อต่อสายไปลงกราวด์ปัญหารบกวนก็จะหมดไป ส่วนแบบที่สองคือใช้แผ่นทองแดงคั่นขดขดลวดปฐมภูมิ แล้วตามด้วยฉนวนคั่นระหว่างแผ่นทองแดงกับขดลวดทุติยภูมิอีกชั้นหนึ่ง ก็จะเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อแปลงได้มากขึ้น

การลดสัญญาณรบกวนในเครื่องเสียง คืออุปกรณ์ลดสัญญาณรบกวน (Noise-reduction unit) อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณรบกวนเอกซ์แพนเดอร์ (expanders) ระบบลดเสียงรบกวนแบบเข้ารหัสและถอดรหัส (Compander) เครื่องถอดสัญญาณของระบบเสียงสี่ทิศทาง (Quadraphonic decoders) และเครื่องหน่วงเสียง (Audio timedelay unit) เป็นต้น

เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

การสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยมีระบบการทำงานออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของการผสมสัญญาณเสียง และ ส่วนของการส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ดังแสดงในภาพประกอบ 44 ดังนี้



ภาพประกอบ 38 แสดงส่วนการทำงานหลักของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

การออกแบบส่วนต่างของเครื่อง ที่เป็นองค์ประกอบในการทำงานให้สมบูรณ์ โดยแบ่งการทำงานของเป็น 2 ส่วนหลักใหญ่ ๆ ดังนี้คือ ส่วนของการผสมสัญญาณเสียง และ ส่วนของการส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ อธิบายหลักการออกแบบและการทำงานของส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ส่วนของการผสมสัญญาณเสียง

ส่วนของการผสมสัญญาณเสียง มีสัญญาณเข้าหรืออินพุตจากแหล่งจ่ายต่างๆ อยู่ด้วยกันจำนวน 4 ชุดช่องสัญญาณ แต่ละชุดต่างก็ทำงานหน้าที่เหมือนกัน และจะมีวงจรออสซิลเลเตอร์สำหรับปรับระดับสัญญาณเสียงอินพุตที่รับเข้ามาให้มีคุณภาพตามที่ต้องการ และนอกจากนั้นก็ยังมีภาคแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร เพื่อที่จ่ายกระแสไฟฟ้าไปเลี้ยงวงจรในภาคต่างๆ ให้ทำงานอย่างต่อเนื่อง

2. ส่วนของการส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

ในส่วนของวงจรการส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์นี้ วงจรทั้งหมดใช้กำลังไฟเลี้ยงจากแรงดันที่อยู่ในคู่สายโทรศัพท์ซึ่งจะมีกระแสเลี้ยงวงจรอยู่ตลอดเวลาโดยไม่จำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้าจากไฟบ้านโดยทั่ว ๆ ไป จึงทำงานคล้ายกับโทรศัพท์ธรรมดา ซึ่งจะอธิบายการทำงานต่อไป

1. ระบบสัญญาณโทรศัพท์

วงจรและหลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องโทรศัพท์ มีส่วนประกอบเบื้องต้นและหลักการทำงานดังนี้

1.1 เครื่องส่ง

เครื่องส่งเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนคลื่นเสียงของการพูดให้เป็นกระแสไฟฟ้า ดังนั้นเครื่องโทรศัพท์นั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องส่งที่มีประสิทธิภาพและความไวสูงจึงใช้เครื่องส่งชนิดคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยเม็ดถ่านอยู่เต็มช่องระหว่างขั้วไฟฟ้า (Electrode) เคลื่อนที่ได้และขั้วที่ยึดอยู่กับที่ โดยแต่ละขั้วต่อกับขั้วแบตเตอรี่ โดยมีแผ่นบางการสั่นหรือไดอะแฟรมการสั่น (Vibrating diaphragm) ยึดอยู่กับขั้วไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ได้ซึ่งมีการสั่นตามคลื่นเสียงที่ได้รับ ทำให้เกิดแรงกดบนเม็ดถ่าน (Carbon granule) สลับไปมา ทำให้ค่าความต้านทานหน้าสัมผัส (Contact resistance) ของเม็ดถ่านเปลี่ยนแปลงตามความดันที่เกิดขึ้น เมื่อไม่มีคลื่นเสียง กระแสที่ผ่านเม็ดถ่านจะมีค่าคงที่ แต่เมื่อคลื่นเสียงกระจายค่ากระแสของเครื่องส่งจะเปลี่ยนแปลงส่งผลให้เครื่องส่งผลิตกระแสสลับ ซึ่งเป็นกระแสที่ประกอบด้วยกระแสตรงและมีกระแสสลับซ้อนทับ เรียกว่ากระแสพัลส์เซดิง (Pulsating current) ซึ่งกระแสพัลส์เซดิงจะถูกแยกส่วนประกอบของกระแสสลับออกจากกระแสตรงโดยใช้หม้อแปลง หรือตัวเก็บประจุ ก่อนจะถูกส่งไปยังเครื่องรับของผู้เข้าที่ถูกรับโดยผ่านสายและอุปกรณ์การสลับสายของชุมสายโทรศัพท์ เครื่องส่งที่นิยมใช้งานกันอยู่ในเครื่องโทรศัพท์ปัจจุบัน มีด้วยกัน 3 แบบคือ แบบคาร์บอน แบบพลวัต (Dynamic) และแบบคอนเดนเซอร์ (Condensor) ซึ่งแบบคอนเดนเซอร์ถือว่าดีที่สุด เนื่องจากกระแสสลับในชุดขดลวดปฐมภูมิ (Primary) ของหม้อแปลง ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในชุดขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) จึงทำให้กระแสสลับไหลผ่านเครื่องรับ ส่วนกระแสตรงจะไหลอยู่เฉพาะในชุดขดลวดปฐมภูมินั้น กระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (L) ซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำและไหลผ่านเครื่องส่งได้ แต่จะไม่สามารถไหลผ่านเครื่องรับได้ เนื่องจากมีตัวเก็บประจุ (C) กันไว้ ส่วนกระแสสลับจะไหลผ่านเครื่องรับโดยผ่านเครื่องส่งและตัวเก็บประจุได้ แต่จะไม่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเนื่องจากมีค่าความต้านทานสูง ในขณะที่ยังสัญญาณเสียงที่ได้รับจากสายโทรศัพท์มีค่าน้อยมาก ดังนั้นเครื่องรับที่ใช้จึงควรออกแบบให้มีประสิทธิภาพที่จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเสียงให้มากที่สุด

1.2 เครื่องรับ

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสียง ด้วยแผ่นไดอะแฟรมการสั่น ที่ทำงานตามกระแสเสียงที่ส่งมาจากเครื่องส่งของฝ่ายผู้เรียก มีลักษณะการสร้างทำงานดังนี้ มีขดลวดยึดอยู่กับแต่ละขั้วของแท่งแม่เหล็กถาวร โดยต่ออนุกรมกันอยู่แต่กลับทางกัน แม่เหล็กนี้จึงดึงไดอะแฟรมการสั่นเข้ามา เมื่อกระแสที่ได้รับไหลผ่านวงจรของเครื่องรับ ก็จะมีฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้นในขดลวด ทิศของฟลักซ์แม่เหล็กจะสลับตามทิศของกระแส ซึ่งจะไฟเสริมหรือต้านฟลักซ์ของแม่เหล็กถาวร แผ่นไดอะแฟรมจะสั่นตามขนาดและความถี่ของกระแสสลับรอบๆ จุดได้ดูลด้วยแรงดึงดูดของแม่เหล็ก ทำให้เกิดคลื่นเสียงขึ้นที่ด้านหน้าของแผ่นไดอะแฟรมการสั่น เมื่อกระแสไหล กระแสจะเหนี่ยวนำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามกับของแม่เหล็กถาวร ทำให้แรงดันลดลง แผ่นไดอะแฟรมการสั่นจึงเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และในกรณีที่ฟลักซ์ทั้งสองกระทำในทิศทางเดียวกัน แรงดึงดูดของแม่เหล็กจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้แผ่นไดอะแฟรมการสั่น ถูกดึงดูดเข้ามา ถ้าไม่ใช่แท่งแม่เหล็กถาวร เมื่อได้รับกระแสเสียงพูด แผ่นไดอะแฟรมเกิดการสั่นจะถูกดึงขณะฟลักซ์แม่เหล็กที่อยู่ตำแหน่ง + และที่ตำแหน่ง - และกลับไปยังตำแหน่งปกติ ขณะที่ฟลักซ์อยู่ที่ 0 ในกรณีนี้ แผ่นไดอะแฟรม การสั่น จะสั่นด้วยความถี่เป็นสองเท่าของคลื่นเสียงเดิมทำให้เกิดความเพี้ยนของคลื่นขึ้นแต่เมื่อใช้แท่งแม่เหล็กถาวร ฟลักซ์จากแม่เหล็กถาวรและฟลักซ์จากกระแสที่ได้รับจะซ้อนทับกันทำให้ไม่มีโอกาสที่ฟลักซ์จะอยู่ที่ตำแหน่ง 0 ดังนั้น คลื่นเสียงที่เกิดขึ้น จะมีความถี่เท่ากับความถี่ที่ได้รับ

1.3 การทำงานของเครื่องโทรศัพท์

หูโทรศัพท์จะประกอบด้วยคาร์บอนไมโครโฟนและมีหูฟังเป็นตัวรับ หูโทรศัพท์จะต่อกับสายโทรศัพท์โดยผ่านหม้อแปลงอัตโนมัติซึ่งทำให้หูโทรศัพท์และสายโทรศัพท์ที่มีอิมพีแดนซ์ได้คู่กันอัตราส่วน อิมพีแดนซ์จะถูกจัดให้จนกระทั่งมีการเข้าคู่อิมพีแดนซ์กับคู่สาย และสัญญาณกริ่งโทรศัพท์จะต่อกับสายผ่านไปยังฮุกสวิตช์รีเลย์ กระแสสำหรับเครื่องโทรศัพท์ (ด้านส่ง) จะมาจากแบตเตอรี่ของชุมสาย และไหลผ่านส่วนแผงแป้นพิเศษที่ชุมสายก็จะมีหม้อแปลงซึ่งเป็นตัวแยกสัญญาณเสียงกับสัญญาณกระแสตรง (ดีซี) - 48 โวลต์ ซึ่งกระแสตรงจะถูกส่งจากแบตเตอรี่ของชุมสายเข้าไปยังชุมสายโทรศัพท์

ในการใช้โทรศัพท์ เมื่อผู้รับบริการยกหูโทรศัพท์ขึ้น ฮุกสวิตช์จะต่อกับวงจรระหว่างหูโทรศัพท์กับคู่สาย และตัดเสียงกริ่งในขณะเดียวกันวงจรกระแสตรง (Direct current loop) ก็จะครบวงจรทำให้กระแสไหลจากแบตเตอรี่ในชุมสาย และมีการส่งสัญญาณไปในชุมสายเพื่อบอกให้รู้ว่า คู่สายนี้ไม่ว่างแล้ว ในขณะเดียวกันจะมีการตัดวงจรรีเลย์เสียงกริ่งด้วยวงจรในการสนทนา การหมุนเลขหมายเป็นการส่งขบวนพัลส์ ถ้าผู้รับบริการปลายทางไม่ว่างจะมีการส่งเสียงสัญญาณไม่ว่าง (Busy tone) กลับมา แต่ถ้าผู้รับบริการปลายทางว่างสัญญาณกริ่งจะถูกส่งกลับมายังผู้รับบริการที่เรียก เพื่อให้รู้ว่าติดต่อได้แล้วและจะมีการส่งสัญญาณกริ่งไปยังผู้รับบริการปลายทางโดยสัญญาณนี้จะสูงหลายร้อยโวลต์ และมีความถี่ 20 เฮิรตซ์ เมื่อปลายทางยกหูโทรศัพท์ฮุกสวิตช์จะต่อวงจรหูโทรศัพท์เข้ากับคู่สาย จากนั้นก็จะเริ่มสนทนาได้

ความยาวของวงจรกระแสตรงถูกกำหนดโดยค่าความต้านทานกระแสตรงภายในวง (Loop) ถ้าความต้านทานกระแสภายในวงเกิน 1200 โอห์ม สัญญาณกระแสตรงจะเชื่อถือไม่ได้และขึ้นอยู่กับชนิดของสายเคเบิลด้วย เช่น ค่าความต้านทานนี้สามารถใช้ได้เพียงระยะทาง 5 กิโลเมตร ถ้าใช้ลวดทองแดงขนาด 26 AWG แต่ถ้าเป็นลวดทองแดงขนาด 16 AWG จะใช้ได้ถึง 45 กิโลเมตร

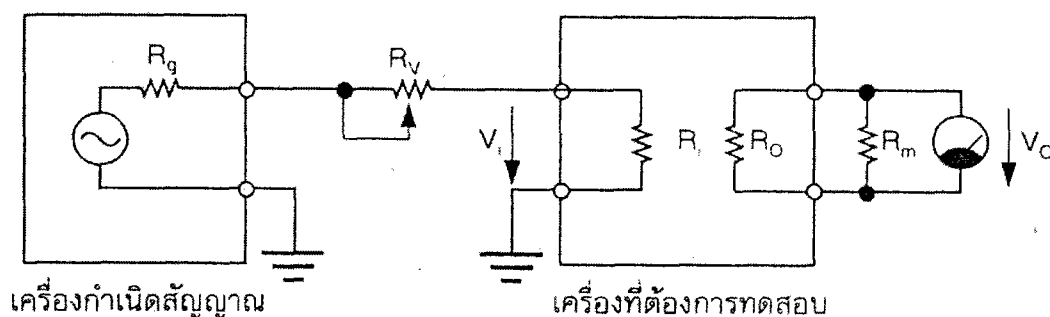
ข้อจำกัดของความยาววงอีกอย่างหนึ่งคือ องค์กรประกอบการลดทอนของสายเคเบิล เช่น ถ้าวงมีการสูญเสียทั้งหมดเกิน 10 dB จะใช้ไม่ได้ ต้องมีการใช้วงจรขยายเพื่อช่วยชดเชยการสูญเสียนี้ความถี่ยิ่งสูงการสูญเสียก็ยิ่งมีค่ามากขึ้น สามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งเหนี่ยวนำเป็นระยะๆ ตลอดสายเคเบิลซึ่งค่าความเหนี่ยวนำนี้ (L) จะรวมกับค่าความนำ (C) ที่เกิดในสายเคเบิลกลายเป็นวงจรกรองแบบผ่านต่ำประมาณ 3.5 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งทำให้เกิดการลดทอนคงที่ตลอดย่านความถี่ 300 - 3400 กิโลเฮิรตซ์ ในเครื่องโทรศัพท์ที่มีแผงแป้นพิเศษสัญญาณโทรศัพท์แบบนี้จะใช้รหัส 2 ตัวสำหรับตัวเลข และความถี่ที่ใช้งานอยู่ในช่วงความถี่เสียง เมื่อกดเลขหมายใดออกไปสัญญาณก็จะถูกส่งออกไป 2 สัญญาณ

การหาประสิทธิภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

ในการทดสอบระบบเสียงมีความสำคัญต่อวงจรขยายกำลังของเครื่องขยายเสียงเป็นอย่างมาก เพื่อทราบค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าในด้านต่างๆ ของเครื่อง ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ใช้งานอย่างถูกต้อง จำเป็นต้องมีวิธีการทดสอบด้วยเครื่องมือที่นำมาประกอบในการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่อง เช่นเดียวกับการออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ต้องทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าในด้านต่างๆ ให้ค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าที่ระบุไว้ในรายละเอียดในจุดต่างๆ ของเครื่องทดลองในการศึกษาวิจัย

1. การทดสอบคุณสมบัติของระบบเสียง

1.1 การวัดค่าความต้านทานทางอินพุต การวัดค่าความต้านทานทางอินพุตเป็นค่าหนึ่งที่ถูกกำหนดไว้ในรายละเอียดของการขยายเสียง โดยทั่วไปมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานภายในของเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง

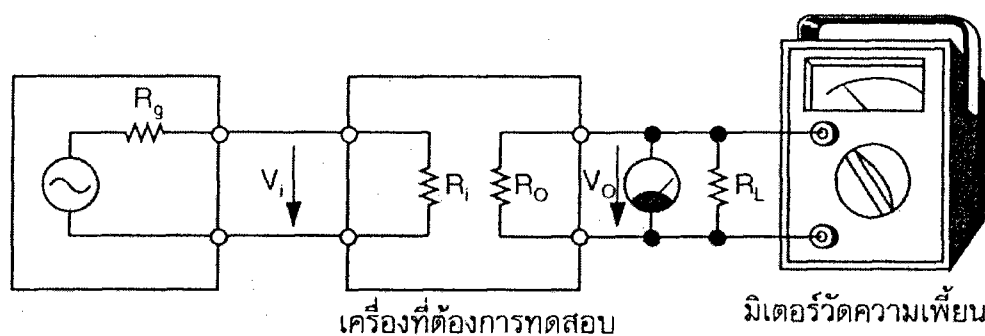


ภาพประกอบ 39 แสดงการต่อเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อหาความต้านทานอินพุต
(ธนภัทร ภูริพิทักษ์. 2545 : 258)

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง เครื่องขยายเสียงที่ต้องการทดสอบ และตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ (R_v)

ลำดับขั้นตอนการทดลอง ให้ปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงตั้งค่าความถี่ค่า 1 กิโลเฮิร์ตซ์ และป้อนแรงดันให้อินพุตของวงจรขยายเสียงที่แรงดันค่าหนึ่งค่าใด โดยไม่เกินกำลังขับทางด้านเอาต์พุต จากนั้นให้ปรับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ จนกระทั่งแรงดันที่อินพุต (V) มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันที่เครื่องกำเนิดสัญญาณแล้วปิดเครื่อง นำเอาตัวต้านทานที่ปรับค่าได้มาวัดค่าความต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์ ก็จะทราบค่าความต้านทานอินพุตของเครื่องขยายทันทีตามหลักการของวงจรแบ่งแรงดัน

1.2 การวัดค่ากำลังเอาต์พุต กำลังเอาต์พุตจะต้องเป็นกำลังเอาต์พุตที่เครื่องขยายเสียงจ่ายให้แก่โหลด (ลำโพง) อย่างต่อเนื่องตามค่าอิมพีแดนซ์ของลำโพง กล่าวคือ ลำโพงที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ จะให้กำลังเอาต์พุตสูง เช่น จากตัวอย่างในการกำหนดรายละเอียดกำลังเอาต์พุต 105 วัตต์ ใช้โหลดลำโพง 8 โอห์ม ตลอดช่วงความถี่ 20 – 20,000 เฮิร์ตซ์ โดยมีความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม (THD) ไม่มากกว่า 0.03 เปอร์เซ็นต์ ทุกๆ ค่าของกำลังทางเอาต์พุตตั้งแต่ 50 มิลลิวัตต์ ไปจนถึงกำลังเอาต์พุตสูงสุดที่ระบุไว้ก่อนที่จะทำการวัดค่าแรงดันเอาต์พุต ต้องเปิดเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ที่กำลังเอาต์พุตหนึ่งในสามส่วนของค่าที่ระบุไว้เป็นอย่างน้อย อีกทั้งสัญญาณอินพุตรูปไซน์จะต้องป้อนเข้าเครื่องขยายเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 5 นาทีด้วย



ภาพประกอบ 40 แสดงการทดลองหาค่ากำลังเอาต์พุตของระบบเสียง
(ธนภัทร ภูริพิทักษ์. 2545 : 259)

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง เครื่องขยายเสียงที่ต้องการทดสอบ ลำโพงหรือความต้านทานโหลด (ที่มีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ของลำโพง และ กำลังวัตต์ที่ใกล้เคียง) เอซีโวลต์มิเตอร์ หรือออสซิลอสโคป และมีเตอร์วัดความเพี้ยน

ลำดับขั้นตอนการทดลอง ให้ต่อเครื่องเสียงและอุปกรณ์ตามภาพประกอบ 40 หากใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณให้ตั้งความถี่ไว้ที่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าของกำลังเอาต์พุตที่ต้องการวัดคือค่าสูงสุด ดังนั้นอาจจะใช้วิธีป้อนสัญญาณอินพุตหลายๆ ค่า โดยการเร่งค่าความดังเสียงจากเครื่องขยายให้สูงสุด แล้วสังเกตที่จอของออสซิลอสโคป เมื่อสัญญาณคลื่นรูปไซน์เริ่มจะมีการขีปนก็ให้หยุดเพียงแค่นั้น มิฉะนั้นค่าความเพี้ยนจะเกิดขึ้น จากนั้นให้อ่านค่าบนจอออสซิลอสโคป จะได้แรงดันจากยอดถึงยอด (V_{p-p}) เลือกเอาเฉพาะค่าสูงสุดเพียงค่าเดียว เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังเอาต์พุตของเครื่องขยายเสียงจากสูตร

$$P_{rms} = V_{rms}^2 / R_L \quad \text{หรือ} \quad P_O = V_O^2 / R_L$$

P_O = กำลังเอาต์พุตต่อเนื่อง (Continuous rms. Power) สูงสุดของเครื่องขยายเสียง (วัตต์)

V_O = ค่าแรงดันเอาต์พุต อาร์ เอ็ม เอส (โวลต์)

R_L = ค่าอิมพีแดนซ์ของลำโพง (โอห์ม)

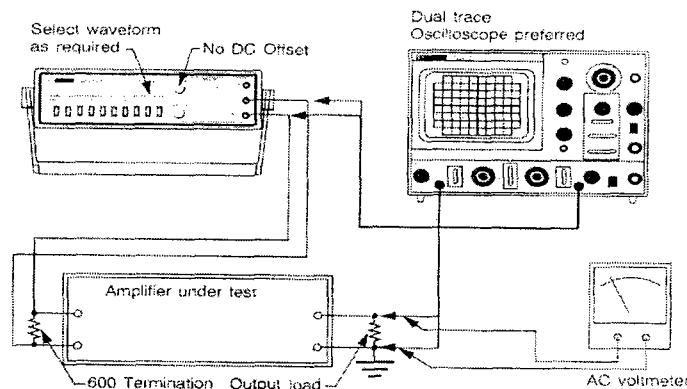
การทดลองในบางครั้งหากไม่มีเครื่องกำเนิดสัญญาณและออสซิลอสโคป ก็อาจจะต้องใช้การป้อนสัญญาณอินพุตจากเครื่องเล่นเทปหรือจูนเนอร์ก็ได้ ในขณะที่เร่งความดังสูงสุด ให้สังเกตเข็มของ เอซีโวลต์มิเตอร์ จะมีการแกว่งไปมาตามสัญญาณอินพุตที่เปลี่ยนแปลง ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้อ่านตรงตำแหน่งที่เข็มมิเตอร์ชี้สูงสุด จากนั้นนำค่าที่ได้ไปแทนในสูตรเพื่อคำนวณหาค่ากำลังเอาต์พุต

ในกรณีที่ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ ควรป้อนสัญญาณอินพุตเข้าตรงแจ๊คอาร์ซีเอ ตัวเมียของ Aux , Tape , Tuner หากเครื่องขยายเสียงที่ทดสอบมีคุณภาพดี การป้อนสัญญาณอินพุตจากเครื่องกำเนิดถูกต้อง แม้ว่า จะเร่งความดังสูงสุด สัญญาณที่ออกมาจะไม่มีการขีปน หมายถึงค่าความเพี้ยนใดๆ จะไม่เกิดขึ้น สำหรับค่ากำลังเอาต์พุตที่บริษัทผลิตเครื่องขยายเสียงระบุไว้ในกาหนดรายละเอียดจะมีหลายค่า ตั้งแต่กำลังเอาต์พุตเฉลี่ย กำลังเอาต์พุต อาร์ เอ็ม เอส แบบต่อเนื่อง (Continuous rms. Power output) กำลังเอาต์พุตสูงสุดชั่วขณะ (Instantaneous peak musoc power) กำลังเอาต์พุตสูงสุด (Peak power output) และกำลังเอาต์พุตจากยอดถึงยอด (Peak to peak power output) เป็นต้น โดยเฉพาะกำลังสูงสุดชั่วขณะ เช่น สัญญาณดนตรีจะขยายได้เต็มที่ และมีค่าใกล้เคียงกับกำลังเอาต์พุตค่ายอด ซึ่งบริษัทผู้ผลิตมักจะแจ้งให้เห็นค่าตัวเลขของกำลังเอาต์พุตสูงจนน่าสนใจ เพราะแท้ที่จริงแล้วกำลังเอาต์พุตของเครื่องขยายเสียงคือค่ากำลังเอาต์พุตแบบต่อเนื่องนั่นเอง ซึ่งเป็นค่ากำลังที่ลำโพงสามารถทนกำลังงานที่ป้อนให้ในช่วงระยะที่เวลายาวๆ โดยไม่เกิดความเสียหายใดๆ จากการที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่ากำลังเอาต์พุตต่อเนื่องที่แท้จริงมีค่า 100 วัตต์ โดยการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตอาร์เอ็มเอส ได้ประมาณ 28.28 โวลต์ แต่ถ้าหากคิดค่ากำลังเอาต์พุตจากยอดถึงยอด ค่าที่ได้ประมาณ 800 วัตต์ จะเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นมากมาย

1.3 การวัดค่าผลตอบสนองความถี่

การตอบสนองความถี่เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเครื่องขยายเสียง จะมีระบุไว้ใน การกำหนดรายละเอียดทุกเครื่อง ค่าที่ระบุจะบอกเป็นตัวเลขตามย่านของการตอบสนองความถี่ต่างๆ ซึ่งจะมองเห็น การตอบสนองความถี่ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง เครื่องขยายเสียงที่ต้องการทดสอบ ออสซิลโลสโคปชนิดรอยแสงคู่ (Dual Trace) เอซีโวลต์มิเตอร์ และความต้านทาน



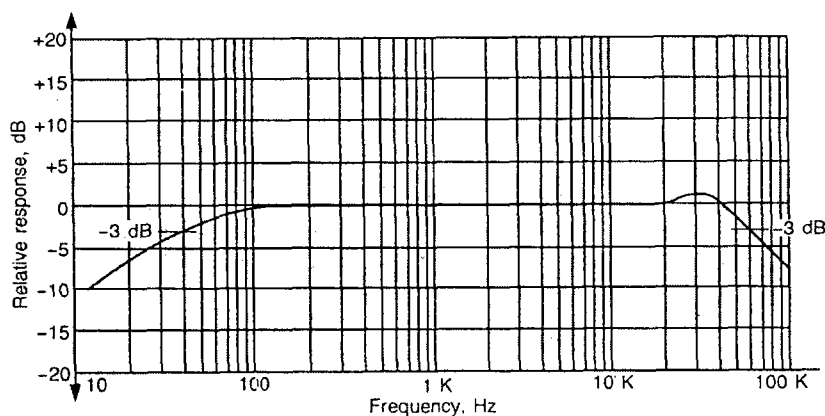
ภาพประกอบ 41 แสดงการต่อเครื่องและอุปกรณ์ทดลองค่าการตอบสนองความถี่
(ธนภัทร ฐริพิทักษ์. 2545 : 262)

ลำดับขั้นตอนการทดลอง ให้ต่อเครื่องมือและอุปกรณ์ ตามภาพประกอบ 41 จากนั้นเปิดเครื่องขยายเสียง ตั้งปรับออสซิลโลสโคปให้เรียบร้อย ต่อมาให้ปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณอินพุต จนกระทั่งรูปคลื่นเอาต์พุตปรากฏบนจอ ออสซิลโลสโคปสูงสุด (ไม่ถูกขริบ) บันทึกค่าแรงดันอินพุตและเอาต์พุตที่ได้จากจอสซิลโลสโคป ทั้งนี้ เพื่อให้สัญญาณอินพุตที่ป้อนมีความแรงสม่ำเสมอเท่ากับทุกค่าที่ความถี่ จะส่งผลให้การทดลองมีความผิดพลาดน้อยลง

ขั้นตอนต่อไปให้เปลี่ยนความถี่มาทางด้านค่าต่ำตั้งแต่ 900 , 800 , 700 , 600 , 500 และ 400 เฮิรตซ์ เรื่อยไปจนถึง 10 เฮิรตซ์ ต่อมาเปลี่ยนความถี่ไปทางด้านสูงบ้างตั้งแต่ 2 กิโลเฮิรตซ์ เรื่อยไปจนถึง 10 และ 100 กิโลเฮิรตซ์ ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนความถี่ให้บันทึกค่าแรงดันอินพุตและเอาต์พุต เพื่อนำมาคำนวณหาค่า dB จากสูตร

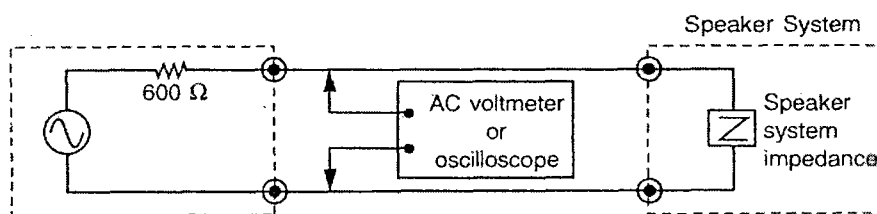
$$\text{dB} = 20 \log V_o / V_i$$

เมื่อทดลองได้ทุกค่าของความถี่ที่ต้องการแล้ว ให้นำค่า dB และค่าของความถี่มาเขียนกราฟ โดยแกนราบใช้สเกลเซมิล็อก (Semi – log graph) เป็นค่าของความถี่ ส่วนแกนในแนวตั้งแทนค่าด้วยอัตราขยาย dB ก็จะได้กราฟดังแสดงในภาพประกอบ 42 สังเกตจุดบนกราฟที่ค่า -3 dB ของ ความถี่ที่ระบุในการกำหนดรายละเอียดของเครื่องขยายเสียง จะได้เป็น 40 เฮิรตซ์ และ 60 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งเขียนในรูปของการตอบสนองความถี่ที่ระบุในการกำหนดรายละเอียดของเครื่องขยายเสียง จะได้เป็น 40 – 60,000 เฮิรตซ์ ช่วงความถี่ราบเรียบ (Flat) คือ 100 – 20,000 เฮิรตซ์ หากเครื่องขยายเสียงใดกราฟยิ่งราบเรียบมากก็ยิ่งดี การขยายของวงจรจะเป็นไฮไฟมากขึ้น



ภาพประกอบ 42 แสดงกราฟผลตอบสนองความถี่ที่ได้จากการทดสอบ
(ธนภัทร ฐิริพิทักษ์. 2545 : 263)

1.4 การทดสอบลำโพง การทดสอบลำโพงมีการตอบสนองความถี่เช่นเดียวกัน ลำโพงชนิดใดจะตอบสนองความถี่ได้ดี ให้ดูได้จากกราฟการตอบสนองความถี่มาตรฐาน (Standard frequency response curve) ที่แสดงไว้ในกาหนดรายละเอียดของลำโพง

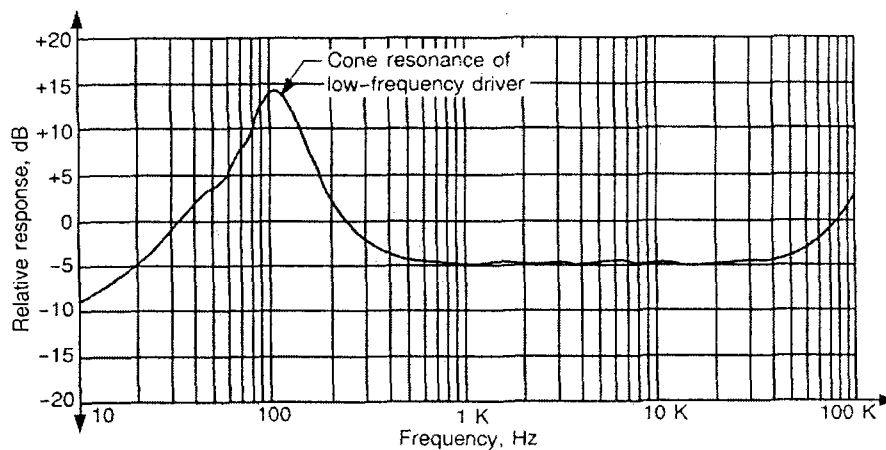


ภาพประกอบ 43 แสดงวงจรสมมูลของการทดสอบ
(ธนภัทร ฐิริพิทักษ์. 2545 : 264)

เครื่องและอุปกรณ์ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน ลำโพงพร้อมตู้ เอซีโวลต์มิเตอร์ หรือออสซิลโลสโคป

ลำดับขั้นตอนการทดลอง ทำการวัดโดยการปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณจากเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน หากใช้ออสซิลโลสโคปจับดูขนาดรูปคลื่นไซน์จะต้องไม่มีการขริบเพื่อกำหนดขนาดสัญญาณให้คงที่ ขณะที่เปลี่ยนค่าความถี่ ให้ใช้เอซีโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันเอซี โดยอ่านค่าที่สเกล dB จากนั้นนำค่า dB และค่าความถี่มาเขียนกราฟ ดังภาพประกอบ 44 จะได้ผลตอบสนองเชิงความถี่มาตรฐานเช่นเดียวกันกับที่ระบุไว้ในกาหนดรายละเอียดของลำโพง รูปกราฟที่สัญญาณเสียงมีขนาดคงที่ทุกช่วงความถี่ทางอินพุต หมายถึงผลตอบสนองเชิงความถี่นั้นราบเรียบ เขียนเป็นค่าตัวเลข 600 เฮิรตซ์ ถึง 30 กิโลเฮิรตซ์ ± 0 dB

ภาพประกอบ 44 ช่วงความถี่ต่ำ ค่าของแรงดันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลจากการขยายลำโพงเกิดเรโซแนนซ์ และสั่นอย่างแรงจนควบคุมการสั่นไม่ได้ ความผิดเพี้ยนจึงเกิดขึ้น โดยทั่วไป เสียงทุ้มกำหนดค่าความถี่เรโซแนนซ์ 30 ± 5 (Hz) , 45 และ 60 Hz ส่วนลำโพงเสียงแหลมระบุความถี่เรโซแนนซ์เป็น 1,200 เฮิรตซ์ เป็นต้น ดังนั้น ความถี่ต่ำกว่าช่วงต่ำสุดที่กำหนด จะเกิดขึ้นเรโซแนนซ์ขึ้นก็ตาม เอาต์พุตจากลำโพงจะลดลงอย่างรวดเร็ว ค่าความเพี้ยนก็จะไม่เกิดขึ้น



ภาพประกอบ 44 แสดงกราฟการตอบสนองความถี่มาตรฐานของลำโพง
(ธนภัทร ภูริพิทักษ์. 2545 : 265)

2. การหาประสิทธิภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

การหาประสิทธิภาพจากการออกแบบส่วนต่างของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ แบ่งทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการผสมสัญญาณเสียง และ ส่วนของการส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยกำหนดประสิทธิภาพไว้ดังนี้

ประสิทธิภาพ โดยการเทียบเคียงกับเครื่องมือที่ใช้ในห้องควบคุมระบบเสียง ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

2.1 เครื่องผสมสัญญาณเสียง ได้เทียบเคียงกับเครื่องผสมสัญญาณเสียง บริษัท Eurodesk รุ่น MX 3282A จากประเทศเยอรมันนี

2.1.1 เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ สามารถควบคุม ปรับแต่งสัญญาณเสียง ได้ดังนี้คือ สามารถควบคุมการปรับแต่ง สัญญาณเสียง ได้ทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณ และสามารถนำเอาสัญญาณเสียงไปบันทึกเสียง 1 ช่องสัญญาณ ที่ +22 dB

2.1.2 เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ สามารถส่งสัญญาณเสียงไปยังภาคส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ที่ 28/22 dB (balance / Unbalance)

2.1.3 เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ สามารถแสดงระดับสัญญาณเสียง โดยแสดงผลระดับสัญญาณ ที่ 28/22 dB (balance / Unbalance)

2.2 เครื่องส่งสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์ ได้เทียบเคียงกับเครื่องส่งสัญญาณโทรศัพท์ บริษัท Axel technology รุ่น Macrotel 5 จากประเทศอิตาลี

2.2.1 เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ สามารถส่งสัญญาณไปในสายโทรศัพท์ ที่ระดับสัญญาณ ± 16 dB

2.2.2 เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ มีค่าความต้านทาน 100 Ω

การประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

การประเมินผลลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการ ที่มีประสบการณ์ในด้านต่าง ๆ ตอบแบบสอบถามลักษณะทางกายภาพ ด้านการออกแบบเครื่อง ด้านการบำรุงรักษาซ่อมแซม และด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน ของเครื่องที่สร้างขึ้น จำนวน 3 ท่าน โดยการประเมินแบบมาตราส่วน ประมาณค่า (Rating scale) ซึ่งกำหนดค่าคะแนน (Weight) ออกเป็น 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคอร์ (รวิวรรณ ชินะตระกูล.2538 : 92) ได้ดังนี้คือ

- 5 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
- 4 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดี
- 3 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้
- 2 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับควรปรับปรุง
- 1 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

แบบประเมินคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ มีอยู่ด้วยกันจำนวน 3 ด้านคือ

1. ด้านการออกแบบเครื่อง
2. ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม
3. ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน

เกณฑ์การแปลความหมายของข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ย ดังนี้

ค่าเฉลี่ยระหว่าง	ความหมาย
4.51 – 5.00	ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
3.51 – 4.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับดี
2.51 – 3.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้
1.51 – 2.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับควรปรับปรุง
1.00 – 1.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

ค่ามัธยฐานเลขคณิต หรือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนที่เกิดจากการรวมคะแนนของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการ ที่ประเมินลักษณะทางกายภาพ จำนวน 3 ท่าน ได้จากสูตรการหาค่าเฉลี่ยดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ $\bar{X}$	คือ ค่าคะแนนเฉลี่ย
$\sum x$	คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
N	คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของคะแนนที่เกิดจากการรวมคะแนนของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการ ที่ประเมินลักษณะทางกายภาพ จำนวน 3 ท่าน โดยการวิเคราะห์ด้วยค่า t – test ซึ่งใช้ทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียวและกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก ($n < 30$) การดำเนินการมีขั้นตอนเช่นเดียวกับการทดสอบด้วย (z – test) แต่การเปิดตารางหาเขตวิกฤตให้ใช้ตารางการแจกแจงแบบ t ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบคือ (วิสาข์ เกษประทุม. 2539 : 229)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการศึกษาวิจัยของผู้วิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งต่างประเทศและในประเทศ โดยนำเอาบทสรุป หลักการด้านต่างๆ ในการวิจัยมาเป็นแนวทางการออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ให้มีประสิทธิภาพและลักษณะทางกายภาพดังนี้

งานวิจัยในประเทศ

กมล กลัดคร้าม กอบชัย เดชหาญ และชาลิน สุวรรณวงศ์. (2544 : 67 – 72) ได้นำระบบโทรศัพท์ประยุกต์ร่วมระบบเครือข่ายข้อมูลส่วนตัว โดยการใช้โพรโทคอล IP (Internet Protocol) และใช้วิธีการบีบอัดเพื่อลด Header ของเสียงที่ส่งผ่านไปรษณีย์ และทำให้สัญญาณเสียงส่งผ่านบนเครือข่าย IP สามารถส่งผ่านระบบเครือข่ายข้อมูลส่วนตัวสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของ Instantaneous Utilization และปริมาณของ Voice Frames บนเครือข่ายส่วนตัวที่ใช้ โพรโทคอล IP และใช้คุณสมบัติของ Voice over IP ทำการส่งผ่านข้อมูลเสียงไปในเครือข่าย IP โดยวิธีการใช้วิธีการบีบอัด เพื่อลดปริมาณ Header ของปริมาณเสียงที่ส่งผ่านไปรษณีย์ ทำให้ปริมาณ ของ Instantaneous Utilization (%) นั้นลดลงเกือบ 20% จึงทำให้การส่งผ่านข้อมูลปกติในเครือข่ายและส่งผ่านสัญญาณเสียงในเครือข่ายส่วนตัวสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้เห็นถึงกระบวนการส่งผ่านข้อมูลเสียงไปในเครือข่าย IP ตลอดจนแนวทางในการออกแบบเครือข่ายให้สามารถส่งข้อมูลไปพร้อม ๆ กันในเครือข่ายเชื่อมโยง

ขรรค์ชัย ตูละสกุล และคณะ (2543 : 89 – 95) ได้ทำการศึกษาเครื่องบันทึกข้อมูลการใช้งานโทรศัพท์ที่ได้ออกแบบและสร้างในครั้งนี้ สามารถที่จะทำการจดบันทึกรายละเอียดข้อมูลการใช้งานโทรศัพท์โดยอัตโนมัติ ข้อมูลต่าง ๆ ที่เครื่องบันทึกข้อมูลการใช้งานโทรศัพท์ทำการบันทึกประกอบด้วยเลขหมายโทรออก วัน เวลา ที่เริ่มต้นโทรออก เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการโทรจำนวนครั้งที่โทรออกทั้งหมด จำนวนเงินค่าบริการ โทรออกในแต่ละครั้ง และจำนวนเงินรวมที่ต้องจ่ายค่าบริการทั้งหมดสามารถคิดค่าโทรศัพท์ทางไกลและทางไกลอัตโนมัติภายในประเทศ ในอัตราค่าบริการที่แตกต่างกันตามพื้นที่ปลายทาง และทำการแสดงผลทางจอ LCD เครื่องบันทึกข้อมูลการใช้งาน โทรศัพท์เครื่องนี้ไม่สามารถคำนวณหาค่าบริการโทรศัพท์ปลายทางเป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ถ้าต้องการให้เครื่องบันทึกข้อมูลการใช้งาน โทรศัพท์เครื่องนี้สามารถคำนวณหาค่าบริการ โทรศัพท์ปลายทางเป็นเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้จะต้องทราบข้อมูลอัตราค่าบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ให้บริการในเขตต่าง ๆ ของในแต่ละระบบแล้วทำการปรับปรุงแก้ไขโปรแกรม ในส่วนของการคิดค่าบริการภายในไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

จิรวรรณ ปานกลาง และคณะ (2542 : 93 – 105) ได้ทำการศึกษาวงจรส่งผ่านสัญญาณโดยใช้ทรานซิสเตอร์ โครงสร้างแบบ CMOS ที่มีช่องทางเดินกระแสแบบธรรมดาที่ผิวและแบบที่มีช่องทางเดินกระแสแบบรูปตัววี (ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ประสบความสำเร็จภายหลัง) เมื่อพิจารณาคุณสมบัติในด้านต่างๆ ของวงจรและพบว่าการทำงานในการส่งผ่านสัญญาณทางไฟฟ้าของทั้งสองวงจรโครงสร้างสามารถทำงานได้เหมือนเดิม โดยมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า ทั้งทางไฟตรงและไฟสลับที่แตกต่างกันในแต่ละด้านคือ

1. ด้านแรงดันสถานะสูงและแรงดันสถานะต่ำของวงจรทั้งสองโครงสร้าง เพื่อตอบสนองการใช้งานวงจรทางตรรกะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยภาพรวมมีสมรรถนะเทียบเท่ากันทุกประการ ซึ่งรวมทั้งการใช้กระแสของวงจร (I_{cc}) พบว่ามีลักษณะเทียบเท่ากันทุกประการ

2. จากข้อมูลเบื้องต้นทางด้านไฟฟ้า ถ้ากระแสขาเข้าของวงจร I_{in} ซึ่งเข้ามายังเกทของส่วนควบคุมวงจรพบว่าทรานซิสเตอร์ โครงสร้างแบบ CMOS ที่มีช่องทางเดินกระแสรูปตัววี มีค่าสูงมากกว่าทรานซิสเตอร์โครงสร้างเดียวกัน ที่มีช่องทางเดินกระแสที่ผิวธรรมดา ซึ่งเป็นผลเนื่องจากกระบวนการผลิตของทรานซิสเตอร์ จำเป็นต้องมีการสกัดด้วยสารละลาย KOH ว่าเป็นกระบวนการที่มีมากกว่ากระบวนการการสร้างทรานซิสเตอร์ที่มีช่องทางเดินกระแสที่ผิว ซึ่งเป็นส่วนประกอบทำให้ประจุพาหะที่ไม่ต้องการมีรอยต่อระหว่างเนื้อสารซิลิกอนและซิลิกอนไดออกไซด์ ในปริมาณที่สูงกว่า เป็นสาเหตุของกระแสที่มีมากกว่าธรรมดาซึ่งถือว่าเป็นจุดที่ควรได้รับการปรับปรุง แต่อย่างไรก็ตามกระแสดังกล่าวยังคงมีค่าเปรียบเทียบเท่ากัน วงจรรวมที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันสามารถปรับได้โดยสกัดผลึกสารซิลิกอน เพื่อสร้างร่องวี ด้วยกระบวนการอื่นๆ ที่คาดว่าจะมีความเหมาะสมกว่า

3. ประสิทธิภาพของการตอบสนองต่อสัญญาณไฟลัมของวงจรทุกกรณี พบว่าในกรณีที่ทรานซิสเตอร์โครงสร้างช่องทางเดินกระแสรูปตัววี มีประสิทธิภาพสูงกว่าทรานซิสเตอร์ ที่มีช่องทางเดินกระแสที่ผิวแบบธรรมดา ซึ่งเป็นจุดเด่นของทรานซิสเตอร์ โครงสร้างนี้ และตอบสนองช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้จะเห็นว่า โดยเฉลี่ยแล้วทรานซิสเตอร์โครงสร้างแบบร่องวี จะสามารถตอบสนองได้สูงกว่าประมาณร้อยละ 20

ดังนั้นสรุปได้ว่าทรานซิสเตอร์ โครงสร้างแบบ CMOS ที่มีช่องทางเดินกระแส แบบร่องวี มีความเหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นวงจรรวมเพื่อ การส่งผ่านสัญญาณได้ดีกว่าทรานซิสเตอร์ โครงสร้างแบบ CMOS ที่มีช่องทางเดินกระแสแบบผิวธรรมดา เนื่องจากสามารถตอบสนองความถี่ได้สูงกว่า แต่มีข้อด้อยของวงจรคือ วงจรจะใช้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าเล็กน้อย

ชัชชัย อุทัยสิน (2544 : 111 – 119) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของรีโซแนนซ์การบิดในระบบควบคุมการเคลื่อนที่ พบว่าระบบเซอร์โวที่มีอัตราขยายสูง สามารถลดความไวของระบบต่อสิ่งรบกวนภายนอกและการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ ทำให้แบนด์วิดท์ของระบบกว้างขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มที่จะขาดเสถียรภาพได้ง่ายและอาจเกิดปรากฏการณ์รีโซแนนซ์การบิดได้ ระบบยากที่จะทำการชดเชย คือ ระบบมีการโพลเด่นสั่งยุคเชิงซ้อนอยู่ใกล้กับแกนจินตภาพ แหล่งที่ทำให้เกิดโพลเด่นเชิงซ้อน มักจะเกิดจากรีโซแนนซ์การบิดระหว่างมอเตอร์กับคาโทมิเตอร์ (โหลด) โพลเด่นสั่งยุคเชิงซ้อน มีเส้นทางเดินของรากเคลื่อนที่ เข้าไปในฝั่งระนาบ S ซึ่งจะส่งผลตอบสนองเป็นการหน่วงเกิน (Overdamped) เมื่ออัตราขยายมีค่าตั้งและจะไม่มีเสถียรภาพ เมื่ออัตราขยายมีค่าสูง ดังนั้น ผลตอบสนองของระบบนี้ใช้งานไม่ได้ สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้โดยเทคนิคพื้นฐานทั้ง 6 วิธี นอกจากนั้นยังสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้โดยการชดเชย เพื่อเปลี่ยนเส้นทางเดินของรากของโพลเด่นสั่งยุคเชิงซ้อน ด้วยวิธีการต่าง ๆ หลายวิธี เช่น การเลือกอัตราขยายป้อนกลับสถานะที่เหมาะสม การเลือกอัตราขยายอันดับสองเชิงซ้อนด้วยการชดเชยแรงบิดโหลดป้อนไปข้างหน้า การควบคุมความถี่แบบบังคับสถานะอนุพันธ์ที่เหมาะสม การควบคุมด้วยตัวกรองคาลมานและสถานะอันดับสองเชิงเส้น การควบคุมแบบปรับตัวโดยใช้ H_∞ การชดเชยป้อนกลับแบบ PD และตัวควบคุม PI เป็นต้น ซึ่งเป็นการปรับปรุงผลการตอบสนองเสถียรภาพและความคงทนของระบบ

ถวิล พึ่งพา (2544 : 1) ได้ศึกษาวิจัยการพัฒนาประสิทธิภาพและความต้องการของระบบโทรศัพท์มือถือ พบว่า เมื่อผ่านในยุคที่ 3 (3G) ไปแล้ว ระบบโทรศัพท์มือถือจะเน้นไปที่การรองรับการบริการของผู้ใช้ ที่ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น เพื่อให้การบริการในระบบมัลติมีเดียได้ โดยอัตราและปริมาณการส่งข้อมูลส่วนใหญ่นั้น จะสามารถให้บริการรูปภาพได้ โดยจะใช้ความเร็วของสัญญาณข้อมูลที่มีความเร็วประมาณ 2 Mbit/s และคาดการณ์ว่าโทรศัพท์ในยุคที่ 4 (4G) จะสามารถให้บริการในอัตราความเร็วของการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นถึง 8 Mbit/s หรือ

ไม่เกิน 100 Mbit/s เมื่อใช้เทคนิคการบีบอัดข้อมูล แต่อย่างไรก็ตามทรัพยากรความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด จำเป็นต้องใช้ความถี่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่จะทำได้ โดยต้องอาศัยงานวิจัยหาเทคนิคใหม่ๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อให้รองรับการใช้งานที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น

วิธีการมอดูเลตและการเข้ารหัสโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวคลื่นในแต่ละแถบความถี่ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

วิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบใหม่ เพื่อให้การตรวจสอบรหัสจากผู้ใช้งานหลายๆ คนมีประสิทธิภาพมากขึ้น อันจะเป็นผลให้เกิดการแยกสัญญาณในผู้ใช้งานสามารถกระทำได้ดีขึ้น

ใช้เทคนิคการบีบอัดข้อมูลใหม่ๆ เพื่อเพิ่มปริมาณข้อมูลให้มากขึ้นโดยมีความเร็ว ในการรับส่งข้อมูลเท่าเดิม ปรับเปลี่ยนโครงข่ายการให้บริการที่เป็นหลายๆ โครงข่ายที่แตกต่างกัน ให้เป็นโครงข่ายเดียว ที่มีมาตรฐานเดียวกันที่โครงข่าย ซึ่งจะทำให้การบริการเท่าเทียมกันหมด และนอกจากนี้แล้วยังมีเทคนิคที่มีความสำคัญอย่างมาก คือ เทคนิคของระบบรักษาความปลอดภัย ที่จะต้องเพิ่มประสิทธิภาพ ให้มากขึ้นด้วย เพื่อให้การบริการมีความเชื่อมั่นว่าข้อมูลเหล่านั้น จะปลอดภัยจนกว่าจะถึงปลายทาง ซึ่งถือว่าเป็นพื้นฐานนำไปสู่การทำธุรกิจบนโครงข่ายการสื่อสารแบบไร้สายในอนาคต

ยุทธชัย ศิลปวิจารณ์ และคณะ (2544 : 29 – 42) ได้ทำการทดสอบการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์กระแสฮาร์โมนิกต่ำที่ไม่ต้องใช้ช่วงจรไดโอดเรียงกระแสด้านเข้า จะเห็นได้ว่าวงจรที่นำเสนอขึ้นมีการทำงานเป็นไปดังที่จำลองการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ไว้โดยสามารถเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟตรงได้โดยไม่ต้องใช้ช่วงจรเรียงกระแสด้านเข้า และไม่มีความเสี่ยงของกระแสด้านเข้าในบริเวณเส้นผ่าศูนย์กลาง แม้จะใช้ควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์ซิสที่มีแถบฮิสเตอร์ซิสคงตัว แล้วความเหนี่ยวนำรั่วไหลออกมายังไม่ทำให้เกิดแรงดันคายยอดแหลม วงจรที่นำเสนอสามารถลดอุปกรณ์และกำลังสูญเสียตลอดจนความเค้นในอุปกรณ์ได้

ตัวประกอบกำลังของกระแสด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ที่นำเสนอขึ้นมีค่าสูงมาก ใกล้เคียง 1 และมีค่าตัวประกอบค่ายอดใกล้เคียง .1414 (ได้ 1.40) และขณะที่ทำงานไม่มีแรงดันยอดแหลมตกคร่อมสวิตช์ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ช่วงจรสับเบอร์เพื่อระงับแรงดันยอดแหลม ทำให้ลดองค์ประกอบและการสูญเสียทางไฟฟ้าของวงจรได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถให้หม้อแปลงความถี่สูงในการแยกกระหว่างด้านเข้าและด้านออกของวงจรซึ่งหม้อแปลงความถี่สูงนี้มีขนาดเล็กและเบากว่าหม้อแปลงความถี่ต่ำมาก ๆ ทำให้วงจรทั้งหมดมีขนาดเล็กและเบา กว่าหม้อแปลงความถี่ต่ำมาก ๆ ทำให้วงจรทั้งหมดมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา นอกจากนี้แรงดันด้านออกยังมีค่าระลอกที่ไม่มากนักเกินไป เพราะจุดประสงค์ที่ใช้ช่วงจรมีคือเป็นวงจร Preregulator แต่หากต้องการให้แรงดันระลอกด้านออกนี้มีค่าต่ำกว่านี้ ก็สามารถใช้ตัวเก็บประจุวงจรกรองด้านออกให้มีค่าสูงขึ้นได้

อำนาจ ทวีแสงรุ่งโรจน์ และเอก ไชยสวัสดิ์ (2545 : 23 – 29) ได้ศึกษาการกรองเสียงสะท้อนภายในห้องออกจากสัญญาณโดยตัวกรองผกผัน โดยทำการวัดผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของห้องในห้องเรียนขนาด 12.16 เมตร x 12.95 เมตร x 3.5 เมตร ในขณะที่ระยะห่างของลำโพงกับไมโครโฟนเท่ากับ 2.5 เมตร โดยวางไมโครโฟนให้อยู่ในแนวเดียวกับลำโพง ทำการส่งสัญญาณ MLS เข้าไปในห้องผ่านการัดเสียงและลำโพง โดยความยาวของสัญญาณ MLS มีค่า = 32767 จุด แล้วตรวจจับสัญญาณตอบสนองทันทีด้วยไมโครโฟน โดยความถี่ของการชักตัวอย่างเท่ากับ 44.1 KHz นำสัญญาณ MLS กับสัญญาณที่ตรวจจับด้วยไมโครโฟนมาทำสหสัมพันธ์ข้ามด้วยวิธี FHT เพื่อคำนวณผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของห้อง ทำการวัดผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของห้อง 2 จุด ทำการวัดผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของห้องทั้งก่อนติดตั้งและหลังจากติดตั้งแผ่นดูดกลืนเสียง ซึ่งผลตอบสนองต่ออิมพัลส์และความถี่ของห้องเรียนที่วัดก่อนติดตั้งแผ่นดูดกลืนเสียง ส่วนผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของห้องที่วัดภายหลังการติดตั้งแผ่นดูดกลืนเสียง จะเห็นว่าส่วนของสัญญาณอิมพัลส์เนื่องจากเสียงก้องลดลงมาก แต่ยังมีสัญญาณอิมพัลส์เนื่องจากเสียงสะท้อนบางส่วนยังเหลืออยู่ เนื่องจากแผ่นดูดกลืนเสียงไม่สามารถดูดกลืนเสียงที่มาสะท้อนได้หมด ทำให้

ยังมีเสียงสะท้อนหลงเหลืออยู่ และในห้องได้ติดตั้งแผ่นดูดกลืนเสียงเข้ากับฝาผนังกับคานเพดานนั้น ส่วนเพดานไม่ได้ติดตั้งแผ่นดูดกลืนเสียงและพื้นไม้ได้ปูพรมทำให้ยังมีเสียงสะท้อนที่มาจากเพดานและพื้นอยู่ นอกจากนี้ในห้องเรียนก็มีโต๊ะอยู่ด้วย ทำให้เสียงยังสามารถสะท้อนกับโต๊ะเรียนนี้ด้วย

ผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของห้องเรียนก่อนทำการติดตั้งแผ่นดูดกลืนเสียงถูกนำมาใช้เพื่อการออกแบบตัวกรองแบบผกผันที่ออกแบบด้วยระเบียบวิธีทั้งสองวิธี พบว่าสัญญาณอิมพัลส์เนื่องจากเสียงสะท้อนและเสียงก้องถูกกรองออกไปได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของห้องเรียนที่ติดตั้งแผ่นดูดกลืนเสียงแล้ว จะเห็นว่าตัวกรองผกผันทั้งสองวิธีสามารถลดเสียงสะท้อนและเสียงก้องได้ดีกว่าแผ่นดูดกลืนเสียง และตัวกรองผกผันสามารถชดเชยให้สัญญาณอิมพัลส์ เนื่องจากเสียงตรงให้มีค่าเข้าใกล้สัญญาณอิมพัลส์หนึ่งหน่วยอีกด้วย ส่วนขนาดของสเปกตรัมจะเข้าใกล้ 0 dB ซึ่งแผ่นดูดเสียงไม่สามารถทำการชดเชยได้เหมือนตัวกรองผกผัน ผลที่ได้จากตัวกรองผกผันที่ออกแบบด้วยวิธีคอนโวลูชันแบบเร็วมีการหน่วงเวลามากขึ้น ผลที่ได้จากตัวกรองที่ออกแบบด้วยระเบียบวิธีคอนโวลูชันแบบเร็วมีความใกล้เคียงกับสัญญาณอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมากกว่าตัวกรองผกผันที่ออกแบบด้วยระเบียบวิธีเคปสตรัล

งานวิจัยในต่างประเทศ

คอนสแตนตินเนียนและคณะ (K.Y. Constantinian and other. 2002 : 420 - 422) ได้ศึกษาการตอบสนองของสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ ไอ ทีซี โจเซฟสัน (high T_c Josephson) การควบคุมในส่วนการผสมสัญญาณในตัวเอง คือการทดลองโดยใช้ ฟูเรียทรานส์ฟอร์ม เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ที่ความถี่ 750 – 970 กิกะเฮิรตซ์ การทดลองอุปกรณ์ ซึ่งเป็นแกว YBCO บนมรกต ด้วยใช้ข้อกำหนดของสายอากาศแบบ ล็อก พิรีอดิก (log periodic) ในตัวนำไฟฟ้าที่ซึ่งกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าหรือออก ไปจากตัวกลาง RSJ แสดงถึง ความกว้างของกราฟ ไอ วี (I-V Curves) ด้วยผลของ $I_c R_N$ ที่ 1.8 มิลลิโวลท์ ที่อุณหภูมิ 12.5 องศาเซลวิน ความถี่ระดับกลางของสัญญาณในเครื่องขยายแบบ HEMT โดยลดระดับสัญญาณรบกวน 1 – 2 กิกะเฮิรตซ์ จากการรวมกันของสัญญาณทั้งสองข้างจะตอบสนองเฉพาะการกระตุ้นด้วยแรงดันคงที่ ในย่าน 1.65 – 2.1 มิลลิโวลท์ ข้อจำกัดที่เหมือนกัน ถึงความถี่โจเซฟสัน และความสัมพันธ์ทางด้านแรงดัน คือวิธีการของ ฟูเรียทรานส์ฟอร์ม นั้นเอง

นีล แกนเดล,เดวิด ซาลันท์และลีโอนาด เวาเวอร์แมน (Neil Gandal,David Salant & Leonard Waverman. 2003 : 325-332) ได้ทำการศึกษาวิจัยมาตรฐานการส่งสัญญาณโทรศัพท์ในระบบเครือข่าย พบว่าเมื่อ 1994 ยุโรปและอเมริกาเหนือ ได้นำเสนอเป็นตัวส่งสัญญาณข่าวสารและการบริการด้านข้อมูล ในช่องสัญญาณข้อมูลขนาด 2 กิกะไบต์ และ 3 กิกะไบต์ (มีโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นต่างๆ ในระยะแรก โดย รุ่นแรกเป็นระบบอะนาล็อกขนาด 1 กิกะไบต์ รุ่นต่อมาเป็นระบบดิจิทัลขนาด 2 กิกะไบต์ และรุ่นที่ 3 มีความจุของเครือข่ายขนาด 3 กิกะไบต์ : การส่งผ่านข้อมูลอยู่ในระดับ 2 กิกะไบต์ ถึง 2.5 กิกะไบต์ โดยเครือข่ายจะรองรับการให้บริการอยู่ที่ระดับ 3 กิกะไบต์) ในยุโรปได้อนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่มาตรฐานของระบบ GSM ช่องสัญญาณขนาด 2 กิกะไบต์ ซึ่ง ระบบซีดีเอ็มเอ (CDMA) ก็อยู่ในช่องสัญญาณขนาด 3 กิกะไบต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอเมริกาเหนือมีการขยายการทำงานตามความต้องการของตลาด โดยมีการเลือกมาตรฐานการส่งสัญญาณข้อมูลดิจิทัลขนาด 2 กิกะไบต์ คือ ระบบซีดีเอ็มเอ ไอเอส 95 (CDMA / IS 95) ,ระบบ จีเอสเอ็ม (GSM) ,ระบบทีดีเอ็มเอ (TDMA) และ ระบบไอดีเอ็น (IDEN) เป็นต้น

ผลของสภาวะการแข่งขันทางการตลาดจะเกิดกับธุรกิจอุตสาหกรรมโดยทั่วๆ ไป ในการติดตั้งระบบเครือข่ายจะบ่งบอกถึงพื้นฐานที่เหมือนกัน และเป็นตัวสำคัญในการกำหนดความสำเร็จหรือความล้มเหลวของเทคโนโลยี อย่างไรก็ตาม ในส่วนของการสื่อสารไร้สายการเชื่อมโยงระบบเครือข่ายเข้าด้วยกันและที่มาของปัญหาที่สามารถแทนในส่วนเฉพาะของเทคโนโลยีระบบไร้สายในอเมริกา สามารถที่จะต่อและรับจากเครือข่ายผู้ใช้ได้ง่าย

โดยวิทยาศาสตร์ด้านการสื่อสาร มาตรฐานของเครือข่ายระบบโทรศัพท์ไร้สาย จะต้องขึ้นอยู่กับมาตรฐานและกฎเกณฑ์ของการสื่อสาร ในการศึกษานี้อธิบายมาตรฐานระหว่างด้านการตลาดและด้านการแข่งขัน ในระบบอุตสาหกรรมสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งอธิบายถึงวิธีการ ประโยชน์ ของสิ่งที่จะได้รับ จากภาพรวมในการพัฒนาเครือข่ายขนาด 1 กิกะไบต์ , 2 กิกะไบต์ และ 3 กิกะไบต์ ได้ต่อไป

แซนจีฟ เร็นเจน (Sanjeev Renjen, 1983 : 105) ได้ศึกษาปัญหาความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูล โดยลักษณะช่องสัญญาณของการส่งในแต่ละช่วงของสัญญาณ ความสูงของระดับสัญญาณ และ ระดับสัญญาณรบกวน ระหว่างการประมวลผลหรือการส่งข้อมูล ได้ใช้ช่องสัญญาณส่งข้อมูล โดยไม่ต้องส่งสัญญาณอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ แต่ใช้สัญญาณข้อมูลในการส่งแทน แต่ก็มีแนวทางที่จะสามารถเข้าถึงข้อมูลภายในตัวของสัญญาณข้อมูลได้ ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องอธิบายและต้องอ้างอิงถึงความถี่ที่ผสมสัญญาณของโมเด็ม สำหรับการส่งข้อมูลความเร็วสูงเกินกว่าขีดจำกัดแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ วิธีการในการพัฒนาครั้งนี้จะแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ถึงการได้มาของช่องทางและความเคลื่อนไหวอื่นๆ ที่ทำให้เกิดปัญหาในแบบการส่งสัญญาณข้อมูลผิดพลาด ด้วยการสุ่มจำกัดสัญญาณรบกวน

เคิร์ก เจ. สโตรซิวาสกี,สเตอร์ลิง อี. แม็คไบร์ดและโครเวอร์ ซี. เว็ตเซล (Kirk J. Strozewski, Sterling E. McBride & Drover C. Wetzel. 1992 : 388 - 392) ได้ทำการศึกษาและพิสูจน์ สแกนนิ่ง ทันเนอรัลิ่ง ไมโครสโคป (Scanning tunneling microscope : STM) ถึงการผสมสัญญาณต่างๆ ที่ไม่มีความแน่นอน นั้นสามารถใช้กับการหาการเคลื่อนที่ของสัญญาณบนพื้นผิว และ เอสทีเอ็ม (STM) เหมาะที่จะใช้วัดค่าความถี่สูงบนพื้นผิวในการประยุกต์ใช้งานที่ดีกว่าและเป็นวิธีการที่ต้องการใช้ในระบบใยแก้วนำแสง เพื่อความสำเร็จที่อยู่ภายใต้คุณสมบัติของ เซอร์เฟซ อะคูสติก เวฟ (Surface – acoustic – wave) เอสทีเอ็ม ก็คือการควบคุมในส่วนของคุณค่าเฉลี่ยคงที่ด้วยแรงดันสุดท้าย การผสมสัญญาณโดยใช้ระดับความสูงของสัญญาณ ของคลื่นอัลตราโซนิคส์ (Ultrasonic) ด้วยคลื่นพาห์

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งต่างประเทศและในประเทศ สรุปได้ว่า การที่จะส่งสัญญาณเสียงไปยังปลายทางที่ต้องการนั้น จะต้องอาศัยเครือข่ายในการส่งข้อมูลด้วยวิธีการที่แตกต่างกันหลายลักษณะ เช่น การบีบอัดข้อมูล หรือการนำสัญญาณข้อมูลไปในระบบเครือข่ายที่อาศัยช่องทางเดินของกระแสแบบธรรมดา และแบบโครงสร้างทั้งที่เป็นไฟตรงและไฟสลับ นอกจากนั้นต้องมีระบบหรือการป้องกันสัญญาณรบกวนจากทั้งภายนอกและภายในระบบด้วย เพื่อไม่ให้พารามิเตอร์ของสัญญาณข้อมูลเปลี่ยนแปลงจากเดิม อาจมีผลทำให้แบนด์วิดท์ของระบบกว้างขึ้น และมีแนวโน้มที่จะขาดเสถียรภาพได้ง่าย โดยสามารถที่จะแก้ปัญหาได้ด้วยเทคนิควิธีการต่างๆ เช่น การเลือกอัตราการป้อนกลับ อัตราการขยาย การควบคุมความถี่ของสัญญาณ เป็นต้น ซึ่งจะเป็นการปรับปรุงผลตอบแทนของเสถียรภาพและความคงทนของระบบไว้ได้

ที่กล่าวมาแล้ว เป็นเพียงส่วนหนึ่งในการเพิ่มหรือควบคุมคุณภาพของสัญญาณให้มีระดับคงที่ หรือไม่ให้เกิดการสูญเสียของสัญญาณ เป็นการรักษาระดับสัญญาณในระบบ สำหรับภายนอกระบบนั้นก็มีความสำคัญมากทีเดียว โดยจากการศึกษาพบว่า ผลตอบแทนต่อสัญญาณอิมพัลส์และความถี่ของห้องเรียนภายหลังการติดตั้งแผ่นดูดกลืนเสียงจะเห็นว่า สัญญาณอิมพัลส์เนื่องจากความก้องของห้องเรียนลดลงมาก แต่ก็ยังเหลืออยู่เนื่องจาก มีองค์ประกอบต่างๆ ของห้องเรียนยังไม่ได้ติดตั้งแผ่นดูดกลืนเสียงทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำมาเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ในครั้งนี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยการออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ มีวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ต้องการจะศึกษาค้นคว้าในการสร้างเครื่องมือสำหรับจัดรายการวิทยุ มีขั้นตอนดังนี้คือ

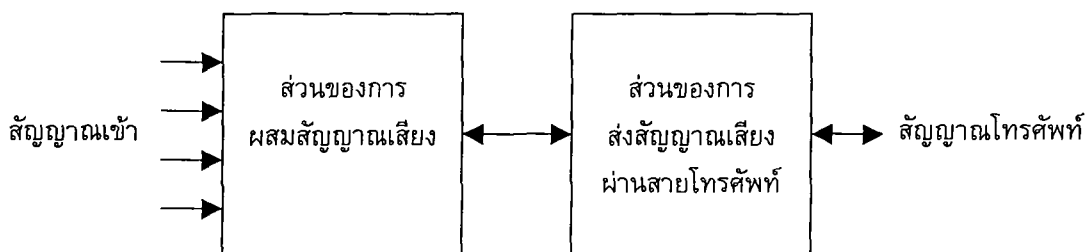
1. ศึกษาปัญหาของการวิจัยออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
2. ลำดับขั้นตอนในการวิจัยเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

1. ศึกษาปัญหาของการวิจัยออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

- 1.1 พบปัญหาเกิดขึ้นและศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจริงจากการทำงาน
- 1.2 ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการจัดรายการวิทยุของห้องส่งกระจายเสียง
- 1.3 ศึกษาออกแบบเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ตลอดจนรายละเอียดของส่วนการทำงานหน้าที่ต่างๆ ในวงจรและอุปกรณ์ประกอบการจัดสร้างเครื่อง
- 1.4 นำข้อมูลที่ได้จากการออกแบบและศึกษามาตรวจสอบ ความเป็นไปได้ในการจัดสร้างเครื่อง
- 1.5 จัดสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ทำการทดสอบประสิทธิภาพและประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่อง

2. ลำดับขั้นตอนในการวิจัยเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

2.1 ศึกษาการทำงานหลักการของวงจร การสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยมีระบบการทำงานออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของการผสมสัญญาณเสียง และ ส่วนของการส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ดังแสดงในภาพประกอบ 45 ดังนี้

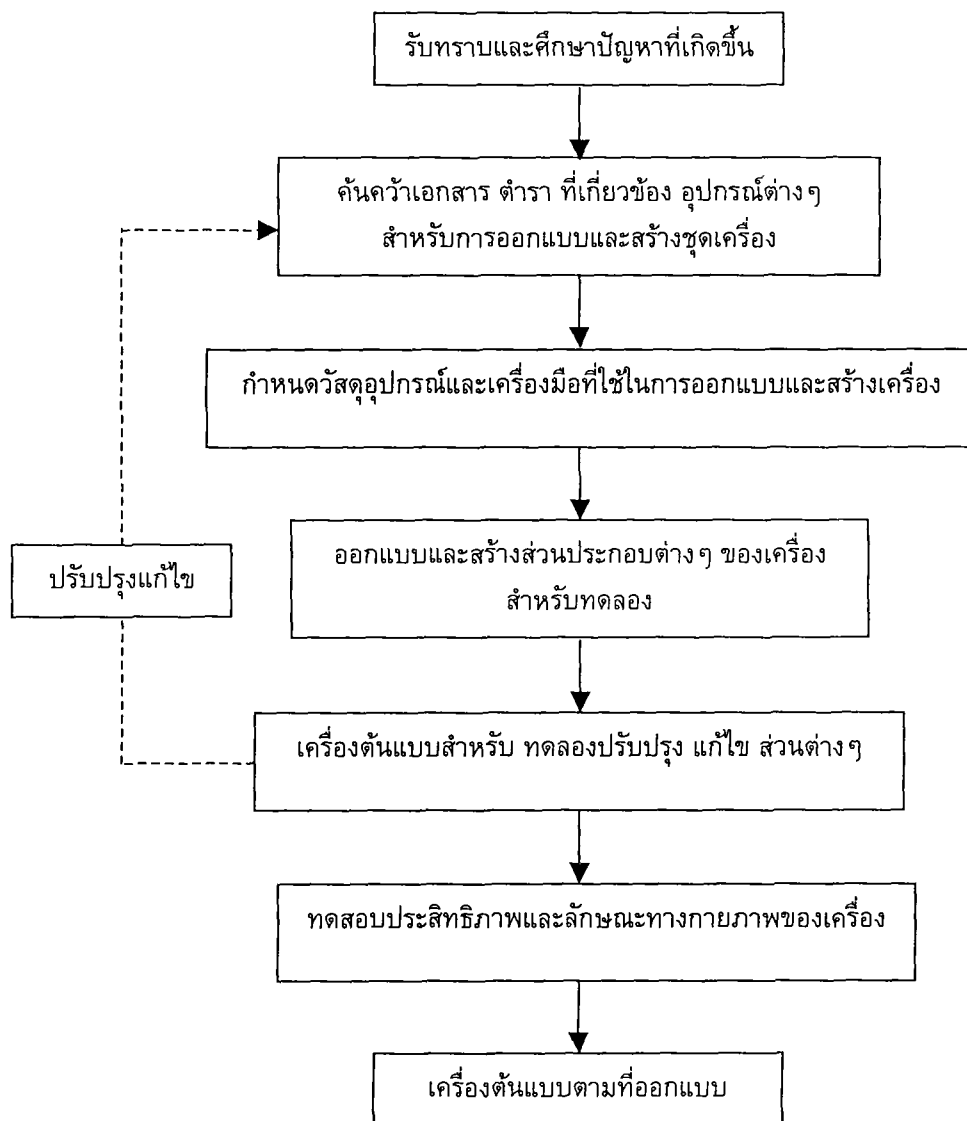


ภาพประกอบ 45 แสดงส่วนการทำงานหลักของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

จากภาพประกอบ 45 เป็นการแสดงส่วนของการทำงานหลักๆ ของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยการป้อนสัญญาณเข้าไปยังส่วนของการผสมสัญญาณเสียง เช่น สัญญาณจากไมโครโฟน สัญญาณจากเครื่องเล่นเทป ฯลฯ เข้าสู่ระบบของระบบของการผสมสัญญาณ และ/หรือ ปรับเปลี่ยนสัญญาณให้ได้ตามต้องการแล้วส่งไปยังส่วนของการส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ไปยังหมายเลขปลายทาง ณ จุดต่างๆ ของระบบโทรศัพท์

2.2 ลำดับขั้นตอนในการวิจัย

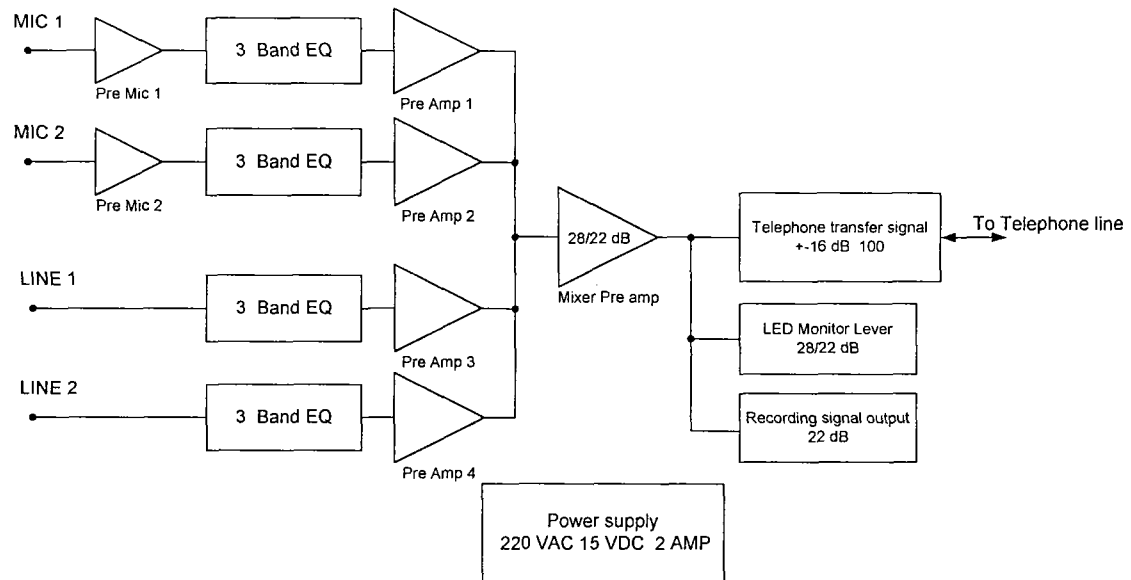
การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและสร้าง ส่วนประกอบของการทำงานตามหน้าที่ของ ส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง โดยมีลำดับขั้นตอนของการวิจัยคือ ส่วนของการผสมสัญญาณเสียง และส่วนของการส่ง สัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้



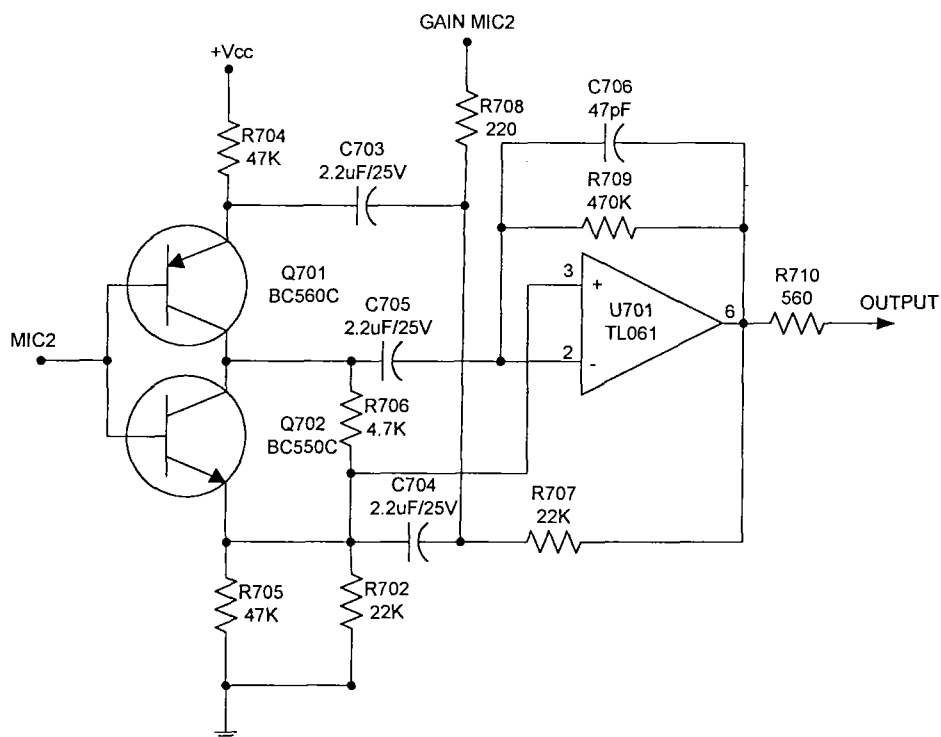
ภาพประกอบ 46 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

2.3 การออกแบบวงจรและหลักการทำงานของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

ออกแบบส่วนต่างของเครื่อง ที่เป็นองค์ประกอบในการทำงานให้สมบูรณ์ โดยแบ่งการทำงานของเป็น 2 ส่วนหลักใหญ่ ๆ ดังนี้คือ ส่วนของการผสมสัญญาณเสียง และ ส่วนของการส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเอาองค์ประกอบการทำงานของแต่ละส่วนต่าง ๆ อธิบายหลักการทำงานของเครื่องและการทำงานได้ดังนี้

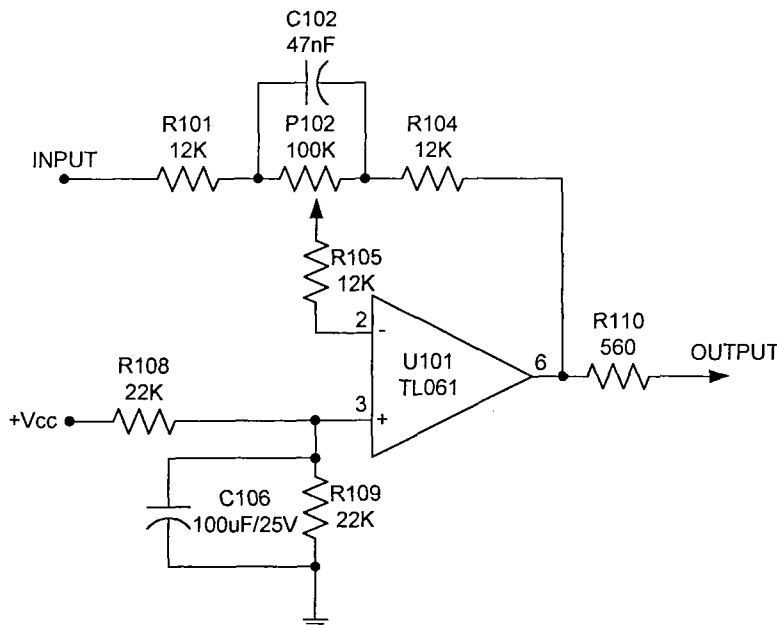


ภาพประกอบ 47 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์



ภาพประกอบ 48 แสดงการทำงานของวงจรภาคขยายสัญญาณไมโครโฟน

วงจรในภาพประกอบ 48 เป็นการแสดงการทำงานของวงจรปริโม้บางส่วนเท่านั้น ในการขยายสัญญาณไมโครโฟน ที่แปลงมาจากสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งมีขนาดเล็กมาก ให้มีขนาดเพิ่มขึ้น โดยใช้ทรานซิสเตอร์ขยายสัญญาณ 2 ตัว คือ Q701 เบอร์ BC560C เป็นชนิด PNP และ Q702 เบอร์ BC550C เป็นชนิด NPN ซึ่งทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้ เมื่อนำมาใช้งานด้านการขยายสัญญาณหรือทำเป็นสวิตช์ จะต้องทำการไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ก่อน คือ ไบอัสตรงให้กับรอยต่อระหว่างอีมิเตอร์กับเบส และ ไบอัสกลับให้กับรอยต่อระหว่างคอลเล็กเตอร์กับเบส เช่น สามารถจะพิจารณาการไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN จะต้องจ่ายไฟตรงให้กับรอยต่อ อีมิเตอร์กับเบส โดยให้ศักดาบวกกับเบส และในศักดาลบกับอีมิเตอร์ เช่นเดียวกันจะต้องให้ไบอัสกลับกับรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับเบส โดยให้ศักดาบวกกับคอลเล็กเตอร์ และให้ศักดาลบกับเบส เป็นการไบอัสทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN ส่วนทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP ก็มีลักษณะตรงกันข้ามกับ ชนิด NPN การขยายสัญญาณที่เป็นศักย์บวกและลบพร้อมกัน แล้วส่งเข้าไปขยายที่ไอซี U601 อีกครั้งหนึ่ง ด้วยอัตราขยายสัญญาณ 2 เท่า จาก R701, R701, R707 สามารถที่จะปรับอัตราขยายได้ที่โพเทนชิโอมิเตอร์ P701 ขนาด 2 กิโลโอห์ม เมื่อปรับปุ่มของ P701 ขยายความแรงของสัญญาณจะได้อัตราขยาย 11.11 เท่า และเมื่อลดความแรงของสัญญาณลงจะเหลือขนาดของสัญญาณอยู่ 0.999 หรือ 1 เท่า มีค่าความแรงของสัญญาณเท่าเดิมจากการขยายมาจากภาคทรานซิสเตอร์ หลังจากที่ได้ขยายสัญญาณเรียบร้อยแล้ว ไอซี U601 จะทำการกลับเฟสของสัญญาณด้วย R609 และ C606 ก่อนจะป้อนกลับผ่าน R601 เพื่อส่งเข้าสู่ภาคผสมสัญญาณเสียงต่อไป

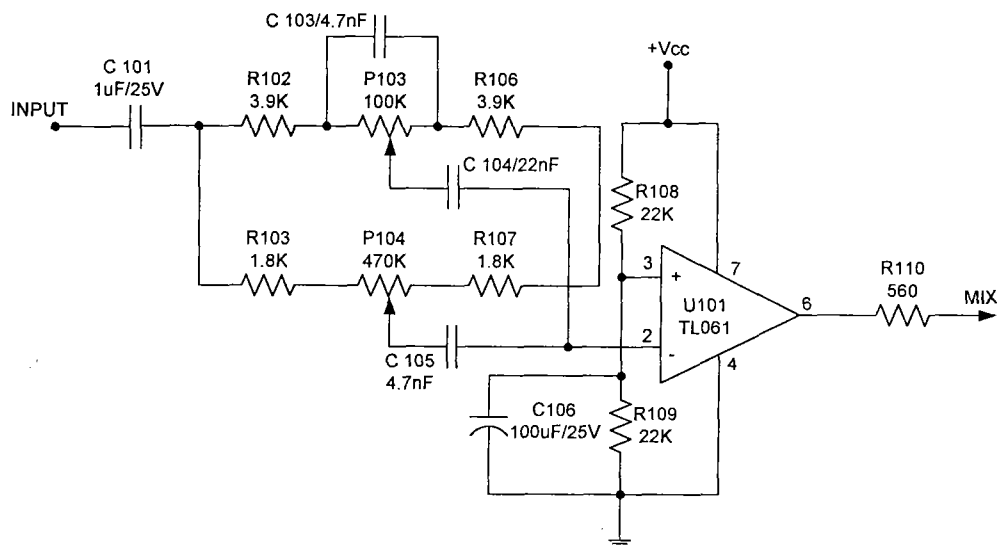


ภาพประกอบ 49 แสดงวงจรปรับระดับการขยายสัญญาณเสียงท้มนด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์

จากภาพประกอบ 49 เมื่อรับสัญญาณไฟฟ้าที่แปลงมาจากไมโครโฟนให้มีความแรงแผ่นสมควรรด้วยอัตราขยาย 5.68 เท่า และ สัญญาณไฟฟ้าที่มาจากไลน์ (Line) ที่มีความแรงอยู่แล้ว เช่น สัญญาณจากเครื่องเล่น เทป ซีดี อื่น ๆ เข้ามาเป็นอินพุตของภาคอิคคลอไลเซอร์สำหรับปรับคุณภาพของเสียงตามต้องการแต่ละช่องสัญญาณ มีทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณ มี ช่องสัญญาณ ไมโครโฟน 2 ช่องสัญญาณ และ ช่องสัญญาณไลน์ (Line) แต่ จะแสดงการทำงาน 1 ช่องสัญญาณเท่านั้น ส่วนที่เหลือมีการทำงานเหมือนกัน มีหลักการทำงานของวงจรอิคคลอไลเซอร์ จะใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ P102 , P103 และ P104 ทำงานร่วมกันกับ ไอซี U101 ด้วยอัตราขยายสัญญาณ

2 เท้า ซึ่งกำหนดอัตราการขยายด้วยรีซีสเตอร์และคาปาซิเตอร์ การตอบสนองในรูปของการป้อนกลับแบบ เนกาทีฟ (Negative feedback) หลักการทำงานของโทคอนโทรล ด้วยวิธีการบูสต์คัต (Boost cut) ของสัญญาณเสียงด้วยคาปาซิเตอร์ C102 ต่อคร่อมโพเทนชิโอมิเตอร์ P102 เพื่อตั้งความถี่การตอบสนองปรับอัตราการขยายให้กับความถี่ต่ำ ในส่วนของวงจรที่ปรับเสียง กลาง และเสียงแหลม ก็จะทำงานในรูปแบบที่ไม่แตกต่างกัน

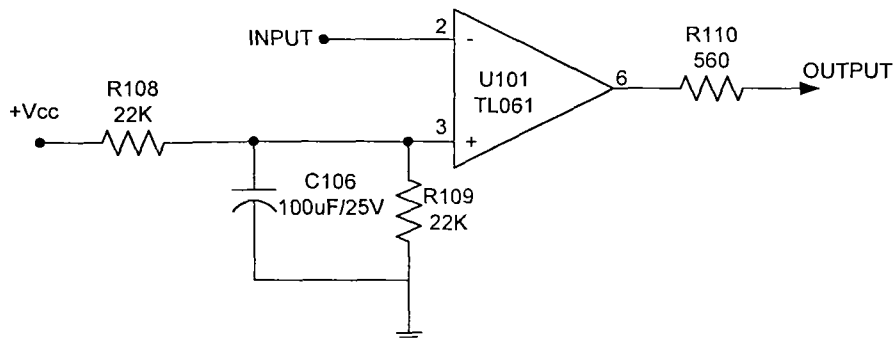
การปรับคุณภาพของเสียงโดยใช้คาปาซิเตอร์และรีซีสเตอร์ปรับค่าได้หรือโพเทนชิโอมิเตอร์ P102 ค่า 100 กิโลโอห์ม และรีซีเตอร์ ค่า 12 กิโลโอห์ม อีก 2 ตัว คือ R101 และ R104 เป็นตัวทำการบูสต์สัญญาณ (Boost signal) คือ การยกระดับความแรงของสัญญาณให้เพิ่มขึ้น และการคัตสัญญาณ (Cut signal) คือ การลดระดับความแรงของสัญญาณในย่านนั้นให้หายไป ทำได้โดยการปรับค่า P102 ที่อยู่ในรูปของการป้อนกลับ สามารถที่จะเพิ่มหรือลดเสียงทุ้มด้วยการเปลี่ยนแปลงอัตราการขยายของไอซี U101 ถ้าปรับ P101 ไปทางซ้ายมือ ย่อมทำให้รีซีเตอร์เป็นอินพุตมีค่าน้อยลงและรีซีเตอร์ของวงจรป้อนกลับมีค่ามากขึ้น เมื่ออัตราการขยายเท่ากับอัตราส่วนของรีซีเตอร์ในการป้อนกลับหารด้วย รีซีเตอร์อินพุตของวงจร ย่อมทำให้วงจรนี้ขยายเสียงเบสมากขึ้น ซึ่งคำนวณอัตราการขยายได้เท่ากับ 9.3 เท้า ในทางตรงกันข้ามหากปรับไปทางขวามือก็จะทำให้รีซีเตอร์ทางด้านอินพุตมีค่ามากกว่ารีซีเตอร์ในวงจรป้อนกลับ ได้อัตราการขยาย เท่ากับ 0.107 เท้า ทำให้ค่าอัตราการขยายเสียงทุ้มถูกลดความแรงลงจนเกือบหายไปทั้งหมด



ภาพประกอบ 50 แสดงวงจรปรับระดับการขยายสัญญาณเสียงกลาง แหลม ด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์

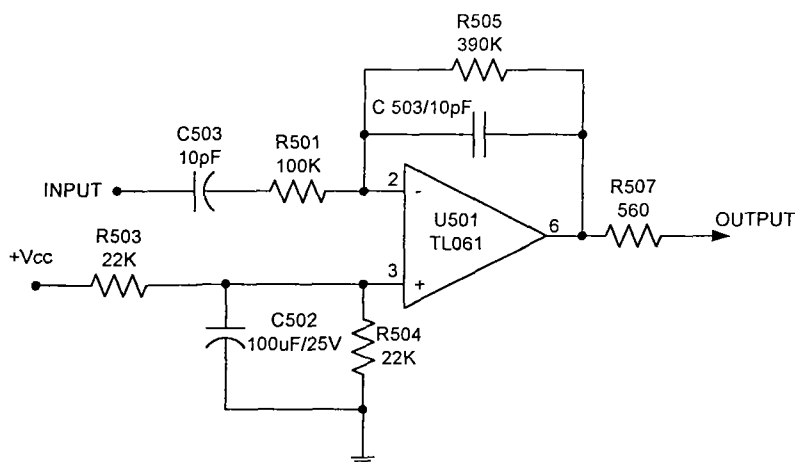
จากภาพประกอบ 50 แสดงวงจรส่วนของเสียงกลางและเสียงแหลม ของภาคคิคลอไลเซอร์ ก็มีการทำงานคล้ายๆ กัน กับเสียงทุ้ม แต่มีคาปาซิเตอร์ C104 ต่ออนุกรมเข้ากับอินพุตของวงจรปรับแต่งโทคอนโทรล พร้อมกับที่ตัว P101 มีคาปาซิเตอร์ C10 ค่า 47nF ต่อคร่อม เป็นการต่อวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band pass filter) ซึ่งคาปาซิเตอร์ C104 เป็นตัวตั้งระดับความถี่ต่ำสุดที่จะให้ผ่านในขณะที่คาปาซิเตอร์ C103 ที่ระดับความถี่สูงสุดที่จะผ่านวงจรชุดนี้ไป คือวงจรปรับแต่งเสียงกลางนั้นคาปาซิเตอร์ C104 เป็นตัวกำกับความถี่ที่เป็นความถี่ต่ำผ่านวงจรช่องสัญญาณนี้ไป และ C103 เป็นตัวกำกับความถี่สูงในย่านแบนด์พาสฟิลเตอร์ ส่วนการทำงานของวงจรเสียงแหลมหรือทรีเบิล (Treble) ที่ควบคุมด้วย P104 มีการทำงานคล้ายกันเพียงแต่มีคาปาซิเตอร์ C105 ต่ออนุกรมเข้ากับอินพุตของ U101 ได้เอาที่พุดที่ 6 โดยผ่าน C108 เข้าไปที่โพเทนชิโอมิเตอร์ ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์วอลลุ่มคอนโทรล (Master volume control) ของวงจรมิกเซอร์ ก่อนจะส่งไปยังส่วนอื่นๆ โดยมีอัตรา

การขยายเป็น 2 เท่า เป็นวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) กลับเฟสสัญญาณไฟฟ้าที่มีเฟสคลาดเคลื่อนจากอินพุต 180 องศา ไม่ให้มีความต่างเฟสกับอินพุต ที่รับเข้ามาก่อนนำออกไปใช้งานต่อไป



ภาพประกอบ 51 แสดงวงจรขยายสัญญาณเสียงเบื้องต้น

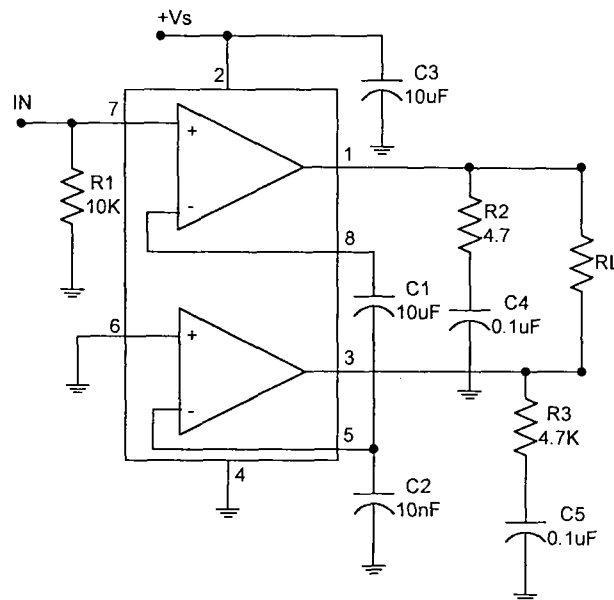
จากภาพประกอบ 51 เมื่อสัญญาณอินพุตของวงจรปรับแต่งเสียง ถูกป้อนเข้าที่ขา 2 ของ ไอซี U101 ถูกขยายด้วยการขยาย 2 เท่า กำหนดจาก R108 และ R109 ทำหน้าที่เป็นวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ไม่ให้สัญญาณจากภายนอกเข้ามารบกวนวงจร ส่งผลกระทบต่อสัญญาณเสียงได้ ก่อนที่จะส่งออกไปผ่าน R110 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต อิมพีแดนซ์ของวงจร เข้าสู่ภาคผสมสัญญาณเสียงต่อไป



ภาพประกอบ 52 แสดงการกรองสัญญาณด้วยคาปาซิเตอร์และรีซิสเตอร์

จากภาพประกอบ 52 เมื่อสัญญาณถูกส่งเข้ามาจากการปรับแต่งระดับสัญญาณเสียงแล้วป้อนเข้าที่อินพุตของวงจรโดยผ่านวงจรคัปปลิงสัญญาณด้วย C503 เป็นคาปาซิเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์คัปปลิงสัญญาณ R501 เป็นตัวตั้งระดับอินพุตอิมพีแดนซ์ ให้กับวงจรทำหน้าที่เป็นตัวสตอปเปอร์ (Stopper resistor) ป้องกันไม่ให้ภาคอินพุตรับสัญญาณ RF (Radio frequency) หรือรับความถี่เข้ามาขยายสัญญาณ ความถี่ที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ที่สายสัญญาณเสียงเป็นสายเคเบิลทำให้เป็นคล้ายกับอุปกรณ์ในการรับสัญญาณคลื่นเสียงได้เหมือนกับสายอากาศที่จะนำเอาสัญญาณวิทยุ ซึ่งเป็นความถี่สูงเข้ามาสู่วงจร เมื่อผสมกับคาปาซิเตอร์ ของหน่วยคัปปลิงสัญญาณ ก็จะทำหน้าที่เป็นวงจรจูนเนอร์คัปปลิงเอาสัญญาณความถี่วิทยุเข้ามารบกวนไปในตัวด้วย ก่อนจะส่งไปยังภาคผสม

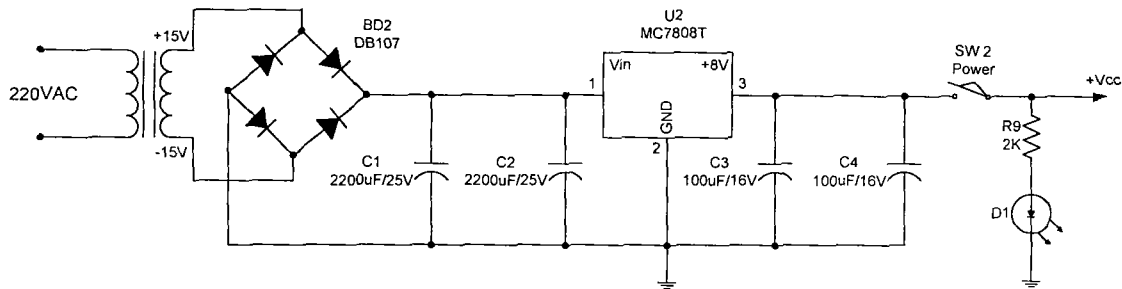
สัญญาณเสียง แล้วป้อนเข้าที่ขา 2 ของ ไอซี U501 ด้วยระดับอัตราขยายสัญญาณ 2 เท่า ซึ่งกำหนดโดย R503 และ R504 เพื่อให้สัญญาณเสียงที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดก่อนส่งไปยังภาคอื่น ๆ ต่อไป นอกจากนั้นแล้วคาปาซิเตอร์ที่ต่อคร่อม R505 จะทำหน้าที่ตั้งระดับความถี่ให้แรงเพิ่มขึ้น เพื่อป้อนกลับความถี่มาหักล้างทางอินพุต กำจัดความถี่สูงออกไป โดยวงจรขยายสัญญาณที่ทำงานด้วย ไอซี U501 ส่งผ่าน C505 ชนิดอิเล็กโทรไลต์และโพเทนชิโอมิเตอร์ P501 ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความแรงของสัญญาณอินพุตของส่วนผสมสัญญาณเสียง ซึ่งจะทำให้การขยายเพิ่มอีก 4.9 เท่า ป้อนเข้าวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง (Non inverting) เป็นการขยายแบบไม่กลับเฟสสัญญาณที่ทำงานด้วย ไอซี U501 เพื่อแก้ปัญหาของการลดทอนสัญญาณลงได้



ภาพประกอบ 53 แสดงวงจรภายในของไอซี เบอร์ TDA2822A

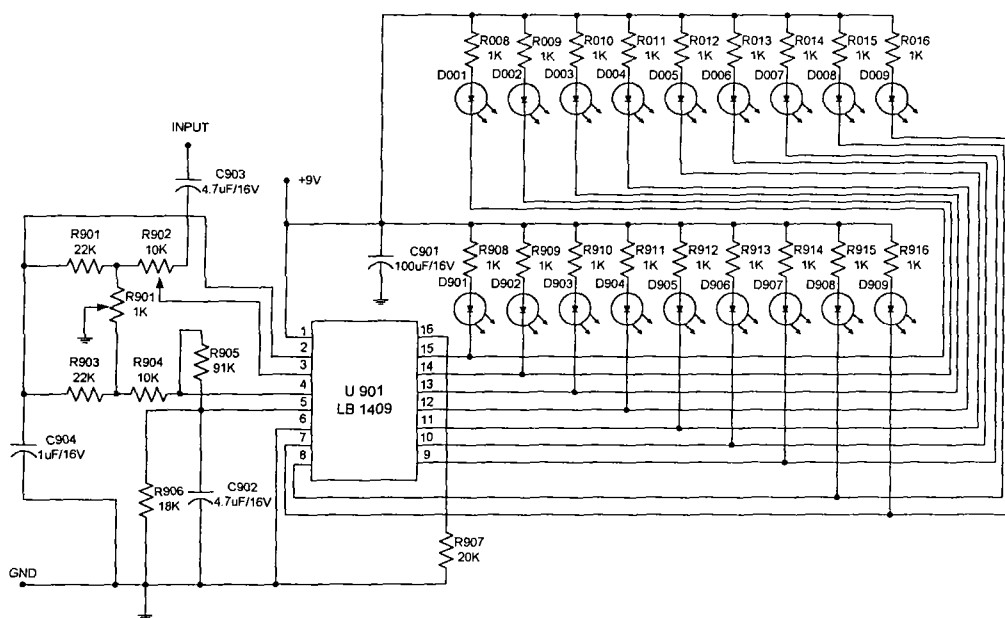
(STMicroelectronics group of companies. 2001: 4)

ไอซี U801 เบอร์ TDA2822A เป็นวงจรที่ใช้ในการขยายสัญญาณคลื่นวิทยุชนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องเล่นแบบต่างๆ ในภาพประกอบ 52 โดยภาคอินพุตจะรับสัญญาณมาจากการผสมสัญญาณเสียงมาแล้ว สัญญาณเสียงจะผ่านวงจรดีฟเฟอเรนเชียลที่มีอัตราขยายตั้งแต่ 0.91 – 20 เท่า และวงจรนี้มีการตัดสัญญาณรบกวนได้ดีมาก เอาพุตจากไอซี U501 จะส่งไปยัง ไอซี U801 ที่กำหนดอัตราขยายได้ 11 เท่า สำหรับการขยายสัญญาณที่ต่ำ แล้วจะโอนเข้าสู่วงจรคู่สายโทรศัพท์ผ่าน ไอซี U1 เบอร์ MC34114 มีคาปาซิเตอร์ C1 และรีซิสเตอร์ R1 ซึ่งหน้าที่เป็นโวลต์ให้กับวงจร มีไดโอดบริจด์ BD1 เบอร์ DB105G แปลงสัญญาณออกสู่ระบบของโทรศัพท์ ที่ใช้ไฟเลี้ยง +48 โวลต์ ซีเนอร์ไดโอด ZD1 ขนาด 12 โวลต์ ต่อที่ขั้วของไดโอดบริจด์ทั้ง 2 ตัว ไปยังคาปาซิเตอร์และรีซิสเตอร์ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการย้อนกลับของสัญญาณไฟฟ้าในวงจรขยายไม่ให้ส่งผลกระทบต่อวงจรอินเตอร์เฟสในการส่งสัญญาณเสียงเข้าไปยังวงจรคู่สายโทรศัพท์ได้



ภาพประกอบ 54 แสดงวงจรไฟเลี้ยงส่วนต่าง

ภาคจ่ายไฟเลี้ยงวงจรส่วนต่าง ๆ ของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ เนื่องจากเครื่องที่มีคุณภาพสัญญาณไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอและเพียงพอต่อความต้องการใช้งานด้วย ซึ่งภาคจ่ายไฟเลี้ยงวงจรเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญ เพราะหากไม่มีคุณภาพแล้วอาจจะเกิดสัญญาณรบกวนได้ในระหว่างการทำงาน ควรหลีกเลี่ยงการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากอะแดปเตอร์หรือวงจรที่ไม่ได้ผ่านการกรองกระแสจากจากเร็กกูเลเตอร์ เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้เรียบอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในวงจรจะใช้แรงดันอยู่ที่ +15 โวลต์ จากหม้อแปลง T101 แล้วนำมาเรกติไฟเออร์ ด้วยไดโอดบริจด์ BD2 เบอร์ DB107 ก่อนจะทำการฟิเตอร์ด้วยคาปาซิเตอร์ C1 , C2 ขนาดความจุ 2200uF 25 โวลต์ เพื่อป้อนแรงไฟตรงเข้าเร็กกูเลเตอร์ U2 เบอร์ MC7808T ทำให้ระดับแรงดันไฟเรียบคงที่สม่ำเสมอตลอดเวลา แล้วฟิเตอร์ด้วย C3 ,C4 ขนาดความจุ 100uF 16 โวลต์ อีกครั้ง เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของการทำงานในวงจรมากยิ่งขึ้น



ภาพประกอบ 55 แสดงวงจรแสดงผลระดับสัญญาณแอลอีดี 18 หลอด

เมื่อได้สัญญาณจากการผสมสัญญาณทั้ง 4 ช่องสัญญาณแล้ว มีทั้งสัญญาณที่มาจากไมโครโฟนและสัญญาณที่เข้ามาทางไลน์ (Line) ทั้งรับมาจากเครื่องเล่นต่างๆ มีความแรงของสัญญาณอยู่แล้ว มาผสมกันเพื่อส่งออกไปยังส่วนของการรับและส่งสัญญาณโทรศัพท์ อีกส่วนหนึ่งจะส่งมายังภาคแสดงผลระดับความแรงของสัญญาณ เข้าที่ขา 3 ขั้วสัญญาณด้านบวก ปรับผ่าน P902 และขาที่ 4 ขั้วสัญญาณด้านลบผ่าน P901 เป็นตัวปรับ

2.4 กำหนด เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้น มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของการผสมสัญญาณเสียง และส่วนของการส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ดังนั้นจึงขอแสดงรายละเอียดของเครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ดังนี้คือ

2.4.1 ส่วนของการส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

2.4.1.1 เซมิคอนดักเตอร์

ไอซี เบอร์ TL061	4	ตัว
ไอซี เบอร์ TDA2522M	1	ตัว
ไอซี เบอร์ LB 1409	1	ตัว
ไอซี เบอร์ MC34114	1	ตัว
ไดโอดบริจด์ เบอร์ DB105G	1	ตัว
ไดโอดบริจด์ เบอร์ DB107	1	ตัว
ซีเนอร์ไดโอด เบอร์ ZD 12V	1	ตัว
แอลอีดี	20	ตัว

2.4.1.2 คาปาซิเตอร์

10pF	2	ตัว
47pF	2	ตัว
3.9nF	1	ตัว
4.7nF	8	ตัว
22nF	4	ตัว
47nF	4	ตัว
470nF	2	ตัว
0.01uF	1	ตัว
0.1uF	2	ตัว
1uF/16V	1	ตัว
1uF/25V	4	ตัว
10uF	3	ตัว
22uF/16V	1	ตัว
2.2uF/25V	7	ตัว
2.2uF/63V	2	ตัว
4.7uF/16V	1	ตัว
4.7uF/63V	5	ตัว
10uF/16V	1	ตัว
100uF/16V	3	ตัว
100uF/25V	15	ตัว
2200uF/25V	2	ตัว

2.4.1.3 รีซิสเตอร์ ชนิดค่าคงที่

220Ω	1	ตัว
------	---	-----

560Ω	7	ตัว
620Ω	1	ตัว
1KΩ	9	ตัว
2KΩ	2	ตัว
3KΩ	1	ตัว
1.8KΩ	8	ตัว
3.9KΩ	8	ตัว
4.7KΩ	4	ตัว
8KΩ	1	ตัว
10KΩ	4	ตัว
12kΩ	12	ตัว
18KΩ	1	ตัว
20KΩ	1	ตัว
25KΩ	1	ตัว
22KΩ	19	ตัว
47KΩ	6	ตัว
91KΩ	1	ตัว
100KΩ	16	ตัว
390KΩ	1	ตัว
470KΩ	8	ตัว
รีซีเตอร์ชนิดปรับค่าได้		
2KΩ	2	ตัว
22KΩ	1	ตัว
100KΩ	9	ตัว
470KΩ	4	ตัว
1KΩ	1	ตัว
10KΩ	1	ตัว

2.4.1.4 อุปกรณ์อื่นๆ

หม้อแปลง จ่ายแรงดันไฟ 15-0-15 โวลต์	1	ตัว
แผ่นพิมพ์ลายวงจร	3	ชุด
คอนเน็กเตอร์ต่อสัญญาณเสียง (Phone)	4	ตัว
คอนเน็กเตอร์ต่อสัญญาณเสียง (XLR)	8	ตัว
แจ๊คอาซีเอ (RCA phone)	4	ตัว
สายสัญญาณแบบสเตอริโอ	5	เมตร
กล่องอเนกประสงค์	1	กล่อง
หัวต่อสายโทรศัพท์	2	ตัว
สวิตช์ สายไฟฟ้า 220 โวลต์	2	ตัว

2.5 สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย

การวิจัยออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ใช้สถานที่ห้องควบคุมระบบการกระจายเสียง ศาลาพระราชศรีทธา มุลินีศาลาพระราชศรีทธา ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

2.5.1 เครื่องต้นแบบ เพื่อใช้สำหรับทดลอง

2.5.1.1 จัดทำลายแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ลงเพื่อบัดกรีเชื่อมต่อจุดต่างๆ

2.5.1.2 นำอุปกรณ์ที่ได้จัดไว้แต่ละวงจร แต่ละภาคการทำงานส่วนต่างๆ ลงบนแผ่นแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้เตรียมเอาไว้ หลังจากนั้นบัดกรีขาอุปกรณ์ต่างๆ ให้เชื่อมติดกับแผ่นแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้เตรียมเอาไว้

2.5.1.3 จัดทำกล่อง สำหรับลงเครื่องมือและแผ่นวงจรพิมพ์ทั้งหมด เพื่อให้เกิดความปลอดภัย สบายงาม สะดวกต่อการใช้งาน และการเคลื่อนย้าย

2.5.1.4 นำอุปกรณ์ แผ่นลายวงจรที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ลงบรรจุลงในกล่องที่ได้เตรียมเอาไว้ เดินสายไฟฟ้าภายในให้เป็นระบบ เพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหล และป้องกันการเกิดสัญญาณรบกวนด้วย หลังจากนั้นทำการขันนอตให้กล่องมิดชิด แน่นหนาเพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย

2.5.2 ทดลองปรับปรุง แก้ไข ส่วนต่างๆ ของเครื่อง

2.5.2.1 เมื่อบรรจุกล่องเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทำการปรับแต่ง และทดลอง เครื่องมือที่ได้สร้างขึ้น โดยการเปรียบเทียบการทำงาน กับเครื่องต้นแบบที่ห้องส่งกระจายเสียงศาลาพระราชศรีทธา มุลินีถาวรจิตตถาวโร-วงศ์มัลย์ กรุงเทพมหานคร

2.5.2.2 ทดลองใช้งานจริง โดยการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องที่สร้างขึ้น และเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการส่งกระจายเสียงคลื่นวิทยุ

2.5.2.3 จัดบันทึกการทำงาน ผลของการเปรียบเทียบ หน้าที่การทำงานส่วนต่างๆ ของเครื่องต้นแบบ และเครื่องที่ได้สร้างขึ้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน

2.5.3 เครื่องต้นแบบตามทีออกแบบ

2.5.3.1 เมื่อสร้างเครื่องต้นแบบ ที่ได้จากการเปรียบเทียบด้านต่างๆ ของเครื่องกระจายเสียงที่ศาลาพระราชศรีทธาแล้ว ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบวงจรของเครื่องที่สร้างขึ้น

2.5.3.2 ตรวจสอบเครื่องต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้ในจุดต่างๆ โดยผู้เชี่ยวชาญ ด้านวงจรไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อพบข้อผิดพลาดหรือสิ่งที่ควรทำการแก้ไข และทำการปรับปรุงเป็นที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว และสามารถใช้งานได้จริงในการส่งกระจายเสียงคลื่นวิทยุแล้ว ก็สามารถนำไปเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับสร้างขึ้นใช้งานขององค์กร หรือ สถานีวิจัยต่างๆ ได้

2.5.4 สร้างแบบทดสอบประสิทธิภาพและแบบประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ที่สร้างขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบทดสอบและแบบประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องที่สร้างขึ้น

2.5.5 คุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบแบบ แบบประเมิน ทดสอบประสิทธิภาพและลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ จำนวน 3 ท่าน ในแต่ละด้าน ดังนี้คือ

2.5.5.1 การศึกษาระดับปริญญาตรีขึ้นไป ในสาขาที่เกี่ยวข้อง

2.5.5.2 มีประสบการณ์การทำงานอย่างน้อย 5 ปี

2.6 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยการเปรียบเทียบ กับเครื่องที่ใช้งานจริงในห้องควบคุมระบบเสียงศาลาพระราชศรีทธา โดยการเทียบเคียงค่ากับเครื่องมือดังนี้

2.6.1 เครื่องผสมสัญญาณเสียง บริษัท Eurodesk รุ่น MX 3282A จากประเทศเยอรมันนี คือสามารถควบคุมการปรับแต่ง สัญญาณเสียง ได้ทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณและสามารถนำเอาสัญญาณเสียงไปบันทึกเสียง 1 ช่องสัญญาณ ที่ +22 เดซิเบล

2.6.2 เครื่องส่งสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์ ได้เทียบเคียงกับเครื่องส่งสัญญาณ บริษัท Axel technology รุ่น Macrotel 5 จากประเทศอิตาลี สามารถส่งสัญญาณเสียงไปยังภาคส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ที่ 22 เดซิเบล (Unbalance) สามารถแสดงระดับสัญญาณเสียง โดยแสดงผลจาก แอลอีดี ระดับสัญญาณที่ 22 เดซิเบล (Unbalance) สามารถส่งสัญญาณไปในสายโทรศัพท์ ที่ระดับสัญญาณ ± 16 เดซิเบล

2.7 การประเมินผลลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการ ที่มีประสบการณ์ในด้านต่างๆ ตอบแบบสอบถามลักษณะทางกายภาพ ด้านการออกแบบเครื่อง ด้านการบำรุงรักษาซ่อมแซม และด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน ของเครื่องเครื่องที่สร้างขึ้น จำนวน 3 ท่าน

2.8 การสร้างแบบประเมินทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

2.8.1 การสร้างแบบประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยการประเมินแบบมาตราส่วน ประมาณค่า (Rating scale) ซึ่งกำหนดค่าคะแนน (Weight) ออกเป็น 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคอร์ (รวิวรรณ ชินะตระกูล.2538 : 92) ได้ดังนี้คือ

5 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

4 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดี

3 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้

2 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับควรปรับปรุง

1 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

แบบประเมินคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ มีอยู่ด้วยกันจำนวน 3 ข้อหลักคือ ด้านการออกแบบเครื่อง ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน

2.8.2 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์และเกณฑ์การแปลความหมายของข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ย ดังนี้

ค่าเฉลี่ยระหว่าง	ความหมาย
4.51 – 5.00	ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
3.51 – 4.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับดี
2.51 – 3.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้
1.51 – 2.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับควรปรับปรุง
1.00 – 1.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

2.8.2.1 ค่ามัธยฐานเลขคณิต หรือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนที่เกิดจากการรวมคะแนนของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการ ที่ประเมินลักษณะทางกายภาพ จำนวน 3 ท่าน ได้จากสูตรการหาค่าเฉลี่ยดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ $\bar{X}$	คือ ค่าคะแนนเฉลี่ย
$\sum x$	คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
n	คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.8.2.2 ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของคะแนนที่เกิดจากการรวมคะแนนของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการ ที่ประเมินลักษณะทางกายภาพ จำนวน 3 ท่าน โดยการวิเคราะห์ด้วยค่า t - test (วิสาข์ เกษประทุม. 2539 : 229) ได้จากสูตรการหาค่าเฉลี่ยดังนี้

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

2.8.3 นำเสนอข้อมูลแสดงความคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการ ที่ตอบแบบประเมินจากคำถามปลายเปิด

2.8.4 แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ ทางด้านคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ทั้ง 3 ด้าน กรုณาเขียน เครื่องหมาย $\sqrt{\quad}$ ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่าจำนวน 5 ระดับ หลังจากการทดสอบการใช้งานเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยกำหนดค่าคะแนนแต่ละระดับดังนี้คือ

- ระดับ 5 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
- ระดับ 4 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดี
- ระดับ 3 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง
- ระดับ 2 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย
- ระดับ 1 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อยมาก

ตาราง 1 แบบตรวจประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ ลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสม
สัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

รายละเอียดการประเมิน		5	4	3	2	1
		ดีมาก	ดี	ปานกลาง	น้อย	น้อยมาก
1 ด้านการออกแบบเครื่อง						
1.1	ความแข็งแรงของโครงสร้าง					
1.2	รูปทรงเหมาะกับการใช้งาน					
1.3	โทนสีของเครื่อง เหมาะสมต่อการใช้งาน					
1.4	ความเรียบร้อยในการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ					
1.5	ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง					
1.6	ความเหมาะสมในการใช้วัสดุ อุปกรณ์ สร้าง					
1.7	คุณค่าทางด้านวิศวกรรมในการออกแบบ					
1.8	เป็นนวัตกรรมที่ใช้แก้ไขปัญหาด้านสื่อสารมวลชนได้					
1.9	การใช้เทคโนโลยีในการสร้างเครื่องมือ					
2 ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม						
2.1	สามารถเปลี่ยน อะไหล่ ชิ้นส่วน ต่างๆ ของเครื่องได้					
2.2	ตรวจสอบแก้ไข ข้อเสียจากการใช้งานได้					
2.3	สามารถแยกส่วนประกอบ ต่างๆ ภายในเครื่องได้					
2.4	การสร้างเครื่องมือใช้อุปกรณ์ราคาประหยัด					
2.5	มีจุดตรวจสอบในการบำรุงอุปกรณ์ต่างๆ					
2.6	การซ่อมแซมแก้ไขจุดเสียของเครื่องได้					
2.7	ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่อง					
2.8	อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องเปลี่ยน หาได้ง่าย					
2.9	คาดว่าในอนาคตจะสามารถแก้ไขเพื่อพัฒนาเครื่องได้					
3 ด้านความสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน						
3.1	ติดตั้งเครื่องได้ง่ายรวดเร็ว					
3.2	การเคลื่อนย้ายเครื่อง มีความสะดวก					
3.3	การถอดและประกอบเครื่อง ผู้ใช้สามารถทำได้					
3.4	ขนาดกะทัดรัดเมื่อเทียบกับเครื่องใช้งานจริง					
3.5	ความเหมาะสมในการนำอุปกรณ์มาใช้งานได้ดี					
3.6	สามารถประกอบใช้ร่วมกับเครื่องมือชนิดต่างๆ ได้					
3.7	ความเรียบร้อยของจัดวางแผ่นลายวงจร ภายในเครื่อง					
3.8	มีความสวยงาม เมื่อใช้งานร่วมกับเครื่องมืออื่น ๆ					
3.9	มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร					

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ

1. ด้านการออกแบบเครื่อง

2. ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม

3. ด้านความสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน

4. อื่น ๆ

ลงชื่อ
(.....)

ตำแหน่ง

วันที่ เดือน พ.ศ.

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ประกอบด้วยในขั้นตอนที่ 1 ศึกษาการทำงานหลักการของวงจรการสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบการใช้งานและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบหาประสิทธิภาพวิเคราะห์สัญญาณและประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ขั้นตอนที่ 5 นำข้อมูลที่ได้จากการหาประสิทธิภาพและประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์มาวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

การทดสอบและหาประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ผู้วิจัยได้ทำหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัยไปยังผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม เพื่อขอใช้ห้องเครื่องมือวัด มัลติมิเตอร์ ออสซิลโลสโคป และทดสอบวิเคราะห์สัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยมีอาจารย์ทองใส คำบาง เป็นผู้ช่วยวิจัยและทดสอบเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ แล้วทำการวัดสัญญาณจากเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ เปรียบเทียบกับสัญญาณจากเครื่องที่ใช้งานจริง ของบริษัท Eurodesk รุ่น MX3282A และ บริษัท Axel technology รุ่น Macrotel 5 แล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบหาประสิทธิภาพ และวิเคราะห์ข้อมูล ได้นำเสนอ ดังนี้

ตาราง 2 แสดงผลการทดสอบสัญญาณของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

ลำดับ	รายการทดสอบ	ระดับสัญญาณ	
		ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้
1	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 1 (MIC 1)	-	25.44 เดซิเบล
2	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 2 (MIC 2)	-	25.44 เดซิเบล
3	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 3 (AUX 1)	-	10 เดซิเบล
4	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 4 (AUX 2)	-	10 เดซิเบล
5	ระดับสัญญาณเสียงสำหรับนำไปบันทึก (Record)	+22 เดซิเบล	25.44 เดซิเบล
6	ระดับสัญญาณเสียงส่งเข้าภาคโทรศัพท์ (Unbalance)	22 เดซิเบล	25.44 เดซิเบล
7	ระดับสัญญาณแสดงผลของสัญญาณเสียง (Unbalance)	22 เดซิเบล	25.44 เดซิเบล
8	ระดับสัญญาณเสียงที่ส่งออกไปในสายโทรศัพท์ (Signal output)	± 16 เดซิเบล	± 18.06 เดซิเบล
9	ค่าความต้านทานต่อสัญญาณไฟสลับ	100 โอห์ม	160 โอห์ม

จากตาราง 2 สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์สัญญาณของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ได้ดังนี้ เมื่อวัดสัญญาณจากเครื่องที่สร้างขึ้น สามารถวัดค่าสัญญาณจากช่อง MIC1 และ MIC2 ซึ่งเป็นสัญญาณจากไมโครโฟนวัดค่าได้ MIC1 วัดได้ค่า 25.44 เดซิเบล , MIC2 วัดได้ค่า 25.44 เดซิเบล จากช่อง AUX 1 และ AUX 2 ซึ่งเป็นสัญญาณจากเครื่องเล่นต่างๆ วัดค่าได้ AUX 1 วัดได้ค่า 10 เดซิเบล , AUX 2 วัดได้ค่า 10 เดซิเบล ระดับสัญญาณเสียงที่นำไปบันทึก (Record) ของเครื่องใช้งานมีค่า +22 เดซิเบล จากเครื่องที่สร้างขึ้นวัดค่าได้ 25.44 เดซิเบล ระดับสัญญาณเสียงส่งเข้าภาคโทรศัพท์ (Unbalance) ของเครื่องใช้งานมีค่า 22 เดซิเบล จากเครื่องที่สร้างขึ้นวัดค่าได้ 25.44 เดซิเบล ระดับสัญญาณแสดงผลของสัญญาณเสียง (Unbalance) ของเครื่องใช้งานมีค่า 22 เดซิเบล จากเครื่องที่สร้างขึ้นวัดค่าได้ 25.44 เดซิเบล ระดับสัญญาณเสียงที่ส่งออกไปในสายโทรศัพท์ (Signal output) ของเครื่องใช้งานมีค่า ± 16 เดซิเบล จากเครื่องที่สร้างขึ้นวัดค่าได้ 18.06 เดซิเบล ค่าความต้านทานต่อสัญญาณไฟสลับของเครื่องใช้งานมีค่า 100 โอห์ม จากเครื่องที่สร้างขึ้นวัดค่าได้ 160 โอห์ม

จากผลการทดสอบเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ จะเห็นได้ว่า ระดับสัญญาณเสียงช่องที่ 1 และ 2 เป็นช่องสัญญาณที่ใช้รับสัญญาณจากไมโครโฟน (MIC1 และ MIC2) สามารถที่จะวัดค่าได้ คือ ช่องสัญญาณ MIC1 วัดค่าได้ 25.44 เดซิเบล ช่องสัญญาณ MIC2 วัดค่าได้ 25.44 เดซิเบล ส่วนอีก 2 ช่องสัญญาณมาจากเครื่องเล่นต่างๆ เช่น เทป ซีดี ฯลฯ (AUX 1 และ AUX 2) สามารถวัดค่าได้ คือ ช่องสัญญาณ AUX 1 วัดค่าได้ 10 เดซิเบล , AUX 2 วัดค่าได้ 10 เดซิเบล ระดับสัญญาณเสียงที่จะนำไปบันทึก (Record) วัดค่าได้ 25.44 เดซิเบล ระดับสัญญาณเสียงส่งเข้าภาคโทรศัพท์ (Unbalance) วัดค่าได้ 25.44 เดซิเบล ระดับสัญญาณแสดงผลของสัญญาณเสียง (Unbalance) วัดค่าได้ 25.44 เดซิเบล ระดับสัญญาณเสียงที่ส่งเข้าไปในสายโทรศัพท์ (Signal output) วัดค่าได้ 18.06 เดซิเบล ค่าความต้านทานต่อสัญญาณไฟสลับ วัดค่าได้ 160 โอห์ม

สรุปผลจากการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ จะเห็นได้ว่า รับสัญญาณมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ และใช้งานอยู่ในห้องควบคุมเสียงศาลาพระราชศรัทธา โดยการทดลองใช้งานเปรียบเทียบกับเครื่องที่สร้างขึ้น ปรากฏว่าเครื่องมีหลักการทำงานเหมือนกันจะมีความแตกต่างเพียงระดับสัญญาณเท่านั้น อาจจะเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน เพราะวัสดุ อุปกรณ์ที่ผลิตจากบริษัทโดยตรงนั้นสามารถที่จะควบคุมคุณภาพตามที่ต้องการได้ ส่วนเครื่องที่สร้างขึ้นนั้นใช้อุปกรณ์ที่หลากหลายคุณภาพไม่เท่ากัน มีขายตามท้องตลาด ตลอดจนผลิตโดยใช้เครื่องจักร มีความเที่ยงตรงสูงกว่าการผลิตด้วยตนเอง การวัดค่าระดับสัญญาณที่ได้ จะเห็นระดับสัญญาณของ MIC1 และ MIC2 วัดค่าได้ 25.44 เดซิเบล และ AUX 1 และ AUX 2 วัดค่าได้ 10 เดซิเบล เนื่องการออกแบบให้มีสัญญาณที่เข้ามารับการขยายสัญญาณที่แตกต่างกัน เช่น สัญญาณจากไมโครโฟนจะมีขนาดเล็กกว่าสัญญาณที่มาจากเครื่องเล่นต่างๆ มาก ทำให้ต้องมีภาคขยายสัญญาณไมโครโฟนเพิ่มขึ้น ทุกช่องสัญญาณจะมีโพเทนชิโอเมเตอร์เป็นตัวปรับค่าระดับสัญญาณให้เหมาะสมตามต้องการ ก่อนนำไปขยายสัญญาณที่ภาคขยายสัญญาณรวม เพื่อป้อนเข้าสู่ ภาคส่งสัญญาณโทรศัพท์ วัดค่าได้ 18.06 เดซิเบล ค่าความต้านทานต่อสัญญาณไฟสลับ วัดค่าได้ 160 โอห์ม ภาคแสดงผลระดับสัญญาณด้วยแอลอีดี วัดค่าได้ 25.44 เดซิเบล และภาคต่อสำหรับการบันทึกเสียง วัดค่าได้ 25.44 เดซิเบล ซึ่งก็เป็นหลักการทำงานของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ นอกจากนั้นแล้วยังได้ประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ จำนวน 3 ท่าน ผลปรากฏว่า ในด้านการออกแบบเครื่อง มีค่าเฉลี่ย 4.03 ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม มีค่าเฉลี่ย 4.25 และด้านการความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน มีค่าเฉลี่ย 4.11 ได้ค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 ด้าน มีค่า 4.13 อยู่ในระดับ ดี สอดคล้องกับสมมติฐานในการวิจัย ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อทดแทนเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศสามารถที่จะผลิตใช้ได้เองภายในประเทศตามความต้องการในการใช้งานได้อย่างเหมาะสมต่อไป

การประเมินลักษณะทางกายภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ จำนวน 3 ท่าน ของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ได้ทำการประเมินทั้งหมด 3 ด้าน คือ ด้านการออกแบบเครื่อง ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม และด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 3 แสดงรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

รายละเอียดของลักษณะทางกายภาพ	$\bar{X}$	SD	แปลความ
1. ด้านการออกแบบเครื่อง			
1.1 ความแข็งแรงของโครงสร้าง	4.00	0.00	ดี
1.2 รูปทรงเหมาะสมกับการใช้งาน	3.66	1.15	ดี
1.3 โทนสีของเครื่อง เหมาะสมต่อการใช้งาน	4.00	1.00	ดี
1.4 ความเรียบร้อยในการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ	4.00	0.00	ดี
1.5 ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง	3.66	0.57	ดี
1.6 ความเหมาะสมในการใช้วัสดุ อุปกรณ์ สร้าง	4.33	0.57	ดี
1.7 คุณค่าทางด้านวิศวกรรมในการออกแบบ	4.33	0.57	ดี
1.8 เป็นนวัตกรรมที่ใช้แก้ไขปัญหาด้านสื่อสารมวลชนได้	4.66	0.57	ดีมาก
1.9 การใช้เทคโนโลยีในการสร้างเครื่อง	3.66	0.57	ดี
ค่าเฉลี่ยด้านการออกแบบเครื่อง	4.03	0.12	ดี
2 ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม			
2.1 สามารถเปลี่ยน อะไหล่ ชิ้นส่วน ต่าง ๆ ของเครื่องได้	4.00	1.00	ดี
2.2 ตรวจสอบแก้ไข ข้อเสียจากการใช้งานได้	4.33	0.57	ดี
2.3 สามารถแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเครื่องได้	4.33	0.57	ดี
2.4 การสร้างเครื่องมือใช้อุปกรณ์ราคาประหยัด	4.66	0.57	ดีมาก
2.5 มีจุดตรวจสอบในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ	3.66	0.57	ดี
2.6 การซ่อมแซมแก้ไขจุดเสียของเครื่องได้	3.66	0.57	ดี
2.7 ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่อง	4.66	0.57	ดี
2.8 อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องเปลี่ยนหาได้ง่าย	4.33	1.15	ดี
2.9 คาดว่าในอนาคตจะสามารถแก้ไขเพื่อพัฒนาเครื่องได้	4.66	0.57	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม	4.25	0.06	ดี

ตาราง 3 (ต่อ) แสดงรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

รายละเอียดของลักษณะทางกายภาพ	$\bar{X}$	SD	แปลความ
3 ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน			
3.1 ติดตั้งเครื่องได้ง่ายและรวดเร็ว	4.33	0.57	ดี
3.2 การเคลื่อนย้ายเครื่อง มีความสะดวก	4.66	0.57	ดีมาก
3.3 การถอดและประกอบเครื่อง ผู้ใช้สามารถทำได้	3.66	0.57	ดี
3.4 ขนาดกะทัดรัดเมื่อเทียบกับเครื่องใช้งานจริง	4.66	0.57	ดีมาก
3.5 ความเหมาะสมในการนำอุปกรณ์มาใช้งานได้ดี	4.66	0.57	ดีมาก
3.6 สามารถประกอบใช้ร่วมเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ได้	4.00	1.00	ดี
3.7 ความเรียบร้อยของการจัดวางแผ่นลายวงจรภายในเครื่อง	4.00	1.00	ดี
3.8 มีความสวยงาม เมื่อใช้งานร่วมกับเครื่องอื่น ๆ	3.33	0.57	พอใช้
3.9 มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร	3.66	0.57	ดี
ค่าเฉลี่ยด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน	4.11	0.00	ดี
ค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 ด้าน	4.13	0.02	ดี

1. ด้านการออกแบบเครื่อง ประกอบด้วย ข้อ 1.1 – 1.9 โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินผลในภาพรวมพบว่า อยู่ในระดับ ดี เมื่อพิจารณาในรายละเอียดด้านการออกแบบเครื่องพบว่า เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ เป็นนวัตกรรมที่ใช้แก้ปัญหาด้านสื่อสารมวลชนได้ อยู่ในระดับ ดีมาก และรองลงมาตามลำดับคือ ความเหมาะสมในการใช้วัสดุอุปกรณ์สร้าง คุณค่าทางด้านวิศวกรรมการออกแบบ มีความแข็งแรงของโครงสร้าง โทนสีของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน ความเรียบร้อยในการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ รูปทรงเหมาะสมกับใช้งาน ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง การใช้เทคโนโลยีในการสร้าง อยู่ในระดับ ดี

2. ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม ประกอบด้วย ข้อ 2.1 – 2.9 โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินผลในภาพรวม พบว่า อยู่ในระดับ ดี เมื่อพิจารณาในรายละเอียดด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม พบว่า เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ มีการสร้างเครื่องมือใช้อุปกรณ์ราคาประหยัด ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย คาดว่าในอนาคตจะสามารถแก้ไขเพื่อพัฒนาเครื่องได้ อยู่ในระดับ ดีมาก และรองลงมาตามลำดับ คือ ตรวจสอบข้อเสียจากการใช้งานได้ สามารถแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเครื่องได้ สามารถเปลี่ยนอะไหล่ ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องได้ อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องเปลี่ยน หาได้ง่าย มีจุดตรวจสอบในการบำรุงอุปกรณ์ต่าง ๆ อยู่ในระดับ ดี

3. ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน ประกอบด้วย ข้อ 3.1 – 3.9 โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินผลในภาพรวม พบว่า อยู่ในระดับ ดี เมื่อพิจารณาในรายละเอียดด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน ของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ มีการเคลื่อนย้ายเครื่องมีความสะดวก ขนาดกะทัดรัดเมื่อเทียบกับเครื่องใช้งานจริง ความเหมาะสมในการนำอุปกรณ์มาใช้งานได้ดี อยู่ในระดับ ดีมาก รองลงมาคือ ติดตั้งเครื่องได้ง่ายรวดเร็ว สามารถประกอบใช้ร่วมกับเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ได้ ความเรียบร้อยของการจัดวางแผ่นลายวงจร ภายในเครื่อง การถอดและประกอบเครื่อง ผู้ใช้สามารถทำได้ อยู่ในระดับ ดี และรองลงมาอีก คือ ความสวยงาม เมื่อใช้งานร่วมกับเครื่องอื่น ๆ อยู่ในระดับ พอใช้

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ ด้านการออกแบบ ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม และด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งานของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ จากคำถามปลายเปิด ผู้วิจัยได้รวบรวมความคิดเห็นจากข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ จำนวน 3 ท่าน ดังในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ชำนาญการ

ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ	
1. ด้านการออกแบบเครื่อง	
1.1	ภาคจ่ายไฟเลี้ยงวงจร ควรแยกออกจากภาคอื่น ๆ และมีกล่องป้องกันไม่ให้ไปกวนภาคอื่น ๆ
1.2	มีความกะทัดรัด การออกแบบการวางตำแหน่งอุปกรณ์เหมาะสม ด้านหน้ามีความชัดเจนสะดวกต่อการใช้งาน
1.3	เป็นการประยุกต์จากระบบเครื่อง แนวคิดจากต่างประเทศได้ดีมาก ในการออกแบบเพื่อนำมาใช้งานอำนวยความสะดวกในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย
1.4	สามารถทำให้ประหยัดการนำเข้าอุปกรณ์ประเภทเดียวกัน ซึ่งมีราคาสูงกว่า 7 – 10 เท่า ได้
1.5	ประยุกต์เฉพาะลักษณะหน้าตาของเครื่องที่จำเป็นได้ดี (มี 3 ช่องปรับระดับสัญญาณของแต่ละอินพุต)
2. ด้านการบำรุงรักษา	
2.1	เครื่องมือแบ่งออกเป็นจุดต่าง ๆ ทำให้สามารถวิเคราะห์จุดแต่ละจุดได้ง่าย
3. ด้านความสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน	
3.1	เครื่องมีลักษณะเด่นเหมาะสมกับการนำไปใช้ในสถานที่ต่าง ๆ ได้สะดวก การเชื่อมต่อใช้งานก็ง่ายต่อผู้ใช้งาน เนื่องจากสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์โทรศัพท์ที่ใช้งานทั่วไปได้เลย
3.2	ดีมาก ๆ กับการใช้งานในประเทศไทย
3.3	จุดต่อสัญญาณอินพุต และเอาต์พุต พิวส์ สายไฟฟ้า ควรอยู่ด้านหน้าทั้งหมด ไม่ควรอยู่ด้านหลัง เพื่อง่ายต่อการวางสายและวางตัวเครื่อง
4. อื่น ๆ	
4.1	การนำเสนอดีมาก
4.2	น่าจะมีกราวด์ เพื่อป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร เนื่องจากเป็นกล่องโลหะ
4.3	เครื่องมีความสร้างสรรค์ ควรที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานทั่วไป

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ดำเนินการดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
3. เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

ความสำคัญของการวิจัย

ได้เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ เพื่อใช้ในการจัดรายการวิทยุ สามารถใช้งานแทนการส่งชื่อเครื่องผสมสัญญาณเสียงและเครื่องส่งสัญญาณโทรศัพท์จากต่างประเทศ เพราะมีราคาสูง

สมมุติฐานในการวิจัย

1. เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ โดยเทียบเคียงกับเครื่องผสมสัญญาณเสียง บริษัท Eurodesk รุ่น MX 3282A จากประเทศเยอรมันนีและเครื่องส่งสัญญาณโทรศัพท์ บริษัท Axel technology รุ่น Macrotel 5 จากประเทศอิตาลี
2. ลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ อยู่ในเกณฑ์ดี

การดำเนินการวิจัย

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาการทำงานหลักการของวงจรการสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
- ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
- ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบการใช้งานและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
- ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบหาประสิทธิภาพวิเคราะห์สัญญาณและประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
- ขั้นตอนที่ 5 นำข้อมูลที่ได้จากการหาประสิทธิภาพและประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์มาวิเคราะห์ข้อมูล

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ เพื่อใช้ในการจัดรายการวิทยุกระจายเสียง โดยมีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับเครื่องผสมสัญญาณเสียง ของบริษัท ของบริษัท Eurodesk รุ่น MX3282A จากประเทศเยอรมันนี้ สามารถควบคุมการปรับแต่งสัญญาณได้ทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณ โดยมีช่องสัญญาณจากสำหรับไมโครโฟน 2 ช่องสัญญาณและช่องสำหรับเครื่องเล่นต่างๆ เช่น ซีดี วีซีดี เทป 2 ช่องสัญญาณ เป็นต้น เครื่องยังสามารถแสดงระดับความแรงของสัญญาณด้วยหลอดแอลอีดีที่ได้ผ่านการผสมสัญญาณเสียงจากช่องสัญญาณทั้ง 4 ช่องสัญญาณ เพื่อป้อนเข้าสู่ภาคส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ที่ระดับ 22 เดซิเบล ซึ่งเครื่องส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ที่ได้สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับเครื่องส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ของบริษัท Axel technology รุ่น Macrotel 5 ของประเทศอิตาลี ที่ส่งสัญญาณออกไปในคู่สายโทรศัพท์ ที่ระดับสัญญาณ ± 16 เดซิเบล ค่าความต้านทานทางต่อสัญญาณไฟสลับ 100 โอห์ม จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ เพื่อช่วยประหยัดต้นทุนในการผลิต ลดการนำเข้าจากต่างประเทศ สะดวกต่อการใช้งานง่ายต่อการบำรุงรักษา มีหลักการทำงานและประสิทธิภาพเทียบเคียงกับเครื่องต้นแบบที่ใช้งานจริง

2. การทดสอบและหาประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ผู้วิจัยจึงนำไปทดสอบวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้าที่ภาควิชาไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ จังหวัดสมุทรสงคราม ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตาราง 5 แสดงผลการทดสอบสัญญาณของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

ลำดับ	รายการทดสอบสัญญาณ	ค่าที่วัดได้
1	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 1 (MIC 1)	25.44 เดซิเบล
2	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 2 (MIC 2)	25.44 เดซิเบล
3	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 3 (AUX 1)	10 เดซิเบล
4	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 4 (AUX 2)	10 เดซิเบล
5	ระดับสัญญาณเสียงสำหรับนำไปบันทึก (Record)	25.44 เดซิเบล
6	ระดับสัญญาณเสียงส่งเข้าภาคโทรศัพท์ (Unbalance)	25.44 เดซิเบล
7	ระดับสัญญาณแสดงผลของสัญญาณเสียง (Unbalance)	25.44 เดซิเบล
8	ระดับสัญญาณเสียงที่ส่งออกไปในสายโทรศัพท์ (Signal output)	± 18.06 เดซิเบล
9	ค่าความต้านทานต่อสัญญาณไฟสลับ	160 โอห์ม

3. การประเมินผลลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ จำนวน 3 ท่านตอบแบบสอบถามลักษณะทางกายภาพ ทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านการออกแบบเครื่อง ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

3.1 ด้านการออกแบบเครื่อง จากการประเมินจำนวน 9 ข้อ คือ ความแข็งแรงของโครงสร้าง รูปทรงเหมาะกับการใช้งาน โทนสีของเครื่อง เหมาะสมต่อการใช้งาน ความเรียบร้อยในการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง ความเหมาะสมในการใช้วัสดุ อุปกรณ์ สร้าง คุณค่าทางด้านวิศวกรรมในการออกแบบ เป็นนวัตกรรมที่ใช้แก้ไขปัญหาด้านสื่อสารมวลชนได้ การใช้เทคโนโลยีในการสร้างเครื่องมือ มีผลการประเมินอยู่ในระดับ ดี

3.2 ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม จากการประเมินจำนวน 9 ข้อ คือ สามารถเปลี่ยน อะไหล่ ชิ้นส่วน ต่างๆ ของเครื่องได้ ตรวจสอบแก้ไข ข้อเสียจากการใช้งานได้ สามารถแยกส่วนประกอบ ต่างๆ ภายในเครื่องได้ การสร้างเครื่องมือใช้อุปกรณ์ราคาประหยัด มีจุดตรวจสอบในการบำรุงอุปกรณ์ต่างๆ การซ่อมแซมแก้ไขจุดเสียของเครื่องได้ ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่อง อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องเปลี่ยน หาได้ง่าย คาดว่าในอนาคตจะสามารถแก้ไขเพื่อพัฒนาเครื่องได้ มีผลการประเมินอยู่ในระดับ ดี

3.3 ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน จากการประเมินจำนวน 9 ข้อ คือ ติดตั้งเครื่องได้ง่ายรวดเร็ว การเคลื่อนย้ายเครื่อง มีความสะดวก การถอดและประกอบเครื่อง ผู้ใช้สามารถทำได้ ขนาดกะทัดรัดเมื่อเทียบกับเครื่องใช้งานจริง ความเหมาะสมในการนำอุปกรณ์มาใช้งานได้ดี สามารถประกอบใช้ร่วมกับเครื่องมือชนิดต่างๆ ได้ ความเรียบร้อยของจัดวางแผ่นลายวงจร ภายในเครื่อง มีความสวยงาม เมื่อใช้งานร่วมกับเครื่องมืออื่นๆ มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร มีผลการประเมินอยู่ในระดับ ดี

อภิปรายผล

การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ได้ตั้งสมมติฐานไว้คือ เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ โดยเทียบเคียงกับเครื่องผสมสัญญาณเสียง ของบริษัท Eurodesk รุ่น MX 3282A จากประเทศเยอรมันนีและเครื่องส่งสัญญาณโทรศัพท์ บริษัท Axel technology รุ่น Macrotel 5 จากประเทศอิตาลี และมีลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ อยู่ในเกณฑ์ดี สามารถอภิปรายผลมีรายละเอียดดังนี้

1. การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยการออกแบบให้มีประสิทธิภาพเทียบเคียงได้กับเครื่องมือที่ใช้ในการกระจายเสียงไปยังสถานีวิทยุ โดยผ่านสายโทรศัพท์ที่ใช้เป็นตัวกลางเชื่อมต่อระหว่างสถานที่จัดรายการไปยังสถานีวิทยุที่ต้องการส่งกระจายเสียงออกอากาศ เครื่องที่สร้างขึ้นจะรับสัญญาณจากภายนอกได้ทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณ โดยแยกออกเป็นช่องสัญญาณไมโครโฟน 2 ช่องสัญญาณ และช่องสัญญาณไลน์ 2 ช่องสัญญาณ มาผสมสัญญาณตามต้องการแล้วส่งออกไปยังภาคส่งสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ มีขนาด ± 16 เดซิเบล นอกจากนั้นแล้วยังสามารถที่จะนำเอาสัญญาณที่ได้ไปบันทึกยังเครื่องบันทึกเสียงได้ และนำไปขับหลอดแอลอีดีจำนวน 18 หลอด เพื่อการแสดงผลระดับของสัญญาณที่ 22 เดซิเบล มีค่าความต้านทานต่อสัญญาณไฟสลับ 100 โอห์ม ซึ่งงานวิจัยของ กมล กลัดคร้าม กอบชัย เดชหาญ และชาลิน สุวรรณวงศ์ (2544) ได้นำระบบโทรศัพท์ประยุกต์ร่วมกับระบบเครือข่ายข้อมูลส่วนตัว สามารถแทนการสื่อสารเชื่อมโยงระบบเครือข่ายเข้าด้วยกัน มีลักษณะช่องสัญญาณของการส่งในแต่ละช่องสัญญาณของการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายข้อมูลส่วนตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาผลกระทบของรีโซแนนซ์การบิดในระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของ ชัชชัย อุทัยสิน (2544) พบว่าระบบที่มีอัตราการขยายสูง สามารถลดความไวของระบบต่อสัญญาณรบกวนภายนอกและการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ สอดคล้องกับการทำงานของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ใช้การขยายสัญญาณให้มีความแรงพอที่จะส่งออกไปยังภาคการทำงานต่างๆ อาศัยการรับสัญญาณเข้ามาจากไมโครโฟนซึ่งมีขนาดของสัญญาณเล็กมาก นำมาขยายด้วยทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC560C ชนิด PNP และเบอร์ BC550C ชนิด NPN ถ้าหากใช้ทรานซิสเตอร์ที่สถานะทางไฟฟ้าที่ดีก็จะส่งผลให้คุณภาพของภาคขยายสัญญาณได้ดีด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จีรวัฒน์ ปานกลางและคณะ (2542) ได้ทำการศึกษาวงจรส่งผ่านสัญญาณโดยทรานซิสเตอร์ โครงสร้างแบบ CMOS ที่มีช่องเดินกระแสแบบธรรมดาที่ผิวและช่องทางเดินกระแสแบบรูปตัววี

2. จากการทดสอบเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยผู้วิจัยได้นำเครื่องผลิตสัญญาณขนาดความถี่มาตรฐาน 1 กิโลเฮิร์ตซ์ แรงดัน 1 mVp-p ป้อนเข้าเครื่องที่สร้างขึ้นแล้ววัดระดับสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของ

การทำงานไปทำการเปรียบเทียบกับเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ของบริษัท Eurodesk รุ่น MX 3282A จากประเทศเยอรมันและเครื่องส่งสัญญาณโทรศัพท์ บริษัท Axel technology รุ่น MacroTel 5 จากประเทศอิตาลี ที่มีข้ออยู่ในห้องกระจายเสียงศาลาพระราชศรัทธา โดยกำหนดดังนี้

2.1 ระดับสัญญาณเสียง 4 ช่องสัญญาณ	22	เดซิเบล
2.2 ระดับสัญญาณเสียงสำหรับนำไปบันทึก	+22	เดซิเบล
2.3 ระดับสัญญาณเสียงส่งเข้าภาคโทรศัพท์	22	เดซิเบล
2.4 ระดับสัญญาณแสดงผลของสัญญาณเสียง	22	เดซิเบล
2.5 ระดับสัญญาณเสียงที่ส่งออกไปในสายโทรศัพท์	± 16	เดซิเบล
2.6 ค่าความต้านทานต่อสัญญาณไฟสลับ	100	โอห์ม

ผลปรากฏจากการวัดสัญญาณของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ สามารถใช้งานได้เทียบเท่าเครื่องที่ใช้งานอยู่ในศาลาพระราชศรัทธาได้

3. ในลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนั้น ได้ประเมินด้วยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ทั้งหมด 3 ด้าน คือ ด้านการออกแบบเครื่อง ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน ผลการประเมินค่าเฉลี่ยรวม อยู่ในระดับ ดี ซึ่งจำแนกรายละเอียดของลักษณะทางกายภาพของเครื่องที่สร้างขึ้นดังต่อไปนี้

3.1 ด้านการออกแบบเครื่อง จากการประเมินจำนวน 9 ข้อ ผลการประเมินอยู่ในระดับ ดี ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่า ด้านที่อยู่ในระดับ ดีมาก คือ เป็นนวัตกรรมที่ใช้แก้ไขปัญหาด้านสื่อสารมวลชนได้ และรองลงมาอยู่ในระดับ ดี ตามลำดับคือ ความเหมาะสมในการใช้วัสดุอุปกรณ์สร้าง คุณค่าทางด้านวิศวกรรมการออกแบบ มีความแข็งแรงของโครงสร้าง โทนสีของเครื่อง เหมาะสมกับการใช้งาน ความเรียบร้อยในการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ รูปทรงเหมาะสมกับใช้งาน ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง การใช้เทคโนโลยีในการสร้าง

3.2 ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม จากการประเมินจำนวน 9 ข้อ ผลการประเมินอยู่ในระดับ ดี ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่า ด้านที่อยู่ในระดับ ดีมาก คือ มีการสร้างเครื่องมือใช้อุปกรณ์ราคาประหยัด ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย คาดว่าในอนาคตจะสามารถแก้ไขเพื่อพัฒนาเครื่องได้ และรองลงมาอยู่ในระดับ ดี ตามลำดับ คือ ตรวจสอบข้อเสียจากการใช้งานได้ สามารถแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเครื่องได้ สามารถเปลี่ยนอะไหล่ ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องได้ อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องเปลี่ยน หาได้ง่าย มีจุดตรวจสอบในการบำรุงอุปกรณ์ต่างๆ

3.3 ด้านความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน จากการประเมินจำนวน 9 ข้อ ผลการประเมินอยู่ในระดับ ดี ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่า ด้านที่อยู่ในระดับ ดีมาก คือ มีการเคลื่อนย้ายเครื่องมีความสะดวก ขนาดกะทัดรัดเมื่อเทียบกับเครื่องใช้งานจริง ความเหมาะสมในการนำอุปกรณ์มาใช้งานได้ดี รองลงมาอยู่ในระดับ ดี ตามลำดับ คือ ติดตั้งเครื่องได้ง่ายรวดเร็ว สามารถประกอบใช้ร่วมกับเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ได้ ความเรียบร้อยของการจัดวางแผ่นลายวงจร ภายในเครื่อง การถอดและประกอบเครื่อง ผู้ใช้สามารถทำได้ และรองลงมาอยู่ในระดับ พอใช้ คือ ความสวยงาม เมื่อใช้งานร่วมกับเครื่องอื่น ๆ

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การศึกษาค้นคว้านี้สมบูรณ์ ผู้วิจัยได้เสนอแนะเพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ ๆ ในการศึกษาค้นคว้าในอนาคต ดังนี้

1. ควรมีการจัดทำระบบสำรองไฟ ป้องกันไฟฟ้าดับฉุกเฉิน ภายในตัวเครื่องโดยอาจเป็นแบตเตอรี่แห้งได้
2. เครื่องสร้างขึ้นใช้งานร่วมกับโทรศัพท์อีก 1 เลขหมาย มาเป็นตัวพ่วงต่อสัญญาณ ต่อไปอาจจะสร้างเครื่องโทรศัพท์เป็นชุดเดียวกัน เพื่อให้การใช้งานง่ายขึ้นและมีรูปแบบเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของเครื่อง
3. ในกรณีที่มีความต้องการใช้งานของสัญญาณมากขึ้นกว่าเดิม ควรมีการสร้างชุดผสมสัญญาณเสียงสำรองเพิ่มเติม สำหรับต่อใช้งานได้เลย โดยอาจจะทำให้เป็นจุดต่อเชื่อมต่อไว้ที่แท่นเครื่องก็ได้
4. เพื่อให้เครื่องสามารถใช้งานได้ในอนาคต ควรมีการพัฒนาให้เครื่องสามารถใช้งานได้ ทั้งในระบบบนาล็อกและดิจิตอล ทั้งโทรศัพท์ชนิดไร้สายและมีสายต่อเข้ากับตัวเครื่อง
5. ควรจัดให้มีพอร์ตต่อสัญญาณทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกับโทรศัพท์ดิจิตอลแบบเคลื่อนที่ได้และพ่วงต่อกับระบบคอมพิวเตอร์สามารถที่จะถ่ายโอนข้อมูลได้
6. การทำงานของเครื่องเป็นเวลานาน ทำให้อุปกรณ์เกิดความร้อนส่งผลกระทบต่อการทำงานภายในตัวอุปกรณ์ ทำให้มีอายุการใช้งานสั้นลง จึงควรมีพัดลมดูดอากาศเพิ่มบริเวณด้านข้างหรือด้านหลัง ด้วยก็จะเป็นการรักษาประสิทธิภาพของเครื่องได้เป็นอย่างดี
7. บริเวณตัวกล่องควรจะทำเป็นจุดต่อสัญญาณไฟฟ้า AC หรือ DC เพิ่มเติมเพื่อใช้ในการต่อหลอดไฟฟ้กำลังต่ำ สำหรับใช้งานในที่มืดมีแสงสว่างน้อย
8. จุดต่อของช่องสัญญาณ ควรจัดวางอยู่ด้านบนบนตัวเครื่อง เพื่อจะได้ประหยัดพื้นที่และนำไปใช้งานกับชุดอื่นๆ ได้ดีขึ้นกว่าเดิม

บรรณาธิการ

บรรณานุกรม

- กิดานันท์ มะลิทอง. (2531). *แนวโน้มของการใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา*. หน้า 103. ภาควิชาโสตทัศนศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กมล กลัดคร้าม, กอบชัย เดชหาญ และชาลิน สุวรรณวงศ์. (2544). การนำระบบโทรศัพท์ประยุกต์ร่วม ระบบเครือข่ายข้อมูลส่วนตัว, *วารสารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*. 18 (4) : 67 – 72.
- การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 24*. (2544, 22 – 23 พฤศจิกายน). หน้า 1. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ขรรค์ชัย ตูลละสกุล. (2543). *การออกแบบและสร้างบอร์ดทดลองวงจรดิจิทัลที่สามารถออกแบบวงจรดิจิทัลภายในได้ด้วยเทคโนโลยีไอซีตระกูล XC9500 CPLDs*. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. (ฉบับที่ 4) (2542 , พฤศจิกายน – 2543 , เมษายน). หน้า 84 – 88.
- ขรรค์ชัย ตูลละสกุล และคณะ. (2543). *การออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกข้อมูลการใช้งานโทรศัพท์*. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. (ฉบับที่ 4) (2542 , พฤศจิกายน – 2543 , เมษายน). หน้า 89 – 95.
- เจน สงสมพันธ์ และคณะ. (2544, มิถุนายน). *รวมโครงการอิเล็กทรอนิกส์ การประกอบวงจรด้วยตัวเอง*. หน้า 37 – 51. สถาบันอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพวังสิด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : เม็ดทรายพรินต์ติ้ง จำกัด.
- วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. (2542). วงจรส่งผ่านข้อมูลโดยใช้ทรานซิสเตอร์โครงสร้างแบบ VCMOIS. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2 (3) : 93 – 105.
- วิศวกรรมสาร มก*. (2544, สิงหาคม – พฤศจิกายน). การศึกษาผลกระทบของรีโซแนนซ์การบิดในระบบควบคุมการเคลื่อนที่. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 15 (44) : 111 – 119.
- วิสาข์ เกษประทุม. (2539). *ความน่าจะเป็นและสถิติเบื้องต้น*. หน้า 229. กรุงเทพฯ : วิสิทธิ์พัฒนา จำกัด.
- ประสิทธิ์ ทิมพุด. (2542?). *การสื่อสารโทรคมนาคม*. หน้า 23 – 24. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ : เม็ดทรายพรินต์ติ้ง จำกัด.
- ชนภัทร ภูริพิทักษ์. (2545, พฤษภาคม). *เครื่องเสียง ภาคทฤษฎี*. หน้า 37 – 244. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สยามสปอร์ต ซินดิเคท จำกัด.
- สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. (2545, สิงหาคม). *ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น*. หน้า 147 – 174. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น). พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ : ที เอส บี โปรดักส์ จำกัด.
- นภัทร วัฒนเทพินทร์. (2545, เมษายน). *เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์*. หน้า 7 – 304. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สยามสปอร์ต ซินดิเคท จำกัด.
- ปราโมทย์ จามรวีเชียร. (2545?). *อิเล็กทรอนิกส์โปรเจกต์ โครงงานสร้าง*. หน้า 18 – 29. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- บุญธรรม กิจปรีดาภิรุทธิ์. (2534). *เทคนิคการสร้างเครื่องมีอรวรรณข้อมูลสำหรับการวิจัย*. หน้า 106 - 108. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ B&B Publishing.

- ยุทธชัย ศิลปวิจารณ์ และคณะ. (2544, พฤษภาคม). วงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์และกระแสฮาร์โมนิกต่ำที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ไดโอดเรียงกระแสด้านเข้า. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล*. 2 (2) : 19 – 44 .
- รวีวรรณ ชินะตระกูล. (2538). *วิธีวิจัยการศึกษา*. หน้า 92. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ภาพพิมพ์.
- อภิรักษ์ มัณยานนท์. (2540). *การสื่อสารเส้นใยแสง*. หน้า 1. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อำนาจ ทวีแสงรุ่งโรจน์ และเอก ไชยสวัสดิ์. (2545). การกรองเสียงสะท้อนภายในห้องออกจากสัญญาณโดยตัวกรองผกผัน. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 2 (3) : 23 – 29.
- Allen & Heath. (2002). *GL3300 dual function audio mixing console*. P.9 – 18.
- Behringer.(1997,July). Eurudesk MX3282A : *The following operations and installation arrangements have to be presumed*. Unpaged.
- Gentner DH20/DH22. (1997, June). *Installation and operations manual*. P.7 - 8.
- Kirk J. Strozewski, Sterling E. McBride & Drover C. Wetsel. (1992, July). *High frequency surface displacement detection using an STM as a mixer demodulation : Ultramicroscopy*. volume 42 – 44. part 1 : 388 – 392.
- K.Y. Constantinian and other. (2002, August). *Voltage – tunable YBCO Josephson mixer, operating in self – pumping mode at 750 – 970 GHz : Superconductivity*. volume 372 – 376. part 1 : 420 – 422.
- Macrotel 5-7-9 studio telephone hybrid. (2001). *Operating manual Axel technology*. p.6 – 7.
- Neil Gandai, David salant & Leonard Waverman. (2003, June-July). *Standard in wireless telephone networks : Service and technology wars*. volume 27. Issues 5 – 6 : 325 - 332.
- Renjen & Sanjeev. (1983). *Rapid acquisition of telephone line channel for high speed data transmission without using training sequences : Dissertation abstracts international Thesis, Ph.D. (0544 Engineering, electronics and electrical)*. University of illinois at urbana – champaign.
- [www.bmm_electronics.com/Data sheet.asp](http://www.bmm_electronics.com/Data%20sheet.asp)
- www.geocities.com/rsstudent2002
- www.ku.ac.th/magazine_online/ict_1.html
- www.st.com
- www.sciencedirect.com/science?ob=ArticleURL&_aset
- www.thailis.uni.net.th/dao/printarticles.nsp

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
หนังสือขอความร่วมมือในงานวิจัย

ที่ ศธ 0519.12/๒๕๕๕



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๔ ธันวาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน รองศาสตราจารย์เฉลิมศรี จันทร์อ่อน

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายสุวัตรกร อุคมวัฒนาถาวร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์” โดยมี อาจารย์อุทัย สุวคันธกุล และ อาจารย์สุดใจ เหง้าสีไพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบแบบประเมินเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบประเมิน ให้
นายสุวัตรกร อุคมวัฒนาถาวร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภภรณ์ หะวานนท์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-6583885 มือถือ 09-1136567

ที่ ศธ 0519.12/๖๘๕๔



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๔ ธันวาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อธิการบดีมหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบวงจรรออิเล็กทรอนิกส์

เนื่องด้วย นายสุวัชรกร อุดมวัฒนาถาวร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์สุดใจ เหง้าสีไพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ลิขสิทธิ์ ทองเพ็ญ ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบวงจรรออิเล็กทรอนิกส์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบวงจรรออิเล็กทรอนิกส์ ให้ นายสุวัชรกร อุดมวัฒนาถาวร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภภรณ์ หะวานนท์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-6583885 มือถือ 09-1136567

ที่ ศธ 0519.12/ ๐๔๐๙



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๓ มกราคม 2547

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้จัดการฝ่ายขาย บริษัท เอ็นเบส (ไทยแลนด์) จำกัด

เนื่องด้วย นายสุวัตรกร อุคมวัฒนาถาวร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์สุดใจ เหง้าสีไพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องผสมสัญญาณฯ ให้ นายสุวัตรกร อุคมวัฒนาถาวร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภภรณ์ หะวานนท์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-6583885 มือถือ 09-1136567

ที่ ศธ 0519.12/๑๔/๑



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๓ มกราคม 2547

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน นายสมชาติ อุปสิดา วิศวกรงานระบบสื่อสาร สถานีดาวเทียมไทยคม

เนื่องด้วย นายสุวัชรกร อุดมวัฒนาถาวร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์สุดใจ เห่งสำเภา เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องผสมสัญญาณฯ ให้ นายสุวัชรกร อุดมวัฒนาถาวร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภภรณ์ หะวานนท์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-6583885 มือถือ 09-1136567

ที่ ศธ 0519.12/7856



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๔ ธันวาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คุณอัมพร สวัสดิ์ยากร SENIOR CUSTOMER MANAGEMENT TECHNICAL SUPPORT MANAGER

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบวงจรรีเลกทรอนิกส์

เนื่องด้วย นายสุวัชรกร อุดมวัฒนาถาวร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์สุดใจ เห่งสีไพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายกุส สองทิศ CORPRATE & VID TECHNICAL SUPPORT MANAGER เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบวงจรรีเลกทรอนิกส์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบวงจรรีเลกทรอนิกส์ ให้ นายสุวัชรกร อุดมวัฒนาถาวร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพร หะวานนท์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-6583885 มือถือ 09-1136567

ที่ ศธ 0519.12/๓๕11



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๑๓ มกราคม 2547

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น

เนื่องด้วย นายสุวัชรกร อุดมวัฒนาถาวร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์สุคใจ เห่งสีไพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์บุญสืบ ทองคำพริ้ว เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องผสมสัญญาณฯ ให้ นายสุวัชรกร อุดมวัฒนาถาวร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นายแพทย์ หนะวานนท์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-6583885 มือถือ 09-1136567

ที่ ศธ 0519.12/๔48 4



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

19 มกราคม 2547

เรื่อง ขอใช้สถานที่และอุปกรณ์

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม

เนื่องด้วย นายสุวัตรกร อุคมวัฒนาถาวร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์สุคใจ เห่งสีไพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความประสงค์จะขอใช้ห้องเครื่องมือวัด ดังนี้ 1) มัลติมิเตอร์ 2) ออสซิลโลสโคป 3) เจเนอเรเตอร์ และทดสอบวิเคราะห์สัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยมี อาจารย์ทองใส คำบาง อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ เป็นผู้ช่วยวิจัยและทดสอบเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม 2547

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ นายสุวัตรกร อุคมวัฒนาถาวร ได้ใช้สถานที่และอุปกรณ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นายแพทย์ หะวานนท์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-6583885 มือถือ 09-1136567

E.U. • คุณวุฒิ • คุณธรรม • คุณภาพ



มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

NORTH EASTERN UNIVERSITY

199/19 ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

โทร. (043) 222959, 222960, 222961, 226823, 226826

<http://www.neu.ac.th>

ที่ ม.ภ.น. 030/2547

13 มกราคม 2547

เรื่อง ยินดีเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

อ้างถึง หนังสือที่ ศธ.0519.12/2547 ลงวันที่ 4 ธันวาคม 2546

ตามหนังสือที่อ้างถึง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ขอความอนุเคราะห์
บุคลากร ของมหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบวงจร
อิเล็กทรอนิกส์ ให้ นายสุวัตรกร อุคมวัฒนาถาวร นั้น

มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีความยินดีและอนุญาตให้ นายลิขสิทธิ์ ทองเพ็ญ
ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ให้กับ
บุคคลดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิวะศิษย์ ชำของ)

อธิการบดี

สำนักงานอธิการบดี

โทรศัพท์ 043-222959-61 ต่อ 436

โทรสาร 043-226824

ภาคผนวก ข
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในงานวิจัย

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในงานวิจัย

การออกแบบวงจร ตรวจสอบและประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

1. รศ. ดร. เฉลิมศรี จันทร์อ่อน ผู้เชี่ยวชาญด้าน ตรวจสอบประเมิน
ประสบการณ์ ด้านภาษาการแปลและเรียบเรียง
ตำแหน่ง อาจารย์ประจำภาควิชาอักษรศาสตร์
สถานที่ทำงาน คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. นายลิขสิทธิ์ ทองเพ็ญ ผู้เชี่ยวชาญด้าน การออกแบบวงจร
ประสบการณ์ ระบบสารสนเทศ อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ตำแหน่ง ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถานที่ทำงาน มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
3. นายกุศ สองทิศ ผู้เชี่ยวชาญด้าน การออกแบบวงจร
ประสบการณ์ ควบคุมติดตั้งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ภูมิภาค ของการสื่อสาร
แห่งประเทศไทย วิศวกรระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่
ตำแหน่ง CORPORATE & VIP TECHNICAL SUPPORT MANAGER
สถานที่ทำงาน บริษัท ทีเอ ออเรนจ์ รีเทล จำกัด
4. นายเกรียงไกร โสมนิล ผู้เชี่ยวชาญด้าน ประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่อง
ประสบการณ์ การออกแบบติดตั้งและประเมินตรวจสอบระบบอิเล็กทรอนิกส์
ตำแหน่ง ผู้จัดการฝ่ายขาย
สถานที่ทำงาน บริษัท เอ็น เบส (ไทยแลนด์) จำกัด
5. นายบุญสืบ ทองกำพร้าว ผู้เชี่ยวชาญด้าน ประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่อง
ประสบการณ์ งานโทรคมนาคม ออกแบบติดตั้งระบบเสียงและโทรศัพท์
ตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 7
สถานที่ทำงาน ภาควิชาไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น
6. นายสมชาติ อุปสีดา ผู้เชี่ยวชาญด้าน ประเมินลักษณะทางกายภาพของเครื่อง
ประสบการณ์ ระบบสื่อสาร (Fiber Optic ,Microwave, Satellite
transponder downlink.)
ตำแหน่ง วิศวกรงานระบบสื่อสาร
สถานที่ทำงาน สถานีดาวเทียมไทยคม ปทุมธานี

ภาคผนวก ค

แบบประเมินและทดสอบเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

แบบประเมิน เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ที่สร้างขึ้น

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานะของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ 3 ด้าน ดังนี้

1. ด้านการออกแบบเครื่อง
2. ด้านการบำรุงรักษา
3. ด้านความสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ

วัตถุประสงค์ของการประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการประกอบการวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ ในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ มีความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ มากน้อยเพียงใด

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวข้องกับสถานะของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ

กรุณาเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในกรอบ ☐ หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และ/หรือ ข้อความ ลงในช่องว่างที่กำหนดให้

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ ปี

3. ระดับการศึกษา

☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี

☐ ปริญญาตรี

☐ ปริญญาโท

☐ ปริญญาเอก

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)

4. ประสบการณ์ในสาขาที่เกี่ยวข้อง..... ปี ในด้าน (เลือกได้มากกว่า 1 ด้าน)

☐ วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

☐ วิศวกรรมไฟฟ้าโทรคมนาคม

☐ ออกแบบติดตั้งระบบโทรศัพท์

☐ โทรคมนาคมและการสื่อสาร

☐ ระบบเสียง และการกระจายเสียง

☐ เทคโนโลยีสารสนเทศและคอมพิวเตอร์

☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ)

5. ตำแหน่งหน้าที่ในหน่วยงาน

.....

.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ ทางด้านคุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ทั้ง 3 ด้าน กรณียกเว้น เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่าจำนวน 5 ระดับ หลังจากการทดสอบการใช้งานของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ โดยกำหนดค่าคะแนนแต่ละระดับ ดังนี้คือ

ระดับ 5 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

ระดับ 4 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดี

ระดับ 3 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย

ระดับ 1 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อยมาก

แบบตรวจประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ
ลักษณะทางกายภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

รายละเอียดการประเมิน		5	4	3	2	1
		ดีมาก	ดี	ปานกลาง	น้อย	น้อยมาก
1 ด้านการออกแบบเครื่อง						
1.1	ความแข็งแรงของโครงสร้าง					
1.2	รูปทรงเหมาะกับการใช้งาน					
1.3	โทนสีของเครื่อง เหมาะสมต่อการใช้งาน					
1.4	ความเรียบร้อยในการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ					
1.5	ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง					
1.6	ความเหมาะสมในการใช้วัสดุ อุปกรณ์ สร้าง					
1.7	คุณค่าทางด้านวิศวกรรมในการออกแบบ					
1.8	เป็นนวัตกรรมที่ใช้แก้ไขปัญหาด้านสื่อสารมวลชนได้					
1.9	การใช้เทคโนโลยีในการสร้างเครื่องมือ					
2 ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม						
2.1	สามารถเปลี่ยน อะไหล่ ชิ้นส่วน ต่างๆ ของเครื่องได้					
2.2	ตรวจสอบแก้ไข ข้อเสียจากการใช้งานได้					
2.3	สามารถแยกส่วนประกอบ ต่างๆ ภายในเครื่องได้					

รายละเอียดการประเมิน		5	4	3	2	1
		ดีมาก	ดี	ปานกลาง	น้อย	น้อยมาก
2.4	การสร้างเครื่องมือใช้อุปกรณ์ราคาประหยัด					
2.5	มีจุดตรวจสอบในการบำรุงอุปกรณ์ต่างๆ					
2.6	การซ่อมแซมแก้ไขจุดเสียของเครื่องได้					
2.7	ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่อง					
2.8	อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องเปลี่ยน หาได้ง่าย					
2.9	คาดว่าในอนาคตจะสามารถแก้ไขเพื่อพัฒนาเครื่องได้					
3 ด้านความสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน						
3.1	ติดตั้งเครื่องได้ง่ายรวดเร็ว					
3.2	การเคลื่อนย้ายเครื่อง มีความสะดวก					
3.3	การถอดและประกอบเครื่อง ผู้ใช้สามารถทำได้					
3.4	ขนาดกะทัดรัดเมื่อเทียบกับเครื่องใช้งานจริง					
3.5	ความเหมาะสมในการนำอุปกรณ์มาใช้งานได้ดี					
3.6	สามารถประกอบใช้ร่วมกับเครื่องมือชนิดต่างๆ ได้					
3.7	ความเรียบร้อยของจัดวางแผ่นลายวงจร ภายในเครื่อง					
3.8	มีความสวยงาม เมื่อใช้งานร่วมกับเครื่องมืออื่น ๆ					
3.9	มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร					

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ชำนาญการ

1. ด้านการออกแบบเครื่อง

2. ด้านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม

3. ด้านความสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน

4. อื่น ๆ

ลงชื่อ

(.....)

ตำแหน่ง

วันที่ เดือน พ.ศ.

ใบทดสอบวิเคราะห์สัญญาณ
การออกแบบและสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
โดย. นายสุวัชรกร อุดมวัฒนาถาวร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รายละเอียดการทดสอบวิเคราะห์สัญญาณ

ลำดับ	รายการทดสอบ	ระดับสัญญาณ	
		ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้
1	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 1 (MIC 1)	-	
2	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 2 (MIC 2)	-	
3	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 3 (AUX 1)	-	
4	ระดับสัญญาณเสียงช่องสัญญาณที่ 4 (AUX 2)	-	
5	ระดับสัญญาณเสียงสำหรับนำไปบันทึก (Record)	+22 dB	
6	ระดับสัญญาณเสียงส่งเข้าภาคโทรศัพท์ (Unbalance)	22 dB	
7	ระดับสัญญาณแสดงผลของสัญญาณเสียง (Unbalance)	22 dB	
8	ระดับสัญญาณเสียงที่ส่งออกไปในสายโทรศัพท์ (Signal output)	± 16 dB	
9	ค่าความต้านทานต่อสัญญาณไฟสลับ	100 โอห์ม	

ผลการวิเคราะห์

ลงชื่อ ผู้ทดสอบวิเคราะห์
(.....)
..... / /

ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้งานเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

SIGNAL MIXER THROUGH TELEPHONE LINE

INSTALLATION AND
OPERATION MANUAL

M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY

SIGNAL MIXER
THROUGH TELEPHONE LINE
INSTALLATION AND OPERATION MANUAL

**GRADUATE SCHOOL INDUSTRIAL EDUCATION
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY**

**MANUAL DEVELOPMENT BY
SUWATCHARAKRON UDOMWATTANATHAVORN**

FEBRUARY , 2004

คู่มือการใช้งาน
เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

สารบัญ

ลำดับที่		หน้า
1	คำแนะนำเบื้องต้น	108
2	คุณสมบัติโดยทั่วไป	108
3	ส่วนประกอบโดยทั่วไป	109
4	อุปกรณ์และสายเชื่อมต่อสัญญาณ	110
5	วิธีการติดตั้งและการใช้งาน	112
6	วิธีการบำรุงรักษา	115
7	คำแนะนำเพิ่มเติม	115

ลำดับ

เรื่อง

รายละเอียด

- 1 คำแนะนำเบื้องต้น
- การใช้งานของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ มีหลักการทำงานโดยการผสมสัญญาณเสียงที่ต้องการจำนวน 4 ช่องสัญญาณ ดังนี้ สัญญาณไมโครโฟน 2 ช่องสัญญาณ และ สัญญาณจากแหล่งอื่น ๆ อีก 2 ช่องสัญญาณ เพื่อต่อเข้ากับ เครื่องเทป ซีดี ฯลฯ หลังจากนั้นจะส่งต่อไปยังภาคโทรศัพท์เพื่อผ่านเข้าไปในสายโทรศัพท์ไปยังปลายทางที่ต้องการ การทำงานของเครื่องนี้จะใช้กับการจัดรายการวิทยุโดยทั่วไป ทั้ง ภาค เอ เอ็ม และ เอฟ เอ็ม สามารถที่จะดำเนินรายการด้วยตัวเองได้ เพราะการใช้งานของเครื่องง่ายต่อการใช้งาน สะดวกไม่ซับซ้อน เหมาะสำหรับนักจัดรายการ หรือ พระภิกษุ จัดรายการธรรมะเทศนา ในวัดต่างๆ ที่ไม่สะดวกในการเดินทาง หรือ สาเหตุอื่นที่ไม่สามารถดำเนินรายการที่สถานีวิทยุได้ จึงเป็นเหตุทำให้มีการสร้างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์นี้ขึ้นมาใช้งานต่อไป

วัตถุประสงค์ของคู่มือใช้งาน

คู่มือชุดนี้ได้ออกแบบสร้างขึ้นสำหรับประกอบการใช้งานกับเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ในด้านต่าง ๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ประกอบ ติดตั้ง ใช้งานได้ด้วยตนเอง และแก้ไขปัญหาบางประการ ตลอดจนคำแนะนำ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น หากท่านไม่เข้าใจในหัวข้อต่างๆ กรุณาสอบถามช่างผู้ชำนาญ โดยมีประสิทธิภาพของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ตามคุณสมบัติของเครื่องในลำดับต่อไป

- 2 คุณสมบัติโดยทั่วไป
- เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ได้ออกแบบให้มีการใช้งานง่าย และเท่าที่จำเป็นภายในเครื่องเดียวกัน ผู้ใช้สามารถเข้าใจได้ง่าย ไม่ซับซ้อนมากนัก โดยมีคุณสมบัติของเครื่องดังนี้

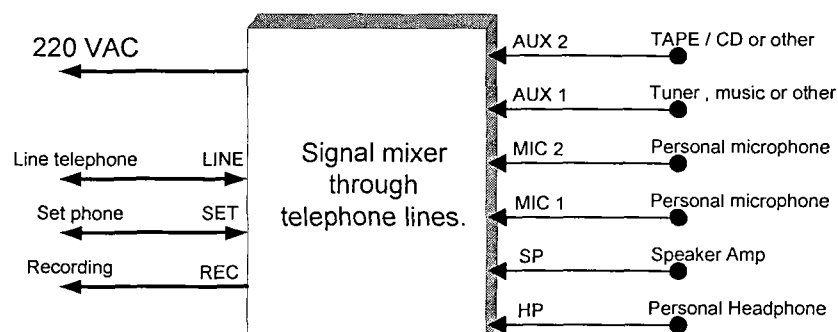
- 2.1 สามารถปรับระดับความแรงของสัญญาณเสียง ตลอดจนการปรับแต่งสัญญาณเสียงแต่ละช่องสัญญาณ ได้ทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณ
- 2.2 สามารถนำเอาสัญญาณทั้งหมดที่ส่งออกไป นำไปเข้าเครื่องบันทึกเสียงได้ เช่น เครื่องบันทึกเทป เครื่องคอมพิวเตอร์ อื่น ๆ เป็นต้น
- 2.3 แสดงระดับสัญญาณเสียงที่ส่งออก แสดงระดับของสัญญาณโดยหลอดแอลอีดี
- 2.4 ระดับของสัญญาณเสียงที่ส่งออกไป อยู่ที่ระดับ +/-16 dB ที่ความต้านทาน 100 โอห์ม

ลำดับ

เรื่อง

รายละเอียด

3

ส่วนประกอบ
โดยทั่วไปส่วนประกอบต่างของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ อธิบายหน้าที่
การทำงานได้ดังนี้

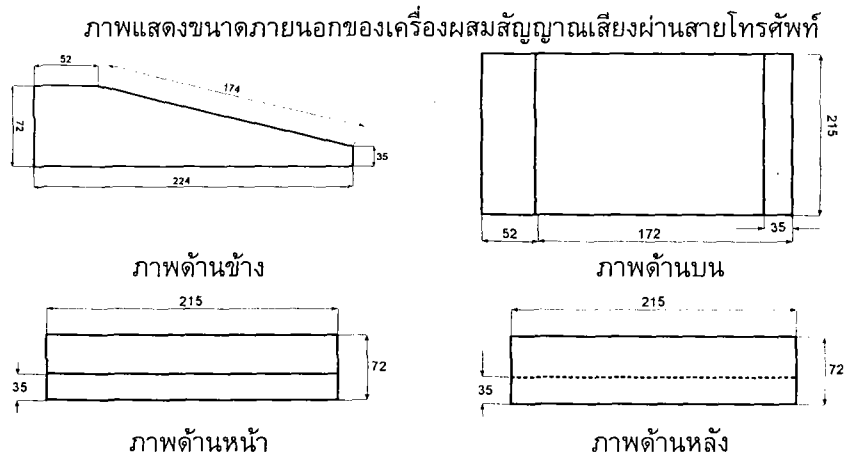
ภาพแสดงส่วนประกอบต่างๆ

คำย่อ	คำอธิบาย
Line	คือสายโทรศัพท์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างกล่องโทรศัพท์ (Line telephone) กับเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์
Set	คือสายโทรศัพท์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์กับเครื่องโทรศัพท์ (Set phone)
REC	คือจุดต่อสัญญาณเสียงสำหรับนำไปยังเครื่องบันทึกเสียง (Recording) ในเครื่องต่าง ๆ เช่น เทป ซีดีเพลง อื่นๆ เป็นต้น
AUX 1,2	คือจุดต่อสัญญาณที่เข้ามาในแต่ละช่องสัญญาณเสียง เพื่อส่งต่อไปผสมสัญญาณเสียง (ช่อง AUX 1 และ AUX 2)
MIC 1,2	คือจุดต่อสัญญาณจากไมโครโฟน (MIC 1 และ MIC 2) เพื่อแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า
SP	คือจุดต่อเพื่อเสียบต่อเข้ากับลำโพงหรือเครื่องขยายเสียงเพื่อฟังสัญญาณเสียงที่ส่งออกไปในสายโทรศัพท์
HP	คือจุดต่อหูฟังเพื่อฟังสัญญาณเสียงที่จะส่งออกไปในสายโทรศัพท์
220VAC	คือ ไฟฟ้าตามบ้านที่ใช้จ่ายเข้าเครื่อง ที่แรงดัน 220 โวลท์ เอซี
Gain	ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้แรงพอหรือเหมาะสมตามต้องการแล้วส่งเข้าไปปรับคุณภาพเสียงต่อไป ส่วนมากจะอยู่บนสุดของเครื่อง
EQ	ทำหน้าที่ปรับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามาเพื่อปรับความถี่เสียงให้สมดุลตามต้องการ โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ High เป็นปุ่มปรับให้ได้สัญญาณเสียงแหลม Mid เป็นปุ่มปรับให้ได้สัญญาณเสียงกลาง Low เป็นปุ่มปรับให้ได้สัญญาณเสียงทุ้ม
VU Meter	ทำหน้าที่แสดงระดับสัญญาณเสียง ที่จะส่งออกไปในสายโทรศัพท์

ลำดับ

เรื่อง

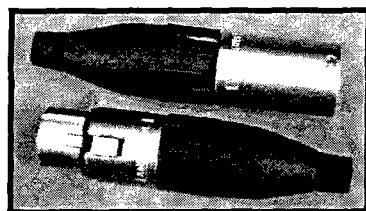
รายละเอียด



4 อุปกรณ์และ สายเชื่อมต่อ สัญญาณ

ในการเข้าสายของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ของสัญญาณ แต่ละเส้นไม่ว่าจะเป็นสัญญาณเข้าหรือ ออกของเครื่อง จะต้องใช้คอนเน็กเตอร์ (Conector) ต่อสัญญาณและเทียบสัญญาณให้ถูกต้องเสมอ เพราะอาจจะทำให้เกิด ปัญหาทางเดินของเสียงและสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา โดยเฉพาะเฟสของ สัญญาณทำให้เกิดเสียงออกมาไม่สมบูรณ์ ไม่ได้คุณภาพตามต้องการหรือไม่มีเสียงออก มาที่เอาพุตของเครื่อง ผู้ใช้งานจำเป็นต้องศึกษารายละเอียดและเรียนรู้พอสมควร สิ่ง ที่สำคัญได้แก่ คอนเน็กเตอร์ (Conector) แบบ XLR , คอนเน็กเตอร์ (Conector) แบบ TRS , คอนเน็กเตอร์ (Conector) แบบ TS และ คอนเน็กเตอร์ (Conector) แบบ RCA เป็นต้น แสดงรูปภาพโดยทั่วไปและโครงสร้างในลำดับต่อไป

คอนเน็กเตอร์ แบบ เอ็กซ์แอลอาร์ (Conector XLR type)



คอนเน็กเตอร์ (Conector) แบบนี้จะมียู 2 ลักษณะเฉพาะ คือ ตัวผู้ จะใช้ต่อ เข้ากับไมโครโฟน และ ตัวเมีย จะใช้ต่อกับแท่นเครื่องต่างๆ โดยคอนเน็กเตอร์ (Conector) แบบนี้จะมีลักษณะเด่น เมื่อต่อแล้วจะมีเดือยติดกับคู่ทำให้จุดต่อสายไม่หลุด ออกจากกันได้ง่าย และ การเดินสายในระยะไกล ๆ นั้น จะมีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน เกิดขึ้น การต่อสายแบบนี้ก็สามารถลดปัญหานี้ลงได้ดี คอนเน็กเตอร์ (Conector) แบบ XLR จะมีขาใช้งานอยู่ 3 ขา คือดังจะอธิบายต่อไป

ขาที่ 1 ต่อเข้ากับกราวด์ หรือ สายชิลด์ (SHIELD)

ขาที่ 2 ต่อเข้ากับสัญญาณบวก (HOT)

ขาที่ 3 ต่อเข้ากับสัญญาณขั้วลบ (COLD)

ลำดับ

เรื่อง

รายละเอียด

การต่อคอนเน็กเตอร์ (Conector) สามารถทำได้ดังรูป คือ



คอนเน็กเตอร์ XLR แบบมีตัวล็อกและการเข้าสาย

1= Ground/Screen

2= Hot (+ve)

3= Cold (-ve)



For unbalanced use connect pins 1 and 3

คอนเน็กเตอร์ (Conector) XLR แบบ ตัวผู้



คอนเน็กเตอร์ XLR แบบธรรมดาและการเข้าสาย

1= Ground/Screen

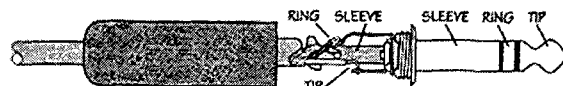
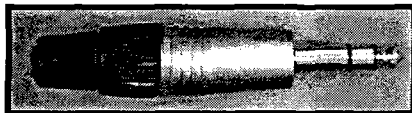
2= Hot (+ve)

3= Cold (-ve)



For unbalanced use connect pins 1 and 3

คอนเน็กเตอร์ (Conector) XLR แบบ ตัวเมีย

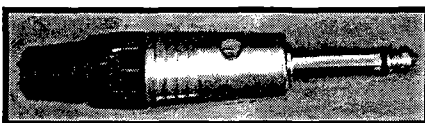


คอนเน็กเตอร์ แบบ ทีอาร์เอส โฟน (Conector TRS phone type)
ปลั๊กและแจ๊คแบบ TRS จะเป็นการต่อแบบ สเตอริโอ หรือแบบบาลานซ์ (Stereo - Balanced) โดยมีการต่อใช้งานอยู่ด้วยกัน 3 ขา คือ

อักษร T ย่อมาจาก Tip

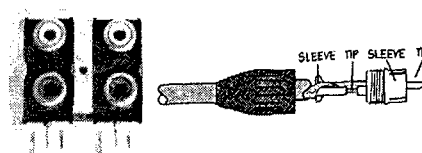
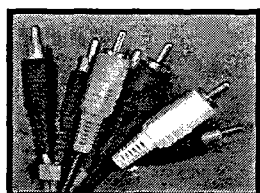
อักษร R ย่อมาจาก Ring

อักษร S ย่อมาจาก Sleeve



คอนเน็กเตอร์ แบบทีเอส โฟน (Conector TS phone type)
 คอนเน็กเตอร์ (Conector) ที่เป็นแบบ TS จะเป็นการต่อแบบ โมโน (Mono) หรือ แบบ
 อัลบาลานซ์ (Mono - Unbalanced) โดยมีขาสำหรับใช้งานอยู่ 2 ขาคือ

อักษร T ย่อมาจาก Tip	อักษร S ย่อมาจาก Sleeve
----------------------	-------------------------



คอนเน็กเตอร์แบบอาร์ซีเอ (Conector RCA type)

ปลั๊กชนิด RCA หรือ ปลั๊กโฟโน (Phono plug) เป็นสายที่ใช้ต่อจากเครื่องเล่นเทป , เครื่องเล่นซีดี หรือระบบสัญญาณจากส่วนต่างๆ โดยจะมีรหัสของหัวปลั๊กและแจ๊คแยก สัญญาณเอาไว้อย่างชัดเจน เช่น สีแดง สีดำและสีขาว ใช้สำหรับสัญญาณเสียง ซ้าย ขวา สีเหลืองใช้สำหรับสัญญาณภาพเป็นต้น ปลั๊กและแจ๊ค แบบ RCA มีรูปแบบการใช้งานของสัญญาณ แบบอับบาลานซ์ (Unbalanced) เช่นเดียวกัน กับแบบ TS Phone

5 วิธีการติดตั้ง และการใช้งาน

การติดตั้งเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ และ
การใช้งานได้ดี มีคุณภาพของสัญญาณ ผู้ใช้ควรปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1 เสียบสายไมโครโฟนและสายเสียบสัญญาณต่อจากเครื่องต่างๆ เข้ากับเครื่อง

5.2 ปรับปรุงที่ต้องการกระจายเสียงออก และเสียบสายหูฟังหรือลำโพง สำหรับฟังเสียง

5.3 ต่อสายโทรศัพท์ระหว่างเครื่องโทรศัพท์และเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

5.4 เปิดสวิตช์ไฟฟ้า 220 VAC ที่แทนเครื่อง

5.5 ทดลองใช้งาน ดังนี้

5.5.1 เปิดสวิตช์ไฟฟ้า 220 VAC ที่เครื่องต่าง ๆ เช่น เครื่องเล่นเทป เครื่องซีดี เป็นต้น

5.5.2 เปิดสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ที่ต้องการทดสอบ เช่น ไมโครโฟน
เทพ ชีดี เป็นต้น

5.5.3 เปิดสวิตซ์ไฟฟ้า 220 VAC ที่แทนเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

5.5.4 ปรับสัญญาณที่ MAIN OUT เพื่อส่งออกไปในสายโทรศัพท์ และ MON/SP เพื่อตรวจฟังเสียงที่ส่งออกไปในสายโทรศัพท์

5.5.5 ต่อสายสัญญาณโทรศัพท์เข้าเครื่องโทรศัพท์และเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ หลังจากนั้นฟังสัญญาณที่โทรศัพท์

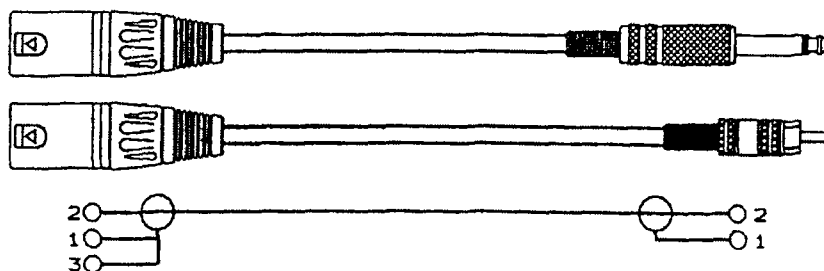
5.5.6 กดต่อสัญญาณโทรศัพท์ตามเบอร์โทรศัพท์ของสถานีวิจัยนั้นๆ ที่ต้องการต่อไป

ลำดับ

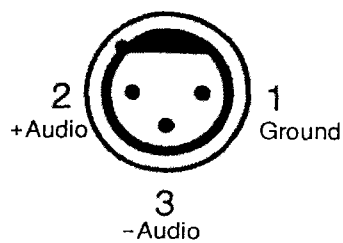
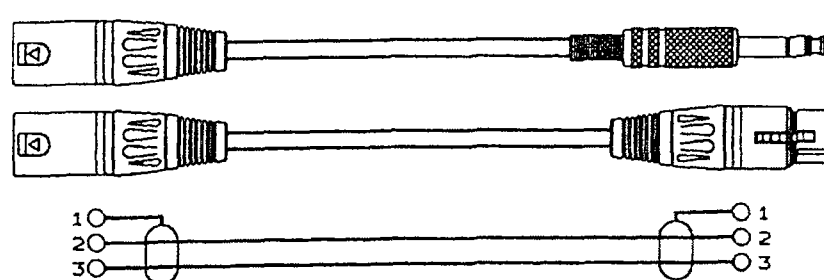
เรื่อง

รายละเอียด

สายแบบ อับบาลานซ์ (Unbalanced connection)



สายแบบ บาลานซ์ (Balanced connection)



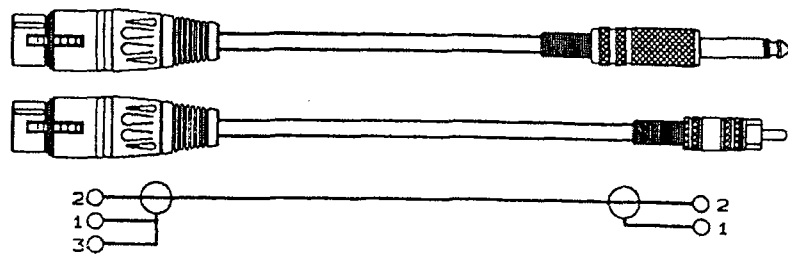
ตัวอย่างการต่อสาย แบบ XLR ตัวเมีย

ลำดับ

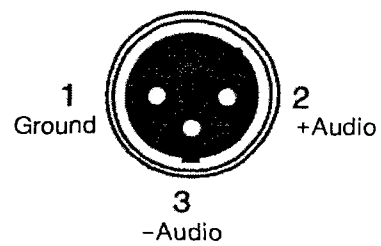
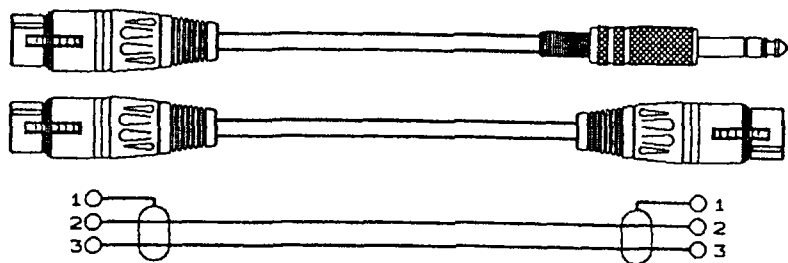
เรื่อง

รายละเอียด

สายแบบ อับบาลานซ์ (Unbalanced connection)



สายแบบ บาลานซ์ (Balanced connection)

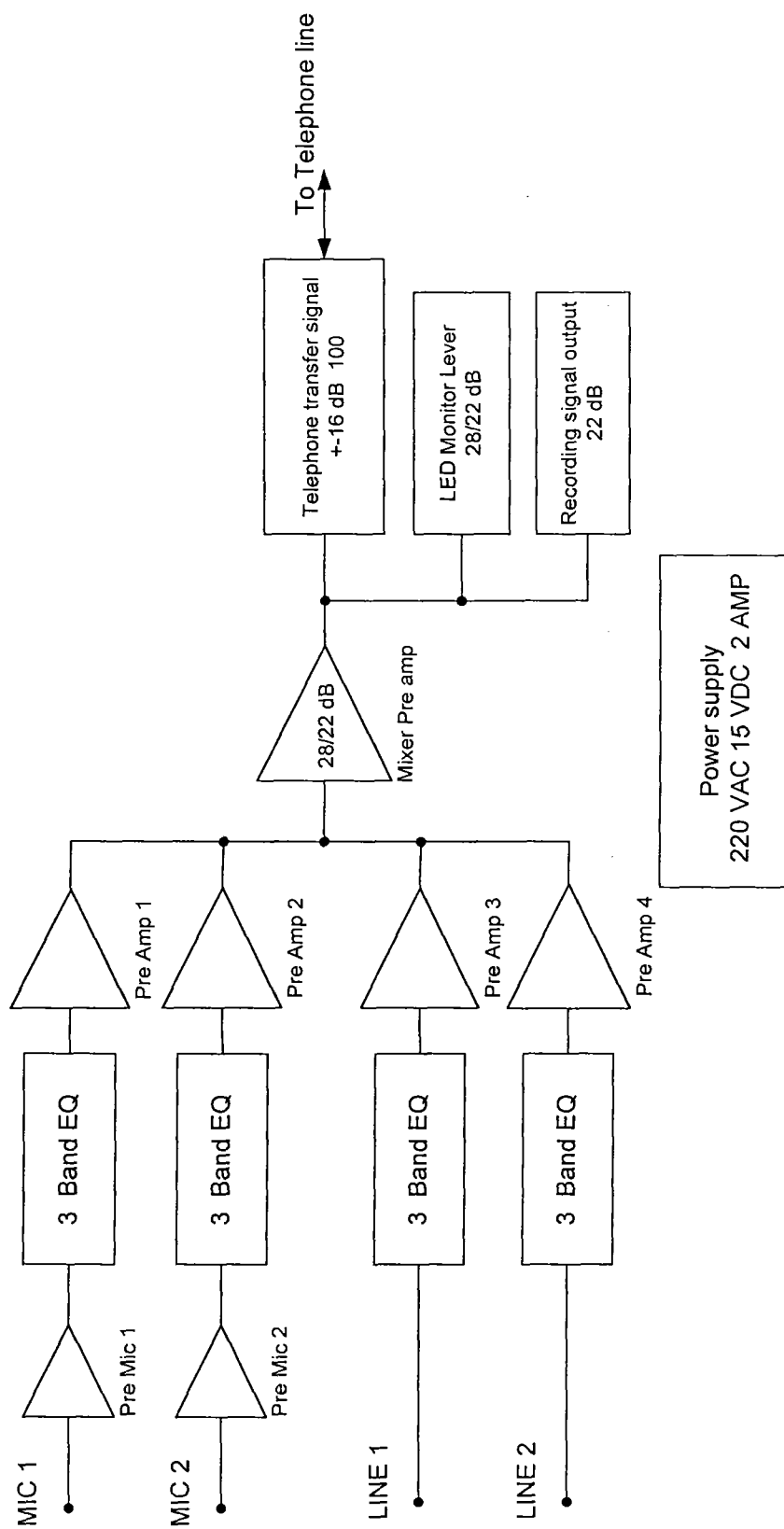


ตัวอย่างการต่อสาย แบบ XLR ตัวผู้

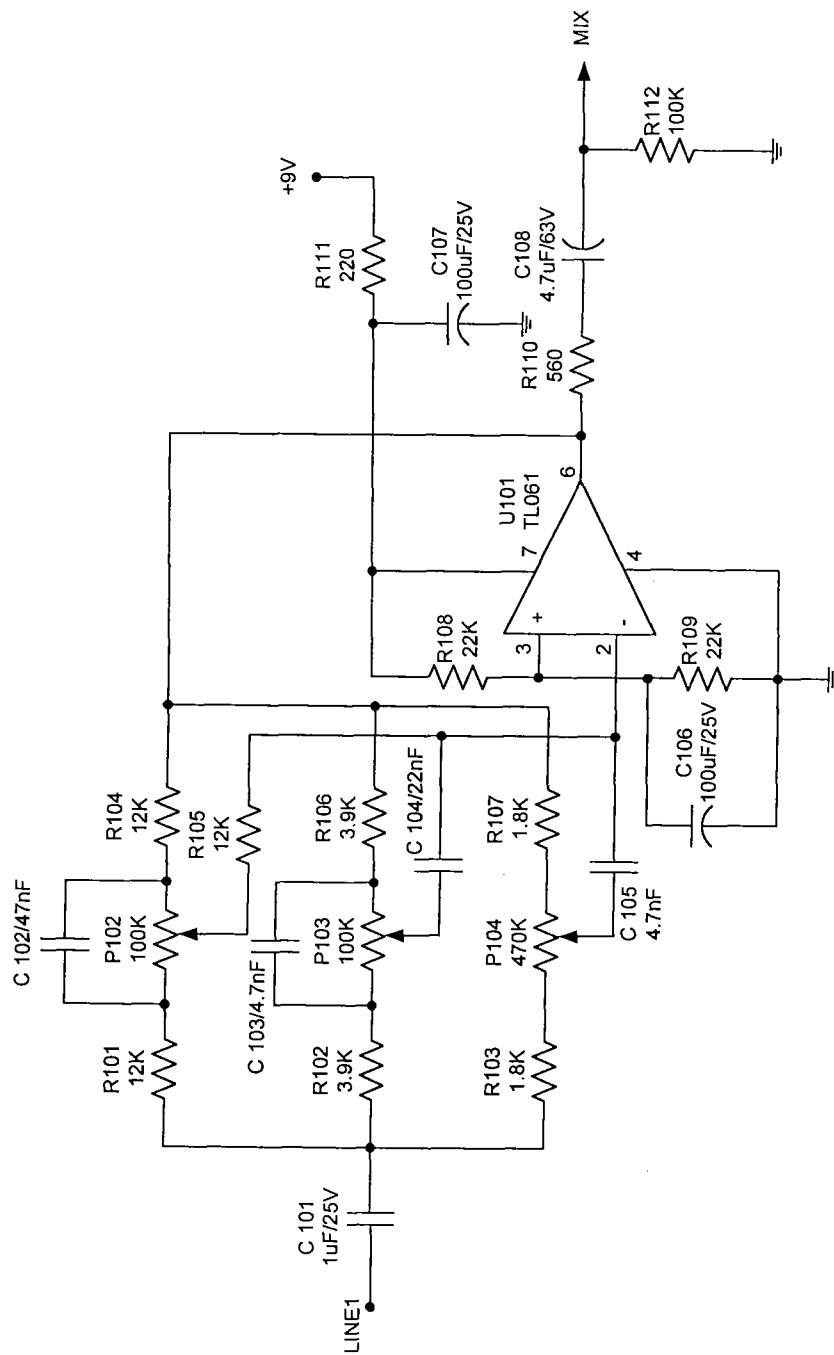
ลำดับ	เรื่อง	รายละเอียด
6	วิธีการบำรุงรักษา	เมื่อต้องการให้ใช้เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ที่มีคุณภาพและการใช้งานที่ยาวนานและมีความปลอดภัย มากขึ้น ควรปฏิบัติตามข้อแนะนำดังต่อไปนี้ 6.1 หลังจากที่ใช้งานทุกครั้ง เครื่องควรที่จะปิดสวิตช์ไฟฟ้าอยู่เสมอ 6.2 ควรระวังไม่ให้ฝุ่นละอองจับบริเวณตัวเครื่อง โดยเฉพาะตัวเลื่อนหรือปุ่มหมุน ต่าง ๆ เพราะจะทำให้รอยต่อเกิดความคลาดเคลื่อนได้ 6.3 หากไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน ๆ ควรถอดสายสัญญาณ และอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่าให้ถูกกับความชื้นจากไอน้ำ หรือของสกปรก 6.4 การติดตั้งและใช้งานของเครื่องควร อยู่ในอุณหภูมิ ไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส มีอากาศถ่ายได้สะดวก 6.5 ไม่ควรให้เครื่องตกกระแทกหรือมีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง 6.6 หากพบปัญหาในการใช้งานของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ควรปรึกษาช่างผู้ชำนาญการ ไม่ควรซ่อมแซมหรือแก้ไขด้วยตนเอง
7	คำแนะนำเพิ่มเติม	เพื่อให้อายุการใช้งานของเครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์ ได้ยาวนานที่สุด กรุณาคำเนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ที่เป็นปัจจัยแวดล้อมของเครื่อง ดังต่อไปนี้ ข้อควรปฏิบัติ 1. ควรใช้ห้องที่มีการระบายอากาศ จากภายนอกได้ดี 2. ควรวางบนพื้นผิวที่เรียบ แข็งแรง เช่น โต๊ะ ชั้นวางเครื่อง เป็นต้น สิ่งที่ไม่ควรปฏิบัติในการใช้งาน 1. ใช้ในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง รวมทั้งบริเวณที่ใกล้กับ หม้อน้ำร้อน หรือ อุปกรณ์กำเนิดความร้อนชนิดอื่น ๆ 2. วางไว้บริเวณ ขอบโต๊ะ หน้าต่าง หรือที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ในปริมาณ มาก ๆ 3. ใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่น หรือ เปียกชุ่ม ข้อควรระวังเกี่ยวกับสายไฟ จับสายไฟฟ้าบริเวณปลั๊ก ห้ามถอดปลั๊กออกโดยการดึงที่สายไฟและห้ามแตะสายไฟฟ้าขณะที่มือเปียก เพราะอาจจะทำให้ไฟฟ้าช็อตได้ ห้ามมัดปมหรือสายไฟฟ้ากับสายสัญญาณใด ๆ สายไฟฟ้าที่ชำรุดอาจจะทำให้เกิดไฟไหม้หรือช็อตได้ กรุณาเช็คสายไฟฟ้าอยู่เสมอ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและการใช้งาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และหลังจากการใช้งานทุกครั้งควรปิดสวิตช์ไฟฟ้าอยู่เสมอ เมื่อพบปัญหาใดๆ ควรติดต่อฝ่ายช่างผู้ชำนาญการ เพื่อตรวจสอบแก้ไข อย่าซ่อมแซมหรือแก้ไขด้วยตนเอง เพราะอาจจะเกิดอันตรายได้

ภาคผนวก จ

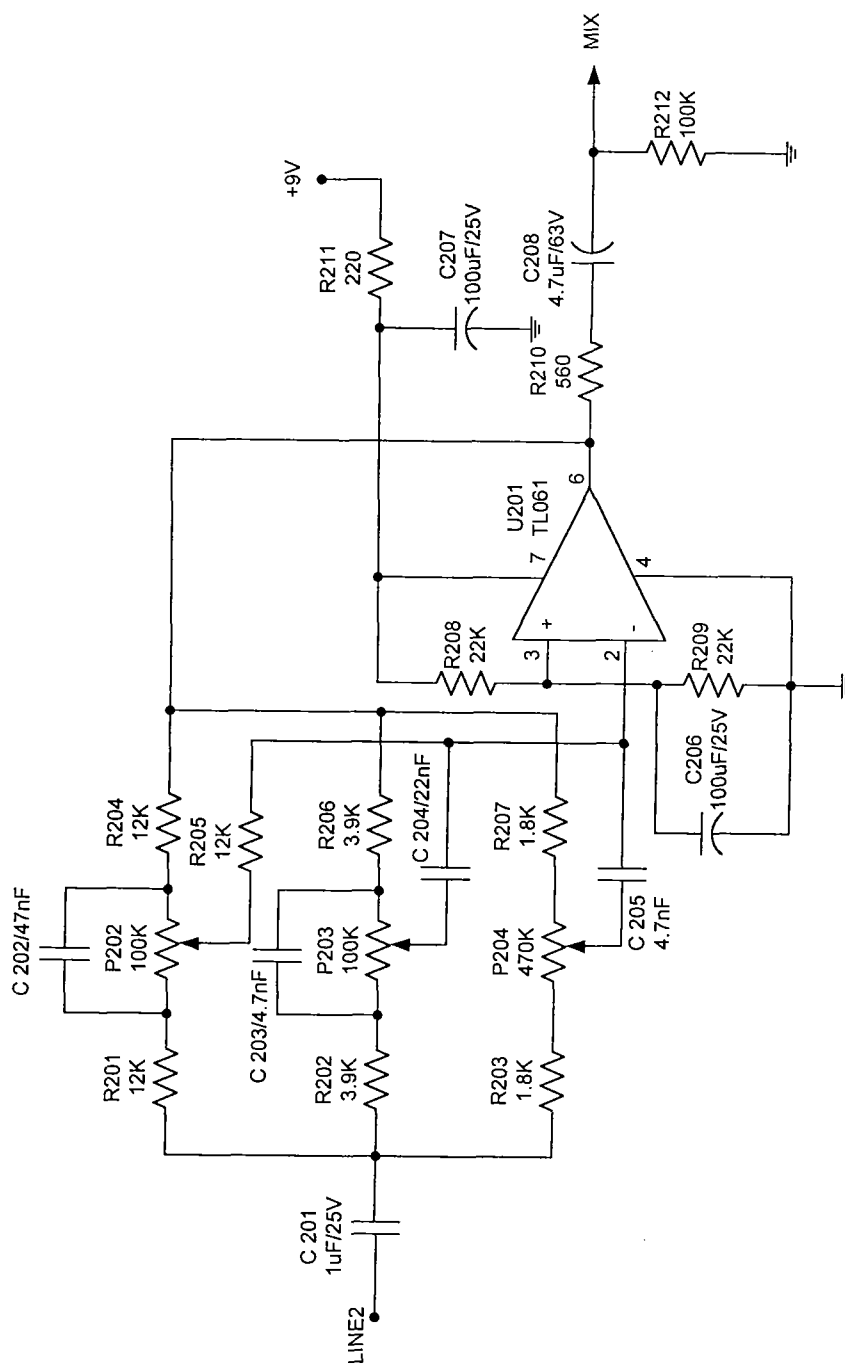
รายละเอียดวงจรและแผ่นพิมพ์เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์



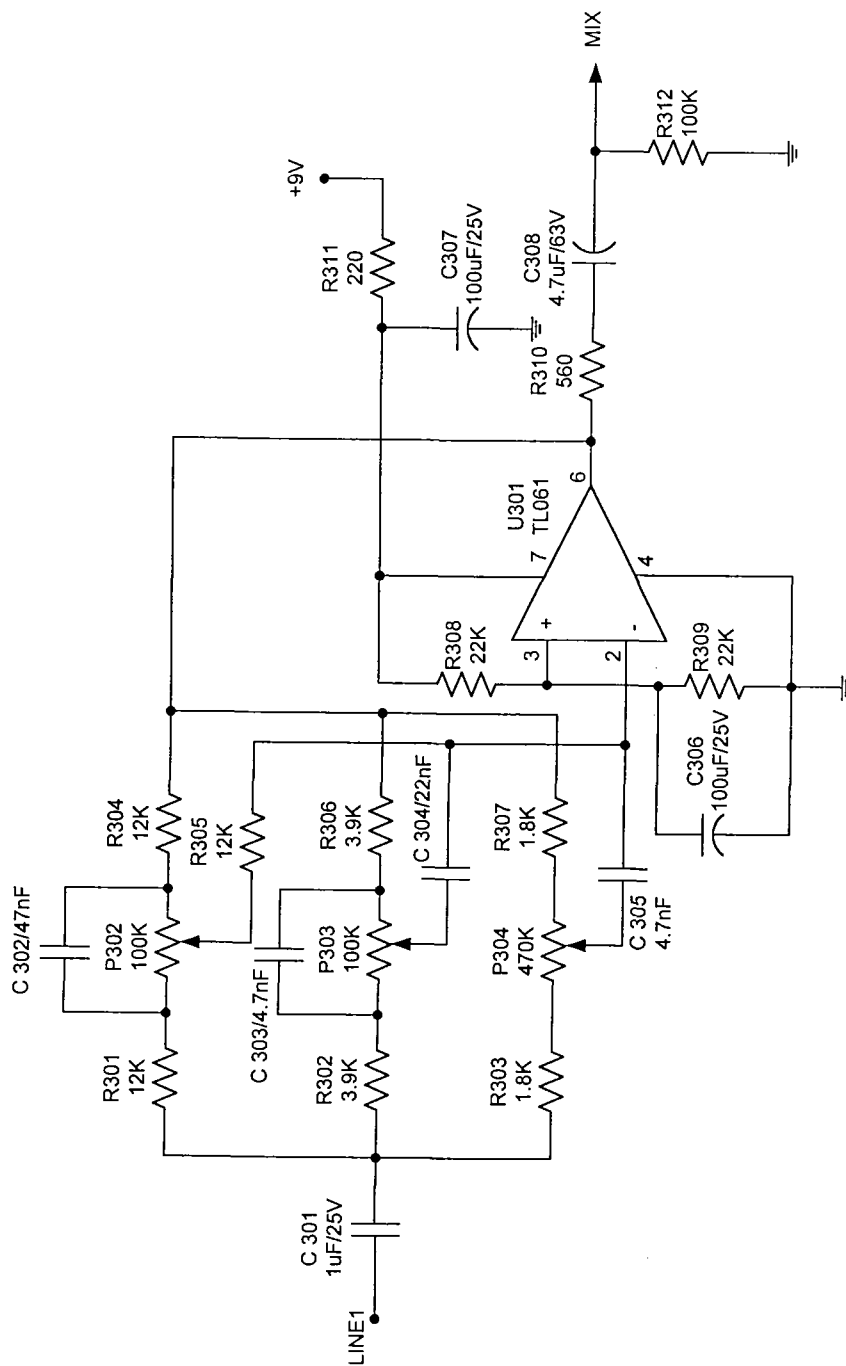
Project	Signal mixer through telephone lines		
Title	Block diagram		
Draw by	S. Udomwattananathavorn		
Date	20/01/2004	Page	1
Srinakarinwirot University			



Project	Signal mixer through telephone lines		
Title	Circuit(1) Input signal mic 1		
Draw by	S. Udomwattanathavorn		
Date	20/01/2004	Page	2
Srinakharinwirot University			



Project	Signal mixer through telephone lines		
Title	Circuit(2) Input signal mic 2		
Draw by	S. Udomwattanathavorn		
Date	20/01/2004	Page	3
Srinakharinwirot University			



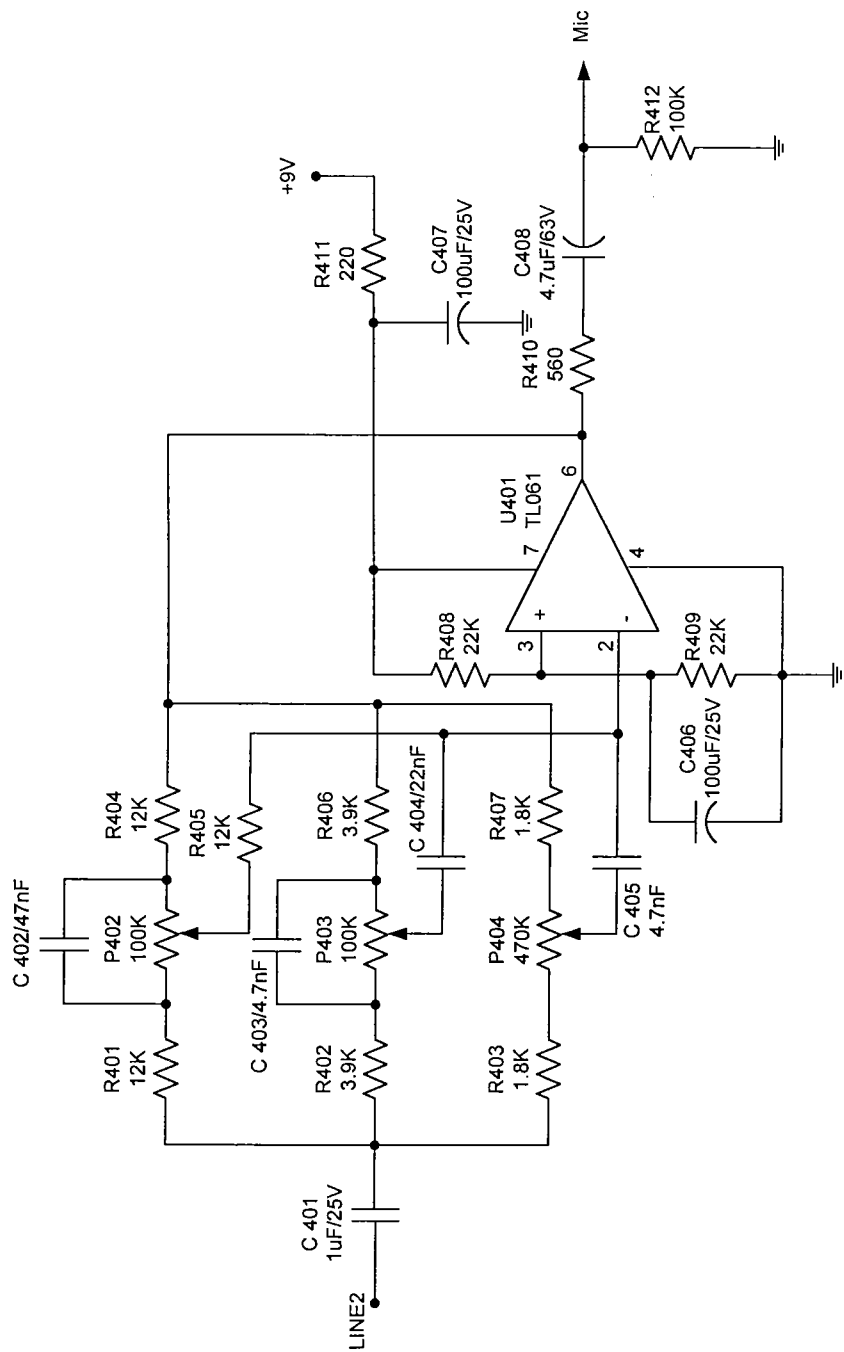
Project Signal mixer through telephone lines

Title Circuit(3) Input signal line 1

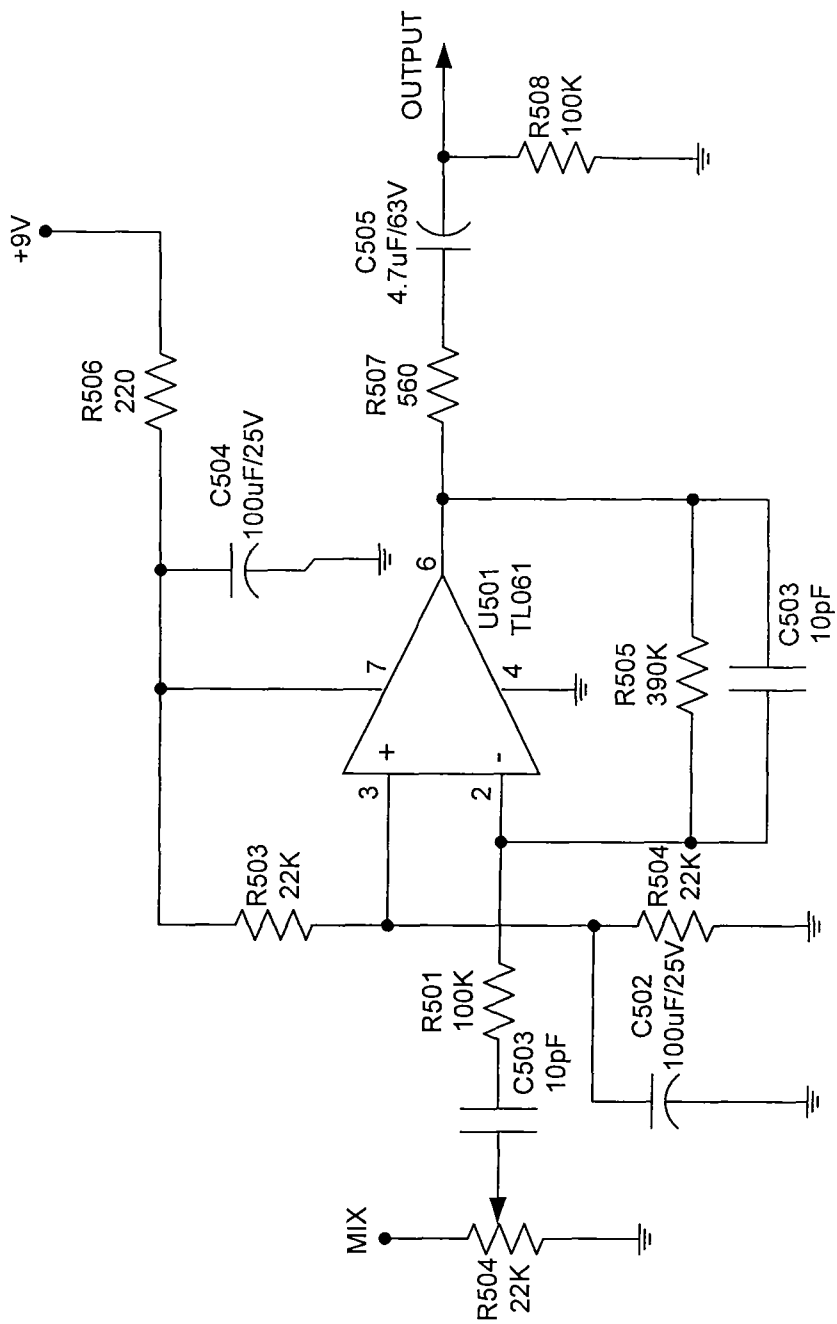
Draw by S. Udomwattanathavorn

Date 20/01/2004 Page 4

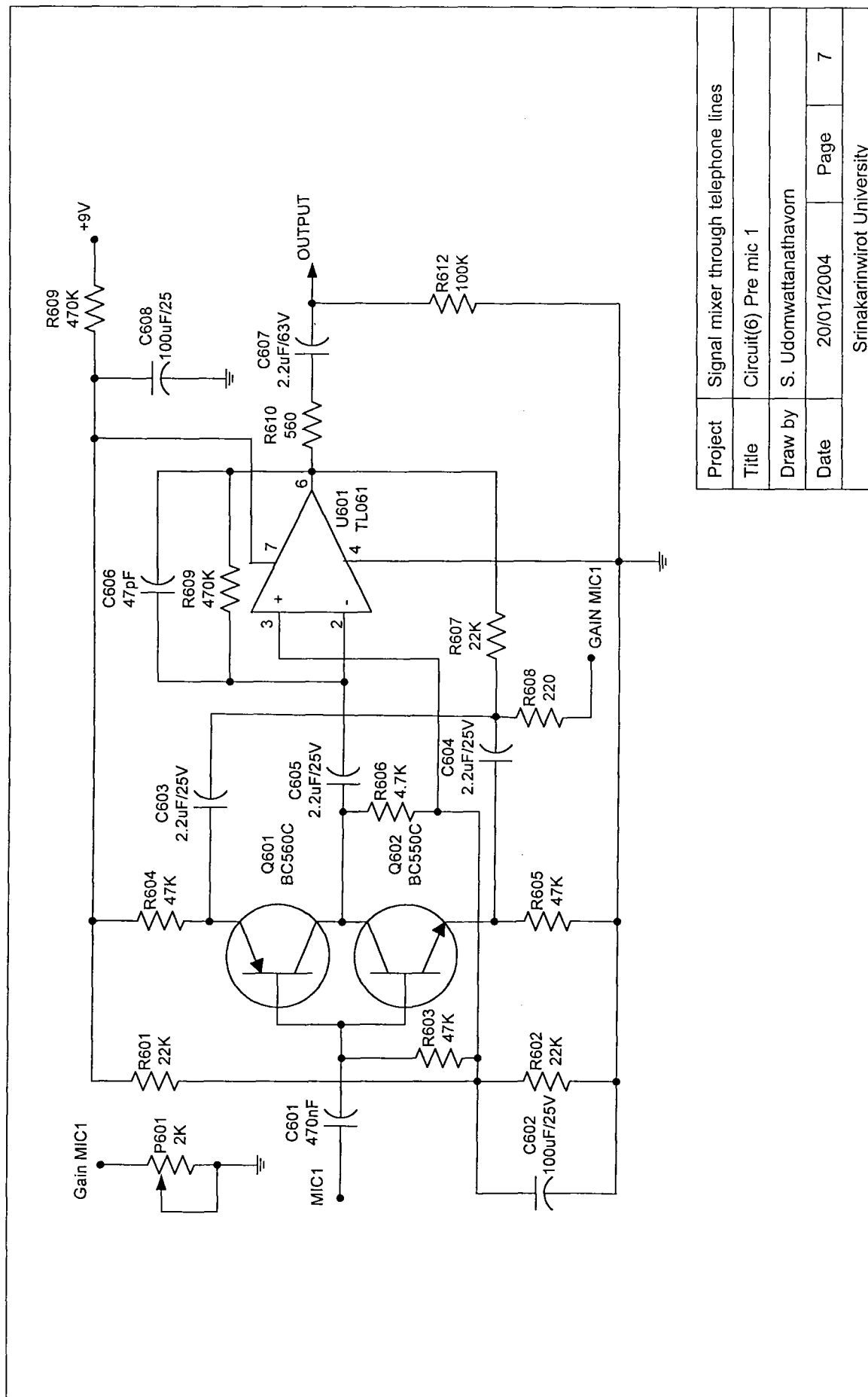
Srinakarinwirot University

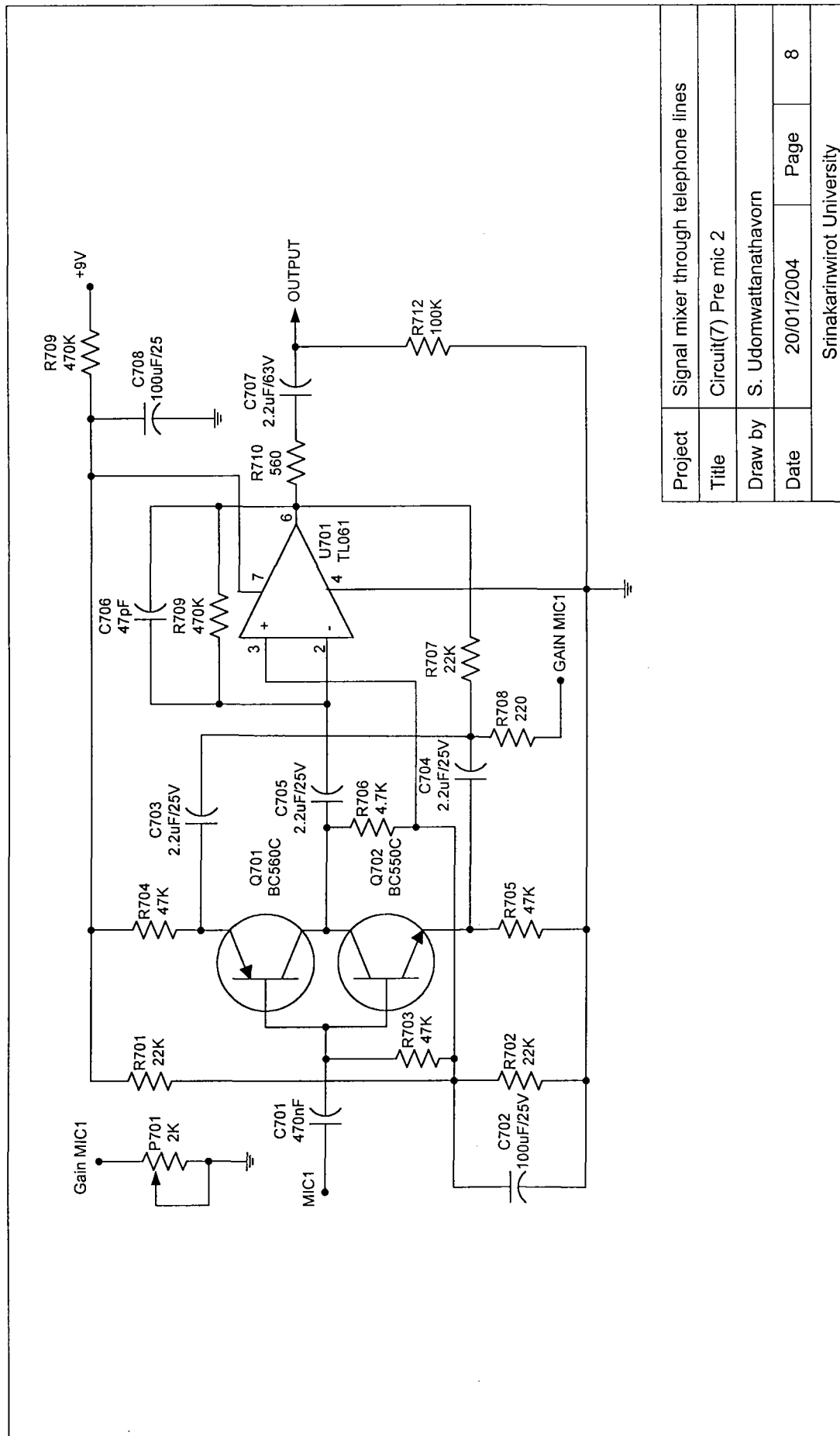


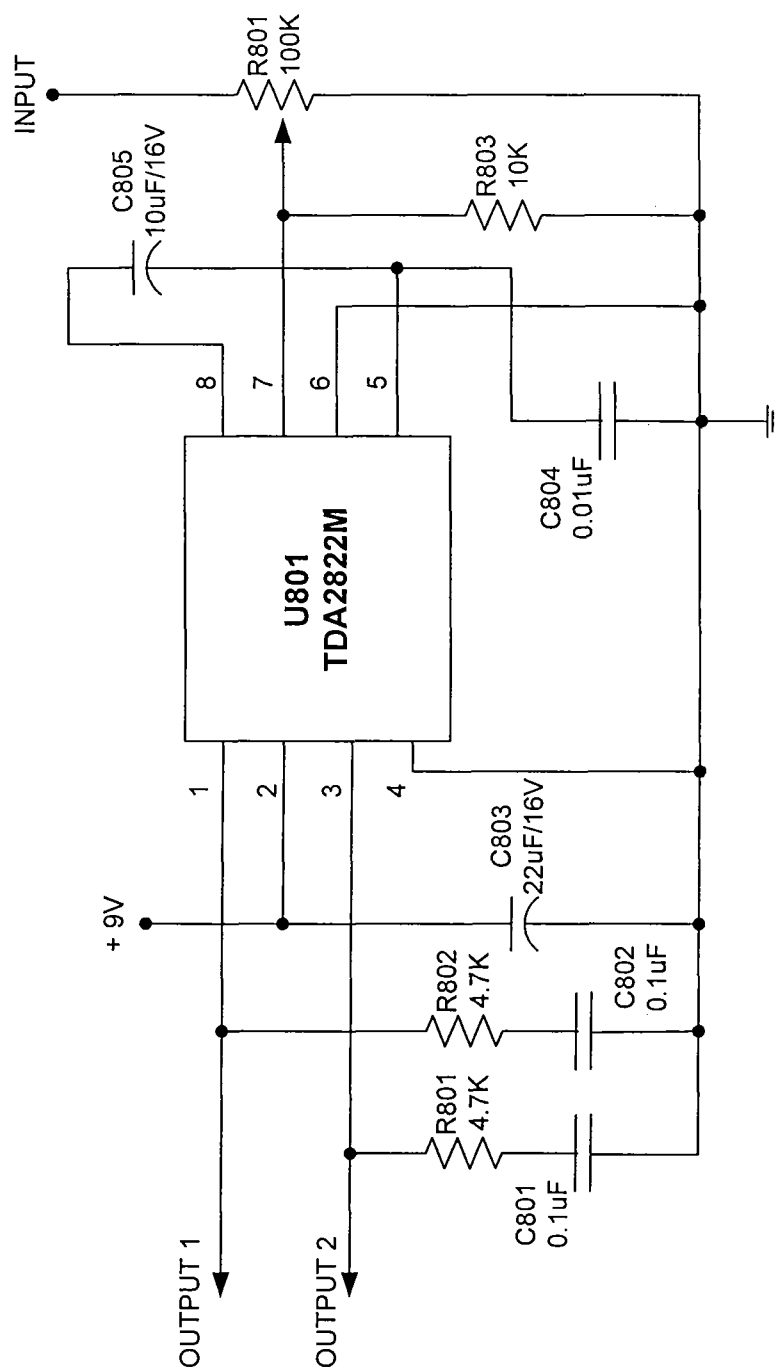
Project	Signal mixer through telephone lines		
Title	Circuit(4) Input signal line 2		
Draw by	S. Udomwattanathavorn		
Date	20/01/2004	Page	5
Srinakharinwirot University			



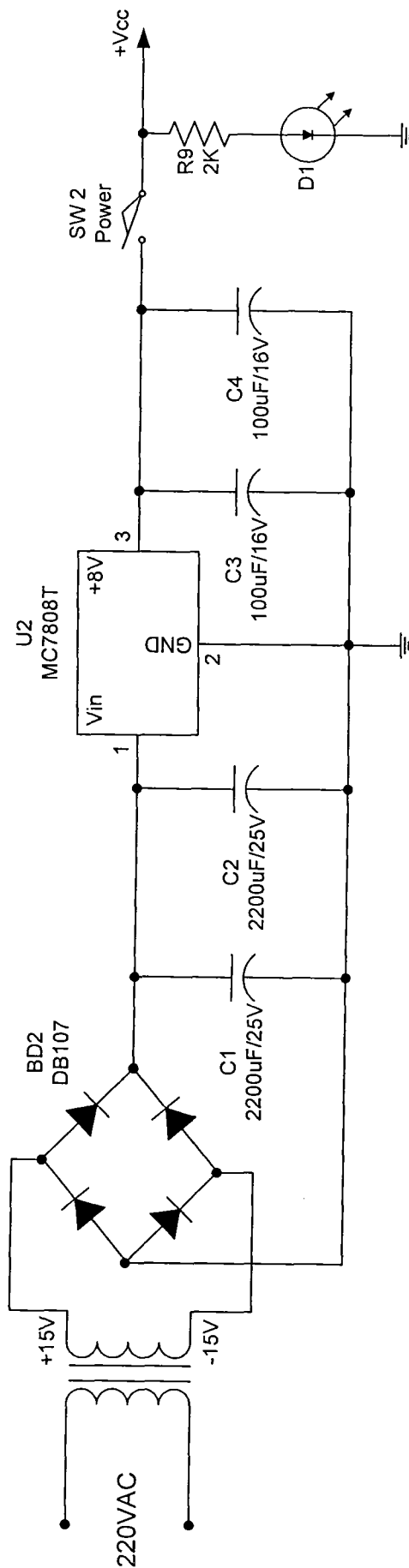
Project	Signal mixer through telephone lines		
Title	Circuit(5) Mixer signal		
Draw by	S. Udomwattanathavorn		
Date	20/01/2004	Page	6
Srinakarinwirot University			



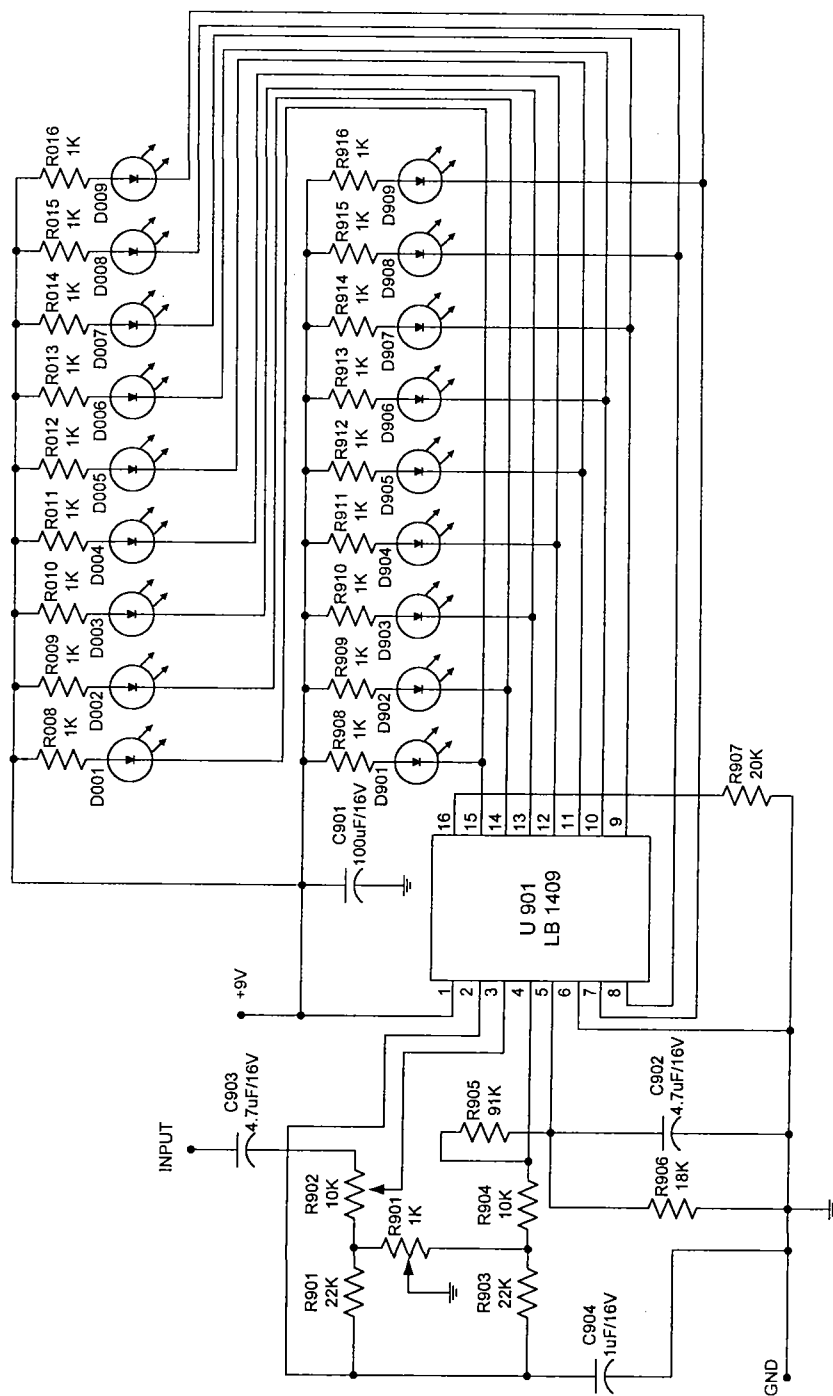




Project	Signal mixer through telephone lines		
Title	Circuit(8) Telephone transfer signal		
Draw by	S. Udomwattanathavorn		
Date	20/01/2004	Page	9
Srinakharinwirot University			



Project	Signal mixer through telephone lines		
Title	Circuit(10) power supply		
Draw by	S. Udomwattanathavorn		
Date	20/01/2004	Page	11
Srinakarinwirot University			



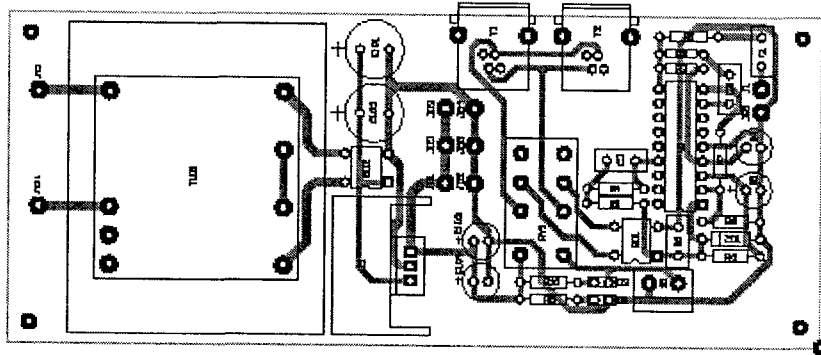
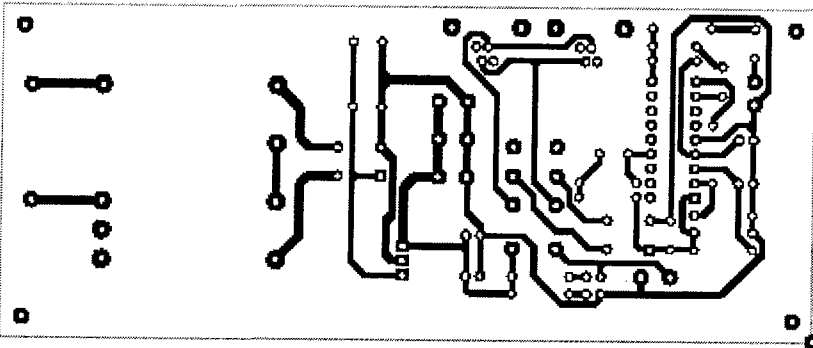
Project	Signal mixer through telephone lines
---------	--------------------------------------

Title	Circuit(11) UV LED signal meter
-------	---------------------------------

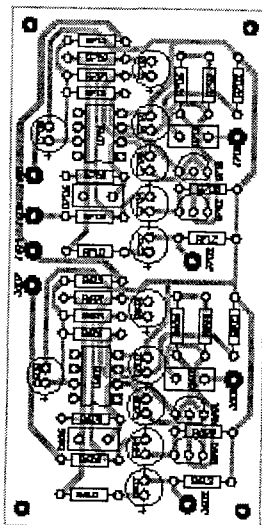
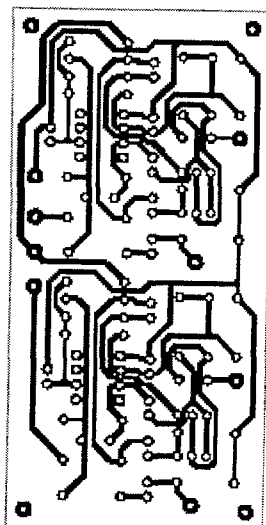
Draw by	S. Udomwattanathavorn
---------	-----------------------

Date	20/01/2004	Page	12
------	------------	------	----

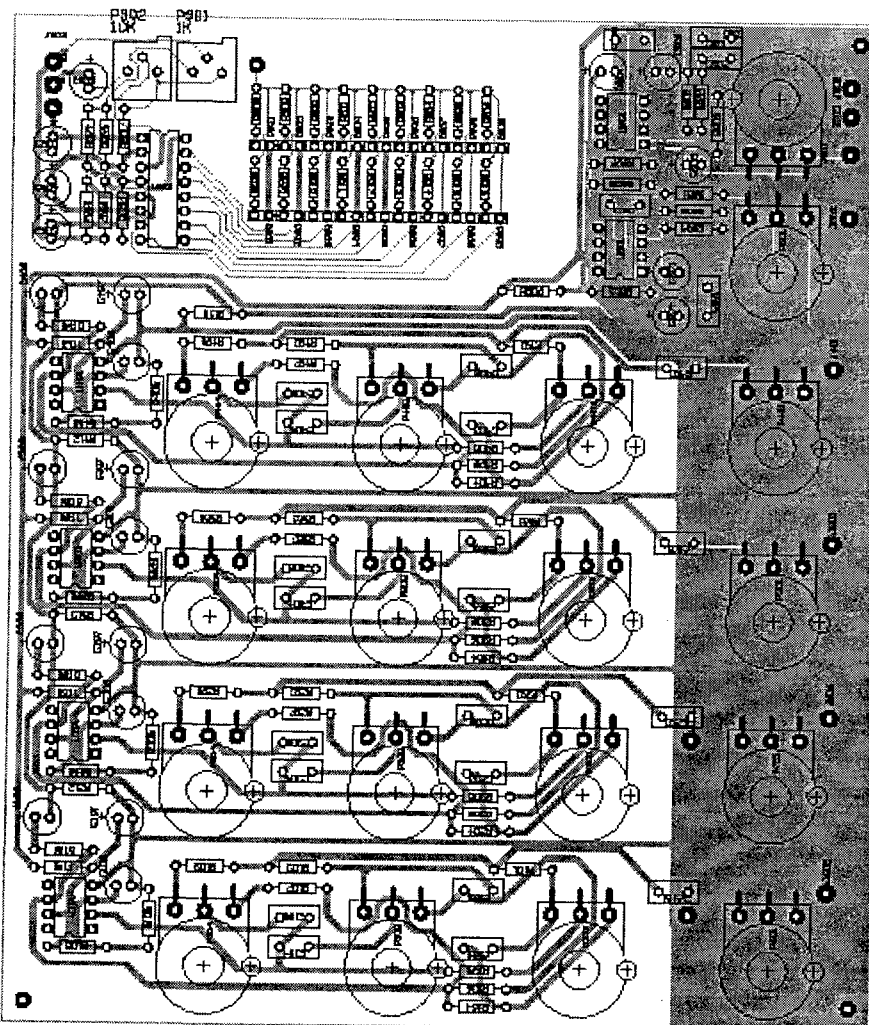
Srinakarinwirot University			
----------------------------	--	--	--



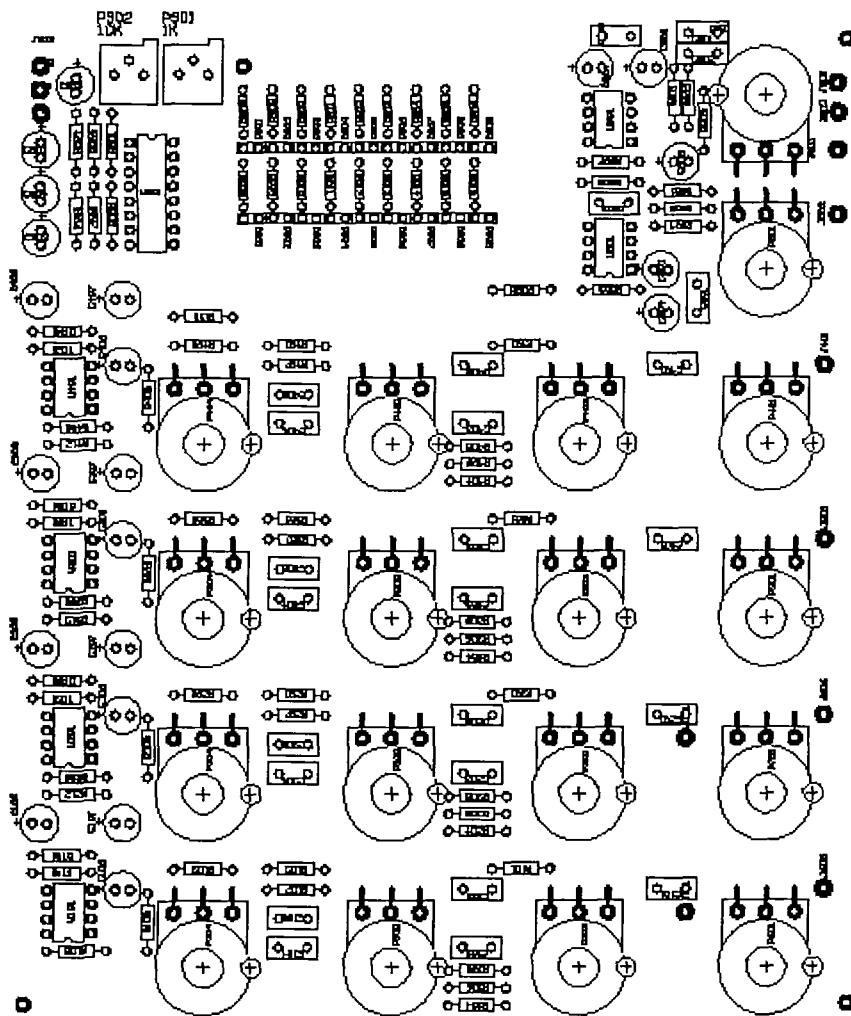
Project	Signal mixer through telephone lines		
Title	PCB Circuit (1)		
Draw by	S. Udomwattanathavorn		
Date	20/01/2004	Page	13
Srinakharinwirot University			



Project	Signal mixer through telephone lines		
Title	PCB Circuit (2)		
Draw by	S. Udomwattanathavorn		
Date	20/01/2004	Page	14
Srinakharinwirot University			



Project	Signal mixer through telephone lines		
Title	PCB Circuit (3)		
Draw by	S. Udomwattanathavorn		
Date	20/01/2004	Page	15
Srinakharinwirot University			



Project	Signal mixer through telephone lines		
Title	PCB Circuit (4)		
Draw by	S. Udomwattanathavorn		
Date	20/01/2004	Page	16
Srinakharinwirot University			

ภาคผนวก จ

เอกสารอ้างอิงคุณสมบัติของอุปกรณ์เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

Panasonic

Aluminum Electrolytic Capacitor/M

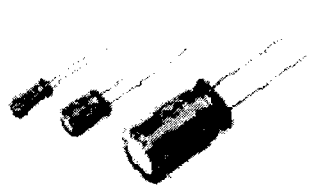
Radial Lead Type

Series: M Type : A

Features

Endurance: 85 C 2000 h
Smaller than series SU

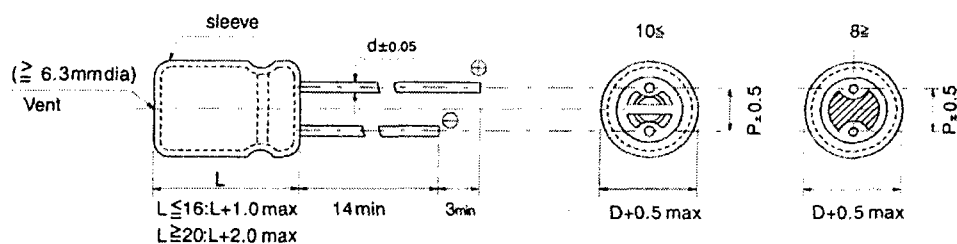
Standard

Malaysia
China
Taiwan

Specifications

Category temp. range	-40 to + 85 C	-25 to + 85 C
Rated W.V. Range	6.3 to 100 V .DC	160 to 450 V .DC
Nominal Cap. Range	0.1 to 22000 μ F	1.0 to 470 μ F
Capacitance Tolerance	± 20 % (120Hz/+20 C)	
DC Leakage Current	$I \leq 0.03$ CV or 4(μ A) after 1 minutes $I \leq 0.01$ CV or 3(μ A) after 2 minutes (Whichever, greater)	$I \leq 0.06$ CV + 10(μ A) after 2 minutes
tan	Please see the attached standard products list	
Characteristics at Low Temperature	W.V. (V)	6.3 10 16 25 35 50 63 100 160 200 250 350 400 450
	Z(- 25 C)/ Z(+20 C)	5 4 3 2 2 2 2 2 2 2 3 5 6 6
	Z(- 40 C)/ Z(+20 C)	12 10 8 5 4 3 3 3 - - - - - -
	1. Add 0.5 per 1000 μ F for products of 1000 μ F or more at -25 C 2. Add 1.0 per 1000 μ F for products of 1000 μ F or more at -40 C (Impedance ratio at 120 Hz)	
Endurance	After applying rated working voltage for 2000 hours at +85 C and then being stabilized at +20 C, capacitor shall meet the following limits. Capacitance change ± 20 % of initial measured value tan ≤ 150 % of initial specified value DC leakage current $\leq$ initial specified value	
Shelf Life	After storage for 1000 hours at +85 ± 2 C with no voltage applied and then being stabilized at +20 C, capacitors shall meet the limits specified in Endurance. (With voltage treatment)	

Dimensions in mm (not to scale)



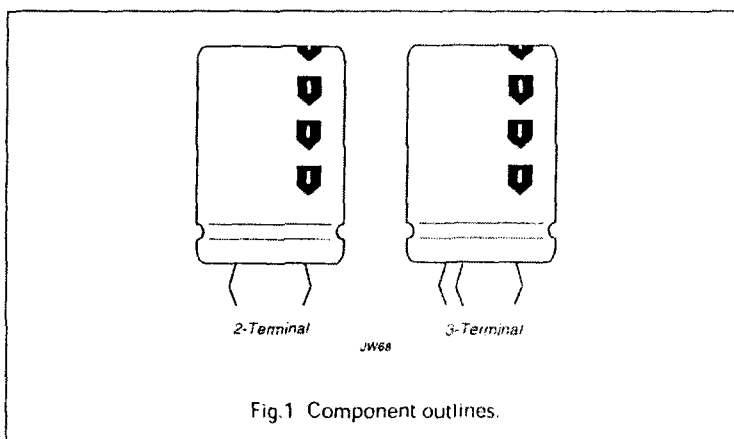
Body Dia. D	5	6.3	8	10	12.5	16	18
Lead Dia. d	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8
Lead space P	2	2.5	3.5	5	5	7.5	7.5

Aluminum electrolytic capacitors Power Standard Miniature Snap-in

056/057 PSM-SI

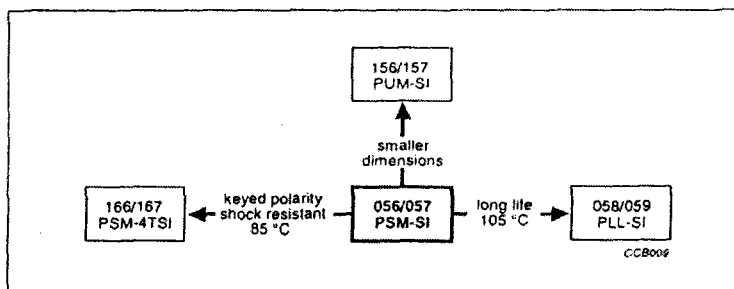
FEATURES

- Polarized aluminum electrolytic capacitors, non-solid electrolyte
- Large types, minimized dimensions, cylindrical aluminum case, insulated with a blue sleeve
- Pressure relief on the top of the aluminum case
- Charge and discharge proof
- Long useful life: 12000 hours at 85 °C
- High ripple current capability
- Keyed polarity version available.



APPLICATIONS

- General purpose, industrial and audio/video systems
- Smoothing and filtering
- Standard and switched mode power supplies
- Energy storage in pulse systems.



QUICK REFERENCE DATA

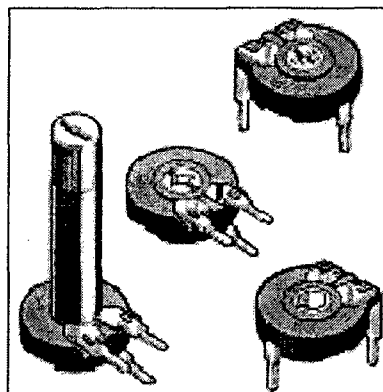
DESCRIPTION	VALUE	
	056	057
Case size ($\varnothing D_{nom} \times L_{nom}$ in mm)	22 × 25 to 35 × 50	
Rated capacitance range (E6 series), C_R	470 to 68000 μF	47 to 1500 μF
Tolerance on C_R	$\pm 20\%$	
Rated voltage range, U_R ; note 1	10 to 100 V	200 to 450 V
Category temperature range	-40 to +85 °C	
Endurance test at 85 °C	5000 hours (450 V: 2000 hours)	
Useful life at 85 °C	12000 hours (450 V: 5000 hours)	
Useful life at 40 °C and $1.4 \times I_R$ applied	210000 hours (450 V: 90000 hours)	
Shelf life at 0 V, 85 °C	500 hours	
Based on sectional specification	IEC 60384-4/EN130300	
Climatic category IEC 60068	40/085/56	

Meggitt Piher

10mm carbon round single turn

Key features

- stable in high humidity
- top and bottom adjustments
- arrow position indicator
- spindle adjust versions
- robust enclosed construction
- flame retardant
- very low cost
- custom design service available



Specification

Electrical

Resistance Range:	100R to 10M (Linear)
Resistance Values:	1, 2.2 and 4.7 in each decade
Resistance Tolerance:	$\pm 20\%$ ($\pm 30\%$ above 1M)
Power Rating:	0.15W @ 40 °C derating to zero at 85 °C
Limiting Element Voltage:	200V DC or AC RMS maximum
Electrical Rotation:	220 °
Termination Resistance:	5 ohms maximum
End Resistance:	<3%
Rotational Noise (CRV):	<5% or 3 ohms minimum
Temperature Coefficient:	$\pm 1000\text{ppm}/^\circ\text{C}$

Mechanical

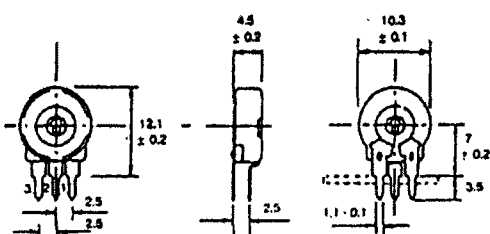
End Stop Torque:	50mNm minimum
Starting Torque:	4 - 20mNm maximum
Mechanical Adjustment:	235 ° nominal

Environmental

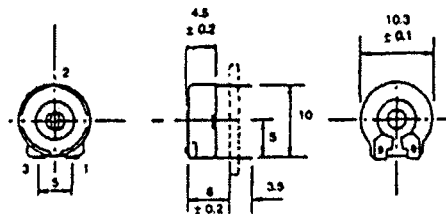
Temperature Range:	-25 °C to +70 °C
Rotational Life:	200 cycles (10,000 cycles (Long Life Version)
Load Life:	$\Delta R < 15\%$ after 1000 hours
Sealing:	Dust and Splash proof

Dimensions

PT10LH (side adjust)



PT10LV (top adjust)





BC556/557/558/559/560

Switching and Amplifier

- High Voltage: BC556, $V_{CE0} = -65V$
- Low Noise: BC559, BC560
- Complement to BC546 ... BC 550



TO-92
1. Collector 2. Base 3. Emitter

PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a = 25^\circ C$ unless otherwise noted

S y m b o l	P a r a m e t e r	V a l u e	U n i t s
V_{CB0}	Collector-Base Voltage : BC556 : BC557/560 : BC558/559	-80 -50 -30	V V V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage : BC556 : BC557/560 : BC558/559	-65 -45 -30	V V V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	-5	V
I_C	Collector Current (DC)	-100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^\circ C$

Electrical Characteristics $T_a = 25^\circ C$ unless otherwise noted

S y m b o l	P a r a m e t e r	T e s t C o n d i t i o n	M i n .	T y p .	M a x .	U n i t s
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = -30V, I_E = 0$	-	1	5	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE} = -5V, I_C = 2mA$	110	180	200	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -10mA, I_B = -0.5mA$ $I_C = -100mA, I_B = -5mA$		-90 -250	-300 -650	mV mV
$V_{BE(sat)}$	Collector-Base Saturation Voltage	$I_C = -10mA, I_B = -0.5mA$ $I_C = -100mA, I_B = -5mA$		-700 -900		mV mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = -5V, I_C = -2mA$ $V_{CE} = -5V, I_C = -10mA$	-600	-660	-750 -800	mV mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = -5V, I_C = -10mA, f = 1MHz$		10	150	MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = -10V, I_E = 0, f = 1MHz$		6	6	pF
NF	Noise Figure	$V_{CE} = -5V, I_C = -200A$ $f = 1kHz, R_G = 2K$ $V_{CE} = -5V, I_C = -200A$ $R_G = 2K, f = 30 \sim 15000MHz$		2 1 1.2 1.2	10 4 4 2	dB dB dB dB

h_{FE} Classification

C l a s s	s i f i c a t i o n	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	4 ~ 80	0 ~ 0

BC556/557/558/559/560



BC546/547/548/549/550

Switching and Applications

- High Voltage: BC546, $V_{CE0}=65V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556 ... BC560



1 TO-92
1. Collector 2. Base 3. Emitter

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

S y m	b o l P a r a m e t e r V a	l u e U n i t s
V _{CB0}	Collector-Base Voltage : BC546 : BC547/550 : BC548/549	80 V 50 V 30 V
V _{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BC546 : BC547/550 : BC548/549	65 V 45 V 30 V
V _{EB0}	Emitter-Base Voltage : BC546/547 : BC548/549/550	6 V 5 V
I _C	C o l l e c t o r C u r r e n t (D C)	100 m A
P _C	C o l l e c t o r P o w e r D i s s i p a t i o n	500 m W
T _J	J u n c t i o n T e m p e r a t u r e	150 °C
T _{STG}	S t o r a g e T e m p e r a t u r e - 65	~ 150 °C

Electrical Characteristics $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

S y m b o l	P a r a m e t e r	T e s t C o n d i t i o n	M i n .	T y p .	M a x .	U n i t s
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=$	0	1	5	n A
h_{FE}	D C C u r r e n t G a i n	$V_{CE}=5V, I_C=$	2 m A	1 1	0 8	0 0
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$ $I_C=100mA, I_B=5mA$			90 200	250 600 mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$ $I_C=100mA, I_B=5mA$			700 900	mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$ $V_{CE}=5V, I_C=10mA$		5 8 0	6 6 0	7 0 0 720 mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=$	1 0 m A	$f=$	1 0 0 M H z	3 0 0 M H z
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=$	0	$f=$	1 M H z	3 . 5 6 p F
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=$	0	$f=$	1 M H z	9 p F
NF Noise	Figure : BC546/547/548 : BC549/550 : BC549 : BC550	$V_{CE}=5V, I_C=200 A$ $f=1KHz, R_G=2K$ $V_{CE}=5V, I_C=200 A$ $R_G=2K, f=30\sim 15000MHz$			2 1.2 1.4 1.4	10 4 4 3 dB

h_{FF} Classification

C	l	a	s	s	i	f	i	c	a	t	i	o	n	A	B	C								
hff				1	1	0	~	2	2	0	2	0	0	~	4	5	0	4	2	0	~	8	0	0

Monolithic Digital IC

SANYO**LB1409****Level Meter Driver for 9 LEDs**

Applications

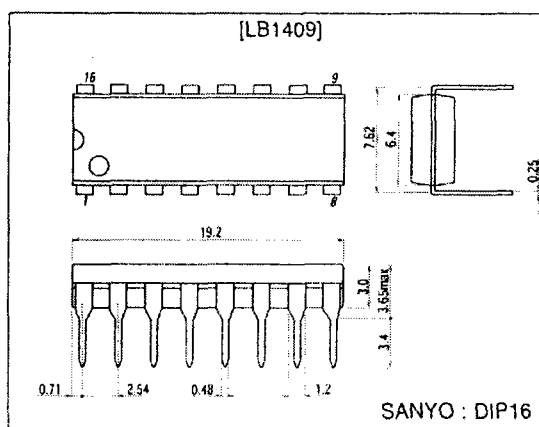
- AC level meters such as VU meters.
- DC level meters such as signal meters.

Functions

- Display
Nine red or green LEDs display the input level in the shape of a bar.
- Input amplifier
Wide application is available owing to built-in DC amplifier whose gain is variable with external resistors.
- Comparator level
Setting is made by steps of 3 dB as follows.
-18 dB, -15 dB, -12 dB, -9 dB, -6 dB, -3 dB, 0 dB, +3 dB, +6 dB
- Supply voltage
The recommended supply voltage range is so wide as 5.5 V to 16 V.
(If pin Vref 2 is used, 7 V to 16 V.)
- Reference voltage
Constant voltage output is available with external transistor owing to pin Vref 2 = 5 V.

Package Dimensions

unit : mm

3006B-DIP16

Specifications

Comparator Level OUT Pin Voltage at $T_a = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 12\text{ V}$, $V_{ref\ 1} = 3\text{ V}$

Comparator level	Pin No.	min	typ	max	Unit
D1	7	0.11	0.18*	0.25	V
D2	8	0.20	0.27*	0.34	V
D3	9	0.30	0.38*	0.46	V
D4	10	0.45	0.53*	0.61	V

■ Any and all SANYO products described or contained herein do not have specifications that can handle applications that require extremely high levels of reliability, such as life-support systems, aircraft's control systems, or other applications whose failure can be reasonably expected to result in serious physical and/or material damage. Consult with your SANYO representative nearest you before using any SANYO products described or contained herein in such applications.

■ SANYO assumes no responsibility for equipment failures that result from using products at values that exceed, even momentarily, rated values (such as maximum ratings, operating condition ranges, or other parameters) listed in products specifications of any and all SANYO products described or contained herein.

SANYO Electric Co., Ltd. Semiconductor Company

TOKYO OFFICE Tokyo Bldg., 1-10, 1 Chome, Ueno, Taito-ku, TOKYO, 110-8534 JAPAN

53096HA(II)/8237KI/8205MW/7140KI.TS No.683-1/5



TL061 TL061A - TL061B

LOW POWER J-FET SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIERS

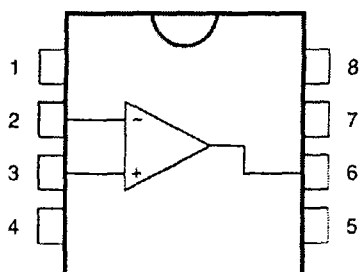
- VERY LOW POWER CONSUMPTION :
200µA
- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND
DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGES
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENTS
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT
STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : 3.5V/µs

DESCRIPTION

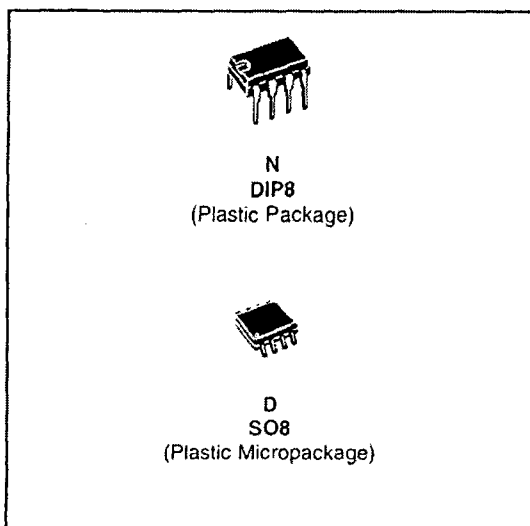
The TL061, TL061A and TL061B are high speed J-FET input single operational amplifiers family. Each of these J-FET input operational amplifiers incorporates well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

PIN CONNECTIONS (top view)



- 1 - Offset null 1
- 2 - Inverting input
- 3 - Non-inverting input
- 4 - V_{CC}^-
- 5 - Offset null 2
- 6 - Output
- 7 - V_{CC}^+
- 8 - N.C.



ORDER CODE

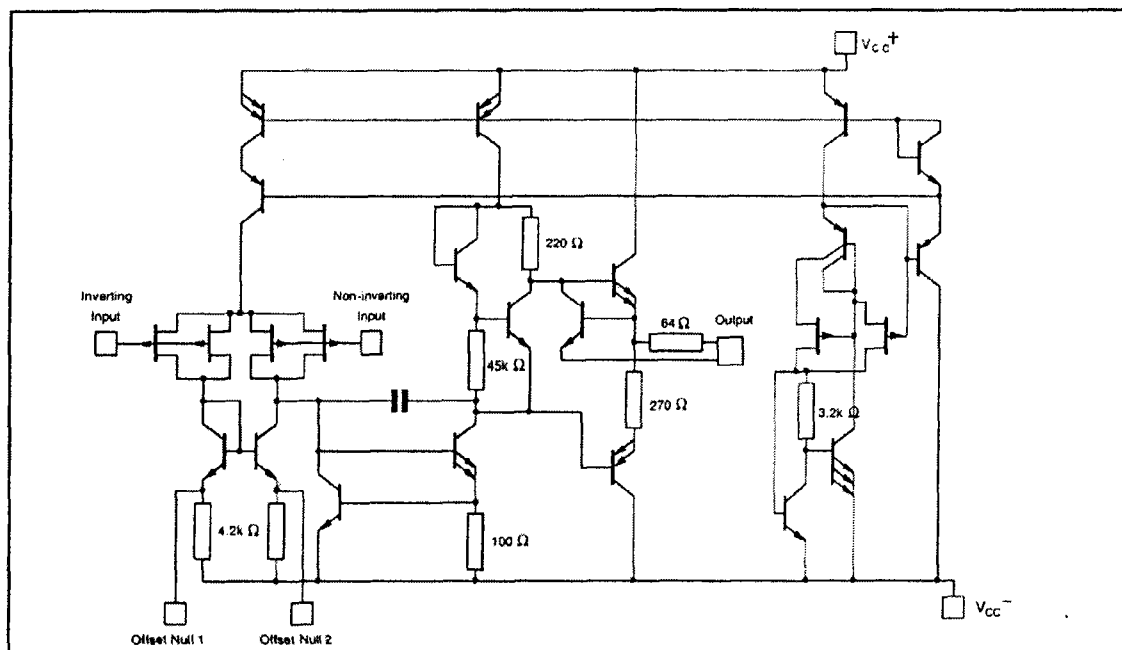
Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL061M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL061I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL061C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•

Example : TL061IN

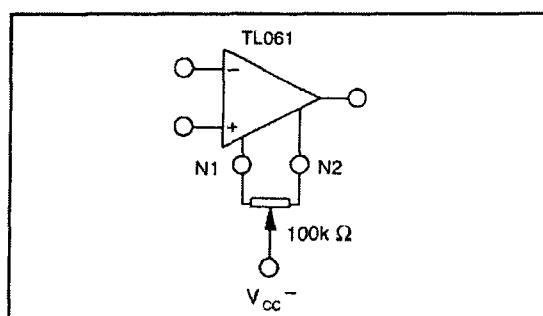
N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

TL061 - TL061A - TL061B

SCHEMATIC DIAGRAM



INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUIT



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	TL061M, AM, BM	TL061I, AI, BI	TL061C, AC, BC	Unit
V_{CC}	Supply voltage - note 1)	± 18			V
V_i	Input Voltage - note 2)	± 15			V
V_{id}	Differential Input Voltage - note 3)	± 30			V
P_{tot}	Power Dissipation	680			mW
	Output Short-circuit Duration - note 4)	Infinite			
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

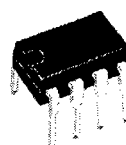
1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC}^+ and V_{CC}^- .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.



TDA2822M

DUAL LOW-VOLTAGE POWER AMPLIFIER

- SUPPLY VOLTAGE DOWN TO 1.8V
- LOW CROSSOVER DISTORSION
- LOW QUIESCENT CURRENT
- BRIDGE OR STEREO CONFIGURATION



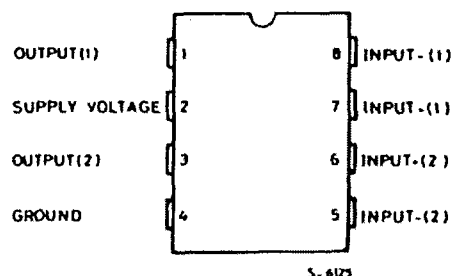
MINIDIP

ORDERING NUMBER : TDA2822M

DESCRIPTION

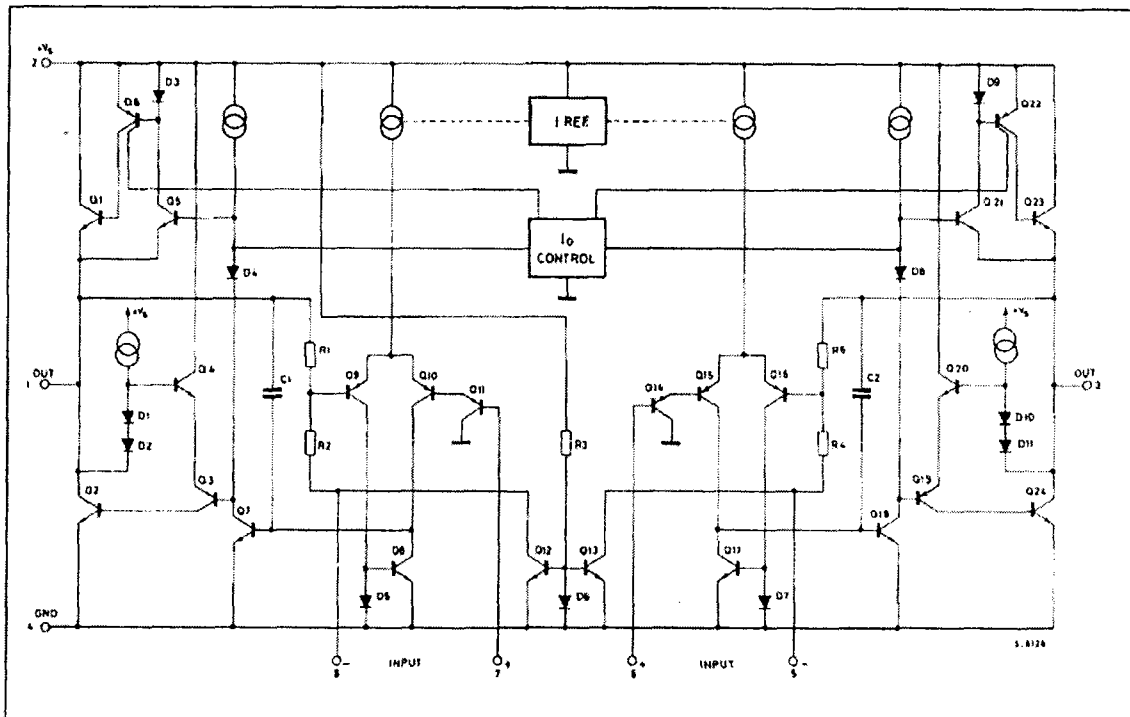
The TDA2822M is a monolithic integrated circuit in 8 lead Minidip package. It is intended for use as dual audio power amplifier in portable cassette players and radios.

PIN CONNECTION (Top view)



TDA2822M

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_s	Supply Voltage	15	V
I_o	Peak Output Current	1	A
P_{tot}	Total Power Dissipation at $T_{amb} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ at $T_{case} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 1.4	W W
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	- 40, + 150	$^{\circ}\text{C}$

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	Value	Unit
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient Max.	100	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{th\ j-case}$	Thermal Resistance Junction-pin (4) Max.	70	$^{\circ}\text{C/W}$

ภาคผนวก ข

แบบประเมินราคาวัสดุอุปกรณ์เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

แบบประเมินราคาวัสดุอุปกรณ์เครื่องผสมสัญญาณเสียงผ่านสายโทรศัพท์

ลำดับ	รายการวัสดุ อุปกรณ์	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคา (บาท)
1	ไอซี เบอร์ TL061	20	4 ตัว	20
2	ไอซี เบอร์ TDA2522M	65	1 ตัว	65
3	ไอซี เบอร์ LB 1409	25	1 ตัว	25
4	ไอซี เบอร์ MC34114	180	1 ตัว	180
5	ไดโอดบริจด์ เบอร์ DB105G	35	1 ตัว	35
6	ไดโอดบริจด์ เบอร์ DB107	30	1 ตัว	30
7	ซีเนอร์ไดโอด เบอร์ ZD 12V	4.5	1 ตัว	9
8	แอลอีดี	3	20 ตัว	60
9	คาปาซิเตอร์ 10pF	2	2 ตัว	4
10	คาปาซิเตอร์ 47pF	2	2 ตัว	4
11	คาปาซิเตอร์ 3.9nF	2	1 ตัว	2
12	คาปาซิเตอร์ 4.7nF	2	8 ตัว	16
13	คาปาซิเตอร์ 22nF	2	4 ตัว	8
14	คาปาซิเตอร์ 47nF	2	4 ตัว	8
15	คาปาซิเตอร์ 470nF	2	2 ตัว	4
16	คาปาซิเตอร์ 0.01uF	2	1 ตัว	2
17	คาปาซิเตอร์ 0.1uF	2	2 ตัว	4
18	คาปาซิเตอร์ 1uF/16V	3	1 ตัว	3
19	คาปาซิเตอร์ 1uF/25V	3.5	4 ตัว	14
20	คาปาซิเตอร์ 10uF	3	3 ตัว	9
21	คาปาซิเตอร์ 22uF/16V	3	1 ตัว	3
22	คาปาซิเตอร์ 2.2uF/25V	3.5	7 ตัว	24.5
23	คาปาซิเตอร์ 2.2uF/63V	4.5	2 ตัว	9
24	คาปาซิเตอร์ 4.7uF/16V	4	1 ตัว	4
25	คาปาซิเตอร์ 4.7uF/63V	4.5	5 ตัว	22.5
26	คาปาซิเตอร์ 10uF/16V	4	1 ตัว	4
27	คาปาซิเตอร์ 100uF/16V	4	3 ตัว	12
28	คาปาซิเตอร์ 100uF/25V	4.5	15 ตัว	67.5
29	คาปาซิเตอร์ 2200uF/25V	12	2 ตัว	24
30	รีซิสเตอร์ 220Ω	2	1 ตัว	2
31	รีซิสเตอร์ 560Ω	2	7 ตัว	14
32	รีซิสเตอร์ 620Ω	2	1 ตัว	2
33	รีซิสเตอร์ 1KΩ	2	9 ตัว	18
34	รีซิสเตอร์ 2KΩ	2	2 ตัว	4

ลำดับ	รายการวัสดุ อุปกรณ์	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคา (บาท)
35	รีซิสเตอร์ 3KΩ	2	1 ตัว	2
36	รีซิสเตอร์ 1.8KΩ	2	8 ตัว	16
37	รีซิสเตอร์ 3.9KΩ	2	8 ตัว	16
38	รีซิสเตอร์ 4.7KΩ	2	4 ตัว	8
39	รีซิสเตอร์ 8KΩ	2	1 ตัว	2
40	รีซิสเตอร์ 10KΩ	2	4 ตัว	8
41	รีซิสเตอร์ 12kΩ	2	12 ตัว	24
42	รีซิสเตอร์ 18KΩ	2	1 ตัว	2
43	รีซิสเตอร์ 20KΩ	2	1 ตัว	2
44	รีซิสเตอร์ 25KΩ	2	1 ตัว	2
45	รีซิสเตอร์ 22KΩ	2	19 ตัว	38
46	รีซิสเตอร์ 47KΩ	2	6 ตัว	12
47	รีซิสเตอร์ 91KΩ	2	1 ตัว	2
48	รีซิสเตอร์ 100KΩ	2	16 ตัว	32
49	รีซิสเตอร์ 390KΩ	2	1 ตัว	2
50	รีซิสเตอร์ 470KΩ	2	8 ตัว	16
51	รีซิสเตอร์ปรับค่าได้ 2KΩ	25	2 ตัว	25
52	รีซิสเตอร์ปรับค่าได้ 22KΩ	25	1 ตัว	25
53	รีซิสเตอร์ปรับค่าได้ 100KΩ	25	9 ตัว	25
54	รีซิสเตอร์ปรับค่าได้ 470KΩ	25	4 ตัว	25
55	รีซิสเตอร์ปรับค่าได้ 1KΩ	25	1 ตัว	25
56	รีซิสเตอร์ปรับค่าได้ 10KΩ	25	1 ตัว	25
57	หม้อแปลง จ่ายแรงดันไฟ 15-0-15 โวลต์	35	1 ตัว	35
58	แผ่นวงจรพิมพ์ และ ลายวงจรพิมพ์	500	3 ชุด	1500
59	คอนเน็กเตอร์ต่อสัญญาณเสียง (Phone)	80	4 ตัว	320
60	คอนเน็กเตอร์ต่อสัญญาณเสียง (XLR)	90	8 ตัว	720
61	แจ๊คอาซีโอ (RCA phone)	15	4 ตัว	60
62	สายสัญญาณแบบสเตอริโอ	20	5 เมตร	100
63	กล่องอเนกประสงค์	125	1 กล่อง	125
64	หัวต่อสายโทรศัพท์	20	2 ตัว	40
65	สวิตช์ สายไฟฟ้า 220 โวลต์	25	2 ตัว	50
66	พิมพ์แผ่นสติ๊กเกอร์ด้านหน้าเครื่อง	250	1 แผ่น	250
	รวมทั้งสิ้น		4,246.5 บาท	

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ – ชื่อสกุล	นายสุวัตรกร อุดมวัฒนาถาวร
วัน เดือน ปีเกิด	19 ตุลาคม 2520
สถานที่เกิด	4 หมู่ที่ 14 บ้านโนนสำราญ ตำบลหนองไผ่ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดขอนแก่น 40130
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	999 มูลนิธิถาวรจิตตถาวโร – วงศ์มัลย์ ถนนพระราม 1 แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10330
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรควบคุมรายการวิทยุ และระบบเสียงศาลาพระราชศรัทธา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	999 มูลนิธิถาวรจิตตถาวโร – วงศ์มัลย์ ถนนพระราม 1 แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10330
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2532	ประถมศึกษาชั้นปีที่ 6 จาก โรงเรียนชุมชนชุมแพ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ. 2535	มัธยมศึกษาปีที่ 3 จาก โรงเรียนชุมแพศึกษา อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ. 2538	อาชีวศึกษา (ปวช.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์ จาก วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น อำเภอมะนัง จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ. 2540	อาชีวศึกษา (ปวส.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคม จาก วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น อำเภอมะนัง จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ. 2542	อุดมศึกษา (ปทส.) สาขาไฟฟ้าสื่อสาร จาก สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2547	อุดมศึกษา (ปริญญาโท) วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เขตวัฒนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร