

แผนผังการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล

DIGITAL TELEPHONE SIGNAL CODING & DECODING
DEMONSTRATION

ชาญชัย คุ้มประดิษฐ์ภักดิ์
HARNCHAI CHURPADITPAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2673-3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แผนงสาธิตวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล

DIGITAL TELEPHONE SIGNAL CODING & DECODING
DEMONSTRATION

หาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์

HARNCHAI CHURPADITPAN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

63670

30 ส.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974 – 15 – 2673 – 3

**DIGITAL TELEPHONE SIGNAL CODING & DECODING
DEMONSTRATION**

HARNCHAI CHURPADITPAN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION IN
ELECTRICAL COMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974 – 15 – 2673 - 3

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUTE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แผนงาสาริตวงจรเข้าและถครห้สสัถญูณ
	โทรศัพท์คิจิตอล
นัถศีกษา	หาญชัย ถั่วประคิชฐัถันท์
รหัสประจําตัว	44064618
ปริญญา	ครุศาสตรัถุตสาหรรมมหาบัณจติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟาสื่อสาร
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ศ.ศ.ศ.สุรสิทธิ ราตรี
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ศ.ศ.ศ.พิระวุฒิ สุวรรณจันทร

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและสร้างชุดสาริตการเข้าห้สและถครห้สสัถญูณโทรศัพท์คิจิตอล พร้อมทั้งหาคุณภาพจากความเห็นของกลุ่มตัวอย่างครุอาจารย์สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ในวิทยาลัยเทคนิคสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากระทรวงศึกษาธิการ จำนวน 5 วิทยาลัยโดยวิธีการกำหนดวิทยาลัยละ 1 ท่านที่ทำการสอนในวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบสื่อสารคิจิตอล

การออกแบบและสร้างชุดสาริตการเข้าห้สและถครห้สสัถญูณโทรศัพท์คิจิตอล มีขั้นตอนดำเนินการ โดยเริ่มต้นกำหนดหัวข้อไปงานการทดลองและรูปแบบชุดสาริต ลำดับต่อไปทำการออกแบบ และ สร้างชุดสาริตการเข้าห้สและถครห้สสัถญูณโทรศัพท์คิจิตอลซึ่งประกอบด้วย ส่วนวงจรควบคุมชุดสาริต , คู่มือการใช้งาน ,ไปงานการทดลอง , แบบทดสอบท้ายการทดลอง , แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา และ แบบประเมินคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ลำดับต่อไปนำชุดสาริตการเข้าห้ส และ ถครห้สสัถญูณโทรศัพท์คิจิตอลและแบบประเมินคุณภาพที่สร้างเสร็จเสนอผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมและผู้ทรงคุณวุฒิ ตรวจสอบ นำข้อมูลทั้งหมดมาปรับปรุงตามข้อเสนอแนะเป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงนำเสนอผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบอีกครั้งจึงนำชุดสาริตการเข้าห้สและถครห้สสัถญูณโทรศัพท์คิจิตอล และ แบบประเมินคุณภาพเสนอต่อกลุ่มตัวอย่างเพื่อประเมินหาคุณภาพของชุดสาริตการเข้าห้สและถครห้สสัถญูณโทรศัพท์คิจิตอลทั้งทางด้านเนื้อหาและทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

ผลการวิจัยพบว่าชุดสาริตการเข้าห้สและถครห้สสัถญูณโทรศัพท์คิจิตอลที่สร้างขึ้นมีคุณภาพทางด้านเนื้อหาในระดับดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.62

และมีคุณภาพทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อในระดับดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.65 ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย

Thesis Title	Digital Telephone Signal Coding & Decoding Demonstration Set
Student	Mr. Harnchai Churpaditpan
Student ID.	44064618
Degree	Master of Science in Industrial Education
Programme	Electrical Communications Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assistant.Prof. Dr. Surasit Ratee
Thesis Co-Advisor	Assistant.Prof. Peerawut Suwanjan

ABSTRACT

The purposes of this research were to design and develop the digital telephone signal coding & decoding demonstration set. The set evaluated by the sample to find their quality. The sample of this research were 14 Electronics teachers from five technical colleges located in under the Vocational Education Commission, which of them have taught digital communication systems subject.

The procedures of developing the digital telephone signal coding & decoding demonstration set were as follows. At first, the job sheet topics and the patterns for experiment were assigned. Later on, this demonstration set was designed and developed as the model, which consisted, controller circuit , box set , manual , job sheets , question test , quality evaluation form were the content and quality evaluation form the Media production methodology were developed. Then, these four elements were presented to the advisor, the co-advisor, and the researcher according to the recommendations, Following that, the improved demonstration set and two evaluation forms were verified again by the advisor, the co-advisor. Finally, the demonstration set and two evaluation forms were presented to the sample for overall evaluation.

The research result to the digital telephone signal coding & decoding demonstration set gained the content quality in a good level with the mean of 4.30 and the standard deviation of 0.62 and the technical quality of teaching and learning media production was in a good level with the mean of 4.49 and the standard deviation of 0.65. The research results, both the content quality and the technical quality, were correspondent to the research hypothesis.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการดำเนินการศึกษาค้นคว้างานวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ตรวจสอบกระบวนการดำเนินงานวิจัย ให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนให้ข้อคิดต่างๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า เพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 10 ท่านที่ชี้แนะสิ่งที่จะต้องปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในด้านแนวคิดในการออกแบบและการสร้างชุดสาธิต

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว เพื่อนร่วมรุ่น ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านตลอดจนให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนการออกหนังสือราชการในการวิจัยต่างๆ นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่ผู้วิจัยมิได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้นั้นสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอได้รับความขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

หาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภัณฑ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 สมมติฐานการวิจัย	4
1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 หลักการสื่อสารสัญญาณเสียงและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.2 หลักสูตรการสอนที่เกี่ยวกับการสื่อสารสัญญาณเสียง.....	28
2.3 การออกแบบและสร้างสื่อการเรียนการสอน.....	30
2.4 วิธีการสร้างชุดฝึกและใบงานการทดลอง.....	34
2.5 หลักวิธีการหาประเมินคุณภาพสื่อการสอน.....	35
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	49
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	49
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	50
3.3 วิธีดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล	63
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	63
3.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย.....	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	68
4.1 ผลการประเมินหาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเนื้อหา.....	68
4.2 ผลการประเมินหาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อ.....	71
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	74
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	74
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	77
5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย	78
บรรณานุกรม	80
ภาคผนวก.....	82
ภาคผนวก ก. หนังสือราชการ.....	82
ภาคผนวก ข. แบบประเมินคุณภาพ.....	94
ภาคผนวก ค. แบบประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC).....	101
ภาคผนวก ง. คู่มือการใช้งาน.....	117
ภาคผนวก จ. ใบงานการทดลอง.....	125
ภาคผนวก ฉ. แบบทดสอบท้ายการทดลอง.....	151
ประวัติผู้เขียน.....	162

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางไบนารีแบบต่างๆ	21
3.1 จำนวนวิทยาลัยเทคนิคที่เป็นประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	49
3.2 ผลการประเมินแบบทดสอบประกอบใบงานฯ.....	56
3.3 ผลการประเมินแบบประเมินฯด้านเนื้อหา.....	62
3.4 ผลการประเมินแบบประเมินฯด้านเทคนิคการผลิตสื่อ.....	63
4.1 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเนื้อหา ใบงานการทดลองที่ 1	67
4.2 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเนื้อหา ใบงานการทดลองที่ 2	68
4.3 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเนื้อหา ใบงานการทดลองที่ 3	69
4.4 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อ.....	71

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสของระบบPCM.....	8
2.2 แสดงสัญญาณในเชิงความถี่ที่เกิดขึ้น เมื่อใช้ f_s ต่ำกว่า $2f_{max}$	9
2.3 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของตัวกรองป้องกัน aliasing	9
2.4 สเปกตรัมของสัญญาณที่เกิดขึ้น เมื่อสุ่มด้วยความถี่สูงกว่า $2 f_{max}$ มาก ๆ.....	10
2.5 สัญญาณขาเข้าและออกของตัวกรองสร้างสัญญาณคืน.....	11
2.6 สัญญาณขาเข้า และขาออกของวงจรคงค่าสัญญาณ.....	12
2.7 ผลตอบสนองสัญญาณอิมพัลส์ของวงจรคงค่า.....	13
2.8 กระบวนการเข้ารหัส (โดเมนเวลา).....	14
2.9 การพัวพันเกิดขึ้นเกิดจากแถบคลื่นซ้อนกัน.....	15
2.10 การพัวพันเกิดขึ้นเกิดจากการสอดแทรก	16
2.11 การจัดระดับ	17
2.12 การควอนไทซ์และควอนไทซ์นอยส์.....	18
2.13 คุณลักษณะการจัดระดับด้วยเพรสเซอร์และเอกซ์แพนเดอร์.....	19
2.14 คุณลักษณะคอมเพรสชันไดโอด.....	19
2.15 คุณลักษณะของคอมเพนดิงเมื่อ $A = 87.6$	20
2.16 หลักการของการเข้ารหัส.....	22
2.17 DPCM decoder & encode.....	25
2.18 โครงร่างของระบบ ADPCM.....	26
2.19 หลักการของการเปลี่ยนสเกลในการจัดระดับของระบบ ADM.....	27
3.1 วงจรชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล.....	51
3.2 ชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล.....	51
3.3 ลักษณะการเชื่อมต่อการทำงานของวงจรโดยรวม.....	52
3.3 แผนผังขั้นตอนการสร้างชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล.....	57
3.4 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพ ชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิตอล.....	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเข้ารหัสแบบ PCM , DPCM และ ADPCM เป็นกระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณเสียงในโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM การพัฒนาระบบเข้ารหัสข้อมูลเริ่มต้นเมื่อปี 1948 เมื่อ Claude Shannon ได้พัฒนาหลักการเข้ารหัสสัญญาณซึ่งเป็นผลงานที่ได้รับความนิยมสำเร็จอย่างมากคือ การแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Conversion) และระบบการบีบอัดข้อมูล (Data Compression System) ซึ่งหลักการที่คิดค้นขึ้นนี้จะทำให้ได้ระบบการสื่อสารที่มีความถูกต้องแน่นอน โดยจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างบิดเบือนในการส่งข้อมูลและคุณภาพของการสร้างสัญญาณกลับคืนเป็นอนาล็อก และหลักการที่ Shannon นำมาเสนอนี้ได้ทำให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างของการเข้ารหัสสัญญาณและใช้งานในเวลาต่อมา

การควอนไทซ์เวกเตอร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการเข้ารหัสสัญญาณเสียงอย่างจริงจังโดย Dudley ในปี ค.ศ. 1950 โดยเขาได้ทำการพัฒนาวิธีการที่สามารถทำให้ระบบสื่อสารมีความสมบูรณ์แบบโดยได้แยกการออกแบบระบบเป็นสองส่วนคือ การเข้ารหัสสำหรับสัญญาณเสียง (Source coding) และการแก้ไขข้อผิดพลาดในการส่งข้อมูลสำหรับช่องสัญญาณ (Error correcting) แต่ Dudley ได้ให้ความสำคัญกับการเข้ารหัสสัญญาณเสียงมากกว่าการแก้ไขข้อผิดพลาดในการส่งข้อมูลโดยเขาได้พยายามออกแบบวิธีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงให้มีความผิดพลาด (distortion) ต่ำ และในปี ค.ศ. 1957 Lloyd ได้นำเสนอหลักการควอนไทซ์เวกเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ โดยเขาได้ทำรายงานเสนอนี้ที่ Bell laboratories และวิธีการที่เขาได้นำเสนอนี้บางครั้งเรียกว่า Generalized Lloyd algorithms

การเข้ารหัสแบบ PCM จะทำการสุ่มสัญญาณ (Sampling) อนาล็อก เข้ามาครั้งละหนึ่งตัวอย่างหลังจากนั้นจะนำเอาสัญญาณที่ได้จากการสุ่มสัญญาณมาทำการจัดระดับ (quantization) และนำเอาสัญญาณที่ได้ไปทำการเข้ารหัสแบบต่างๆเช่น PCM , DPCM , ADPCM ต่อไป และในส่วนของวงจรถอดรหัสจะนำเอาสัญญาณดิจิทัลที่ส่งมาจากเครื่องส่งมาทำการถอดรหัส (Decode) และผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ซึ่งจะได้เอาท์พุทเป็นสัญญาณอนาล็อกที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ (วรวิทย์ สมหา. 2541 : 1-3)

การอธิบายการทำงานเรื่องการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Conversion) การสร้างสัญญาณกลับคืนเป็นอนาล็อก และ การส่งสัญญาณเสียงในโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการจัดการเรียนการสอนในหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงพุทธ-

ศักราช 2546 ประเภทวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ของกระทรวงศึกษาธิการ เนื้อหาวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสแบบ PCM อยู่หลายวิชาแต่เป็นเชิงทฤษฎีเช่น

รหัสวิชา 3105-2017 ระบบสื่อสารดิจิทัล (Digital Communication Systems)

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้มีความเข้าใจ หลักการทำงานของวงจรมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในเชิงคณิตศาสตร์ของระบบ PAM, PPM, PWM, FSK, PSK, ASK, TDM และ PCM เพื่อให้สามารถวัดและทดสอบระบบมอดูเลชันในระบบสื่อสารดิจิทัล เพื่อให้มีกึ่งนิสัยในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบ ปลอดภัย มีจริยธรรมในงานอาชีพ

รหัสวิชา 3119-2009 หลักการโทรคมนาคม (Telecommunication Concept)

จุดประสงค์รายวิชาเพื่อให้มีความเข้าใจ หลักการมอดูเลชันและดีมอดูเลชัน ในเชิงคณิตศาสตร์ของระบบสื่อสารแอนะล็อกและระบบสื่อสารดิจิทัล เพื่อให้สามารถวัดและทดสอบระบบมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในระบบสื่อสารแอนะล็อกและระบบดิจิทัล เพื่อให้มีกึ่งนิสัยในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบและปลอดภัย ตระหนักถึงคุณภาพของงาน และมีจริยธรรมในงานอาชีพ

รหัสวิชา 3119-2302 เทคโนโลยีระบบดิจิทัลทางสาย (Digital Communication Technology)

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้มีความเข้าใจ หลักการทำงานของวงจรมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในเชิงคณิตศาสตร์ของระบบ PAM, PPM, PWM, FSK, PSK, ASK, TDM และ PCM เพื่อให้สามารถวัดและทดสอบระบบมอดูเลชันในระบบสื่อสารดิจิทัล เพื่อให้สามารถติดตั้งอุปกรณ์ XDSL เพื่อการบริการด้านข้อมูล4. เพื่อให้มีกึ่งนิสัยในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบและปลอดภัย ตระหนักถึงคุณภาพของงาน และมีจริยธรรมในงานอาชีพในระบบสื่อสารดิจิทัลทางสายด้วยเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง (กระทรวงศึกษาธิการ. 2549 : WWW.VEC.GO.TH)

การเรียนทฤษฎีหลักการงานอธิบายในทางปฏิบัติเรื่องการเข้ารหัสและถอดรหัสแบบ PCM ให้แก่ผู้เรียนซึ่งยังเข้าใจยากเพราะชุดฝึกปฏิบัติจะเป็นชุดการทำงานแบบสำเร็จในตัวเดียวที่ผู้เรียนไม่สามารถเห็นรายละเอียดการทำงานที่แท้จริง และ LAB ที่มีทั่วไปจะเป็นชุดสำเร็จรูปที่ไม่ได้แสดงผลตามหลักทฤษฎีอย่างชัดเจน พุทธทอง โพธิ์ปัญญา (2540 : 15) กล่าวว่าแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการเรียนการสอน สาขาวิชาช่างอุตสาหกรรม คือ การมีสื่อการเรียนการสอน ที่สอดคล้องกับหลักสูตร และผู้สอนได้นำไปใช้อย่างถูกวิธี จะเป็นผลให้ได้คุณภาพของการเรียนการสอนที่ดีขึ้น ในการผลิตสื่อเพื่อการสอน โดยเฉพาะวิชาการทดลองเป็นการฝึกการใช้ความคิด นอกจากจะพิจารณาถึงระบบและวิธีสอนที่ต้องใช้แล้ว ยังมีหลักที่สำคัญในการสื่อการเรียนการสอนอีก 3 ประการ คือ เทคนิคการผลิต , ความคิดสร้างสรรค์ในการผลิต และ การออกแบบ ให้สอดคล้องกับขบวนการสอน จุดมุ่งหมายการสอน และลักษณะที่จะนำไปใช้งาน

สำหรับแนวทางในการออกแบบสื่อการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพนั้น ประกอบด้วยกระบวนการ 5 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่1 การกำหนดขอบข่ายเนื้อหาวิชา ด้วยองค์ประกอบ 4 ประการ ที่ควบคู่กันไป คือ การศึกษาเชิงวิเคราะห์ เนื้อหาวิชา การศึกษาเปรียบเทียบหลักสูตร การ

สำรวจโรงงาน และการสำรวจสถานศึกษา ขั้นตอนที่2 การกำหนดเนื้อหา และวัตถุประสงค์ จาก ขอบข่ายเนื้อหาที่ได้นำมาศึกษา เพื่อให้สามารถจำแนก เป็นส่วนต่างๆ เท่าที่จำเป็น กล่าวคือ ให้รู้ถึง จุดมุ่งหมาย และหน้าที่ ของชุดฝึกปฏิบัติการว่า ทำอย่างไร จึงจะสามารถทำงานได้ตามต้องการ และสามารถตอบสนองจุดมุ่งหมายของเนื้อหาวิชาได้อย่างครบถ้วน ขั้นตอนที่3 การออกแบบ และการสร้างชุดสื่อการเรียนการสอน วัตถุประสงค์ของชุดฝึกที่ผ่านการวิเคราะห์ และตรวจสอบแล้ว เป็นแนวทางในการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์การสอน หรือชุดฝึกที่ทำการออกแบบนี้ สามารถ นำไปใช้เป็นอุปกรณ์การสอนของครู และอุปกรณ์ในการทำกิจกรรมของนักศึกษา ชุดฝึกจึงมีความ สำคัญมาก ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา และความสามารถทำงานในด้านช่างอุตสาหกรรม เพื่อที่จะสามารถปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี การออกแบบและสร้างสื่อประเภทชุดฝึกนั้น จำ เป็นต้องนำเอาหลักการด้านการออกแบบทางด้านวิศวกรรมเชิงปฏิบัติ มาประยุกต์กับงานที่ออก แบบสร้าง ขั้นตอนที่4 การทดลองใช้ชุดสื่อการเรียนการสอน จะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษาโดยผู้ วิจัยเพื่อ ค้นหาข้อบกพร่องต่างๆ เช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน และความสะดวกในการใช้งาน ขั้นตอนที่5 การปรับปรุงข้อมูล และประสบการณ์ที่ ได้จากการทดลองข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดสื่อการเรียนการสอน ให้มีประสิทธิภาพ จนเป็นที่ยอมรับได้(พุทธทอง โภธิปัญญา. 2540 : 15)

ผู้วิจัยจึงต้องการสร้างชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสแบบ PCM , DPCM , ADPCM ที่สามารถใช้เป็นสื่อเสริมการสอนควบคู่กับบทเรียนตามทฤษฎีเดิมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ ของผู้เรียน และหาคุณภาพของชุดสาริตฯที่สร้างขึ้นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิตอล แบบ PCM , DPCM , ADPCM

1.2.2 เพื่อหาคุณภาพของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิตอล แบบ PCM , DPCM , ADPCM

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ความเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ประเมินชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ ดิจิตอลที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ง่ายและเหมาะสมแก่การเรียนการสอนและมีคุณภาพตามเกณฑ์ ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.50 ขึ้นไป

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การสร้างชุดสัทธิการเข้ารหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลแบบ PCM , DPCM , ADPCM ผู้วิจัยกำหนด ขั้นตอนการสร้างและออกแบบชุดสัทธิการเข้ารหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลแบบ PCM, DPCM , ADPCM โดยแบ่งเป็น 2 มาตรฐาน เพื่อให้ได้คุณภาพตรงตามมาตรฐานการเรียนรู้ และมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

กรอบแนวคิดที่ 1 มาตรฐานการเรียนรู้ โดยดัดแปลงมาจากขบวนการเรียนการสอนของ กาย่ (Gagne') ซึ่งมีจำนวน 9 ประเด็น อังใน (ถนอมพร (ตันพิพัฒน์) เลหาจรัสแสง. 2541 :41-48) โดย ผู้วิจัยได้ดัดแปลงนำมาใช้เป็นกรอบแนวความคิดในการสร้างชุดฝึก จำนวน 6 ประเด็น คือ

1. การดึงดูดความสนใจ (Gain Attention) เพื่อกระตุ้น และจูงใจผู้เรียน
2. การบอกวัตถุประสงค์ (Specify Objective) ในการเรียนรู้ชุดฝึกปฏิบัติการให้ผู้เรียนได้ทราบล่วงหน้า
3. การเสนอเนื้อหาใหม่ (New Presentation) เพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกทดลองนอกเหนือจากที่เคยทำมาแล้ว
4. ชี้แนวทางการเรียนรู้ (Guide Learning) เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ และประสบการณ์เดิม รวมกันเป็นความรู้ใหม่
5. กระตุ้นการตอบสนอง (Elicit Response) เพื่อให้ผู้เรียน ได้ศึกษาร่วมกระทำกิจกรรม และลักษณะรูปแบบคำสั่งต่างๆ
6. การจำและนำไปใช้งาน (Promote Retention and Transfer) เป็นการสรุปเฉพาะ ประเด็นสำคัญ เพื่อให้ผู้เรียน ได้มีโอกาสทบทวน และสามารถนำความรู้ใหม่ไปใช้ได้

กรอบแนวคิดที่ 2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่สร้าง โดยดัดแปลงมาจากกระบวนการของการ วิจัยและพัฒนาการศึกษาจาก Borg, Walter R. and Merrigith (1979 : 771-798) อังใน (สมพร จานัญ . 2535 : 31-32) ซึ่งมีจำนวน 11 ขั้นตอน โดย ผู้วิจัยได้ดัดแปลงนำมาใช้เป็นกรอบแนวความคิด ในการสร้างชุดฝึก จำนวน 9 ขั้นตอน คือ

1. กำหนดผลิตภัณฑ์ทางการศึกษาที่จะทำการพัฒนากำหนดผลิตภัณฑ์ให้ชัดว่าผลิตภัณฑ์ ทางการศึกษาที่จะวิจัยและพัฒนาคืออะไร
2. รวบรวมข้อมูลและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. วางแผนการวิจัยและพัฒนา
4. พัฒนารูปแบบขั้นตอนของผลิตภัณฑ์
5. ทดลองหรือทดสอบผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 1
6. ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 1

7. ทดลองหรือทดสอบครั้งที่ 2
8. ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 2
9. เผยแพร่

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ครอบคลุมประชากร และกลุ่มตัวอย่างดังนี้

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นอาจารย์แผนกอิเล็กทรอนิกส์ ในวิทยาลัยเทคนิค สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากระทรวงศึกษาธิการ ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญเรื่องการเข้ารหัสสัญญาณเสียงดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM และระบบสื่อสารดิจิทัล
2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นผู้เชี่ยวชาญที่เป็นอาจารย์แผนกอิเล็กทรอนิกส์ที่สอนในวิชาที่เกี่ยวข้องเรื่องการเข้ารหัสสัญญาณเสียงดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM จากวิทยาลัยเทคนิคในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากระทรวงศึกษาธิการ โดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง(Purposive Sampling) จำนวน 5 วิทยาลัย ๆ ละ 1 ท่าน รวมเป็น 5 ท่าน

1.5.2 ขุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล

1. ขุดสาริตการทำงาน วงจรการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล แบบ PCM , DPCM , ADPCM แสดงผล LCD และ ลำโพง
2. คู่มือการใช้งาน
3. ใบบางการทดลองมี 3 ใบบางคือ
 - ใบบางการทดลองที่1 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ PCM
 - ใบบางการทดลองที่2 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ DPCM
 - ใบบางการทดลองที่3 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ ADPCM
4. แบบทดสอบประกอบใบบางการทดลอง

1.5.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ คือ คุณภาพด้านเนื้อหา และด้านเทคนิคการผลิตสื่อของขุดสาริตการเข้ารหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ที่เข้าใจง่ายเหมาะแก่การเรียนการสอน และมีคุณภาพที่ดี

1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

เพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย จึงกำหนดความหมายของคำต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้คือ

1. ชุคสาริต หมายถึง ชุควงจรพร้อมอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ครบกระบวนการของ สิ่งที่จะสาริตและมีการแสดงผลการทำงานแต่ละขั้นตอนโดยละเอียด
2. PCM หมายถึง Pulse Code Modulation การเก็บรหัสความสูงต่ำของจังหวะ สัญญาณ
3. DPCM หมายถึง Differentail Pulse Code Modulation ผลต่างของข้อมูลระหว่าง จังหวะของสัญญาณ PCM
4. ADPCM หมายถึง Adaptive Differentail Pulse Code Modulation การดัดแปลงผล ต่างของข้อมูลระหว่างจังหวะจากสัญญาณ DPCM
5. ผู้เชี่ยวชาญ หมายถึง อาจารย์ที่ทำการสอนหรือมีความรู้ ความถนัด ทางด้านการเข้า รหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงดิจิทัล เพื่อทำการประเมินคุณภาพของชุคสาริตการเข้ารหัสและ ถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM
6. คุณภาพของชุคสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM หมายถึง ผลที่ได้จากการประเมินชุคสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัล แบบ PCM , DPCM , ADPCM ที่สร้างขึ้นที่ได้จากค่าคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ
7. คุณภาพด้านเนื้อหา หมายถึง เนื้อหาที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องสามารถใช้เป็นสื่อการ เรียน ได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมและมีความถูกต้องเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน
8. คุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อ หมายถึง ความสามารถของ ชุคสาริตฯ ที่สร้างขึ้น สามารถใช้ในการประกอบการเรียนและกระตุ้นให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจได้ดีขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การสร้างและหาคุณภาพชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล แบบ PCM , DPCM , ADPCM นี้มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความ สนใจ ต้องการเรียนรู้ การเข้ารหัสสัญญาณเสียงดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM โดยผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- 2.1 หลักการสื่อสารสัญญาณเสียงและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 2.2 หลักสูตรการสอนที่เกี่ยวกับการสื่อสารสัญญาณเสียง
- 2.3 การออกแบบและสร้างสื่อการเรียนการสอน
- 2.4 วิธีการสร้างชุดฝึกและใบงานการทดลอง
- 2.5 หลักวิธีการประเมินคุณภาพสื่อการสอน
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

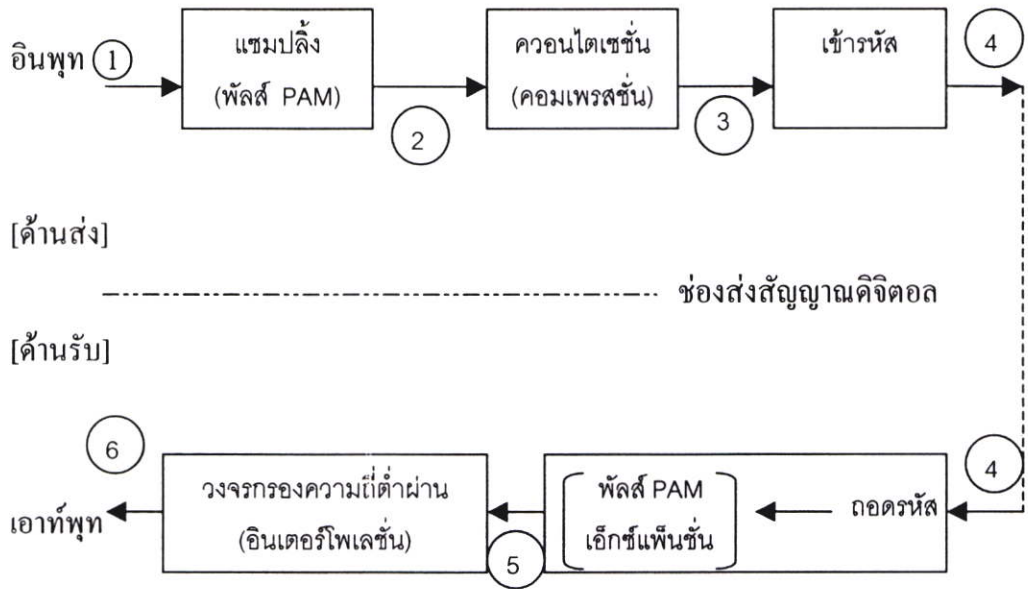
2.1 หลักการสื่อสารสัญญาณเสียงและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิธีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงเชิงเวลาเป็นตัวอย่างในแกนเวลาซึ่งตรงข้ามกับแกนความถี่ เอกสารนี้กล่าวถึงรูปแบบ และลักษณะวิธีการที่ใช้เข้ารหัสสัญญาณเสียงที่ใช้ในระบบสื่อสารซึ่งการเข้ารหัสข้อมูลหลายอย่างเกี่ยวกับมาตรฐานเสียงในเชิงเวลา การนำเรื่องนี้ขึ้นมาพูดนี้เน้นจุดเริ่มต้นเดิมบนรูปแบบการเข้ารหัสที่ใช้ในเครื่องมือสื่อสารและด้านความบันเทิงแบบต่างๆ

2.1.1 กระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสของพีซีเอ็ม

รูป 2.1 แสดงขั้นตอนการประมวลสัญญาณเพื่อให้ได้รับ PCM กล่าวอย่างกว้าง ๆ ก็คือการเข้ารหัส (Coding) และการนำสัญญาณไปแปลงกลับซึ่งเรียกว่าการถอดรหัส (Decoding) เพื่อให้ได้สัญญาณเดิม

(สัญญาณเสียงที่เป็นอนาล็อก)



(สัญญาณเสียงที่เป็นอนาล็อก)

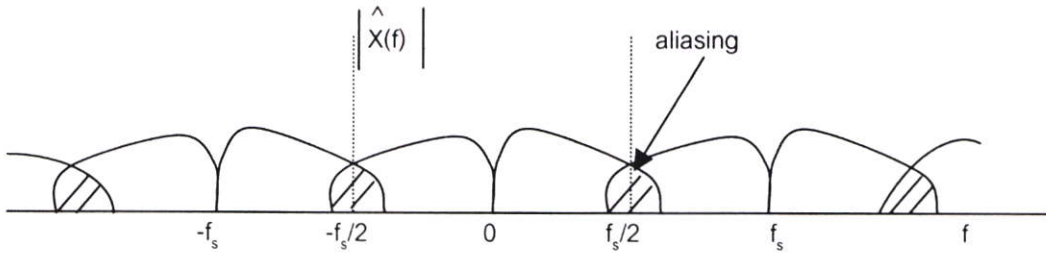
รูปที่ 2.1 กระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสของระบบ PCM

2.1.1.1 ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณ (Sampling Theorem)

(พรชัย ภววงษ์ศักดิ์, 1999 : 14-19) กล่าวว่าทฤษฎีการสุ่มสัญญาณ ระบุไว้ว่า ถ้าสัญญาณที่ต้องการสุ่มมีความถี่สูงสุดที่ f_{\max} เพื่อให้ได้สัญญาณที่สุ่มแล้วเป็นตัวแทนที่ถูกต้องของสัญญาณนี้ ความถี่ในการสุ่มจะต้องมีค่ามากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดในสัญญาณหรือ

$$F_s > 2f_{\max} \quad (2.1)$$

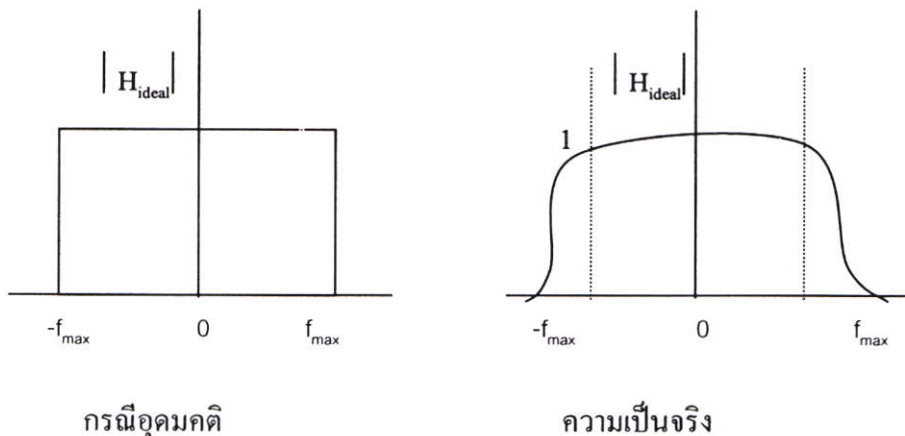
ซึ่งความถี่ที่ $2f_{\max}$ นี้มีชื่อเรียกพิเศษว่า “ความถี่ไนควิสต์” (Nyquist frequency) หรือ อัตราไนควิสต์ ลองพิจารณาว่าถ้าเราใช้ f_s ต่ำกว่าค่าความถี่ไนควิสต์จะเกิดอะไรขึ้น ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้จะดูได้ชัดเจนในภาคความถี่ ถ้าเราขีดหลักกว่าที่ได้พิสูจน์มาในหัวข้อที่แล้วว่า หลังการสุ่มจะเกิดสเปกตรัมของสัญญาณก่อนการสุ่มอยู่ที่ความถี่ $\dots, -2f_s, -f_s, 0, f_s, 2f_s, \dots$ เป็นศูนย์กลาง แล้วลองวาดรูปคร่าว ๆ ออกมาจะได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงสัญญาณในเชิงความถี่ที่เกิดขึ้น เมื่อใช้ f_s ต่ำกว่า $2f_{max}$

เมื่อ f_s ต่ำกว่า $2f_{max}$ จะเห็นได้ว่า สำเนาของ $X(f)$ ที่เกิดขึ้นจะมีช่วงของความถี่ส่วนปลายที่ซ้อนทับกัน เรียกองค์ประกอบความถี่ส่วนที่ซ้อนกันนี้ว่า aliasing (อ่านว่า เอเลียคซิ่ง) ซึ่ง aliasing นี้เป็นผลร้ายอย่างยิ่งกับระบบประมวลผลสัญญาณ เนื่องจาก ในระบบแบบไม่ต่อเนื่องเราจะสนใจความถี่ในช่วง $-f_s/2$ จนถึง $f_s/2$ ซึ่งเรียกว่า ช่วงไนควิสต์ หรือ ย่านไนควิสต์ (Nyquist interval) ซึ่งถ้าเกิด aliasing ซ้อนทับในช่วงไนควิสต์นี้ ก็จะถือว่า สัญญาณขาเข้าที่สุ่มมาได้มีความผิดเพี้ยนไปก่อนที่จะเข้าไปในส่วนของการประมวลผลเสียอีก หรือพูดอีกอย่างหนึ่งก็คือ สัญญาณที่สุ่มมาได้ ไม่เป็นตัวแทนที่สมบูรณ์ของสัญญาณอนาล็อกขาเข้า จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่เราต้องพยายามไม่ให้ aliasing เกิดขึ้นหรือให้เกิดน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งกระทำได้สองวิธีคือ

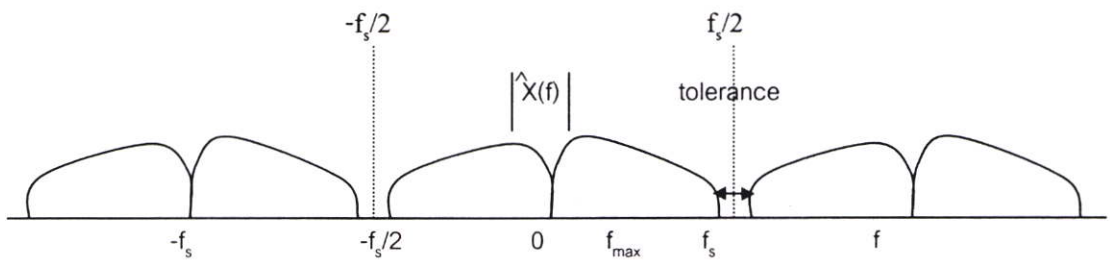
(1) การใช้ตัวกรองเพื่อป้องกัน aliasing (anti-aliasing filter) ในกรณีที่เราไม่มั่นใจว่าสัญญาณที่จะทำการสุ่มไม่มีความถี่จำกัดอยู่ที่ f_{max} เช่น อาจมีสัญญาณรบกวนความถี่สูง หรือสัญญาณอื่น ๆ ปนอยู่ด้วย วิธีแก้ทำได้โดยการใส่ตัวกรองอนาล็อกแบบผ่านความถี่ต่ำ เพื่อจำกัดความถี่ของสัญญาณให้อยู่ในช่วงที่สนใจเท่านั้น (ต่ำกว่า f_{max}) นั่นคือ เราต้องการตัวกรองผ่านความถี่ต่ำที่มีความถี่ตัดที่ f_{max} ดังแสดงผลตอบสนองเชิงความถี่แบบอุดมคติของตัวกรองนี้ ในรูปซ้ายมือของรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของตัวกรองป้องกัน aliasing

อย่างไรก็ตาม ในชีวิตจริงตัวกรองแบบอุดมคติที่ต้องการไม่สามารถทำได้ และถ้าต้องการสร้างตัวกรองที่ใกล้เคียงกับอุดมคติก็จะทำให้ต้นทุนสูง ตัวกรองที่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติมีรูปร่างประมาณในรูปขวามือของรูปที่ 2 คือ มีความชันของการตัดความถี่ไม่คมเท่ากับตัวกรองอุดมคติจึงทำให้อาจมี aliasing บางส่วนเกิดขึ้นได้ถ้าเราใช้ความถี่ในการสุ่มพอดีเท่ากับ f_{\max}

(2.) การสุ่มโดยใช้ความถี่เกินกว่า $2f_{\max}$ มาก ๆ หรือเรียกว่าการทำ Oversampling การสุ่มด้วยความถี่สูงขึ้นเป็นวิธีที่ใช้ป้องกัน aliasing เสริมจากวิธีแรก เช่นเดียวกัน ถ้าพิจารณาในเชิงความถี่จะเห็นว่าเมื่อ f_s มีค่าสูงขึ้น จะมีช่วงความถี่ที่เพื่อให้เกิด aliasing ได้กว้างขึ้น (ช่วงเฟอ์นี่คือ ย่าน tolerance ที่เขียนอยู่ในรูปที่ 2.4 เป็นย่านที่ไม่มีมีความถี่ของสัญญาณที่เราสนใจอยู่) ช่วงเฟอ์นี่เป็นย่านความถี่ที่ยอมให้มีความถี่ของสัญญาณที่ไม่ต้องการหลุดรอดเข้ามาในระบบได้บ้าง ดังนั้น การสุ่มด้วยความถี่สูงกว่าอัตราในควิส์ท์ จึงทำให้เราสามารถใส่ตัวกรองป้องกัน aliasing ที่ไม่ต้องมีคุณสมบัติคมมากนักได้



รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของสัญญาณที่เกิดขึ้น เมื่อสุ่มด้วยความถี่สูงกว่า $2f_{\max}$ มาก ๆ

ในทางปฏิบัติจึงมักใช้ $f_s \geq 2.5f_{\max}$ เพื่อชดเชยผลของการที่ตัวกรอง anti-aliasing ไม่ใช่อุดมคติ สำหรับ f_s สูงสุดที่เราจะสุ่มได้โดยทั่วไป ก็ขึ้นอยู่กับขีดจำกัดด้านความเร็วของตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล และตัวประมวลผลที่เลือกใช้ ถ้าความถี่ f_s สูงขึ้นก็หมายถึงว่า ต้องใช้วงจรแปลงสัญญาณที่เร็วขึ้น และใช้ปริมาณการประมวลผลที่มากขึ้น เพราะอัตราข้อมูลสูงขึ้น โดยช่วงเวลาที่ใช้ประมวลผล เพื่อให้ได้ค่าแต่ละค่าของสัญญาณขาออก (T_{proc}) ต้องมีค่าน้อยกว่าคาบของการสุ่มดังนี้

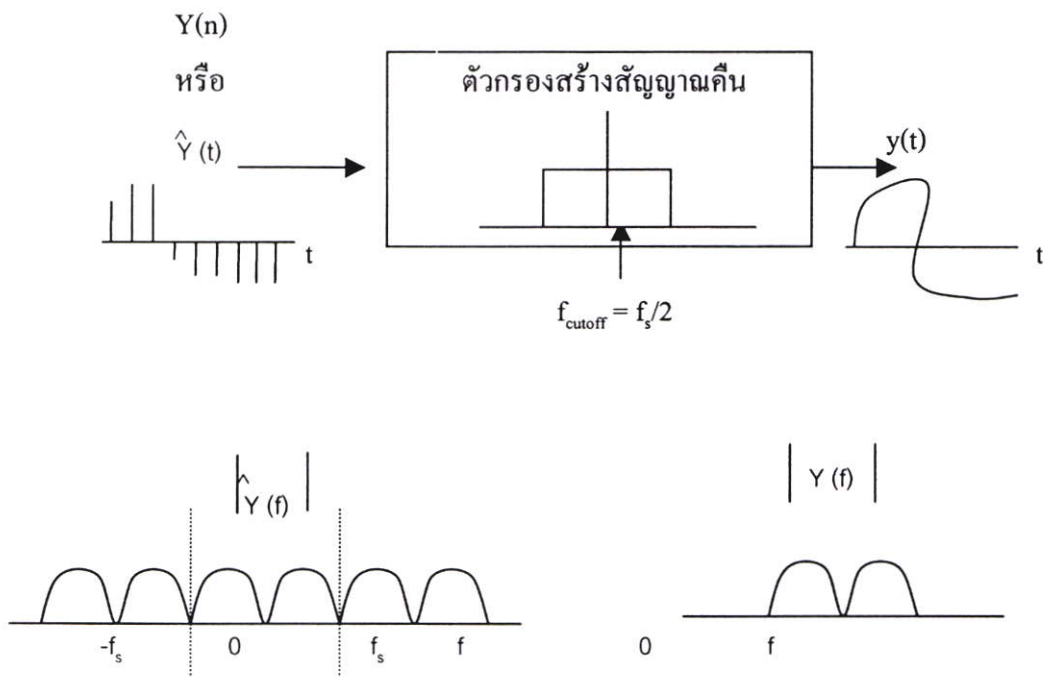
$$T_{\text{proc}} < T \quad (2.2)$$

ตามที่ทราบกันดีแล้วว่าแซมปลิงคือการทำสัญญาณซึ่งมีค่าต่อเนื่องให้เป็นแบบดิสครีทในช่วงเวลาที่เท่า ๆ กัน และตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ทฤษฎีการแซมปลิงนั้น ถ้าเก็บแซมปลิงด้วยอัตรา 2

เท่า หรือมากกว่าความถี่สูงสุดของสัญญาณอนาล็อกแล้ว จะสามารถทำให้สัญญาณเดิมกลับคืนมาได้ เนื่องจากสัญญาณเสียงที่ใช้ในระบบโทรศัพท์นั้นถูกจำกัดให้มีความถี่ระหว่าง 0.3-3.4 kHz ดังนั้นอัตราการแซมปลิงต่ำสุดจะต้องเท่ากับ 6.8 kHz สำหรับในทางปฏิบัติจะใช้ 8 kHz คือ แซมปลิงทุก 125 μsec ($1/8 \times 10^3$)

2.1.1.2 การสร้างสัญญาณคืน (Analog Reconstruction)

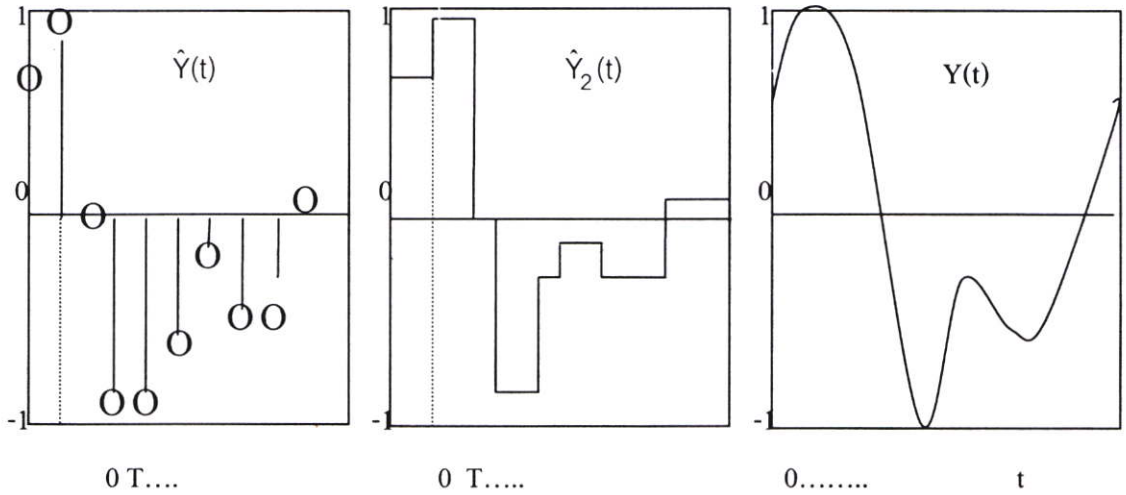
การสร้างสัญญาณคืน ในทางทฤษฎีทำได้โดยผ่านสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องเข้าไปยังตัวกรอง (อนาล็อก) แบบผ่านความถี่ต่ำที่มีความถี่ตัดที่ $f_s/2$ ตัวกรองนี้บางครั้งเรียกว่า ตัวกรองสร้างสัญญาณคืน (reconstruction filter) ตัวกรองจะผ่านเฉพาะสัญญาณในช่วงความถี่ระหว่าง $-f_s/2$ ถึง $f_s/2$ หรือช่วงโนควิสท์ออกมา ผลที่ได้ก็คือ เราจะได้สำเนาของสเปกตรัมที่อยู่รอบความถี่ 0 ออกมาเป็นสัญญาณขาออก ซึ่งมันก็คือ สัญญาณอนาล็อกที่มีรูปร่างเป็นขอบของสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องก่อนสร้างกลับนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สัญญาณขาเข้าและออกของตัวกรองสร้างสัญญาณคืน

ในทางปฏิบัติ เราไม่ใช้ $\hat{Y}(t)$ เป็นสัญญาณขาเข้าของตัวกรองสร้างสัญญาณคืน เนื่องจากอย่างที่กล่าวมาแล้วว่า เรามองเห็นสัญญาณไม่ต่อเนื่องในลักษณะเป็นลำดับของข้อมูล สัญญาณที่มองแบบอนาล็อกคือ $\hat{Y}(t)$ เป็นสัญญาณอุดมคติที่ใช้พิสูจน์ในทางคณิตศาสตร์เท่านั้น ดังนั้น การเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกในชีวิตจริง เราจะนำสัญญาณ $y(n)$ มาผ่านวงจรคงค่า (hold)

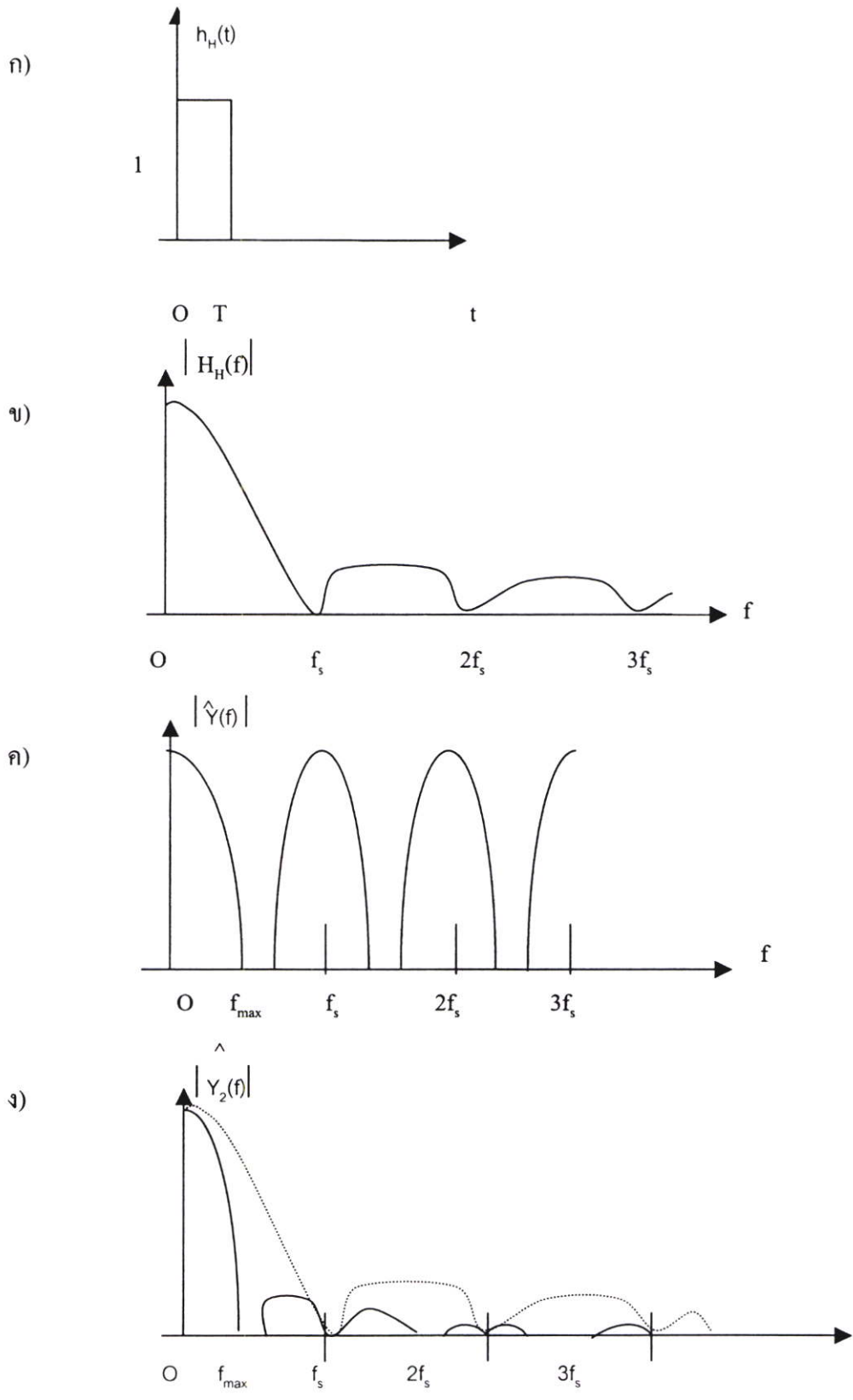
ที่ทำงานเข้าจังหวะกับอัตราสุ่มของสัญญาณ $y(n)$ เพื่อสร้างเป็นสัญญาณลักษณะขั้นบันไดคงในรูปที่ 2.6 ก่อนจากนั้นจึงค่อยใช้สัญญาณขั้นบันไดนี้สร้างเป็นสัญญาณขาออก โดยส่งมันผ่านตัวกรองผ่านต่ำเพื่อสร้างสัญญาณคืนอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 2.6 สัญญาณขาเข้า และขาออกของวงจรค่าสัญญาณ

บางคนอาจสงสัยว่า แล้วสัญญาณขั้นบันได $\hat{Y}_2(t)$ ที่สร้างขึ้นมานี้ มีลักษณะของ สเปกตรัมเหมือนหรือแตกต่างจากสเปกตรัมของสัญญาณ $\hat{Y}(t)$ อย่างไรเราสามารถหาสเปกตรัมของสัญญาณได้ง่าย ๆ $\hat{Y}(t)$ โดยมองวงจรค่าสัญญาณเป็นระบบอนาล็อกแบบเชิงเส้นอันหนึ่ง ซึ่งมีผลตอบสนองสัญญาณอิมพัลส์คือ $h_H(t)$ ดังแสดงในรูป 2.7 ก. นั่นคือ วงจรนี้เปลี่ยนอิมพัลส์ของสัญญาณขาเข้า เป็นพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีความกว้างเท่ากับคาบของอัตราสุ่ม เมื่อทำการแปลงฟูรีเยร์ ผลตอบสนองอิมพัลส์นี้ จะได้ผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบมีลักษณะ เป็นฟังก์ชันซิงค์ (sinc) ดังรูป 2.7 ข (สัญญาณพัลส์แปลงฟูรีเยร์ได้สัญญาณซิงค์ และสัญญาณซิงค์แปลงฟูรีเยร์ได้สัญญาณพัลส์)

สเปกตรัมของสัญญาณขาออกของวงจรค่านี้ หาได้จากผลคูณของสเปกตรัมของสัญญาณขาเข้า และผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ง สังเกตได้ว่าสเปกตรัมของสัญญาณขั้นบันไดก็ยังคงมีสำเนาของสัญญาณอนาล็อกที่ความถี่ $0, f_s, 2f_s, \dots$ อยู่ครบถ้วน เพียงแต่สำเนาแต่ละตัวถูกกดขนาดลงไปด้วยการคูณของฟังก์ชันซิงค์ ซึ่งสำเนาเหล่านี้จะต้องถูกจำกัดทิ้งโดยตัวกรองสร้างสัญญาณคืนที่มีความถี่ตัดที่ $f_s/2$ เพื่อให้ได้สัญญาณอนาล็อกขาออกมีรูปร่างที่เรียบสมบูรณ์ สรุปว่า ถึงแม้จะใช้วงจรค่าซึ่งให้ผลตอบสนองคู่ใกล้เคียงสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการแล้ว เรายังคงต้องใช้ตัวกรองสร้างสัญญาณคืนร่วมด้วย



รูปที่ 2.7 ก) ผลตอบสนองสัญญาณอิมพัลส์ของวงจรค่า $\hat{y}(t)$
 ข) ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรค่า $\hat{y}_2(t)$

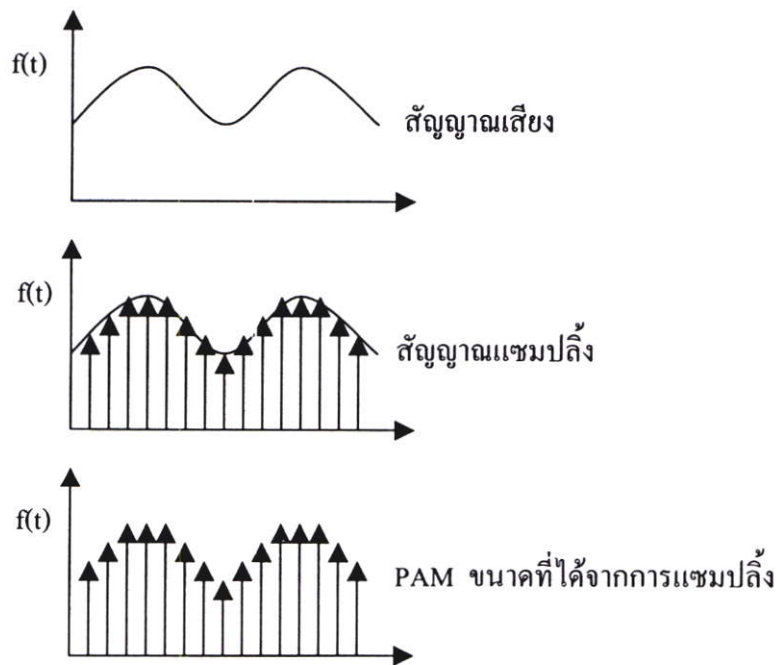
ค) สเปกตรัมของสัญญาณ

ง) สเปกตรัมของสัญญาณ

เช่นเดียวกันกับตัวกรองป้องกัน aliasing คือ เราไม่สามารถทำตัวกรองอุดมคติสำหรับสัญญาณขึ้นได้ ซึ่งผลข้างเคียงก็คือ จะทำให้สัญญาณที่อยู่ในช่วงความถี่สูงกว่า $f_s/2$ หลุดลอดออกมาที่สัญญาณขาออกด้วย กลายเป็นความผิดเพี้ยนของสัญญาณขาออกไป อย่างไรก็ตาม ถ้าหากใช้ความถี่ในการสุ่มสูง ๆ หรือ oversampling เพื่อให้มีระยะห่างระหว่างสำเนาความถี่แต่ละตัวมากขึ้น นอกจากจะช่วยแก้ปัญหาของการใช้ตัวกรองป้องกัน aliasing ที่ไม่เป็นอุดมคติ ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อก่อนหน้านี้อีกด้วย ก็ยังจะช่วยแก้ปัญหาของการใช้ตัวกรองสร้างสัญญาณขึ้นที่ไม่เป็นอุดมคติได้ในทำนองเดียวกันอีกด้วย

ขอสรุปเรื่องการสุ่มสัญญาณ และการสร้างสัญญาณขึ้น ด้วยทฤษฎีการสุ่มสัญญาณว่า “ถ้าเราสุ่มสัญญาณอนาล็อกด้วยความถี่ f_s ที่มากกว่า $2f_{max}$ เราจะสามารถสร้างสัญญาณอนาล็อกขึ้นมาได้โดยสมบูรณ์” นั่นคือ สัญญาณไม่ต่อเนื่องที่เกิดจากการสุ่มจะเป็นตัวแทนที่สมบูรณ์ของสัญญาณต้นฉบับ โดยไม่มีการผิดเพี้ยนเลย อย่างไรก็ตามหากเหตุไฉนด้วยความเข้าใจด้วยว่า ในทางปฏิบัติ f_s ควรมากกว่า $2f_{max}$ พอประมาณเพื่อชดเชยการที่เราหาตัวกรองอุดมคติไม่ได้ ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณนี้กำเนิดโดย Shannon และเป็นการเปิดยุคของการสื่อสารด้วยสัญญาณดิจิทัลการเก็บสัญญาณด้วยดิจิทัล และก็ตามมาด้วยการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (พรชัย ภาวรงค์ศักดิ์ 1999 : 14-19)

สำหรับรูป 2.8 แสดงลักษณะคลื่นในโดเมนเวลาและสเปกตรัมในโดเมนความถี่ของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการนี้ ซึ่งหลักการของแต่ละขั้นตอน จะกล่าวให้ละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.8 กระบวนการเข้ารหัส (โดเมนเวลา)

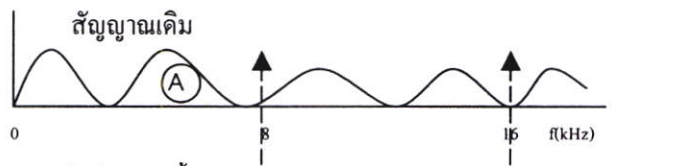
การแซมปลิงนี้ จะแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นขบวนพัลส์ซึ่งเรียกว่า PAM และจะมีผลดีได้จะต้องมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- (ก) สัญญาณอินพุตต้องไม่มีองค์ประกอบเกินความถี่สูงสุด f_0
- (ข) ขบวนพัลส์ที่ใช้สำหรับแซมปลิงจะต้องเป็นอิมพัลส์ซึ่งมีความกว้าง t_0 และมีอัมพลิจูดเป็นอนันต์
- (ค) ทางด้านรับต้องใช้วงจรกรองความถี่ต่ำตามอุดมคติ (ideal low pass filter) ซึ่งยอมให้ความถี่ต่ำกว่า f_0 ผ่านได้ทั้งหมด

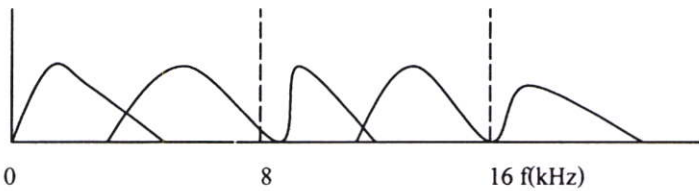
แต่อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัตินั้นจะไม่สามารถทำให้เป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้นได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อเป็นเช่นนี้จะเกิดการผิดเพี้ยน (distortion) ต่าง ๆ ขึ้น คือ

2.1.2 การผิดเพี้ยนเกิดจากแถบคลื่นซ้อนกัน (Aliasing distortion)

ถ้าความถี่สูงสุดของสัญญาณอินพุตเป็น f_0 และความถี่ที่ใช้แซมปลิงเป็น f_s เมื่อ $f_s \leq 2f_0$ วงจรกรองความถี่ต่ำทางด้านรับจะขจัดองค์ประกอบความถี่ที่มากกว่า f_0 ออกทำให้ง่ายต่อการทำสัญญาณเดิมให้กลับคืนมาได้



ไม่มีการผิดเพี้ยน (ไม่มีการซ้อนกันระหว่างสัญญาณเดิมและสัญญาณที่ A ซึ่งเป็นสัญญาณหลังจากการแซมปลิง)
 (ก) เมื่อ $2f_0 \leq f_s$



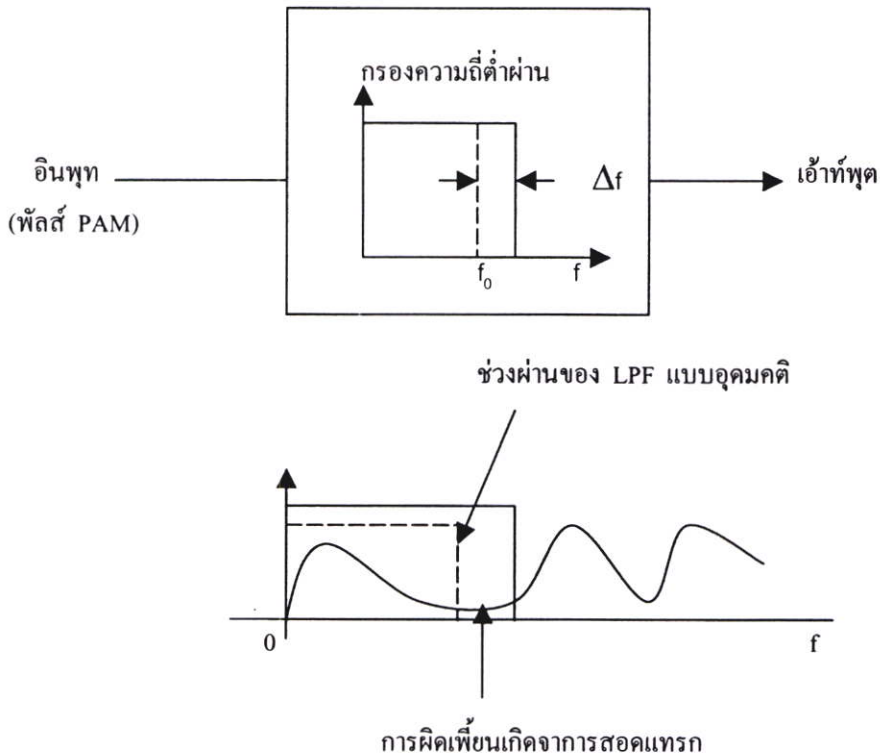
มีการผิดเพี้ยนเกิดจากแถบคลื่นซ้อนกัน การซ้อนกันระหว่างสัญญาณเดิมและสัญญาณที่ A จะไม่สามารถแยกออกจากกันได้
 (ข) เมื่อ $2f_0 > f_s$

รูปที่ 2.9 การผิดเพี้ยนเกิดจากแถบคลื่นซ้อนกัน

ตามรูป 2.9 (ก) แต่ถ้าสัญญาณอินพุตมีองค์ประกอบความถี่สูงกว่า $f_s/2$ รวมอยู่ด้วยขบวนพัลส์ PAM ที่ได้รับจะมีสเปกตรัมเกิดขึ้นดังแสดงไว้ในรูป 2.9 (ข) จะเห็นได้ว่ามีความถี่สเปกตรัมซ้อนกันระหว่างสัญญาณเดิมกับ LSB จึงเป็นการลำบากที่จะทำให้สัญญาณเดิมกลับคืนมาได้อย่างสมบูรณ์ แม้ว่าวงจรกรองความถี่ที่สูงกว่า f_0 ออกแล้วก็ตามก็ยังคงเหลืออนุสรณ์ปนอยู่กับสัญญาณที่ได้คิมมอดูเลตแล้ว ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า Aliasing distortion

2.1.3 การผิดเพี้ยนที่เกิดจากการสอดแทรก (Interpolation distortion)

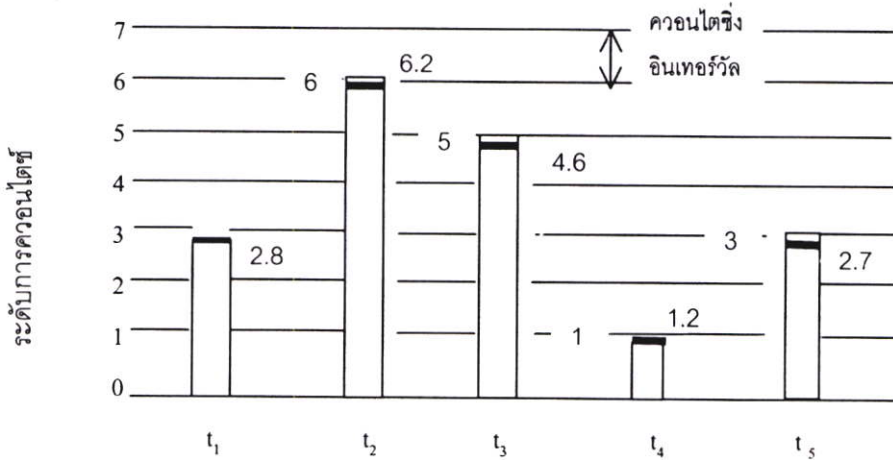
การคิมมอดูเลตพัลส์ PAM ทางด้านรับนั้นจะได้ LPF ตามอุดมคติ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ในทางปฏิบัติไม่สามารถจะสร้างวงจรแบบนี้ได้ จึงเพียงแต่สร้างให้มีคุณลักษณะใกล้เคียงกันเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่สามารถกำจัดความถี่ที่สูงกว่า f_0 และฮาร์โมนิกส์ต่าง ๆ ออกไปได้ตามที่แสดงไว้ในรูป 2.10 สิ่งดังกล่าวเหล่านี้จะสอดแทรกเข้าไปปนกับสัญญาณที่ได้จากการคิมมอดูเลต จึงเป็นผลทำให้เกิดการผิดเพี้ยนซึ่งเรียกว่า Interpolating distortion



รูปที่ 2.10 การผิดเพี้ยนที่เกิดจากการสอดแทรก

2.1.4 การจัดระดับ (Quantizing)

ขบวนพัลส์ PAM ที่ผ่านการแซมปลิงลงแล้ว ยังถือว่าเป็นชนิดอนาล็อกอยู่ คือมันจะมีอัมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องไปกับเวลาที่เป็นช่วง ๆ การจัดระดับคือกระบวนการที่เปลี่ยนอัมพลิจูดของ PAM เหล่านั้นให้เป็นค่าตัวเลขแบบดิคริตตามที่ได้แสดงไว้ในรูป 2.11



รูปที่ 2.11 การจัดระดับ

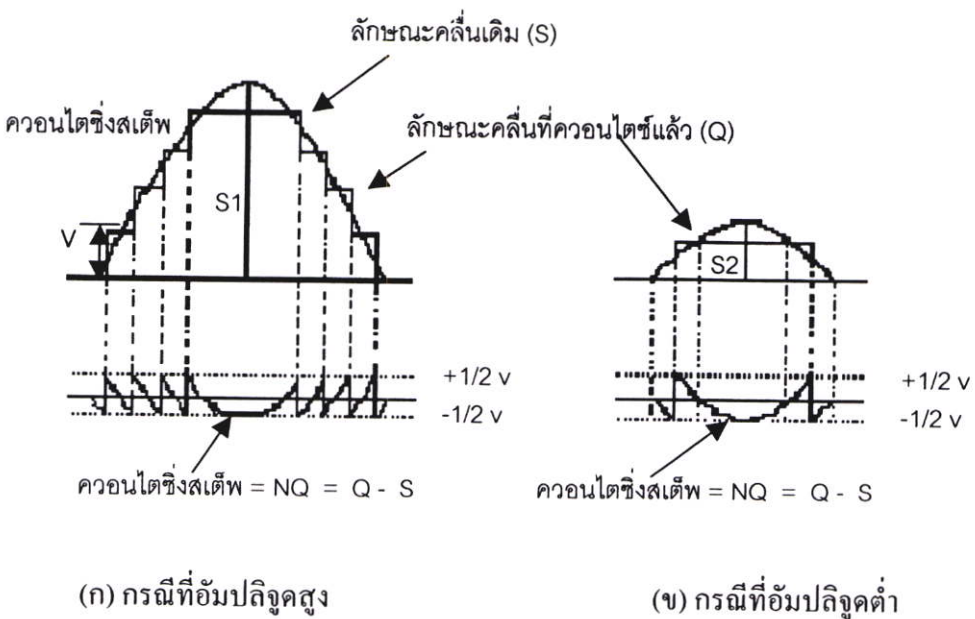
จากรูป 2.11 แอมพลิจูดของแอมพลิจูดทุกตัวของ PAM จะถูกจัดให้เป็นระดับซึ่งเรียกว่า ระดับควอนไทซ์ (Quantizing level) โดยมีระยะห่างระหว่างระดับข้างเคียง เรียกว่า ควอนไทซ์ อินเทอร์วัล (Quantizing interval) หรือควอนไทซ์สเต็ปนั้นเท่ากัน กรณีนี้เรียกว่าการจัดระดับแบบยูนิฟอร์มหรือแบลิเนียร์ (Uniform quantizing) ขนาดของแอมพลิจูดทุกตัวจะแสดงด้วยค่าระดับควอนไทซ์ที่ใกล้เคียงที่สุด เช่นขนาดของแอมพลิจูดที่ $t = t_1$ คือ 2.8 จะจัดให้เป็นระดับ 3 หรือค่าแอมพลิจูดที่ $t = t_2$ มีขนาด 6.2 จะจัดให้เป็น 6 เป็นต้น จะเห็นได้ว่าสัญญาณ PAM ที่ถูกจัดระดับแล้วนี้จะเป็นเพียงค่าโดยประมาณของสัญญาณอนาล็อกเท่านั้น ดังนั้นส่วนเกินและส่วนขาดจากการจัดระดับจึงเป็นค่าผิดพลาดระหว่างสัญญาณเดิมและค่าที่ได้จัดระดับ ซึ่งค่าผิดพลาดนี้เรียกว่า ควอนไทซ์นอยส์ (Quantizing noise) หรือความพร่าเข้มนจากการควอนไทซ์ (Quantizing Distortion) อนึ่ง จากหลักการที่กล่าวมานี้ ทางปฏิบัติจะไม่สามารถหลีกเลี่ยงควอนไทซ์นอยส์ได้ แต่เพื่อรักษาคุณภาพของเสียงในการสนทนาให้ดี จึงจำเป็นต้องทำให้ นอยส์นี้ลดลง ในเบื้องต้นคือ อากาศลดควอนไทซ์อินเทอร์วัลให้แคบลงอย่างพอเพียงก็สามารถจะลดควอนไทซ์นอยส์ได้ในระดับหนึ่ง อย่างเช่นถ้าลดอินเทอร์วัลลงครึ่งหนึ่ง ปริมาณของควอนไทซ์นอยส์จะลดลงเป็น $\frac{1}{4}$ และการลดอินเทอร์วัลให้เหลือครึ่งหนึ่งจะสอดคล้องกับการเพิ่มจำนวนบิตอีก 1 บิต นั่นคือพาวเวอร์ของควอนไทซ์นอยส์จะลดลง 6 dB ทุก ๆ การเพิ่ม 1 บิต

2.1.6 คอมแพนดิง (Companding)

ตามที่ได้กล่าวมาจากข้อ 2.1.5 แล้วว่าเราไม่สามารถจะหลีกเลี่ยงควอน ไตซ์นอยส์ที่เกิดขึ้นได้แต่จะต้องทำให้ลดลง โดยการลดควอนไทซ์อินเทอร์วัล หรือการเพิ่มจำนวนระดับนั่นเอง แต่เมื่อเพิ่มจำนวนระดับขึ้นแล้ว จำนวนบิตที่ใช้จะเพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้ความเร็วในการส่งสัญญาณดิจิทัลให้สูงขึ้น ตามปกติควอนไทซ์นอยส์จะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในทุกอิน

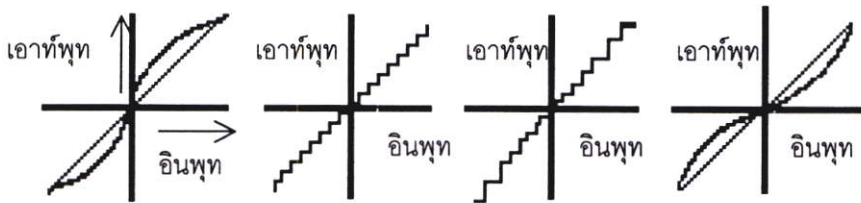
เทอร์วัล โดยไม่เกี่ยวข้องกับอัมพลิจูดของสัญญาณเดิม หรือกล่าวอีกหนึ่งคือ พาวเวอร์ของควอนไตซ์ซึ่งนอยส์เกือบจะคงที่โดยไม่ขึ้นอยู่กับสัญญาณ และในการวัดคุณภาพของการเข้ารหัสของสัญญาณเสียงจะใช้อัตราส่วนของสัญญาณ S ต่อควอนไตซ์นอยส์ N_Q เมื่อเป็นเช่นนี้จะเข้าใจได้ว่าในกรณีที่สัญญาณมีระดับสูง S/N_Q จะดีกว่ากรณีของสัญญาณซึ่งมีระดับต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณา ควอนไตซ์นอยส์ในบริเวณที่สัญญาณมีระดับต่ำ อย่างเช่นตามรูป 2.12 กรณีที่เป็นการจัดระดับแบบยูนิฟอร์มจะเห็นได้ว่า เมื่อสัญญาณมีพาวเวอร์ต่ำ นอยส์จะมีระดับสูงเมื่อเทียบกับระดับของสัญญาณจึงทำให้ S/N_Q เลวลง ด้วยเหตุนี้จึงใช้การจัดระดับโดยวิธีอื่น กล่าวคือแบบน็อนยูนิฟอร์ม (Non-Uniform Quantizing) คือบริเวณที่สัญญาณมีอัมพลิจูดต่ำจะใช้ควอนไตซ์สเต็ปแคบ ๆ และในทางตรงกันข้ามบริเวณที่สัญญาณมีอัมพลิจูดสูงจะใช้ควอนไตซ์สเต็ปกว้าง ๆ ซึ่งการทำให้เป็นแบบนี้เรียกว่าจะนำหลักการของ Compadding เข้าช่วย

คอมแพนดิงเป็นชื่อรวมของวงจรคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ซึ่งใช้สำหรับด้านส่ง และวงจรเอกซ์แพนเดอร์ (Expander) ซึ่งใช้สำหรับด้านรับ คุณสมบัติของวงจรนี้จะกล่าวในภายหลังอย่างไรก็ตามตัวอย่างการจัดระดับควอนไตซ์แบบน็อนยูนิฟอร์มได้แสดงไว้ในรูป 2.13 ซึ่งมีขั้นตอนคือก่อนที่จะทำการจัดระดับจะผ่านสัญญาณไปยังวงจรคอมเพรสเซอร์ ซึ่งมีคุณลักษณะของอินพุต / เอาท์พุตตามรูป 2.13(ก) แล้วทำการจัดระดับแบบยูนิฟอร์มตามรูป 2.13 (ข) ก็จะได้การจัดระดับแบบน็อนยูนิฟอร์มตามรูป 2.13 (ค.) สำหรับทางด้านรับนั้นเมื่อสัญญาณ PCM ผ่านขั้นตอนการถอดรหัสแล้วก็จะผ่านไปยังวงจรเอกซ์แพนเดอร์ซึ่งมีคุณลักษณะตรงกันข้ามกับคอมเพรสเซอร์ตามรูป 2.13 (ง)



รูปที่ 2.12 การควอนไตซ์และควอนไตซ์นอยส์

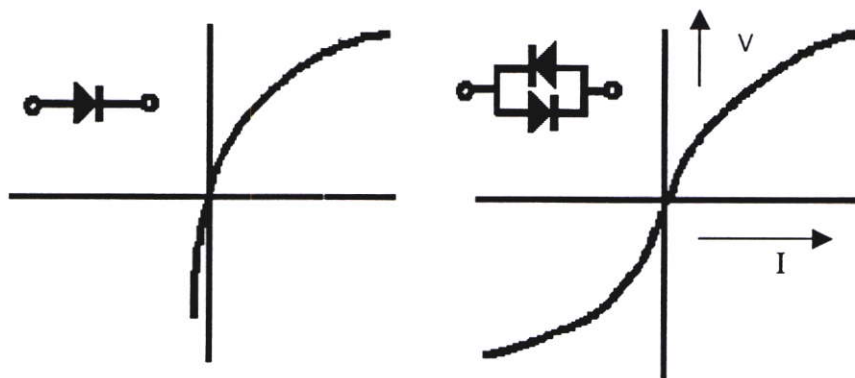
อนึ่งกรณีที่จัดระดับแบบยูนิฟอร์มนั้นจะใช้ประมาณ 2,000 ระดับ จึงจะรักษาคุณภาพของเสียงให้ดีในการเข้ารหัสจะต้องใช้ถึง 11 บิตต่อแซมปลิง 1 ตัว แต่ถ้าใช้แบบนี้อนยูนิฟอร์มแล้วจะใช้เพียง 7 บิต ซึ่งมีระดับเพียง 128 เท่านั้น ก็เพียงพอที่จะทำให้ S/NQ ใกล้เคียงกับการจัดระดับแบบยูนิฟอร์ม CCITT กำหนดไว้ให้ใช้ 8 บิตต่อแซมปลิง 1 ตัว และระดับการควอนไทซ์ 256 ก็จะเห็นการรับรองว่าเสียงพูดจะมีคุณภาพที่ดี



(ก) คอมเพรสชัน (ข) ยูนิฟอร์มควอนไทซิง (ค) นีออนยูนิฟอร์มควอนไทซิง (ง) เอ็กซ์แพนชัน

รูปที่ 2.13 คุณลักษณะการจัดระดับด้วยคอมเพรสเซอร์และเอกซ์แพนเดอร์

สำหรับคุณลักษณะของคอมเพรสเซอร์นั้นจะเป็นแบบลอการิทึม รูปแบบโดยทั่วไปจะใช้คุณสมบัติของ V-I ของไดโอด ตามรูป 2.14 กรณีที่ใช้เป็นคอมเพรสเซอร์จะมีกระแส i เป็นอินพุต โวลเตจ V เป็นเอาต์พุต สำหรับกรณีที่ใช้เป็นกรณีที่ใช้เป็นเอกซ์แพนเดอร์จะมีโวลเตจเป็นอินพุต และกระแส i เป็นเอาต์พุต

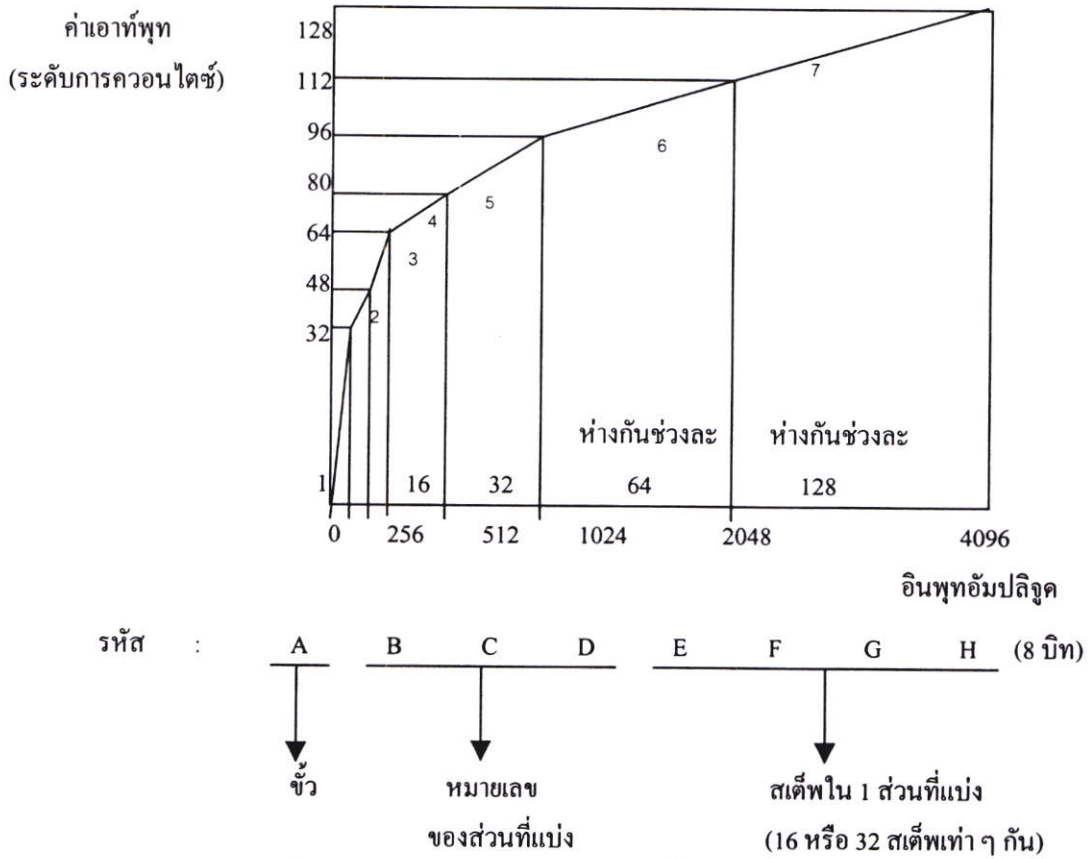


(ก) ไดโอดตัวเดียว

(ข) ไดโอดหลายตัว

รูปที่ 2.14 คุณลักษณะคอมเพรสชันของไดโอด

คุณลักษณะของคอมเพรสเซอร์ที่ใช้สำหรับประกอบการเข้ารหัสสัญญาณเสียงในปัจจุบันคือ μ -law ซึ่งใช้ใน Hierarchy (คูตอน 4.2) ของระบบ 1.5 Mb/s และ A-law ใช้ใน Hierarchy ของระบบ 2 Mb/s คุณลักษณะทั้ง 2 แบบนี้แสดงไว้ในรูป 2.15 เฉพาะกรณีของ $\mu = 100, \mu = 255$ และ $A = 87.6$ อนึ่ง กรณีที่ใช้ $\mu = 255$ จะประมาณด้านเส้นตรง 15 เส้นสำหรับการที่ใช้ $A = 87.6$ จะแบ่งเป็นเส้นตรง 13 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะเป็นเส้นตรงผ่านจุดเริ่มต้นไปทั้งทางบวกและทางลบ สำหรับคุณลักษณะของ A-law นี้แสดงไว้ในรูป 2.15 ซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะด้านบวกเท่านั้น อินพุตอัมพลิจูด 4096 จะสอดคล้องกับสัญญาณซึ่งมีพาวเวอร์ 3.14 dBm0 สำหรับเอาต์พุตนั้นจะถูกจัดให้เป็น 256 ระดับ (ทั้งด้านบวกและลบ) คือใช้ 8 บิตต่อแอมพลิจูด 1 ตัว



รูปที่ 2.15 คุณลักษณะของคอมเพ็นดิงเมื่อ $A = 87.6$

2.1.7 การเข้ารหัส (Coding)

หลังจากขบวนพัลส์ PAM ได้ผ่านขั้นตอนการจัดระดับมาแล้ว จะต้องเปลี่ยนขนาดเหล่านั้นให้เป็นรหัสไบนารี (binary codes) กรณีที่เป็นสัญญาณเสียงสำหรับการส่งทางโทรศัพท์ จะถูกเปลี่ยนเป็นรหัส 8 บิต ซึ่งสามารถแสดงค่าอัมพลิจูดได้ 256 ระบบการเข้ารหัสจะมีหลาย ๆ แบบ แต่ส่วนมากจะใช้กัน 3 แบบ ดังแสดงไว้ในตาราง 2.1 ซึ่งแสดงไว้เพียง 3 บิต เพื่อต่อการเข้าใจ

ตารางที่ 2.1 รหัสไบนารีแบบต่าง ๆ

ระดับการควอนไทซ์	รหัสไบนารีแบบธรรมดา	รหัสไบนารีแบบเกรย์	รหัสไบนารีแบบสมมาตร
0	000	000	011
1	001	001	010
2	010	011	001
3	011	010	000
4	100	110	100
5	101	111	101
6	110	101	110
7	111	100	111

รหัสไบนารีแบบธรรมดา (Natural binary code) จะใช้สัญกรณ์ a_1, a_2, \dots, a_n จากสมการแสดงขนาดของอัลปีจูคของสัญญาณ m เป็นรหัสโดยตรง คือ

$$m = a_1 \cdot 2^{n-1} + a_2 \cdot 2^{n-2} + \dots + a_n \cdot 2^0 \quad (2.3)$$

รหัสไบนารีแบบเกรย์ (Gray Code) เป็นการเข้ารหัสโดยที่รหัสข้างเคียงซึ่งสอดคล้องกับระดับข้างเคียงจะมีบิตซึ่งแตกต่างกันเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น

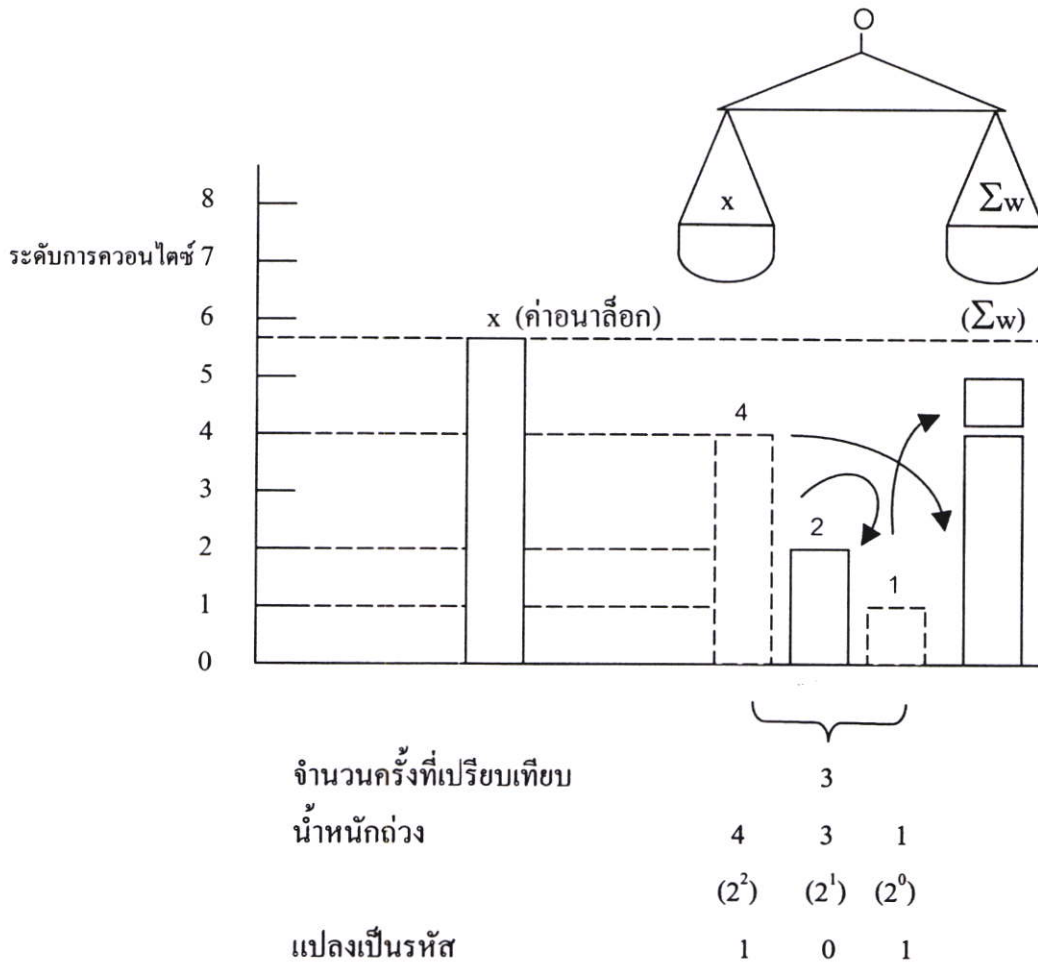
รหัสไบนารีแบบสมมาตร (Symmetrical binary code) ในรหัสนี้ บิตแรกจะชี้ว่าสัญญาณจะเป็นบวกหรือลบ บิตที่ 2 จนถึงบิตสุดท้ายจะแสดงค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณ แล้วนำมาจัดเรียงใหม่อย่างสมมาตรจากกึ่งกลางของระดับควอนไทซ์ไปถึงระดับสูงสุดหรือระดับต่ำสุด ดังนั้นการเข้ารหัสแบบนี้จึงเหมาะสมที่จะใช้แสดงสัญญาณที่อยู่ในรูปของไบโพลาร์

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ไม่ว่าจะเป็นการเข้ารหัสแบบใดก็ตาม เมื่อบิตใด ๆ เกิดการผิดพลาด เนื่องจากนอยส์ในช่วงสัญญาณแล้ว เมื่อสัญญาณอนาล็อกถูกสร้างกลับมาใหม่ที่ด้านรับ S/N ซึ่งเลวลงอยู่แล้วจะมีค่าแตกต่างกันเป็นอย่างมาก เมื่อบิตที่ผิดพลาดมีตำแหน่งต่างกัน

อนึ่ง ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผิดพลาด (error rate) และ S/N จะแตกต่างกันเมื่อโครงสร้างของสัญญาณต่างกัน และโดยทั่วไปแล้ว การผิดพลาดของรหัสจะมีน้อยอย่างพอเพียง และผลที่เกิดจากควอนไทซ์นอยส์จะมีมากกว่าผลที่เกิดจากบิตเอเรอร์ (bit error)

2.1.8 กระบวนการเข้ารหัส

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าสัญญาณที่ผ่านการจัดระดับมาแล้วจะถูกเปลี่ยนให้เป็นรหัสไบนารีแบบสมมาตร การทำงานของวงจรเข้ารหัสในเบื้องต้นจะคล้ายกับการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งซึ่งจะทราบขนาดของแอมพลิจูดจากการอ่านค่าของน้ำหนักถ่วง หลักการของการเข้ารหัสแสดงไว้ในรูป 2.16 ซึ่งการจัดระดับและการเข้ารหัสถูกกระทำไปพร้อม ๆ กัน



รูปที่ 2.16 หลักการของการเข้ารหัส

ตามรูป 2.16 สมมติว่าต้องการชั่งของซึ่งมีน้ำหนักไม่เกิน 8 กรัม โดยมีน้ำหนักจริง 5.7 กรัม ในขณะนี้จะมีสเกลจาก 0.8 กรัม ซึ่งเป็นเสมือนระดับการควอนไทซ์ และสมมติว่าเครื่องชั่งมีน้ำหนักถ่วงเป็น 1, 2 และ 4 กรัม ซึ่งเป็นเสมือนจำนวนบิตคือ 3 บิตในระบบไบนารี ในการวัดน้ำหนักที่ต้องการทราบว่าจะมีค่าเป็นอย่างไรนั้น ตอนแรกลองนำน้ำหนักถ่วง 4 กรัม ใสลงไปก่อน เนื่องจากน้ำหนักที่ต้องการทราบยังคงหนักกว่าจึงต้องใส่น้ำหนักถ่วง 2 กรัมเพิ่มเข้าไปอีก (ถ้าเป็นไปได้ในลักษณะตรงกันข้าม ต้องเอาน้ำหนักถ่วง 4 กรัมออก แล้วเริ่มต้นใหม่ด้วยการใส่น้ำหนักถ่วง 2

กรัมลงไป) ขณะนี้จะทราบน้ำหนักรวมหนักกว่าของที่นำมาซึ่ง ดังนั้นจึงต้องเอาน้ำหนักถ่วง 2 กรัมออก แล้วนำ 1 กรัมใส่ลงไป ก็เป็นอันสิ้นสุดการชั่ง จะเห็นได้ว่าน้ำหนักถ่วงที่ใช้อยู่ขณะนี้คือ 4 กรัม และ 1 กรัม จึงกำหนดให้เป็นลอจิก “1” สำหรับน้ำหนักถ่วง 2 กรัม นั้นไม่ได้ใช้จึงกำหนดให้ลอจิก “0” เมื่อเรียงลำดับของการใส่น้ำหนักถ่วงแต่ละตัวแล้วจึงมีรหัสเป็น “101” แต่ก็ทราบกันดีว่ารหัส “101” คือหมายเลข 5 ซึ่งบอกให้ทราบว่าของที่นำมาซึ่งจะมีน้ำหนักอย่างที่สุด 5 กรัม แต่น้อยกว่า 6 กรัม ผลต่างระหว่างน้ำหนักจริงและน้ำหนักที่ชั่งได้คือ 0.7 กรัม นั้น ในทางปฏิบัติจริง ๆ สิ่งนี้คือควอนไตซิ่งนอยส์นั่นเอง

2.1.9 การเข้ารหัสของเสียงอย่างมีประสิทธิภาพสูง (High – Efficiency Voice Coding)

2.1.9.1 หลักการของ High – Efficiency Voick Coding (HEVC)

ระบบการเข้ารหัสของ PCM นั้น โดยทั่วไปจะนำไปใช้กับโครงข่ายสื่อสารที่เกี่ยวกับการเข้ารหัสของสัญญาณเสียง ซึ่งสัญญาณเสียงในขั้นแรกจะถูกแปลงไปในรูปของข่าวสารทางดิจิทัลด้วยความเร็ว 64 kb/s และเมื่อสัญญาณอนาล็อกถูกเปลี่ยนให้เป็นดิจิทัลนั้นจะเกิดควอนไตซิ่งนอยส์เสมอเมื่อเป็นเช่นนี้ การเปลี่ยนสัญญาณเสียงซึ่งมีแบนด์วิดท์ 4 kHz จากอนาล็อกให้เป็นดิจิทัลต้องใช้ความเร็วประมาณ 100 kb/s จึงจะทำให้ควอนไตซิ่งนอยส์ลดลงและเป็นผลทำให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้นมาได้ แต่อย่างไรก็ตามก็จำเป็นต้องทำให้อัตราการส่งนั้นต่ำพอที่จะรักษาคุณภาพที่ต้องการไว้ได้ ดังนั้น ตามที่ทราบมาแล้วระบบการเข้ารหัสของ PCM ซึ่งใช้ในทางปฏิบัตินั้น ได้นำคอมพิวเตอร์มาใช้เพื่อรักษาคุณภาพของสัญญาณให้เหมือนกับการจัดระดับแบบยูนิฟอร์ม สิ่งนี้ก็เป็นหลักการหนึ่งในความคิดอย่างกว้าง ๆ ของ HEVC ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นระบบมาตรฐานสากล

2.1.9.2 คุณสมบัติของสัญญาณเสียงและการกดส่วนเกิน

เนื่องจากมนุษย์เป็นแหล่งกำเนิดในการส่งและรับข่าวสารด้วยเสียงจึงพิจารณาได้ว่าสัญญาณเสียงจะมีส่วนเกิน (redundancy) ของปริมาณข่าวสารอยู่บ้าง ในการส่งหรือเก็บสัญญาณเสียงนั้น ถ้าเป็นไปได้ก็ไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลให้หมดอย่างสมบูรณ์ แต่ว่าในขณะเดียวกันต้องสามารถรับได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงด้วย ถ้าข่าวสารที่เกินความจำเป็นถูกกดไว้ แม้ว่าจะใช้อัตราการส่งซึ่งต่ำกว่าอย่างเช่น 32 kb/s หรือ 16 kb/s ก็สามารถรักษาคุณภาพในการส่งสัญญาณได้ดีเท่ากับที่ส่งด้วยความเร็ว 64 kb/s หรือไม่อาจจะมีคุณภาพที่สูงกว่าความเร็ว 64 kb/s ก็ได้ ถ้าการพัฒนาเป็นไปอย่างจริงจังแล้วก็อาจเป็นไปได้ที่จะใช้เส้นทางในการส่งสัญญาณและหน่วยความจำให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นได้ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาที่กระทำต่อเนื่องไปถึงการพัฒนา ระบบ HEVC ให้เป็นมาตรฐาน ซึ่งจะลดส่วนเกินของเสียงมนุษย์และกดสัญญาณเสียงอย่างมีประสิทธิภาพ ต่อไปนี้จะกล่าวถึงคุณลักษณะของสัญญาณเสียงและการได้ยินเสียงของมนุษย์ตลอดจนถึงเทคนิคการลดส่วนเกินของสัญญาณเสียงซึ่งได้พัฒนาขึ้นจากการใช้คุณลักษณะดังกล่าว

(ก) คุณลักษณะของสัญญาณเสียง

- 1) ระดับอัมพลิจูดของสัญญาณที่มีขนาดต่ำจะเกิดขึ้นบ่อย
- 2) ระดับของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงอย่างมากไปกับเวลา
- 3) สเปกตรัมความถี่จะไม่เป็นแบบยูนิฟอร์ม และแนวโน้มของพาวเวอร์ของเสียงส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณความถี่ต่ำ
- 4) เมื่อแชนเปลิ่งสัญญาณเสียงเพื่อทำให้เป็นดิจิทัลอนั้น แชนเปลิ่งระหว่างตัวข้างเคียงจะมีความคล้ายคลึงกันอย่างมาก
- 5) สัญญาณเสียงในขณะที่สนทนากันจะมีคาบเวลา (Pitch)

(ข) คุณลักษณะของการได้ยินเสียงของมนุษย์

- 1) เมื่อสัญญาณมีพาวเวอร์สูง (เสียงดัง) ควอนไตซิ่งนอยส์จะถูกกดโดยสัญญาณไว้ ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วจะไม่ได้ยินนอยส์นี้เลย
- 2) โดยการสังเกตอย่างแน่ชัดว่าจะได้ยินเสียงแตกต่างกันในแต่ละความถี่ แต่จะได้ยินชัดที่สุดในบริเวณใกล้กับความถี่ 0.8 kHz ส่วนความถี่ที่อยู่นอกเหนือจากนี้จะมีผลการได้ยินน้อย
- 3) ถ้าข่าวสารที่มี หรือ ขาด คาบเวลาของเสียงก็ดี หรือ pitch ของสัญญาณเสียงและสเปกตรัมของเสียงที่ดีถูกรักษาไว้อย่างแน่ชัดแล้วเสียงที่ได้นั้นจะมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณเดิม

เทคนิคการกดส่วนเกินของเสียงโดยอาศัยคุณลักษณะของสัญญาณเสียงและการได้ยินดังกล่าวข้างต้นมีดังนี้

(ก) การจัดระดับแบบอแด็ปทีฟ (Adaptive Quantizing)

กระทำโดยการเปลี่ยนขนาดของควอนไตซิ่งสแต็ปให้เป็นไปตามระดับของสัญญาณ อย่างเช่นทำให้ขนาดของสแต็ปห่างขึ้นเมื่อมีระดับสัญญาณสูง วิธีนี้จะหลีกเลี่ยงการเพิ่มของควอนไตซิ่งนอยส์อย่างมีประสิทธิภาพ และในขณะที่เดียวกันก็สามารถลดบิทเรตด้วย แต่ก็ยังใช้ได้ผลดีและจะไม่ทำให้ SNQ เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ดังนั้นวิธีนี้จึงนำไปใช้กับระบบ HEVC เกือบทุกชนิด

(ข) การเข้ารหัสโดยการคาดคะเน (Predictive Coding)

วิธีนี้เป็นการคาดคะเนสัญญาณอินพุตปัจจุบันจากสัญญาณอินพุตตัวก่อน โดยการใช้ความคล้ายคลึง (correlation) ระหว่างระยะห่างของแชนเปลิ่งข้างเคียงหรือ Pitch เมื่อมีสัญญาณจริงเข้ามาจึงหาผลต่างระหว่างสัญญาณจริงนี้กับสัญญาณที่คาดคะเนได้ แล้วทำการส่งออกไปโดยอาศัยวิธีนี้ จะทำให้อัลฟิวดูของสัญญาณที่คาดคะเนได้มีขนาดน้อยกว่าอัมพลิจูดของสัญญาณอินพุตจึงสามารถลดปริมาณข่าวสารได้

(ค) การแบ่งตามแถบความถี่ (Band Division)

สัญญาณอินพุทจะถูกแบ่งให้เป็นหลายแถบความถี่ ขั้นตอนการเข้ารหัสและการจัดบิตต่าง ๆ ของส่วนที่มีความสำคัญของทุกแถบความถี่ จะถูกกำหนดไว้เป็นอิสระกัน จึงสามารถลดปริมาณข่าวสารทั้งหมดได้

(ง) การแบ่งตามเวลา (Time Division)

สัญญาณอินพุทจะถูกแบ่งเป็นช่วง ๆ ตามแกนเวลา และทำการจัดบิตตามพาวเวอร์ของสัญญาณในแต่ละช่วงเหล่านั้น

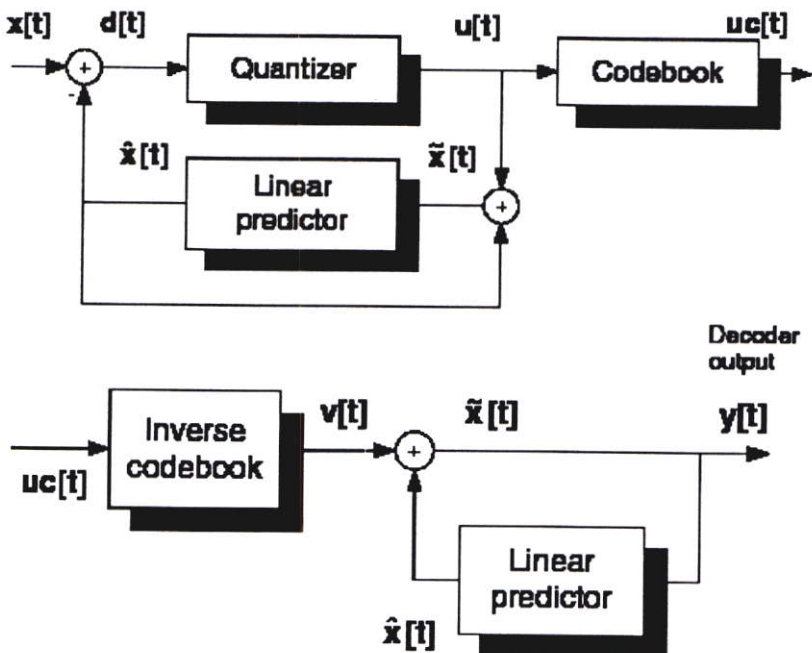
2.1.10 ชนิดของระบบ HEVC

(ก) การเข้ารหัสแบบคิฟเฟอร์เรนเชียลพีซีเอ็ม (Differential Pulse Code Modulation) DPCM

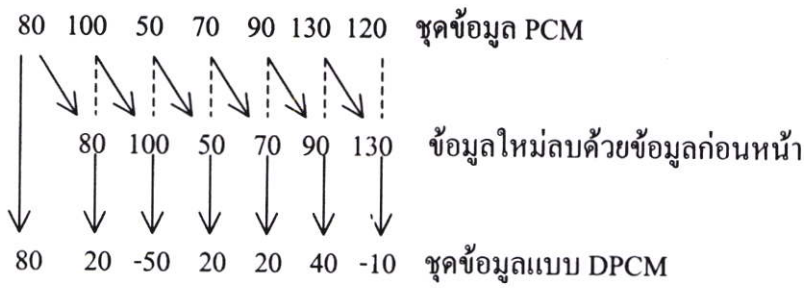
รูปแบบการเข้ารหัสแบบ DPCM เป็นการเข้ารหัสผลต่างระหว่างข้อมูลที่ได้จากการเข้ารหัสแบบ PCM หลังจากเก็บข้อมูลแล้ว ดังตัวอย่างคือ

80 100 50 70 90 130 120

ข้อมูลอันดับแรกเป็นตัวตั้งแล้วทำการลบแบบอนุกรมไปเลยๆ



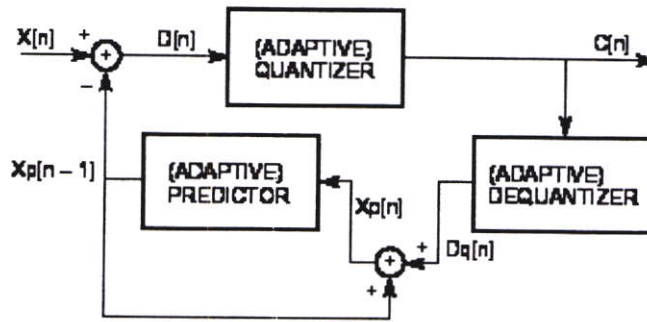
รูปที่ 2.17 DPCM decoder & encode



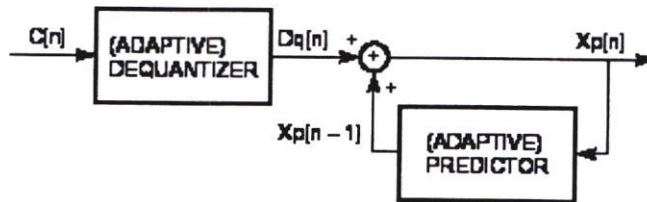
เป็นผลของการเข้ารหัสแบบอนุกรมของกลุ่มข้อมูลที่นำมาเข้ารหัส

รูปแบบการเข้ารหัสแบบ DPCM กลุ่มข้อมูลของสัญญาณเสียงข้อมูลตัวแรกแสดงโดยเป็นค่าตัวเลขสูงสุดของบิตข้อมูล

(ข) การเข้ารหัสแบบอแด็ปทีฟดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โคดโมดูเลชัน (Adaptive Differential Pulse Code Modulation)



(a) ADPCM Encoder



(b) ADPCM Decoder

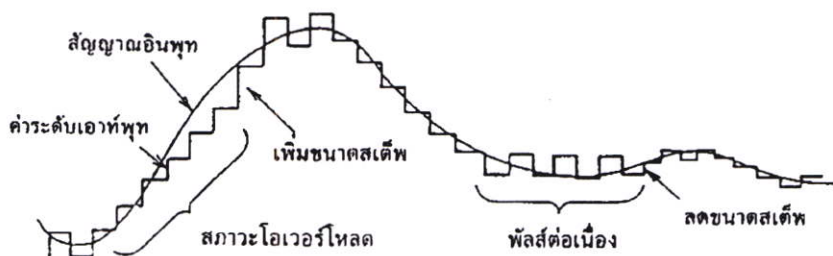
รูปที่ 2.18 โครงร่างของระบบ ADPCM

ในระบบ PCM ที่กล่าวมาแล้วนั้นจะจัดระดับของสัญญาณเสียงจากแอมพลิจูดโดยตรง แต่สำหรับในระบบ ADPCM จะจัดระดับโดยใช้ผลต่างระหว่างค่าแอมพลิจูด เนื่องจากค่าแอมพลิจูดซึ่งอยู่ใกล้เคียงกันจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ดังนั้นจึงคาดคะเนสัญญาณอินพุตปัจจุบันด้วยสัญญาณอินพุตที่เข้ามาก่อน แล้วจัดระดับโดยใช้ผลต่างระหว่างสัญญาณที่คาดคะเนและสัญญาณปัจจุบัน เพื่อทำการส่งออกไปและผลต่างนี้มีค่าน้อยจึงทำให้จำนวนบิตในการเข้ารหัสลดลงได้ โครงสร้างเบื้องต้นของ ADPCM แสดงไว้ในรูป 2.18

จากรูป 2.18 ชั้นแรก ที่วงจรเข้ารหัส (ด้านส่ง) จะสร้างผลต่าง (X-X) ระหว่างสัญญาณอินพุต X และสัญญาณที่คาดคะเน X จากอินพุตตัวก่อน ๆ โดยวงจรดิฟเฟอเรนติเอเตอร์ (Differentiator) (θ) ต่อจากนั้น จะนำผลต่าง X - X ของสัญญาณไปจัดระดับ การที่จะทำให้สัญญาณซึ่งผิดพลาดนี้มีการเปลี่ยนแปลงของระดับอย่างรวดเร็ว นั้น จะไม่ใช่การจัดระดับแบบยูนิฟอร์ม แต่จะใช้วิธีจัดระดับเพื่อให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงโดยอาศัยแซมปลิงตัวก่อน (Adaptive Quantizing) วิธีนี้จะปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นโดยอาศัยวิธีการเข้ารหัสแบบ ADPCM นี้จะใช้เพียง 32 kb/s ซึ่งมีคุณภาพใกล้เคียงกับระบบ PCM ซึ่งใช้ 7 บิต (56 kb/s) ซึ่งเป็นที่คาดหวังว่าในระยะหลัง ๆ นี้จะสามารถใช้ LSI สำหรับระบบนี้ได้อย่างกว้างขวาง

(ค) การเข้ารหัสแบบเดลต้าพีวีเดลตามอดูเลชัน (Adaptive Delta Modulation)

ในขณะที่ความถี่ในการแซมปลิงสูงขึ้นผลต่างระหว่างค่าแซมปลิงข้างเคียงจะน้อยลง ระบบการเข้ารหัสแบบ ADM จะพิจารณาจากจุดนี้คือใช้ความถี่ในการแซมปลิงให้สูงขึ้นและเข้ารหัสของผลต่างของสัญญาณเพื่อส่งออกไปด้วย 1 บิตตามรูป 2.19 ซึ่งแสดงโครงสร้างของการเข้ารหัส / ถอดรหัส แบบ ADM ประกอบด้วยคอมแพเรเตอร์ (comparator) อินทิเกรเตอร์ (integrator), D/A คอนเวอร์เตอร์และวงจรถอดจิกที่จำเป็นบางวงจร เนื่องจากมีขนาดเล็กและการสูญเสียพลังงานน้อยจึงสามารถสร้างได้โดยง่าย กรณีที่เข้ารหัสโดยใช้เพียง 4 บิต จะกำหนดขนาดของสเต็ป (step) จากขบวนพัลส์ที่เข้ามาก่อน (ขบวนพัลส์ ΔM) กล่าวคือ ตามรูป 2.19 กรณีที่พัลส์ซึ่งมีขั้วเหมือนกันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจะกำหนดว่าเป็นโอเวอร์โหลด ในขณะที่จะเพิ่มขนาดของ step ให้กว้างขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าพัลส์ซึ่งมีขั้วสลับกันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องแล้ว ในการลดควอนไตซ์น้อยลงจะต้องลดขนาดของ step ให้แคบลง วงจรเข้ารหัส / ถอดรหัสแบบ ADM สามารถสร้างได้ด้วย LSI 1 ชิพ เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพที่ใช้บิตเรท 32 kb/s แล้วจะดีกว่าระบบการเข้ารหัสแบบ ADPCM หรือ APC-AB (ที่จะกล่าวในตอนต่อไป) แต่อย่างไรก็ตาม ADM ก็มีข้อดีหลายประการเช่น ผลที่เกิดจากการผิดพลาด ของรหัสในการส่งน้อย ไม่จำเป็นต้องใช้เฟรมซิงค์ มีขนาดเล็ก ทำงานที่โวลเตจต่ำและมีการสูญเสียพลังงานน้อย คาดว่าระบบนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับการสื่อสารระบบวิทยุเคลื่อนที่ (Mobile system)



รูปที่ 2.19 หลักการของการเปลี่ยนสเต็ปในการจัดระดับของระบบ ADM

2.2 หลักสูตรการสอนที่เกี่ยวกับการสื่อสารสัญญาณเสียง

การอธิบายการทำงานเรื่องการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Conversion) การสร้างสัญญาณกลับคืนเป็นอนาล็อก และ การส่งสัญญาณเสียงในโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการจัดการเรียนการสอนในหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารกระทรวงศึกษาธิการ เนื้อหาวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสแบบ PCM อยู่หลายวิชาแต่เป็นเชิงทฤษฎีเช่น

รหัสวิชา 3105-2017 ระบบสื่อสารดิจิทัล

(Digital Communication Systems)

จุดประสงค์รายวิชา

1. เพื่อให้มีความเข้าใจหลักการทำงานของวงจร มอดูเลชัน และ ดีมอดูเลชัน ในเชิงคณิตศาสตร์ของระบบ PAM, PPM, PWM, FSK, PSK, ASK, TDM และ PCM
2. เพื่อให้สามารถวัดและทดสอบระบบมอดูเลชันในระบบสื่อสารดิจิทัล
3. เพื่อให้มีกิจนิสัย ในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบ ปลอดภัย มีจริยธรรม ในงานอาชีพ

มาตรฐานรายวิชา

1. วิเคราะห์หลักการทำงานของระบบสื่อสารดิจิทัล
 2. วัดและทดสอบการมอดูเลชันในระบบสื่อสารดิจิทัลด้วยเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง
 3. วัดและทดสอบการดีมอดูเลชันในระบบสื่อสารดิจิทัลด้วยเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง
- หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 (ปวส. 2546)

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติ การมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในเชิงคณิตศาสตร์ วงจร PAM (Pulse Amplitude Modulation), PPM (Pulse Position Modulation), PWM (Pulse Width Modulation), FSK (Frequency Shift Keying), PSK (Phase Shift Keying), และ ASK (Amplitude Shift Keying) , TDM (Time Division Multiplex)

ระบบ PCM(Pulse Code Modulation) การวัดและทดสอบวงจรมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในระบบสื่อสารดิจิทัลด้วยเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง

รหัสวิชา 3119-2009 หลักการโทรคมนาคม

(Telecommunication Concept)

จุดประสงค์รายวิชา

1. เพื่อให้มีความเข้าใจ หลักการมอดูเลชันและดีมอดูเลชัน ในเชิงคณิตศาสตร์ของระบบสื่อสารอนาล็อกและระบบสื่อสารดิจิทัล

2. เพื่อให้สามารถวัดและทดสอบระบบมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในระบบสื่อสารอนาล็อกและระบบดิจิทัล

3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบและปลอดภัย ตระหนักถึงคุณภาพของงาน และมีจริยธรรมในงานอาชีพ

มาตรฐานรายวิชา

1. วิเคราะห์หลักการมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในเชิงคณิตศาสตร์ของระบบสื่อสารอนาล็อกและระบบสื่อสารดิจิทัล

2. วัดและทดสอบระบบมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในระบบสื่อสารอนาล็อกและระบบสื่อสารดิจิทัล

3. วัดและทดสอบคุณสมบัติระบบมัลติเพล็กซ์

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาหลักการและปฏิบัติ ระบบโทรคมนาคม กฎ ระเบียบ ข้อบังคับและพระราชบัญญัติเกี่ยวกับวิทยุโทรคมนาคม ทั้งในประเทศและสากล การมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในเชิงคณิตศาสตร์และวงจร AM, BM(Balance Mod) และ SSB(Single Side Band) การมัลติเพล็กซ์ในระบบ FDM, TDM, PM (Phase Modulation), PLL(Phase Lock Loop) ควอดคราเจอร์ดีทีทีทีเตอร์และ Frequency Synthesizer, PAM (Pulse Amplitude Modulation), PPM (Pulse Position Modulation), PWM (Pulse Width Modulation), FSK (Frequency Shift Keying) PSK (Phase Shift Keying), และ ASK (Amplitude Shift Keying), TDM (Time Division Multiplex)

ระบบ PCM(Pulse Code Modulation) การวัดและทดสอบวงจรมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในระบบสื่อสารอนาล็อกและระบบสื่อสารดิจิทัลด้วยเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง

รหัสวิชา 3119-2302 เทคโนโลยีระบบดิจิทัลทางสาย

(Digital Communication Technology)

จุดประสงค์รายวิชา

1. เพื่อให้มีความเข้าใจ หลักการทำงานของวงจรมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในเชิงคณิตศาสตร์ของระบบ PAM, PPM, PWM, FSK, PSK, ASK, TDM และ PCM

2. เพื่อให้สามารถวัดและทดสอบระบบมอดูเลชันในระบบสื่อสารดิจิทัล

3. เพื่อให้สามารถติดตั้งอุปกรณ์ XDSL เพื่อการบริการด้านข้อมูล

4. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบและปลอดภัย ตระหนักถึงคุณภาพของงาน และมีจริยธรรมในงานอาชีพ

มาตรฐานรายวิชา

1. วิเคราะห์หลักการการทำงานของระบบสื่อสารดิจิทัล

2. วัดและทดสอบการมอดูเลชันในระบบสื่อสารดิจิทัลด้วยเครื่องมือ

3. วัดและทดสอบการคิโมดุลชันในระบบสื่อสารดิจิตอลด้วยเครื่องมือ
4. ติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ XDSL, ADSL บนโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน
คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับการมอดูเลชันและคิโมดุลชันในเชิงคณิตศาสตร์ และวงจร PAM (Pulse Amplitude Modulation), PPM (Pulse Position Modulation), PWM (Pulse Width Modulation), FSK (Frequency Shift Keying), PSK (Phase Shift Keying), และ ASK (Amplitude Shift Keying) , TDM (Time Division Multiplex) ระบบ PCM (Pulse Code Modulation) เทคโนโลยี DSL (Digital Subscriber Line) บนโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน การวัดและทดสอบวงจรมอดูเลชันและคิโมดุลชัน การติดตั้งอุปกรณ์ XDSL ในระบบสื่อสารดิจิตอลทางสายด้วยเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง (กระทรวงศึกษาธิการ 2546 : WWW.VEC.GO.TH)

2.3 การออกแบบและสร้างสื่อการเรียนการสอน

พุทธทอง โปธิปัญญา (2540 : 15) ได้กล่าวถึงแนวทางในการปรับปรุงขบวนการเรียนการสอน สาขาวิชาช่างอุตสาหกรรม คือ การมีสื่อการเรียนการสอน ที่สอดคล้องกับหลักสูตร และ ผู้สอนได้นำไปใช้อย่างถูกวิธี จะเป็นผลให้ได้คุณภาพของการเรียนการสอนที่ดีขึ้น ในการผลิตสื่อเพื่อการสอน โดยเฉพาะวิชาการทดลองเป็นการฝึกการใช้ความคิด นอกจากจะพิจารณาถึงระบบ และวิธีสอนที่ต้องใช้แล้ว ยังมีหลักที่สำคัญในการสื่อการเรียนการสอนอีก 3 ประการ คือ

1. เทคนิคการผลิต
2. ความคิดสร้างสรรค์ในการผลิต
3. การออกแบบ ให้สอดคล้องกับขบวนการสอน จุดมุ่งหมายการสอน และลักษณะที่จะนำไปใช้งาน

สำหรับแนวทางในการออกแบบสื่อการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพนั้น ประกอบด้วยขบวนการ 5 ขั้นตอน คือ

1. การกำหนดขอบข่ายเนื้อหาวิชา ด้วยองค์ประกอบ 4 ประการ ที่ควบคู่กันไป คือ การศึกษาเชิงวิเคราะห์ เนื้อหาวิชา การศึกษาเปรียบเทียบหลักสูตร การสำรวจโรงงาน และการสำรวจสถานศึกษา
2. การกำหนดเนื้อหา และวัตถุประสงค์ จากขอบข่ายเนื้อหาที่ได้นำมาศึกษา เพื่อให้สามารถจำแนก เป็นส่วนต่างๆ เท่าที่จำเป็น กล่าวคือ ให้รู้ถึงจุดมุ่งหมาย และหน้าที่ ของชุดฝึกปฏิบัติการว่า ทำอย่างไร จึงจะสามารถทำงานได้ตามต้องการ และสามารถตอบสนองจุดมุ่งหมายของเนื้อหาวิชาได้อย่างครบถ้วน

3. การออกแบบ และการสร้างชุดสื่อการเรียนการสอน วัตถุประสงค์ของชุดฝึกที่ผ่านการวิเคราะห์ และตรวจสอบแล้ว เป็นแนวทางในการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์การสอน หรือชุดฝึกที่ทำการออกแบบนี้ สามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์การสอนของครู และอุปกรณ์ในการทำกิจกรรมของนักศึกษา ชุดฝึกจึงมีความสำคัญมาก ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา และความสามารถทำงานในด้านช่างอุตสาหกรรม เพื่อที่จะสามารถปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี การออกแบบ และสร้างสื่อประเภทชุดฝึกนั้น จำเป็นต้องนำเอาหลักการด้านการออกแบบทางด้านวิศวกรรมเชิงปฏิบัติ มาประยุกต์กับงานที่ออกแบบสร้าง

4. การทดลองใช้ชุดสื่อการเรียนการสอน จะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษาโดยผู้วิจัยเพื่อค้นหาข้อบกพร่องต่างๆ เช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน และความสะดวกในการใช้งาน

5. การปรับปรุงข้อมูล และประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดสื่อการเรียนการสอน ให้มีประสิทธิภาพจนเป็นที่ยอมรับได้

วัลลภ จันทร์ตระกูล (2543 : 110) ได้อธิบายถึงแนวทางขั้นตอนในการออกแบบการสร้างชุดฝึกว่า โดยทั่วไปแนวทางในการออกแบบสร้างจะมี 2 แบบ คือ การออกแบบสร้างแบบตามนิยม (Conventional Design) และแบบวิธี (Methodical Design) ความแตกต่างของสองแนวทางนี้คือ แนวทางแรกเป็นการออกแบบในลักษณะที่ปฏิบัติค่อยๆ กันมาไม่มีรูปแบบหรือขั้นตอนการดำเนินงานที่เป็นแบบแผนแน่นอน แต่จะออกแบบกันตามความรู้ความเชี่ยวชาญแห่งตนจึงแตกต่างจากแนวทางแบบที่สอง ซึ่งนำวิชาการ ทางด้านวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ให้เหมาะสมกับงานออกแบบสร้างในสาขาต่างๆ ได้

การออกแบบสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทอุปกรณ์ทดลอง หรือสาธิตก็ได้นำหลักวิชาการทางการออกแบบ สร้าง มาประยุกต์เป็นหลักการที่มีขั้นตอนดังนี้ (วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2543 : 111-114)

1. กำหนดจุดประสงค์ในการนำอุปกรณ์ทดลองหรือสาธิตไปใช้ในการสอน

เป็นขั้นตอนที่ต้องศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อให้การออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์ทดลอง หรือสาธิตนั้นเกิดความเป็นจริง สำเร็จผลตามเป้าหมาย ควรจะต้องศึกษาถึงสภาพการณ์ ในการเรียนการสอนศึกษาข้อมูลทางด้านวิชาการในเรื่องนั้น ในบางครั้ง ถ้าหากเรื่องนั้นได้มีการพัฒนาอุปกรณ์มาแล้วโดยผู้อื่น เช่น บริษัทในต่างประเทศก็ควรที่จะศึกษารายละเอียดต่างๆ ด้วย เป็นต้น

เมื่อศึกษาข้อมูลต่างๆ แล้ว จึงนำมาใช้เขียนจุดประสงค์ของอุปกรณ์ในลักษณะคำบรรยาย แต่จะไม่ระบุรูปร่างลักษณะทางด้านเทคนิคอย่างเฉพาะเจาะจง ข้อมูลต่างๆ อาจกล่าวได้ว่าเป็นขอบเขตคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่จะออกแบบสร้างก็ได้ บางครั้งอาจจะกำหนดเป็นข้อๆ ก็ได้ และสุดท้ายจะต้องตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของบทเรียนอีกครั้ง จนกระทั่งได้ผลว่าเกิดความสอดคล้องครอบคลุมตามเป้าหมาย

2. กำหนดหน้าที่ (Funtion) ของอุปกรณ์

จากคำบรรยายคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่กำหนดขึ้นในข้อ 1 จะนำมาดำเนินการวิเคราะห์คำบรรยายดังกล่าว เพื่อค้นหาค่าพื้นฐาน (Basic Term) ของอุปกรณ์ ซึ่งทำให้ทราบรายการหน้าที่ (Funtion Element) ของอุปกรณ์ และได้กำหนดตัวรายการหน้าที่เป็นกลางทุกๆ ไป ไม่ระบุเฉพาะเจาะจงว่าต้องใช้ชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์แบบใด รูปร่างอย่างไรก็ตาม เฉพาะค่าพื้นฐานก็อาจจะไม่ได้รายการหน้าที่ครอบคลุมลักษณะของอุปกรณ์ ดังนั้น จึงต้องวิเคราะห์ค่าประกอบสัมพันธ์ (Relation Term) ด้วย

3. ศึกษาพิจารณาปัจจัยที่จะทำให้อุปกรณ์ทำงานได้ตามรายการหน้าที่ (Funtion Element) เป็นการคิดค้นสิ่งที่จะทำให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามรายการหน้าที่ที่กำหนด (Funtion Carrier) ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของวัสดุ (Material) พลังงาน (Energy) และสัญญาณ (Signal) วิทยาการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนนี้ คือ วิชา ฟิสิกส์ ได้แก่ ทางด้านกลไกล (Machanic) เคมี ไฟฟ้า แสง เสียง ความร้อน เป็นต้น

สิ่งที่จะต้องกำหนดอาจเป็นคำเขียนสั้นๆ หรือภาพสเก็ตช์ง่ายๆ เพื่อจะใช้เป็นชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์ (Construction Element) จะต้องพยายามเขียนข้อกำหนดให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้สำหรับเป็นทางเลือกต่างๆ ที่จะทำการตัดสินใจเลือกในลำดับต่อไปแนวทางที่จะได้ทางเลือกต่างๆ คือ การศึกษาพิจารณาในเรื่องลักษณะรูปทรงและลักษณะของการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบนั้นๆ อาจจะต้องมีการระดมสมอง (Brain Stroming) ร่วมกัน ต้องศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ที่มีอยู่ แม้กระทั่งผลงานของผู้อื่น (บริษัทคู่แข่ง)

ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นควรจะต้องพิจารณาเงื่อนไขบางประการ เช่น การใช้ชิ้นส่วนสำเร็จ ความยากง่ายในการผลิต และค่าใช้จ่าย เป็นต้น นอกจากนั้น ควรจะให้ชิ้นส่วนบางชิ้นทำหน้าที่ได้หลายๆ หน้าที่ด้วย สิ่งที่สำคัญที่สุดในจุดนี้คือ การพยายามใช้ชิ้นส่วน หรือ อุปกรณ์บางอย่าง ซึ่งมีอยู่หรือได้พัฒนามาแล้ว

4. วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์

เป็นขั้นตอนที่ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากทางเลือกต่างๆ โดยการวิเคราะห์และตัดสินใจเลือก ซึ่งมีวิธีการแตกต่างกันออกไป การตัดสินใจเลือกมีสิ่งสำคัญ คือ แนวทางหรือมาตรการในการตัดสินใจเลือกเกณฑ์ โดยทั่วไปเกณฑ์กำหนด ได้แก่ เรื่องประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาดรูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น ส่วนน้ำหนักของเกณฑ์แต่ละเกณฑ์ก็แตกต่างกันออกไปตามความสำคัญ หรือจะเน้นหนักในเรื่องใด เช่น จะเน้นทางด้านเทคนิคหรือด้านเศรษฐศาสตร์ การตัดสินใจเลือกจะต้องมีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือในการตัดสินใจเลือก จึงควรประกอบด้วยบุคคลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ฝ่ายออกแบบ ฝ่ายผลิต ฝ่ายจัดการ เป็นต้น

การพัฒนาอุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะประกอบต่างๆ จำนวนมาก อาจต้องทำการตัดสินใจเลือกถึงสองขั้นตอน กล่าวคือ ขั้นแรก ตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบแต่ละชิ้น ขั้นที่สอง จะต้อง

วิเคราะห์ ความเข้ากันได้ หรือ ประกอบกันได้ของชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ที่เลือกมาแล้วทำการตัดสินใจเลือกชุดประกอบย่อยๆ แต่ละชุด

5. สร้างต้นแบบและตรวจสอบ

จากผลลัพธ์การตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบในข้อที่ 4 จะต้องนำมาร่างเป็นภาพประกอบ ต้นแบบโดยคร่าวๆ หรือเป็นแบบงานง่ายๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างต้นแบบ ในบางครั้งขั้นตอนนี้อาจต้องมีการประลองหรือทดลองกลไกหน้าที่ของอุปกรณ์บางอย่าง เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์นั้นมีคุณลักษณะตรงตามต้องการ นอกจากนั้นก็ศึกษาข้อมูลด้านขนาด ระยะ รูปร่างของอุปกรณ์นี้ด้วย

อุปกรณ์ต้นแบบจะต้องทำการตรวจสอบทางด้านเทคนิคค้นหาข้อมูล (Data) บางอย่าง เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์นี้มีคุณลักษณะตรงตามต้องการ นอกจากนั้นก็ศึกษาพิจารณาเรื่องแนวทางการผลิตต่อไป รวมทั้งกฎความปลอดภัยต่างๆ ด้วย ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจสอบจะนำไปใช้ประกอบการเขียนเอกสารประกอบอุปกรณ์นี้

6. เขียนแบบงาน

ในกรณีที่พัฒนาออกแบบสร้างอุปกรณ์เพียงชิ้นเดียว งานเขียนอาจไม่จำเป็นแต่ถ้าหากจะทำการผลิต หรือต้องการเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อประโยชน์ในการดำเนินการต่อไปงานเขียนแบบนี้ว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก

แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับการดำเนินการผลิต ดังนั้น แบบงานอุปกรณ์จะต้องมีแบบแยกชิ้นงานเป็นชิ้นเดียวที่มีข้อมูลอย่างครบถ้วน สำหรับช่างที่จะทำการผลิตได้ เช่น ขนาด พิกัด ความเผื่อ วัสดุ เป็นต้น นอกจากนั้นก็ต้องมีข้อมูล หมายเลขชิ้นส่วนทั้งที่ต้องสร้างขึ้นใหม่ และชิ้นส่วนมาตรฐาน ดังนั้น งานเขียนแบบจึงต้องมีการกำหนดระบบ เลขหมายแบบ ซึ่งอาจจะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ แบบรวม แบบประกอบกลุ่มหลัก แบบประกอบกลุ่มย่อยและแบบชิ้นเดียวระบบในงานเขียนแบบมีความสำคัญต่อการคำนวณราคา การวางแผนการผลิต และการเก็บข้อมูลทางด้านชิ้นส่วนและวัสดุของหน่วยงาน

7. การเตรียมเอกสารประกอบ

อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไป ควรจะต้องจัดเตรียมเอกสารประกอบ และคู่มือการใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้จะได้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องปลอดภัย และสอดคล้องตามจุดประสงค์ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์นั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเรียนการสอนก็จะต้องเตรียมเอกสารประกอบสำหรับใช้ในงานสอนด้วย

ในขั้นตอนงานที่ 5 คือ การสร้างต้นแบบและตรวจสอบจะได้รับข้อมูลส่วนหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการจัดเตรียมเอกสารประกอบ และในภายหลังเมื่อได้ผลิตออกมาเป็นอุปกรณ์จริงๆ แล้วก็ต้องนำมาหาข้อมูลต่างๆ ต่อไปอีก

เอกสารประกอบที่จะต้องจัดเตรียม อาจกำหนดให้มีลักษณะต่างๆ กัน ตามแต่ความมุ่งหมายของงาน โดยอาจจำแนกออกเป็น 4 ประเภท คือ คู่มือแนะนำการใช้งาน (Instruction Sheet) เอกสารประกอบการศึกษาทดลอง (ตำรา ใบงาน แบบฝึกหัด แบบทดสอบ ใบเฉลยของผู้สอน และผู้เรียน เป็นต้น) เอกสารรายการสินค้า (Catalog) และใบเอกสารเสนอลูกค้า (Prospect)

ผู้ออกแบบสร้างอาจจะต้องทำหน้าที่เป็นผู้จัดเตรียมเอกสาร แต่ในบางกรณีก็อาจจะต้องตั้งเป็นทีมงาน หรือให้ผู้เชี่ยวชาญภายนอกเป็นฝ่ายพัฒนาขึ้นมา

ผลงานที่ได้ดำเนินงานในขั้นตอนที่ 7 สามารถดำเนินการผลิตอุปกรณ์ในลักษณะการผลิตจำนวนมาก (Mass Production) ได้เลย โดยที่การเตรียมเอกสารประกอบก็ดำเนินการควบคู่กันไป

2.4 วิธีการสร้างชุดฝึกและใบงานการทดลอง

วิธีการสร้างชุดฝึกและใบงานการทดลองมีลำดับขั้นตอนการสร้าง อังใน (สุนทร ก้องสินธุ์, 2548 : 25-26) ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนเอกสาร และหาข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง
2. ขั้นตอนเตรียมการหาบุคลากรที่จะมาช่วยในการสร้างชุดฝึก และใบงานการทดลองซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการในสาขาวิชานั้น
3. ขั้นตอนดำเนินงานประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้
 - 3.1 เลือกเนื้อหาวิชา
 - 3.2 กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
 - 3.3 จัดลำดับเนื้อหา
 - 3.4 วางแผนวิธีการสอนสื่อที่ใช้กิจกรรมการเรียนรู้และรูปแบบการประเมินผล
 - 3.5 การสร้างชุดฝึกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ
 - 3.5.1 การสร้างชุดฝึกเป็นตัวโครงชุดฝึกที่จะใส่บอร์ดแต่ละบอร์ดที่แข็งแรงและเคลื่อนย้ายสะดวก
 - 3.5.2 การสร้างบอร์ด เป็นแผงบอร์ดแต่ละส่วนที่จะนำมาประกอบใส่ตัวโครงชุดฝึก ซึ่งต้องมีส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่ใช้ที่หาซื้อได้ง่ายมีราคาถูกคุณภาพดี
 - 3.5.3 การสร้างใบงานการทดลองจะต้องมีรายละเอียดขั้นตอนการทำงานคำตอบ สรุป คำถามท้ายการทดลอง
 - 3.6 นำชุดฝึกและใบงานการทดลองไปทดลองใช้
 - 3.7 นำกลับมาปรับปรุงแก้ไข
 - 3.8 ผลิตชุดฝึกและใบงานการทดลองที่สมบูรณ์

2.5 หลักวิธีการประเมินคุณภาพของสื่อการสอน

(ศิริพร ขอพรกลาง. 2545 : 11-12) ให้ความหมายและความสำคัญของคุณภาพดังนี้

คุณภาพมีความหมายหลายอย่างเช่น ความเหมาะสมต่อการทำงาน การทำงานได้อย่างคาดหมายเป็นไปตามมาตรฐาน แต่ในปัจจุบันคุณภาพจะเน้นถึงความต้องการของผู้ซื้อ นั่นคือผลิตภัณฑ์สิ่งใดก็ตามที่ผู้ซื้อหรือผู้บริโภคมีความพอใจ ผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณภาพ ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสิ่งสำคัญมี 2 อย่างคือ หน้าที่ "ความคงทน ความมั่นคง การอยู่ในสภาพที่ดี ทำงานได้" และรูปร่างลักษณะ ความสวยงาม สี ความเรียบร้อยกลมกลืนเส้นแนวหรือโครงสร้างของผลิตภัณฑ์และยังแบ่งชนิดของคุณภาพออกเป็น 4 ชนิดคือ

1. คุณภาพที่บ่งกล่าวถึงขีดความสามารถ หน้าที่(Stated Quality) คือคุณภาพที่อยู่ในสัญญาซื้อขาย เป็นสิ่งต้องการของผู้ซื้อ การตั้งระดับคุณภาพจะถูกกำหนดโดยผู้ซื้อ ซึ่งอาจได้ระดับคุณภาพจากการทดลองใช้งานที่ผลิตขึ้นมาหรือกำหนดลงไปในสัญญาซื้อขาย ผู้ผลิตต้องผลิตสินค้าให้ตรงตามผู้ซื้อต้องการ

2. คุณภาพที่แท้จริง (Real Quality) คือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เริ่มจากการผลิต และนำไปใช้งานจนหมดอายุไม่สามารถรู้ได้

3. คุณภาพโฆษณา (Advertised Quality) คือคุณภาพที่ผู้ขายหรือผู้ผลิตชอบโอ้อวด และบางครั้งประกันให้ลูกค้าซึ่งอาจจะสร้างความเสียหายแก่บริษัทผู้ผลิตได้ง่ายมาก บริษัทผู้ผลิตต้องให้ความสำคัญต่อคุณภาพตัวนี้ให้มากไว้

4. คุณภาพจากการใช้และประสบการณ์ (Experienced Quality) คือคุณภาพจากการพิจารณาจากการเปรียบเทียบกับคุณภาพโฆษณา อายุของผลิตภัณฑ์ จะต้องคำนวณค่าต่างๆให้มีค่าพอเพียงในการออกแบบและความปลอดภัยในการบำรุงรักษาและเพื่อทดสอบก่อนผลิตมาใช้

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ดังนี้คือวิวัฒนาการของคุณภาพนั้นจะเริ่มที่ช่างฝีมือเกิดความชำนาญ และพัฒนาต่อไปสู่การสร้างเชื่อมั่นให้แก่ลูกค้า โดยการใช้สถิติเข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูล ในปัจจุบันคุณภาพพัฒนาไปสู่ทุกคนในองค์กร ช่วยให้เกิดคุณภาพ อนาคตคุณภาพจะเป็นการป้องกันในกระบวนการวางแผน

(วารินทร์ รัศมีพรหม. 2532 : 8-9) ได้แยกรายละเอียดการวิจัยและพัฒนาสื่อการสอน ดังนี้

1. ภารกิจด้านการวิจัย ได้แก่
 - 1.1 การวิจัย
 - 1.2 การค้นหาปัญหา
 - 1.3 การรวบรวมปัญหา
2. ภารกิจด้านการพัฒนา ได้แก่
 - 2.1 การกำหนดปัญหาและการดำเนินการ

- 2.2 ค้นหาวิจัยปัญหา
- 2.3 จัดทำโปรแกรมและรูปแบบ ตลอดจนถึงเป็นชุดโปรแกรม
- 2.4 มีการวัดผลและประเมินผล
3. ภารกิจด้านการเผยแพร่ ได้แก่
 - 3.1 แจกจ่ายโปรแกรมและชุดของโปรแกรมนั้น
 - 3.2 สาธิตการใช้และบอกถึงประสิทธิภาพของชุดโปรแกรมนั้น
 - 3.3 จัดระบบการใช้ที่ดีได้
 - 3.4 ให้บริการต่างๆ

กรมวิชาการ (2534 : 31-32) ได้เสนอแนวทางการพัฒนาทางการเรียนรู้การตอบสนอง โดยให้องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กัน 3 ประการ คือ จุดประสงค์ยุทธศาสตร์ และ ประเมินผลจากองค์ประกอบดังกล่าว ได้ช่วยสร้างขอบข่ายของวิวัฒนาการเรียนการสอน ดังนี้

1. เลือกหัวข้อที่จะสอน
2. ระบุจุดมุ่งหมายทั่วไป
3. บอกลักษณะที่สำคัญของกลุ่มผู้เรียน ซึ่งต้องออกแบบการสอนให้สอดคล้อง
4. กำหนดเนื้อหาสาระที่จะเป็นหนทางไปสู่จุดประสงค์
5. กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้
6. สร้างแบบทดสอบก่อนการเรียน
7. เลือกแบบทดสอบก่อนเรียน
8. อาศัยบริการสนับสนุนที่จำเป็น เช่น งบประมาณ บุคลากร วัสดุ-อุปกรณ์

สมพร जानฎ (2535 : 34-35) ได้กล่าวถึง การประเมินผลสื่อการสอนเพื่อปรับปรุงไว้ 3 ลักษณะ คือ

1. การประเมินผลแบบตัวต่อตัว

การประเมินผลแบบตัวต่อตัวนี้ เกิดขึ้นโดยนักพัฒนาการเรียนการสอน โดยทำการประเมินสื่อการสอนกับผู้เรียนคนหนึ่งซึ่งเป็นตัวแทนที่ดีของกลุ่มผู้ประเมิน จะต้องจับปฏิกิริยาของผู้เรียนเพื่อค้นหาข้อบกพร่อง ข้อผิดพลาด หรือการตกหล่นเรื่องใดเรื่องหนึ่งที่อาจปรากฏอยู่ในสื่อการเรียนการสอน ตลอดจนลักษณะของการสังเกตและความเข้าใจผิดต่อสื่อ ว่ามีบ้างหรือไม่ และจะมีการทดสอบพฤติกรรมของผู้เรียนด้วย ผู้ประเมินจะต้องตีความของข้อมูล ที่ได้ทั้งหมดด้วยความระมัดระวังพร้อมกัน ไปด้วยการพิจารณา ให้สอดคล้องสัมพันธ์กับกระบวนการวิธีที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลในขั้นตอนนี้ คือ ข้อมูลความรู้ที่ว่ากระบวนการของการเรียนการสอนที่เราใช้นั้น สามารถสอนสิ่งที่ตั้งใจจะสอนหรือไม่ การประเมินผลแบบนี้ช่วยให้เราสังเกตความผิดพลาดเล็กๆ น้อยๆ เช่น ข้อบกพร่องที่เกี่ยวกับการพิมพ์

2. การประเมินผลในกลุ่มย่อย

การประเมินผลแบบนี้เป็นการประเมินที่ทำกับผู้เรียนประมาณ 10-20 คน ควรใช้วิธีสุ่มตัวอย่างหรือเลือกแต่ละบุคคลที่เป็นตัวแทนของผู้เรียนจริงๆ ในการดำเนินการสอน ใช้สภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงมากที่สุด ผู้ออกแบบจะสังเกตการณ์เรียนการสอน ผลของการประเมินในกลุ่มย่อยจะเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับกระบวนการแก้ไขปรับปรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วยให้มีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสื่อการเรียนการสอนทั้งชุด เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าจะนำไปใช้ให้บรรลุจุดประสงค์ของการเรียนรู้ได้ดีที่สุด เพราะผู้ออกแบบสามารถปรับปรุงแก้ไข หรือเปลี่ยนแปลงส่วนที่ล้มเหลว เช่น ปรับปรุงหรือเพิ่มเติมข้อทดสอบที่ใช้ในการประเมินผลการเรียนรู้ให้ชัดเจนกะทัดรัด และถูกต้องตามเนื้อหา เป็นต้น

3. การประเมินผลตามสภาพการใช้งานจริง

ประเมินผลกับผู้เรียนที่เป็นผู้แทนจริงประมาณ 30 คน ผู้ประเมินจะต้องสร้างสภาพการณ์การเรียนการสอนที่เป็นแบบฉบับของสภาพการณ์จริง ซึ่งนำสื่อการเรียนการสอนทั้งชุดไปใช้อย่างต่อเนื่อง มีการใช้สื่อการเรียนตามที่วางแผนไว้ ผลการประเมินจะเป็นเครื่องชี้ประสิทธิภาพการใช้งานจริงจึงเป็นพื้นฐานการปรับปรุงแก้ไขผลผลิต เพื่อใช้ในสื่อการเรียนการสอน ถึงแม้ว่าการออกแบบอาจจะดำเนินตามขั้นตอนวิธีการที่ดีความหมายจากทฤษฎีของการเรียนการสอนอย่างใกล้ชิด แต่ข้อมูลจากการประเมินผลก็มีแนวโน้มว่าจะช่วยให้เกิดการปรับปรุงแก้ไขสื่อการเรียนการสอนทั้งชุด ให้สามารถนำไปใช้ให้บรรลุเป้าหมายของการเรียนรู้ได้มากที่สุด

Borg, Walter R. and Merrigith D. Gall (1979 : 771-798) ได้แบ่งขั้นตอนของการวิจัยและพัฒนาการศึกษา ดังนี้

1. กำหนดผลิตภัณฑ์ทางการศึกษาที่จะทำการพัฒนากำหนดผลิตภัณฑ์ให้ชัดว่าผลิตภัณฑ์ทางการศึกษาที่จะวิจัยและพัฒนาคืออะไร โดยต้องกำหนด

- 1.1 ลักษณะทั่วไป
- 1.2 รายละเอียดของการใช้
- 1.3 วัตถุประสงค์ของการนำไปใช้

เกณฑ์ในการเลือกกำหนดผลิตภัณฑ์ทางการศึกษาที่จะวิจัยและพัฒนาแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. ตรงกับความต้องการอันจำเป็นหรือไม่
2. ความก้าวหน้าทางวิชาการมีพอเพียงในการที่พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่กำหนดหรือไม่
3. บุคลากรที่มีอยู่ มีทักษะความรู้และประสบการณ์ที่จำเป็นต่อการวิจัยและพัฒนาหรือไม่
4. ผลิตภัณฑ์นั้นจะพัฒนาขึ้นในเวลาอันสมควรหรือไม่

2. รวบรวมข้อมูลและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง คือการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัย การสังเกตภาคสนาม ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ผลิตภัณฑ์การศึกษาที่กำหนด ถ้ามีความจำเป็นผู้ทำการวิจัย และพัฒนาอาจต้องทำการศึกษาวิจัยขนาดเล็กซึ่งงานวิจัยและทฤษฎีที่มีอยู่ไม่สามารถตอบได้ ก่อนที่จะเริ่มพัฒนาต่อไป

3. วางแผนการวิจัยและพัฒนา ประกอบด้วย

3.1 กำหนดวัตถุประสงค์ของการใช้ผลิตภัณฑ์

3.2 ประมาณค่าใช้จ่ายกำลังคนและระยะเวลาที่ต้องใช้ เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้

3.3 พิจารณาผลสืบเนื่องจากผลิตภัณฑ์

4. พัฒนารูปแบบขั้นตอนของผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบและจัดทำผลิตภัณฑ์การศึกษาที่วางไว้ เช่น ถ้าเป็นโครงการวิจัยและพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้น ก็จะต้องออกแบบหลักสูตร เตรียมวัสดุหลักสูตร คู่มือ ฝึกอบรม เอกสารในการฝึกอบรม และเครื่องมือประเมินผล

5. ทดลองหรือทดสอบผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 1

โดยกำหนดผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกแบบและจัดเตรียมไว้ในข้อที่ 4 ไปทดลองใช้เพื่อทดสอบคุณภาพ ใช้กลุ่มตัวอย่าง 5-12 คน ประเมินผลโดยใช้แบบสอบถาม การสังเกต และการสัมภาษณ์แล้ว รวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์

6. ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 1

นำข้อมูลและผลจากการทดลองใช้จากขั้นตอนที่ 5 มาพัฒนาปรับปรุง

7. ทดลอง หรือทดสอบครั้งที่ 2

นำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบครั้งที่ 2 เพื่อทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปใช้กลุ่มตัวอย่าง 3-40 คน ประเมินผลโดยใช้แบบสอบถาม การสังเกต และการสัมภาษณ์ แล้วรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์

8. ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 2

นำข้อมูลและผลจากการทดลองใช้จากขั้นตอนที่ 7 มาพิจารณาปรับปรุง

9. ทดลอง หรือทดสอบผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 3

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว ไปทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง 3-40 คน ประเมินผลโดยใช้แบบสอบถาม การสังเกตและการสัมภาษณ์ แล้วรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์

10. ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 3

นำข้อมูลและผลจากการทดลองครั้งที่ 3 มาปรับปรุงเพื่อผลิตและเผยแพร่ต่อไป

11. เผยแพร่

เสนอรายงานเกี่ยวกับผลการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อส่งไปเผยแพร่ แล้ว ติดต่อกับหน่วยงานทางการศึกษาให้ใช้ในโรงเรียนต่างๆ

การวิจัยและพัฒนา เป็นรูปแบบการวิจัยที่จะทำให้การวิจัยทางการศึกษาซึ่งไม่ว่าจะเป็นการวิจัยพื้นฐาน หรือการวิจัยประยุกต์ควรได้รับการปรับปรุง และนำไปใช้อย่างจริงจัง การวิจัยประเภทนี้ยังมีส่วนช่วยในการศึกษาของประเทศให้มีความก้าวหน้า มีความสอดคล้องกับสภาพการณ์ต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอยู่ตลอดเวลา

พิสิฐ เมธาภัทร และ ชีรพล เมธิกุล (2529 : 171-173) ได้กล่าวไว้ว่า สื่อการเรียนการสอนมีส่วนช่วยในการการเรียนการสอนให้เกิดผลสัมฤทธิ์ได้ ดังนั้น การเลือกใช้สื่อที่เหมาะสม จะต้องมีการประเมินคุณภาพของสื่อการเรียนการสอนที่นำมาใช้ในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. ประสิทธิภาพในการสื่อความหมาย (ด้านวิชาการ)

1.1 ด้านวัตถุประสงค์

1.1.1 สื่อครอบคลุมวัตถุประสงค์

1.1.2 สื่อเหมาะสมกับระดับความยากของวัตถุประสงค์

1.2 ด้านเนื้อหา

1.2.1 เนื้อหาวิชาถูกต้องไม่มีจุดผิด

1.2.2 เนื้อหาวิชาแยกแยะได้

1.2.3 เนื้อหาวิชาเรียงลำดับความยากง่าย

1.3 ประสิทธิภาพในการสื่อความหมาย

1.3.1 บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์

1.3.2 สามารถลดปริมาณการให้เนื้อหาเลือนลอย ให้มีความหมาย และมี

เป้าหมายมากขึ้น

1.3.3 ลดเวลาในการสื่อความหมายให้เข้าใจดี และสั้นลง

1.3.4 ช่วยเพิ่มกิจกรรมในการเรียนการสอน ช่วยทำให้ผู้เรียนเกิดความขยัน

มากขึ้น

2. องค์ประกอบที่เกี่ยวกับคน (Human factor)

2.1 ด้านผู้เรียน

2.1.1 สื่อที่ใช้เหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน

2.1.2 สื่อที่ใช้เหมาะสมกับระดับการรับรู้ของผู้เรียน

2.2 ด้านผู้สอน

2.2.1 สื่อไม่จำเป็นต้องอาศัยความสามารถพิเศษในการทำงาน

2.2.2 สื่อที่ใช้เหมาะสมกับระดับการรับรู้ของผู้เรียน

3. องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับความพร้อม และการนำไปใช้

3.1 ด้านวัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 ใช้วัสดุราคาพอสมควรกับความจำเป็น

3.1.2 ใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ส่วนใหญ่ หาได้ตามสถานศึกษาทั่วไป

3.2 ด้านเวลา

3.2.1 ใช้เวลาในการผลิตไม่มากนัก

3.2.2 ใช้เวลาในการแสดงสื่อไม่มากเกินไป

3.3 ด้านการใช้

3.3.1 สามารถนำไปใช้ได้ง่าย และสะดวก

3.3.2 ไม่ยุ่งยากในการเตรียมงาน

วัลลภ จันทร์ตระกูล (2543 : 131-134) ได้กล่าวว่า การออกแบบสร้างสื่อการเรียนการสอน ให้มีความเหมาะสมในด้านต่างๆ ที่มีคุณลักษณะเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค (Technic Points of View) ด้านการเรียนการสอน (Pedagogical Point of View) และด้านการพาณิชย์หรือการค้า (Economical Point of View) จะทำได้อย่างไร เราสามารถทราบคุณลักษณะด้านต่างๆ โดยการประเมินสื่อการเรียนการสอนนั้น ซึ่งอาจจะทำควบคู่ในระหว่างกระบวนการออกแบบหรือเมื่อสิ้นสุดการออกแบบสำเร็จเป็นงานต้นแบบก่อนดำเนินการผลิตออกมาในเชิงพาณิชย์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. วัตถุประสงค์ในการประเมินคุณภาพของสื่อการเรียนการสอน

การประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอนมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.1 เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับข้อดี ข้อเสีย ในด้านต่างๆ ของสื่อการเรียนการสอน

1.2 นำข้อมูลที่ได้จากการประเมินไปแก้ไขพัฒนาปรับปรุงสื่อการเรียนการสอน

1.3 วางแผน ในการพัฒนาสื่อการสอนเพิ่มเติมให้เกิดความสมบูรณ์ ในการเรียนการสอนตามหัวข้อ หรือสาขาวิชานั้น

2. ประเด็นในการประเมินคุณภาพ

ประเด็นในการประเมินคุณภาพอาจแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ด้านเทคนิค ด้านการเรียนการสอน และด้านพาณิชย์การ ในแต่ละประเด็นสามารถแตกออกเป็นประเด็นย่อย การคิดค้น ประเด็นต่างๆ อาจใช้แผนภูมิปะการังเป็นเครื่องมือ ร่วมประชุม ระดมความคิด หรืออาจค้นคว้า ประเด็นได้จากงานวิจัยต่างๆ ด้านการประเมินสื่อการเรียนการสอน ประเด็นที่นำเสนอนี้ เป็นประเด็นหลักๆรวมๆ สามารถเลือกไปใช้กับสื่อประเภทต่างๆ ได้ และเขียนในลักษณะด้านบวกหรืออุณหคติ

2.1 ประเด็นด้านเทคนิคมีประเด็นด้านต่างๆ คือ

- (1) ขนาดสื่อ ไม่ใหญ่ ไม่เล็ก มีขนาดเหมาะสม สอดคล้องกับมาตรฐาน สะดวกต่อการเก็บรักษาไม่ใช้เนื้อที่มากเกินไป
- (2) น้ำหนักมีน้ำหนักเหมาะสม ขนย้าย นำไปใช้สอนได้สะดวก ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ ขนย้าย ผู้สอนนำไปใช้ได้ด้วยตนเอง
- (3) ชิ้นส่วนประกอบทำหน้าที่ได้ถูกต้องแม่นยำ นอกจากทำหน้าที่หลัก สามารถทำหน้าที่รอง มีรูปร่างง่ายต่อการผลิต เป็นมาตรฐาน หาอะไหล่ได้ง่าย มีจำนวนชิ้นไม่มาก การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน มั่นคงรูปร่างมีความแข็งแรงคงทน มีอายุการใช้งานเหมาะสม มีความเรียบร้อยสวยงาม
- (4) ชนิดของวัสดุมีคุณสมบัติเหมาะสมกับประเภทของสื่อ เป็นวัสดุหาง่าย คุณสมบัติวัสดุมีความคงทนแข็งแรงคงทน ราคาไม่แพง ทนต่อความร้อน ฝุ่น ความชื้น
- (5) การดูแลรักษาง่ายต่อการดูแลรักษา และซ่อมบำรุง มีระบบการจัดเก็บ การจำแนก มีถุง ซอง ก่อถ้ง ในการจัดเก็บ มีระบบการเบิก ยืม ที่มีประสิทธิภาพ ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา
- (6) กระบวนการผลิตผลิตง่าย ใช้เครื่องมือง่ายๆ มีระบบแบบงาน ระบบมาตรฐานวัสดุ (หมายเลขวัสดุ) ผลิตออกมาเรียบร้อยสวยงาม สอดคล้องตามหลักการสอน สามารถใช้สอนกับวิธีต่างๆ นำความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ ชิ้นงานออกมามีขนาด คุณภาพผิวงาน มีความละเอียดสูง
- (7) มาตรฐานสอดคล้องกับมาตรฐานในหน่วยงานมีความสากลมีรูปแบบ (Format)
- (8) ความปลอดภัยมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้และต่อสื่อ

2.2 ประเด็นทางการเรียนการสอน

จะเกี่ยวข้องกับผู้สอน ผู้เรียน และตัวสื่อเอง ดังนี้

- (1) ต่อผู้สอนใช้ง่าย ใช้เวลาสอนน้อย ไม่มีความจำเป็นต้องฝึกอบรมด้านการใช้ สอดคล้องตามรายการวัตถุประสงค์ และเนื้อหาวิชา มีคู่มือการสอนสำหรับครู
- (2) ต่อผู้เรียน เข้าใจง่าย สอดคล้องกับพื้นฐานความรู้ และประสบการณ์ ผู้เรียนเกิดความเข้าใจ น่าสนใจอยากเรียน กระตุ้นให้ค้นคว้าเพิ่มเติม เกิดความคิดสร้างสรรค์ สามารถนำไปประยุกต์แก้ปัญหาช่วยส่งเสริมกิจกรรมการเรียนมีคู่มือผู้เรียน

- (3) ต่อสื่อการสอนมีสื่อการสอนที่มีความสำคัญต่อเนื้อหาอื่นๆ และควรมีอย่างอื่นที่มีความสำคัญต่อการเรียนรู้มีเนื้อหาสาระที่ทันสมัยตามวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถนำไปใช้สอนใน หัวเรื่องอื่นได้ด้วย ให้เนื้อหาสาระชัดเจนในตัว ไม่ต้องอธิบายเพิ่มเติมมากใช้เวลาในการประกอบน้อย ไม่ต้องใช้อุปกรณ์อื่นประกอบช่วย มีคู่มือ การดูแลรักษา ต้องมีซอฟต์แวร์ (Software) ตัวอักษร สี สัน รูปแบบ ชัดเจน

2.3 ประเด็นทางด้านพาณิชย์

เป็นการศึกษาข้อมูลก่อนดำเนินการผลิต ได้ค่าตัวเลขที่ถูกต้องแม่นยำ มีความน่าเชื่อถือประกอบการตัดสินใจ ก่อนเริ่มงานออกแบบ ไม่ใช่ใช้การประเมินด้วยความรู้สึก มีประเด็นต่างๆ ดังนี้

1. เป็นสื่อที่ตลาดมีความต้องการสูง
2. ความเหมาะสมในการผลิตเชิงพาณิชย์
3. ค่าใช้จ่ายต่างๆ เช่น ค่าออกแบบ ค่าดำเนินการ ค่าวัสดุ เป็นต้น
4. ค่าเครื่องมือ
5. ความคุ้มทุนในการผลิต
6. ราคาสื่อเหมาะสม สามารถเทียบกับคู่แข่ง
7. ปริมาณด้านการตลาด การจำหน่ายในระดับท้องถิ่น ภูมิภาค
8. เอกสารในการประชาสัมพันธ์

3. เกณฑ์ในการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอน

เมื่อกำหนดประเด็นต่างๆ ที่จะประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอนแล้วก็ต้องกำหนดเกณฑ์ในการประเมิน ซึ่งมี สิ่งที่ควรพิจารณา ดังนี้ (วัลลภ จันทรตระกูล, 2543 : 135)

1. เกณฑ์ที่กำหนดจะเน้นคุณลักษณะไปด้านใด เช่น ด้านเทคนิค ด้านการเรียนการสอนหรือด้านพาณิชย์ หรือจะให้นำหนักเท่ากันทั้ง 3 ด้าน เป็นต้น
2. ในแต่ละประเด็นอาจประเมินโดยทำเป็นรายการตรวจสอบ (Check list) ว่าใช่หรือไม่ใช่ มีหรือไม่มี มีคำตอบให้เลือกสองทางเลือก อีกลักษณะหนึ่งเป็นการให้ความคิดว่าคุณลักษณะด้านนั้นๆ ดีมาก ดี พอใช้ ใช้ไม่ได้ เป็นต้น
3. จากผลการประเมิน ในข้อ 2 นำมาประมวลผล โดยใช้หลักทางสถิติเป็นร้อยละ หรือเปอร์เซ็นต์ในแต่ละประเด็น หรือลักษณะภาพรวม

การประเมินจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ นอกจากนั้นค่าที่ได้ควรมีความเชื่อมั่นเที่ยงตรง มีเป้าหมาย มีความชัดเจน น่าเชื่อถือ สามารถคำนวณ และปฏิบัติได้ หน่วยงาน คือ ทีมงานจะต้องกำหนดเกณฑ์เพื่อจะประเมินสื่อการสอนได้ผลสำเร็จตามเป้าหมาย

4. องค์ประกอบในการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอน

นอกจากกำหนดเกณฑ์แล้ว ก็ควรคำนึงถึงองค์ประกอบในการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอนซึ่งมีหลายประการได้แก่

1. เครื่องมือ เป็นเอกสารหรืออุปกรณ์ที่สามารถบันทึกแสดงข้อมูลที่ได้จากการประเมินสื่อว่าอยู่ในระดับใด ควรมีการทดลองใช้ วิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น ค่าความเที่ยงตรง มีการพัฒนาปรับปรุงเครื่องมือให้เหมาะสม
2. วิธีการประเมิน ทำได้โดยกำหนดประเด็นต่างๆ แล้วให้คะแนนในประเด็นนั้นๆ วิธีการประเมินโดยใช้ความรู้สึกอาจขาดความเชื่อถือ มีคำแนะนำ ขั้นตอนในการประเมิน
3. เกณฑ์กำหนดระดับค่าคะแนน ว่าระดับที่ยอมรับได้ ขึ้นกับเป้าหมายว่าต้องการเน้นด้านใด หน่วยงานเอกชนอาจมุ่งทางการค้า หน่วยงานการศึกษาอาจมุ่งด้านการเรียนการสอน
4. ผู้ประเมินทำหน้าที่ใช้เครื่องมือ อาจเป็นบุคคลภายในและภายนอกหน่วยงานการศึกษาอาจมุ่งด้านการเรียนการสอน
5. ผู้สอน ผู้ทำหน้าที่สอนโดยใช้สื่อการเรียนสอนนั้นก็เป็นตัวแปร ที่เกี่ยวข้องกับประเด็นการประเมินมีข้อมูลเกี่ยวกับผู้สอนอย่างไร
6. ผู้เรียน ผู้ประเมิน หรือแบบ ประเมินมีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับผู้เรียนอย่างไร คาดการณ์ว่าผู้เรียนจะมีพื้นฐาน มีความรู้เรียน ประสบการณ์เพียงใด และต้องการคาดหวังต่อผู้เรียนอย่างไร
7. เนื้อหาวิชา เป็นสาขาวิชาใด มีรายการ วัตถุประสงค์ของบทเรียนอย่างไร
8. ประเภทของสื่อ สื่อมีความแตกต่างกันหลายประเภท เช่น เอกสารสิ่งพิมพ์ แผ่นใส แผ่นภาพอุปกรณ์ทดลองสาธิต แผ่นดิสก์ ซีดี เป็นต้น ประเด็นการประเมินจะแตกต่างกัน

ตัวอย่างการประเมินการสอนราคาถูก

รายการประเมินสื่อการเรียนการสอนต่อไปนี้เป็นแนวทางเบื้องต้นเพื่อใช้ประเมินสื่อการเรียนที่ออกแบบสร้างเอง เป็นสื่อราคาถูก สร้างขึ้นจากวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่น ทำขึ้นโดยใช้เครื่องมือไม่ยุ่งยาก แต่สามารถใช้งานได้ตามเป้าหมาย โดยแบ่งประเด็นการประเมินเป็น 5 ด้าน คือ

1. คุณสมบัติด้านเทคนิค (Physical properties)
2. ด้านการดูแลรักษา(Care and Control)
3. อุปกรณ์และคู่มือการใช้งาน (SoftWaer)
4. การนำไปใช้งาน (Use)
5. การจะนำไปสร้างต่อ (Production)

จากประเด็นแต่ละด้าน สามารถกำหนดประเด็นย่อยๆ อีก และกำหนดค่าน้ำหนักไว้ท้ายข้อความสำหรับประเมินว่าประเด็นต่างๆ ของสื่ออยู่ในระดับใด มีรายละเอียดดังนี้

1. ขนาดและน้ำหนัก (คุณสมบัติทางด้านเทคนิค)

1. หนัก โตะ อาจเป็นอันตราย
 2. หนัก โตะ แต่เป็นประโยชน์
 3. โตะ แต่จำเป็น
 4. ขนาด และน้ำหนักเหมาะสม
 5. เบากะทัดรัด และเคลื่อนย้ายง่าย
2. ราคา (คุณสมบัติทางด้านเทคนิค)
 1. แพง ะโหล่หายาก
 2. แพงแต่หาอะโหล่ได้
 3. ราคาเหมาะสม อะโหล่หายาก
 4. ราคาประหยัด อะโหล่ทำได้เอง
3. การจัดเก็บ และขนย้าย
 1. เคลื่อนย้ายและเก็บรักษายาก
 2. เคลื่อนย้ายสะดวก และเก็บรักษายาก
 3. เก็บรักษาได้ แต่ไม่ได้มาตรฐาน
 4. เคลื่อนย้าย และเก็บรักษาสะดวกพอควร
 5. เคลื่อนย้ายและเก็บรักษาง่าย
4. การดูแลรักษา
 1. ดูแลรักษายาก
 2. ดูแลรักษาได้ แต่ไม่มาตรฐาน
 3. ค่าดูแลรักษาไม่แพง
 4. สามารถดูแลรักษาได้เอง
 5. ไม่ต้องการการดูแลรักษา
5. Software
 1. ไม่มี Software หรือหาผู้การใช้งาน
 2. หา Software ได้ยาก
 3. มี Software แต่ราคาแพง
 4. มี Software แต่ราคาไม่แพง
 5. ไม่มีค่าใช้จ่ายสำหรับ Software
6. ข้อมูลใน Software
 1. ใช้ภาษาต่างประเทศ
 2. ขาดต่อการอ่าน และทำความเข้าใจ
 3. พออ่านเข้าใจได้

4. ง่ายต่อการอ่าน และเข้าใจ
5. มีความหมายต่อตัวมันเอง

7. การใช้งาน

1. ใช้งานได้ยากและสิ้นเปลือง
2. ใช้งานยาก และติดตั้งยุ่งยาก
3. ต้องใช้เวลาในการติดตั้ง
4. สะดวกต่อการใช้งาน และติดตั้ง
5. การใช้งานง่ายสะดวก และไม่จำเป็นต้องติดตั้ง

8. การใช้สอน

1. ไม่สอดคล้องกับทฤษฎี
2. เกี่ยวข้องกับทฤษฎี เพียงบางส่วน
3. เกี่ยวข้องกับทฤษฎี
4. อธิบายเกี่ยวกับทฤษฎี และแนะนำแนวทาง
5. บอกข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีในตัว

9. การผลิต

1. การผลิตยากมาก
2. ยากต่อการผลิต
3. ใช้เวลาผลิตมาก แต่ไม่ค้่อยยาก
4. ใช้เวลาผลิตน้อย และผลิตง่าย
5. ใช้เวลาในการผลิตน้อยมาก แต่ทำได้ง่ายมาก

10. ข้อมูลเพื่อการผลิต

1. ไม่มีคู่มือ หรือข้อมูลในการผลิต
2. มีคู่มือ แต่ราคาแพง
3. คู่มือหาได้แต่ขาดคุณภาพ
4. มีคู่มือ และข้อมูลการผลิต
5. มีคู่มือสมบูรณ์แบบ และข้อมูลเพื่อการผลิตที่ครบถ้วน

เมื่อทำการประเมินในแต่ละประเด็น ตามคะแนนที่ได้ ไม่ว่าจะได้คะแนนเป็น 1 2 3 4 5 รวมคะแนนทั้ง 10 ข้อ แล้ว คูณ 2 ผลลัพธ์ที่ได้อาจกำหนดให้ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ถ้าหากได้ต่ำกว่า 75% ต้องทบทวนรายการประเมินต่างๆ ว่ามีข้อใดที่จะต้องปรับปรุงเพิ่มเติม

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรวิทย์ สมหา (2541 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การควอนไทซ์เวกเตอร์เพื่อเข้ารหัสสัญญาณเสียง และการสร้างให้ทำงานบน TMS-320C30 การเข้ารหัสสัญญาณเสียง (Speech Coding) เพื่อทำการส่งสัญญาณเสียงในระบบดิจิทัลจะช่วยให้ประหยัดในการส่งข้อมูลต่ำลงและความจุของช่องสัญญาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเข้ารหัสสัญญาณเสียงสามารถทำได้หลายวิธี และการควอนไทซ์เวกเตอร์ (Vector Quantization) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการเข้ารหัสสัญญาณเสียงโดยใช้การควอนไทซ์เวกเตอร์ โดยได้นำหลักการควอนไทซ์เวกเตอร์แบบเซฟเฟนมาทำการพัฒนาและออกแบบให้เป็นมัลติเบิ้ลเกน (Multiple Gain) ซึ่งจะให้มีค่าอัตราส่วนของสัญญาณรบกวน (SNR) สูงขึ้น พร้อมทั้งได้ทำการคำนวณหาค่า SNR การใช้หน่วยความจำและความเร็วในการประมวลผล เปรียบเทียบกับการควอนไทซ์เวกเตอร์แบบมาตรฐานและการควอนไทซ์เวกเตอร์แบบแกนอะแคปทีฟ และเพื่อให้เห็นถึงแนวทางในการนำไปออกแบบสร้างให้ทำงานที่เวลาจริง (Real Time) โดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) เบอร์ TMS-320C30

พुरुทอง โพธิปัญญา (2540 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพ ชุดทดลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง วิธีการโดยสร้างชุดทดลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง คำนวณวิเคราะห์หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้ชุดทดลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ที่สร้างขึ้น เพื่อประกอบการเรียนการสอนวิชา หลักการเบื้องต้นของระบบรับส่ง ด้วยเส้นใยแก้วนำแสง วิชา มัลติเพล็กซ์ มีเป้าหมายเพื่อนำไปลดปัญหาการขาดแคลนชุดทดลอง และช่วยส่งเสริมทักษะการเรียน ให้ดียิ่งขึ้น วิธีการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดทดลอง ให้ตรงตามหลักสูตร ครอบคลุมเนื้อหาจำนวน 6 เรื่อง โดยการเลือกใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายในประเทศไทย ราคาประหยัด จากการนำไปใช้ เพื่อหาประสิทธิภาพ

เครื่องมือที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพ ได้แก่ ใยประลอง แบบทดสอบหลังการประลอง และแบบทดสอบรวมทุกการประลอง กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยคือผู้ที่ได้เข้ารับการอบรมของวิชา มัลติเพล็กซ์ จำนวน 20 คน ผลการวิจัยพบว่า ชุดทดลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพ 84.42 / 85.57 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

ธีรศักดิ์ อังสกุล และคณะ (2533 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การออกแบบวงจรเฉพาะกิจ PRESET COUNTER ผลการวิจัยพบว่า การวิจัยออกแบบวงจรเฉพาะกิจ Preset Counter ปัจจุบันมีการนำ Preset Counter ไปใช้งานมากในเครื่องจักรกลต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม และ Preset Counter นี้ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งวงจรภายในใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ชิปเดียวเป็นตัวควบคุมการทำงาน แต่ในบทความนี้เสนอการออกแบบวงจรรวม

เฉพาะกิจที่สามารถทำหน้าที่เป็น Preset Counter , Timer และ Total Counter รวมอยู่ภายใน วงจรเดียวกัน และได้ทำการโปรแกรมวงจรนี้ลงบน EPLD (Erasable Programmable Logic Device) แล้วทำการทดสอบการทำงาน ผลคือสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

วิชัย เอี่ยมสินวัฒนา และคณะ (2534 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องชุดฝึกการประยุกต์ ไมโครคอมพิวเตอร์กับการวิเคราะห์และควบคุมระบบในขบวนการทางอุตสาหกรรม ผลการวิจัย พบว่า ชุดทดลองการเชื่อมไมโครคอมพิวเตอร์กับระบบทางกายภาพ ซึ่งเป็นการนำไมโครคอมพิวเตอร์ทำงานในลักษณะเครื่องเก็บข้อมูล เครื่องควบคุมและระบบอัตโนมัติ ชุดทดลองนี้ได้ ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกต่องานทดลองและวิจัย ที่ต้องมีการบันทึกข้อมูลทาง กายภาพจากหัวอ่านแบบต่างๆ เช่น อุณหภูมิ, pH, ความดัน เป็นต้น และในขณะเดียวกันต้อง นำผลที่ได้จากการบันทึกไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การเปิด-ปิดหรือการควบคุมเชิงเส้น ชุดทดลองนี้ประกอบไปด้วย

- วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข 8 ช่อง
- วงจรสร้างสัญญาณอนาล็อกด้วยสัญญาณเชิงเลข 1 ช่อง
- วงจรอินพุท/เอาต์พุต เชิงเลข 24 ช่อง
- วงจรอ่านสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง 1 ช่อง

วงจรทั้งหมดได้ประกอบรวมกันอยู่บนแผ่นวงจรเดียวเพื่อต่อเข้ากับสล็อตบนเมนบอร์ด ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC / XT / AT การควบคุมและสั่งการชุดทดลองทำได้โดย การเขียนโปรแกรมซึ่งสามารถพัฒนาได้บนภาษาขั้นสูง เช่น ภาษาเบสิก ภาษาปาสคาล ภาษาซี เป็นต้น วงจรของการทดลองทั้งหมดสามารถสร้างความสัมพันธ์กันได้โดยทางโปรแกรม

ชุดทดลองนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการทดลองและการวิจัยของนักศึกษาและอาจารย์ของคณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผลที่ได้จากการนำชุดทดลองนี้ไปใช้งาน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วในการทดลองงานต่างๆ ขึ้นอย่างมาก

ธวัชชัย ธรรมประสิทธิ์ (2541 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง สร้างแบบจำลองการ ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ ผลการวิจัยพบว่า การนำเทคโนโลยีทางด้าน คอมพิวเตอร์ และการสื่อสารข้อมูลมาประยุกต์ใช้ ซึ่งทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือคำสั่ง ระหว่างคอมพิวเตอร์

จรินทร์ จุลวานิช (2541 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยการสร้าง และหาประสิทธิภาพชุด การสอน วิชาไฟฟ้ากระแสตรง หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2535 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล โดยทำการทดลองกับนักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้น สูง คณะวิชาไฟฟ้า แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ชั้นปีที่ 1 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยา เขตพระนครเหนือ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2541 จำนวน 30 คน ผลปรากฏว่าชุดการสอนที่ สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 82.021 / 84.067 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80 / 80

ประกาศิต ต้นตือลงการ (2535 : 5-46) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างและหาประสิทธิภาพ ชุดทดลองวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ กลุ่มตัวอย่างการวิจัย คือนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 แผนกช่างไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคระยอง ปีการศึกษา 2535 กลุ่มตัวอย่างย่อย 6 คน กลุ่มทดลองภาคสนาม ด้านการออกแบบ ด้านประสิทธิภาพทางการสอน มีความสะดวกในการ นำมาใช้งาน และดำเนินการทดลองมาก ก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเรียน และต้องการทราบผล การทดลองจึงส่งผลให้บรรลุจุดประสงค์ที่กำหนดไว้

ศักรินทร์ โสนนทะ (2542 : 4-57) ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพชุด ประลองวิชา 111-363 ปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสาร กลุ่มตัวอย่างการวิจัยคือนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ที่ลงทะเบียนวิชา 111-363 ปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสาร ในภาคเรียนที่ 2/2541 จำนวน 20 คน ผลการวิจัยพบว่าจากการหาประสิทธิภาพของชุดทดลองได้คะแนนเฉลี่ย ของกลุ่มตัวอย่างด้วยแบบทดสอบหลังการทดลองได้เท่ากับ 84.93%

ปราโมทย์ ฤกษ์มงคล (2544 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างแบบเรียน คอมพิวเตอร์ซ่อมเสริมเรื่องส่วนประกอบสำคัญของคอมพิวเตอร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหา ประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ซ่อมเสริม วิชาคอมพิวเตอร์เบื้องต้น เรื่องส่วนประกอบสำคัญของคอมพิวเตอร์ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 90/90 ผลการวิจัยพบว่าบทเรียนที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพ 95.20/91.11 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน 90/90

สุนทร ก้องสินธุ (2547 : บทคัดย่อ) การพัฒนาชุดฝึกเชื่อมต่อนพื้นฐานไมโคร คอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 นี้มีขั้นตอนดำเนินงานโดยเริ่มต้นกำหนดหัวข้อใบงานและรูปแบบ แผนงานต่อมาสร้างใบงานทดลองพร้อมคำถามท้ายการทดลองและชุดท้ายสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดฝึก 2 ด้านคือ ทางด้านเนื้อหาและทางด้านเทคนิคการผลิตแล้วนำชุดฝึกเชื่อมต่อนพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ใบงานการทดลองและแบบประเมินคุณภาพที่สร้างเสร็จไปให้ ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมและผู้ทรงคุณวุฒิ ตรวจสอบหลังจากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ แล้วนำไปให้ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยา นิพนธ์ร่วมและผู้ทรงคุณวุฒิ ตรวจสอบอีกครั้ง ต่อจากนั้นนำชุดฝึกเชื่อมต่อนพื้นฐานไมโคร คอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ใบงานการทดลองและแบบประเมินคุณภาพเสนอต่อกลุ่มตัวอย่าง

สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี(2546 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ผลการวิจัยพบว่าวงจรและโมดูลบอร์ด ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ที่ได้สร้างขึ้นมีคุณภาพทางด้านการศึกษาในเกณฑ์ ดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ4.49 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.60 และมีคุณภาพทางด้านวิศวกรรมใน เกณฑ์ดีมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ4.52 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.58 ซึ่งคุณภาพของชุดโมดูล บอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ที่ได้นี้เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ชูคสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล แบบ PCM , DPCM , ADPCM มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาคุณภาพของชูคสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล แบบ PCM , DPCM , ADPCM โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

- 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
- 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 วิธีดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นอาจารย์แผนกอิเล็กทรอนิกส์ ในวิทยาลัยเทคนิคสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากระทรวงศึกษาธิการ ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญเรื่องการเข้ารหัสสัญญาณเสียงดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM และระบบสื่อสารดิจิทัล

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอาจารย์แผนกอิเล็กทรอนิกส์ที่สอนในวิชาที่เกี่ยวข้องเรื่องการเข้ารหัสสัญญาณเสียงดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM จากวิทยาลัยเทคนิคในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากระทรวงศึกษาธิการ โดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง(Purposive Sampling) จำนวน 5 วิทยาลัย ๆ ละ 1 ท่าน รวมเป็น 5 ท่าน

ตารางที่ 3.1 จำนวนวิทยาลัยเทคนิค ที่ในผู้วิจัยเลือกเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ทำการสอนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ (กระทรวงศึกษาธิการ. 2549 : WWW.VEC.GO.TH)

วิทยาลัยเทคนิค	ประชากร	กลุ่มตัวอย่าง
1. วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี	2	1
2. วิทยาลัยเทคนิคราชสีหราชราม	2	1
3. วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี	4	1

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

วิทยาลัยเทคนิค	ประชากร	กลุ่มตัวอย่าง
4. วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี	2	1
5. วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาบุรี	2	1
รวม	12	5

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 ลักษณะของเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1. ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ประกอบด้วย

1.1 ชุดสาธิตพร้อมคู่มือการใช้งาน

1.2 ใบงานการทดลองพร้อมแบบทดสอบท้ายใบงาน

2. แบบประเมินคุณภาพ ของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล แบบ PCM , DPCM , ADPCM เพื่อหาคุณภาพของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ซึ่งแบ่งออกเป็นสองด้านคือ แบบประเมินด้านเทคนิคการผลิตสื่อและแบบประเมินด้านเนื้อหา โดยกำหนดเกณฑ์ของแบบประเมินคุณภาพของ ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ที่ใช้ได้ต้องมีคุณภาพอยู่ในระดับดี คือ ต้องได้คะแนนอยู่ในระดับคะแนนเฉลี่ย 3.50 ขึ้นไป

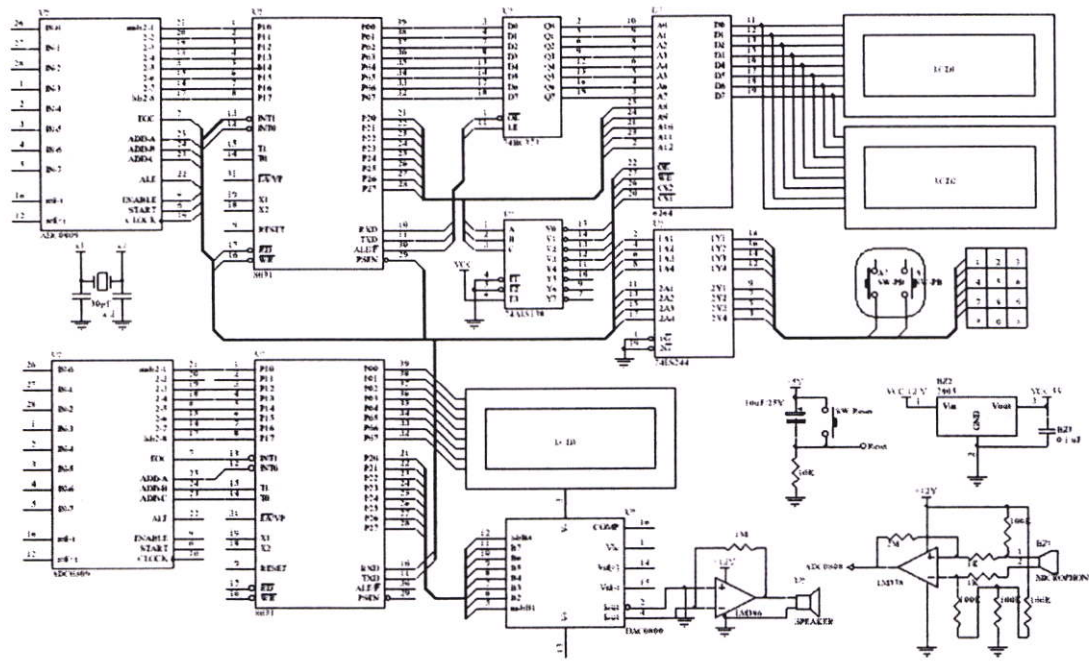
3.2.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ

การวิจัยมีขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ ดังต่อไปนี้

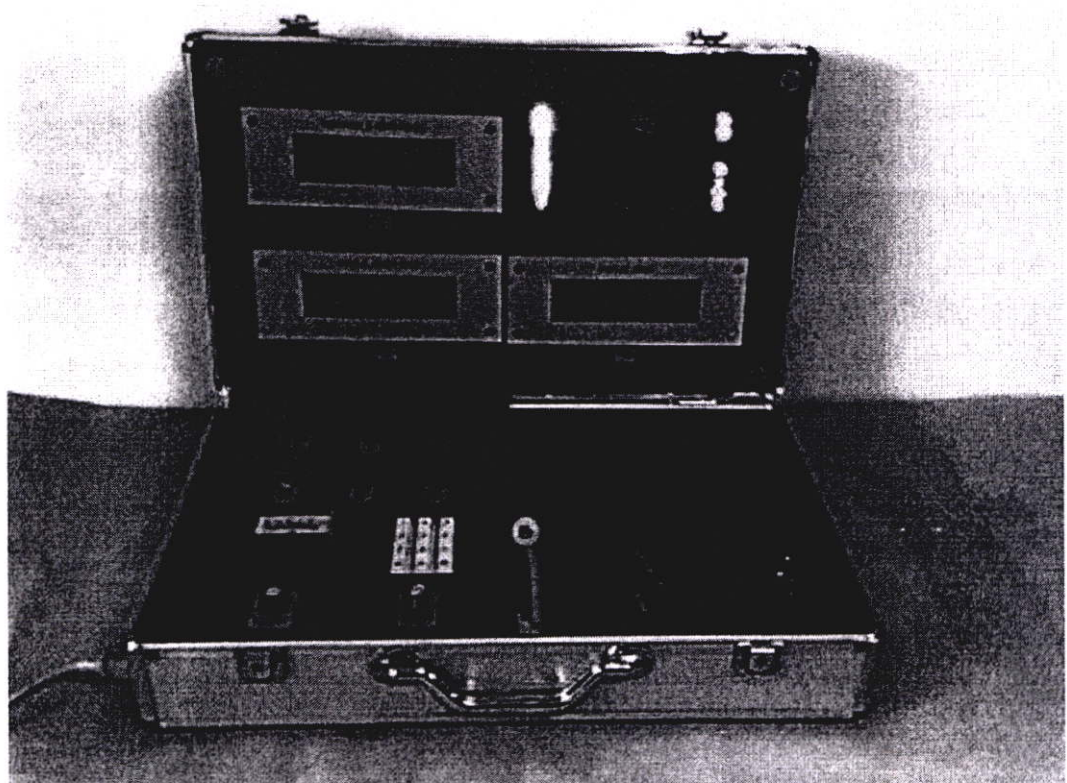
1. การออกแบบ ชุดสาธิตการเข้ารหัส และ ถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล แบบ PCM , DPCM , ADPCM มีขั้นตอนการสร้าง ดังนี้

1.1 ศึกษารายละเอียดวิธีการออกแบบวงจรชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM

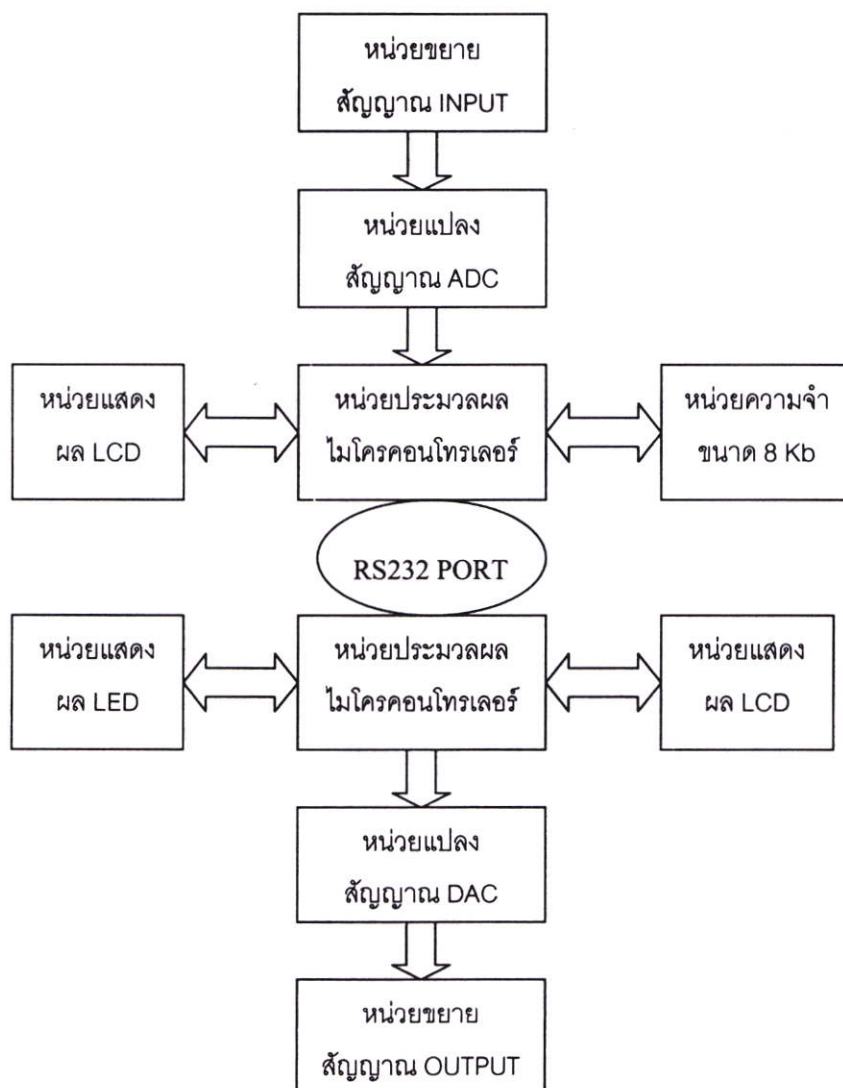
1.2 ทำการออกแบบและจัดสร้างชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียง
ดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM



รูปที่ 3.1 วงจรชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัล



รูปที่ 3.2 ชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัล



รูปที่ 3.3 ลักษณะการเชื่อมต่อการทำงานของวงจรโดยรวม

1.2.1 ออกแบบวงจรไมโครคอนโทรเลอร์โดยใช้วงจรมาตรฐานดังรูปที่ 3.1

1.2.2 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน

1.2.3 ประกอบวงจรและอุปกรณ์ต่างลงกล่องดังรูปที่ 3.2

1.3 ใบบงานการทดลองพร้อมแบบทดสอบท้ายใบบงานมีขั้นตอนดังนี้

1.3.1 ศึกษารายละเอียดวิธีการออกแบบใบบงานการทดลองเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล

1.3.2 กำหนดหัวข้อใบบงานการทดลองและวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเพื่อเป็นแนวทางในการจัดสร้างชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ดังนี้

ก). ใบบงานการทดลองที่ 1 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ PCM วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้ให้นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM ได้

2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถคำนวณค่าความถี่ที่เหมาะสมในการ Sampling ได้
- ข). ใบงานการทดลองที่2 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ DPCM วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
 1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ DPCM ได้
 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถคำนวณค่ารหัสสัญญาณแบบ DPCM ได้
- ค). ใบงานการทดลองที่3 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ ADPCM วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
 1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ เสียง แบบ ADPCM ได้
 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของการเข้ารหัสแบบ DPCM กับ ADPCM

1.3.3 ทำการออกแบบและจัดสร้างแบบทดสอบท้ายใบงานการทดลอง

1.4 นำชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล แบบ PCM , DPCM , ADPCM และแบบประเมินที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วเสนอต่ออาจารย์ผู้ควบคุม วิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อขอคำแนะนำ พร้อมปรับปรุง แก้ไขให้มีความถูกต้อง และเหมาะสม

1.5 นำชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล และแบบประเมิน ที่ผ่านการตรวจแล้วมาปรับปรุงแก้ไข ตามข้อเสนอแนะ

1.6 นำชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล และแบบประเมิน ที่ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้วให้กับอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุม วิทยานิพนธ์ร่วมพิจารณาอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้เครื่องมือมีคุณภาพยิ่งขึ้น

1.7 นำชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่านตรวจสอบ และ หากคุณภาพกับผู้ทรงคุณวุฒิโดยทำการวิเคราะห์ความสอดคล้องของแบบทดสอบประกอบใบงานการทดลองภาคทฤษฎีกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของใบงานการทดลองโดยใช้ค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC :index of Item – objective Congruence) ซึ่งผู้วิจัยจะนำแบบทดสอบฯ พร้อมกับชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลเสนอให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ทำการตรวจสอบและประเมินความเป็นปรนัยความชัดเจนและความครอบคลุมเนื้อหา เพื่อหาความเที่ยงตรงเนื้อหา (IOC) ว่าข้อใดในแต่ละข้อนั้นสามารถวัดได้ตรงกับนิยามที่กำหนดหรือไม่ดังรายนามผู้ทรงคุณวุฒิดังนี้

1. อาจารย์สมบูรณ์ เนียมกล้า นักพัฒนาทรัพยากรบุคคล 8ว.
กลุ่มงานพัฒนาคณาจารย์การอาชีวศึกษาสำนัก
พัฒนาสมรรถนะครูและบุคลากรการอาชีวศึกษา
2. ผศ. วรวิทย์ สมหา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ7
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมสถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. อาจารย์มนตรี พรหมเพชร ศึกษานิเทศก์ 8
กลุ่มมาตรฐานอาชีวศึกษาอุตสาหกรรม
สำนักมาตรฐานการอาชีวศึกษาและวิชาชีพ

โดยผู้ทรงคุณวุฒิจะให้คะแนนความสอดคล้องของข้อคำถามของแบบสอบถาม
กับนิยามตามเกณฑ์ ดังนี้

ให้ 1 คะแนนในข้อนั้น ถ้าข้อคำถามสามารถวัดได้ตรงตามนิยาม

ให้ 0 คะแนนในข้อนั้น ถ้าไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสามารถวัดได้ตรงตามนิยาม

ให้ -1 คะแนนในข้อนั้น ถ้าข้อคำถามไม่สามารถวัดได้ตรงตามนิยาม

ค่า IOC ที่ได้จากการตรวจแบบสอบถามในแต่ละข้อจากผู้ทรงคุณวุฒิจะต้องมี
ค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 โดยใช้สูตรดังนี้(กาวนา ชูศิริ. 2548 : 32)

$$\text{สูตร } IOC = \frac{\sum R}{N}$$

$\sum R$ หมายถึง คะแนนรวมในแต่ละข้อจากผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน

N หมายถึง จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

การแปลความหมายค่า IOC

$IOC \geq 0.5$ หมายถึง มีความตรงเชิงเนื้อหา

$IOC < 0.5$ หมายถึง ไม่มีความตรงเนื้อหา ต้องปรับแก้ข้อคำถามนั้นๆ

ผลการตรวจสอบและประเมินความเป็นปรนัยความชัดเจนและความครอบคลุม
เนื้อหา เพื่อหาความเที่ยงตรงเนื้อหา (IOC) ของแบบทดสอบประกอบใบงานฯ จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง
3 ท่านมีดังนี้

ตารางที่ 3.2 ผลการประเมินแบบทดสอบประกอบใบงานฯ

รายการ	ผู้ทรงคุณวุฒิ			ผลรวม	IOC
	1	2	3		
1. จงเรียงลำดับขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ PCM	1	1	1	3	1.00
2. จงเรียงลำดับขั้นตอนวิธีการถอดรหัสสัญญาณแบบ PCM	1	1	1	3	1.00
3. ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณของ Shannon ระบุไว้ว่าอย่างไร	1	0	1	2	0.66
4. ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการจัดระดับเรียกว่าอะไร	0	1	1	2	0.66
5. ระยะห่างระหว่างระดับข้างเคียงเรียกว่าอะไร	0	1	1	2	0.66
6. วงจรกรองที่ใช้ในการถอดรหัสสัญญาณ PCM คือข้อใด	0	1	1	2	0.66
7. ข้อใดกล่าวถูกต้องที่สุด	1	0	0	1	0.33
8. ข้อใดคือผลที่เกิดจากการเพิ่มจำนวนระดับในสุ่มสัญญาณ	1	1	1	3	1.00
9. ข้อใดคือผลที่เกิดจากการเพิ่มความถี่สุ่มสัญญาณ	1	1	1	3	1.00
10. ถ้าความถี่ของสัญญาณอยู่ระหว่าง 0.3-3.4 kHz ดังนั้นอัตราการสุ่มสัญญาณต่ำสุดจะต้องเท่ากับเท่าไร	1	1	1	3	1.00
11. สัญญาณมีขนาด 5 V ทำการจัดระดับได้เท่ากับ 255 มีระยะห่างระหว่างระดับข้างเคียงเท่ากับเท่าไร	1	1	1	3	1.00
12. จากรูปด้านล่างสัญญาณสุ่มที่ e2 เมื่อผ่านการจัดระดับแล้วจะได้ค่าสัญญาณเท่าไร	1	1	1	3	1.00
13. จากรูปข้อ 12. สัญญาณสุ่มที่ e4 เมื่อผ่านการจัดระดับแล้วจะได้ค่าสัญญาณเท่าไร	0	1	1	2	0.66
14. DPCM ย่อมาจากคำว่าอะไร	1	0	0	1	0.33
15. จุดประสงค์ของการเข้ารหัสสัญญาณแบบ DPCM คืออะไร	1	1	1	3	1.00
16. วิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ DPCM คือข้อใด	1	1	1	3	1.00
17. ข้อดีของการเข้ารหัสแบบ DPCM คือข้อใด	1	1	1	3	1.00
18. การถอดรหัสสัญญาณแบบ DPCM กลับเป็นรหัสสัญญาณแบบ PCM คือข้อใด	1	1	1	3	1.00
19. จงหาค่าสัญญาณแบบ DPCM จากชุดสัญญาณแบบ PCM คือ 80,100,50,70,90,130,120 โดยกำหนดให้ค่าประมาณการสัญญาณเริ่มต้นที่ 127	0	1	1	2	0.66
20. จงหาค่าสัญญาณแบบ PCM จากชุดสัญญาณแบบ DPCM คือ 10,25,-30,10,-25,30,25 โดยกำหนดให้ค่าประมาณการสัญญาณเริ่มต้นที่ 127	0	1	1	2	0.66

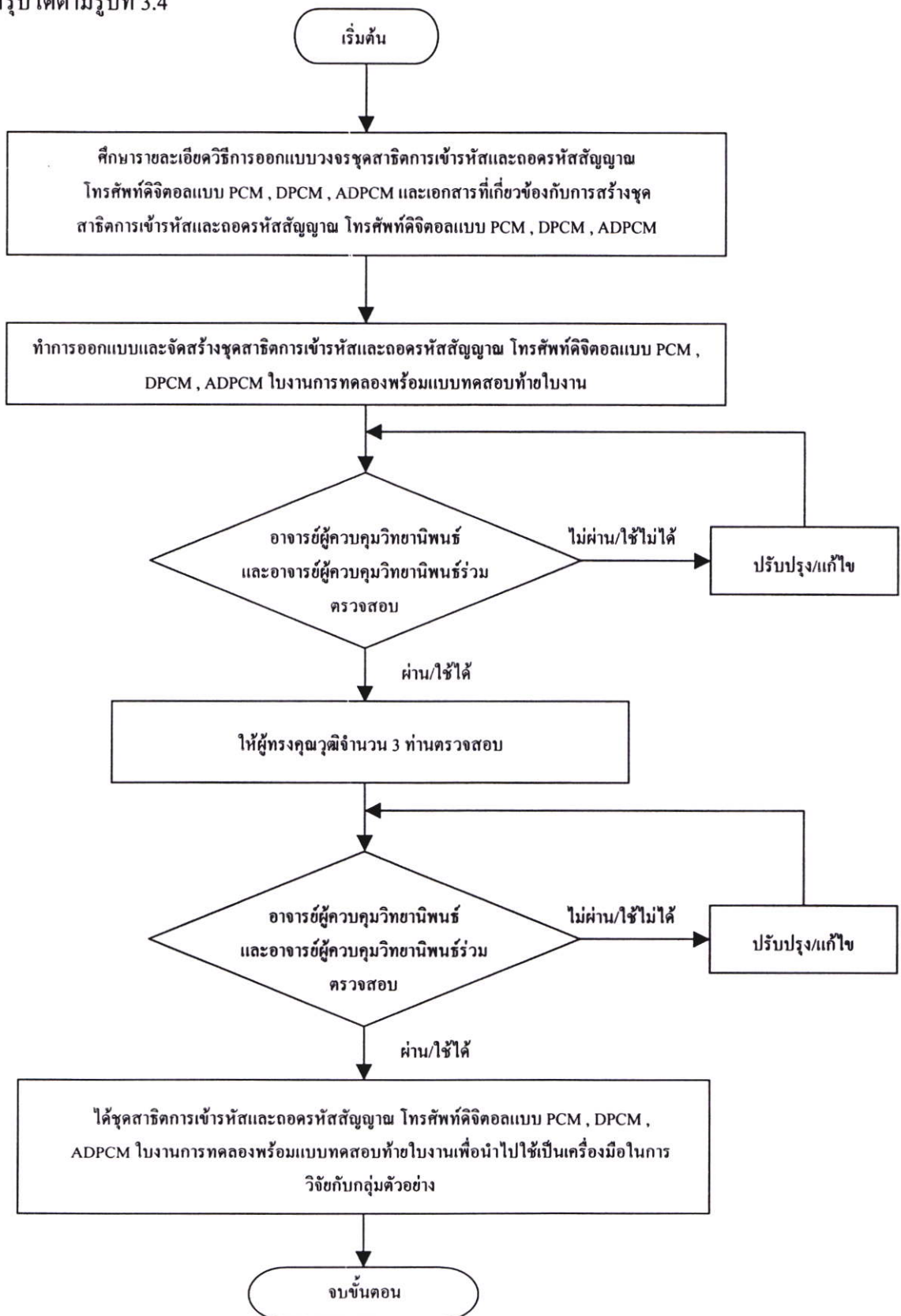
ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

รายการ	ผู้ทรงคุณวุฒิ			ผลรวม	IOC
	1	2	3		
21.ADPCM ย่อมาจากคำว่าอะไร	1	0	0	1	0.33
22.ข้อใดกล่าวถึงวิธีการเข้ารหัสแบบ ADPCM	0	1	1	2	0.66
23.ข้อใดคือข้อดีของการเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM	0	1	1	2	0.66
24.รหัสสัญญาณแบบ ADPCM 4 บิต “ 1000 ” บิตที่ 1 หมายถึงข้อใด	0	1	1	2	0.66
25.ผลต่างของรหัสสัญญาณ DPCM = 35 เมื่อเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM เทากับข้อใด	1	1	1	3	1.00
26.การลดระดับควอนไทซ์และลดความถี่สุ่มจะทำให้สามารถลดจำนวนบิตข้อมูลได้กี่บิต	1	1	1	3	1.00
27.ADPCM เป็นกระบวนการเข้ารหัสที่สามารถลดจำนวนบิตข้อมูลได้	1	1	1	3	1.00
28.เพื่อให้สามารถสร้างสัญญาณเดิมกับมาความถี่ที่ใช้ในการสุ่มต้องสูงกว่าความถี่สัญญาณ	1	1	1	3	1.00
29.ระดับควอนไทซ์มากจะทำให้รหัสข้อมูลมีความผิดพลาดน้อยลง	1	1	1	3	1.00
30.การเข้ารหัสแบบ DPCM ถ้าเพิ่มความถี่สุ่มสัญญาณจะทำให้จำนวนบิตข้อมูลลด	1	1	1	3	1.00
31.การเข้ารหัสแบบ ADPCM ใช้ความถี่สุ่มสัญญาณสูงกว่าการเข้ารหัสแบบ DPCM	1	1	1	3	1.00
32.การเข้ารหัสแบบ DPCM และ ADPCM ใช้ผลต่างของสัญญาณข้างเคียงในการเข้ารหัส	1	1	1	3	1.00

ข้อคำถามที่ 3 ผู้ทรงคุณวุฒิท่านเสนอแนะให้ปรับปรุงตัวเลือก “ ข และ ค ” ข้อคำถามที่ 4 , 5 , 6 , 7 , 14 และ 21 ผู้ทรงคุณวุฒิท่านเสนอแนะว่าเป็นคำถามเชิงความจำควรปรับปรุงข้อคำถาม และข้อคำถามที่ 13 ผู้ทรงคุณวุฒิท่านเสนอแนะว่าควรแยกรูปภาพให้ชัดเจน ผู้วิจัยได้นำข้อเสนอนี้มาปรึกษาอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมพิจารณา และ ปรับปรุงแก้ไขจนได้แบบทดสอบประกอบใบงานฯ ที่สมบูรณ์

1.8 นำชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล แบบ PCM , DPCM , ADPCM ที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

จากขั้นตอนการสร้างชุดสาริการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิตอล
สรุปได้ตามรูปที่ 3.4



รูปที่3.4 แผนผังขั้นตอนการสร้างชุดสาริการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ฯ

2. การสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ ดิจิตอล แบบ PCM , DPCM , ADPCM มีขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

2.1 ศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัส สัญญาณ โทรศัพท์ดิจิตอล แบบ PCM , DPCM , ADPCM จากตำรา และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.2 สร้างแบบประเมินคุณภาพชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิตอล แบบ PCM , DPCM , ADPCM โดยมีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ มีเกณฑ์ การให้คะแนน ดังนี้

คุณภาพระดับดีมาก	กำหนดคะแนนเท่ากับ	5	คะแนน
คุณภาพระดับดี	กำหนดคะแนนเท่ากับ	4	คะแนน
คุณภาพระดับปานกลาง	กำหนดคะแนนเท่ากับ	3	คะแนน
คุณภาพระดับพอใช้	กำหนดคะแนนเท่ากับ	2	คะแนน
คุณภาพระดับควรปรับปรุง	กำหนดคะแนนเท่ากับ	1	คะแนน

โดยกำหนดเกณฑ์ของแบบประเมินคุณภาพชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิตอลแบบ PCM , DPCM , ADPCM ที่ใช้ได้ต้องอยู่ในระดับคะแนนเฉลี่ย แต่ละรายการ ต้องมีคุณภาพอยู่ในระดับดี คือ ได้คะแนนระดับ 3.50 ขึ้นไป

2.3 เขียนรายละเอียดการประเมินคุณภาพชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัส สัญญาณ โทรศัพท์ดิจิตอลแบบ PCM , DPCM , ADPCM โดยแบ่งการประเมินคุณภาพออกเป็น 2 ด้าน คือ

(1) ด้านเนื้อหา

(2) ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

2.4 นำแบบประเมินคุณภาพชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ ดิจิตอลแบบ PCM , DPCM , ADPCM ที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วเสนอต่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อขอคำแนะนำ พร้อมปรับปรุง แก้ไขให้มีความถูกต้อง และเหมาะสม

2.5 นำแบบประเมินคุณภาพชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ ดิจิตอล ที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 2 ท่านตรวจสอบ คือ

1. ผศ.ดร.วิไลพร วรจิตตานนท์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผศ.ดร.วิไลพร วรจิตตานนท์ ได้มีข้อเสนอแนะในด้านการใช้ภาษาในคำชี้แจงและข้อผิดพลาดต่างๆที่อาจทำให้ผู้ประเมินที่เป็นกลุ่มตัวอย่างเข้าใจผิดได้

ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม ได้มีข้อเสนอแนะให้เพิ่มนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัยในหมายเหตุเพื่อให้ผู้ประเมินเข้าใจถึงวัตถุประสงค์ของการประเมินได้ดียิ่งขึ้น

ผู้วิจัยได้นำข้อเสนอแนะมาปรึกษาอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมพิจารณาปรับปรุงแก้ไขจนได้แบบประเมินคุณภาพฯ ที่สมบูรณ์

2.6 ก่อนที่จะนำชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูลได้นั้นจะต้องนำชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลและแบบประเมินคุณภาพที่สร้างเสร็จแล้วไปหาคุณภาพกับผู้ทรงคุณวุฒิโดยทำการวิเคราะห์ความสอดคล้องของแบบประเมินฯภาคทฤษฎีกับนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัยโดยใช้ค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC :index of Item – objective Congruence) ผู้วิจัยจะนำแบบประเมินพร้อมกับชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลเสนอให้ผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 2 ท่าน ทำการตรวจสอบและประเมินความเป็นปรนัยความชัดเจนและความครอบคลุมเนื้อหา เพื่อหาความเที่ยงตรงเนื้อหา (IOC) ว่าข้อใดในแต่ละข้อนั้นสามารถวัดได้ตรงกับนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัยที่กำหนดหรือไม่ดังรายนาผู้ทรงคุณวุฒิดังนี้

1. ผศ.ดร.วิไลพร วรจิตตานนท์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โดยผู้ทรงคุณวุฒิจะให้คะแนนความสอดคล้องของข้อคำถามของแบบสอบถามกับนิยามตามเกณฑ์ ดังนี้

ให้ 1 คะแนนในข้อนั้น ถ้าข้อคำถามสามารถวัดได้ตรงตามนิยาม

ให้ 0 คะแนนในข้อนั้น ถ้าไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสามารถวัดได้ตรงตามนิยาม

ให้ -1 คะแนนในข้อนั้น ถ้าข้อคำถามไม่สามารถวัดได้ตรงตามนิยาม

ค่า IOC ที่ได้จากการตรวจแบบสอบถามในแต่ละข้อจากผู้ทรงคุณวุฒิจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 โดยใช้สูตรดังนี้ข้างใน(ภาวนา ชูศิริ. 2548 : 32)

$$\text{สูตร } IOC = \frac{\sum R}{N}$$

N

$\sum R$ หมายถึง คะแนนรวมในแต่ละข้อจากผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน

N หมายถึง จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

การแปลความหมายค่า IOC

$IOC \geq 0.5$ หมายถึง มีความตรงเชิงเนื้อหา

$IOC < 0.5$ หมายถึง ไม่มีความตรงเนื้อหา ต้องปรับแก้ข้อคำถามนั้นๆ

ผลการตรวจสอบ และวิเคราะห์ความสอดคล้องของแบบประเมินฯภาคทฤษฎีกับนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัยโดยใช้ค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) ของแบบประเมินฯ จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 2 ท่านมีดังนี้

ตารางที่ 3.3 ผลการประเมินแบบประเมินฯ ด้านเนื้อหา

รายการ	ผู้ทรงคุณวุฒิ		ผลรวม	IOC
	1	2		
1. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหาของใบงาน	1	1	2	1.0
2. เนื้อหาทฤษฎีมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน	1	1	2	1.0
3. คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองมีความเหมาะสม	1	1	2	1.0
4. ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในของใบงาน	1	1	2	1.0
5. ใบงานการทดลองมีความชัดเจนเหมาะสมของขนาดรูปภาพ	1	0	2	0.5
6. ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้	1	-1	0	0
7. ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ในการเรียนรู้	1	0	2	0.5
8. คำถามท้ายใบงานทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งขึ้น	1	1	2	1.0
9. คำถามท้ายการทดลองมีประมาณเหมาะสมกับใบงานทดลอง	1	1	2	1.0
10. ใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของผู้เรียน	1	1	2	1.0
11. ใบงานทดลองสามารถนำไปใช้สร้างสถานการณ์การเรียนการสอนต่างๆ ไป	1	-1	0	0
12. ผู้ทดลองสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้	1	-1	0	0

จากตารางที่ 3.3 ข้อคำถามที่ 6 , 11 , 12 ผู้ทรงคุณวุฒิท่านเสนอแนะว่าไม่สามารถใช้วัดคุณภาพด้านเนื้อหาของชุดสาธิตฯ ได้เห็นควรตัดออก ผู้วิจัยได้นำข้อเสนอแนะนี้มาปรึกษาอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมพิจารณา และปรับปรุงแก้ไขจนได้แบบประเมินฯด้านเนื้อหา ที่สมบูรณ์

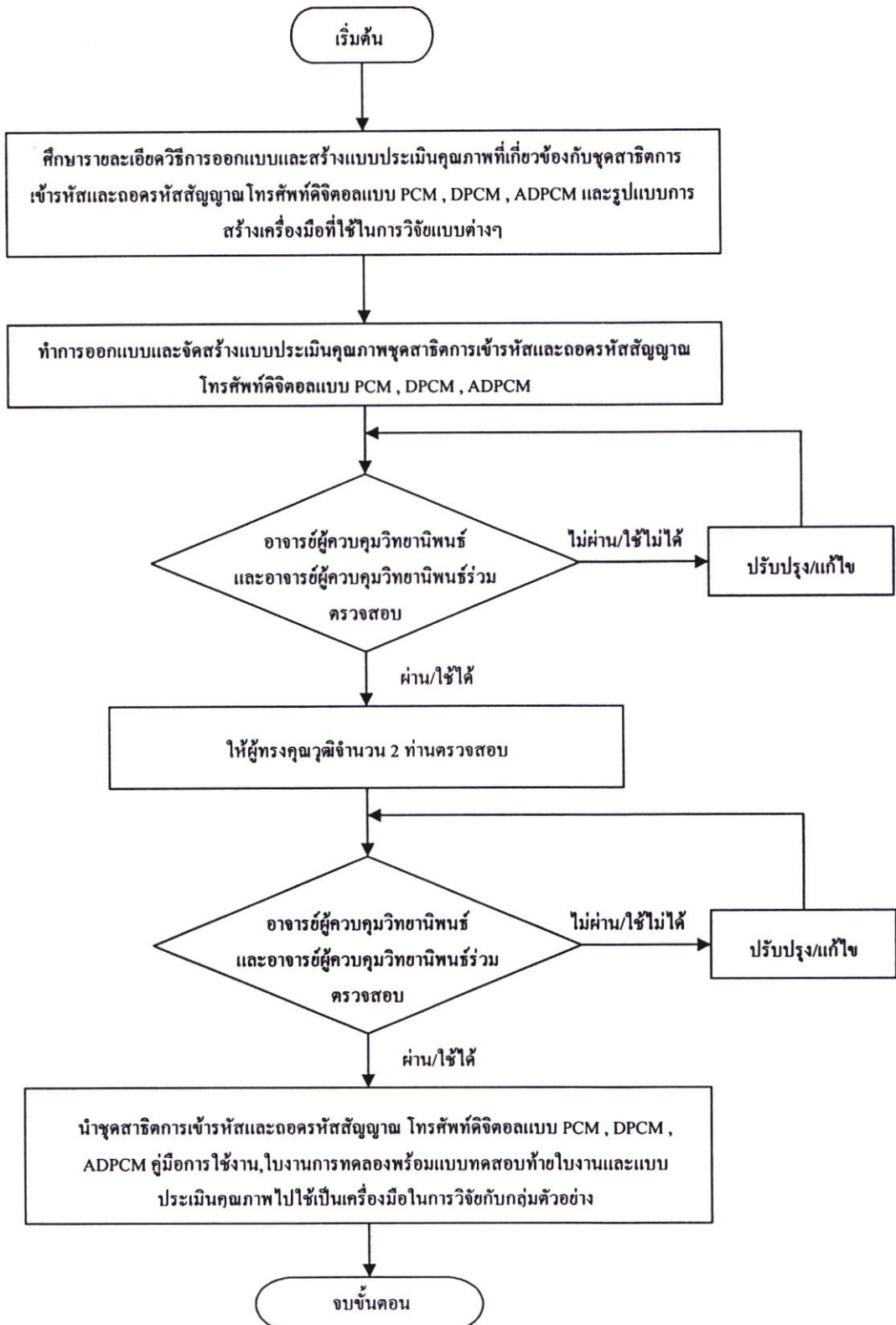
ตารางที่ 3.4 ผลการประเมินแบบประเมินฯ ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

รายการ	ผู้ทรงคุณวุฒิ		ผลรวม	IOC
	1	2		
1. ดึงดูดความสนใจในการทดลองใช้ชุดสาธิต	1	1	2	1.00
2. รูปแบบของชุดสาธิตกระตุ้นและจูงใจผู้ทดลอง	1	1	2	1.00
3. มีความเหมาะสมกับระดับความรู้ของผู้ทดลอง	1	1	2	1.00
4. ชุดสาธิตสามารถทำให้ผู้ทดลองบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้	1	1	2	1.00
5. สามารถนำความรู้เดิมที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้ร่วมกับชุดสาธิต	1	1	2	1.00
6. ชุดสาธิตที่สร้างขึ้นมานี้สามารถพัฒนาการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี	1	1	2	1.00
7. ชุดสาธิตสร้างเสริมประสบการณ์ในการฝึกทักษะความรู้ใหม่ๆ	1	1	2	1.00
8. ชุดสาธิตใช้งานได้สะดวก และเป็นไปตามขั้นตอน	1	1	2	1.00
9. ชุดสาธิตมีลำดับขั้นตอนการทดลองสัมพันธ์กับคู่มือการทดลอง	1	1	2	1.00
10. มีความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์	1	1	2	1.00
11. มีความปลอดภัยในขณะที่ทำการทดลอง	1	1	2	1.00
12. การจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์มีความเหมาะสม	1	1	2	1.00
13. ขนาดของชุดสาธิตมีความเหมาะสม	1	1	2	1.00
14. รูปร่างของชุดสาธิตมีความเหมาะสม	1	1	2	1.00
15. ปุ่มกด และ Switch ต่างๆเหมาะสมกับชุดสาธิต	1	1	2	1.00
16. จอแสดงผล หลอดไฟแสดงผลมีความชัดเจน	1	1	2	1.00
17. สะดวกในการต่อสายนำสัญญาณ และอุปกรณ์ข้างเคียง	1	1	2	1.00
18. การบำรุงรักษาสามารถทำได้ง่าย	1	1	2	1.00
19. ผู้ทดลองสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้	1	1	2	1.00

จากตารางที่ 3.4 ข้อคำถามที่ตั้งขึ้นทุกข้อผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแล้วสามารถใช้วัดคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อได้ทุกข้อ จึงเป็นแบบประเมินฯด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ที่สมบูรณ์

2.7 นำแบบประเมินคุณภาพชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล แบบ PCM , DPCM , ADPCM ที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

จากขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดสาริการเข้ารหัสและถอดรหัส
สัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล สรุปได้ตามรูปที่ 3.5



รูปที่3.5 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดสาริการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ
โทรศัพท์ดิจิตอล

3. นำชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลและแบบประเมินที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปใช้ในการวิจัยกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณภาพของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล

3.3 วิธีดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทำเป็นขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้

1. บันทึกเสนอขออนุญาตให้งานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ออกหนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยเพื่อขออนุญาตเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ไปยังผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

2. ผู้วิจัยนำหนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยจากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ไปติดต่อกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อขอความอนุเคราะห์และนัดหมายในการทำวิจัย

3. นำชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล พร้อมใบงานการทดลอง แบบทดสอบประกอบการทดลอง และแบบประเมินคุณภาพ เดินทางไปเก็บรวบรวมข้อมูลของแต่ละแห่งของกลุ่มตัวอย่าง โดยมีรายชื่อกลุ่มตัวอย่างดังนี้

กลุ่มตัวอย่างจำนวน 5 ท่าน ได้แก่

- | | |
|-------------------------|--|
| 1. อ.ชนานันต์ ชูแสง | อาจารย์แผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์
วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี |
| 2. อ.ธีรงค์ สว่างเดือน | หัวหน้าแผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์
วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา |
| 3. อ.ทองหนัก กงสุวรรณ | หัวหน้าแผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์
วิทยาลัยเทคนิคราชสีหราชาราม |
| 4. อ.ทนงศักดิ์ ยอดพานิช | อาจารย์แผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์
วิทยาลัยเทคนิคกาญจนบุรี |
| 5. อ.สุนทร ก้องสินธุ | อาจารย์แผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์
วิทยาลัยเทคนิคมินบุรี |

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างมีความเห็นว่าชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลที่สร้างขึ้นมีคุณภาพทางด้านเนื้อหาในระดับดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.62 และมีคุณภาพทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อในระดับดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.65 และมีข้อเสนอแนะในด้านเนื้อหาประกอบชุดสาธิตฯว่าควรมีคำถามท้ายการทดลองในแต่ละใบงานและควรจัดทำคู่มือการเฉลยผล

การทดลอง มีข้อเสนอแนะในด้านเทคนิคการผลิตคือว่า ควรลดความสว่างของหลอดไฟแสดงผลไม่ให้รบกวนสายตาและติดตัวอักษรแสดงความหมายของหลอดไฟแสดงผลและส่วนต่างๆให้ชัดเจน

4. นำข้อเสนอแนะเข้าปรึกษาอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมพิจารณา และ ปรับปรุงแก้ไขจนได้ชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ที่เสร็จสมบูรณ์

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำผลที่ได้จากแบบประเมินคุณภาพชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล แบบ PCM , DPCM , ADPCM โดยมีการกำหนดเกณฑ์ของแบบประเมินคุณภาพของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลดังนี้

4.50-5.00 คุณภาพของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล อยู่ในระดับดีมาก

3.50-4.49 คุณภาพของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล อยู่ในระดับดี

2.50-3.49 คุณภาพของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล อยู่ในระดับปานกลาง

1.50-2.49 คุณภาพของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล อยู่ในระดับพอใช้

1.00-1.49 คุณภาพของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล อยู่ในระดับควรปรับปรุง

โดยกำหนดเกณฑ์ของแบบประเมินคุณภาพชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลที่ใช้ได้ต้องอยู่ในระดับคะแนนเฉลี่ยแต่ละรายการต้องมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ก็ได้คะแนนระดับ 3.50 ขึ้นไป

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.5.1.สถิติที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต เพื่อใช้ในการหาคุณภาพของแผนสาริตการเข้ารหัสสัญญาณเสียงดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM

$$\bar{x} = \frac{\sum fx}{n}$$

\bar{X} คือ ค่าคะแนนเฉลี่ยคุณภาพที่ประเมิน

n คือ จำนวนผู้ประเมิน

3.5.2. สถิติที่ใช้ในการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum fx$ คือ ผลรวมของผู้ประเมินทั้งหมด

เพื่อใช้ในการหาคุณภาพของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล สำหรับกลุ่มตัวอย่าง (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2540 : 204) ใช้สูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{n\sum (fx)^2 - (\sum fx)^2}{n(n-1)}}$$

S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x คือ ข้อมูลแต่ละจำนวน

fx คือ ข้อมูลทั้งหมด

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดในกลุ่ม

\sum คือ ผลรวม

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่องชุดสาธิตวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาคุณภาพของแผงสาธิตการเข้าและถอดรหัสสัญญาณเสียงดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการประเมินหาคุณภาพ 2 ด้านคือ ด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินที่ผู้วิจัยได้ทำขึ้น นำเสนอไว้ตามลำดับต่อไปนี้

4.1 ผลการประเมินหาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเนื้อหา

4.2 ผลการประเมินหาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

4.1 ผลการประเมินหาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเนื้อหา

ผลการประเมินหาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเนื้อหา ที่มีต่อชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล โดยประกอบกับใบงานพร้อมคู่มือการใช้งาน เป็นคุณภาพทางด้านเนื้อหาใบงานการทดลองและการเรียนรู้ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลมี 3 ใบงานการทดลอง ซึ่งผลการประเมินคุณภาพแสดงดังตารางที่ 4.1, ตารางที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.3 โดยแบ่งคุณภาพของเนื้อหาเป็น 2 ส่วนดังนี้

4.1.1 คุณภาพเนื้อหาของใบงานการทดลอง

4.1.2 คุณภาพเนื้อหาของแบบทดสอบท้ายใบงาน

4.1.1 คุณภาพเนื้อหาของใบงานการทดลอง

จากตารางที่ 4.1 คุณภาพทางด้านเนื้อหาของใบงานการทดลองที่ 1 กลุ่มตัวอย่างมีความเห็นว่าวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหาของใบงานดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.60 เนื้อหาทฤษฎีมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงานดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.20 คำชี้แจงลำดับขั้นตอนการทดลองมีความเหมาะสมดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.40 ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในของใบงานดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.80 ใบงานการทดลองมีความชัดเจนเหมาะสมของขนาดรูปภาพดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.20 ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ในการเรียนดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.40 ใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของผู้เรียนดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.60 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพทางด้านเนื้อหาในใบงานการทดลองที่ 1 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ PCM พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเนื้อหา ใบงานการทดลองที่ 1

รายการ	จำนวนผู้ตอบคำถาม (N=5)		ระดับคุณภาพ
	\bar{X}	S.D.	
1. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหาของใบงาน	4.60	0.55	ดีมาก
2. เนื้อหาทฤษฎีมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน	4.20	0.45	ดี
3. คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองมีความเหมาะสม	4.40	0.55	ดี
4. ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในของใบงาน	4.80	0.45	ดีมาก
5. ใบงานการทดลองมีความชัดเจนเหมาะสมของขนาดรูปภาพ	4.20	0.45	ดี
6. ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ในการเรียนรู้	4.40	0.55	ดี
7. คำถามท้ายใบงานทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งขึ้น	4.40	0.89	ดี
8. คำถามท้ายการทดลองมีประมาณเหมาะสมกับใบงานทดลอง	4.40	0.89	ดี
9. ใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของผู้เรียน	4.60	0.55	ดีมาก
รวม	4.31	0.62	ดี

จากตารางที่ 4.2 คุณภาพทางด้านเนื้อหาของใบงานการทดลองที่ 2 กลุ่มตัวอย่างมีความเห็นว่าวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหาของใบงานดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.40 เนื้อหาทฤษฎีมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงานดีมีคะแนนเท่ากับ 3.80 คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองมีความเหมาะสมดีมีคะแนนเท่ากับ 4.20 ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในของใบงานดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.60 ใบงานการทดลองมีความชัดเจนเหมาะสมของขนาดรูปภาพดีมีคะแนนเท่ากับ 4.00 ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ในการเรียนดีมากมีคะแนนเท่ากับ 5.00 ใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับ

ระดับการรับรู้ของผู้เรียนดีมีคะแนนเท่ากับ 4.20 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพทางด้านเนื้อหาในใบงานการทดลองที่ 1 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ PCM พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.51 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพทางด้านเนื้อหาในใบงานการทดลองที่ 2 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ DPCM พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเนื้อหา ใบงานการทดลองที่ 2

รายการ	จำนวนผู้ตอบคำถาม (N=5)		ระดับคุณภาพ
	\bar{X}	S.D.	
1. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหาของใบงาน	4.40	0.55	ดี
2. เนื้อหาทฤษฎีมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน	3.80	0.84	ดี
3. คำชี้แจงลำดับขั้นตอนการทดลองมีความเหมาะสม	4.20	0.84	ดี
4. ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในของใบงาน	4.60	0.55	ดีมาก
5. ใบงานการทดลองมีความชัดเจนเหมาะสมของขนาดรูปภาพ	4.00	0.71	ดี
6. ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ในการเรียนรู้	5.00	0.00	ดีมาก
7. คำถามท้ายใบงานทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งขึ้น	4.00	0.71	ดี
8. คำถามท้ายการทดลองมีประมาณเหมาะสมกับใบงานทดลอง	4.20	0.45	ดี
9. ใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของผู้เรียน	4.20	0.84	ดี
รวม	4.27	0.61	ดี

จากตารางที่ 4.3 คุณภาพทางด้านเนื้อหาของใบงานการทดลองที่3 กลุ่มตัวอย่างมีความเห็นว่าวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหาของใบงานดีมีคะแนนเท่ากับ 4.40 เนื้อหาทฤษฎีมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงานดีมีคะแนนเท่ากับ3.80 คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองมีความเหมาะสมดีมีคะแนนเท่ากับ4.40 ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในของใบงานดีมากมีคะแนนเท่ากับ4.60 ใบงานการทดลองมีความชัดเจนเหมาะสมของขนาดรูปภาพดีมากมีคะแนนเท่ากับ4.60 ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ในการเรียนดีมากมีคะแนนเท่ากับ4.60 ใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของผู้เรียนดีมีคะแนนเท่ากับ4.00 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพทางด้านเนื้อหาในใบงานการทดลองที่3 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ ADPCM พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดีถึงดีมาก

ตารางที่4.3 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเนื้อหา ใบงานการทดลองที่ 3

รายการ	จำนวนผู้ตอบคำถาม (N=5)		ระดับคุณภาพ
	\bar{X}	S.D.	
1.วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหาของใบงาน	4.40	0.55	ดี
2.เนื้อหาทฤษฎีมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน	3.80	0.84	ดี
3.คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองมีความเหมาะสม	4.40	0.55	ดี
4.ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในของใบงาน	4.60	0.55	ดีมาก
5.ใบงานการทดลองมีความชัดเจนเหมาะสมของขนาดรูปภาพ	4.60	0.55	ดีมาก
7.ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ในการเรียนรู้	4.60	0.55	ดีมาก
8.คำถามท้ายใบงานทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งขึ้น	4.20	0.84	ดี
9.คำถามท้ายการทดลองมีประมาณเหมาะสมกับใบงานทดลอง	4.20	0.45	ดี

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

รายการ	จำนวนผู้ตอบคำถาม (N=5)		ระดับคุณภาพ
	\bar{X}	S.D.	
10. ใบบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของผู้เรียน	4.00	0.71	ดี
รวม	4.31	0.62	ดี

4.1.2 คุณภาพเนื้อหาของแบบทดสอบท้ายใบบงาน

จากตารางที่ 4.1 คุณภาพทางด้านเนื้อหาของแบบทดสอบท้ายใบบงานการทดลองที่ 1 กลุ่มตัวอย่างมีความเห็นว่าคำถามท้ายใบบงานทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งขึ้นดีมีคะแนนเท่ากับ 4.40 คำถามท้ายการทดลองมีประมาณเหมาะสมกับใบบงานทดลองดีมีคะแนนเท่ากับ 4.40 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพทางด้านเนื้อหาของแบบทดสอบท้ายใบบงานการทดลองที่ 1 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ PCM พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี

จากตารางที่ 4.2 คุณภาพทางด้านเนื้อหาของแบบทดสอบท้ายใบบงานการทดลองที่ 2 กลุ่มตัวอย่างมีความเห็นว่าคำถามท้ายใบบงานทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งขึ้นดีมีคะแนนเท่ากับ 4.00 คำถามท้ายการทดลองมีประมาณเหมาะสมกับใบบงานทดลองดีมีคะแนนเท่ากับ 4.20 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพทางด้านเนื้อหาของแบบทดสอบท้ายใบบงานการทดลองที่ 2 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ DPCM พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี

จากตารางที่ 4.3 คุณภาพทางด้านเนื้อหาของแบบทดสอบท้ายใบบงานการทดลองที่ 3 กลุ่มตัวอย่างมีความเห็นว่าคำถามท้ายใบบงานทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งขึ้นดีมีคะแนนเท่ากับ 4.20 คำถามท้ายการทดลองมีประมาณเหมาะสมกับใบบงานทดลองดีมีคะแนนเท่ากับ 4.20 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพทางด้านเนื้อหาของแบบทดสอบท้ายใบบงานการทดลองที่ 3 การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ ADPCM พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี

สรุปผลการวิเคราะห์หาคุณภาพทางด้านเนื้อหาโดยรวมของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลทั้ง 3 ใบบงานการทดลองและแบบทดสอบท้ายใบบงานการทดลองพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นว่ายู่ในระดับดีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.62

4.2 ผลการประเมินหาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

ผลการประเมินหาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ที่มีการออกแบบและสร้างชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลโดยประกอบกับใบงานการทดลองพร้อมแบบทดสอบและคู่มือการทดลอง วัดได้จากการทำแบบประเมินด้านการออกแบบและการใช้งานของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล เป็นคุณภาพทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อซึ่งได้จากแบบประเมินด้านเทคนิคการผลิตสื่อ รายละเอียดดังตารางที่ 4.4 โดยแบ่งได้ 2 ส่วนดังนี้

4.2.1 คุณภาพของเอกสารประกอบชุดสาริต

4.2.2 คุณภาพของเครื่องเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์

4.2.1 คุณภาพของเอกสารประกอบชุดสาริต

จากตารางที่ 4.4 กลุ่มตัวอย่างมีความเห็นว่าคุณภาพทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อของเอกสารประกอบชุดสาริตดึงดูดความสนใจในการทดลองใช้ชุดสาริตดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.80 มีความเหมาะสมกับระดับความรู้ของผู้ทดลองดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.20 สามารถทำให้ผู้ทดลองบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ได้ดีมีคะแนนเท่ากับ 4.40 สามารถนำความรู้เดิมที่มีอยู่มาใช้งานกับชุดสาริตได้ดีมีคะแนนเท่ากับ 4.20 ชุดสาริตที่สร้างขึ้นนี้สามารถพัฒนาการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.60 ชุดสาริตสร้างเสริมประสบการณ์ในการฝึกทักษะความรู้ใหม่ๆดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.60 ชุดสาริตมีลำดับขั้นตอนการทดลองสัมพันธ์กับคู่มือการทดลองดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.60

สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพของเอกสารประกอบชุดสาริตทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อของชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นว่าเอกสารประกอบชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิตอลอยู่ในระดับดีถึงดีมาก

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

รายการ	จำนวนผู้ตอบคำถาม (N=5)		ระดับคุณภาพ
	\bar{X}	S.D.	
1. ดึงดูดความสนใจในการทดลองใช้ชุดสาริต	4.80	0.45	ดีมาก
2. รูปแบบของชุดสาริตกระตุ้นและจูงใจผู้ทดลอง	4.80	0.45	ดีมาก
3. มีความเหมาะสมกับระดับความรู้ของผู้ทดลอง	4.20	0.45	ดี
4. ชุดสาริตสามารถทำให้ผู้ทดลองบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้	4.40	0.55	ดี

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

รายการ	จำนวนผู้ตอบคำถาม (N=5)		ระดับคุณภาพ
	\bar{X}	S.D.	
5. สามารถนำความรู้เดิมที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้งานกับชุด สาธิต	4.20	0.45	ดี
6. ชุดสาธิตที่สร้างขึ้นมานี้สามารถพัฒนาการเรียนรู้ได้เป็น อย่างดี	4.60	0.55	ดีมาก
7. ชุดสาธิตสร้างเสริมประสบการณ์ในการฝึกทักษะความรู้ ใหม่ๆ	4.60	0.55	ดีมาก
8. ชุดสาธิตใช้งาน ได้สะดวก และเป็นไปตามขั้นตอน	4.60	0.55	ดีมาก
9. ชุดสาธิตมีลำดับขั้นตอนการทดลองสัมพันธ์กับคู่มือการ ทดลอง	4.60	0.55	ดีมาก
10. มีความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์	4.40	0.89	ดี
11. มีความปลอดภัยในขณะที่ทำการทดลอง	4.80	0.45	ดีมาก
12. การจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์มีความเหมาะสม	4.40	0.89	ดี
13. รูปร่างและขนาดของชุดสาธิตมีความเหมาะสม	4.60	0.89	ดีมาก
14. ปุ่มกด และ Switch ต่างๆเหมาะสมกับชุดสาธิต	4.20	1.30	ดี
15. จอแสดงผล หลอดไฟแสดงผลมีความชัดเจน	4.60	0.55	ดีมาก
16. สะดวกในการต่อสายนำสัญญาณ และอุปกรณ์ข้างเคียง	4.20	0.84	ดี
17. การบำรุงรักษาสามารถทำได้ง่าย	4.40	0.89	ดี
18. ผู้ทดลองสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้	4.40	0.55	ดี
รวม	4.49	0.65	ดี

4.2.2 คุณภาพของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล

จากตารางที่ 4.4 กลุ่มตัวอย่างมีความเห็นว่าคุณภาพทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อของ
เครื่องเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์มีรูปแบบชุดสาธิตกระตุ้นและจูงใจผู้ทดลองดีมากมี
คะแนนเท่ากับ 4.80 ชุดสาธิตใช้งานสะดวกและเป็นไปตามขั้นตอนดีมากมีคะแนนเท่ากับ 4.60 มี

ความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์ ดีมีคะแนนเท่ากับ4.40 มีความปลอดภัยในขณะที่ทำการทดลองดี
 มากมีคะแนนเท่ากับ4.80 การจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์มีความเหมาะสมดีมีคะแนนเท่ากับ4.40 รูป
 ร้างและขนาดของชุดสาธิตมีความเหมาะสมดีมากมีคะแนนเท่ากับ4.60 ปุ่มกดและ Switch ต่างๆ
 เหมาะสมกับชุดสาธิตดีมีคะแนนเท่ากับ4.20 จอแสดงผล หลอดไฟแสดงผลมีความชัดเจนดีมากมี
 คะแนนเท่ากับ4.60 สะดวกในการต่อสายนำสัญญาณและอุปกรณ์ข้างเคียงดีมีคะแนนเท่ากับ4.20
 การบำรุงรักษาสามารถทำได้ง่ายดีมีคะแนนเท่ากับ4.40 ผู้ทดลองสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์
 ได้ดีมีคะแนนเท่ากับ4.40

สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์
 ดิจิตอลทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นว่าชุดสาธิตการเข้ารหัสและ
 ถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลอยู่ในระดับดีถึงดีมาก

สรุปผลการวิเคราะห์หาคุณภาพทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อของชุดสาธิตการเข้ารหัสและ
 ถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล โดยภาพรวมพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นว่าชุดสาธิตการ
 เข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ส่วนเบี่ยงเบน
 มาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.65

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล พร้อมหาคุณภาพโดยสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

- 5.1 สรุปผลการวิจัย
- 5.2 อภิปรายผล
- 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลแบบ PCM, DPCM , ADPCM
2. เพื่อหาคุณภาพของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลแบบ PCM, DPCM , ADPCM

5.1.2 สมมุติฐานการวิจัย

ความเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ประเมินชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ง่ายและเหมาะสมแก่การเรียนการสอนและมีคุณภาพตามเกณฑ์ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.50 ขึ้นไป

5.1.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ครอบคลุมประชากร และกลุ่มตัวอย่างดังนี้

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นอาจารย์แผนกอิเล็กทรอนิกส์ ในวิทยาลัยเทคนิคสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากระทรวงศึกษาธิการ ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญเรื่องการเข้ารหัสสัญญาณเสียงดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM และระบบสื่อสารดิจิทัล
2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอาจารย์แผนกอิเล็กทรอนิกส์ที่สอนในวิชาที่เกี่ยวข้องเรื่องการเข้ารหัสสัญญาณเสียงดิจิทัลแบบ PCM , DPCM , ADPCM จากวิทยาลัยเทคนิคในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากระทรวงศึกษาธิการ โดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง(Purposive Sampling) จำนวน 5 วิทยาลัย ๆ ละ 1 ท่าน รวมเป็น 5 ท่าน

5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ประกอบด้วย
 - 1.1 ชุดสาธิตพร้อมคู่มือการใช้งาน
 - 1.2 ใบงานการทดลองพร้อมแบบทดสอบท้ายใบงาน
2. แบบประเมินคุณภาพ ของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ด้านเนื้อหา
3. แบบประเมินคุณภาพ ของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

5.1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยนำชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วยใบงานการทดลอง 3 ใบงานพร้อมแบบทดสอบ และคู่มือการใช้งานนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง โดยทำการประเมินจากแบบประเมินที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น เพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณภาพ
2. จากนั้นผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการประเมินของกลุ่มตัวอย่างทั้งทางด้านเนื้อหา และทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อมาวิเคราะห์เพื่อหาคุณภาพ ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ต่อไป

5.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคุณภาพชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ซึ่งการวิเคราะห์คุณภาพผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์จากการประเมินของกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำการประเมินตามแบบประเมินที่ผู้วิจัยได้ทำขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ด้านคือด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อแล้วนำมาประเมินหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อให้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่า ความเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ประเมินชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ง่ายและเหมาะสมแก่การเรียนการสอนและมีคุณภาพตามเกณฑ์ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.50 ขึ้นไป

5.1.7 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว สามารถนำมาสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเนื้อหาในใบงานการทดลองที่ 1 จากตารางที่ 4.1 พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.62 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีความเห็นทางด้านเนื้อหาประเมินให้รายการข้อ 1. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหาของใบงาน ข้อ 4.ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วน

ของเนื้อหาภายในของใบงาน ข้อ 10. ใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของผู้เรียน มีคุณภาพดีมาก

สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเนื้อหาในใบงานการทดลองที่ 2 จากตารางที่ 4.2 พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.61 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีความเห็นทางด้านเนื้อหาประเมินให้รายการ ข้อ 4. ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในของใบงาน ข้อ 7. ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ในการเรียนรู้ มีคุณภาพดีมาก

สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเนื้อหาในใบงานการทดลองที่ 3 จากตารางที่ 4.3 พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.62 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีความเห็นทางด้านเนื้อหาประเมินให้รายการข้อ 4.ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในของใบงาน ข้อ 5.ใบงานการทดลองมีความชัดเจนเหมาะสมของขนาดรูปภาพ ข้อ 7.ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ในการเรียนรู้ มีคุณภาพดีมาก

สรุปผลการวิเคราะห์หาคุณภาพทางด้านเนื้อหาโดยรวมของแบบทดสอบท้ายใบงานการทดลองประกอบชุดสาริการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นว่ายู่ในระดับดี

สรุปผลการวิเคราะห์ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นว่ายู่ในระดับดีของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในของใบงานทั้งสามใบงานมีคุณภาพดีมาก และเมื่อหาคุณภาพทางด้านเนื้อหาของชุดสาริการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลโดยภาพรวมทั้ง 3 ใบงานการทดลองอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.62

สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพของเอกสารประกอบชุดสาริการทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อของชุดสาริการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นว่ายู่ในระดับดีถึงดีมาก

สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพของตัวเครื่องสาริการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอลทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อพบว่ายู่ในระดับดีถึงดีมาก

สรุปผลการวิเคราะห์หาคุณภาพทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อของชุดสาริการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล โดยภาพรวมพบว่ายู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.65 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีความเห็นทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อประเมินให้

รายการ ข้อ1. ดึงดูดความสนใจในการทดลองใช้ชุดสาธิต ข้อ2. รูปแบบของชุดสาธิตกระตุ้นและจูงใจผู้ทดลอง ข้อ6. ชุดสาธิตที่สร้างขึ้นมานี้สามารถพัฒนาการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี ข้อ7. ชุดสาธิตสร้างเสริมประสบการณ์ในการฝึกทักษะความรู้ใหม่ๆ ข้อ8. ชุดสาธิตใช้งานได้สะดวก และเป็นไปตามขั้นตอน ข้อ9. ชุดสาธิตมีลำดับขั้นตอนการทดลองสัมพันธ์กับคู่มือการทดลอง ข้อ11. มีความปลอดภัยในขณะทำการทดลอง ข้อ13. รูปร่างและขนาดของชุดสาธิตมีความเหมาะสม ข้อ15. จอแสดงผล หลอดไฟแสดงผลมีความชัดเจน มีคุณภาพดีมาก

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัล ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย โดยความเห็นจากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 5 ท่าน รวมด้านเนื้อหาของใบงานการทดลอง มีคุณภาพอยู่ในระดับดีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.60 และด้านเทคนิคการผลิตสื่อของชุดสาธิตมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.65

จากการประเมินคุณภาพทางด้านเนื้อหาของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัลจากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 5 ท่าน เกี่ยวกับใบงานการทดลองได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.62 ถือว่ามีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์โดยทั้ง 3 ใบงานการทดลอง อยู่ในระดับดีขึ้นไปเนื่องจากการออกแบบและกำหนดลำดับขั้นตอนในการเรียนรู้การทำใบงานการทดลองของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัล มีการกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมอย่างชัดเจน การจัดทำทฤษฎีที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ ในขณะที่ทำการศึกษาและทดลอง ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัลที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้สร้างสถานการณ์การเรียนการสอนทัวไปโดยให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้เรียนไปประยุกต์ใช้งานได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุนทร ก้องสินธุ(2547 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดฝึกการเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS -51 ผลการวิจัยพบว่าชุดฝึกการเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS -51 ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพด้านเนื้อหาในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.46 ซึ่งคุณภาพของชุดฝึกการเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS -51 ที่ได้นี้เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย และ งานวิจัยของ สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี(2546 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ผลการวิจัยพบว่าวงจรและโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์PIC 16F876 ที่ได้สร้างขึ้นมีคุณภาพทางด้านการศึกษาในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ

0.60 ซึ่งคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ได้นี้เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

จากการประเมินคุณภาพทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล โดยความเห็นของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 5 ท่าน เกี่ยวกับชุดสาธิตได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.65 ซึ่งถือได้ว่ามีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดีขึ้นไป เนื่องจากการออกแบบชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ที่สร้างขึ้นดึงดูดความสนใจในการทดลองใช้ชุดสาธิต กระตุ้นและจูงใจผู้ทดลองให้สามารถพัฒนาการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดีช่วยสร้างเสริมประสบการณ์ในการฝึกทักษะความรู้ใหม่ๆ ชุดสาธิตใช้งานได้สะดวก และเป็นไปตามขั้นตอน มีความปลอดภัยในขณะที่ทำการทดลอง รูปร่างและขนาดของชุดสาธิตมีความเหมาะสม จอแสดงผล หลอดไฟแสดงผลมีความชัดเจน มีคุณภาพดีมากสะดวกในการนำไปใช้สร้างสถานการณ์การเรียนการสอนต่างๆ ไปซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี(2546 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการออกแบบวงจร และสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ผลการวิจัยพบว่าวงจรและโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ได้สร้างขึ้นมีคุณภาพทางด้านวิศวกรรมในระดับดีมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.58 ซึ่งคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ได้นี้เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย และงานวิจัยของ สุนทร ก้องสินธุ (2547 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดฝึกการเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ผลการวิจัยพบว่าชุดฝึกการเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS -51 ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อในระดับดีมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.45 ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.3.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

1. ในการใช้ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ผู้สอนควรนำเสนอสาธิตควบคู่ไปกับบทเรียนเดิม
2. ผู้สอนควรแนะนำให้นักศึกษาทดลองใช้หลักการที่ได้จากการศึกษาทดลองชุดสาธิตไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์
- 3.สถานศึกษาควรส่งเสริมให้ใช้ ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลควบคู่กับบทเรียนเดิมเพื่อให้นักศึกษาได้ความรู้อย่างเต็มที่

5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. เนื่องจากชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ยังมีทรัพยากรที่ใช้ในระบบประมวลผลเหลืออยู่อีกมาก จึงควรเพิ่มการทดลองหรือการแสดงผลได้อีก
2. ควรมีการนำชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้กับผู้เรียนจริง เพื่อศึกษาการเรียนรู้ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัลของผู้เรียนและนำข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นไปปรับปรุงคุณภาพของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัล
3. ควรมีการนำชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล ที่สร้างขึ้นไปทำการหาประสิทธิภาพของชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัลจากการทดลองใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษา
4. การแสดงผล ในชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัล อาจจะลดจำนวนจอแสดงผลให้น้อยลง
5. วัสดุการใช้งานเช่น LED, Switch และจอแสดงผล มีให้เพียงพอต่อการใช้งาน และสามารถออกแบบวงจรที่นอกเหนือจากใบงานการทดลองเดิมได้ด้วย
6. ใบงานการทดลองควรมีการทดลองที่สอดคล้องกับชุดฝึกทดลอง และมีการอธิบายขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียดเพื่อความสะดวกในการทดลอง และภาษาการเขียนอ่านแล้วสามารถเข้าใจง่าย
7. ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัลที่สร้างขึ้น เมื่อทำการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างแล้ว เมื่อแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆเสร็จควรที่จะสร้างออกมาเป็นเชิงพาณิชย์กรรมคือ เพื่อให้บุคคลทั่วไปที่สนใจได้มีโอกาสได้ทดลองใช้งาน

บรรณานุกรม

- จรินทร์ จุลวานิช. 2541. “การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอน วิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ถวิล กิ่งทอง. 2534. การส่งสัญญาณดิจิทัล .ภาควิศวกรรมโทรคมนาคมคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ธีรศักดิ์ อังสกุลและคณะ. 2533. การออกแบบวงจรเฉพาะกิจ PRESET COUNTER. กรุงเทพฯ : โครงการวิจัยและพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ปีงบประมาณ 2533.
- รัชชชัย ธรรมประสิทธิ์. 2541. สร้างแบบจำลองการป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ. กรุงเทพฯ : โครงการวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ปีงบประมาณ 2541
- ประกาศิต ต้นตือลงการ. 2535. “การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาวิทยาลัย สาขาวิชาไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ปราโมทย์ ฤกษ์มงคล 2544 . “เรื่องการสร้างแบบเรียนคอมพิวเตอร์ซ่อมเสริมเรื่องส่วนประกอบสำคัญของคอมพิวเตอร์” สาขาเทคโนโลยีการศึกษาทางการอาชีวะและเทคนิคศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พิสิฐ เมธาภัทร และธีรพล เมธิกุล. 2529. เทคนิควิธีการเรียนการสอนวิชาเทคนิค. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พุทธทอง โพรธิปัญญา. 2540. “การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาวิทยาลัย ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พรชัย ภาววงษ์ศักดิ์. 2541 การประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบื้องต้น .ภาควิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
- ภาวนา ชูศิริ. 2547 . “โปรแกรมสาธิตการวิเคราะห์การวางแผนโดยวิธีการประเมิณผล และการตรวจสอบรายการ” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาวิทยาลัย คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2543. สื่อการเรียนการสอน Instructional Media 200231. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วารินทร์ รัศมีพรหม. 2532 .สื่อการสอนเทคโนโลยีทางการศึกษาและการสอนร่วมสมัย. กรุงเทพฯ :
ชวนพิมพ์.
- วิชัย เอี่ยมสินวัฒนาและคณะ. 2534. ชุดฝึกการประยุกต์ไมโครคอมพิวเตอร์กับการวิเคราะห์และ
ควบคุมระบบในขบวนการทางอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ :โครงการวิจัยและพัฒนา
วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ปีงบประมาณ 2534
- วรวิทย์ สมหา. 2541. “การคอนไตร์เวคเตอร์เพื่อเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการสร้างให้ทำงานบน
TMS –320C30” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ศักรินทร์ โสภนัทธ. 2542. “การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองวิชา 111-363 ปฏิบัติการไฟ
ฟ้าสื่อสาร” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า บัณฑิต
วิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ศิริพร ขอพรกลาง. 2545.การควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์หนังสือพระจอมเกล้าพระ
นครเหนือ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- สุนทร ก้องสินธุ. 2547. “การพัฒนาชุดฝึกเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51”
วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมสาขา
วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี. 2546. “การออกแบบวงจรและสร้างไมโครบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโคร
คอนโทรลเลอร์ PIC16F876” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต คณะคร
ุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง
- สมพร จารุณี. 2535. การออกแบบการเรียนการสอนเพื่อให้เกิดการเรียนรู้. กรุงเทพฯ : ศูนย์พัฒนา
หนังสือ กรมวิชาการ.

ภาคผนวก ก.

หนังสือราชการ



ที่ ศธ 0524.04 0603

คณะกรรมการอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๘ กุมภาพันธ์ 2549

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์สมบูรณ์ เนียมกล้า

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินเพื่อการวิจัย

ด้วย นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรศาสตร
อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “แสงสาดวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล”
โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์
เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการอุดมศึกษา พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับ
เรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามี
เนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ
นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็น
อย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)

รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 326-4325



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร.3692

ที่ ศท 0524.04 0603 วันที่ ๕ กุมภาพันธ์ 2549

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์วรวิทย์ สมหา

ด้วย นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์
อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “แผนสารคดีวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล”
โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.พิระวุฒิ สุวรรณจันทร์
เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มี
ความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมิน
ดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วย
ให้งานวิจัยของ นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมิน
เพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็น
อย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)

รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี



ที่ ศธ 0524.04/ 0603

คณะกรรมการอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๘ กุมภาพันธ์ 2549

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์มนตรี พรหมเพชร

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินเพื่อการวิจัย

ด้วย นายหาญชัย นั้วประดิษฐ์ภักดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์
อุดมศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “แผนผังวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล”
โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์
เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการอุดมศึกษา พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับ
เรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามี
เนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ
นายหาญชัย นั้วประดิษฐ์ภักดิ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็น
อย่างขิงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)

รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 326-4325



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร.3692
ที่ ศธ 0524.04 / 2133 วันที่ 9 พฤษภาคม 2549

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.ดร.เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม

ด้วย นายหาญชัย ล้วประดิษฐ์ภักดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “แมงสาธิตวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล” โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ชาติ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่า เบื้องกหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายหาญชัย ล้วประดิษฐ์ภักดิ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินเพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)

รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร.3692

ที่ ศธ 0524.04 / **2133** วันที่ 9 พฤษภาคม 2549

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.ดร.วิไลพร วรจิตตานนท์

ด้วย นายหาญชัย จิวประดิษฐ์ภักดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “แผนผังวงจรจรรยาและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์มือถือ” โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ รัตติ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินดังที่แนบมาหรือเห็นว่าเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายหาญชัย จิวประดิษฐ์ภักดิ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินเพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลั่นหอม)

รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี



ที่ ศธ 0524.04 0634

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

9 กุมภาพันธ์ 2549

เรื่อง ขอลาความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถานศึกษา วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาบุรี

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. ประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน : ฉบับ
2. แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

ด้วย นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์
อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “แผงสาธิตวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์
ดิจิตอล” โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ
ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้า
โครงวิทยานิพนธ์แล้ว เมื่อวันที่ 8 กันยายน 2548 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จึงขอความอนุเคราะห์
จากท่านโปรดอนุญาตให้ นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม
กับอาจารย์ แผนกวิชาอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการวิจัยภายในสถานศึกษาท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของงานมา ณ
โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 326-4325



ที่ ศธ 0522.04 0634

คณะกรรมการอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนจตุรพักตรพิมาน เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

๑ กุมภาพันธ์ 2549

เรื่อง ขอลาอนุเคราะห์ให้นักศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถานศึกษา วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี

- สิ่งที่ส่งมาด้วย
1. ประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ฉบับ
 2. แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

ด้วย นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรศาสตร
อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “แผนผังวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์
ดิจิทัล” โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ
ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้า
โครงวิทยานิพนธ์แล้ว เมื่อวันที่ 8 กันยายน 2548 คณะกรรมการอุดมศึกษา จึงขอความอนุเคราะห์
จากท่านโปรดอนุญาตให้ นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม
กับอาจารย์ แผนกวิชาอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการวิจัยภายในสถานศึกษาท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ
โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)

รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 326-4325



ที่ ศธ 0524.04 0634

คณะกรรมการอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

9 กุมภาพันธ์ 2549

เรื่อง ขอลาออกเพราะให้ให้นักศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถานศึกษา วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. ประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ฉบับ
2. แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

ด้วย นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรศาสตร
อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “แผนสาริตวงจรเข้าและถอครหัสสัญญาณโทรศัพท์
ดิจิตอล” โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ
ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้า
โครงวิทยานิพนธ์แล้ว เมื่อวันที่ 8 กันยายน 2548 คณะกรรมาธิการอุดมศึกษา จึงขอความอนุเคราะห์
จากท่านโปรดอนุญาตให้ นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม
กับอาจารย์ แผนกวิชาอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการวิจัยภายในสถานศึกษาท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ
โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)

รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา

ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 326-4325



ที่ ศธ 0524.04 0634

คณะกรรมการอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

๑ กุมภาพันธ์ 2549

เรื่อง ขอกความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถานศึกษา วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. ประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ฉบับ
2. แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

ด้วย นายหาญชัย จั้วประดิษฐ์ภักดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร
อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “แผงสาริตดวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรทัศน์
ดิจิตอล” โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ
ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้า
โครงวิทยานิพนธ์แล้ว เมื่อวันที่ 8 กันยายน 2548 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จึงขอกความอนุเคราะห์
จากท่านโปรดอนุญาตให้ นายหาญชัย จั้วประดิษฐ์ภักดิ์ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม
กับอาจารย์ แผนกวิชาอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการวิจัยภายในสถานศึกษาท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ
โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02- 326-4325



ที่ สพ 0524.04 0634

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๑ กุมภาพันธ์ 2549

เรื่อง ขอลงความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถานศึกษา วิทยาลัยเทคนิคราชสีหราชราม

- สิ่งที่ส่งมาด้วย
1. ประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ฉบับ
 2. แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

ด้วย นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์
อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “แมงสาธิตวงจรเข้าและวงจรหีสัญญาณโทรศัพท์
ดิจิตอล” โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ
ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้า
โครงวิทยานิพนธ์แล้ว เมื่อวันที่ 8 กันยายน 2548 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จึงขอความอนุเคราะห์
จากท่านโปรดอนุญาตให้ นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม
กับอาจารย์ แผนกวิชาอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการวิจัยภายในสถานศึกษาท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ
โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา

โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692

โทรสาร. 02-326-4325



ประกาศบัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการดังนี้

นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์ รหัสประจำตัว 44064618 ให้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “แผนผังติดตั้งวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล (DIGITAL TELEPHONE SIGNAL CODING & DECODING DEMONSTRATION)” โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ซึ่งได้รับอนุมัติเมื่อวันที่ 8 กันยายน 2548

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษากับอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของบัณฑิตวิทยาลัย

ประกาศ ณ วันที่ 20 กันยายน พ.ศ.2548

(รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัด)

รองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

แบบประเมินคุณภาพ

แบบประเมินคุณภาพชุดสาริตวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล

คำชี้แจง

แบบสอบถามชุดนี้แบ่งออกเป็น 5 ตอน

ตอนที่ 1 โปรดแสดงความคิดเห็นของท่าน เกี่ยวกับชุดสาริต (ด้านเนื้อหา) ใบงานการทดลองที่ 1

ตอนที่ 2 โปรดแสดงความคิดเห็นของท่าน เกี่ยวกับชุดสาริต (ด้านเนื้อหา) ใบงานการทดลองที่ 2

ตอนที่ 3 โปรดแสดงความคิดเห็นของท่าน เกี่ยวกับชุดสาริต (ด้านเนื้อหา) ใบงานการทดลองที่ 3

ตอนที่ 4 โปรดแสดงความคิดเห็นของท่าน เกี่ยวกับชุดสาริต (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)

ตอนที่ 5 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

การประเมิน

ตอนที่ 1 ถึง 4 กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความหมายดังนี้

- | | | |
|---|--------------|--------------------|
| 5 | มีค่าเท่ากับ | เห็นด้วยมากที่สุด |
| 4 | มีค่าเท่ากับ | เห็นด้วยมาก |
| 3 | มีค่าเท่ากับ | เห็นด้วยปานกลาง |
| 2 | มีค่าเท่ากับ | เห็นด้วยน้อย |
| 1 | มีค่าเท่ากับ | เห็นด้วยน้อยที่สุด |

ตอนที่ 5 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ เพื่อให้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงต่อไป

ตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว

ลงนามชื่อ

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

ตอนที่ 1 โปรดแสดงความคิดเห็นของท่าน เกี่ยวกับชุดสาธิต (ด้านเนื้อหา) ใบบงานการทดลองที่ 1
คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ				
		5 มากที่สุด	4 มาก	3 ปาน กลาง	2 น้อย	1 น้อย ที่สุด
1.	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหา ของใบบงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
2.	เนื้อหาทฤษฎีมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบบงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
3.	คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองมีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....
4.	ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วน ของเนื้อหาภายในของใบบงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
5.	ใบบงานการทดลองมีความชัดเจนเหมาะสมของขนาดรูป ภาพ.....	.....	.....	.....	.....	.....
6.	ใบบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้	.....	.....	.....	.....	.....
7.	ใบบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิด สร้างสรรค์ในการเรียนรู้.....	.....	.....	.....	.....	.....
8.	คำถามท้ายใบบงานทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งขึ้น.....	.....	.....	.....	.....	.....
9.	คำถามท้ายการทดลองมีประมาณเหมาะสมกับใบบงาน ทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
10.	ใบบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของ ผู้เรียน	.....	.....	.....	.....	.....
11.	ใบบงานทดลองสามารถนำไปใช้สร้างสถานการณ์การเรียน การสอนทัวๆไป.....	.....	.....	.....	.....	.....
12.	ผู้ทดลองสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 2 โปรดแสดงความคิดเห็นของท่าน เกี่ยวกับชุดสารคดี (ด้านเนื้อหา) ใบงานการทดลองที่ 2
คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ				
		5 มากที่สุด	4 มาก	3 ปาน กลาง	2 น้อย	1 น้อย ที่สุด
1.	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหา ของใบงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
2.	เนื้อหาทฤษฎีมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
3.	คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองมีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....
4.	ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วน ของเนื้อหาภายในของใบงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
5.	ใบงานการทดลองมีความชัดเจนเหมาะสมของขนาดรูป ภาพ.....	.....	.....	.....	.....	.....
6.	ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้	.....	.....	.....	.....	.....
7.	ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิด สร้างสรรค์ในการเรียนรู้.....	.....	.....	.....	.....	.....
8.	คำถามท้ายใบงานทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิง พฤติกรรมที่ตั้งขึ้น.....	.....	.....	.....	.....	.....
9.	คำถามท้ายการทดลองมีปริมาณเหมาะสมกับใบงาน ทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
10.	ใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของ ผู้เรียน	.....	.....	.....	.....	.....
11.	ใบงานทดลองสามารถนำไปใช้สร้างสถานการณ์การเรียน การสอนต่างๆไป.....	.....	.....	.....	.....	.....
12.	ผู้ทดลองสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 3 โปรดแสดงความคิดเห็นของท่าน เกี่ยวกับชุดสาริต (ด้านเนื้อหา) ใบงานการทดลองที่ 3
คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ				
		5 มากที่สุด	4 มาก	3 ปานกลาง	2 น้อย	1 น้อยที่สุด
1.	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหา ของใบงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
2.	เนื้อหาทฤษฎีมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
3.	คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองมีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....
4.	ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วน ของเนื้อหาภายในของใบงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
5.	ใบงานการทดลองมีความชัดเจนเหมาะสมของขนาดรูป ภาพ.....	.....	.....	.....	.....	.....
6.	ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้	.....	.....	.....	.....	.....
7.	ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิด สร้างสรรค์ในการเรียนรู้.....	.....	.....	.....	.....	.....
8.	คำถามท้ายใบงานทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งขึ้น.....	.....	.....	.....	.....	.....
9.	คำถามท้ายการทดลองมีปริมาณเหมาะสมกับใบงาน ทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
10.	ใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของ ผู้เรียน	.....	.....	.....	.....	.....
11.	ใบงานทดลองสามารถนำไปใช้สร้างสถานการณ์การเรียน การสอนต่างๆไป.....	.....	.....	.....	.....	.....
12.	ผู้ทดลองสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 4 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อชุดสาริต(ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ				
		5 มาก ที่สุด	4 มาก	3 ปาน กลาง	2 น้อย	1 น้อย ที่สุด
1.	ดึงดูดความสนใจในการทดลองใช้ชุดสาริต.....	.....	.....	.....	.....	.....
2.	รูปแบบของชุดสาริตกระตุ้นและจูงใจผู้ทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
3.	มีความเหมาะสมกับระดับความรู้ของผู้ทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
4.	ชุดสาริตสามารถทำให้ผู้ทดลองบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้.....	.....	.....	.....	.....	.....
5.	สามารถนำความรู้เดิมที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้งานกับชุดสาริต.....	.....	.....	.....	.....	.....
6.	ชุดสาริตที่สร้างขึ้นมานี้สามารถพัฒนาการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี.....	.....	.....	.....	.....	.....
7.	ชุดสาริตสร้างเสริมประสบการณ์ในการฝึกทักษะความรู้ใหม่ๆ.....	.....	.....	.....	.....	.....
8.	ชุดสาริตใช้งานได้สะดวก และเป็นไปตามขั้นตอน..	.....	.....	.....	.....	.....
9.	ชุดสาริตมีลำดับขั้นตอนการทดลองสัมพันธ์กับคู่มือการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
10.	มีความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....	.....
11.	มีความปลอดภัยในขณะที่ทำการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
12.	การจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์มีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....
13.	รูปร่างและขนาดของชุดสาริตมีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....
14.	ปุ่มกด และ Switch ต่างๆเหมาะสมกับชุดสาริต.....	.....	.....	.....	.....	.....

ภาคผนวก ค.

แบบประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC)

การหาคุณภาพของแบบทดสอบ

แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบภาคทฤษฎีกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
เรื่องชุดสาริตถวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล

คำชี้แจง ให้ท่านกาเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่าง ที่ตรงกับความคิดเห็นว่าแบบทดสอบแต่ละข้อมีค่า
ความสอดคล้องกับพฤติกรรมการเรียนรู้มากหรือน้อย โดยพิจารณาดังนี้

- +1 แบบทดสอบข้อนี้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนด
- 0 ไม่แน่ใจว่าแบบทดสอบข้อนี้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนด
- 1 แบบทดสอบข้อนี้ไม่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนด

หมายเหตุ ผลการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิแต่ละข้อจะนำไปหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อ
สอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม จากนั้นเลือกข้อสอบที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.5 ขึ้น
ไป เก็บไว้ ส่วนข้อสอบที่มีดัชนีความสอดคล้องน้อยกว่า 0.5 นำไปปรับปรุงให้ได้ตามเกณฑ์

ตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว

ลงนามชื่อ

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

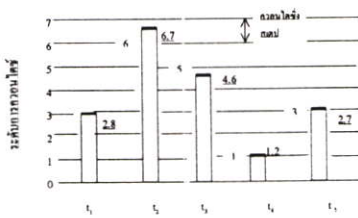
1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM ได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถหาค่าความถี่ที่เหมาะสมในการ Sampling ได้
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ DPCM ได้
4. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถหาค่ารหัสสัญญาณแบบ DPCM ได้
5. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM ได้
6. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของการเข้ารหัสแบบ DPCM กับ ADPCM

แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบภาคทฤษฎีกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

ข้อที่	ข้อสอบ	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
วัตถุประสงค์ที่ 1. เพื่อให้ให้นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM ได้				
1	จงเรียงลำดับขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ PCM			
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>1</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 80px;"> <p>แซมปลิ่ง (Sampling)</p> </div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>2</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 80px;"> <p>เข้ารหัส (CODE)</p> </div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>3</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 80px;"> <p>จัดระดับ (Quantization)</p> </div> </div> </div> <p>ก. 1,2,3 ข. 1,3,2 ค. 2,1,3 ง. 2,3,1 จ. 3,1,2</p>			
2	จงเรียงลำดับขั้นตอนวิธีการถอดรหัสสัญญาณแบบ PCM			
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>1</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 80px;"> <p>พัลส์ PAM เอ็กซ์เฟนชั่น</p> </div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>2</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 80px;"> <p>ถอดรหัส (DECODE)</p> </div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>3</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 80px;"> <p>วงจรกรอง สร้างสัญญาณคืน</p> </div> </div> </div> <p>ก. 1,2,3 ข. 1,3,2 ค. 2,1,3 ง. 2,3,1 จ. 3,1,2</p>			

ข้อที่	ข้อสอบ	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
3	ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณของ Shannon ระบุไว้ว่าอย่างไร			
	ก. ความถี่ของสัญญาณจะต้องเท่ากับความถี่ที่ใช้สุ่ม ข. ความถี่ของสัญญาณจะต้องมากกว่าความถี่ที่ใช้ในการสุ่ม ค. ความถี่ที่ใช้ในการสุ่มจะต้องมีค่ามากกว่าความถี่ของสัญญาณมากๆ ง. ความถี่ที่ใช้ในการสุ่มจะต้องมีค่ามากกว่าสองเท่าของความถี่ต่ำสุดในสัญญาณ จ. ความถี่ที่ใช้ในการสุ่มจะต้องมีค่ามากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดในสัญญาณ			
4	ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการจัดระดับเรียกว่าอะไร			
	ก. ควอนไทซิงนอยส์ (Quantizing noise) ข. ควอนไทซิงเลเวล (Quantizing level) ค. ควอนไทซิงไลน์ (Quantizing line) ง. ควอนไทซิงแซมเปิล (Quantizing sample) จ. ควอนไทซิงอินเทอร์วัล (Quantizing interval)			
5	ระยะห่างระหว่างระดับข้างเคียงเรียกว่าอะไร			
	ก. ควอนไทซิงนอยส์ (Quantizing noise) ข. ควอนไทซิงเลเวล (Quantizing level) ค. ควอนไทซิงไลน์ (Quantizing line) ง. ควอนไทซิงแซมเปิล (Quantizing sample) จ. ควอนไทซิงอินเทอร์วัล (Quantizing interval)			
6	วงจรกรองที่ใช้ในการถอดรหัสสัญญาณ PCM คือข้อใด			
	ก. วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน ข. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ค. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน ง. วงจรกรองความถี่สุ่มผ่าน จ. วงจรกรองแถบความถี่ไม่ผ่าน			

ข้อที่	ข้อสอบ	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
7	ข้อใดกล่าวถูกต้องที่สุด			
	ก. ถ้าระดับการสุ่มสัญญาณต่ำจะทำให้ได้ระดับสัญญาณต่ำ ข. ถ้าเพิ่มระดับการสุ่มสัญญาณจะทำให้เพิ่มระดับสัญญาณรบกวน ค. ถ้าเพิ่มระดับการสุ่มสัญญาณจะต้องทำการเพิ่มความถี่สุ่มสัญญาณ ง. ถ้าต้องการลดค่าผิดพลาดที่เกิดจากการจัดระดับจะต้องเพิ่มระดับการสุ่มสัญญาณ จ. ถ้าต้องการลดค่าผิดพลาดที่เกิดจากการจัดระดับจะต้องเพิ่มค่าความถี่สุ่มสัญญาณ			
8	ข้อใดคือผลที่เกิดจากการเพิ่มจำนวนระดับในสุ่มสัญญาณ			
	ก. ลดควอนไทซ์นอยส์ (Quantizing noise) ข. ลดควอนไทซ์เลเวล (Quantizing level) ค. ลดควอนไทซ์ไลน์ (Quantizing line) ง. ลดควอนไทซ์แซมเปิล (Quantizing sample) จ. ลดควอนไทซ์อินเทอร์วัล (Quantizing interval)			
9	ข้อใดคือผลที่เกิดจากการเพิ่มความถี่สุ่มสัญญาณ			
	ก. ทำให้ระดับของสัญญาณเพิ่มขึ้น ข. ทำให้ความถี่ของสัญญาณเพิ่มขึ้น ค. ทำให้พื้นที่การเก็บข้อมูลลดลง ง. ทำให้สร้างสัญญาณรบกวนมากขึ้น จ. ทำให้สร้างสัญญาณคืนได้เหมือนสัญญาณเดิมมากขึ้น			
วัตถุประสงค์ที่ 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถหาค่าความถี่ที่เหมาะสมในการ Sampling ได้				
10	ถ้าความถี่ของสัญญาณอยู่ระหว่าง 0.3-3.4 kHz ดังนั้นอัตราการสุ่มสัญญาณต่ำสุดจะต้องเท่ากับเท่าไร			
	ก. 0.3 kHz ข. 0.6 kHz ค. 3.4 kHz ง. 6.8 kHz จ. 8.0 kHz			

ข้อที่	ข้อสอบ	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
11	สัญญาณมีขนาด 5 V ทำการจัดระดับได้เท่ากับ 255 มีระยะห่างระหว่างระดับข้างเคียงเท่ากับเท่าไร			
	ก. 19.6 mV ข. 39.2 mV ค. 78.4 mV ง. 156.8 mV จ. 313.7 mV			
12	จากรูปด้านล่างสัญญาณสุ่มที่ t_2 เมื่อผ่านการจัดระดับแล้วจะได้ค่าสัญญาณเท่าไร			
	 <p>ระดับการกวนได้</p> <p>ก. 6 ข. 6.7 ค. 7 ง. ข้อ ก. และ ข้อ ข. ถูก จ. ข้อ ข. และ ข้อ ค. ถูก</p>			
13	จากรูปข้อ 12. สัญญาณสุ่มที่ t_4 เมื่อผ่านการจัดระดับแล้วจะได้ค่าสัญญาณเท่าไร			
	ก. 1 ข. 1.2 ค. 2 ง. ข้อ ก. และ ข้อ ข. ถูก จ. ข้อ ข. และ ข้อ ค. ถูก			

ข้อที่	ข้อสอบ	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
วัตถุประสงค์ที่ 3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ DPCM ได้				
14	DPCM ย่อมาจากคำว่าอะไร			
	ก. Differential Pulse Compression Modulation ข. Differential Pulse Compressed Modulation ค. Differential Pulse Code Modulation ง. Delta Pulse Code Modulation จ. ข้อ ค. และ ข้อ ง.			
15	จุดประสงค์ของการเข้ารหัสสัญญาณแบบ DPCM คืออะไร			
	ก. เพื่อลดระดับของสัญญาณ PCM ข. เพื่อลดระดับความถี่ของสัญญาณ PCM ค. เพื่อลดระดับของรหัสสัญญาณ PCM ง. เพื่อลดจำนวนบิตข้อมูลของรหัสสัญญาณ PCM จ. เพื่อลดความถี่ในการเก็บตัวอย่างรหัสสัญญาณ PCM			
16	วิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ DPCM คือข้อใด			
	ก. รหัสสัญญาณแบบ DPCM ปัจจุบันได้จาก รหัสสัญญาณ PCM ปัจจุบัน บวก ด้วย รหัสสัญญาณ PCM ก่อนหน้า ข. รหัสสัญญาณแบบ DPCM ปัจจุบันได้จาก รหัสสัญญาณ PCM ปัจจุบัน ลบ ด้วย รหัสสัญญาณ PCM ก่อนหน้า ค. รหัสสัญญาณแบบ DPCM ปัจจุบันได้จาก รหัสสัญญาณ PCM ก่อนหน้า ลบ ด้วย รหัสสัญญาณ PCM ปัจจุบัน ง. รหัสสัญญาณแบบ DPCM ต่อไปได้จาก รหัสสัญญาณ PCM ปัจจุบัน ลบ ด้วย รหัสสัญญาณ PCM ก่อนหน้า จ. รหัสสัญญาณแบบ DPCM ต่อไปได้จาก รหัสสัญญาณ PCM ก่อนหน้า ลบ ด้วย รหัสสัญญาณ PCM ปัจจุบัน			
17	ข้อดีของการเข้ารหัสแบบ DPCM คือข้อใด			
	ก. ทำให้ใช้พื้นที่เก็บข้อมูลรหัสน้อยลงกว่าระบบ PCM ข. ทำให้จำนวนบิตที่ส่งข้อมูลน้อยลงกว่าระบบ PCM ค. คุณภาพของสัญญาณที่ถอดรหัสอยู่ในขั้นดี ถึงดีมาก			

ข้อที่	ข้อสอบ	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
	ง. ข้อ ก,ข และ ค จ. ไม่มีคำตอบที่ถูกต้อง			
18	การถอดรหัสสัญญาณแบบ DPCM กลับเป็นรหัสสัญญาณแบบ PCM คือข้อใด			
	ก. รหัส PCM ตัวต่อไป ได้จากรหัส DPCM ตัวก่อนหน้า บวก ด้วยรหัส DPCM ตัวปัจจุบัน ข. รหัส PCM ตัวต่อไป ได้จากรหัส DPCM ตัวก่อนหน้า ลบ ด้วยสัญญาณ DPCM ตัวปัจจุบัน ค. รหัส PCM ตัวต่อไป ได้จากรหัส DPCM ตัวก่อนหน้า บวก ด้วยรหัส PCM ตัวปัจจุบัน ง. รหัส PCM ตัวต่อไป ได้จากรหัส DPCM ตัวต่อไป ลบ ด้วยรหัส PCM ตัวปัจจุบัน จ. รหัส PCM ตัวต่อไป ได้จากรหัส DPCM ตัวต่อไป บวก ด้วยรหัส PCM ตัวปัจจุบัน			
วัตถุประสงค์ที่ 4. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกการหาตัวรหัสสัญญาณแบบ DPCM ได้				
19	จงหาค่าสัญญาณแบบ DPCM จากชุดสัญญาณแบบ PCM คือ 80,100,50,70,90,130,120 โดยกำหนดให้ค่าประมาณการสัญญาณเริ่มต้นที่ 127			
	ก. 80 , 20 , -50 , 20 , 20 , 40 , -10 ข. -80 , 20 , -50 , 20 , 20 , 40 , -10 ค. 45 , 20 , -50 , 20 , 20 , 40 , -10 ง. -45 , 20 , -50 , 20 , 20 , 40 , -10 จ. 127 , 20 , -50 , 20 , 20 , 40 , -10			
20	จงหาค่าสัญญาณแบบ PCM จากชุดสัญญาณแบบ DPCM คือ 10,25,-30,10,-25,30,25 โดยกำหนดให้ค่าประมาณการสัญญาณเริ่มต้นที่ 127			
	ก. 127 , 200 , 250 , 195 , 220 , 240 , 250 ข. 137 , 162 , 132 , 140 , 115 , 145 , 180 ค. 145 , 220 , 250 , 220 , 110 , 140 , 210			

ข้อที่	ข้อสอบ	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
	ง. 180 , 120 , 150 , 220 , 120 , 140 , 210 จ. 235 , 250 , 220 , 220 , 245 , 140 , 210			
วัตถุประสงค์ที่ 5. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM ได้				
21	ADPCM ย่อมาจากคำว่าอะไร			
	ก. Auto Differential Pulse Compression Modulation ข. Analog Differential Pulse Compressed Modulation ค. Adaptive Differential Pulse Code Modulation ง. Amplitude Delta Pulse Code Modulation จ. Amplifier Duplex Pulse Code Modulation			
22	ข้อใดกล่าวถึงวิธีการเข้ารหัสแบบ ADPCM			
	ก. การเข้ารหัสด้วยการสุ่มตัวอย่างสัญญาณด้วยความถี่ที่มากกว่าสองเท่าของสัญญาณ ข. การเข้ารหัสโดยการนำรหัสสัญญาณ DPCM มาปรับขึ้นระดับการควอนไทซ์ใหม่ ค. การเข้ารหัสโดยใช้ผลต่างระหว่างรหัสสัญญาณ PCM ง. การเข้ารหัสโดยขนาดข้อมูลเท่ากับ 8 บิต จ. การเข้ารหัสโดยการลดขนาดข้อมูล			
23	ข้อใดคือข้อดีของการเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM			
	ก. ลดจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสลงเหลือ 4 บิต ข. ใช้การเข้ารหัสจากผลต่างของสัญญาณข้างเคียงกันซึ่งมีค่าน้อย ค. เพิ่มคุณสมบัติในการปรับระดับการควอนไทซ์ ง. ประหยัดหน่วยความจำในการเก็บข้อมูล จ. ถูกทุกข้อ			
24	รหัสสัญญาณแบบ ADPCM 4 บิต “ 1000 ” บิตที่ 1 หมายถึงข้อใด			
	ก. ขนาดของรหัสสัญญาณเท่ากับ 8 ข. บิตเริ่มต้นรหัสสัญญาณ ค. สถานะของรหัสสัญญาณที่ตามหลัง			

ข้อที่	ข้อสอบ	เกณฑ์การพิจารณา		
		1	0	-1
	ง. สถานะของรหัสสัญญาณ 3 บิตที่ตามหลังเป็นบวก จ. พาริตีบิต			
วัตถุประสงค์ที่ 6. เพื่อให้ให้นักศึกษาสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของการเข้ารหัสแบบ DPCM กับ ADPCM				
25	ผลต่างของรหัสสัญญาณ DPCM = 35 เมื่อเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM เทากับข้อใด			
	ก. 1001 ข. 1010 ค. 1011 ง. 1100 จ. 1101			
ตอนที่ 2 ทำเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อที่กล่าวถูกต้องและ X หน้าข้อที่กล่าวผิด				
26	การลดระดับควอนไทซ์และลดความถี่สุ่มจะทำให้สามารถลดจำนวนบิตข้อมูลได้ดีที่สุด			
27	ADPCM เป็นกระบวนการเข้ารหัสที่สามารถลดจำนวนบิตข้อมูลได้			
28	เพื่อให้สามารถสร้างสัญญาณเดิมกับมาความถี่ที่ใช้ในการสุ่มต้องสูงกว่าความถี่สัญญาณ			
29	ระดับควอนไทซ์มากจะทำให้รหัสข้อมูลมีความผิดพลาดน้อยลง			
30	การเข้ารหัสแบบ DPCM ถ้าเพิ่มความถี่สุ่มสัญญาณจะทำให้จำนวนบิตข้อมูลลด			
31	การเข้ารหัสแบบ ADPCM ใช้ความถี่สุ่มสัญญาณสูงกว่าการเข้ารหัสแบบ DPCM			
32	การเข้ารหัสแบบ DPCM และ ADPCM ใช้ผลต่างของสัญญาณข้างเคียงในการเข้ารหัส			

**แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับความสอดคล้องของแบบ
ประเมินคุณภาพกับชุดสาคิการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญลักษณ์โทรศัพท์
ดิจิทัลเพื่อหาความสามารถในการวัดคุณภาพชุดสาคิการของแบบประเมินฯ**

คำชี้แจง

แบบแสดงความคิดเห็นชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 โปรดแสดงความคิดเห็นของท่าน เกี่ยวกับความสอดคล้องของแบบประเมินคุณภาพ(ด้านเนื้อหา)

ตอนที่ 2 โปรดแสดงความคิดเห็นของท่าน เกี่ยวกับความสอดคล้องของแบบประเมินคุณภาพ (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)

ตอนที่ 3 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

การประเมิน

ตอนที่ 1 และ 2 กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับความสอดคล้องเพียงช่องเดียว ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านว่าแบบประเมินคุณภาพแต่ละข้อมีโจทย์คำถามสามารถวัดคุณชุดสาคิการได้ ถูกต้องหรือไม่ โดยพิจารณาดังนี้

- +1 ท่านคิดว่าแบบประเมินข้อนั้นสอดคล้องกับนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย
- 0 ท่านไม่แน่ใจว่าแบบประเมินข้อนั้นสอดคล้องกับนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย
- 1 ท่านแน่ใจว่าแบบประเมินข้อนั้นไม่สอดคล้องกับนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

ตอนที่ 3 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ เพื่อให้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงต่อไป

หมายเหตุ

หากท่านทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง -1 ขอความกรุณาท่านช่วยให้ข้อเสนอแนะท้ายข้อ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงต่อไป

ตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว

ลงนามชื่อ

(.....)
ผู้ทรงคุณวุฒิ

นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1. คุณภาพด้านเนื้อหา หมายถึงเนื้อหาที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม และมีความถูกต้องเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน PCM
2. คุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อ หมายถึงความสามารถของสื่อที่สร้างขึ้น ใช้ในการประกอบการเรียน และกระตุ้นให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจได้ดีขึ้น

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวกับความสอดคล้องของแบบประเมินคุณภาพ(ด้านเนื้อหา)

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความที่ใช้ในการประเมิน	ระดับความสอดคล้อง			
		+1	0	-1	ข้อเสนอแนะ
1.	เนื้อหาของใบงานการทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม.....	.....	.....	.....	.....
2.	หัวข้อใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับเนื้อหา ทฤษฎี.....	.....	.....	.....	.....
3.	คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองมีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....
4.	ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วน ของเนื้อหาภายในของใบงานการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....
5.	ขนาดรูปภาพในใบงานการทดลองมีความชัดเจน.....	.....	.....	.....	.....
6.	ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้	.....	.....	.....	.....
7.	ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิด สร้างสรรค์ในการเรียนรู้.....	.....	.....	.....	.....
8.	แบบทดสอบประกอบใบงานการทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม.....	.....	.....	.....	.....
9.	แบบทดสอบประกอบใบงานการทดลองมีปริมาณเหมาะสมกับใบงานการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....
10.	ใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของผู้เรียน.....	.....	.....	.....	.....
11.	ใบงานการทดลองสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาอื่นที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารแบบ Digital.....	.....	.....	.....	.....
12.	ผู้ทดลองสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวกับความสอดคล้องของแบบประเมินคุณภาพ(ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความที่ใช้ในการประเมิน	ระดับความสอดคล้อง			
		+1	0	-1	ข้อเสนอแนะ
1.	ชุดสาธิตสามารถดึงดูดความสนใจในการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....
2.	รูปแบบของชุดสาธิตกระตุ้นและจูงใจผู้ทดลอง.....	.....	.....	.....	.....
3.	ชุดสาธิตมีความเหมาะสมกับระดับความรู้ของผู้ทดลอง...	.....	.....	.....	.....
4.	ชุดสาธิตสามารถทำให้ผู้ทดลองบรรลุตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้.....	.....	.....	.....	.....
5.	ผู้ทดลองสามารถนำความรู้เดิมที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้งานกับชุดสาธิต.....	.....	.....	.....	.....
6.	ชุดสาธิตที่สร้างขึ้นสามารถพัฒนาให้ผู้ทดลองเกิดการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี.....	.....	.....	.....	.....
7.	ชุดสาธิตสร้างเสริมประสบการณ์ในการฝึกทักษะความรู้ใหม่ๆให้กับผู้ทดลอง.....	.....	.....	.....	.....
8.	ชุดสาธิตใช้งานได้สะดวก และเป็นไปตามขั้นตอน..	.....	.....	.....	.....
9.	ชุดสาธิตมีลำดับขั้นตอนการทดลองสัมพันธ์กับคู่มือการใช้งาน.....	.....	.....	.....	.....
10.	ชุดสาธิตทำให้ผู้ทดลองมีความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....
11.	ชุดสาธิตมีความปลอดภัยในขณะที่ทำการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....
12.	ชุดสาธิตมีการจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....
13.	รูปร่างของชุดสาธิตมีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....
14.	ขนาดของชุดสาธิตมีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....
15.	ปุ่มกด และ Switch ต่างๆเหมาะสมกับชุดสาธิต.....	.....	.....	.....	.....

ข้อที่	ข้อความที่ใช้ถามความคิดเห็น	ระดับความสอดคล้อง			
		+1	0	-1	ข้อเสนอแนะ
16.	จอแสดงผล หลอดไฟแสดงผลมีความชัดเจน.....	.....	.....	.....	.....
17.	การออกแบบชุดสาริตทำให้สะดวกในการต่อสายนำ สัญญาณภายใน และอุปกรณ์ข้างเคียง.....	.....	.....	.....	.....
18.	การบำรุงรักษาชุดสาริตสามารถทำได้ง่าย.....	.....	.....	.....	.....
19.	ผู้ทดลองสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. ความคิดเห็นอื่นๆ และข้อเสนอแนะโดยทั่วไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

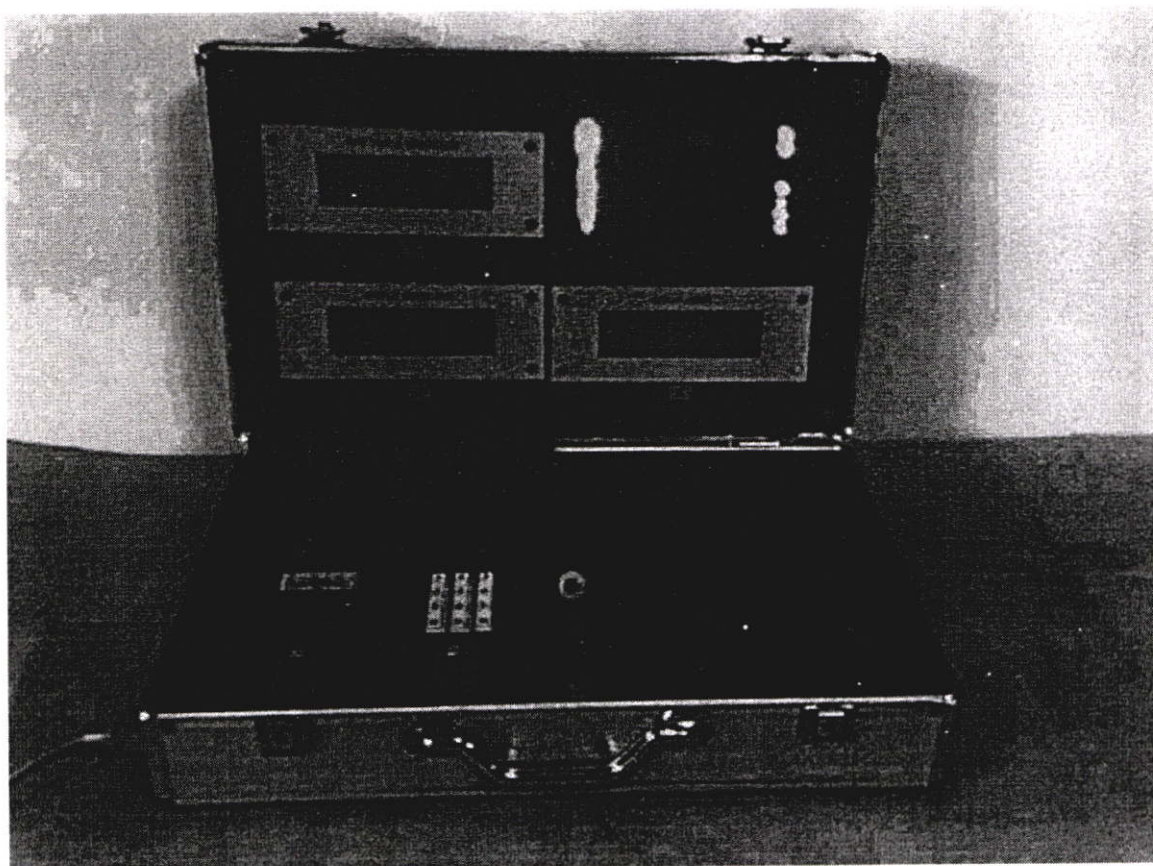
.....

ภาคผนวก ง.

คู่มือการใช้งาน

ชุดสาริตวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล

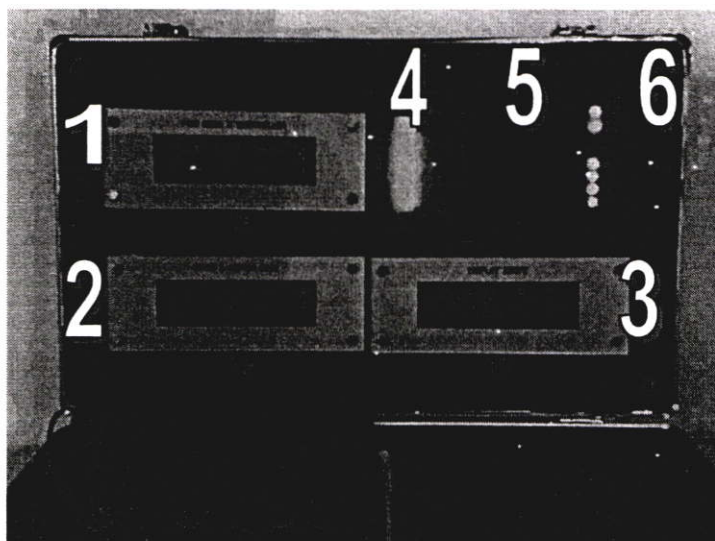
คู่มือการใช้งาน
ชุดสาธิตวงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิทัล
**DIGITAL TELEPHONE SIGNAL CODING &
DECODING
DEMONSTRATION SET**



อุปกรณ์ประกอบชุดสาธิต

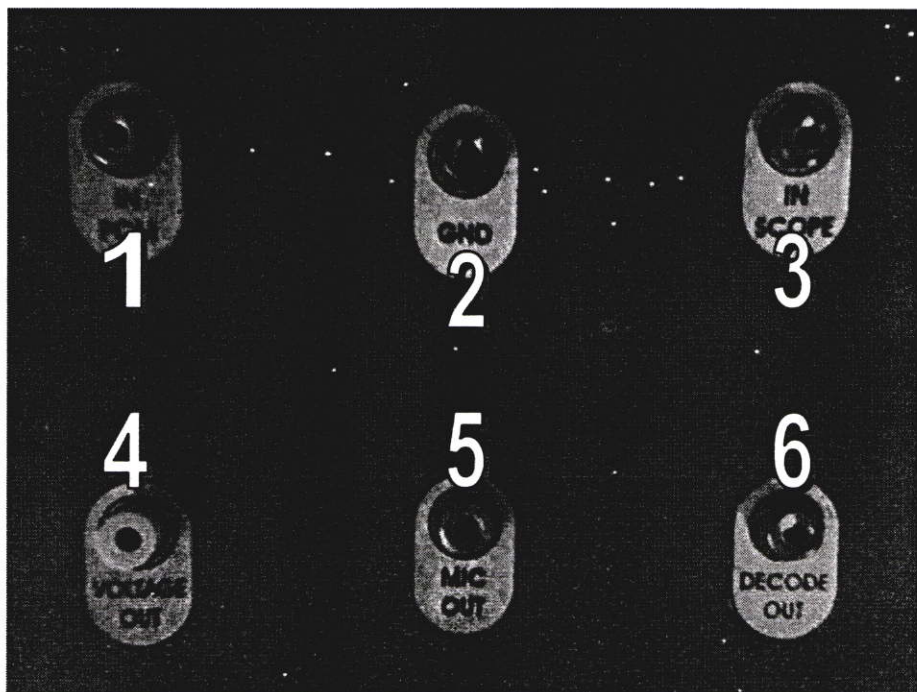
1. สายไฟ AC 220 v	1	เส้น
2. สายนำสัญญาณ	4	เส้น
3. คู่มือการใช้งานชุดสาธิต	1	เล่ม
4. ใบงานการทดลอง	1	เล่ม
5. ข้อสอบวัดความรู้	1	ชุด

ส่วนแสดงผล



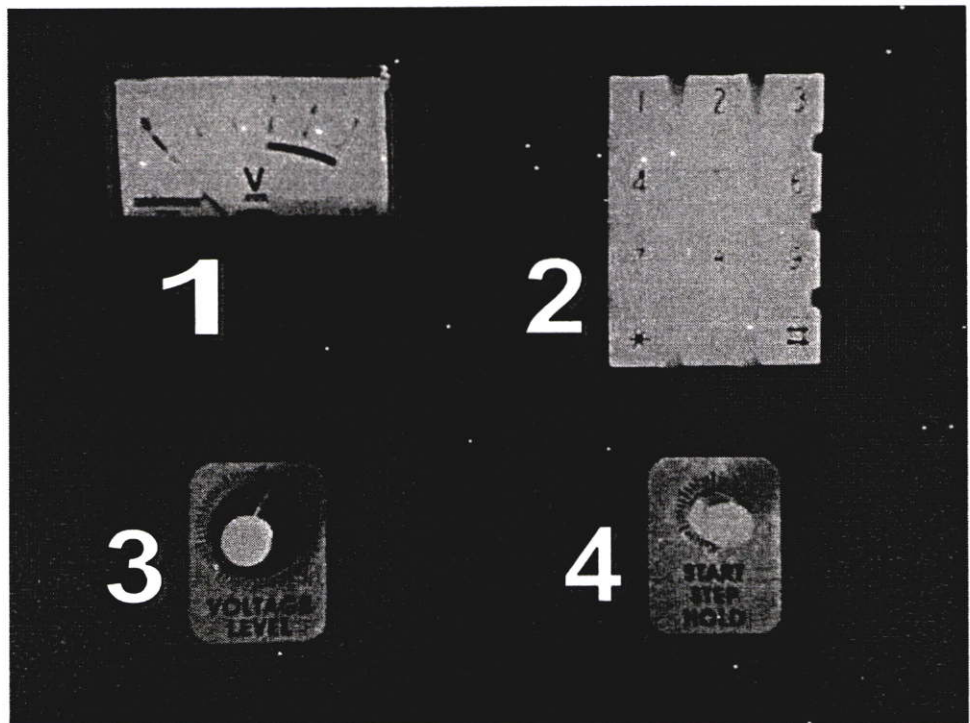
1. จอแสดงผลที่1 ทำหน้าที่แสดงผลการเข้ารหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัลแบบ PCM และแสดงผลการควบคุมชุดสายิต
2. จอแสดงผลที่2 ทำหน้าที่แสดงผลการเข้ารหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัลแบบ DPCM และ ADPCM
3. จอแสดงผลที่3 ทำหน้าที่แสดงผลการถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัล
4. หลอดไฟสีแดงแสดงการทำงานของวงจรเข้ารหัส
5. ลำโพงรับฟังเสียงที่เกิดจากการเข้าและถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์
6. หลอดไฟสีน้ำเงินแสดงการทำงานของวงจรถอดรหัส

จุดต่อสัญญาณ



1. จุดต่อสัญญาณเข้าวงจรเข้ารหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัล
2. จุดต่อกราวด์
3. จุดต่อสัญญาณเข้าจอแสดงผลการถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัล
4. จุดต่อสัญญาณแรงดันกระแสตรงที่ได้จากวงจรปรับระดับแรงดัน
5. จุดต่อสัญญาณเสียงที่ได้จากไมโครโฟนที่อยู่ในชุดสาริต
6. จุดต่อสัญญาณเสียงที่ได้จากการถอดรหัสสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัลที่เข้ารหัสไว้

ปุ่มควบคุม



1. เข็มแสดงแรงดันที่ได้จากการปรับทำงานร่วมกับ (3)
2. ปุ่มกดตัวเลขใช้เลือกการทดลองและควบคุมการทำงานของชุดสาริต
3. ปุ่มควบคุมแรงดันใช้ในการทดลอง
4. ปุ่มกดเพื่อหยุดการแสดงผลและหมุนเพื่อเลื่อนจุดการทำงาน

การควบคุมการทดลอง

เริ่มต้นกดปุ่ม (*)

FUNCTION KEY	
1.PCM/DPCM TEST 1	4.PCM/DPCM TEST 4
2.PCM/DPCM TEST 2	5.ADPCM TEST 1
3.PCM/DPCM TEST 3	6.ADPCM TEST 2

การทดลองที่1 กดปุ่ม (1) การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM/DPCM

เป็นการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณเสียง PCM ที่จอแสดงผลที่ 1 และแบบ DPCM ที่จอแสดงผลที่ 2 โดยรับสัญญาณเข้าทางจุดต่อสัญญาณ IN PCM ทำงานร่วมกับปุ่ม START/STEP/HOLD กดเพื่อแสดงค่าเพื่อบันทึกผลการทำงาน
กดปุ่ม (#) เพื่อออกจากการทดลอง

การทดลองที่2 กดปุ่ม (2) การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM/DPCM

เป็นการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณเสียง PCM ที่จอแสดงผลที่ 1 และแบบ DPCM ที่จอแสดงผลที่ 2 โดยการอ่านค่าจากตัวอย่างสัญญาณจากจอแสดงผลที่ 1 ทำงานร่วมกับปุ่ม START/STEP/HOLD กดเพื่อแสดงค่าเพื่อบันทึกผลและหมุนเพื่อเลื่อนจุดการทำงาน
กดปุ่ม (#) เพื่อออกจากการทดลอง

การทดลองที่3 กดปุ่ม (3) การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM/DPCM อัตราโน้มนัดความถี่สุ่ม 4KHz

เป็นการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณเสียง PCM/DPCM และถอดรหัสสัญญาณเพื่อแสดงผลที่ ช่องสัญญาณเอาต์พุต รับสัญญาณเข้าทาง IN PCM ทำงานร่วมกับปุ่ม START/STEP/HOLD กดเพื่อส่งสัญญาณออกที่ช่องสัญญาณออก DECODE OUT
กดปุ่ม (#) เพื่อออกจากการทดลอง

การทดลองที่ 4 กดปุ่ม (4) การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM/DPCM อัตรา โน้มติความถี่ 8KHz เป็นการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณเสียง PCM/DPCM และถอดรหัสสัญญาณเพื่อแสดงผลที่ ช่องสัญญาณเอาต์พุต รับสัญญาณเข้าทาง IN PCM ทำงานร่วมกับปุ่ม START/STEP/HOLD กดเพื่อส่งสัญญาณออกที่ช่องสัญญาณออก DECODE OUT กดปุ่ม (#) เพื่อออกจากการทดลอง

การทดลองที่ 5 กดปุ่ม (5) การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM เป็นการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณเสียง ADPCM และถอดรหัสสัญญาณเพื่อแสดงผลที่จอแสดงผลที่ 2 ทำงานร่วมกับปุ่ม START/STEP/HOLD กดเพื่อแสดงค่าเพื่อบันทึกผลการทำงาน กดปุ่ม (#) เพื่อออกจากการทดลอง

การทดลองที่ 6 กดปุ่ม (6) การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM เป็นการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณเสียง ADPCM และถอดรหัสสัญญาณเพื่อแสดงผลที่จอแสดงผลที่ 2 ทำงานร่วมกับปุ่ม START/STEP/HOLD กดเพื่อแสดงค่าเพื่อบันทึกผลและหมุนเพื่อเลื่อนจุดการทำงาน กดปุ่ม (#) เพื่อออกจากการทดลอง

การทดลองที่ 7 กดปุ่ม (7) การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM อัตรา โน้มติความถี่ 8KHz เป็นการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณเสียง ADPCM และถอดรหัสสัญญาณเพื่อแสดงผลที่ ช่องสัญญาณเอาต์พุต รับสัญญาณเข้าทาง IN PCM ทำงานร่วมกับปุ่ม START/STEP/HOLD กดเพื่อส่งสัญญาณออกที่ช่องสัญญาณออก DECODE OUT กดปุ่ม (#) เพื่อออกจากการทดลอง

ภาคผนวก จ.

ใบงานการทดลอง

ใบงานการทดลองที่ 1

การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ PCM

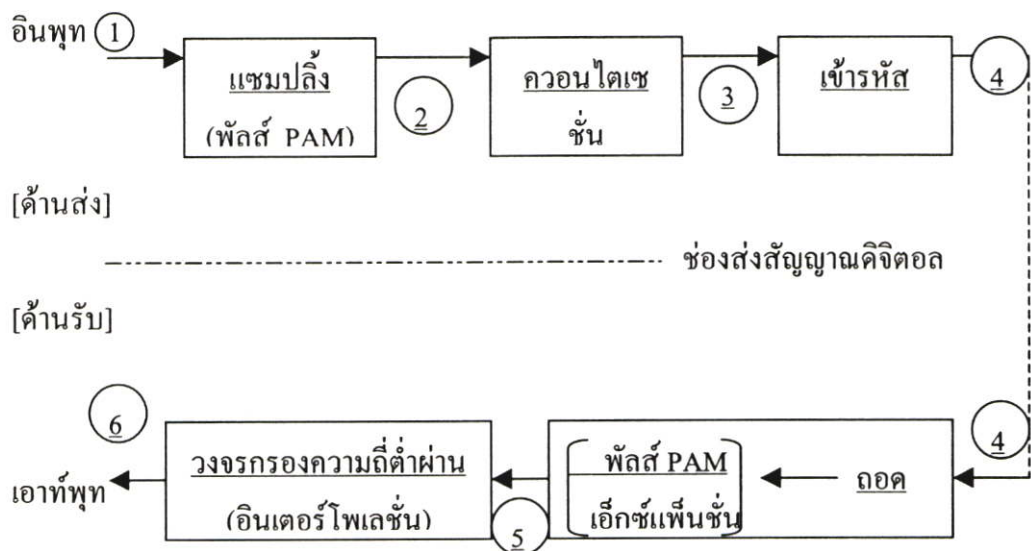
วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้ให้นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM ได้
2. เพื่อให้ให้นักศึกษาสามารถคำนวณค่าความถี่ที่เหมาะสมในการ Sampling ได้

ทฤษฎี

กระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสแบบพีซีเอ็ม PCM

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนกระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสของระบบ PCM การประมวลสัญญาณเพื่อให้ได้รับ PCM กล่าวอย่างกว้าง ๆ ก็คือ การเข้ารหัส (Coding) และ การนำสัญญาณไปแปลงกลับซึ่งเรียกว่าการถอดรหัส (Decoding)



รูปที่ 1 กระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัสของระบบ PCM

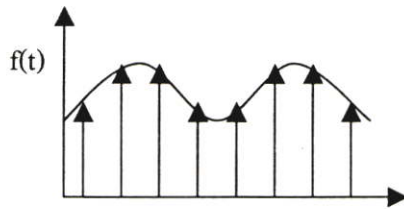
การสุ่มสัญญาณ (Sampling Theorem)

ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณของ Shannon ระบุไว้ว่า ถ้าสัญญาณที่ต้องการสุ่มมีความถี่สูงสุดที่ f_{\max} เพื่อให้ได้สัญญาณที่สุ่มแล้วเป็นตัวแทนที่ถูกต้องของสัญญาณนี้ ความถี่ในการสุ่มจะต้องมีค่ามากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดในสัญญาณหรือ

$$F_s > 2f_{\max}$$

ซึ่งความถี่ที่ $2f_{\max}$ นี้มีชื่อเรียกพิเศษว่า “ความถี่ไนควิสต์” (Nyquist frequency) หรือ อัตราไนควิสต์ ลองพิจารณาว่าถ้าเราใช้ f_s ต่ำกว่าค่าความถี่ไนควิสต์จะเกิดอะไรขึ้น ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้จะดูได้ชัดเจนในภาคความถี่ เราจะทำการพิสูจน์ในการทดลองต่อไป

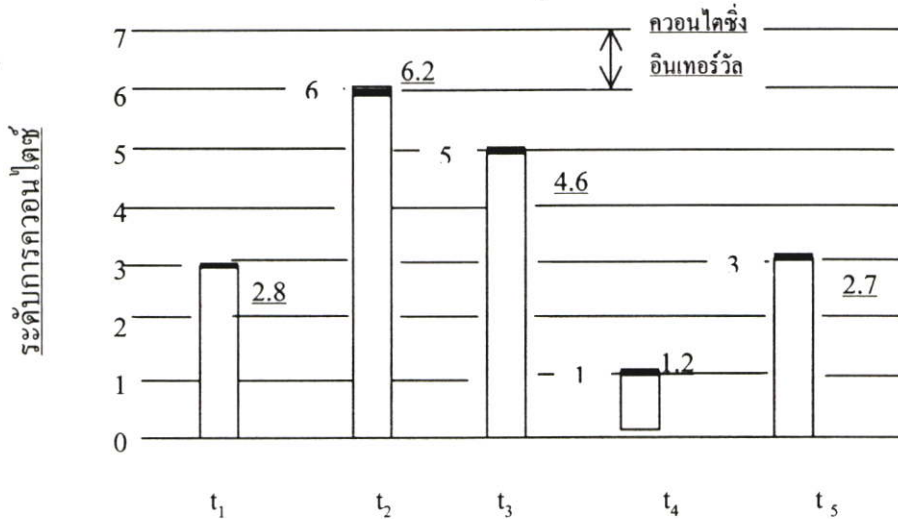
เนื่องจากสัญญาณเสียงที่ใช้ในระบบโทรศัพท์นั้นถูกจำกัดให้มีความถี่ระหว่าง 0.3-3.4 kHz ดังนั้นอัตราการแซมปลิงต่ำสุดจะต้องเท่ากับ 6.8 kHz สำหรับในทางปฏิบัติจะใช้ 8 kHz คือ แซมปลิงทุก 125 μsec ($1/8 \times 10^3$) การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM (Pulse Code Modulation) จะใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างค่าแรงดันจากสัญญาณเสียงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สัญญาณแซมปลิง

การจัดระดับ (Quantizing)

ขบวนการที่ผ่านการแซมปลิงลงแล้ว ยังถือว่าเป็นชนิดอนาล็อกอยู่ ก็มันจะมีอัมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องไปกับเวลาที่เป็นช่วง ๆ การจัดระดับคือกระบวนการที่เปลี่ยนอัมพลิจูดเหล่านั้นให้เป็นค่าตัวเลขแบบดิคริตตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3



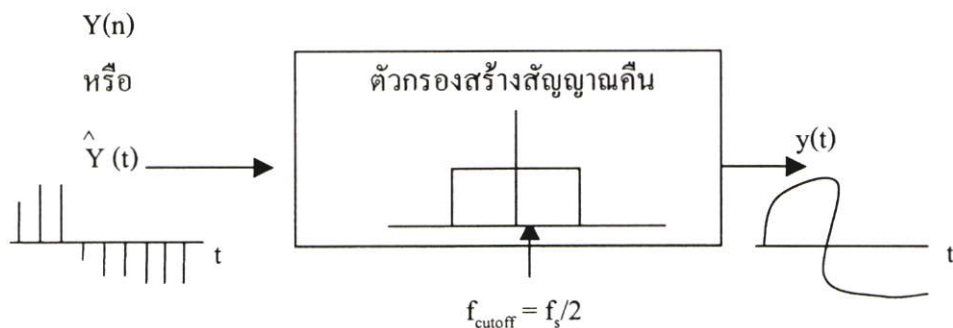
รูปที่ 3 การจัดระดับ

จากรูปที่ 3 แอมพลิจูดของแซมเปิ้ลทุกตัวจะถูกจัดให้เป็นระดับซึ่งเรียกว่าระดับควอนไทซ์ (Quantizing level) โดยมีระยะห่างระหว่างระดับข้างเคียง เรียกว่า ควอนไทซ์อินเทอร์วัล (Quantizing interval) หรือควอนไทซ์สเต็ปนั้นเท่ากัน กรณีนี้เรียกว่าการจัดระดับแบบยูนิฟอร์ม หรือแบบลิเนียร์ (Uniform quantizing) ขนาดของแซมเปิ้ลทุกตัวจะแสดงด้วยค่าระดับควอนไทซ์ที่ใกล้เคียงที่สุด เช่นขนาดของแซมเปิ้ลที่ $t = t_1$ คือ 2.8 จะจัดให้เป็นระดับ 3 หรือค่าแซมเปิ้ลที่ $t = t_2$ มีขนาด 6.2 จะจัดให้เป็น 6 เป็นต้น จะเห็นได้ว่าสัญญาณ ที่ถูกจัดระดับแล้วนี้จะเป็นเพียงค่าโดยประมาณของสัญญาณอนาล็อกเท่านั้น สัญญาณเดิมและค่าที่ได้จัดระดับจะมีค่าผิดพลาด ซึ่งค่าผิดพลาดนี้เรียกว่า ควอนไทซ์นอยส์ (Quantizing noise)

เมื่อทำการจัดระดับควอนไทซ์ ให้สัญญาณอนาล็อกแล้ว ก็จะได้ขบวนการสัญญาณที่เป็นแบบดิจิตอลที่เรียกว่าการเข้ารหัสสัญญาณแบบ PCM (Pulse Code Modulation) (ถวิล กิ่งทอง 1988 : 19-23)

การสร้างสัญญาณคีน (Analog Reconstruction)

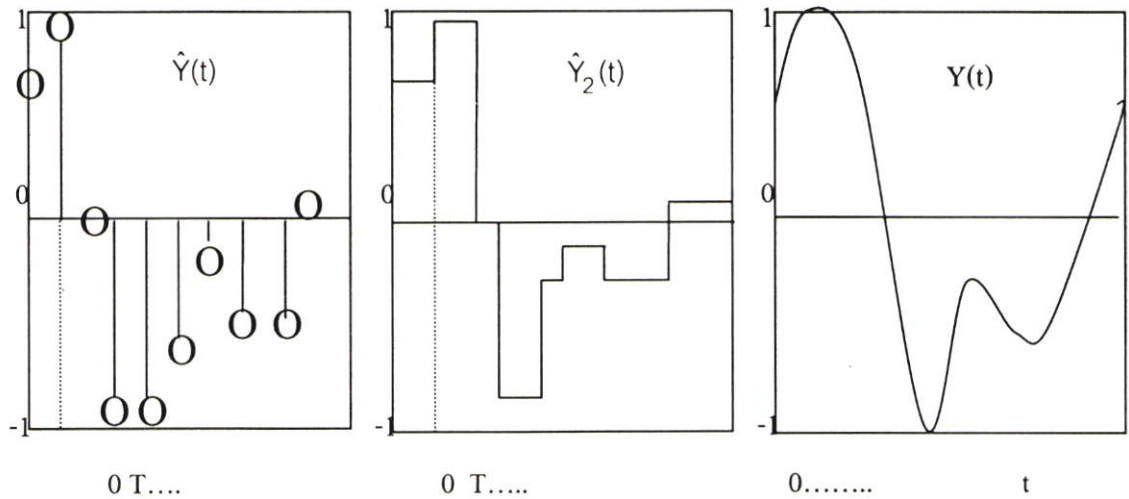
การสร้างสัญญาณคีน ในทางทฤษฎีทำได้โดยผ่านสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องเข้าไปยังตัวกรอง (แอนะลอก) แบบผ่านความถี่ต่ำที่มีความถี่ตัดที่ $f_s/2$ ตัวกรองนี้บางครั้งเรียกว่า ตัวกรองสร้างสัญญาณคีน (reconstruction filter) ตัวกรองจะผ่านเฉพาะสัญญาณในช่วงความถี่ระหว่าง $-f_s/2$ ถึง $f_s/2$ หรือช่วงโนควิสต์ออกมา ผลที่ได้ก็คือ สัญญาณแอนะลอกที่มีรูปร่างเป็นขอบของสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องก่อนสร้างกลับนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 สัญญาณขาเข้าและออกของตัวกรองสร้างสัญญาณคีน

ในทางปฏิบัติเราไม่ใช่ $\hat{Y}(t)$ เป็นสัญญาณขาเข้าของตัวกรองสร้างสัญญาณคีน เนื่องจากอย่างที่กล่าวมาแล้วว่า เรามองเห็นสัญญาณไม่ต่อเนื่องในลักษณะเป็นลำดับของข้อมูล สัญญาณที่มองแบบแอนะลอก

คือ $\hat{Y}(t)$ เป็นสัญญาณอุดมคติที่ใช้พิสูจน์ในทางคณิตศาสตร์เท่านั้น ดังนั้น การเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะลอกในชีวิตจริง เราจะนำสัญญาณ $y(n)$ มาผ่านวงจรคงค่า (hold) ที่ทำงานเข้าจังหวะกับอัตราสุ่มของสัญญาณ $y(n)$ เพื่อสร้างเป็นสัญญาณลักษณะขั้นบันไดดังในรูปที่ 5 ก่อนจากนั้นจึงค่อยใช้สัญญาณขั้นบันไดนี้สร้างเป็นสัญญาณขาออก โดยส่งมันผ่านตัวกรองผ่านต่ำเพื่อสร้างสัญญาณคีนอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 5 สัญญาณขาเข้า และขาออกของวงจรคงค่าสัญญาณ

ขอสรุปเรื่องการสุ่มสัญญาณ และการสร้างสัญญาณคืน ด้วยทฤษฎีการสุ่มสัญญาณว่า “ถ้าเราสุ่มสัญญาณแอนะล็อกด้วยความถี่ f_s ที่มากกว่า $2f_{\max}$ เราจะสามารถสร้างสัญญาณแอนะล็อกคืนมาได้โดยสมบูรณ์” ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณนี้กำเนิดโดย Shannon และเป็นการเปิดยุคของการสื่อสารด้วยสัญญาณดิจิทัลการเก็บสัญญาณด้วยดิจิทัล (พรชัย ภาวรงค์ศักดิ์ 1999 : 14-19)

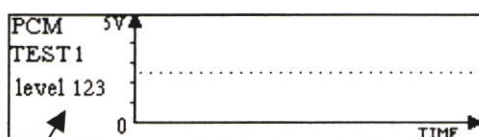
การทดลองที่ 1.1 การสุ่มตัวอย่างสัญญาณ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงโทรศัพท์ดิจิตอล
2. สายนำสัญญาณ

ลำดับขั้นการทดลอง

1. อ่านคู่มือการใช้งานชุดสาธิตการเข้ารหัสสัญญาณเสียงโทรศัพท์ดิจิตอล โดยละเอียด
2. จ่ายไฟเข้าสู่ชุดสาธิตการเข้ารหัสสัญญาณเสียงโทรศัพท์ดิจิตอล
3. กด FUNCTION (*),(1) จอแสดงผลที่ 1 PCM CODE ดังรูป

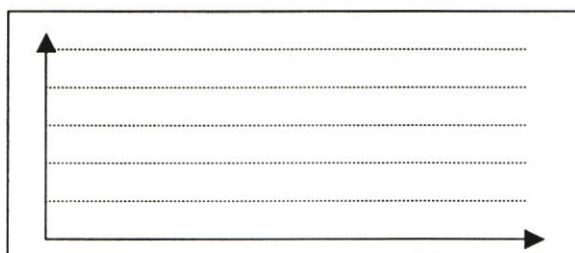


ระดับแบบดิจิตอลของรหัสสัญญาณ

4. ต่อสายสัญญาณช่อง VOLTAGE OUT เข้าที่ INPUT PCM
5. ปรับระดับแรงดันโดยดูค่าจาก โวลท์มิเตอร์ ตามตาราง
6. กดปุ่ม START/STEP/HOLD แล้วบันทึกผลค่าระดับแบบดิจิตอลและสังเกตความเปลี่ยนแปลงบนจอแสดงผลที่ 1 PCM CODE
7. ทำตามข้อ 5 และ ข้อ 6 บันทึกผลจนครบตามตารางและวาดรูปที่ได้บนจอแสดงผล PCM CODE

บันทึกผลการทดลอง

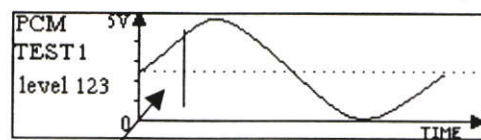
PCM CODE



บันทึกผลการทดลอง

ลำดับที่	ค่าแรงดันและระดับสัญญาณ	
	แรงดัน V	ระดับ PCM
1	0.5	
2	1.0	
3	1.5	
4	2.0	
5	2.5	
6	3.0	
7	3.5	
8	4.0	
9	4.5	
10	5.0	

8. กด FUNCTION (*),(2) จอแสดงผลที่ 1 PCM CODE ดังรูป

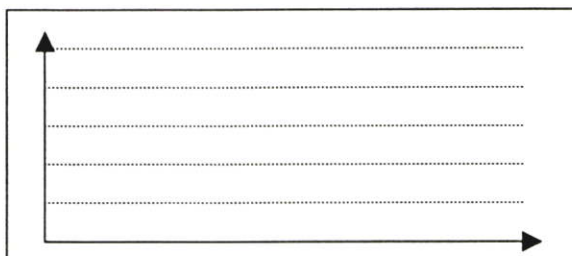


ตำแหน่งการวัดระดับสัญญาณ

9. หมุนปุ่ม START/STEP/HOLD สังเกตเห็นเส้นวัดระดับสัญญาณแนวตั้งเลื่อนไปตามตำแหน่งรูปสัญญาณ SIND
10. เลือกตำแหน่งตามต้องการ โดยเริ่มจากศูนย์ไปตามลำดับ กดปุ่ม START/STEP/HOLD บันทึกค่าระดับสัญญาณในตาราง
11. ทำตามข้อ 9 และ ข้อ 10 บันทึกผลจนครบตามตารางและวาดรูปที่ได้บนจอแสดงผล PCM CODE
12. กดปุ่ม (#) จบการทดลอง

บันทึกผลการทดลอง

PCM CODE

**บันทึกผลการทดลอง**

ลำดับที่	ค่าแรงดันและระดับสัญญาณ	
	การสุ่มสัญญาณ	ระดับ PCM
1	S1	
2	S2	
3	S3	
4	S4	
5	S5	
6	S6	
7	S7	
8	S8	
9	S9	
10	S10	

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM
2. ถ้าสัญญาณเสียงมีความถี่เท่ากับ 10 KHz จงคำนวณหาค่าความถี่ที่เหมาะสมในการ Sampling

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

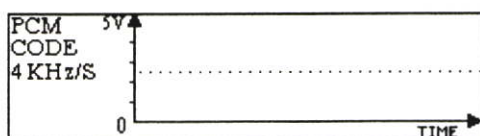
การทดลองที่ 1.2 ความถี่ที่ใช้สุ่มสัญญาณและการถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงโทรศัพท์ดิจิทัล
2. สายนำสัญญาณ
3. ไมโครโฟน

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

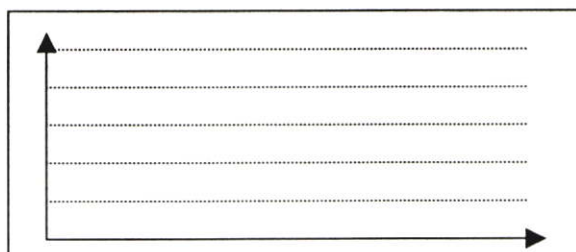
1. ต่อสายสัญญาณช่อง MIC OUT เข้าที่ INPUT PCM
2. กด FUNCTION (*),(3) จอแสดงผลที่ 1 PCM CODE ดังรูป



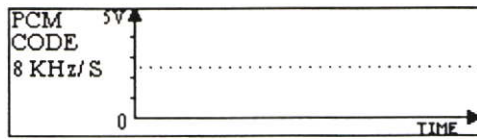
3. ออกเสียง ” โอ ” ยาว.... (หรือ ตามต้องการ)เข้าที่ไมโครโฟน
4. ต่อสายสัญญาณช่อง DECODE OUT เข้าที่ IN SCOPE
5. กดปุ่ม START/STEP/HOLD เพื่อฟังและสังเกตเสียงที่บันทึกไว้
6. วาดรูปสัญญาณบนจอแสดงผลที่ 1

บันทึกผลการทดลอง

PCM CODE



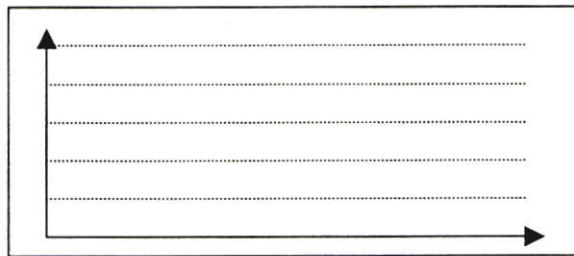
7. กดปุ่ม (#) ออกจากการทดลอง
8. กด FUNCTION (*),(4) จอแสดงผล PCM CODE ดังรูป



9. ออกเสียง ” โอ ” ยาว...(หรือ ตามต้องการ) เข้าที่ไมโครโฟน
10. กดปุ่ม START/STEP/HOLD เพื่อฟังและสังเกตเสียงที่บันทึกไว้
11. วาดรูปบนจอแสดงผลที่ 1 PCM DECODE

บันทึกผลการทดลอง

PCM CODE



คำถามท้ายการทดลอง

เสียงที่บันทึกด้วยความถี่ 4KHz มีลักษณะอย่างไร เมื่อเทียบกับเสียงที่บันทึกด้วยความถี่ 8KHz

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

ใบงานการทดลองที่ 2

การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ DPCM

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ DPCM ได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถคำนวณหาค่ารหัสสัญญาณแบบ DPCM ได้

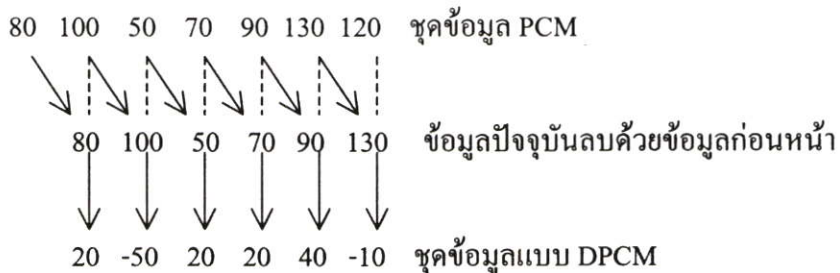
ทฤษฎี

การเข้ารหัสแบบดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โค้ดมอดูเลชัน (Differential Pulse Code Modulation) DPCM

รูปแบบการเข้ารหัสแบบ DPCM เป็นการเข้ารหัสที่ดัดแปลงมาจากระบบ PCM เพื่อลดขนาดของข้อมูลให้เล็กลงเป็นประโยชน์ในระบบสื่อสาร โดยอาศัยการลดความซ้ำซ้อนของรหัสสัญญาณแบบ PCM จะสังเกตเห็นว่ารหัสสัญญาณแบบ PCM ข้างเคียง มีขนาดเท่ากันหรือแตกต่างกันไม่มาก เราจึงใช้ผลต่างระหว่างข้อมูลที่ได้จากการเข้ารหัสแบบ PCM มาเข้ารหัสแบบ DPCM ดังตัวอย่างรหัสสัญญาณแบบ PCM

80 100 50 70 90 130 120

ข้อมูลปัจจุบันลบด้วยข้อมูลก่อนหน้า



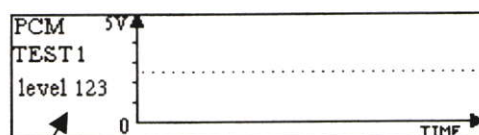
การทดลองที่ 2.1 การเข้ารหัสสัญญาณแบบ DPCM (Differential Pulse Code Modulation)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3. ชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงโทรศัพท์ดิจิตอล
4. สายนำสัญญาณ

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

13. จ่ายไฟเข้าสู่ชุดสาริตการเข้ารหัสสัญญาณเสียงโทรศัพท์ดิจิตอล
14. กด FUNCTION (*),(1) จอแสดงผลที่ 1 PCM CODE ดังรูป

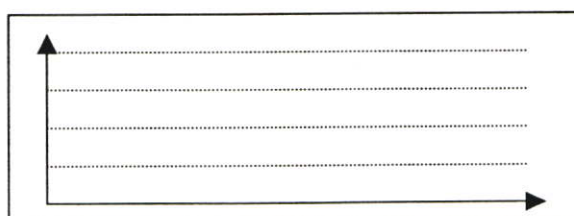


ระดับแบบดิจิตอลของรหัสสัญญาณ

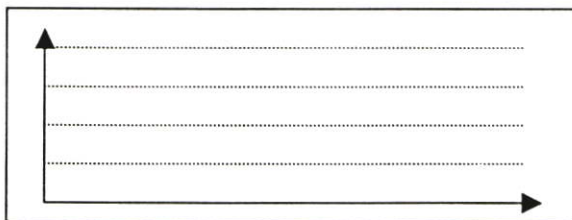
15. ต่อสายสัญญาณช่อง VOLTAGE OUT เข้าที่ INPUT PCM
16. ปรับระดับแรงดันโดยดูค่าจาก โวลท์มิเตอร์ ตามตาราง
17. กดปุ่ม START/STEP/HOLD แล้วบันทึกผลค่าระดับแบบดิจิตอลและสังเกตความเปลี่ยนแปลงบนจอแสดงผลที่ 1 PCM CODE
18. ทำตามข้อ 4 และ ข้อ 5 บันทึกผลจนครบตามตารางและวาดรูปที่ได้บนจอแสดงผลที่ 1 PCM CODE และ จอแสดงผลที่ 2 DPCM CODE

บันทึกผลการทดลอง

PCM CODE



DPCM CODE

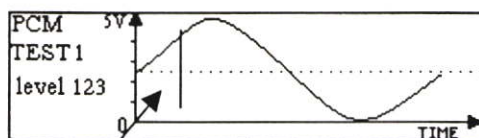


บันทึกผลการทดลอง

ลำดับที่	ค่าแรงดันและระดับสัญญาณ		
	แรงดัน V	ระดับ PCM	ระดับ DPCM
1	0.5		
2	1.0		
3	1.5		
4	2.0		
5	2.5		
6	3.0		
7	3.5		
8	4.0		
9	4.5		
10	5.0		

19. กดปุ่ม (#) จบการทดลอง

20. กด FUNCTION (*),(2) จอแสดงผลที่1 PCM CODE ค้างรูป

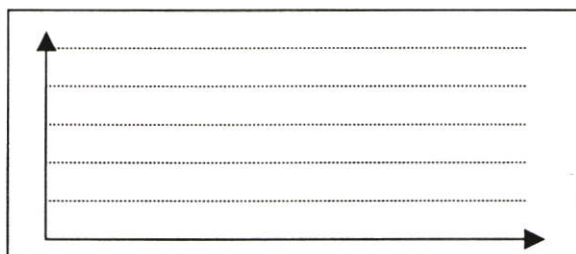


ตำแหน่งการวัดระดับสัญญาณ

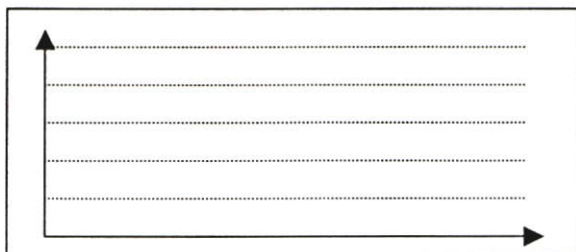
21. หมุนปุ่ม START/STEP/HOLD สังเกตเห็นเส้นวัดระดับสัญญาณแนวตั้งเลื่อนไปตามตำแหน่งรูปสัญญาณ SIND
22. เลือกตำแหน่งตามต้องการ โดยเริ่มจากศูนย์ไปตามลำดับ กดปุ่ม START/STEP/HOLD บันทึกค่าระดับสัญญาณในตาราง
23. ทำตามข้อ9 และ ข้อ10 บันทึกผลจนครบตามตารางและวาดรูปที่ได้บนจอแสดงผลที่1 PCM CODE และ จอแสดงผลที่2 DPCM CODE

บันทึกผลการทดลอง

PCM CODE



DPCM CODE



บันทึกผลการทดลอง

ลำดับที่	ค่าแรงดันและระดับสัญญาณ		
	การสุ่มสัญญาณ	ระดับ PCM	ระดับ DPCM
1	S1		
2	S2		
3	S3		
4	S4		
5	S5		
6	S6		
7	S7		
8	S8		
9	S9		
10	S10		

คำถามท้ายการทดลอง

- จงอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ DPCM
- จงคำนวณหาค่ารหัสสัญญาณแบบ DPCM จากข้อมูลแบบ PCM ดังนี้ +128,-40,-9,+30,+5,-80,+25,-10,+70,-90

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

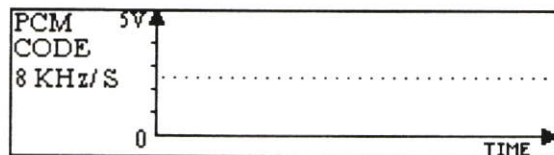
การทดลองที่ 2.2 การถอดรหัสสัญญาณเสียงที่ได้จากการเข้ารหัสแบบ DPCM

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

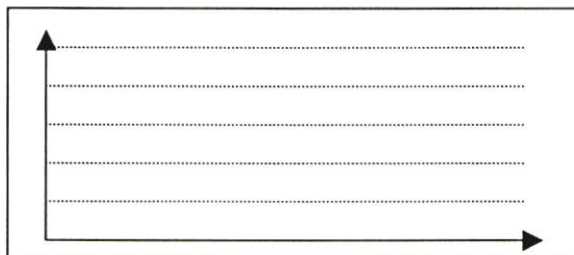
12. ชุดสาริตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงโทรศัพท์ดิจิตอล
13. สายนำสัญญาณ
14. ไมโครโฟน

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อสายสัญญาณช่อง MIC OUT เข้าที่ INPUT PCM
2. กด FUNCTION (*),(4) จอแสดงผลที่ 1 PCM CODE ดังรูป



3. ออกเสียง " โอ " ยาว....(หรือตามต้องการ) เข้าที่ไมโครโฟน
4. ต่อสายสัญญาณช่อง DECODE OUT เข้าที่ IN SCOPE
5. กดปุ่ม START/STEP/HOLD เพื่อฟังและสังเกตเสียงที่บันทึกไว้
6. วาดรูปบนจอแสดงผลที่ 2 ADPCM CODE

บันทึกผลการทดลอง**DPCM CODE****7. กดปุ่ม (#) จบการทดลอง****คำถามท้ายการทดลอง**

เสียงที่บันทึกด้วยความถี่ 4KHz มีลักษณะอย่างไร เมื่อเทียบกับเสียงที่บันทึกด้วยความถี่ 8KHz

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานการทดลองที่ 3

การเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแบบ ADPCM

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM ได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของการเข้ารหัสแบบ DPCM กับ ADPCM

ทฤษฎี

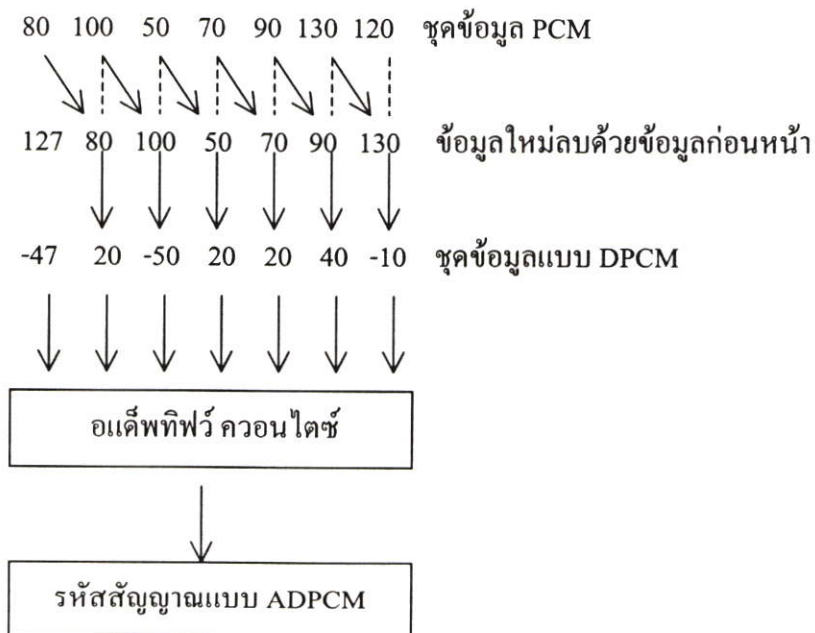
การเข้ารหัสแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation)

รูปแบบการเข้ารหัสแบบ ADPCM เป็นการเข้ารหัสที่ดัดแปลงมาจากระบบ DPCM อีกขั้นหนึ่งเพื่อลดขนาดของข้อมูลให้เหลือ 4 บิต ต่อรหัสสัญญาณแบบ PCM เดิมที่มีขนาด 8 บิต ดังตัวอย่าง

รหัสสัญญาณแบบ PCM

80 100 50 70 90 130 120

ข้อมูลอันดับแรกเป็นตัวตั้งลบด้วยค่าประมาณการที่ 127 แล้วทำการลบแบบอนุกรมไปเลยๆ



คุณลักษณะของคอมเพรสเซอร์ที่ใช้สำหรับประกอบการเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM คือ μ -law ซึ่งใช้ใน Hierarchy ของระบบ 1.5 Mb/s และ A-law ใช้ใน Hierarchy ของระบบ 2 Mb/s คุณลักษณะทั้ง 2 แบบนี้แสดงไว้ในตารางด้านล่าง เฉพาะกรณีของ μ -law = 255 และ $A = 87.6$

ลำดับที่	ระดับการควอนไทซ์ด้านเข้ารหัส ADPCM		ระดับการควอนไทซ์ด้านถอดรหัส
	ค่ารหัส DPCM	ค่ารหัส ADPCM	ระดับสัญญาณเอาต์พุต
1	113 to 128	1111	128
2	97 to 112	1110	113
3	81 to 96	1101	97
4	65 to 80	1100	81
5	49 to 64	1011	65
6	33 to 48	1010	49
7	17 to 32	1001	33
8	0	1000	0
9	-0	0000	0
10	-17 to -32	0001	-33
11	-33 to -48	0010	-48
12	-49 to -64	0011	-64
13	-65 to -80	0100	-80
14	-81 to -96	0101	-96
15	-97 to -112	0110	-112
16	-113 to -128	0111	-128

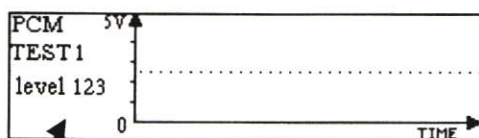
การทดลองที่ 3.1 การเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 5. ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงโทรศัพท์ดิจิทัล
- 6. สายนำสัญญาณ

ลำดับขั้นการทดลอง

- 24. จ่ายไฟเข้าสู่ชุดสาธิตการเข้ารหัสสัญญาณเสียงโทรศัพท์ดิจิทัล
- 25. กด FUNCTION (*),(5) จอแสดงผลที่ 1 PCM CODE ดังรูป

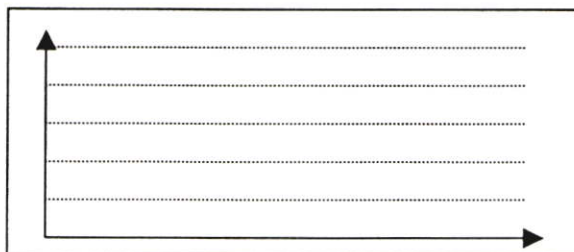


ระดับแบบดิจิทัลของรหัสสัญญาณ

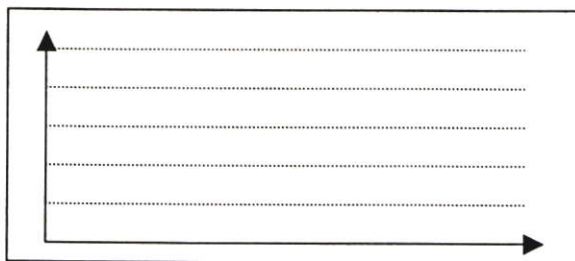
- 26. ต่อสายสัญญาณช่อง VOLTAGE OUT เข้าที่ INPUT PCM
- 27. ปรับระดับแรงดันโดยดูค่าจาก โวลท์มิเตอร์ ตามตาราง
- 28. กดปุ่ม START/STEP/HOLD แล้วบันทึกผลค่าระดับแบบดิจิทัลและสังเกตความเปลี่ยนแปลงบนจอแสดงผล PCM CODE
- 29. ทำตามข้อ 4 และ ข้อ 5 บันทึกผลจนครบตามตารางและวาดรูปที่ได้บนจอแสดงผลที่ 1 PCM CODE และ จอแสดงผลที่ 2 ADPCM CODE

บันทึกผลการทดลอง

PCM CODE



ADPCM CODE

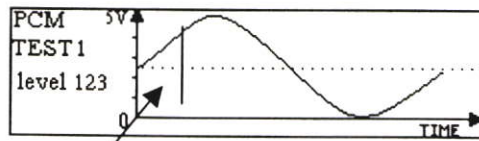


บันทึกผลการทดลอง

ลำดับที่	ค่าแรงคืนและระดับสัญญาณ		
	แรงคืน V	ระดับ PCM	ระดับ ADPCM
1	0.5		
2	1.0		
3	1.5		
4	2.0		
5	2.5		
6	3.0		
7	3.5		
8	4.0		
9	4.5		
10	5.0		
11	5.0		
12	4.5		
13	4.0		
14	3.5		
15	3.0		
16	2.5		
17	2.0		
18	1.5		
19	1.0		
20	0.5		

30. กดปุ่ม (#) จบการทดลอง

31. กด FUNCTION (*),(6) จอแสดงผลที่1 PCM CODE ดังรูป

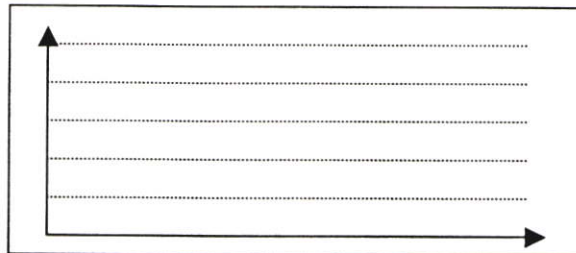


ตำแหน่งการวัดระดับสัญญาณ

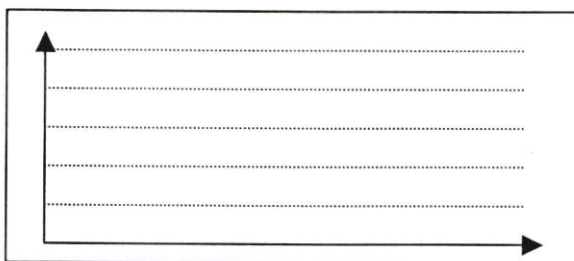
32. หมุนปุ่ม START/STEP/HOLD สังเกตเห็นเส้นวัดระดับสัญญาณแนวตั้งเลื่อนไปตามตำแหน่งรูปสัญญาณ SIND
33. เลือกตำแหน่งตามต้องการโดยเริ่มจากศูนย์ไปตามลำดับ กดปุ่ม START/STEP/HOLD บันทึกค่าระดับสัญญาณในตาราง
34. ทำตามข้อ8 และ ข้อ9 บันทึกผลจนครบตามตารางและวาดรูปที่ได้บนจอแสดงผลที่1 PCM CODE และ จอแสดงผลที่2 DPCM CODE
35. กดปุ่ม (#) จบการทดลอง

บันทึกผลการทดลอง

PCM CODE



ADPCM CODE



บันทึกผลการทดลอง

ลำดับที่	ค่าแรงดันและระดับสัญญาณ		
	การสุ่มสัญญาณ	ระดับ PCM	ระดับ ADPCM
1	S1		
2	S2		
3	S3		
4	S4		
5	S5		
6	S6		
7	S7		
8	S8		
9	S9		
10	S10		
11	S11		
12	S12		
13	S13		
14	S14		
15	S15		
16	S16		
17	S17		
18	S18		
19	S19		
20	S20		

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM
2. จงบอกถึงความสัมพันธ์ของการเข้ารหัสแบบ DPCM กับ ADPCM

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

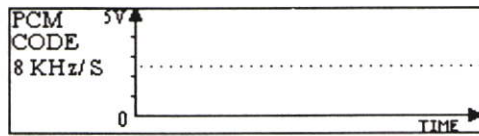
การทดลองที่ 3.2 ทดสอบการถอดรหัสสัญญาณเสียงแบบ ADPCM

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 15. ชุดสาธิตการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงโทรศัพท์ดิจิตอล
- 16. สายนำสัญญาณ
- 17. ไมโครโฟน

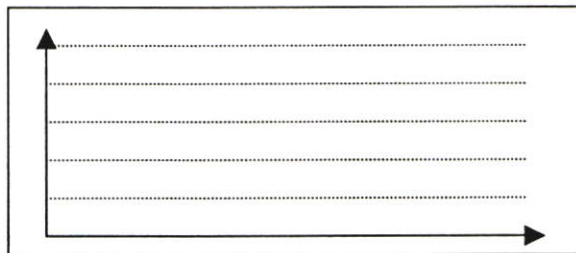
ลำดับขั้นการทดลอง

- 8. ต่อสายสัญญาณช่อง MIC OUT เข้าที่ INPUT PCM
- 9. กด FUNCTION (*),(7) จอแสดงผลที่ 1 PCM CODE ดังรูป



- 10. ออกเสียง " โอ " ยาว...(หรือตามต้องการ) เข้าที่ไมโครโฟน
- 11. ต่อสายสัญญาณช่อง DECODE OUT เข้าที่ IN SCOPE
- 12. กดปุ่ม START/STEP/HOLD เพื่อฟังและสังเกตเสียงที่บันทึกไว้และวาดรูปที่จอแสดงผลที่ 2

ADPCM CODE



- 13. กดปุ่ม (#) จบการทดลอง

คำถามท้ายการทดลอง

เสียงที่บันทึกด้วยความถี่ 4KHz มีลักษณะอย่างไร เมื่อเทียบกับเสียงที่บันทึกด้วยความถี่ 8KHz

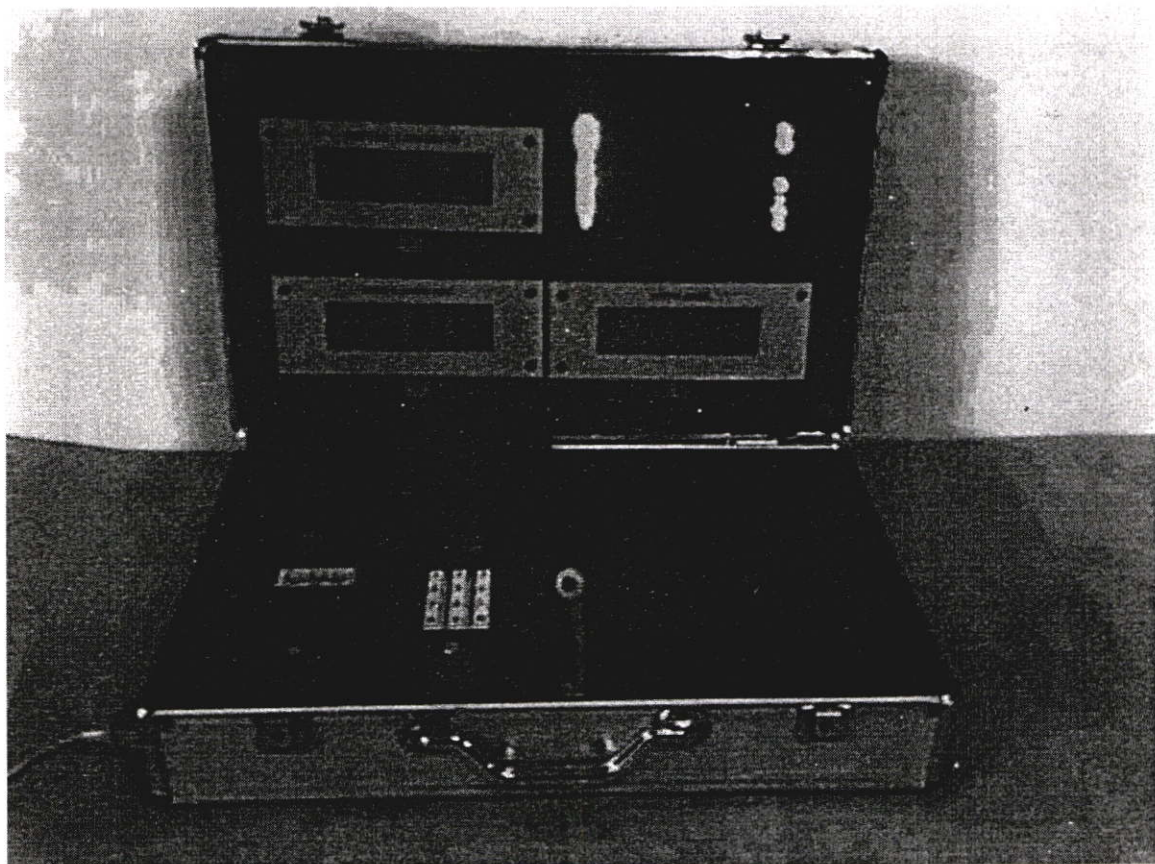
สรุปผลการทดลอง

.....

ภาคผนวก ฉ.

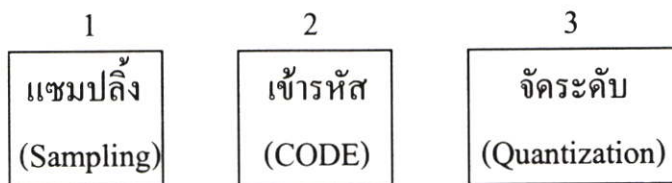
แบบทดสอบท้ายการทดลอง

แบบทดสอบประกอบใบงานทดลองชุดสาริต
วงจรเข้าและถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ดิจิตอล
DIGITAL TELEPHONE SIGNAL CODING & DECODING
DEMONSTRATION SET



ตอนที่1 จงทำเครื่องหมายวงกลมล้อมรอบใน ก.,ข.,ค.,ง.,หรือ จ. ข้อใดข้อหนึ่งที่ถูกต้องที่สุด

1. จงเรียงลำดับขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ PCM



ก. 1,2,3 ข. 1,3,2 ค. 2,1,3 ง. 2,3,1 จ. 3,1,2

2. จงเรียงลำดับขั้นตอนวิธีการถอดรหัสสัญญาณแบบ PCM



ก. 1,2,3 ข. 1,3,2 ค. 2,1,3 ง. 2,3,1 จ. 3,1,2

3. ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณของ Shannon ระบุว่าอย่างไร

- ก. ความถี่ของสัญญาณจะต้องเท่ากับความถี่ที่ใช้สุ่ม
- ข. ความถี่ของสัญญาณจะต้องมากกว่าความถี่ที่ใช้สุ่ม
- ค. ความถี่ที่ใช้ในการสุ่มจะต้องมีค่ามากกว่าความถี่ของสัญญาณ
- ง. ความถี่ที่ใช้ในการสุ่มจะต้องมีค่ามากกว่าสองเท่าของความถี่ต่ำสุดในสัญญาณ
- จ. ความถี่ที่ใช้ในการสุ่มจะต้องมีค่ามากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดในสัญญาณ

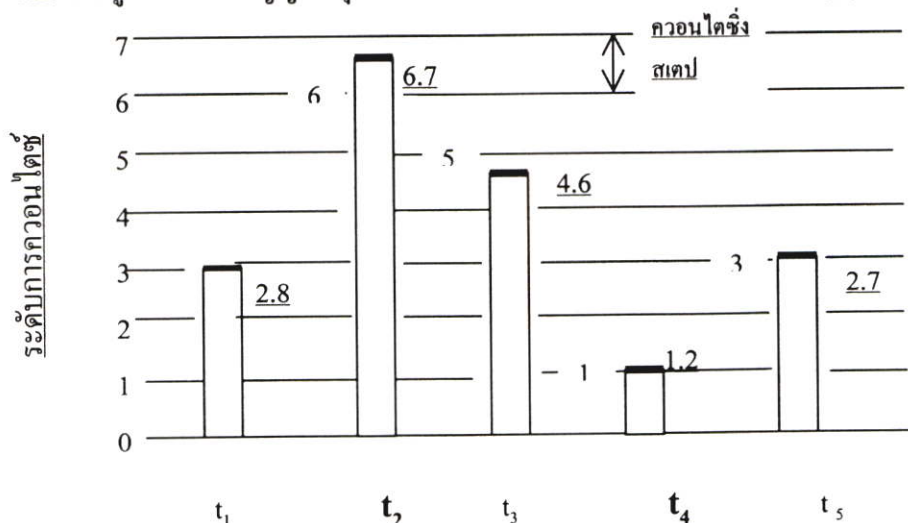
4. ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการจัดระดับเรียกว่าอะไร

- ก. ควอนไตซิงนอยส์ (Quantizing noise)
- ข. ควอนไตซิงเลฟอีล (Quantizing level)
- ค. ควอนไตซิงไลน์ (Quantizing line)
- ง. ควอนไตซิงแซมเปอ์ (Quantizing sample)
- จ. ควอนไตซิงอินเทอร์วัล (Quantizing interval)

5. ระยะห่างระหว่างระดับข้างเคียงเรียกว่าอะไร
- ก. ควอนไทซิงนอยส์ (Quantizing noise)
 - ข. ควอนไทซิงเลฟเอล (Quantizing level)
 - ค. ควอนไทซิงไลน์ (Quantizing line)
 - ง. ควอนไทซิงแซมเปอ์ (Quantizing sample)
 - จ. ควอนไทซิงอินเทอร์วัล (Quantizing interval)
6. วงจรกรองที่ใช้ในการถอดรหัสสัญญาณ PCM คือข้อใด
- ก. วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน
 - ข. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน
 - ค. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน
 - ง. วงจรกรองความถี่สุ่มผ่าน
 - จ. วงจรกรองแถบความถี่ไม่ผ่าน
7. ข้อใดกล่าวถึงเรื่องการสุ่มสัญญาณได้ถูกต้องที่สุด
- ก. ถ้าระดับการสุ่มสัญญาณต่ำจะทำให้ได้ระดับสัญญาณต่ำ
 - ข. ถ้าเพิ่มระดับการสุ่มสัญญาณจะทำให้เพิ่มระดับสัญญาณรบกวน
 - ค. ถ้าเพิ่มระดับการสุ่มสัญญาณจะต้องทำการเพิ่มความถี่สุ่มสัญญาณ
 - ง. ถ้าต้องการลดค่าผิดพลาดที่เกิดจากการจัดระดับจะต้องเพิ่มระดับการสุ่มสัญญาณ
 - จ. ถ้าต้องการลดค่าผิดพลาดที่เกิดจากการจัดระดับจะต้องเพิ่มค่าความถี่สุ่มสัญญาณ
8. ข้อใดคือผลที่เกิดจากการเพิ่มจำนวนระดับในการสุ่มสัญญาณจะทำให้ลดค่าใด
- ก. ควอนไทซิงนอยส์ (Quantizing noise)
 - ข. ควอนไทซิงเลเวล (Quantizing level)
 - ค. ควอนไทซิงไลน์ (Quantizing line)
 - ง. ควอนไทซิงแซมเปอ์ (Quantizing sample)
 - จ. ควอนไทซิงอินเทอร์วัล (Quantizing interval)

9. ข้อใดคือผลที่เกิดจากการเพิ่มความถี่สัญญาณ
- ก. ทำให้ระดับของสัญญาณเพิ่มขึ้น
 - ข. ทำให้ความถี่ของสัญญาณเพิ่มขึ้น
 - ค. ทำให้พื้นที่การเก็บข้อมูลลดลง
 - ง. ทำให้สัญญาณรบกวนมากขึ้น
 - จ. ทำให้สร้างสัญญาณคืนได้เหมือนสัญญาณเดิมมากขึ้น
10. ถ้าความถี่ของสัญญาณอยู่ระหว่าง 0.3-3.4 kHz ดังนั้นอัตราการสุ่มสัญญาณต่ำสุดจะต้องเท่ากับเท่าไร
- ก. 0.3 kHz
 - ข. 0.6 kHz
 - ค. 3.4 kHz
 - ง. 6.8 kHz
 - จ. 8.0 kHz
11. สัญญาณมีขนาด 5 V ทำการจัดระดับได้เท่ากับ 255 มีระยะห่างระหว่างระดับข้างเคียงเท่ากับเท่าไร
- ก. 19.6 mV
 - ข. 39.2 mV
 - ค. 78.4 mV
 - ง. 156.8 mV
 - จ. 313.7 mV

12. จากรูปด้านล่างสัญญาณสุ่มที่ 12 เมื่อผ่านการจัดระดับแล้วจะได้ค่าสัญญาณเท่าไร



- ก. 6
 - ข. 6.5
 - ค. 6.7
 - ง. 7
 - จ. 7.5
13. จากรูปข้อ 10. สัญญาณสุ่มที่ 4 เมื่อผ่านการจัดระดับแล้วจะได้ค่าสัญญาณเท่าไร
- ก. 1
 - ข. 1.2
 - ค. 1.5
 - ง. 2
 - จ. 2.5
14. การเข้ารหัสสัญญาณแบบ DPCM ต้องการสัญญาณเริ่มต้นแบบใด
- ก. สัญญาณเสียงที่เข้ารหัสแบบ AM
 - ข. สัญญาณเสียงที่เข้ารหัสแบบ DM
 - ค. สัญญาณเสียงที่เข้ารหัสแบบ PAM
 - ง. สัญญาณเสียงที่เข้ารหัสแบบ PBM
 - จ. สัญญาณเสียงที่เข้ารหัสแบบ PCM
15. จุดประสงค์ของการเข้ารหัสสัญญาณแบบ DPCM คืออะไร
- ก. เพื่อลดระดับของสัญญาณ PCM
 - ข. เพื่อลดระดับความถี่ของสัญญาณ PCM
 - ค. เพื่อลดระดับของรหัสสัญญาณ PCM
 - ง. เพื่อลดจำนวนบิตข้อมูลของรหัสสัญญาณ PCM
 - จ. เพื่อลดความถี่ในการเก็บตัวอย่างรหัสสัญญาณ PCM
16. วิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ DPCM คือข้อใด
- ก. รหัสสัญญาณแบบ DPCM ปัจจุบันได้จาก รหัสสัญญาณ PCM ปัจจุบัน บวก ด้วยรหัสสัญญาณ PCM ก่อนหน้า

- ข. รหัสสัญญาณแบบ DPCM ปัจจุบันได้จาก รหัสสัญญาณ PCM ปัจจุบัน ลบ ด้วย รหัสสัญญาณ PCM ก่อนหน้า
- ค. รหัสสัญญาณแบบ DPCM ปัจจุบันได้จาก รหัสสัญญาณ PCM ก่อนหน้า ลบ ด้วย รหัสสัญญาณ PCM ปัจจุบัน
- ง. รหัสสัญญาณแบบ DPCM ต่อไปได้จาก รหัสสัญญาณ PCM ปัจจุบัน ลบ ด้วย รหัสสัญญาณ PCM ก่อนหน้า
- จ. รหัสสัญญาณแบบ DPCM ต่อไปได้จาก รหัสสัญญาณ PCM ก่อนหน้า ลบ ด้วย รหัสสัญญาณ PCM ปัจจุบัน
17. ข้อดีของการเข้ารหัสแบบ DPCM คือข้อใด
- ก. ทำให้ใช้พื้นที่เก็บข้อมูลรหัสมากกว่าระบบ PCM
- ข. ทำให้จำนวนบิตที่ส่งข้อมูลมากกว่าระบบ PCM
- ค. คุณภาพของสัญญาณที่ถอดรหัสอยู่ในขั้นดี ถึงดีมาก
- ง. ช่วยลดอัตราการส่งข้อมูล
- จ. ช่วยลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลแบบ PCM
18. การถอดรหัสสัญญาณแบบ DPCM กลับเป็นรหัสสัญญาณแบบ PCM คือข้อใด
- ก. รหัส PCM ตัวต่อไป ได้จากรหัส DPCM ตัวก่อนหน้า บวก ด้วยรหัส DPCM ตัวปัจจุบัน
- ข. รหัส PCM ตัวต่อไป ได้จากรหัส DPCM ตัวก่อนหน้า ลบ ด้วยสัญญาณ DPCM ตัวปัจจุบัน
- ค. รหัส PCM ตัวต่อไปได้จากรหัส DPCM ตัวก่อนหน้า บวก ด้วยรหัส PCM ตัวปัจจุบัน
- ง. รหัส PCM ตัวต่อไป ได้จากรหัส DPCM ตัวต่อไป ลบ ด้วยรหัส PCM ตัวปัจจุบัน
- จ. รหัส PCM ตัวต่อไป ได้จากรหัส DPCM ตัวต่อไป บวก ด้วยรหัส PCM ตัวปัจจุบัน
19. จงหาค่าสัญญาณแบบ DPCM จากชุดสัญญาณแบบ PCM คือ 80,100,50,70,90,130,120 โดยกำหนดให้ค่าประมาณการสัญญาณเริ่มต้นที่ 127
- ก. 80 , 20 , -50 , 20 , 20 , 40 , -10
- ข. -80 , 20 , -50 , 20 , 20 , 40 , -10

- ค. เพิ่มคุณสมบัติในการปรับแรงดันการสุ่ม
- ง. เพิ่มหน่วยความจำในการเก็บข้อมูล
- จ. ใช้ความถี่สุ่มต่ำลง

24. รหัสสัญญาณแบบ ADPCM 4 บิต “ 1000 ” บิตที่ 1 หมายถึงข้อใด

- ก. ขนาดของรหัสสัญญาณเท่ากับ 8
- ข. บิตเริ่มต้นรหัสสัญญาณ
- ค. สถานะของรหัสสัญญาณที่ตามหลัง
- ง. สถานะของรหัสสัญญาณ 3 บิตที่ตามหลังเป็นบวก
- จ. พาริตีบิต

25. ผลต่างของรหัสสัญญาณ DPCM = 35 เมื่อเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM เท่ากับข้อใด

- ก. 1001
- ข. 1010
- ค. 1011
- ง. 1100
- จ. 1101

ตอนที่ 2 ทำเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อที่กล่าวถูกต้องและ X หน้าข้อที่กล่าวผิด

-26. การลดระดับควอนไทซ์และลดความถี่สุ่มจะทำให้สามารถลดจำนวนบิตข้อมูลได้ดีที่สุด
-27. ADPCM เป็นกระบวนการเข้ารหัสที่สามารถลดจำนวนบิตข้อมูลได้
-28. เพื่อให้สามารถสร้างสัญญาณเดิมกับมาความถี่ที่ใช้ในการสุ่มต้องสูงกว่าความถี่สัญญาณ
-29. ระดับควอนไทซ์มากจะทำให้รหัสข้อมูลมีความผิดพลาดน้อยลง
-30. การเข้ารหัสแบบ DPCM ถ้าเพิ่มความถี่สุ่มสัญญาณจะทำให้จำนวนบิตข้อมูลลด
-31. การเข้ารหัสแบบ ADPCM ใช้ความถี่สุ่มสัญญาณสูงกว่าการเข้ารหัสแบบ DPCM
-32. การเข้ารหัสแบบ DPCM และ ADPCM ใช้ผลต่างของสัญญาณข้างเคียงในการเข้ารหัส

เฉลย

1. ข.
2. ก.
3. จ.
4. ก.
5. จ.
6. ข.
7. จ.
8. ก.
9. จ.
10. ง.
11. ก.
12. ก.
13. ก.
14. จ.
15. ง.
16. ก.
17. จ.
18. จ.
19. ง.
20. ข.
21. จ.
22. ข.
23. ก.
24. ง.
25. ข.
26. ผิด
27. ถูก
28. ถูก
29. ถูก
30. ถูก

31. ผิด

32. ถูก

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล	นายหาญชัย ฉั่วประดิษฐ์ภักดิ์
วัน เดือน ปี เกิด	4 เมษายน 2517
สถานที่เกิด	1 หมู่ 7 ตำบลสนามชัย อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13190
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	111/204 หมู่บ้านเปี่ยมสุขฯ ถ.กรุงเทพฯ-ปทุมธานี ตำบลบางเดื่อ อำเภอมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 029784429
สถานที่ทำงาน	111/204 หมู่บ้านเปี่ยมสุขฯ ถ.กรุงเทพฯ-ปทุมธานี ตำบลบางเดื่อ อำเภอมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 029784429
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(ว.ศ.บ.) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง