ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ เครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี

TELEPHONE LINK THROUGH AC LINE

ชื่อนักศึกษา

1. นายพิสิฐ	สกุลสันติพร	รหัสประจำตัว	37031118
2. นายไพบูลย์	หลายกิจพานิช	รหัสประจำตัว	37031119
3. นายสมศักดิ์	ชัยเดช	รหัสประจำตัว	37031132
4. นายสารสิน	จุฬาปกรณ์	รหัสประจำตัว	37031135

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

1. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์
2. อาจารย์กิติพงค์ มะโน
3. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	
2. อาจารย์กิติพงค์ มะโน	
3. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม	
4. อาจารย์สุชิน อาจหาญ	
5. อาจารย์โกศล ตราชู	

วันเดือนปีที่สอบ วันที่ 3 เมษายน 2539 **เวลา** 10.00 ถึง 11.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 11 เดือน เมษายน พ.ศ. 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี

TELEPHONE LINK THROUGH AC LINE

นายพิสิฐ สกุลสันติพร

นายไพบูลย์ หลายกิจพานิช

นายสมศักดิ์ ชัยเดช

นายสารสิน จุฬาปกรณ์

A021298

เลขหมู่ 1529 021298

เลขทะเบียน

วัน เดือน ปี 29 ตค 2539

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี

TELEPHONE LINK THROUGH AC LINE

ผู้จัดทำ

1. นายพิสิฐ สกุลสันติพร
2. นายไพบูลย์ หลายกิจพานิช
3. นายสมศักดิ์ ชัยเดช
4. นายสารสิน จุฬาปกรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....

(อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)

ลงนาม.....

(อาจารย์กิติพงศ์ มะโน)

ลงนาม.....

(อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี

TELEPHONE LINK THROUGH AC LINE

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการส่งและรับสัญญาณโทรศัพท์ผ่านสายเอซี
2. เพื่อออกแบบวงจรควบคุมโทรศัพท์ผ่านสายเอซี
3. เพื่อทดลองสร้างชุดควบคุมโทรศัพท์ผ่านสายเอซี
4. เพื่อแสดงการทำงานของชุดควบคุมโทรศัพท์ผ่านสายเอซี
5. เพื่อลดความยุ่งยากในการเดินสายโทรศัพท์ภายในบ้าน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการส่งและรับสัญญาณโทรศัพท์ผ่านสายเอซี
2. ออกแบบวงจรควบคุมโทรศัพท์ผ่านสายเอซีได้
3. สร้างชุดควบคุมโทรศัพท์ผ่านสายเอซีได้
4. นำชุดควบคุมโทรศัพท์ผ่านสายเอซีไปใช้ในบ้านได้
5. ทำให้ลดความยุ่งยากในการเดินสายโทรศัพท์ภายในบ้านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I

เครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี

นายพิสิฐ สกุลสันติพร
นายไพบูลย์ หลายกิจพานิช
นายสมศักดิ์ ชัยเดช
นายสารสิน จุฬาปกรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์
อาจารย์กิติพงค์ มะโน
อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม

ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอโครงงานเรื่องเครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี โดยอาศัยหลักการในการมอดูเลตสัญญาณทุกชนิดที่ใช้ในระบบโทรศัพท์รวมทั้งสัญญาณเสียงพูดเข้ากับสัญญาณพาห์ความถี่ 100-500 กิโลเฮิรตซ์ แล้วส่งผ่านสายเอซี ทางด้านรับจะดีมอดูเลตสัญญาณต่างๆ ที่ส่งมากลับคืนมาและส่งไปยังเครื่องรับโทรศัพท์ และสามารถจะตรวจสอบสภาวะการยกหูและวางหูของโทรศัพท์ได้เหมือนกับระบบโทรศัพท์โดยทั่วไป โครงงานนี้เป็นการแก้ปัญหาของการเดินคู่สายโทรศัพท์ภายในบ้าน ที่อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผนังบ้านได้ โดยเครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซีนี้สามารถใช้ได้กับทุกๆ จุดภายในบ้านที่มีสายไฟเอซี 220 V ผ่าน ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้โทรศัพท์เกิดความสะดวกสบายมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TELEPHONE LINK THROUGH AC LINE

MR.PISIT SAKUNSANTIPORN
MR.PHAIBOON LAIKITPHANIT
MR.SOMSAK CHAIDACH
MR.SARASIN CHULAPAKORN

ADVISORS

MR.PEERAWUT SUWANJAN
MR.KITIPONG MANO
MR.WISUIT ATIPORNTUM

1995

ABSTRACT

This thesis presents the project of the TELEPHONE LINK THROUGH AC LINE using modulation method . Audio signal and telephone signals which modulated with a carry signal are transmitted through the AC line . The receiver will demodulation the modulated wave from AC line and sending the transmitted signal to telephone set, and have ability to inspection of hook switch status same as general telephone system .This project are solving of the damaging of a wall from installing the telephone line .This are serve in convenient to the telephone user because that can be used in any place inside the buildings which have an AC line .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็เนื่องมาจากการให้ความช่วยเหลือจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะพร้อมทั้งแนวทางในการแก้ไขปัญหาในการดำเนินงาน รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมรุ่น 16 ทุกคน ที่ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจให้ตลอดมา และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่ได้ให้ความร่วมมือ จนกระทั่งปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 หลักการเบื้องต้นของโทรศัพท์	3
2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของโทรศัพท์	3
2.1.2 สัญญาณการวางหู (Hook on) และยกหู (Hook off)	5
2.1.3 สัญญาณเสียงพูด	7
2.1.4 สัญญาณควบคุม	9
2.1.5 สัญญาณรบกวน	12
2.2 การทำงานของเครื่องโทรศัพท์	13
2.2.1 เครื่องส่ง	13
2.2.2 เครื่องรับ	15
2.2.3 อุปกรณ์เชื่อมต่อคู่สายโทรศัพท์กับเครื่องรับส่งวิทยุ (Hybrid)	18
2.2.4 ชุดกำเนิดสัญญาณ	23
2.3 การกำเนิดไฟฟ้าสลับ	27
2.3.1 วิธีแสดงถึงไฟสลับ	28
2.4 หลักการมอดูเลต	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
2.4.1 การมอดูเลตทางแอมพลิจูด	32
2.4.2 การมอดูเลตทางความถี่	36
2.4.3 การมอดูเลตทางเฟส	38
บทที่ 3 การออกแบบ สร้าง และการทำงาน	41
3.1 การออกแบบ	41
3.2 โครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์	41
3.2.1 ชุดส่งสัญญาณผ่านสายเอซี	42
3.2.2 ชุดรับสัญญาณผ่านสายเอซี	44
3.2.3 ชุดโครงข่ายไฮบริด	46
3.2.4 ชุดกำเนิดสัญญาณกระดิ่ง (Ringing)	49
3.2.5 วงจรกระตุ้นสัญญาณกระดิ่ง	51
3.2.6 วงจรตรวจสอบสภาวะคู่สายด้านรับ (Sensor)	51
3.2.7 วงจรยกหูวางหูที่ต้นทาง	53
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	55
4.1 ระบบการทำงานของเครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี	55
4.1.1 กรณีมีการเรียกเข้า	55
4.1.2 กรณีมีการเรียกออก	57
4.2 การรับและส่งสัญญาณผ่านสายเอซี	59
4.2.1 การส่งสัญญาณผ่านสายเอซี	59
4.2.2 การรับสัญญาณผ่านสายเอซี	60
4.2.3 คลื่นพาห์ที่ใช้ในการส่งผ่านสายเอซี	62
4.2.4 ระยะทางที่ใช้งานได้จริง	64
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา	65
5.1 บทสรุป	65
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงงาน	66
5.3 แนวทางแก้ไขและพัฒนา	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก ก รายการอุปกรณ์เครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี	67
ภาคผนวก ข วงจรรวมของเครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี	75
ภาคผนวก ค รูปเครื่องต้นแบบของเครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี	78
ภาคผนวก ง รายละเอียดข้อมูลและคุณสมบัติของอุปกรณ์	81
บรรณานุกรม	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลย์จากคู่สายผู้ใช้ไปยังชุมสาย	6
รูปที่ 2.2 วงจรคู่สายของผู้ใช้ไปยังชุมสาย	7
รูปที่ 2.3 แถบความถี่ (พลังงาน) ของเสียงพูด	7
รูปที่ 2.4 สัญญาณต่างๆ ที่อยู่ทั้งในและนอกย่านความถี่เสียง	8
รูปที่ 2.5 วงจรอย่างง่ายในการอธิบายกำลังของสัญญาณ	8
รูปที่ 2.6 ลักษณะสัญญาณว่าง	10
รูปที่ 2.7 ลักษณะของสัญญาณเรียกกลับ	10
รูปที่ 2.8 ลักษณะของสัญญาณไม่ว่าง	11
รูปที่ 2.9 ลักษณะของนูโทน	11
รูปที่ 2.10 ลักษณะวงจรสร้างสัญญาณกระดิ่ง	11
รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของเครื่องส่งโทรศัพท์	13
รูปที่ 2.12 กระแสของเครื่องส่งโทรศัพท์เมื่อไม่มีสัญญาณเสียง	14
รูปที่ 2.13 กระแสของเครื่องส่งโทรศัพท์เมื่อมีสัญญาณเสียง	14
รูปที่ 2.14 กระแสไฟสลับของเสียงพูดที่ผ่านสายของผู้เช่า	15
รูปที่ 2.15 ผังส่วนต่างๆ ของเครื่องรับโทรศัพท์	15
รูปที่ 2.16 การทำงานของเครื่องรับโทรศัพท์ขณะแผ่นไดอะแฟรมแยกออกจากแท่งแม่เหล็ก	16
รูปที่ 2.17 การทำงานของเครื่องรับโทรศัพท์ขณะแผ่นไดอะแฟรมถูกดึงเข้าหาแท่งแม่เหล็ก	17
รูปที่ 2.18 การทำงานของเครื่องรับโทรศัพท์	18
รูปที่ 2.19 การแยกการรับและส่งสัญญาณเสียง	18
รูปที่ 2.20 คุณสมบัติการส่งสัญญาณ	19
รูปที่ 2.21 ทรานส์ฟอร์เมอร์ไฮบริด	20
รูปที่ 2.22 รีซิสแตนซ์ไฮบริด	20
รูปที่ 2.23 การส่งสัญญาณจาก 4 WR	21
รูปที่ 2.24 การส่งสัญญาณจาก 2 W	22
รูปที่ 2.25 การกำเนิดพัลซ์ของการหมุน	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.26 กลุ่มของความถี่	25
รูปที่ 2.27 เมื่อแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าออกจะได้ไฟฟ้าสลับ	27
รูปที่ 2.28 มุมของขดลวดและขนาดของแรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้า	28
รูปที่ 2.29 ความถี่	29
รูปที่ 2.30 แกนอ้างอิง	29
รูปที่ 2.31 สัญลักษณ์ของหม้อแปลง	30
รูปที่ 2.32 สัญลักษณ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 4 สาย	30
รูปที่ 2.33 สัญลักษณ์ของหม้อแปลงแบบ 3 เฟส 3สาย	31
รูปที่ 2.34 การมอดูเลตทางแอมพลิจูดโดยใช้อุปกรณ์นอนลิเนียร์	32
รูปที่ 2.35 การใช้สัญญาณเสียงที่มีขนาดมากและน้อยในการมอดูเลต	33
รูปที่ 2.36 แอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่ดีมอดูเลต	34
รูปที่ 2.37 การโอเวอร์มอดูเลต ทำให้สัญญาณทางเครื่องรับเพี้ยน	35
รูปที่ 2.38 เปรียบเทียบคลื่น AM ในเชิงเวลาและเชิงความถี่	36
รูปที่ 2.39 การมอดูเลตทางความถี่	38
รูปที่ 2.40 ความแตกต่างระหว่างคลื่น FM กับ PM	39
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซี	41
รูปที่ 3.2 ผังการทำงานของชุดส่งผ่านสายเอซี	42
รูปที่ 3.3 ชุดส่งสัญญาณผ่านสายเอซี	43
รูปที่ 3.4 ชุดรับสัญญาณผ่านสายเอซี	45
รูปที่ 3.5 ชุดโครงข่ายไฮบริด	46
รูปที่ 3.6 ชุดกำเนิดสัญญาณกระดิ่ง	49
รูปที่ 3.7 วงจรกระตุ้นสัญญาณกระดิ่ง	51
รูปที่ 3.8 วงจรตรวจสอบสภาวะคู่สายด้านรับ	52
รูปที่ 3.9 วงจรยกหูวางหูต้นทาง	54
รูปที่ 4.1 สัญญาณเสียงที่ป้อนให้ทางด้านอินพุตของชุดส่ง	59
รูปที่ 4.2 สัญญาณเสียงหลังจากผ่านการมอดูเลตแบบ AM	60
รูปที่ 4.3 สัญญาณที่มอดูเลตผ่านสายเอซี และผ่านเข้าสู่อินพุตของเครื่องรับ	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพ		หน้า
รูปที่ 4.4	สัญญาณเสียงที่ดีมอดูเลตกลับคืนมา	62
รูปที่ 4.5	คลื่นพาห์ขนาด 200 kHZ ที่ส่งจากเครื่องต้นทาง	63
รูปที่ 4.6	คลื่นพาห์ขนาด 300 kHZ ที่ส่งจากเครื่องปลายทาง	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในโลกปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาและสร้างวิทยาการใหม่ๆ ขึ้นมากันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในโลกของอิเล็กทรอนิกส์ ได้มีการพัฒนาตัวอย่างรวดเร็วมากจนไม่สามารถที่จะหยุดนิ่งอยู่ได้ ทำให้ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคต้องมีการพัฒนาตัวเองให้ทันต่อวิทยาการสมัยใหม่อยู่เสมอ ในด้านการสื่อสารก็เป็นอีกด้านหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพและมีความสะดวกสบายในการใช้งานมากขึ้น เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของหน่วยงานต่างๆ ได้อย่างทั่วถึงได้

โครงงานการเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซีนี้ มีแนวความคิดมาจากในปัจจุบันการเดินสายโทรศัพท์ภายในบ้านเรือนนั้นเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก เนื่องจากว่าบ้านเรือนส่วนใหญ่จะเดินสายไฟเอซีภายในผนังบ้าน แต่การเดินสายโทรศัพท์นั้นเมื่อติดตั้งแล้วจะต้องใช้ประจำที่ไม่สามารถที่จะเคลื่อนย้ายโทรศัพท์ได้ตามต้องการ ทั้งนี้เพราะว่าเราจะต้องเคลื่อนย้ายสายโทรศัพท์ไปตามเครื่องโทรศัพท์ด้วย ซึ่งในการเดินสายโทรศัพท์ใหม่นี้อาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อผนังบ้านได้ ดังนั้น เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวจึงได้คิดวิธีการส่งสัญญาณโทรศัพท์ผ่านสายเอซีขึ้น เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายในการเคลื่อนย้ายเครื่องโทรศัพท์ไปยังจุดต่างๆ ภายในบ้าน โดยที่ไม่จำเป็นต้องเดินสายโทรศัพท์ใหม่เลย

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

โครงงานนี้มีขีดความสามารถต่างๆ ดังนี้

1. สามารถที่จะส่งและรับสัญญาณทุกชนิดที่ส่งมาจากชุมสายโทรศัพท์ได้
2. สามารถทำงานได้เหมือนกับเครื่องรับโทรศัพท์ทั่วไป
3. สามารถใช้ได้กับทุกจุดภายในบ้านที่มีไฟเอซี 220 โวลต์ ผ่าน ในระยะทางประมาณ 25 เมตร
4. สามารถใช้ได้กับเครื่องรับโทรศัพท์เพียง 1 เครื่องต่อ 1 คู่สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยเนื้อหาในทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะทำให้ผู้อ่านได้มีความรู้ความเข้าใจที่เป็นพื้นฐานเสียก่อน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจกับวงจรที่ใช้งานจริงต่อไป

บทที่ 3 การออกแบบการสร้างและการทำงาน เป็นการอธิบายการออกแบบการสร้างหลักการและการทำงานของวงจรต่างๆ ซึ่งทำให้ผู้อ่านได้มีความเข้าใจ ต่อการทำงานโดยรวมของโครงงานนี้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงขั้นตอนในการทดลองและการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของวงจรต่างๆ ของโครงงานนี้ เพื่อที่จะตรวจสอบว่าโครงงานนี้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา เป็นการสรุปผลการทำงาน และได้เสนอแนะแนวทางในการแก้ไข พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพและการใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

ในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของรายการอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการจัดทำโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการสื่อสารเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในชีวิตประจำวัน คือ มีการติดต่อสื่อสารกันอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โทรศัพท์ถือได้ว่าเป็นระบบสื่อสารที่ใกล้ตัวเรามากอีกชนิดหนึ่ง และทุกคนต้องใช้โทรศัพท์ในการติดต่อสื่อสารกันมากที่สุด

การเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านสายเอซีนั้น เป็นการลดปัญหาการเดินคู่สายโทรศัพท์ภายในบ้าน อีกทั้งยังให้ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่องโทรศัพท์ไปตามจุดต่างๆ ภายในบ้านได้อีกด้วย

2.1 หลักการเบื้องต้นของโทรศัพท์

โทรศัพท์ที่ใช้กันโดยทั่วๆ ไป มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบกดปุ่มและแบบหมุนแต่หน้าที่ของทั้ง 2 ระบบก็จะเหมือนๆ กัน จะต่างกันก็ตรงที่แบบกดปุ่มจะส่งสัญญาณออกไปเป็นความถี่ที่แตกต่างกัน ส่วนแบบหมุนจะส่งสัญญาณเป็นจำนวนพัลซ์ ส่วนในเรื่องของสัญญาณต่างๆ ในระบบโทรศัพท์ที่ส่งมายังสมาชิกผู้ใช้ (Subscriber) เป็นการบอกสถานะของการติดต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบโทรศัพท์ และจะแจ้งให้ผู้ใช้ทราบว่าควรทำอย่างไรเมื่อได้รับสัญญาณแต่ละชนิด

2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของโทรศัพท์

ในการต่อคู่สายโทรศัพท์ของสมาชิกผู้ใช้ที่ชุมสายโทรศัพท์ใดๆ นั้น การทำงานในช่วงเวลาต่างๆ ของชุมสายโทรศัพท์จะเป็นดังนี้

1. สัญญาณ Off hook

เครื่องโทรศัพท์ของสมาชิกผู้ใช้ที่ต้องการจะเรียกออก สมาชิกผู้ใช้จะต้องยกหูฟังของเครื่องโทรศัพท์ (handset) ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณการยกหู (สัญญาณ Off-hook หรือสัญญาณ seize) จะทำให้ชุมสายรับรู้ได้ว่ามีผู้ที่ต้องการใช้โทรศัพท์ การยกหูโทรศัพท์จะทำให้เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครบวงจรทางไฟฟ้าที่ชุมสาย และที่เครื่องโทรศัพท์ (เนื่องจากในเวลาปกติที่มีการวางหูนั้น ฮุกสวิตซ์ (Hook switch) จะเปิดวงจร) โดยอุปกรณ์ในชุมสายจะเริ่มทำงาน

2. การแสดงตัวของสมาชิกผู้ใช้ที่ทำการเรียก

หน่วยเชื่อมต่อคู่สายโทรศัพท์ (Calling subscriber's line unit : SLTU) ในชุมสายโทรศัพท์จะทำหน้าที่ตรวจจับการเรียก โดยระบบควบคุมจะต้องระบุเลขหมายเพื่อสามารถคิดค่าบริการได้อย่างถูกต้องและเพื่อการพิจารณาว่าจะต้องใช้เส้นทางการต่อออก (Outgoing call) ทางใด

3. การกำหนดเรื่องการเก็บรักษาและการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ร่วม

เมื่อได้รับสัญญาณ Off - hook ระบบควบคุมจะต้องเชื่อมต่ออุปกรณ์ร่วม (common - equipment) เข้ากับคู่สาย โดยชุมสายจะจัดหาเส้นทางจากคู่สายมายังอุปกรณ์ร่วมนี้

4. Address digits

หลังจากที่ได้รับสัญญาณให้หมุน (Dial tone) ผู้ใช้ก็จะกดหมายเลข เครื่องโทรศัพท์ก็จะส่งเลขหมายมายังชุมสาย เมื่อชุมสายได้รับแล้วก็จะเก็บเลขหมายดังกล่าวไว้

5. การวิเคราะห์เลขหมาย

ระบบควบคุมจะต้องวิเคราะห์เลขหมายที่ได้รับเข้ามา เพื่อที่จะหาเส้นทางการต่อออกจากชุมสาย ถ้าหากเครื่องที่ถูกเรียกมีการใช้งานอยู่ ชุมสายก็จะส่งสัญญาณไม่ว่างไปยังเครื่องที่เรียก

6. การกำหนดเส้นทางของสวิตซ์

ระบบควบคุมจะรู้ว่าเส้นทางการต่อจากเครื่องที่เรียกไปยังเครื่องที่ถูกเรียกนั้น เป็นเส้นทางใด ดังนั้น จึงต้องสร้างวงจรสนทนาโดยสวิตซ์ของชุมสายผ่านเส้นทางนั้น ในส่วนของระบบควบคุมก็จะมีอัลกอริทึมต่างๆ ที่ใช้ในการเลือกเส้นทางที่ใกล้ที่สุด โดยสวิตซ์ที่จุดดังกล่าวจะต้องถูกตรวจสอบจนแน่ใจว่าไม่อยู่ระหว่างการใช้งาน และเมื่อทำการต่อเส้นทางการสนทนาแล้วอุปกรณ์ในส่วนนี้ก็จะหมดหน้าที่การทำงาน จึงถูกตัดออกจากวงจรเพื่อรอคอยที่จะสร้างเส้นทางสนทนาอื่นต่อไป

7. กระแสและเสียงการเรียก

สัญญาณต่อไปที่จะถูกส่งออกจากชุมสายหลังจากสร้างเส้นทางสนทนาแล้วนั้น คือ สัญญาณกระดิ่ง (Ringing tone) เพื่อทำหน้าที่บอกให้ผู้รับรู้ว่ามีการเรียกเข้ามาที่เครื่องรับเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุกสิ่งทุกอย่างเรียบร้อย คือสามารถต่อไปยังเครื่องรับได้แล้ว ชุมสายก็จะเริ่มส่งกระแสกระดิ่ง (Ringing current) ไปยังเครื่องที่ถูกเรียกและสัญญาณกระดิ่งไปยังเครื่องที่เรียกเข้ามา

8. สัญญาณ Answer

สัญญาณตอบกลับเป็นสัญญาณที่เกิดจากผู้รับยกหูฟังโทรศัพท์ หรือเกิดจากชุมสายที่เรียกไปส่งสัญญาณตอบกลับมา ระบบควบคุมจะรับรู้ได้โดยการตรวจสอบแรงดันและกระแสในคู่สาย ดังนั้น แสดงว่าวงจรสนทนาถูกทำการเชื่อมต่อระหว่างผู้ส่งและผู้รับเป็นที่เรียบร้อย จึงเริ่มสนทนากันได้ และหน่วยคิดค่าบริการก็จะเริ่มทำงาน

9. การตรวจสอบ

ในขณะที่คู่สนทนากำลังสนทนาผ่านคู่สายโทรศัพท์อยู่นั้น จะมีส่วนหนึ่งของชุมสายคอยตรวจสอบอยู่ หน้าที่ของส่วนนี้ก็คือ การตรวจสอบการสิ้นสุดของการสนทนา (การวางหูโทรศัพท์) โดยจะตรวจสอบที่ทุกๆ คู่สายในชุมสายที่เป็นวงจรสนทนา

10. สัญญาณ Clear

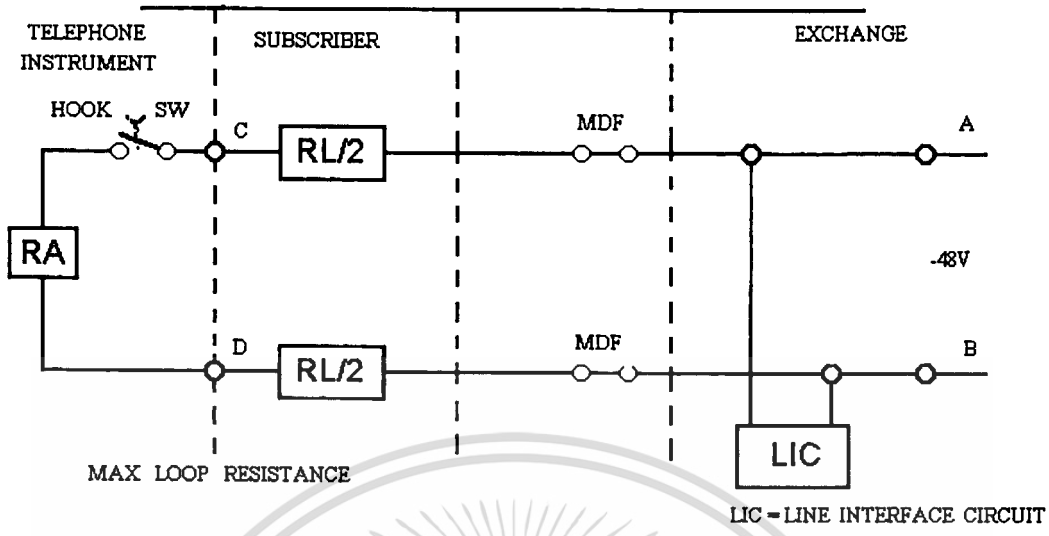
เมื่อมีสัญญาณยกเลิกวงจร (Forward clear : ซึ่งเกิดจากเครื่องโทรศัพท์ที่เป็นผู้เรียก Backward clear : ซึ่งเกิดจากเครื่องที่ถูกเรียก) เกิดขึ้นที่ชุมสาย อุปกรณ์ต่างๆ ในชุมสายก็จะทำการปลดตัวเองออกจากวงจร เพื่อพร้อมที่จะสร้างวงจรสนทนาใหม่

2.1.2 สัญญาณการวางหู (Hook on) และยกหู (Hook off)

จากรูป 2.1 จะเห็นว่าเมื่อฮุกสวิตซ์เปิดอยู่ วงจรจะเปิด ทำให้ไม่มีกระแสไหลในวงจร ซึ่งเป็นสภาพปกติของวงจรขณะวางหูโทรศัพท์อยู่ ถ้าวัดคร่อมที่จุด C และ D เราจะได้แรงดัน 48 โวลต์ แต่ถ้ามีการยกหูขึ้น ฮุกสวิตซ์จะเปิดวงจร ทำให้มีกระแสไหลในวงจร

ในระบบโทรศัพท์ย่านความถี่ตั้งแต่ 0 - 4 kHz เป็นย่านเสียงพูด (Voice band width) แต่ช่วงใช้งานกำหนดที่ 300 - 3,400 kHz เท่านั้น ดังนั้นความถี่ที่เกิน 3,400 kHz ขึ้นไปแต่ไม่เกิน 4 kHz เราเรียกว่า สัญญาณที่อยู่นอกเหนือการใช้งาน (Out signalling out band) ที่นิยมใช้คือ 3,825 kHz ส่วนความถี่ที่ต่ำกว่า 3,400 kHz ลงมา เราเรียกว่าสัญญาณที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



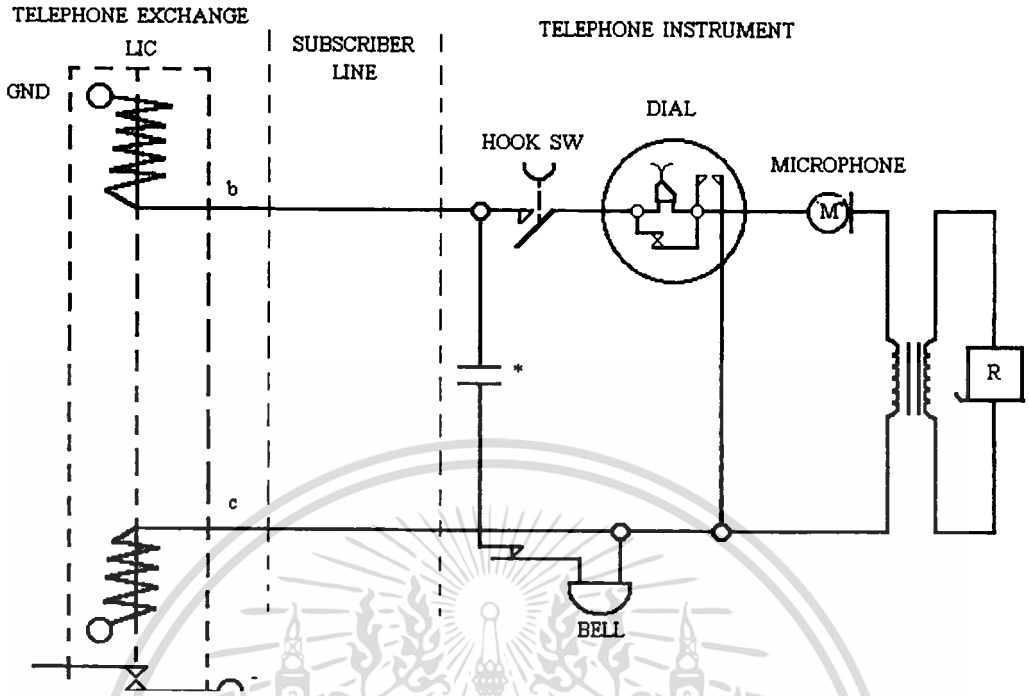
รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลย์จากคู่สายผู้ใช้ไปยังชุมสาย

ค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อม C และ D จะตกลงเหลืออยู่ประมาณ 6 - 10 โวลต์ ตามระยะห่างของคู่สายของผู้ใช้กับชุมสาย ซึ่งจะทำให้ส่วน LIC รับทราบการยกหูของผู้ใช้ ดังนั้นทางชุมสายก็จะรับทราบการยกหู และการวางหูของผู้ใช้ โดยการตรวจสอบค่าของกระแสในสายแสดงดังรูป 2.2

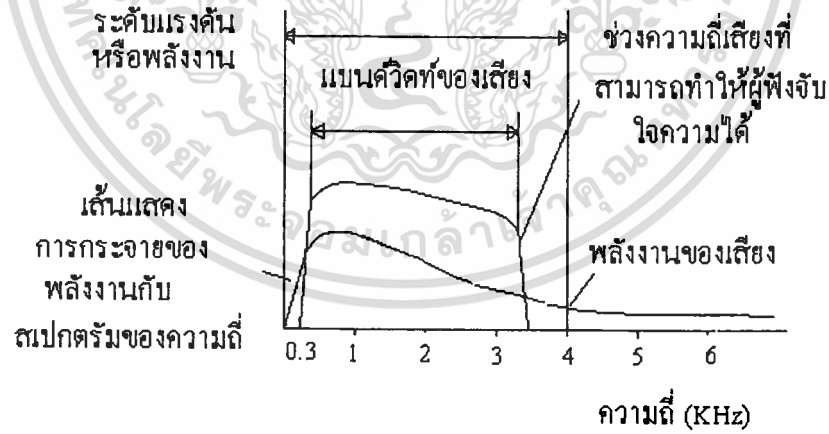
2.1.3 สัญญาณเสียงพูด

สัญญาณเสียงพูดจัดเป็นสัญญาณแอนะลอกโดยจากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าเสียงพูดนั้นจะมีย่านความถี่ตั้งแต่ 100 Hz ไปจนถึง 6 kHz แต่เสียงพูดที่ทำให้คนสามารถฟังและจับใจความได้จะอยู่ในช่วง 200 - 4,000 Hz เท่านั้น วงจรกรองความถี่จึงถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันสัญญาณที่ไม่ต้องการโดยจะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ตั้งแต่ 0 - 4,000 Hz สามารถผ่านเข้าระบบได้ ความถี่ย่านนี้มีชื่อเรียกว่า ช่องสัญญาณเสียงพูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

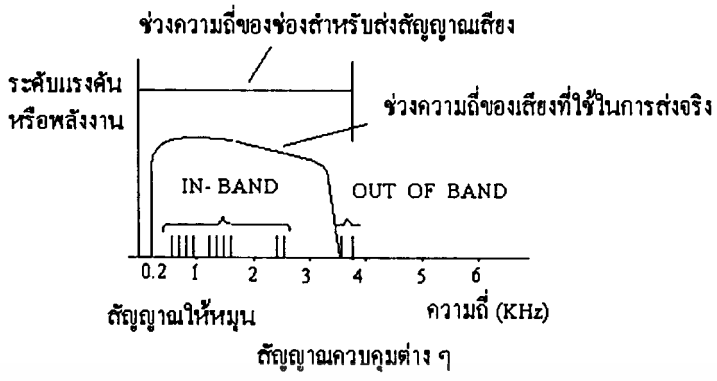


รูปที่ 2.2 วงจรคู่สายของผู้ใช้ไปยังชุมสาย



รูปที่ 2.3 แถบความถี่ (พลังงาน) ของเสียงพูด

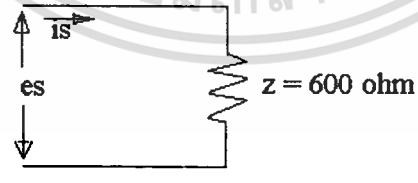
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 สัญญาณต่างๆ ที่อยู่ทั้งในและนอกย่านความถี่เสียง

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าในช่วงความถี่ 300-3,000 Hz นั้นประกอบไปด้วยสัญญาณต่างๆ หลายสัญญาณ เช่น สัญญาณหมุนหรือสัญญาณควบคุมต่างๆ ซึ่งจะถูกส่งไปในช่วงความถี่นี้ทั้งสิ้น เมื่อกล่าวถึงระดับความดังของเสียงที่ได้ยิน คือ ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณสามารถอธิบายได้โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยได้อธิบายในรูปของพลังงานที่ปรากฏที่โหลด ดังรูปที่ 2.5 เช่น สายโทรศัพท์คู่หนึ่งมีอิมพีแดนซ์ 600 โอห์ม พลังงานที่ปรากฏที่โหลดคือ

$$P_{load} = \frac{e^2 s}{600}$$



รูปที่ 2.5 วงจรอย่างง่ายในการอธิบายกำลังของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบโทรศัพท์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับเสียง มักจะเปรียบเทียบกับกำลังขนาด 1 มิลลิวัตต์ อยู่เสมอ โดยอยู่ในรูปของเดซิเบล (dB) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$dB = 10 \log P1 / P2$$

แต่เนื่องจากมักจะใช้ค่า 1 มิลลิวัตต์ เป็นค่าเปรียบเทียบ (ค่า P2 = 1 มิลลิวัตต์) จึงใช้สัญลักษณ์เป็น dBm แทน ซึ่งความหมาย คือ การเปรียบเทียบกำลังที่จุดนั้นกับกำลังที่ขนาด 1 มิลลิวัตต์ นั่นเอง

2.1.4 สัญญาณควบคุม

สัญญาณต่างๆ ที่ส่งมาจากชุมสายนั้นมีมากมายหลายอย่าง แต่ในที่นี้จะกล่าวถึง ก็คือสัญญาณเสียงที่ใช้กันบ่อย 4 สัญญาณ ซึ่ง CCITT กำหนดไว้ว่าสัญญาณเสียงต่างๆ ในขณะที่สัญญาณเสียงที่คู่สายของผู้ใช้ที่ชุมสายส่งมาให้จะต้องอยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 400 - 450 Hz และทำการขัดจังหวะ (Interrupt) ด้วยความถี่ 20 Hz ด้วย ยกเว้นชุมสายประเภท PABX ซึ่งจะต้องกำหนดสัญญาณเสียงให้ต่างจากความถี่นี้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถแยกออกว่าเป็นสัญญาณผ่านชุมสาย PABX หรือชุมสายท้องถิ่น (Local exchange) ขององค์การโทรศัพท์ฯ เลือกใช้ความถี่ 425 Hz เป็นส่วนใหญ่

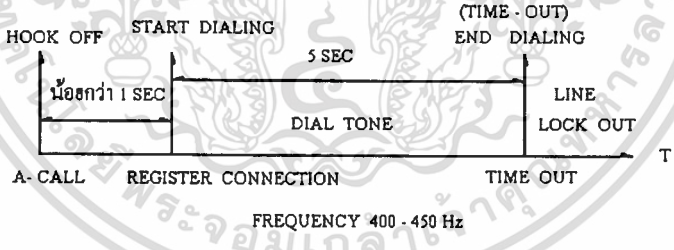
1. สัญญาณว่าง (Dial tone) เป็นสัญญาณเสียงที่มีความถี่ในช่วงที่ CCITT กำหนดโดยส่งแบบยาวต่อเนื่อง โดยสัญญาณเสียงสัญญาณนี้เป็นสัญญาณเสียงที่ส่งจากชุมสายมายังผู้ใช้คู่สาย เมื่อผู้ใช้ต้องการเรียกไปยังผู้รับก็จะยกหูโทรศัพท์ ทำให้ชุมสายรับทราบความต้องการเรียกออกของผู้ใช้คู่สายจากค่าของกระแสทางชุมสาย จึงจะส่งสัญญาณว่างกลับไปให้ทางผู้ใช้คู่สายได้ทราบว่าทางชุมสายพร้อมที่จะรับการเรียกแล้ว ซึ่งช่วงเวลาตั้งแต่ผู้เรียกยกหูจนชุมสายส่งสัญญาณว่างให้เป็นเวลาน้อยกว่า 1 วินาที และทางชุมสายก็จะส่งสัญญาณว่างให้เป็นเวลา 5 วินาที ถ้าผู้ใช้คู่สายไม่ส่งข้อมูลตัวเลข (โดยวิธีหมุนหรือกดปุ่ม) ไปให้ชุมสายชุมสายก็จะตัดการติดต่อกับผู้ใช้รายนี้เป็นคู่สายที่ไม่ใช้งานทันที เพื่อปลดตำแหน่งของการเก็บพื้นที่ไว้สำหรับติดต่อ และรหัสของผู้รับ (Code receiver) ไปใช้งานกับคู่สายรายอื่นๆ ต่อไปที่ต้องการเรียกออก ทั้งนี้ก็เพื่อมิให้ตำแหน่งของการเก็บพื้นที่ไว้สำหรับติดต่อ และรหัสของผู้รับที่มีจำนวนจำกัดในชุมสายเสียเวลามากเกินไป ดังนั้น ผู้ใช้คู่สายนี้ไม่สามารถเรียกออกได้ แต่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปฝากขายต่อ โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน

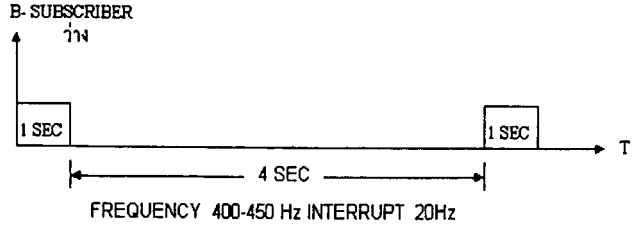
เรียกออกได้เมื่อวางหูและยกหูใหม่ก็จะได้สัญญาณว่างใหม่ ลักษณะของสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 2.6

2. สัญญาณเรียกกลับ (Ring back tone) เป็นสัญญาณที่ตอบจากชุมสายเมื่อผู้เรียกเรียกเลขหมายปลายทางแล้วคู่สายปลายทางว่าง ซึ่งสัญญาณเรียกกลับอาจส่งจากชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่นเดียวกันกับคู่สายที่เรียกใช้ก็ได้ (ในกรณีที่คู่สายที่เรียกใช้และคู่สายปลายทางอยู่ภายในชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่นเดียวกัน) หรือชุมสายต่อผ่าน (Terminal exchange) (กรณีที่คู่สายปลายทางอยู่อีกชุมสายหนึ่ง) สัญญาณนี้เป็นชนิดเดียวกับสัญญาณว่างแต่จะส่งหยุดๆ เป็นช่วงๆ นาน 1.5 นาที ถ้าปลายทางไม่รับสาย จึงจะตัดเป็นเครื่องปลายทางไม่ว่าง ดังรูปที่ 2.7

3. สัญญาณไม่ว่าง (Busy tone หรือ Congestion tone) เป็นสัญญาณตอบจากชุมสายเมื่อผู้เรียกเรียกเลขหมายปลายทางแล้วทางคู่สายปลายทางหรือคู่สายต่างชุมสาย (Out going - trunk) ไม่ว่าง ซึ่งสัญญาณไม่ว่างอาจส่งมาจากชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่นเดียวกันกับคู่สายที่เรียกใช้ก็ได้ (ในกรณีที่คู่สายปลายทางไม่ว่าง) หรืออาจจะส่งมาจากชุมสายต่อผ่าน (กรณีคู่สายปลายทางซึ่งอยู่อีกชุมสายหนึ่งไม่ว่าง) เป็นชนิดเดียวกันสัญญาณว่างแต่จะสั่งหยุด เป็นช่วงๆ ลักษณะของสัญญาณแสดงดังรูปที่ 2.8

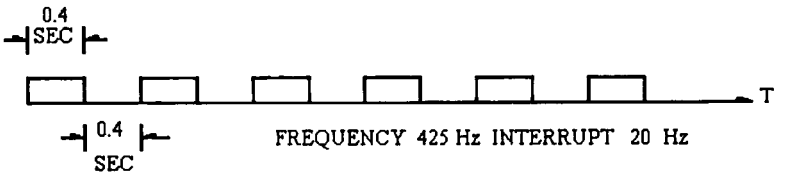


รูปที่ 2.6 ลักษณะสัญญาณว่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

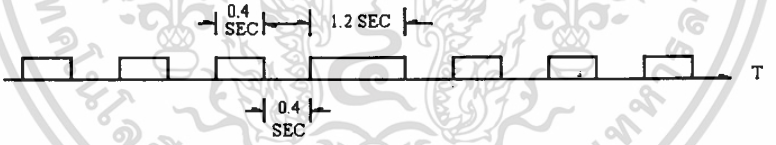
รูปที่ 2.7 ลักษณะของสัญญาณเรียกกลับ



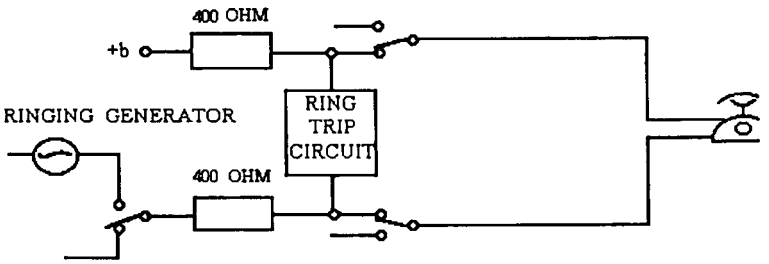
รูปที่ 2.8 ลักษณะของสัญญาณไม่ว่าง

4. สัญญาณนูโทน (Nu tone) บอกให้เราทราบว่าเบอร์ที่เราหมุนนั้นไม่มีในชุมสาย ซึ่งอาจจะเกิดจากการหมุนหรือได้เบอร์ผิด เป็นความถี่ชนิดลักษณะเดียวกับสัญญาณว่าง ลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.9

5. สัญญาณกระดิ่ง (Ringing tone) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 90 โวลต์ 25 Hz (หรือ 16 Hz , 100 Hz ในบางประเทศ) ที่จะส่งมาจากชุมสายไปยังคู่สายปลายทาง เพื่อให้ทางคู่สายปลายทางทราบว่ามีผู้เรียกเข้ามา โดยมีจังหวะของเสียงสัญญาณกระดิ่งคล้ายกับสัญญาณเรียกกลับ ลักษณะวงจรสร้างสัญญาณกระดิ่งแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 ลักษณะของนูโทน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 ลักษณะวงจรสร้างสัญญาณกระดิ่ง

คุณสมบัติตามรูปที่ 2.10 มีดังนี้

-แรงดันของสัญญาณกระดิ่ง จะต่อเชื่อมอยู่กับแบตเตอรี่ 48 โวลต์

-สามารถพ่วงกระดิ่งที่ยังสามารถทำให้กระดิ่งทำงานได้ไม่เกิน 3 ตัว คือสามารถที่จะพ่วงเครื่องรับโทรศัพท์ได้ไม่เกิน 3 เครื่อง โดยเมื่อรวมค่าความจุของกระดิ่ง 3 ตัว แล้ว จะต้องไม่เกิน 2.6 μF ดังนั้นค่า C ในแต่ละเครื่องมีค่าไม่เกิน 1 μF

-ความต้านทานของสายหุ้ม (Insulation resistance) ค่าต่ำสุดไม่ควรที่จะน้อยกว่า 20 กิโลโอห์ม หรือ 30 กิโลโอห์ม ถือว่าดี

-ความต้านทานของวงจรลูป (Loop resistance) น้อยกว่า 2 กิโลโอห์ม

-การส่งสัญญาณกระดิ่งเริ่มส่งเป็นพัลซ์สั้นๆ 150 mS (กริ่งสั้นๆ ก่อนที่จะส่งสัญญาณกระดิ่งเพื่อกระตุ้นให้กระดิ่งทำงาน

2.1.5 สัญญาณรบกวน

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นมักจะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเพี้ยนของเสียงพูดได้ สิ่งที่อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้ คือ สิ่งแวดล้อมรอบข้าง เช่น ความร้อน , การสวิตซ์ของอุปกรณ์พวกไทรีสเตอร์ , สายไฟฟ้าแรงสูงที่อยู่ใกล้ๆ กับสายส่งสัญญาณ , ข้อต่อสายที่บกพร่อง เป็นต้น โดยที่สิ่งเหล่านี้ล้วนจะทำให้ประสิทธิภาพของสัญญาณของโทรศัพท์ด้อยลงทั้งสิ้น นอกจากนี้ยังมีสัญญาณรบกวนอีกชนิดหนึ่ง คือ เสียงสะท้อน (Echo) ในสายโทรศัพท์ ซึ่งสาเหตุของการเกิดเสียงสะท้อน คือ อาจจะเกิดจากการไม่สมดุลย์กันระหว่างค่าของอิมพีแดนซ์ของสายส่งกับอุปกรณ์ทางด้านเอาต์พุต ซึ่งโดยส่วนมากแล้ว จะพบที่จุดการเชื่อมต่อกันระหว่างระบบโทรศัพท์ที่มี 2 สาย กับระบบที่มี 4 สาย และปัญหาของเสียงสะท้อนนั้นจะยิ่งมากขึ้นถ้าหากว่าระยะทางระหว่างจุดที่ทำให้เกิดเสียงสะท้อนอยู่ไกลกันมาก แต่โดยปกติแล้ว มักจะไม่รู้สึกถึงเสียงสะท้อนกลับของเสียงจนถึงขั้นที่ทำให้รู้สึกรำคาญ

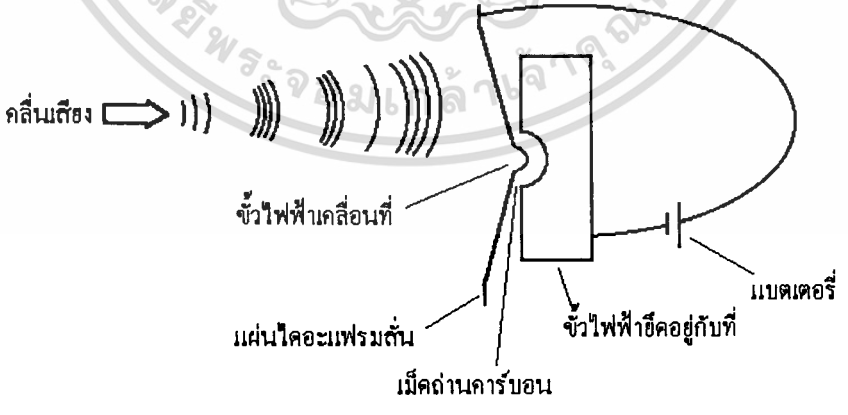
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทำงานของเครื่องโทรศัพท์

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องโทรศัพท์คือ เครื่องส่ง , เครื่องรับ , ขดลวดเหนี่ยวนำ , แท่งแม่เหล็กสำหรับโทรศัพท์ระบบแม่เหล็ก , และหน้าปัทม์สำหรับหมุนหมายเลขโทรศัพท์ระบบอัตโนมัติมีส่วนประกอบและหลักการทำงานดังนี้

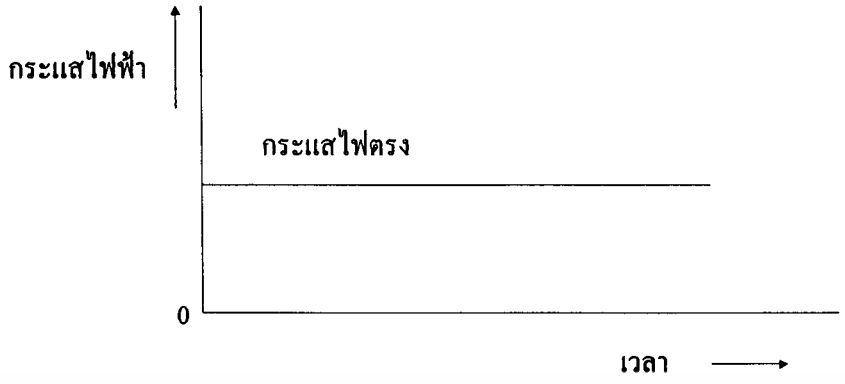
2.2.1 เครื่องส่ง

เครื่องส่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ เปลี่ยนคลื่นเสียงของการพูดให้เป็นกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูป 2.11 มีเม็ดถ่านคาร์บอนอยู่เต็มช่องระหว่างขั้วไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้และขั้วที่ยึดอยู่กับที่ แต่ละขั้วต่ออยู่กับขั้วของแบตเตอรี่ แผ่นไดอะแฟรมสั่น (Vibrating diaphragm) ยึดอยู่กับขั้วไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ได้ ซึ่งสั่นตามคลื่นเสียงที่ได้รับ ทำให้เกิดแรงกดบดเม็ดถ่านสลับไปมา และความต้านทานสัมผัสของเม็ดถ่านเปลี่ยนตามความดันที่เกิดขึ้น เมื่อไม่มีคลื่นเสียงกระแสที่ผ่านเม็ดถ่านจะมีค่าคงที่ ดังแสดงในรูป 2.12 เมื่อมีคลื่นเสียง กระแสจะเปลี่ยนดังในรูป 2.13 ผลที่ได้รับ คือ เครื่องส่งจะผลิตกระแสไฟสลับดังแสดงในรูป 2.14 (กระแสที่ประกอบด้วยกระแสไฟตรงและกระแสไฟสลับซ้อนทับ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เรียกว่า กระแสกระเพื่อม (Pulsating-current))



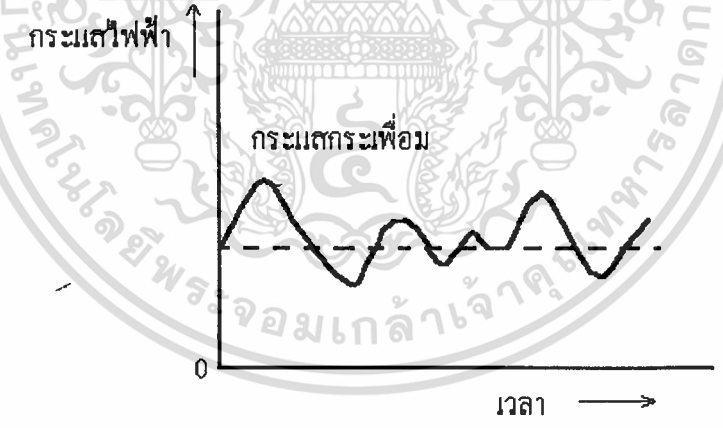
รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของเครื่องส่งโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กระแสของเครื่องส่งโทรศัพท์เมื่อไม่มีสัญญาณเสียง

ดังนั้น เครื่องส่งจะเปลี่ยนแรงกดของสัญญาณเสียงเป็นกระแสไฟฟ้า แล้วส่งกระแสนี้ผ่านสาย และอุปกรณ์สวิทซ์ไปยังเครื่องรับของฝ่ายที่ถูกเรียก

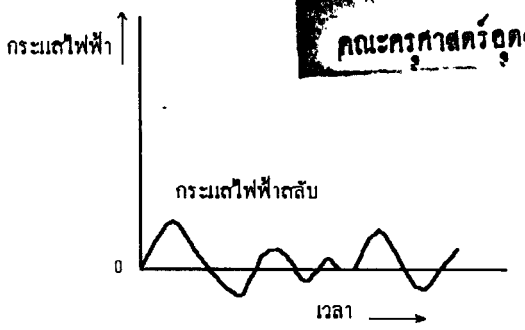


รูปที่ 2.13 กระแสของเครื่องส่งโทรศัพท์เมื่อมีสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W778 ค 2538

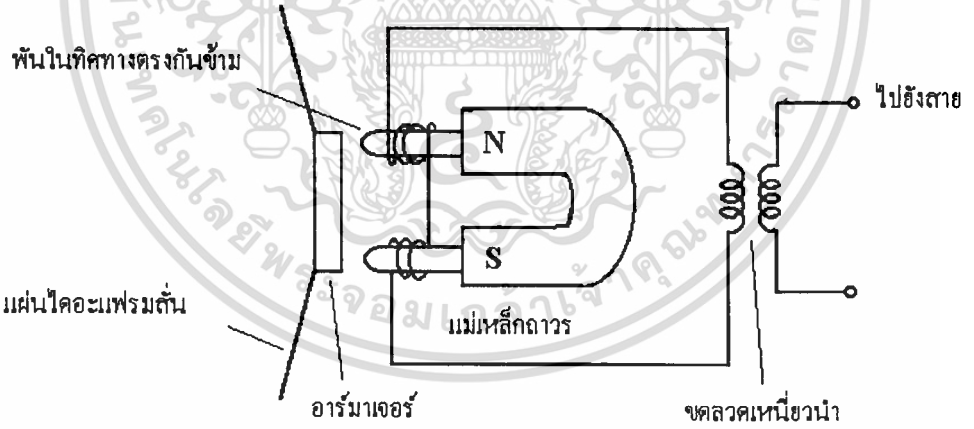
ห้องสมุด
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.



รูปที่ 2.14 กระแสไฟสลับของเสียงพูดที่ผ่านสายของผู้เช่า

2.2.2 เครื่องรับ

เครื่องรับเป็นอุปกรณ์ทำสัญญาณเสียงด้วยแผ่นไดอะแฟรมสั่น ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ที่ทำงานตามกระแสเสียงพูดที่ส่งมาจากเครื่องส่งของฝ่ายเรียก มีลักษณะการสร้างเสียงพูดดังนี้



รูปที่ 2.15 ผังส่วนต่างๆ ของเครื่องรับโทรศัพท์

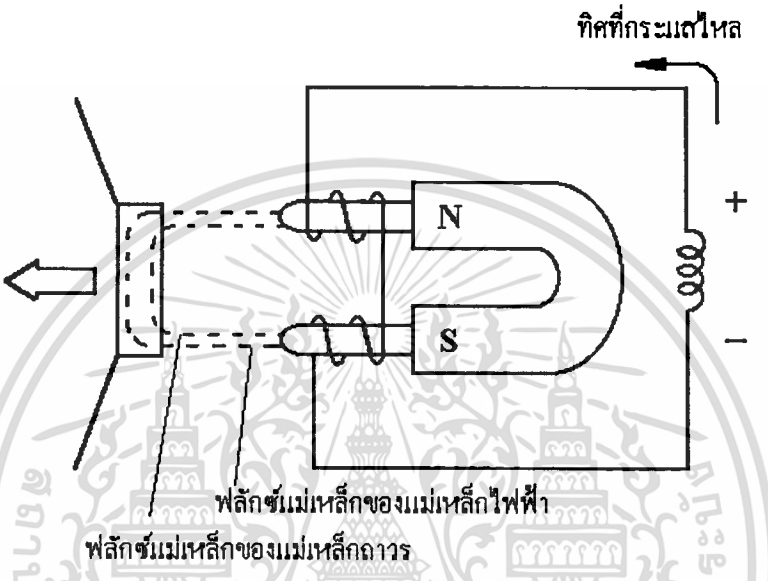
มีขดลวดยึดอยู่กับแต่ละขั้วของแท่งแม่เหล็กถาวร และต่อกันอยู่อย่างอนุกรม แต่กลับทางกัน แม่เหล็กนี้จะดึงแผ่นไดอะแฟรมเข้ามา เมื่อกระแสที่ได้รับไหลผ่านวงจรของเครื่องรับ ก็จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้นในขดลวด ทิศของฟลักซ์แม่เหล็กจะสลับตามทิศของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1529

021298

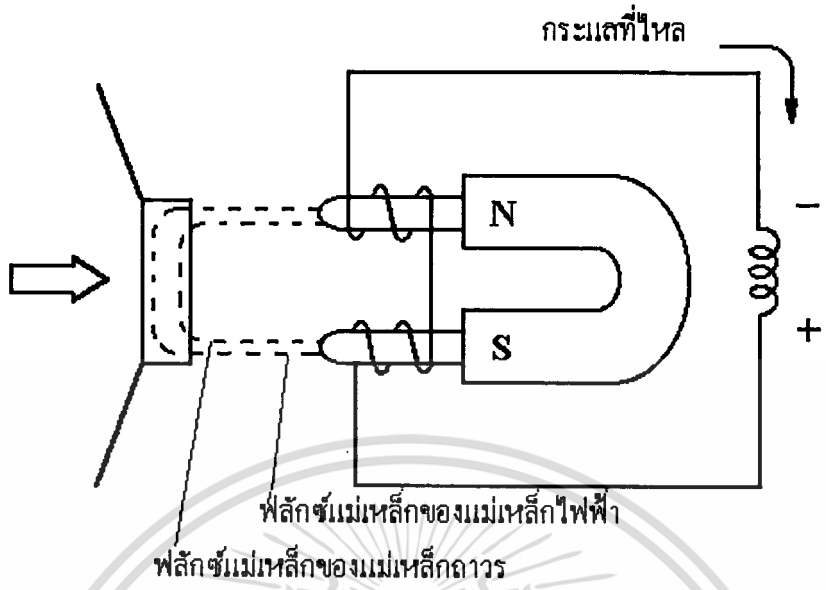
กระแสไฟฟ้า ซึ่งจะไปเสริมหรือต้านกับฟลักซ์ของตัวแม่เหล็กถาวร ทำให้แผ่นไดอะแฟรม จะสั่นตามขนาด และความถี่ของกระแสไฟสลับรอบๆ จุดสมดุลย์ ด้วยแรงดึงของแม่เหล็กนี้ ทำให้เกิดสัญญาณเสียงขึ้นที่ด้านหน้าของแผ่นไดอะแฟรม



รูปที่ 2.16 การทำงานของเครื่องรับโทรศัพท์ ขณะแผ่นไดอะแฟรมแยกออกจากแท่งแม่เหล็ก

เมื่อกระแสไหลในทิศดังแสดงในรูปที่ 2.16 กระแสจะเหนี่ยวทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กในทิศตรงกันข้ามกับของแม่เหล็กถาวร ทำให้แรงดึงลดลง แผ่นไดอะแฟรมจึงเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในรูปที่ 2.17 ฟลักซ์ทั้งสองกระทำในทิศทางเดียวกัน ดังนั้น แรงดึงของแม่เหล็กก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้แผ่นไดอะแฟรมถูกดึงดูดเข้ามา

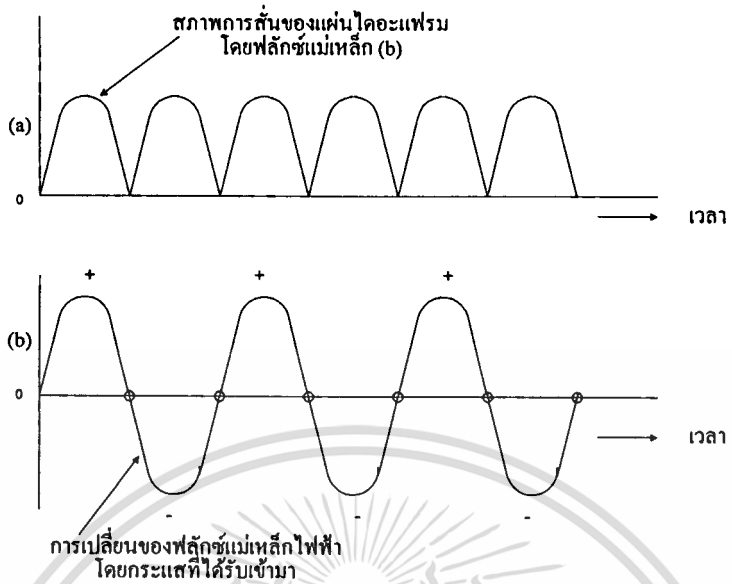
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การทำงานของเครื่องรับโทรศัพท์ ขณะแผ่นไดอะแฟรมถูกดึงเข้าหาแท่งแม่เหล็ก

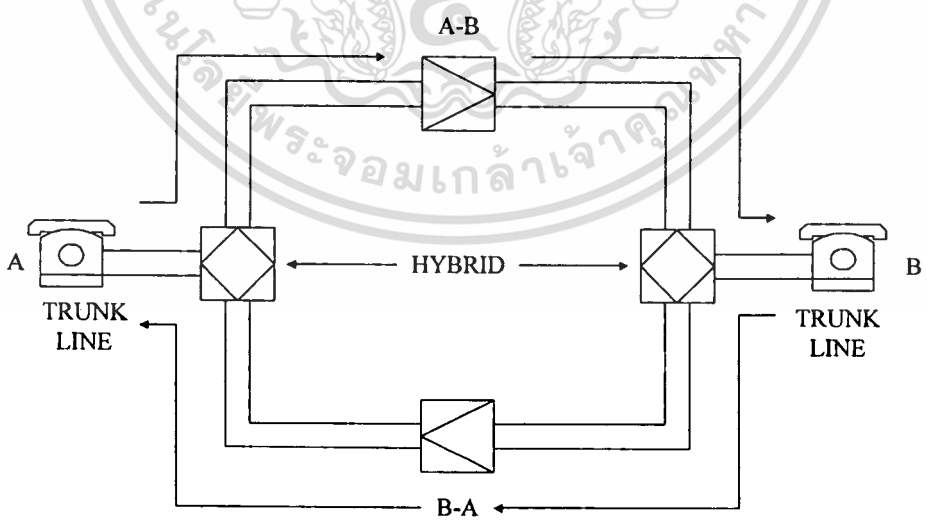
ถ้าไม่ใช่แท่งแม่เหล็กถาวร เมื่อได้รับกระแสเสียงพูด แผ่นไดอะแฟรมจะถูกดึง ขณะที่ฟลักซ์แม่เหล็กอยู่ที่ตำแหน่ง + และที่ตำแหน่ง - และกลับไปยังตำแหน่งปกติ ขณะที่ฟลักซ์อยู่ที่ 0 ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (a) ในกรณีนี้แผ่นไดอะแฟรมสั่นด้วยความถี่เป็นสองเท่าของสัญญาณเสียง ทำให้เกิดคลื่นบิดเบือนหรือคลื่นเพี้ยน (Distorted wave) ขึ้น แต่เมื่อใช้แท่งแม่เหล็กถาวรฟลักซ์จากแม่เหล็กถาวร และฟลักซ์จากกระแสที่ได้รับจะซ้อนทับกัน ทำให้ไม่มีโอกาสที่ฟลักซ์จะอยู่ที่ตำแหน่ง 0 ดังรูปที่ 2.18 (b) ดังนั้น สัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นจะมีความถี่เท่ากับความถี่ของกระแสที่ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การทำงานของเครื่องรับโทรศัพท์

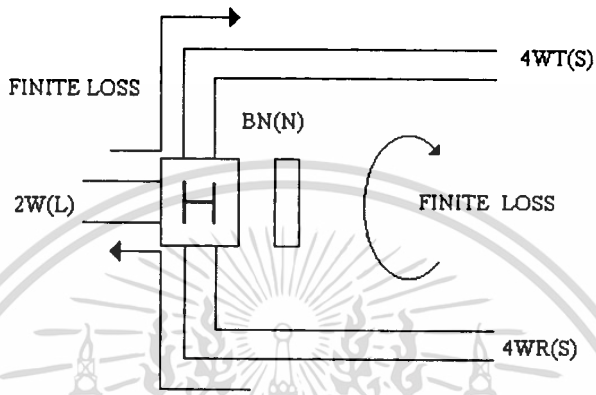
2.2.3 อุปกรณ์เชื่อมต่อคู่สายโทรศัพท์กับเครื่องรับส่งวิทยุ (Hybrid)



รูปที่ 2.19 การแยกการรับและส่งสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวไฮบริดนี้ นอกจากจะใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างสายหนึ่งคู่กับสายสองคู่แล้ว ยังใช้ในการแยกการรับและส่งสัญญาณเสียง (0.3 - 3.4 kHz) ด้วย โดยระหว่างทางจะมีเครื่องขยายสัญญาณไว้ แสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.20 คุณสมบัติการส่งสัญญาณ

ซึ่งตัวไฮบริดนี้กล่าวง่ายๆ ก็คือ เป็นวงจรที่มีด้านเข้าออก 4 ทาง โดยกำหนดชื่อต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.20 คุณสมบัติในการส่งสัญญาณซึ่งกล่าวอย่างสรุป ก็คือ จะยอมให้สัญญาณผ่านได้สะดวกระหว่างด้านประชิด คือ มีการลดทอนน้อย และไม่ยอมให้สัญญาณผ่านระหว่างด้านตรงข้าม คือมีการลดทอนมาก ตามที่แสดงดังรูปที่ 2.20

2W(L) : 2 Wire คือ ด้านที่ต่ออยู่กับชุมสาย บางทีเรียกว่า 2 wire line

4WT(S) : 4 Wire send (Transmit) คือ ทางที่ออกไปยังด้านส่งในวงจรต่อๆ ไป

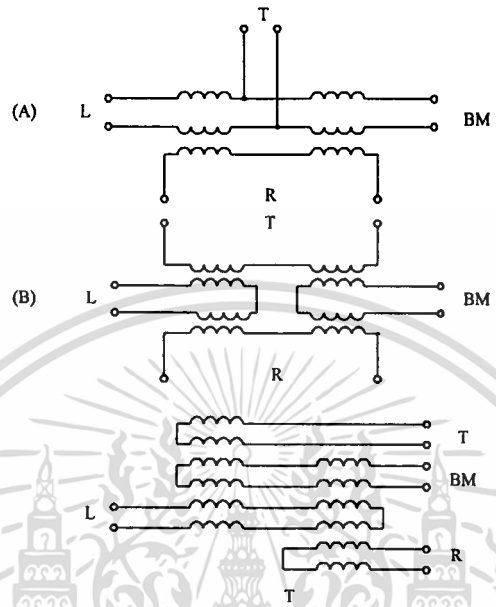
4WR(S) : 4 Wire receive คือ ทางด้านรับสัญญาณที่มาจากอุปกรณ์อีกด้านหนึ่งเพื่อส่งต่อไป 2 Wire

BN(N) : Balancing network มีเพื่อให้ไฮบริดอยู่ในภาวะสมดุลย์ โดยปกติจะมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ Characteristic impedance ของสายโทรศัพท์ (ประมาณ 600 โอห์ม)

ไฮบริดแบ่งได้เป็น 2 แบบซึ่งทั้ง 2 แบบนี้ มีหลักการใช้งานคล้ายกัน โดยมีวงจรหลายแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 และรูปที่ 2.22

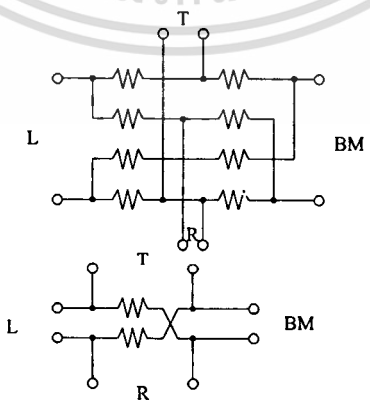
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทรานส์ฟอร์เมอร์ไฮบริด (Transformer hybrid)



รูปที่ 2.21 ทรานส์ฟอร์เมอร์ไฮบริด

2. รีซิสแตนซ์ไฮบริด (Resistance hybrid)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.22 รีซิสแตนซ์ไฮบริด

การสร้างวงจรไฮบริดนั้น ต้องคำนึงถึงข้อกำหนดดังต่อไปนี้

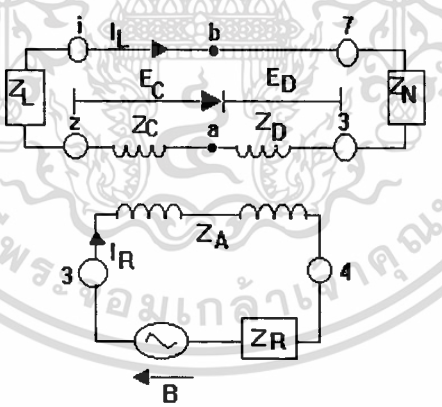
1. การลดทอนจาก 2 W ไปยัง 4 WS จะต้องน้อย
2. การลดทอนจาก 4WR ไปยัง 2W จะต้องน้อย
3. การลดทอนจาก 4WR ไปยัง 4WS จะต้องมาก

การส่งสัญญาณจาก 4 WR

จากรูปที่ 2.23 ถ้าศักดาไฟฟ้าที่จุด a (V_a) เท่ากันกับที่จุด b (V_b) แล้ว I_L จะเท่ากับศูนย์ กำหนดให้ E_C และ E_D เป็น EMF ใน Z_C และ Z_D ตามลำดับ ดังนั้น อัตราส่วนของ E_C และ E_D แสดงได้โดยสูตร

$$\frac{E_C}{E_D} = \sqrt{\frac{E_C}{E_D}} = 1$$

$$\therefore E_C = E_D$$



รูปที่ 2.23 การส่งสัญญาณจาก 4 WR

ดังนั้นเมื่อ Z_N เท่ากับ Z_L แล้ว V_a จะเท่ากับ V_b นั้นคือถ้า $Z_N = Z_L$ แล้ว จะไม่มีกระแสไหลไปยังด้านตรงข้าม ($I_L = 0$) จึงสรุปได้ว่า ค่าลดทอนจาก 4 WR ไปยัง 2W หรือ BN แสดงโดยสูตรต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

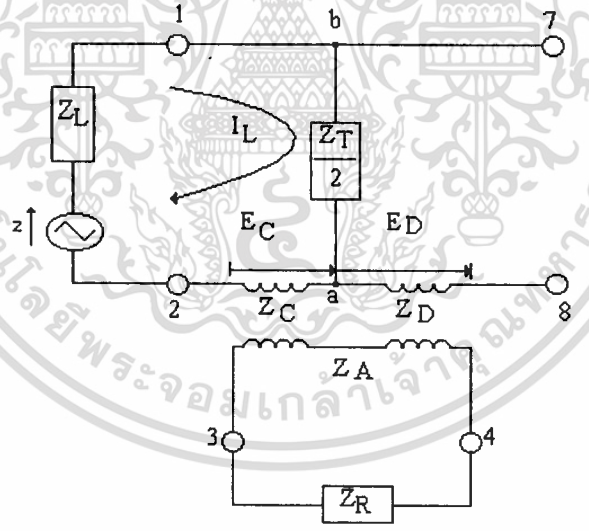
$$I_R / I_L = \sqrt{(Z_C + Z_D + 2Z_{CD}) / Z_A}$$
$$= \sqrt{4 \div 2}$$
$$= \sqrt{2}$$
$$\therefore 20 \log (I_R / I_L) = 20 \log \sqrt{2}$$
$$= 3.01 \text{ dB}$$

ในที่นี้ $Z_N = Z_L = Z_R$

เมื่อส่งสัญญาณจาก 2 W

ตามรูปที่ 2.24 ถ้าศักดาไฟฟ้าที่จุด 8 (V_8) เท่ากับที่จุด 7 (V_7) แล้ว I_L จะเท่ากับศูนย์ โดยกำหนดให้ V_a เป็นศักดาไฟฟ้าที่จุด a ดังนั้น

$$V_7 = V_a + (Z_T/2) I_L$$



รูปที่ 2.24 การส่งสัญญาณจาก 2 W

กำหนดให้ E_C และ E_D เป็น EMF ที่เกิดขึ้นใน Z_C และ Z_D ตามลำดับ ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_C = Z_R (Z_C / Z_A) I_L = 1/2 Z_R I_L$$