ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2531

เรื่อง เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเสียงระบบดิจิตอล

ผู้จัดทำ

นาย กาญจน์ กาญจนรัตน์ 281021

นาย จิตรเกษม งามนิล 281046

รศ. มนัส สังวรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถาบันวิทยบริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

023194 -9 ส.ค. 2532

ปีการศึกษา 2531

เครื่องวิเคราะห์และสังเคราะห์สัญญาณเสียงระบบดิจิตอล

SPEECH-SIGNAL SYNTHESIZER

โดย

นาย กาญจน์ กาญจนรัตน์ 281021

นาย จิตรเกษม งามนิล 281046

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. มนัส สังวรศิลป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

023194

เครื่องวิเคราะห์และสังเคราะห์สัญญาณเสียง

นาย กาญจน์ กาญจนรัตน์ 281021
นาย จิตรเกษม งามนิล 281046
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. มนัส สังวรศิลป์
ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงผลงานการออกแบบเครื่องวิเคราะห์และสังเคราะห์สัญญาณเสียง โดยใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมและใช้เครื่องมือทางการพัฒนาโปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณ เพื่อให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในหน่วยความจำน้อยที่สุดและมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณเมื่อทำการแปลงกลับออกมาให้น้อยที่สุด ผลงานนี้อาจเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการวิจัยเรื่องดิจิตอล ซิกแนล โปรเซสซิ่ง และการสื่อสารสัญญาณเสียงด้วยระบบดิจิตอลเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEECH-SIGNAL SYNTHESIZER BY ADPCM METHOD

KARN KANJANARAT. 281021
CHITKASAME NGARMNIL. 281046
ADVISER: MANUT SUNCWARASILP
ACADEMIC YEAR: 2532

ABSTRACT

This paper addresses the design of Speech signal synthesizer using 8031-Microprocessor to control th system. The system need to use a software tool to analyse speech signal in order to save the memory area and reduce compliance error and distortion in the reproduction speec signal. This paper will be useful for further researchin in Digital-Signal Processing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

ABSTRACT

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสุ่มและระบบข้อมูลจากการสุ่ม 2

บทที่ 3 อัตราสุ่ม 3

บทที่ 4 ดิจิตอล มอดดูเลชัน 6

4.1 วิธีการทาง เดลต้า มอดดูเลชัน 7

4.2 วิธี เดลต้า มอดดูเลชันแบบธรรมดา 9

4.3 คอมแพนด์ เดลต้า มอดดูเลชัน 12

บทที่ 5 ระบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน 14

5.1 วิธีพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน 16

5.2 ดิฟเฟอร์เรนเชียล พัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน 20

5.3 การสุ่มแอมปลิจูดในระบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน 21

บทที่ 6 การออกแบบและการทำงานส่วนฮาร์ดแวร์ 27

บทที่ 7 การออกแบบและการทำงานส่วนโปรแกรม 29

บทที่ 8 ผลการทดลองและสรุปวิจารณ์

8.1 ผลการทดลอง 31

8.2 สรุป 32

เอกสารอ้างอิง

กิตติกรรมประกาศ

ภาคผนวก ก โปรแกรมส่วนแอสเซมบลี 8031

ภาคผนวก ข วงจรส่วน 8031

ภาคผนวก ค ตัวอย่างวงจรโดยใช้ Z-80 ควบคุม

ภาคผนวก ง วงจรการทำงานที่ใช้ SINGLE CHIP สำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เราทราบกันดีอยู่แล้วว่า การติดต่อสื่อสารของคอมพิวเตอร์นั้น เป็นการทำงานในระบบดิจิตอล แต่ภาษาของของมนุษย์นั้นถือเป็นข้อมูลทางอนาลอก แต่ถ้าจะทำให้คอมพิวเตอร์นั้นพูดได้ในภาษาของเราก็อาจจะเป็นไปได้ เพราะมีวิธีที่จะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถสังเคราะห์เสียงของมนุษย์ได้ การสังเคราะห์เสียงนี้บางวิธีที่สามารถทำได้โดยใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิคส์ช่วยในการเลียนแบบ คอหอยและกล่องเสียงของมนุษย์ ก็คือเครื่องบันทึกเสียงระบบดิจิตอล ซึ่งใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิคส์เลียนแบบการทำงานของเครื่องบันทึกเทปธรรมดาๆ ที่เราใช้กันอยู่ ในแง่การใช้งาน ผู้แต่งขอยกตัวอย่างในประเทศสหรัฐอเมริกา บางครั้งเมื่อทำการหมุนโทรศัพท์ติดต่อ เราอาจจะได้ยินเสียงที่ถูกทำการบันทึกไว้เช่น "เลขหมายที่ท่านต้องการติดต่อ บัดนี้ได้เปลี่ยนไปแล้ว เลขหมายใหม่คือ 921-9281" เป็นต้น คุณภาพของเสียงที่ได้ยินนั้นก็จัดได้ว่ามีความชัดเจนมากและมีความผิดเพี้ยนน้อยจริงๆ ซึ่งเป็นตัวอย่างอันหนึ่งของระบบการวิเคราะห์และสังเคราะห์เสียงมนุษย์ที่เรากำลังทำการศึกษาอยู่ ถึงแม้ว่าระบบสัญญาณเสียงนี้จะใช้หน่วยความจำอย่างมากมาย แต่มันก็เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่มีใช้กันในปัจจุบัน

หลักการในการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นข้อมูลในระบบดิจิตอลนั้นค่อนข้างจะเป็นเรื่องง่าย ขั้นตอนคร่าวๆ จะเริ่มด้วยการทำ DATA ACQUISITION สัญญาณเสียงจะถูกนำเข้ามาผ่านการปรุงแต่งสัญญาณให้เหมาะสมเสียก่อนเหมือนสัญญาณอินพุททั่วๆ ไป จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการเก็บสัญญาณนี้ในลักษณะเป็นช่วงๆ โดยนำสัญญาณอินพุทที่จะทำการบันทึกช่วงนั้นมาผ่านการสุ่ม <SAMPLING>ระดับโวลท์เตจของสัญญาณ โดยอุปกรณ์สำหรับแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ที่เรียกว่า A/D CONVERTER และจะทำการเก็บข้อมูลนั้นในระบบตัวเลขฐานสอง ตามหลักที่ถูกต้องแล้ว จำนวนครั้งที่จะทำการสุ่มข้อมูลต่อวินาทีนั้นจะขึ้นกับความถี่ของสัญญาณเสียงที่เป็นอินพุท เมื่อข้อมูลที่ถูกสุ่มเข้ามาเก็บไว้ที่หน่วยความจำเรียบร้อยแล้ว คอมพิวเตอร์ก็สามารถที่จะสังเคราะห์สัญญาณเสียงให้เหมือนกับสัญญาณเสียงเดิมที่ทำการสุ่มเข้ามาได้ โดยการส่งข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ให้กับอุปกรณ์ที่เราเรียกว่า เครื่องแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก ด้วยอัตราเท่ากับอัตราสุ่มในตอนแรกที่ทำการเก็บสัญญาณเข้ามาอย่าต่อเนื่อง

แต่ในการใช้งานจริงๆแล้ว การที่จะใช้งานระบบดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพนั้นไม่เป็นเรื่องที่ง่ายนัก เนื่องจากข้อมูลดิบที่ได้มีจำนวนมาก ระบบที่สามารถเก็บข้อมูลที่มีจำนวนมากนั้นต้องมีหน่วยความจำที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งก็หมายถึงราคาซึ่งมักจะเป็นตัวแปรที่สำคัญในการใช้งานจริง ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการที่จะใช้หน่วยความจำอย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะกล่าวถึงในบทต่อๆไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีเกี่ยวกับอัตราสุ่มและระบบข้อมูลจากการสุ่ม

ผู้อ่านคงจะรู้จักและสามารถแยกความแตกต่างระหว่างระบบที่ต่อเนื่องกับระบบที่ไม่ต่อเนื่องและระบบข้อมูลที่มาจากการสุ่มมาบ้างแล้ว ในระบบที่ต่อเนื่องนั้น อินพุท เอาท์พุทและตัวแปรอื่นๆในระบบทั้งหมดเราสามารถที่จะวัดได้เมื่อเวลาใดๆ และสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างต่อเนื่องตามเวลา ในระบบที่ไม่ต่อเนื่องนั้น ตัวแปรต่างๆ ในระบบเราไม่อาจคาดคะเนได้ตลอดช่วงเวลา เพราะระบบทำงานไม่ต่อเนื่องหรือทำงานเป็นช่วงๆ ที่แน่นอน เมื่อเราหาค่าตัวแปรใดๆ ในเวลาช่วงหนึ่งๆ ก็จะได้ตัวแปรค่าหนึ่งออกมา ซึ่งค่าที่ได้มานี้จะเป็นค่าที่อาจใกล้เคียงกับค่าจริงๆในระบบที่ต่อเนื่องเท่านั้น เพราะมันจะมีค่าเท่ากันกับในระบบต่อเนื่อง(ในทางทฤษฎี) เฉพาะในขณะที่ทำการแปลงข้อมูลเป็นดิจิตอลเท่านั้น และจะเป็นจริงก็ต่อเมื่อมีข้อมูลขนาดจำนวนบิทเท่ากับอนันต์เท่านั้น ดังนั้นจึงเป็นการยากลำบากพอสมควรที่จะนำเอาคอมพิวเตอร์ไปทำงานกับสัญญาณหรือระบบที่เปลี่ยนไปได้อย่างต่อเนื่องตามเวลาเพราะว่าการทำงานของคอมพิวเตอร์นั้นเป็นแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง ฉนั้นจึงมีความจำเป็นที่สัญญาณของระบบที่ต่อเนื่องเหล่านั้นจะต้องถูกทำการสุ่มตามช่วงเวลาที่ไม่ต่อเนื่องราวกับว่ามันเองก็ทำงานไม่ต่อเนื่องเช่นกัน เราจะเรียกการทำงานของระบบ ที่ทำการสุ่มข้อมูล <SAMPLED-DATA SYSTEM> ซึ่งสัญญาณที่ต่อเนื่องหรือสัญญาณอนาลอกใดๆ ซึ่งถูกสุ่มและเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลในเชิงตัวเลขว่า การดิจิไตซ์ จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ เรารู้จักกันในรูปของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ส่วนในกระบวนการที่ทำงานตรงกันข้ามกับกระบวนการดังกล่าว ก็คือ การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกนั่นเอง

สัญญาณที่ถูกนำเข้ามาผ่านระบบทำการสุ่มข้อมูล บางทีก็มีความหมายเป็นลำดับ <SEQUENCE>แล้วแต่ว่าจะเป็นลำดับเข้าหรือลำดับออก โดยธรรมชาติแล้วสัญญาณใดๆ นั้นมีความยาวเป็นอนันต์ ดังนั้นเราจึงมักจะใช้เวกเตอร์ เป็นตัวที่จะใช้แยกข้อมูลให้มีความยาวที่แน่นอน ซึ่งจะทำให้ การวิเคราะห์นั้นสามารถทำได้ง่ายขึ้นโดยการคำนวณด้วยระบบดิจิตอล

จากทฤษฎีตัวกล่าวทำให้เราอ้างได้ว่าข้อมูลเชิงตัวเลขที่เราสุ่มมาเพื่อเป็นตัวแทนสัญญาณต่างๆ ทางอนาลอกนั้นย่อมมีจุดสิ้นสุดที่แน่นอนได้ หรือเราสามารถใช้ข้อมูลเชิงตัวเลขต่างๆ นั้นเป็นตัวแทนสัญญาณต่างๆ ทางอนาลอกได้เสมอและมีจำนวนที่แน่นอนสามารถควบคุมได้ เราเรียกความแตกต่างระหว่างข้อมูลเชิงตัวเลขที่เราสามารถกำหนดได้นี้ว่า ข้อมูลควันไตซ์

ซึ่งจากการสุ่มข้อมูลออกมาแบบนี้ก็อาจเกิดความคลาดเคลื่อนบ้าง เราเรียกว่า ความผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

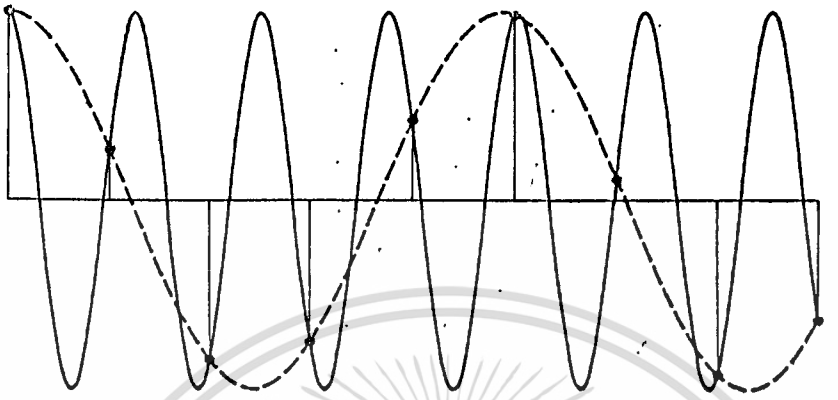
พลาดทางควันไตซ์ ซึ่งความผิดพลาดทางควันไตส์นี้เป็นปัญหาสำคัญในเรื่องสัญญาณรบกวน จะเห็นได้ว่าเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นโดยปรกติของการทำงานแบบดิจิตอลเอง และมักก่อให้เกิดความไม่เที่ยงตรงในระบบที่ทำงานเกี่ยวกับสัญญาณดิจิตอลแบบนี้

ในระบบที่เรากำลังศึกษานี้ จะใช้ช่วงเวลาที่ทำการสุ่มข้อมูลแต่ละครั้งเท่ากันเสมอ ฉะนั้น อัตราสุ่มข้อมูลของระบบจะเท่ากับส่วนกลับของเวลาที่แตกต่างกันระหว่างการสุ่มข้อมูลแต่ละครั้ง

ในการสุ่มข้อมูลจากสัญญาณทางอนาลอกใดๆ ควรจะประมาณค่าของอัตราสุ่มไว้ให้สูงพอสมควร เพราะถ้าใช้อัตราสุ่มที่ค่อนข้างต่ำนั้น อาจก่อให้เกิดปัญหาในระหว่างที่เราทำการสุ่มข้อมูลจากสัญญาณที่ต่อเนื่อง เพราะในสัญญาณนั้นอาจมีข้อมูลต่างๆ ที่สำคัญมาก เช่นสัญญาณหัวใจในคนไข้ที่มีปัญหาอาจมีบางช่วงที่มีลักษณะของความถี่สูง หากใช้อัตราการสุ่มที่มีค่าสูงกว่าสัญญาณหัวใจปรกติเพียงสองหรือสามเท่า สัญญาณดังกล่าวก็จะไม่ได้ถูกสุ่มเข้ามา หรือระบบทำการสุ่มไม่สามารถเก็บรายละเอียดของสัญญาณได้อย่างเพียงพอ ผลลัพธ์ที่ตามมาก็คือ เมื่อเราทำการแปลงข้อมูลกลับไปเป็นสัญญาณทางอนาลอกแล้ว เราจะได้สัญญาณที่ผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณต้นฉบับมาก ในทฤษฎีการสุ่มข้อมูลจากสัญญาณที่ต่อเนื่อง กำหนดให้ใช้อัตราสุ่มอย่างน้อยสองเท่าของความถี่ที่สูงสุดของสัญญาณที่เราจะนำมาทำการสุ่ม เราเรียกอัตราการสุ่มที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้นี้ว่า NYQUIST RATE แต่หากต้องการรายละเอียดของสัญญาณสูง เช่นในการวิเคราะห์สัญญาณหัวใจต้องเลือกอัตราสุ่มสูงมากกว่าสองเท่าขึ้นไปอีกมากๆขึ้นไปอีก ดังนั้นสำหรับสัญญาณต่างๆ ที่จะถูกนำมาทำการสุ่มข้อมูลที่ความถี่ประมาณ 3-4 กิโลเฮิทร์ อัตราสุ่มที่ควรจะใช้มากที่สุดคือ 8-10 กิโลเฮิทร์

ในระบบใดๆ ที่ใช้อัตราสุ่มน้อยกว่า NYQUIST RATE ที่เป็นมาตราฐานนั้น เราเรียกว่า UNDERSAMPLING สำหรับสัญญาณที่ถูกสุ่มแบบ UNDERSAMPLING นั้น จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นสัญญาณใหม่ที่มีความถี่เท่ากับผลต่างของความถี่ของอัตราสุ่มกับความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้ามา ซึ่งจะมีความเพี้ยนไปจากเดิมอย่างมากดังตัวอย่างในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของการกำหนดอัตราสุ่มที่ต่ำกว่ามาตราฐาน เส้นหนาแสดงถึงสัญญาณอินพุทที่ความถี่ประมาณ 795 เฮิทร์ จุดแสดงถึงการสุ่มที่ความถี่ประมาณ 1 กิโลเฮิทร์ เส้นประแสดงถึงสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ออกมา มีความถี่เท่ากับผลต่างของอัตราสุ่มกับความถี่ของสัญญาณอินพุทประมาณ 1000-795 = 205 เฮิทร์

แต่ถ้ากำหนดให้อัตราสุ่มมีค่าสูงเกินไป ก็ไม่ใช่ผลดีขึ้นมาเท่าไรนัก เพราะปริมาณข้อมูลที่ทำการสุ่มออกมาได้นั้นอาจจะมากเกินความจำเป็น ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ของหน่วยความจำอย่างมาก ฉะนั้นเราควรเลือกความถี่ของอัตราสุ่มให้ถูกต้องตามมาตรฐาน และเมื่อเลือกใช้อัตราสุ่มค่าหนึ่งแล้วเราอาจจะใช้อุปกรณ์ประเภทกรองความถี่ผ่านได้ด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้ข้อมูลที่สำคัญๆ พลาดไป โดยการออกแบบวงจรกรองความถี่ที่มากกว่าครึ่งหนึ่งของอัตราสุ่มที่เรากำหนดไว้ <Fs/2> แต่ในการออกแบบวงจรกรองความผ่านนั้น ไม่ควรให้จุดที่ให้คัทออฟนั้น ทำการคัทออฟอย่างรวดเร็วเกินไป ควรเลือกให้เรสปอนส์ของวงจรกรองความถี่ผ่านนั้นลดลงอย่างช้าๆ จะดีกว่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อัตราสุ่ม

อัตราสุ่มคือ จำนวนครั้งต่อวินาทีในการสุ่มข้อมูลเพื่อจะทำการแปลงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณเสียงให้เป็นข้อมูลทางระบบดิจิตอล ซึ่งในการเลือกใช้อัตราสุ่มเพื่อจะทำการบันทึกข้อมูลนี้จะต้องคำนึงถึง ข้อจำกัดทางทฤษฎีที่เรียกว่า NYQUIST INTERVAL <THEORETICAL LIMIT CALLED NYQUIST INTERVAL> ซึ่งอย่างน้อยที่สุดแล้ว อัตราสุ่มจะต้องมากกว่าความถี่ของสัญญาณเสียงที่จะนำมาบันทึกประมาณ 2 เท่า เช่น สำหรับสัญญาณเสียงที่จะถูกนำมาทำการบันทึกมีแบนด์วิดด์ประมาณ 2 กิโลเฮิตร์ อัตราสุ่มที่เพียงพอสำหรับระบบนี้ก็ควรจะประมาณ 4 กิโลเฮิตร์ แต่ค่าของอัตราสุ่มเหล่านี้เป็นเพียงการประมาณเท่านั้น ข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้นจะเป็นจริงได้ก็ต่อ เมื่อวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านที่นำมาใช้ทางเอาท์พุทของตัวเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกเป็นตัวกรองความถี่ต่ำผ่านในอุดมคติเท่านั้น

แต่บางครั้งในทางปฏิบัติจริงๆ นั้น อาจจะต้องการอัตราสุ่มที่มากกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณทางอินพุทถึง 3 หรือ 4 เท่าได้ ดังนั้นสำหรับเครื่องที่ใช้ระบบนี้ จะใช้งานได้ค่อนข้างดีถ้าเรากำหนดอัตราสุ่มไว้ประมาณ 6-8 กิโลเฮิตร์ ซึ่งในปัจุบันนี้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ถูกนำมาใช้ใน OPTICAL DEGITIZED MUSIC RECORDING ในท้องตลาดที่ได้รับความเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับกัน ได้ใช้อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ 16 บิท โดยใช้อัตราสุ่มสูงถึง 50กิโลเฮิตร์ ซึ่งจะได้อัตราการผลิตข้อมูลทางดิจิตอลออกมา ถึง 800,000 บิทต่อวินาที <bps>

แต่สำหรับการวิจัยนั้น มักจะมีข้อจำกัดทางเทคนิคอื่นๆ เกิดขึ้นมาอีกได้ เช่น เมื่อเราต้องการจะกำหนดอัตราสุ่มที่จะใช้ในระบบเมื่อไร เราต้องคำนึงถึงความละเอียด <RESOLUTION> ของอุปกรณ์ที่นำมาใช้แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลด้วย เป็นสิ่งที่สำคัญเพราะการทำงานของอุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลนั้นค่อนข้างจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่องมากกว่า คือมีการทำงานเป็นลำดับขั้นไป ที่เรียกว่า ควันตา <QUANTA> ถ้าเราใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ 4 บิท เราก็จะได้ข้อมูลทางดิจิตอลที่ใช้แทนสัญญาณทางอนาลอก ณ จุดๆ หนึ่งเท่ากับ 16 ระดับ ซึ่งแต่ละระดับอาจจะมีความผิดพลาดประมาณ +/- 1/16 หรือประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ หรือสำหรับอุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ 12 บิท ก็จะได้ข้อมูลแตกต่างกันถึง 4096 ระดับ แต่ความผิดพลาดของข้อมูลจะเหลือเพียง 0.02 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ดิจิตอล มอดดูเลชัน

ดิจิตอล มอดดูเลชันที่มีใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจุบันมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีแบบเดลต้า มอดดูเลชัน <DM> และแบบ พัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน <PCM> ถึงแม้ว่าทั้ง 2 วิธีจะเป็นการทำงานในระบบดิจิตอลก็ตามแต่มันก็มีธรรมชาติของระบบอนาลอกอยู่เหมือนกัน เพราะทั้งแอมปลิจูดหรือไทม์มิ่ง ของสัญญาณพัลซ์ที่ถูกมอดดูเลทออกมา มันสามารถถูกทำให้เปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่องตาม แอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมาทำการมอดดูเลท

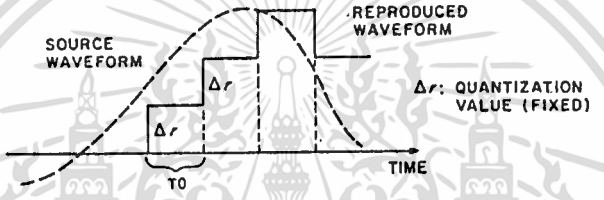
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 วิธีการเดลต้า มอดดูเลชัน

วิธีการทาง เดลต้า มอดดูเลชันนี้ เป็นวิธีหนึ่งในการลดปริมารข้อมูลในระบบ ดิจิตอล มอดดูเลชันวิธีหนึ่ง โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

1. ได้สมมติให้รูปของสัญญาณค่อนข้างจะเป็นรูปแบบที่แน่นอนและเราสามารถทำนายความชันของสัญญาณได้ว่าจะขึ้นหรือลง

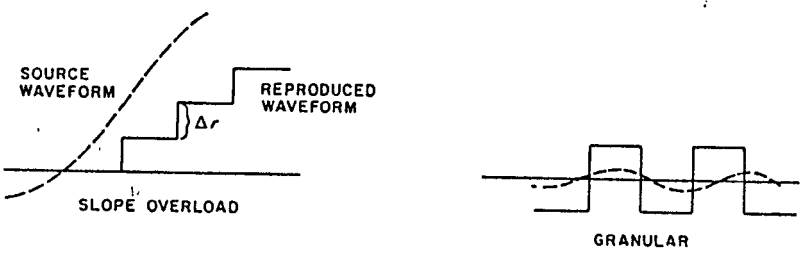
2. วิธีเดลต้า มอดดูเลชัน จะเก็บข้อมูลเพียง 1 บิท โดยเมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ทำการสุ่มสัญญาณใหม่เข้ามาโดยผ่าน ADC CONVERTER ก็จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอันก่อน ถ้าสัญญาณที่สุ่มเข้ามาใหม่มีค่ามากกว่า ไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการเก็บข้อมูล 1 แทน แต่ถ้าสัญญาณที่ทำการสุ่มเข้ามาใหม่มีค่าน้อยกว่า ไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะเก็บข้อมูลเป็น 0 แทน



รูปที่ 4.1 แสดงวิธีการ DEGITIZE ข้อมูล ในวิธี เดลต้า มอดดูเลชัน โดยที่ QUANTIZATION VALUE มีค่าคงที่เสมอ

ตามหลักการของ เดลต้ามอดดูเลชัน ที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ จะเห็นข้อเสียของวิธีการ เดลต้ามอดดูเลชันอยู่หลายข้อคือ เพราะที่วิธีการเดลต้ามอดดูเลชันทำการเก็บข้อมูลเพียงทิทเดียวนั้นและเป็นเพียงทิทเดียวที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างทำการสุ่ม ฉนั้นเพื่อที่จะไม่ให้ข้อมูลที่สำคัญๆ ของสัญญาณอินพุทสูญหายไป จึงจำเป็นต้องใช้อัตราสุ่มที่สูงขึ้น นอกจากนี้ถ้าหากว่าสัญญาณอินพุทมีการเปลี่ยนแปลงความชันอย่างมาก <SLOPE OVERLOAD> ในขณะเดียวกันค่าควันไตซ์เซชันของวิธีเดลต้า มอดดูเลชันคงที่เสมอ จะทำให้สัญญาณที่ ไมโครโปรเซสเซอร์แปลงกลับออกมาทางเอาพุทเกิดความเพี้ยนขึ้นมา <AUDIVLY DISTORTION> ดังรูป 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



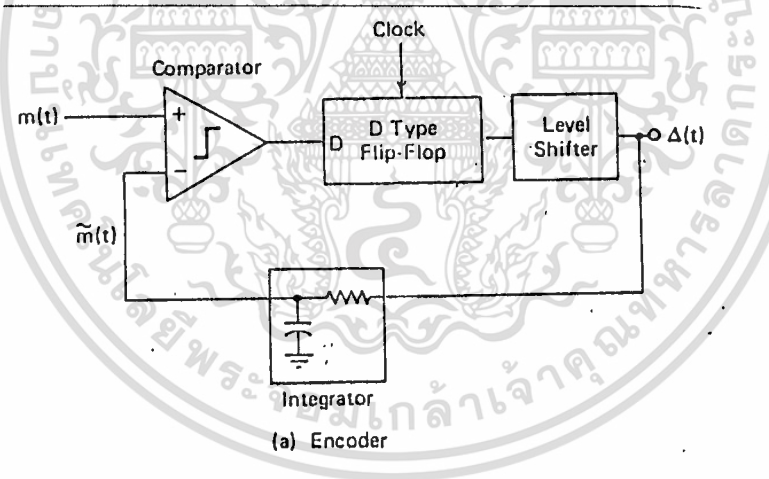
รูป 4.2 แสดงไว้ซึ่งปัญหา 2 ประการที่เกิดขึ้นในวิธีการทำ เดลต้ามอดดูเลชัน คือเมื่อสัญญาณอินพุทเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและค่าควันไตซ์เซชันที่คงที่เสมอ มีค่าน้อยเกินไปที่จะครอบคลุมถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุท ปัญหา SLOPE OVERLOAD นี้ก็จะทำให้เกิด COMPLINCE ERROR หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของสัญญาณอินพุทดังรูป แต่ในขณะเดียวกันค่าควันไตซ์เซชันยังคงที่อย่างเดิมก็จะทำให้เกิด GRAMULAR NOISE ขึ้นมาที่เอาพุท

ฉะนั้นเราสามารถสรุปได้ว่า วิธีการแบบ เดลต้ามอดดูเลชัน สามารถแปลงสัญญาณอินุทและทำการลดจำนวนข้อมูลได้บ้าง แต่ก็ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานที่เราต้องการคุณภาพของเสียงที่ดีและมีรายละเอียดอยู่ครบถ้วน

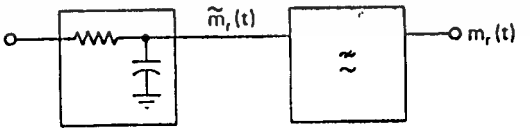
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีเดลต้ามอดดูเลชัน แบบธรรมดา
SIMPLE DELTA MODULATION

วิธีการทางเดลต้ามอดดูเลชัน เป็นวิธีที่มีความนิยมใช้กันน้อยที่สุดในจำนวน 2 วิธีนี้ แต่ปัจจุบันก็มีใช้งานกันอยู่ในระบบสื่อสารของดาวเทียม ระบบโทรทัศน์ และระบบการสื่อสารระหว่างชุมสายโทรศัพท์ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบ พัลซ์ โคด้ มอดดูเลชันแล้วแบบเดลต้า มอดดูเลชันนี้จะมีความซับซ้อนและราคาถูกกว่ามาก แต่จะมีความผิดพลาดในการส่งมากพอสมควรและเป็นข้อมูลแบบอนุกรมเข้ามาโดยตรง ซึ่งไม่ต้องมีการซิงค์โครไนซ์เหมือนกับการส่งข้อมูลแบบอนุกรมของระบบคอมพิวเตอร์ จำนวนข้อมูลมีเพียงบิทเดียวจึงไม่ม่ความซับซ้อนใดๆ ในทางตรงกันข้ามวิธีแบบนี้ค่อนข้างที่จะใช้งานได้ไม่ดีนักเมื่อสัญญาณที่เข้ามามีการเปลี่ยนแปลงความชันมากๆ ที่เรียกว่า SLOPE OVERLOAD และวิธีการแบบนี้ก็ไม่เหมาะสมที่จะนำไปทำการมัลติเพล็กซ์หลายๆ ช่อง วิธีการแบบ เดลต้า มอดดูเลชันนี้จะส่งเอาพุทพัลซ์ เป็นเลขฐาน 2 ซึ่งโลจิกจะขึ้นกับความแตกต่างของสัญญาณที่กำลังจะถูกทำการมอดดูเลทกับสัญญาณที่ถูกทำการมอดดูเลทมาก่อนในครั้งที่แล้วซึ่งแสดงได้ตามรูป 4.2 M<t> คือสัญญาณที่ถูกฟีดแบคกลับมาเพื่อเปรียบเทียบกับ M<t> ซึ่งเป็นสัญญาณอินพุท



(a) Encoder

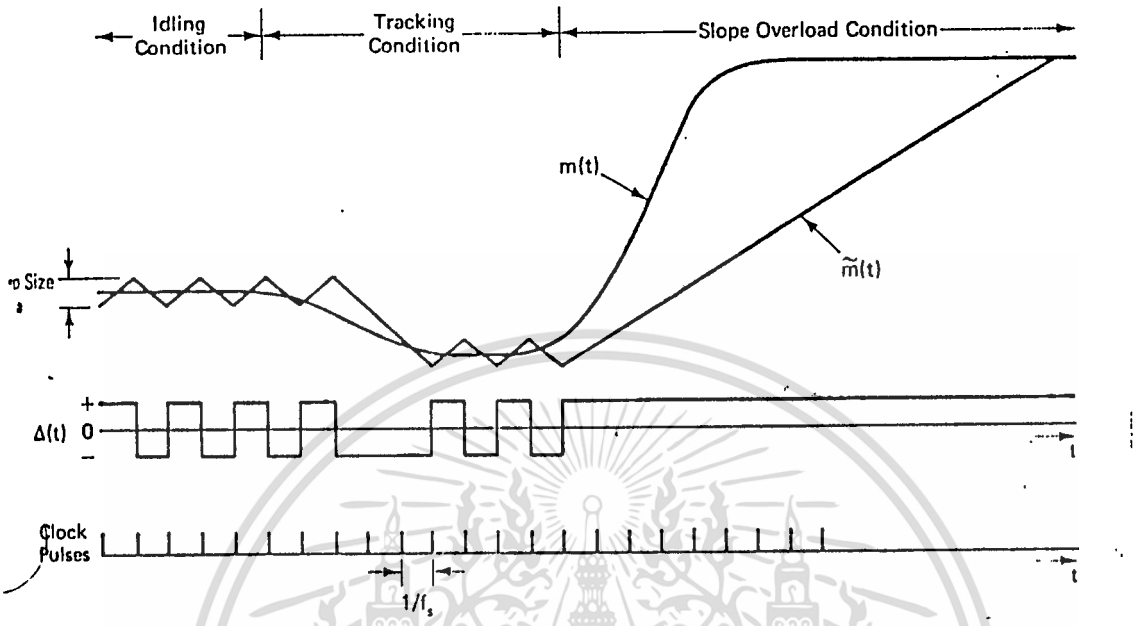


(b) Decoder

Delta Modulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
023194

ถ้า M{t} > M{t} สัญญาณพัลซ์เอาพุท, {t} จะเป็นบวก และถ้า M{t} < M{t} สัญญาณพัลซ์เอาพุทจะเป็นลบ

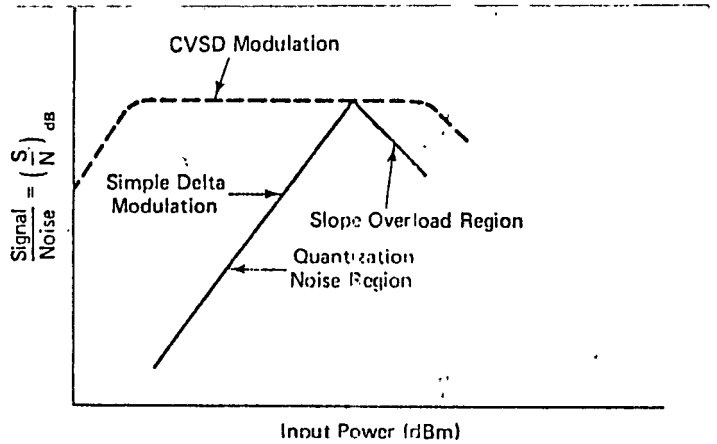


รูปที่ 4.2

สัญญาณดังรูปจะแสดงถึงการทำงานของระบบการมอดดูเลทที่กล่าวมาชุดสัญญาณที่ถูกสร้างใหม่เป็นรูปสามเหลี่ยมจะถูกแทนให้เป็นสัญญาณ M{t} สัญญาณ M{t} นี้เกิดจาก สัญญาณอินพุทที่ถูกนำมาผ่านวงจรอินทิเกรตแล้วมันจะกลายเป็นสัญญาณที่เป็นเส้นตรงไปเรื่อยๆ ถ้าไม่มีสัญญาณอินพุทใดๆ เข้ามาเปรียบเทียบกับสัญญาณในส่วนที่เป็นสภาวะ IDLING สังเกตว่าสัญญาณเอาพุทที่ได้ออกมาจะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ทั้งๆ ที่สัญญาณอินพุทค่อนข้างจะเป็นเส้นตรง ความแตกต่างของสัญญาณอินพุทเดิม M{t} กับสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นใหม่นี้จะก่อให้เกิดสัญญาณที่ผิดพลาดขึ้นมาที่เรามักจะเรียกว่า กรานูล่าร์หรือควันไตซ์เซชัน น้อยซ์ เราสามารถที่จะลดน้อยซ์เหล่านี้ได้โดยการลดขนาดของ STEP SIZE หรือโดยการเพิ่มความถี่ของอัตราสุ่ม

ถ้าสัญญาณอินพุท M{t} มากกว่าสัญญาณ M{t} ที่ถูกป้อนกลับมา สัญญาณเอาพุทที่ได้จะยังคงเป็นบวก เมื่อสัญญาณ M{t} กำลังจะเพิ่มมากกว่าสัญญาณอินพุท M{t} สัญญาณเอ้าพุทที่เข้าโค้ดออกมาได้จะเป็น พัลซ์แบบลบ แต่ถ้าสัญญาณอินพุทมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณมากกว่าที่สัญญาณจะถูกเข้าโค้ดได้ทัน ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า SLOPE OVERLOAD ก็จะเกิดขึ้นทันที ปรากฏการณ์ที่เป็นปัญหาใหม่ที่เกิดขึ้นเสมอกับวิธีการแบบ เดลต้ามอดดูเลทนี้ ผลลัพท์ที่ได้คือ จะทำให้เกิดความเพี้ยนของสัญญาณขึ้นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.3 แสดงอัตราส่วนของสัญญาณกับน้อยส์สำหรับวิธีแบบเดลต้า มอดดูเลชันทั้งแบบธรรมดาและแบบอะแดปทีฟ

จากกราฟจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนของสัญญาณกับน้อยส์จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะกระบวนการเข้าโคด้ให้แก่สัญญาณอินพุทยังเป็นไปตามปาติเรื่อยๆ แต่เมื่อสัญญาณอินพุทมีการเปลี่ยนแปลงมากๆ จนเกิดปรากฏการณ์ SLOPE OVERLOAD ขึ้นมา น้อยส์ที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่า ควันไตส์เซชัน น้อยส์ มากๆ จะเป็นผลให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณน้อยส์เริ่มลดลง นี่คือข้อเสียของวิธีการแบบเดลต้ามอดดูเลชัน

ถ้าเรากำหนดให้สัญญาณอินพุทคือ $M(t) = A\sin 2 Fm.t$

ฉะนั้นอัตราการเพิ่มของสัญญาณอินพุทคือ $= 2 Fm.t$

ถ้ากำหนดให้ขนาดของ STEP = a และใช้อัตราการสุ่ม = Fs

เพราะฉะนั้นอัตราการเพิ่มของสัญญาณ M(t) ที่เราสร้างขึ้นใหม่คือ $= a.Fs$

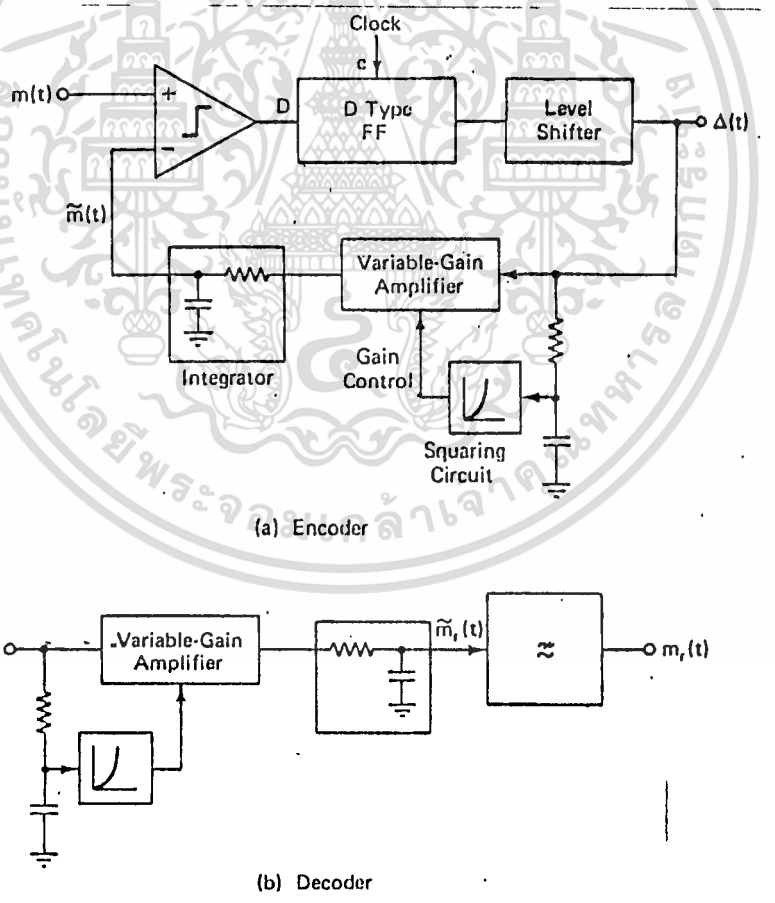
ให้อัตราการเพิ่มของสัญญาณทั้ง 2 เท่ากัน

STEP SIZE และ อัตราการสุ่มเราสามารถกำหนดได้ ถ้าเราจำกัดความถี่ของสัญญาณอินพุทให้จำกัดไว้ค่าหนึ่ง เราก็จะได้ ค่าแอมปลิจูดที่สูงสุดจะเป็นไปได้ค่าหนึ่ง ฉะนั้นเราสามารถจำกัดปรากฏการณ์ SLOPE OVERLOAD ได้โดยการเพิ่มอัตราสุ่มหรือเพิ่มขนาดของ STEP SIZE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 COMPANDED DELTA MODULATION

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อของวิธีเดลต้า มอดดูเลชันแบบธรรมดา เราจะเห็นว่าอัตราส่วนของสัญญาณและน้อยส์โดยวิธีดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากขึ้นกับ ขนาดของสัญญาณที่ถูกนำมาเป็นอินพุท เพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ ให้อัตราส่วนของสัญญาณกับน้อยส์มีค่าค่อนข้างคงที่ เราต้องทำให้ขนาดของ STEP หรือค่าควันไตส์เซชันสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับแอมปลิจูดของสัญญาณอินพุท คือ ถ้าสัญญาณอินพุท M(t) มีขนาดเล็กๆ ขนาดของ STEP หรือ ค่าควันไตส์เซชันก็ควรจะมีค่าเล็กๆ แต่ถ้าสัญญาณอินพุทมีขนาดใหญ่ขึ้น ค่าควันไตซ์เซชันก็ควรมีขนาดใหญ่ตามขึ้นด้วย วิธีการแบบนี้จะทำให้สัญญาณน้อยส์เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณด้วยอัตราเท่าเดิมเสมอ จะมีผลให้อัตราส่วนของสัญญาณกับน้ออยส์มีค่าคงที่เสมอไม่ว่าสัญญาณอินพุท M(t) จะมีการเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใด และปรากฏการณ์ SLOPE OVERLOAD ก็ยากที่จะเกิดขึ้นเพราะเมื่อใกล้จะถึงจุดนี้ ขนาดค่าควันไตซ์เซชันได้ถูกเพิ่มให้มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้ว สำหรับระบบที่ใช้กันในข่ายงานโทรศัพท์นั้น วิธีอะแดปทีฟ เดลต้า มอดดูเลชัน จะถูกใช้กันในลักษณะที่เรียกว่า CVSD [CONTINUOUS VARIABLE SLOPE DELTA MODULATION] ซึ่งมีผังการทำงานดังนี้



รูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป วงจรสแคร์ริ่ง {SQUARING CIRCUIT} เป็นตัวสร้างอัตราขยายให้แก่ฟีดแบคแอมปลิไฟร์ เพื่อที่จะทำการเพิ่มขนาดสัญญาณ M{t} ที่สร้างขึ้นใหม่เพื่อเป็นสัญญาณเปรียบเทียบแก่สัญญาณอินพุทชุดใหม่ที่มีแอมปลิจูดกำลังจะเพิ่มขึ้นมากๆ โดยไม่สนใจว่า ขนาดนั้นจะเพิ่มมากขึ้นไปในทางใด ฉนั้นขนาดของควันไตซ์เซชันน้อยส์จะถูกทำให้เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของขนาดของสัญญาณอินพุทที่เข้ามา

ในปัจุบันมีไอซีสำเร็จรูปที่ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวเข้ารหัสและตัวแปรระหัสในระบบ คอนตินิวอัสแวร์ริเอเบิล สโลป เดลต้า มอดดูเลชันอยู่คือ HC-55516/55532 และ FX209 ที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างค่อนข้างมีประสิทธิภาพ

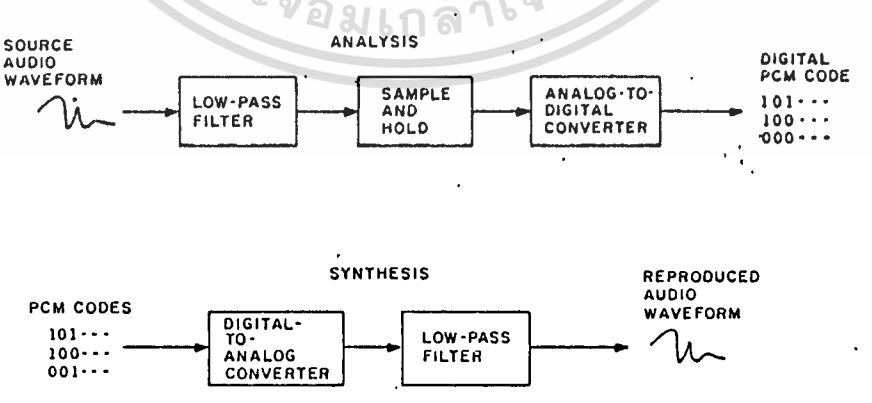
ข้อได้เปรียบที่สำคัญประการหนึ่งของระบบ CVSD ต่อระบบ PCM ก็คือ มันสามารถบันทึกสัญญาณอันเดียวกันโดยใช้ BIT RATE ต่ำกว่าครึ่งหนึ่ง สำหรับการบันทึกเสียงที่จัดว่าสมบูรณ์แบบนั้น วิธี COMPANDED PULSE CODE MODULATION ต้องการ BIT RATE ถึง 64 กิโลบิทต่อวินาที ในขณะที่ระบบ CVSD นั้นต้องการเพียง 32 กิโลบิทต่อวินาทีด้วยคุณภาพที่ใกล้เคียงกัน

แต่ข้อเสียของระบบ CVSD คือ ไม่เหมาะที่จะนำข้อมูลไปใช้ร่วมกันหลายๆ ช่องสัญญาณในลักษณะการมัลติเพรกซ์และด้วย FORMAT ของ CVSD นั้นไม่สามารถจะใช้ระบบสื่อสารผ่านโมเด็มได้ เพราะเป็นข้อมูลแบบต่อเนื่อง ดังนั้นทั้งแบบ CVSD และ PCM ต่างก็มีข้อดีและข้อเสียคนละด้านรายละเอียดและข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการสื่อสารผ่านโมเด็มด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
พัลซ์ โคด้ มอดดูเลชัน

พัลซ์ โคด้ มอดดูเลชัน คือวิธีที่ใช้กันทั่วไปในการแทนสัญญาณทางอนาล็อกให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณทางดิจิตอล สำหรับจุดใดๆ บนสัญญาณทางอนาลอกที่ต่อเนื่องกันจะถูกแทนได้เป็นข้อมูลทางดิจิตอลค่าหนึ่งในระบบของเลขฐาน 2 เมื่อไรที่ค่าหนึ่งบนสัญญาณอนาล็อกถูกทำการวัดค่าๆ นั้นจะนั้นนำมาเปรียบเทียบว่าจะต้องแทนด้วยโค้ดอะไรในระบบเลขฐาน 2 ซึ่งเรียกว่า พัลซ์ โค้ด ถ้าหากว่าค่านั้นอยู่ระหว่างสองค่าในระบบเลขฐานสอง จะถือว่า ค่าเลขฐานสองที่อยู่ใกล้มากที่สุดนั้นเป็นโค้ดสำหรับแทนสัญญาณจุดนั้นของสัญญาณอนาล็อกที่ทำการอินพุทเข้า วิธีการแบบนี้ถูกเรียกว่า ควันไตซ์เซชัน (QUANTIZATION) การแบ่งคลื่นออกเป็นช่วงย่อยๆ โดยแต่ละช่วงจะถูกกำหนดให้เท่ากับโค้ดในระบบเลขฐานสองค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า พัลซ์ โค้ด ฉนั้นในการวิเคราะห์สัญญาณเสียงใดๆ เมื่อสัญญาณเสียงผ่านกระบวนการเหล่านี้แล้วชุดข้อมูลที่เป็น พัลซ์ โค้ด จะถูกส่งออกมาอย่างต่อเนื่องเป็นขบวน ผลที่ได้นี้คือ สัญญาณพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน แต่เพราะว่าสัญญาณเสียงที่จะนำมาวิเคราะห์และทำการบันทึกไว้นั้นจะถูกนำมาเก็บไว้ในรูปของสัญญาณดิจิตอล ฉะนั้นในการที่จะนำเอาสัญญาณเสียงนั้นๆ มาผ่านกระบวนการต่างๆ เราจึงต้องทำการปรุงแต่งสัญญาณนั้นให้เหมาะสมเสียก่อนซึ่งจะแสดงวิธีการต่างๆ ดังรูป 5.1 ซึ่งแสดงถึงแผนผังการทำงานของเครื่องสังเคราะห์สัญญาณเสียงหรือ SPEECH SYNTHESIZER ซึ่งเครื่องนี้จะทำการแปลงสัญญาณเสียงที่เราต้องการจะเก็บบันทึกไว้ให้อยู่ในรูปของข้อมูลทางดิจิตอลที่เราเรียกว่า พัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 5.1 ไดอะแกรมของระบบการวิเคราะห์และสร้างสัญญาณเสียงโดยใช้วิธี พัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน

จากรูปสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้คือ สัญญาณเสียงโดยทั่วไปซึ่งบางส่วนของสัญญาณอาจมีความถี่สูงเกินไป ทำให้ผลต่างของระดับสัญญาณระหว่าง 2 จุดใดๆ ในขณะทำการสุ่มมีค่ามากเกินกว่าค่าสูงสุดของ พัลซ์ โค้ด ที่เราได้กำหนดไว้มักทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณขึ้นได้ ที่เราเรียกว่า COMPLIANCE ERROR ฉนั้นเราจึงต้องนำเอาสัญญาณที่เราต้องการจะวิเคราะห์และบันทึกไว้มาผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งจะสามารถช่วยลดปัญหานี้ได้เพราะสัญญาณความถี่สูงได้ถูกกรองทิ้งไปแล้ว จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกนำมาเข้าวงจรส่วนที่เรียกว่า วงจรสุ่มและหน่วงสัญญาณ เหตุที่ต้องใช้วงจรสุ่มและหน่วงสัญญาณนี้ก็เพราะในวงจรนี้เราได้เลือกใช้อุปกรณ์ที่ทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลที่ทำงานแบบ ซักเซสซีฟ แอพพรอกซิเมชัน ซึ่งอุปกรณ์แปลงสัญญาณนี้จะทำการแปลงสัญญาณออกมาทีละบิทแล้วกลับไปเช็คสัญญาณอินพุทใหม่อีกแล้วทำการแปลงไล่ไปจนครบทุกบิท จึงจะถือวาเสร็จกระบวนการทำงานใน 1 ครั้ง (CONVERSION COMPLETE) ถ้าหากเราไม่มีวงจรสุ่มและหน่วงสัญญาณไว้แล้วจะทำให้สัญญาณทางอินพุทของ ADC CONVERTER ไม่ใช่สัญญาณเดิม ในระหว่างกระบวนการทำการแปลงข้อมูลเหล่านั้นกลับไปเป็นสัญญาณเสียงมักจะมีความผิดเพี้ยนขึ้นมาเสมอ จากนั้นข้อมูลทางดิจิตอบที่ได้รับออกมาแต่ละไบท์จะนำมาผ่านกระบวนการทางซอฟแวร์โดยไมรโครโปรเซสเซอร์ เพื่อทำการแปลงสัญญาณออกมาให้อยู่ในรูปของ พัลซ์ โค้ด แล้วนำข้อมูลเหล่านี้ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ มาถึงจุดนี้ก็คือเสร็จสิ้นขั้นตอนในการวิเคราะห์สัญญาณเสียงเพื่อเก็บบันทึกในรูปแบบของสัญญาณดิจิตอลแบบ พัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน

สำหรับขั้นตอนในการสังเคราะห์สัญญาณเสียงก็คือการนำข้อมูล พัลซ์ โค้ด ที่เรามีอยู่ในหน่วยความจำมาทำการแปลงกลับให้เป็นสัญญาณเสียงทำได้โดยการนำเอาข้อมูลที่เก็บไว้ซึ่งจะถูกเก็บไว้ในลักษณะ พัลซ์ โค้ด มาผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณเหล่านั้นกลับออกมาให้อยู่ในรูปของข้อมูล 8 บิท โดยวิธีการทางซอฟแวร์ จากนั้นจึงนำเอาข้อมูลเหล่านี้มาผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณทางอนาลอก แต่สัญญาณที่ออกมาจากวงจรแปลงสัญญาณดังกล่าวมักจะไม่เรียบหรือเป็นสัญญาณที่มีความเป็นเชิงเส้นในลักษณะของสัญญาณอนาลอกเท่าที่ควร จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเอาวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านมาใช้ เพื่อจะทำให้สัญญาณที่ได้นั้นมีความเชิงเส้นอย่างสมบูรณ์ จึงเสร็จสิ้นทุกขั้นตอนในการทำงานของระบบการวิเคราะห์และสังเคราะห์สัญญาณเสียงโดยวิธี พัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

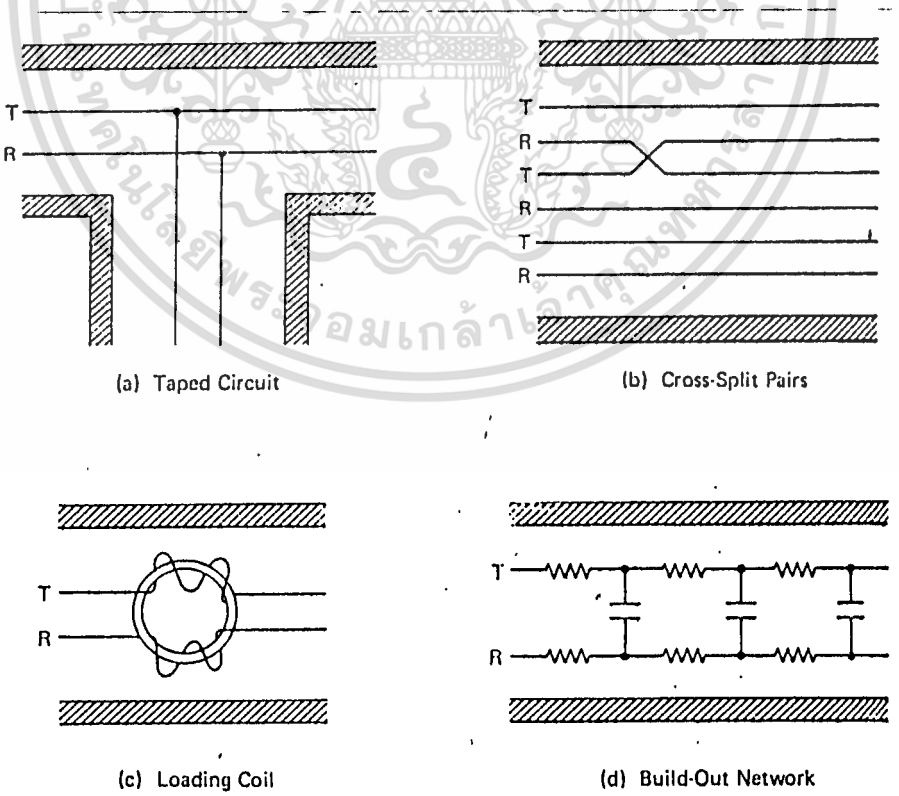
5.1 วิธีการทาง พัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน

วิธีพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจุบันซึ่งทั้งระบบมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ

1. ทำการสุ่มสัญญาณอินพุททางอนาลอก
2. ทำการจำแนกแอมปลิจูดของสัญญาณที่สุ่มเข้ามาเป็นส่วนๆ
3. นำสัญญาณมาเข้ารหัสเพื่อให้อยู่ในระบบดิจิตอล

ส่วนใหญ่ระบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชันนั้นถูกนำมาใช้ในการสื่อสารระหว่างชุมสายโทรศัพท์ที่อยู่ใกล้ๆ กัน โดยผ่านทางการเดินสายเคเบิล แต่ในปัจุบันก็ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบเน็ทเวิคร์ใหญ่ๆ ที่อยู่ใกล้ๆ กัน

จะกล่าวถึงการใช้งานระบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน ที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในแถบอเมริกาเหนือ คือ ระบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน 24 ช่อง (CHANNEL) ในการนำไปใช้งานนั้นสิ่งที่ต้องคำนึงก่อนคือ ระบบการสื่อสารผ่านทางเคเบิลนั้นต้องการคุณสมบัติของเคเบิลที่รับสัญญาณที่มีแบนด์วิดถึง 4 กิโลเฮิตร์ ในขณะที่ระบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชันนั้นต้องการถึง 2.5 เมกกะเฮิตร์ นั่นคือต้องกำจัดระบบต่างๆ ที่ต่อกับเคเบิลแล้วประพฤติตัวเหมือนเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและเป็นตัวลดทอนสัญญาณด้วย ระบบต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ พวกคอยล์ การอินดิวซ์กันระหว่างคู่สายให้เป็นวงจรRC พวกเทปบันทึกเสียงต่างๆ และระบบ CROSS-SPLIT PAIR



(a) Taped Circuit

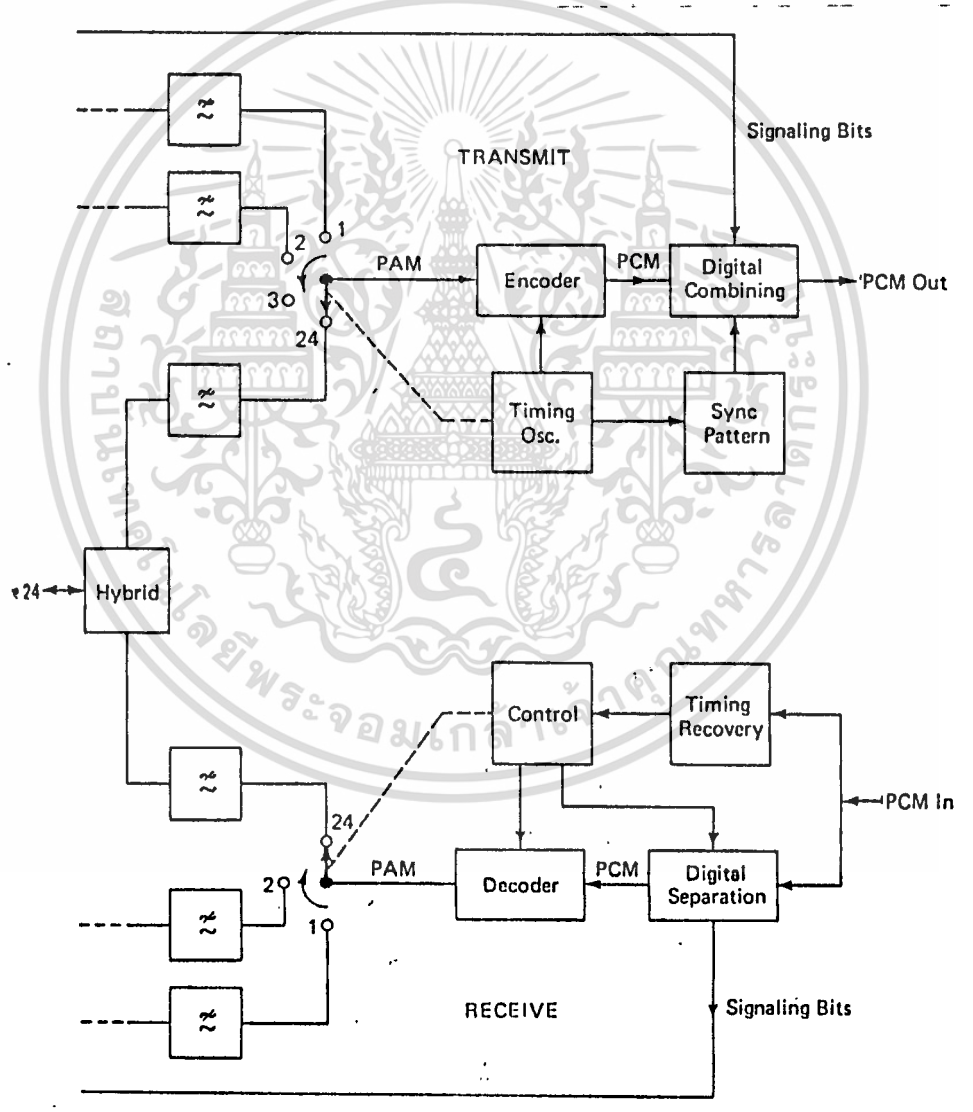
(b) Cross-Split Pairs

(c) Loading Coil

(d) Build-Out Network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิธีการสุ่มข้อมูลนั้นเราทราบมาแล้วว่าถ้าไม่ต้องการให้ข้อมูลมีการสูญหายได้เลยนั้น จะต้องใช้อัตราสุ่มถึงสองเท่าของความถี่สัญญาณอินพุท เช่น สัญญาณอินพุทมีความถี่ประมาณ 4 กิโลเฮิตร์นั้น อัตราสุ่มที่ใช้คือ 8 กิโลเฮิตร์ นั่นคือจะต้องอำการสุ่มทุกๆ 125 ไมโครวินาที ช่วงระหว่างการสุ่ม 125 ไมโครวินาทีนี้ ในระบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชันนี้สามารถทำการส่งข้อมูลได้ถึง 24 ช่องสัญญาณ [CHANNEL] ซึ่งรวมทั้งสัญญาณพัลซ์ข้อมูลและสัญญาณซิงค์โครไนซ์อื่นๆ ที่จำเป็นไว้ด้วย เพราะเวลาที่ใช้ในการสุ่มแต่ละช่องสัญญาณนี้น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาระหว่างการสุ่มข้อมูลแต่ละครั้ง ฉนั้นข้อมูลหลายๆ ช่องความถี่สามารถถูกจัดให้แยกออกจากกันได้ในการส่งข้อมูลทั้งหมดพร้อมกันในเวลาเดียวกัน วิธีการแบบนี้เรียกว่า TIME DIVISION MULTIPLEXING [TDM]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปนี้แสดงถึง แผนผังการทำงานคร่าวๆ ของสถานีสื่อสารในระบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน สำหรับการส่ง ซึ่งสัญญาณเสียงจะถูกนำมาผ่านวงจรกรองความถี่ให้ได้สัญญาณที่มีแบนด์วิดตามต้องการเพื่อป้องกันการเกิด ALIASING NOISE หรือความเพี้ยนต่างๆ จากนั้นสัญญาณทั้งหมดจากทุกๆ ช่องจะถูกเลือกมาทำการเข้ารหัสแบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชันตามลำดับโดยระบบ SWITCHING ซึ่งในวงจรเข้ารหัสนี้สัญญาณเกี่ยวกับการซิงค์โคไนซ์ของระบบก็จะถูกใส่รวมลงไปด้วยกัน ในอนาคตมีแนวโน้มจะให้ทุกๆ ช่องสัญญาณมีการเข้ารหัสก่อนแล้วจึงนำมาเข้าวงจรมัลติเพรกซ์เพื่อรวมกันทั้ง 24 ช่องก่อน ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล เพราะว่าทุกๆ กระบวนการจะถูกทำหมดทุกอย่างในขั้นที่กำลังทำการสุ่มข้อมูล

หลังจากการสุ่มข้อมูล ขนาดของแอมปลิจูดที่ได้จะเรียกว่า ควันไตซด์ (QUANTIZED) ซึ่งจะเป็นขนาดแบบไม่ต่อเนื่อง (DISCRETE) สัญญาณใหม่ที่ได้นี้จะเป็นสัญญาณแบบคร่าวๆ ของสัญญาณเดิม ซึ่งแน่นอนคือสัญญาณทั้งสองย่อมไม่เหมือนกันทุกส่วนแน่นอน ย่อมก่อให้เกิดความผิดพลาดที่ไม่เหมือนกัน ความแตกต่างของสัญญาณทั้งสองนี้เรียกว่า QUANTIZING ERROR ในระบบการส่งข้อมูลแบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชันนี้ QUANTIZING NOISE จัดได้ว่าเป็นน้อยส์ที่สำคัญที่จะต้องระวัง

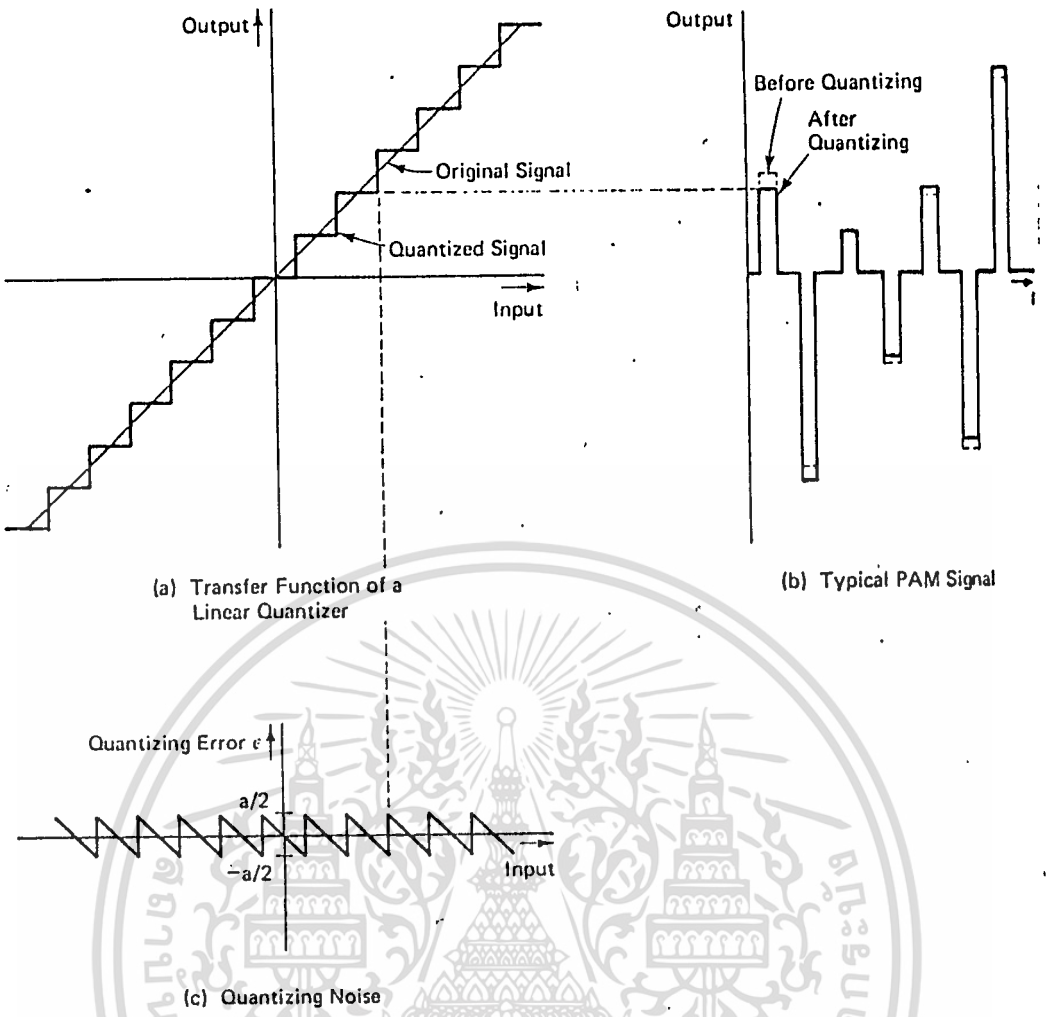
QUANTIZING NOISE นี้สามารถจะลดได้โดยการลดขนาดของ QUANTIZED STEP ลง หรือโดยการเพิ่มจำนวนระดับของ STEP นี้ขึ้นอีก สำหรับการสื่อสารนั้นมักจะใช้การเข้ารหัสในรูปข้อมูลแบบ 8 บิท ซึ่งก็คือมีทั้งหมด 256 ระดับความละเอียดเพื่อใช้แทนขนาดของสัญญาณเสียง

ถ้าใช้รหัส N บิท จะได้ทั้งหมด 2^n ระดับ

RMS S/N RATIO = 1.8 + 6N เดซิเบล

เช่นสำหรับรหัส 8 บิทนั้น อัตราส่วนของสัญญาณกับน้อยส์คือ 49.8 เดซิเบล สำหรับสมการนี้ได้กำหนดแอมปลิจูดที่สูงที่สุดที่ระบบจะรับได้โดยไม่ถูก CLIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 จากรูปจะเห็นว่า สัญญาณอินพุทจะถูกสุ่มและแทนด้วยข้อมูลขนาด 8 บิท ซึ่งสัญญาณเมื่อถูกทำการสุ่มแล้วทั้งแอมปลิจูดและเวลาจะเป็นฟังก์ชันแบบไม่ต่อเนื่อง ข้อมูลที่สุ่มได้จะถูกส่งออกมาตลอดเวลาที่ทำการสุ่มและสามารถถูกแปลงกลับให้เหมือนสัญญาณเดิมได้โดยมีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ระบบในรูปได้ใช้ข้อมูลขนาด 8 บิท สำหรับการสุ่มสัญญาณแต่ละครั้งฉนั้นจะมีข้อมูลถูกส่งออกมาด้วยดัตรา 8*2*4000 = 64 กิโลบิทต่อวินาที สำหรับสัญญาณอินพุทที่ถูกจำกัดแบนด์วิดไว้ประมาณ 4 กิโลเฮิตร์ ซึ่ง BIT RATE 64 กิโลบิทต่อวินาทีนี้ สามารถจะใช้แทนสัญญาณที่มีแบนด์วิดพื้นฐานได้อย่างน้อย 32 กิโลเฮิตร์ ฉนั้นในทางปฏิบัติ ระบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน จะมีแบนด์วิดของระบบประมาณ 8 เท่าของแบนด์วิดของสัญญาณอนาล็อกที่เป็นอินพุท

สำหรับในระบบสื่อสารที่ใช้ระบบพัลซ์ โค้ด มอดดูเลชันนั้น ข้อมูลที่ถูกส่งไปนอกจากจะเป็นข้อมูลรายละเอียดของสัญญาณเสียงแล้วยังรวมไปถึงสัญญาณ OFF-HOOK, ON-HOOK และสัญญาณการหมุนหมายเลขอีกด้วย ซึ่งทางด้านรับสัญญาณนั้นต้องสามารถตรวจหาสัญญาณที่เป็นข้อมูลที่ตรงกับช่องของตัวเองด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 พัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน แบบผลต่าง
DIFFERENCIAL PULSE-CODE MODULATION

เป็นหลักการที่คิดขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาในวิธีการ พัลซ์ โค้ด มอดดูเลชันแบบธรรมดา โดยพยายามลดจำนวนของข้อมูลที่ได้มาจากการแปลงสัญญาณเสียง แต่การทำงานของระบบยังคงอาศัยแนวความคิดสืบเนื่องมากจากวิธีการเดลต้า มอดดูเลชัน คือ ข้อมูลแต่ละชุดที่ถูกทำการเก็บในหน่วยความจำจะแทนความแตกต่างของแอมปลิจูดของสัญญาณเสียง ระหว่างการสุ่มข้อมูลแต่ละครั้งที่ติดต่อกัน จึงเรียกวิธีการแบบนี้ว่า DIFFERENCIAL PULSE-CODE MODULATION และจะเรียกข้อมูลที่ถูกเก็บในหน่วยความจำว่า DPCM ENCODING VALUE จะเห็นว่าข้อมูลที่ถูกเก็บแบบ DPCMนี้ สามารถแทนการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเสียงได้ละเอียดกว่าการใช้ข้อมูลเพียงหนึ่งบิทที่แทนความแตกต่างของสัญญาณที่ถูกทำการสุ่มติดกันของวิธีการแบบเดลต้า มอดดูเลชัน อย่างไรก็ตาม วิธีการแบบ DPCM ก็มีข้อจำกัดเช่นเดียวกับวิธีแบบ เดลต้า มอดดูเลชันแบบธรรมดาแต่อาจจะน้อยกว่าอยู่บ้าง คือ ในวิธีการแบบ DPCM อาจจะเกิดความเพี้ยนได้ที่เรียกว่า COMPLIAMCE ERROR เมื่อความแตกต่างของแอมปลิจูดของสัญญาณที่ถูกสุ่มครั้งที่ติดกันมีค่ามากกว่าค่าสูงสุดของข้อมูล DPCM [DPCM ENCODING VALUE] ฉนั้นในกรณีนี้จะมีทางแก้ปัญหาอยู่ทางเดียวคือ ทำการลดแบนด์วิดของสัญญาณอินพุทหรือเพิ่มความถี่ในการสุ่ม [SAMPLING RATE]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

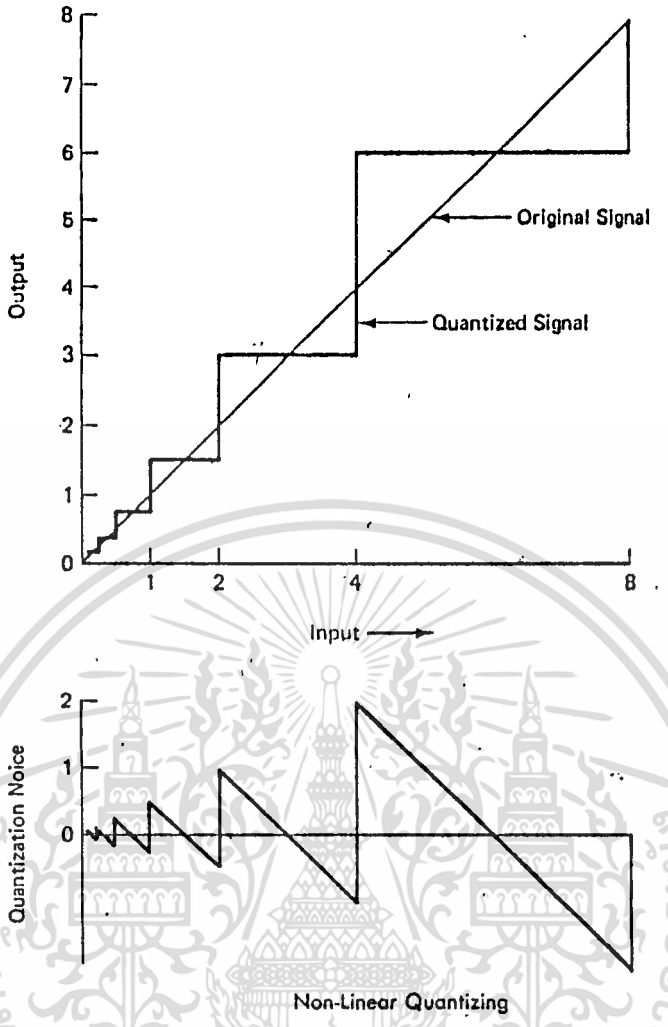
5.3 การสุ่มแอมปลิจูดในระบบ พัลซ์ โค้ด มอดดูเลชัน

AMPLITUDE SAMPLING IN PCM SYSTEM

เราทราบกันดีว่าขั้นตอนการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลนั้น จะต้องใช้วิธีการสุ่มแอมปลิจูดของสัญญาณอนาลอกแล้วเข้ารหัสออกมา เป็นขนาดแอมปลิจูดที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งแน่นอนที่สุดจะต้องมีความผิดพลาดเสมอที่เราเรียกว่า ควันไตซ์เซชัน น้อยส์ ควันไตซ์เซชัน น้อยส์นี้จะปรากฏก็ต่อเมื่อมีสัญญาณที่มีขนาดเข้ามา แต่ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีสัญญาณใดๆ เข้ามา น้อยส์ประเภท เทอร์มอล น้อยส์ หรือ ช็อตท์ น้อยส์ ก็ยังมีอยู่เสมอ แต่ควันไตซ์เซชัน น้อยส์ เรายังมีทางที่จะแก้หรือควบคุมให้มันคงที่ไว้ได้ โดยการรักษาขนาดของรหัสแต่ละขั้นให้คงที่เสมอ จะทำให้ความผิดพลาดสูงสุดคงที่ไปตลอดทุกๆ ครั้งที่ทำการสุ่มข้อมูล แต่วิธีนี้ก็ใช้ไม่ได้ผลถ้าสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณขนาดเล็กๆ หรือเป็นสัญญาณที่อ่อนมากๆ ฉะนั้นการที่จะทำให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อน้อยส์มีค่าคงที่เสมอไม่ว่าสัญญาณอินพุทจะมีระดับที่ค่อนข้างแรงหรืออ่อนมากๆ เราต้องใช้การสุ่มที่แบ่งขนาดของแอมปลิจูดแบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอนตลอด หรือ NON-UNIFORM QUANTIZATION ซึ่งความผิดพลาดใน การสุ่มแอปลิจูด, ระดับอ้างอิง [DECISION LEVEL] และขนาดของแต่ละขั้นของรหัส [STEP SIZE] เหล่านี้ต้องกำหนดให้เล็กลงสำหรับกรณีที่สัญญาณอินพุทมีขนาดอ่อน แต่เราต้องเพิ่มให้มากขึ้นถ้าสัญญาณอินพุทมีขนาดแรงขึ้น นั่นคือ STEP SIZE ต้องแปรตามขนาดของแอมปลิจูดที่ทำการสุ่มเข้ามา จะมีผลให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อน้อยส์มีค่าค่อนข้างจะคงที่ไปตลอดช่วงสัญญาณที่เราจะบันทึก

รูปที่ 5.3 จะแสดงถึงวิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบไม่มีรูปแบบแน่นอนตลอดซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า ควันไตซ์เซชัน น้อยส์ มีขนาดเพิ่มขึ้นถ้าขนาดของสัญญาณอินพุทเพิ่มขึ้น เพื่อจะรักษาให้อัตราส่วนของสัญญาณกับน้อยส์คงที่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3

นอกจากนี้ยังมีวิธีที่จะรักษาอัตราส่วนของสัญญาณต่อน้อยส์ให้มีขนาดคงที่ตลอดอีกวิธีคือ วิธีคอมแพนด์ดิ่ง [COMPANDING] หลักการสำคัญทางด้านอินพุทคือ ทำการสุ่มสัญญาณมาเข้ารหัสโดยพยายาม COMPRESSING ข้อมูลลง และทางด้านเอาพุทก็พยายามขยายสัญญาณออก [EXPANDING] อุปกรณ์ที่ทำงานในลักษณะนี้ [COMPANDOR DEVICE] จะถูกเรียกว่า COMPRESSOR AND EXPANDOR การทำงานคือสัญญาณอินพุทที่สุ่มเข้ามาจะถูก COMPRESS เสมอ โดยที่ถ้าสัญญาณมีแอมปลิจูดสูงก็ให้ COMPRESS มาก แต่ถ้าสัญญาณมีแอมปลิจูดต่ำก็ให้ COMPRESS น้อยๆ แล้วนำมาทำการเข้ารหัสโดยระบบที่มีควันไตซ์เซชัน คงที่เสมอได้ดังวิธีการต้นๆ

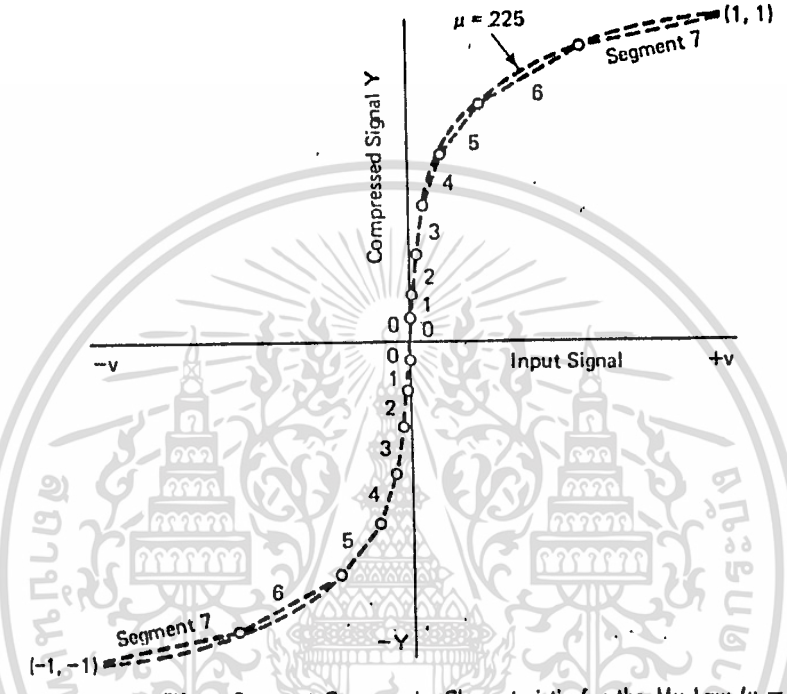
ระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในทวีปอเมริกาเหนือก็คือ D2/D3 PCM-CHANNEL BANKS ที่ใช้การ COMPRESS ข้อมูลแบบลอกการิทึม ซึ่งเรียกกันว่า MU-LAW เป็นไปตามสูตรต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

v = อินพุทโวลท์เตจ

V = อินพุทโวลท์เตจสูงสุด = โวลท์เตจสูงสุดที่ COMPRESS แล้ว

รูป 5.4 แสดงถึงผลที่เกิดจากการใช้วิธี MU-LAW



Fifteen-Segment CompressionCharacteristic for the Mu Law (μ = 255) Where the Maximum Voltage is Equal to 1

แต่ในยุโรป COMPANDING CURVE จะเป็นไปตาม CCITT's "A LAW" ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

ซึ่ง v = อินพุทโวลท์เตจ

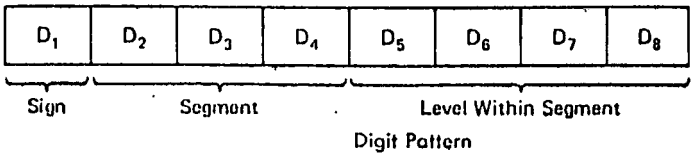
V = อินพุทโวลท์เตจสูงสุด = โวลท์เตจสูงสุดที่ COMPRESS แล้ว

จะได้ A = 87.6 สำหรับการ APPROXIMATION 13 SEGMENTS

จาก DOT-CURVE จะเห็นว่าระบบ D2/D3 CHANNEL BANKS ได้แบ่งคลื่นสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใดๆ ออกเป็น 15 ส่วน [SEGMENT] ที่ต่อเนื่องกัน โดยแบ่งเป็นบวก 7 ส่วน เป็นลบอีก 7 ส่วน และมี 1 ส่วนที่อยู่ที่สุดศูนย์



รูปที่ 5.5

จากรูปแต่ละส่วน [SEGMENT] จะประกอบด้วย STEP SIZE อีก 16 ขั้น สำหรับ 255 ระดับโวลท์เตจที่ไม่ต่อเนื่องกัน จะต้องการรหัสข้อมูลที่มีขนาด 8 บิท

รหัส 8 บิทนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกคือ บิทแสดงเครื่องหมาย (เป็น 1 สำหรับสัญญาณที่กำลังเพิ่ม เป็น 0 สำหรับสัญญาณที่กำลังลด) 3 บิทถัดมาคือระดับสัญญาณที่ถูกสุ่มเข้ามาเรียกว่า SEGMENT และ 4 บิทสุดท้ายคือ ระดับสัญญาณย่อยๆ อีก 16 ระดับที่จะเป็นไปได้ใน 1 SEGMENT

ต่อไปนี้จะทำการจำแนกรายละเอียดภายในทั้งสามส่วน

1) บิทแสดงเครื่องหมาย "1" = 1 คือแอมปลิจูดของสัญญาณกำลังเพิ่มขึ้น
= 0 คือแอมปลิจูดของสัญญาณกำลังลดลง

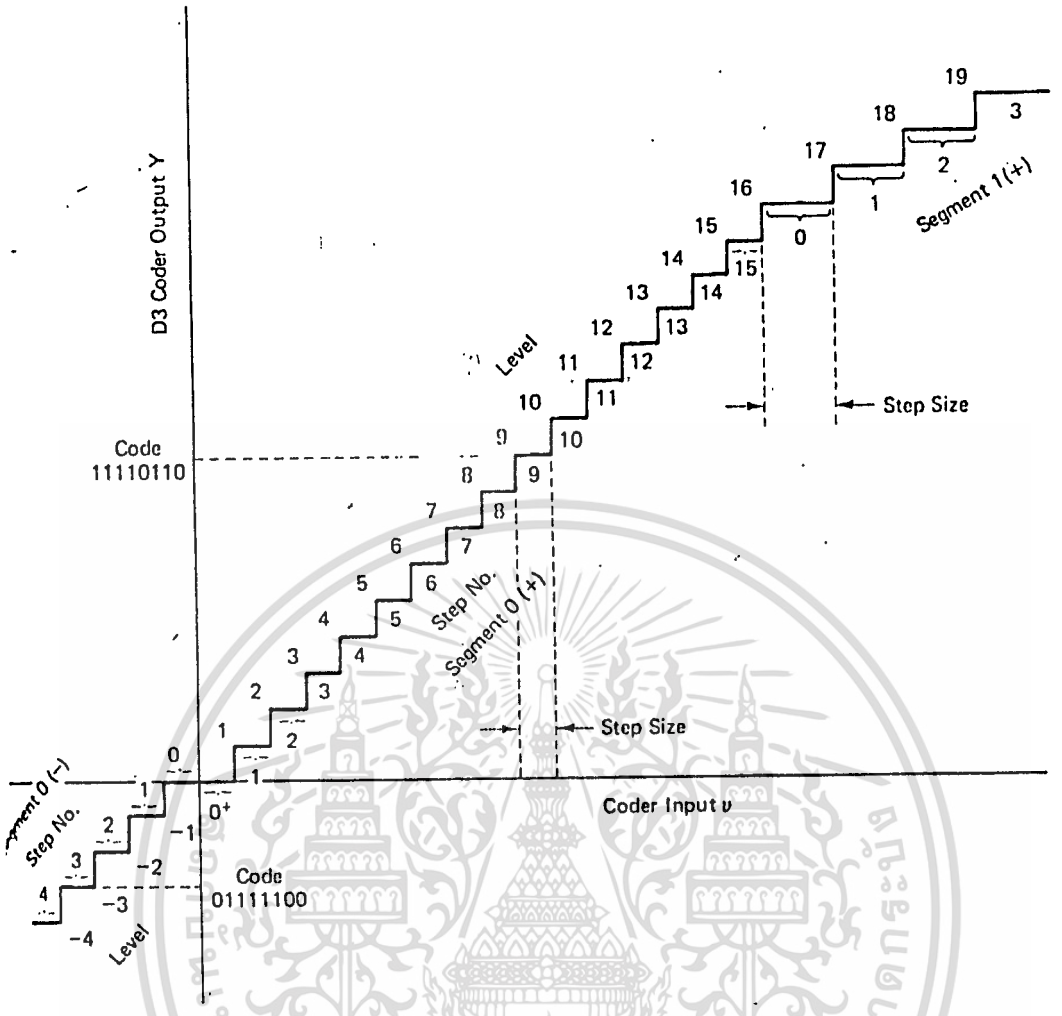
2) รหัส SEGMEMT แทนโดยลำดับของเลขฐานสองในรูปส่วนกลับ

SEGMENT 0 = 111
1 = 110
.
.
7 = 000

3) ระดับสัญญาณที่เป็นไปได้ใน 1 SEGMENT แทนด้วย ลำดับของเลขฐานสองในรูปส่วนกลับ

LEVEL 0 = 1111
1 = 1110
. .
. .
15 = 0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 รูปแสดงลักษณะของรหัส

เช่น 1 101 1101

STEP = 15[1111] - 13[1101] = 2[0010]

SEGMENT = 7[111] - 5[101] = 2[010]

SIGN = 1 [POSITIVE]

ถ้านำไปเทียบกับตาราง 5.1 จะได้

Increment Step Size and Breakpoints for the Lenkurt 90028 Channel Bank

Segment	Step Increment (mV)	Breakpoint (mV)
0	0.475	16 × 0.475 = 7.6
1	0.963	7.6 + 16 × 0.963 = 23.0
2	1.93	23 + 16 × 1.93 = 53.9
3	3.88	53.9 + 16 × 3.88 = 116
4	7.69	116 + 16 × 7.69 = 239
5	15.4	239 + 16 × 15.4 = 486
6	30.9	486 + 16 × 30.9 = 981.0
7	63.7	981 + 16 × 63.7 = 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอยู่ที่ ระดับที่ 2 ของ SEGMENT ที่ 2 เท่ากับ [23 + 2 * 1.93] mV. เท่ากับ 28.86 mV. ถ้าสัญญาณอยู่ที่ระดับ 255 - 221 [11011101] = 34

Table 7-2 Folded Binary Code

8 Bit PCM Word

Step Number	MSB 1	2	3	4	5	6	7	LSB 8	Decimal Equivalent	(mV)
Max. + 127	1	0	0	0	0	0	0	0	128	2000
126	1	0	0	0	0	0	0	1	129	1936
125	1	0	0	0	0	0	1	0	130	1873
										1809
91	1	0	1	0	0	1	0	0	164	424
90	1	0	1	0	0	1	0	1	165	408
89	1	0	1	0	0	1	1	0	166	393
										378
2	1	1	1	1	1	1	0	1	253	0.95
1	1	1	1	1	1	1	1	0	254	0.48
Zero signal 0	1	1	1	1	1	1	1	1	255	0
Zero signal 0	0	1	1	1	1	1	1	1	127	0
-1	0	1	1	1	1	1	1	0	126	-0.48
-2	0	1	1	1	1	1	0	1	125	-0.95
-3	0	1	1	1	1	1	0	0	124	-1.43
-4	0	1	1	1	1	0	1	1	123	-1.9
-5	0	1	1	1	1	0	1	0	122	-2.38
-1										
										-1809
-126	0	0	0	0	0	0	1	0	2	-1873
-127	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-1936
Max. -128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2000

Actual Volts

(Prior to Bit Stuffing)

Polarity Segment Step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๖
การออกแบบและการทำงานในส่วนฮาร์ดแวร์

ในวงจรนี้จำเป็นจะต้องอาศัยส่วนอินพุทและเอาท์พุทอยู่ 4 ส่วนหลักๆคือ ส่วนวงจร D/A และส่วนวงจร A/D และส่วนแสดงผล และส่วนคีย์บอร์ด ส่วนของหน่วยความจำนั้น เนื่องจากเราเลือกใช้ Single Chip MCS-51 ซึ่งมีการจัดการหน่วยความจำแยกเป็นสองส่วน คือ Program area และ Data area จะมีแผนผังของหน่วยความจำดังนี้

ส่วนของคีย์บอร์ดจะไม่เห็นอยู่ในแผนผังของหน่วยความจำ เนื่องจากเราจะใช้ P1 เป็น Port ของตัวไมโครโปรเซสเซอร์เอง สามารถแสดงวงจรเป็น Block ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9

เนื่องจากการทำ ADPCM นั้นจะต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลไว้เป็นจำนวนมากๆ ดังนั้นจึงต้องหาทางทำให้ MCS-51 สามารถจัดการหน่วยความจำให้ได้มากๆ โดยปรกติแล้ว MCS-51 จะสามารถจัดการหน่วยความจำได้ 64 KByte ในการออกแบบส่วนนี้เราได้เลือกใช้หน่วยความจำขนาด 32 Kbyte จำนวน 16 ตัวรวมมีขนาด 512 KByte โดยจะใช้ P1.0 - P1.3 เพื่อสร้างสัญญาณ CHIP SELECT ให้กับ RAM ทั้ง 16 ตัวนี้ จะเห็นว่าจาก MEMORY MAP จะแบ่งส่วน DATA MEMORY ไว้ในช่วง 32k บน และ I/O ไว้ในช่วง 32k ล่าง จากวงจรสมบูรณ์จะเห็นได้ว่าการทำ CHIP SELECT ของครึ่งบนและครึ่งล่างสามารถทำได้ง่ายมาก โดยใช้ A15ของไมโครโปรเซสเซอร์ มาต่อที่ ขาของ LS138 ทำให้สามารถเลือก ENABLE ส่วน DATA และ I/O ได้ง่าย การทำส่วนแสดงผลเลือกใช้ไอซีทีทีแอล เบอร์ 374 และ DISPLAY LED แบบ 7 SEGMENT ส่วนของคีย์บอร์ดใช้พอร์ท 1.4 - 1.7

นอกจากนี้ในการทำการสุ่มข้อมูลหรือการส่งข้อมูลให้แก่ส่วนแปลงสัญญาณ จำเป็นต้องมีช่วงเวลาที่แน่นอน ซึ่งใน MCS51 นี้จะมี TIMER ใน ตัว ซึ่งเราสามารถกำหนดอัตราการสุ่มได้ด้วยโปรแกรมและ MCS51 ก็ยังสามารถทำติดต่อกับคอมพิวเตอร์ตัวอื่นๆ โดยใช้ SERIAL PORT ในตัวอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การออกแบบและการทำงานส่วนโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรม

ส่วนของโปรแกรมนี้มีการทำงานที่เป็นหัวใจของระบบอยู่สองส่วน คือ

1. ส่วน COMPRESS DATA

2. ส่วน EXPAND DATA

ในการเขียนโปรแกรมนี้เราเลือกที่จะเขียนเพื่อนำเอาข้อดีของระบบ CVSD และระบบ DPCM ที่ใช้กับ MU-LAW โดยจะต้องมี BIT RATE ที่ต่ำกว่า PCM ประมาณครึ่งหนึ่งและลักษณะของข้อมูลจะต้องสามารถส่งผ่านระบบ COMMUNICATION ได้ง่าย และข้อสำคัญโปรแกรมจะต้องสามารถทำงานได้แบบ REAL TIME คือ จะต้องประมวลผลโปรแกรมได้เร็วกว่า CONVERTION TIME ของตัวแปลงสัญญาณระหว่างอนาลอกกับดิจิตอล ดังนั้นโปรแกรมจะต้องสั้นและมีประสิทธิภาพสูงสุด

ส่วน COMPRESS DATA

เราจะจัดการ COMPRESS ข้อมูลจาก 8 บิทเป็นข้อมูลขนาด 4 บิท โดยมีบิทแรกเป็นบิทเครื่องหมาย ส่วนอีก 3 บิทที่เหลือจะเป็นตัวที่บอกความแตกต่างของค่าของสัญญาณที่ทดเอาไว้ก่อนหน้านี้กับค่าสัญญาณใหม่ที่รับเข้ามา ค่าจะมีได้ 8 ช่วง โดยแต่ละช่วงจะมีค่าไม่เท่ากัน

จากค่าที่กำหนดมานี้จะเห็นว่ามีค่าเท่ากับ ค่าฐานดังในตาราง ค่าที่กำหนดไว้นี้มีความหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากในโปรแกรมนี้เพราะเราใช้วิธี ROTATE LEFT แล้วใช้ REGISTER อีกหนึ่งตัวใช้นับค่าการวนรอบจนเจอค่า 1 ตัวแรก จึงนำเอาค่า REGISTER ที่ใช้นับนี้เป็นค่าที่ COMPRESS ได้และนำเอาค่าความแตกต่างมาพิจารณาว่าผลแตกต่างนี้เป็นบวกหรือลบ แล้วนำผลที่ได้ไปใส่เป็น SIGN BIT โดยจะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อเป็นบวกและมีค่าเป็น 1 เมื่อมีค่าเป็นลบ และเมื่อ COMPRESS ได้ข้อมูลสองตัวก็จะทำให้ได้ครบข้อมูลขนาด 8 บิท จึงนำไปเก็บในหน่วยความจำได้ และเมื่อเขียนข้อมูลครบ RAM แต่ละตัวก็ให้ทำการเลือก RAM ตัวต่อไป พร้อมทั้งแสดงผลว่าทำงานอยู่ที่ RAM ตัวใด ในการเลือกอัตราสุ่มนั้น เนื่องจาก TIMER ภายในมี MODE AUTO RELOAD คือมันจะ INTERRUPT ทุกๆ ช่วงเวลาที่กำหนดในโปรแกรมจะให้โปรแกรมมารอการ INTERRUPT โดยกระโดดกลับมาที่จุดเดิมใช้คำสั่ง SJMP เมื่อครบช่วงเวลาก็จะไปทำโปรแกรม INTERRUPT ซึ่งจะทำการอ่านค่าจาก A/D และเขียนเพื่อเริ่มการทำงานในรอบต่อไป แล้ว POP ค่าจากสแตค แล้วเพิ่มค่าขึ้น 2 แล้ว PUSH กลับลงไป ดังนั้นเมื่อทำงานจนเจอคำสั่ง RETURN โปรแกรมจะกระโดดกลับมาโดยข้ามส่วนที่กระโดดกลับไป ดังนั้นจึงสามารถทำงานต่อไปได้ ทำให้สามารถอ่าน A/D ได้ตามช่วงเวลาที่ต้องการได้

ส่วน EXPAND DATA

ในการเขียน D/A ให้ได้เท่ากับช่วงเวลาของอัตราสุ่มนั้น ใช้เทคนิคเดียวกับในช่วง COMPRESS DATA แต่ในการEXPAND นี้ได้ใช้การอ่านค่าจากตารางด้วยคำสั่ง MOVC A, @A+DPTR แล้วพิจารณา SIGN BIT เพื่อบวกหรือลบกับค่าที่ทดไว้เดิมก็จะได้ค่าใหม่ที่จะส่งออกที่ D/A

ส่วนของ TIMER ใน MODE AUTO RELOAD นั้นจะมีการทำงานดังแผนผังดังนี้ เราสามารถเลือก TH0 ให้มีอัตราสุ่มได้ตังสมการ

อัตราสุ่ม เท่ากับ ความถี่ของคริสตัล / 12*[256-TH0]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๘
ผลการทดลองและสรุปวิจารณ์

ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้วงจรและโปรแกรมจากบทที่ผ่านมาแล้วโดยใช้ฟังก์ชัน เจนเนอเรเตอร์ เมื่อสัญญาณมีความถี่เท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่สูงสุด(คือความถี่สูงสุดที่ใช้ได้ตามทฤษฎี) พบว่าเมื่อเพลย์แบคแล้ว สัญญาณที่เอาพุทจะมีขนาดเล็กกว่าของจริงประมาณครึ่งหนึ่งและจากการวัดสัญญาณเมื่อป้อนอินพุทที่มีความถี่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของความถี่ของอัตราสุ่มและมีขนาดที่พอเหมาะจะได้รูปซายน์ที่มีลักษณะของการใช้ STEP ที่ไม่เท่ากัน ในการ COMPRESS จะมี QUANTIZE ERROR ที่ไม่เท่ากัน ต่างกับเมื่อทดลองโดยใช้โปรแกรมที่เป็นแบบ PCM ธรรมดา หากต้องการให้เอาพุทมีการ SWING ได้สูงสุดแล้วจะต้องมีความถี่ไม่เกินหนึ่งในสี่ของความถี่อัตราสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปวิจารณ์

ในการทดลองปัญหาส่วนมากมักจะมีสาเหตุจากเราไม่สามารถติดตามการทำงานของโปรแกรมได้ทุกขั้นตอนเพราะเป็นการทำงานภายใน ไม่มี MONITOR ได้ใช้การแก้ปัญหาโดยใช้ LOGIC PROBE และการดูโปรแกรมร่วมกันรวมทั้งการทดลองแก้โปรแกรมแต่ละครั้งต้องใช้การเขียน EPROM ทุกครั้ง แต่เมื่อเขียนสมบูรณ์แล้วก็สามารถใช้ฮาร์ดแวร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพคือใช้เกือบทุกอย่าที่ MCS51 มีอยู่ สำหรับผู้ทำการทดลองคิดว่าจะมีฮาร์ดแวร์สำหรับระบบเดียวกันที่คุ้มค่ากว่านี้ได้ยากมาก เพราะหากใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ตัวอื่นจะต้องมีจำนวนชิพมากกว่านี้ส่งผลให้ขนาดใหญ่และโอกาสผิดพลาดมีมากขึ้น ผลการทดลองจากการป้อนอินพุทด้วย ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์และดูสัญญาณเอาพุทแล้วผลที่ได้ค่อนข้างจะน่าพอใจ ส่วนเรื่องของวิธีการ COMPRESS และ EXPAND DATA นั้น ผู้จัดทำไม่สามารถหาทฤษฎีมาอ้างอิงได้โดยตรง เนื่องจากการจัด STEP ของแต่ละทฤษฎีก็มีเหตุผลต่างกัน เช่น แบบลอกการิทึม แต่เนื่องจากระบบดังกล่าวจะต้องสามารถทำงานแบบ REAL TIME คือรับข้อมูลจาก A/D แล้วทำการ COMPRESS เขียนลงRAM หรืออ่านจาก RAM EXPAND DATA และเขียนไปที่ D/A ได้ในช่วงเวลาเท่ากับช่วงเวลาค่าหนึ่ง (ในวงจรมีการเลือกช่วงเวลาดังกล่าวได้หลายค่าตั้งแต่ 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, ... kHz) จึงเลือก STEP ตามตารางในตอนที่แล้วเพื่อสามารถ COMPRESS ข้อมูลได้ง่าย ส่วนการทำงานแบบลอกการิทึมนั้นจะต้องคำนวณและประมาณค่าว่าจะเลือกSTEP ใดซึ่งน่าจะยุ่งยากกว่าแบบที่ใช้ในโปรแกรมแบบนี้ จากอัตราสุ่มที่สามารถเลือกได้หลายค่านี้ทำให้งานชิ้นนี้สามารถนำไปใช้ในงานต่างๆ ได้ไม่เจาะจงเฉพาะย่านความถี่เสียงเท่านั้นจึงน่าจะมีประโยชน์มากหากมีผู้นำแนวความคิดจากงานชิ้นนี้ไปใช้งานจริงในด้านต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานชิ้นนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์หลายๆ ท่าน ซึ่งผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. STEVE CIARCIA, USE ADPCM FOR HIGHLY INTELLIGIBLE SPEECH SYNTHESIS, BYTE, VOLUME 8, NUMBER 6, JUNE 1983

2. WILLIAM SINNEMA, DIGITAL ANALOG AND DATA COMMUNICATION, SECOND EDITOR

3. 8031 SINGLE-CHIP, INTEL MICROCONTROLLER HANDBOOK, 1983

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          P1      EQU     H90
          P1.5    EQU     H95
          DPH     EQU     H83
          DPL     EQU     H82
          EA      EQU     HAF
          ET0     EQU     HA9
          TR0     EQU     H8C
          TMOD    EQU     H89
          TH0     EQU     H8C
          STTS    EQU     47
          BRA     EQU     48
          ;AD      EQU     H8000
          ;DA      EQU     H8001
;***********************************
          ;R2 FIRST OR SECOND BYTE
          ;R5 SIGN
          ;R4 VALUE ALREADY COMPRESS
          ;R7 FIRST
          ;R6 SECOND
;***********************************
;         STTS = 0    READY PLAY REC
;         STTS = 1    SAMPLING RATE
;         STTS = 2    BANK START
;***********************************
ST:       MOV     R0,#0                   ;
DELA:     DJNZ    R0,DELA                 ;DELAY
          NOP                             ;
          SETB    EA                      ;ENABLE INTERRUPT
          CLR     ET0                     ;DISABLE INT FROM TIMER0
          ;
          AJMP    ST_1                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*********************************
;*       INTERRUPT TIMER0          *
;*********************************
          CJNE    R0,#1,IN2              ;R0 = 1 WRITE TO D/A
          MOV     DPTR,#H8001            ;
          MOVX    @DPTR,A                ;WRITE TO D/A
          SJMP    IN3                    ;
IN2:      MOV     DPTR,#H8000            ;
          MOVX    A,@DPTR                ;READ FROM A/D
          MOVX    @DPTR,A                ;START NEXT CONVERSION
          ;
IN3:      POP     DPH                    ;
          POP     DPL                    ;
          INC     DPTR                   ;SKIP
          INC     DPTR                   ;SKIP
          PUSH    DPL                    ;
          PUSH    DPH                    ;
          ;
          RETI
;*********************************
ST_1:     MOV     DPTR,#HFFFF            ;
          MOV     P1,#HF0                ;
DELA1:    MOV     A,#H77                 ;
          INC     DPTR                   ;
          MOVX    @DPTR,A                ;
          INC     DPTR                   ;
          MOVX    @DPTR,A                ;
          MOV     A,#HFF                 ;
          INC     DPTR                   ;
          MOVX    @DPTR,A                ;
          INC     DPTR                   ;
          MOVX    @DPTR,A                ;
          MOV     A,DPH                  ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CJNE    A,#H7F,DELA1            ;
        MOV     A,DPL                   ;
        CJNE    A,#HFF,DELA1            ;
        INC     P1                      ;
        ORL     P1,#HF0                 ;
        ACALL   STB                     ;START BANK
        MOV     DPTR,#HFFFF             ;
        ORL     P1,#HF0                 ;
        MOV     A,P1                    ;
        CJNE    A,#HF0,DELA1            ;
        ;
        ;MOV     TH0,#90                ;INITIAL TIMER 3KHz
        MOV     TMOD,#B00000010         ;
        MOV     STTS,#0                 ;
        ORL     P1,#HF0                 ;
        MOV     BRA,#1                  ;
        ACALL   BRAT                    ;
        AJMP    TR_0                    ;GOTO OUT D/A
;*********************************
KEY:    ORL     P1,#HF0                 ;
KEY_0:  MOV     A,P1                    ;
        ORL     A,#H0F                  ;
        XRL     A,#HFF                  ;
        MOV     R1,A                    ;WHAT KEY
        JZ      KEY_0                   ;
KEY_1:  MOV     A,P1                    ;
        ORL     A,#H0F                  ;
        XRL     A,#HFF                  ;
        JNZ     KEY_1                   ;
        ;
        MOV     R0,#STTS                ;
F1:     CJNE    R1,#H80,F2              ;PLAY
F1_1:   CJNE    @R0,#0,F1_2             ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        AJMP    TR_0                    ;
F1_2:   CJNE    @R0,#1,F1_3             ;INC BRATE
        ACALL   INBR                    ;
        AJMP    KEY                     ;
F1_3:   CJNE    @R0,#2,FE               ;
        ACALL   INB                     ;
        AJMP    KEY                     ;
        ;
F2:     CJNE    R1,#H40,F3              ;REC
F2_1:   CJNE    @R0,#0,F2_2             ;
        AJMP    RE_0                    ;
F2_2:   CJNE    @R0,#1,F2_3             ;DEC BRATE
        ACALL   DEBR                    ;
        AJMP    KEY                     ;
F2_3:   CJNE    @R0,#1,FE               ;DEC BRATE
        ACALL   DEB
        AJMP    KEY
        ;
F3:     CJNE    R1,#H20,F4              ;STOP
F3_1:   MOV     STTS,#0                 ;
        MOV     A,#H80                  ;
        MOV     DPTR,#H8005             ;
        MOVX    @DPTR,A                 ;
        AJMP    KEY
        ;
F4:     CJNE    R1,#H10,FE              ;FUNC
F4_1:   CJNE    @R0,#0,F4_2             ;
        INC     STTS                    ;SAMPLING ADJUST
        ACALL   BRAT                    ;
        AJMP    KEY                     ;
F4_2:   CJNE    @R0,#1,FE               ;START BANK
        ACALL   STB                     ;
        INC     STTS                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FE:     AJMP   KEY                    ;
;**********************************
RE_0:   MOV    R0,#0                   ;WRITE FIRST CONVERSION
        SETB   ET0                     ;ENABLE INT FROM TIMER0
RE_00:  SJMP   RE_00                   ;WRITE FIRST CONVERSION
        ;
        MOV    R2,#0                   ;TEMP VALUE
        MOV    DPTR,#HFFFF             ;INC TO ZERO
NEXT:   INC    DPTR                    ;INC ADDRESS
        PUSH   DPL
        PUSH   DPH
        ;
        MOV    R3,#2                   ;COMPRESS TWO BYTE
NEX_1:  MOV    R0,#0                   ;FOR READ A/D
        ORL    P1,#HF0                 ;
RE_01:  JB     P1.5,RE_02              ;FOR STOP
        CLR    ET0                     ;
        AJMP   F3_1                    ;
RE_02:  SJMP   RE_02                   ;WAIT FOR INTERRUPT
        MOV    R4,A                    ;TEMP FOR NEW VALUE
        CLR    C                       ;
        SUBB   A,R2                    ;HOW DIFF
        MOV    R5,#H0                  ;POSITIVE DIFF
        JNC    COM_3                   ;
        MOV    R5,#H08                 ;NEGATIVE VALUE
        MOV    A,R2                    ;
        CLR    C                       ;
        SUBB   A,R4                    ;
COM_3:  MOV    R4,#7                   ;ONLY LAST SEVEN BIT
COM_4:  RLC    A                       ;
        JC     COM_5                   ;
        DJNZ   R4,COM_4                ;
COM_5:  MOV    A,R5                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ADD     A,R4                    ;
        CJNE    R3,#2,NEX_2             ;IS IT COMPLETE
        MOV     R7,A                    ;R7 FOR FIRST HALF BYTE
NEX_2:  MOV     R6,A                    ;R5 FOR SECOND HALF BYTE(HI)
        ANL     A,#H07                  ;
        MOV     DPTR,#TAB_3             ;
        MOVC    A,@A+DPTR               ;REAL STORE VALUE
        CJNE    R5,#0,NEX_3             ;
        ADD     A,R2                    ;
        SJMP    NEX_4                   ;
NEX_3:  MOV     R5,A                    ;
        MOV     A,R2                    ;
        CLR     C                       ;
        SUBB    A,R5                    ;
NEX_4:  MOV     R2,A                    ;
        DJNZ    R3,NEX_1                ;BYTE COMPLETE
        ;
        MOV     A,R6                    ;HALF HI
        SWAP    A                       ;
        ADD     A,R7                    ;HALF LOW
        POP     DPH
        POP     DPL
        MOVX    @DPTR,A                 ;STORE IN MEMEORY
        MOV     A,DPL
        CJNE    A,#HFF,NEXT
        MOV     A,DPH
        CJNE    A,#H7F,NEXT
        INC     P1                      ;NEXT CHIP
        ACALL   STB                     ;
        MOV     DPTR,#HFFFF             ;
        ORL     P1,#HF0                 ;
        MOV     A,P1                    ;
        CJNE    A,#HF0,NEXT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RE_E:   CLR     ET0
        AJMP    KEY
;*************************************************
TR_0:   SETB    ET0                 ;ENABLE INT FROM TIMER0
        MOV     A,#0                ;
TR_00:  SJMP    TR_00               ;
        ;
        MOV     R2,#0               ;TEMP VALUE
        MOV     DPTR,#HFFFF         ;INC TO ZERO
        PUSH    DPH                 ;
        PUSH    DPL                 ;
        POP     DPL                 ;
        POP     DPH                 ;
        ;
TR_N:   INC     DPTR                ;INC ADDQRESS
        MOVX    A,@DPTR             ;READ FROM MEMORY
        PUSH    DPH                 ;
        PUSH    DPL                 ;
        MOV     R3,A                ;R3 TEMP FOR DATA
        ANL     A,#H07              ;
        MOV     R4,A                ;R4 = DATA OUT BEFORE R3
        MOV     A,R3                ;
        ANL     A,#H08              ;
        MOV     R7,A                ;R4,R7 (SIGN)
        MOV     A,R3                ;
        SWAP    A                   ;
        MOV     R3,A                ;
        ANL     A,#H08              ;
        MOV     R6,A                ;R3,R6 (SIGN)
        MOV     A,R3                ;
        ANL     A,#H07              ;
        MOV     R3,A                ;DATA
        ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV     R5,#2                   ;TWO BYTE
        MOV     DPTR,#TAB_3             ;
TR_1:   MOV     A,R3                    ;
        CJNE    R5,#2,TR_2              ;
        MOV     A,R4                    ;
TR_2:   MOVC    A,@A+DPTR               ;
        CJNE    R5,#2,TR_3              ;
        MOV     R4,A                    ;
TR_3:   DJNZ    R5,TR_1                 ;
        MOV     R3,A                    ;
        ;
TR_4:   MOV     A,R2                    ;
        CJNE    R7,#H08,TR_5            ;
        ADD     A,R4                    ;
        JNC     TR_6                    ;
        MOV     A,#HFF                  ;
        SJMP    TR_6                    ;
TR_5:   CLR     C                       ;
        SUBB    A,R4                    ;
        JNC     TR_6                    ;
        MOV     A,#0                    ;
TR_6:   MOV     R2,A                    ;
        MOV     R4,A                    ;
        ;
        MOV     A,R2                    ;
        CJNE    R6,#H08,TR_7            ;
        ADD     A,R3                    ;
        JNC     TR_8                    ;
        MOV     A,#HFF                  ;
TR_61:  SJMP    TR_8                    ;
TR_7:   CLR     C                       ;
        SUBB    A,R3                    ;
        JNC     TR_8                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV     A,#0                    ;
TR_8:   MOV     R2,A                    ;
        MOV     R3,A                    ;
        ;
TR_9:   MOV     R5,#2                   ;TWO BYTE
TR_10:  MOV     A,R4                    ;
        MOV     R0,#1                   ;INDICATE WRITE TO D/A
        ORL     P1,#HF0                 ;
TR_11:  JB      P1.5,TR_12              ;FOR STOP
        CLR     ET0                     ;
        AJMP    F3_1                    ;
TR_12:  SJMP    TR_12                   ;WAIT FOR INTERRUPT
        MOV     A,R3
        MOV     R0,#1                   ;INDICATE WRITE TO D/A
        DJNZ    R5,TR_11                ;
        ;
        POP     DPL                     ;
        POP     DPH                     ;
        MOV     A,DPL
        CJNE    A,#HFF,TR_N
        MOV     A,DPH
        CJNE    A,#H7F,TR_N
        INC     P1                      ;NEXT CHIP
        ACALL   STB                     ;
        MOV     DPTR,#HFFFF             ;
        ORL     P1,#HF0                 ;
        MOV     A,P1                    ;
        CJNE    A,#HF0,TR_NT
TR_E:   CLR     ET0
        AJMP    KEY
TR_NT:  AJMP    TR_N
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;***********************************
;*        SAMPLING RATE ADJ        *
;***********************************
INBR:     INC     BRA                    ;
          MOV     A,BRA                  ;
          CJNE    A,#3,BRAT              ;EXCEED
          MOV     BRA,#0                 ;
          SJMP    BRAT                   ;
          ;
DEBR:     MOV     A,BRA                  ;
          CJNE    A,#0,DEBR_0            ;EXCEED
          DEC     BRA                    ;
          SJMP    BRAT                   ;
DEBR_0:   MOV     BRA,#2                 ;
          ;
BRAT:     CLR     TR0                    ;
          MOV     A,BRA                  ;
          MOV     DPTR,#NTAB             ;
          MOVC    A,@A+DPTR              ;
          MOV     DPTR,#H8005            ;
          MOVX    @DPTR,A                ;
          ;
          MOV     A,BRA                  ;
          MOV     DPTR,#BRT              ;
          MOVC    A,@A+DPTR              ;
          MOV     TH0,A                  ;
          SETB    TR0                    ;
          RET                            ;
;***********************************
;*        START  BANK              *
;***********************************
INB:      INC     P1                     ;
          SJMP    STB                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DEB:    DEC     P1                      ;
STB:    ORL     P1,#HF0                 ;
        MOV     A,P1                    ;
        ANL     A,#H0F                  ;
        MOV     DPTR,#NTAB              ;
        MOVC    A,@A+DPTR               ;
        MOV     DPTR,#H8005             ;
        MOVX    @DPTR,A                 ;
        RET                             ;
;*********************************
TAB_3:  DB      H01
        DB      H02
        DB      H04
        DB      H08
        DB      H10
        DB      H20
        DB      H40
        DB      H80
;*********************************
NTAB:   DB      H3F                     ;0
        DB      H06                     ;1
        DB      H5B                     ;2
        DB      H4F                     ;3
        DB      H66                     ;4
        DB      H6D                     ;5
        DB      H7D                     ;6
        DB      H07                     ;7
        DB      H7F                     ;8
        DB      H6F                     ;9
        DB      H77                     ;A
        DB      H7C                     ;B
        DB      H39                     ;C
        DB      H5E                     ;D
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DB      H79             ;E
        DB      H71             ;F
        DB      0               ;BLANK
        DB      H40             ;
;*************************************
BRT:    DB      90              ;3 KHz
        DB      131             ;4 KHz
        DB      156             ;5 KHz
```

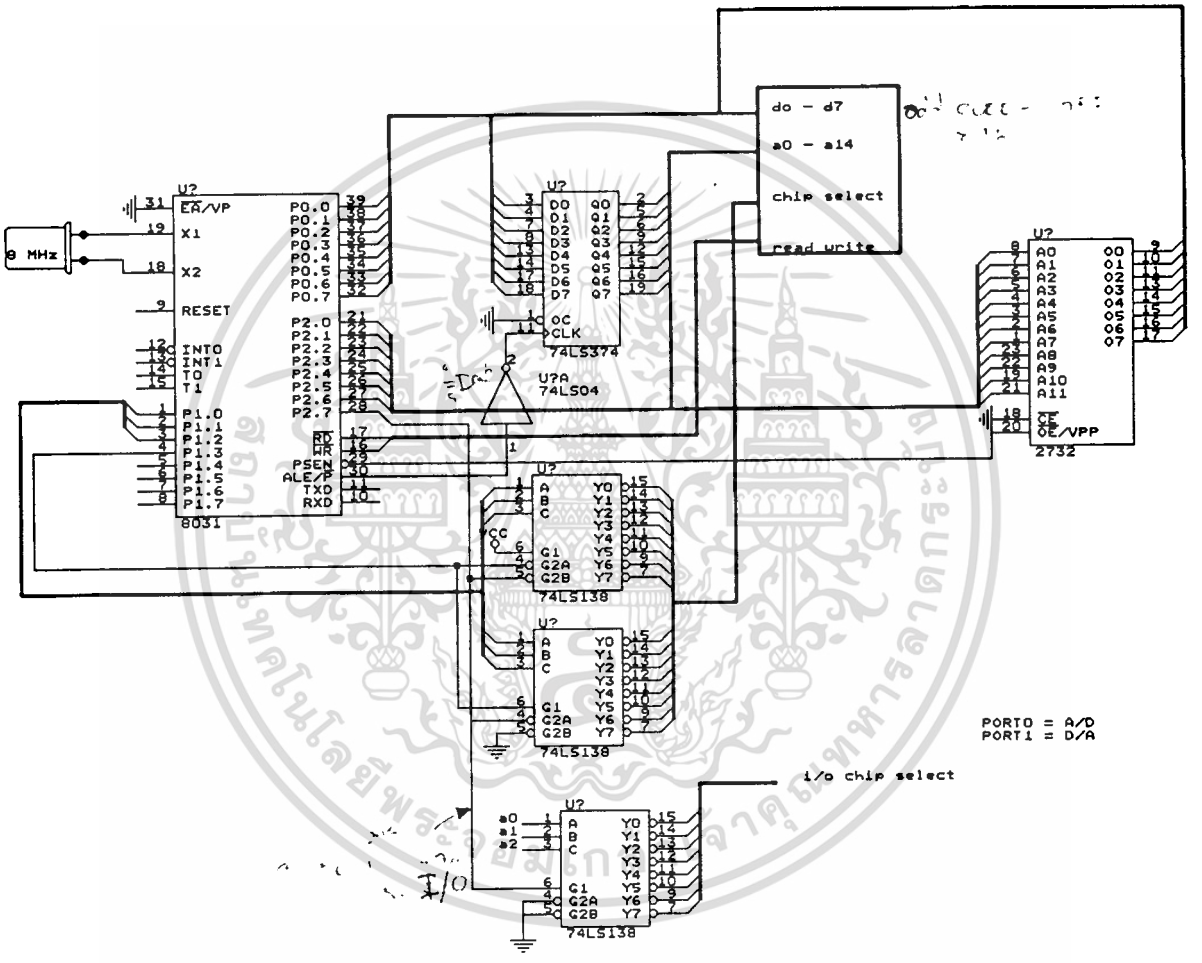
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
++++++++++++ 78 00 D8 FE 00 D2 AF C2 A9 01 24 B8 01 06 90
F0 80 05 90 80 00 E0 F0 D0 83 D0 82 A3 A3 C0 82 C0 83
FF FF 75 90 F0 74 77 A3 F0 A3 F0 74 FF A3 F0 A3 F0 E5
7F EF E5 82 B4 FF EA 05 90 43 90 F0 51 0A 90 FF FF 43
E5 90 B4 F0 D8 75 89 02 75 2F 00 43 90 F0 75 30 01 31
39 43 90 F0 E5 90 44 0F 64 FF F9 60 F7 E5 90 44 0F 64
F8 78 2F B9 80 13 B6 00 02 21 39 B6 01 04 31 D5 01 62
3B 51 04 01 62 B9 40 13 B6 00 02 01 C7 B6 01 04 31 E1
B6 01 25 51 08 01 62 B9 20 0B 75 2F 00 74 80 90 80 05
62 B9 10 10 B6 00 06 05 2F 31 ED 01 62 B6 01 04 51 0A
01 62 78 00 D2 A9 80 FE 7A 00 90 FF FF A3 C0 82 C0 83
78 00 43 90 F0 20 95 04 C2 A9 01 A7 80 FE FC C3 9A 7D
05 7D 08 EA C3 9C 7C 07 33 40 02 DC FB ED 2C BB 02 01
54 07 90 02 1A 93 BD 00 03 2A 80 04 FD EA C3 9D FA DB
C4 2F D0 83 D0 82 F0 E5 82 B4 FF B1 E5 83 B4 7F AC 05
0A 90 FF FF 43 90 F0 E5 90 B4 F0 9D C2 A9 01 62 D2 A9
80 FE 7A 00 90 FF FF C0 83 C0 82 D0 82 D0 83 A3 E0 C0
82 FB 54 07 FC EB 54 08 FF EB C4 FB 54 08 FE EB 54 07
02 90 02 1A EB BD 02 01 EC 93 BD 02 01 FC DD F4 FB EA
07 2C 50 0A 74 FF 80 06 C3 9C 50 02 74 00 FA FC EA BE
2B 50 0A 74 FF 80 06 C3 9B 50 02 74 00 FA FB 7D 02 EC
43 90 F0 20 95 04 C2 A9 01 A7 80 FE EB 78 01 DD F2 D0
83 E5 82 B4 FF 91 E5 83 B4 7F 8C 05 90 51 0A 90 FF FF
F0 E5 90 B4 F0 04 C2 A9 01 62 21 4C 05 30 E5 30 B4 03
30 00 80 0C E5 30 B4 00 04 15 30 80 03 75 30 02 C2 8C
90 02 22 93 90 80 05 F0 E5 30 90 02 34 93 F5 8C D2 8C
90 80 02 15 90 43 90 F0 E5 90 54 0F 90 02 22 93 90 80
22 01 02 04 08 10 20 40 80 3F 06 5B 4F 66 6D 7D 07 7F
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

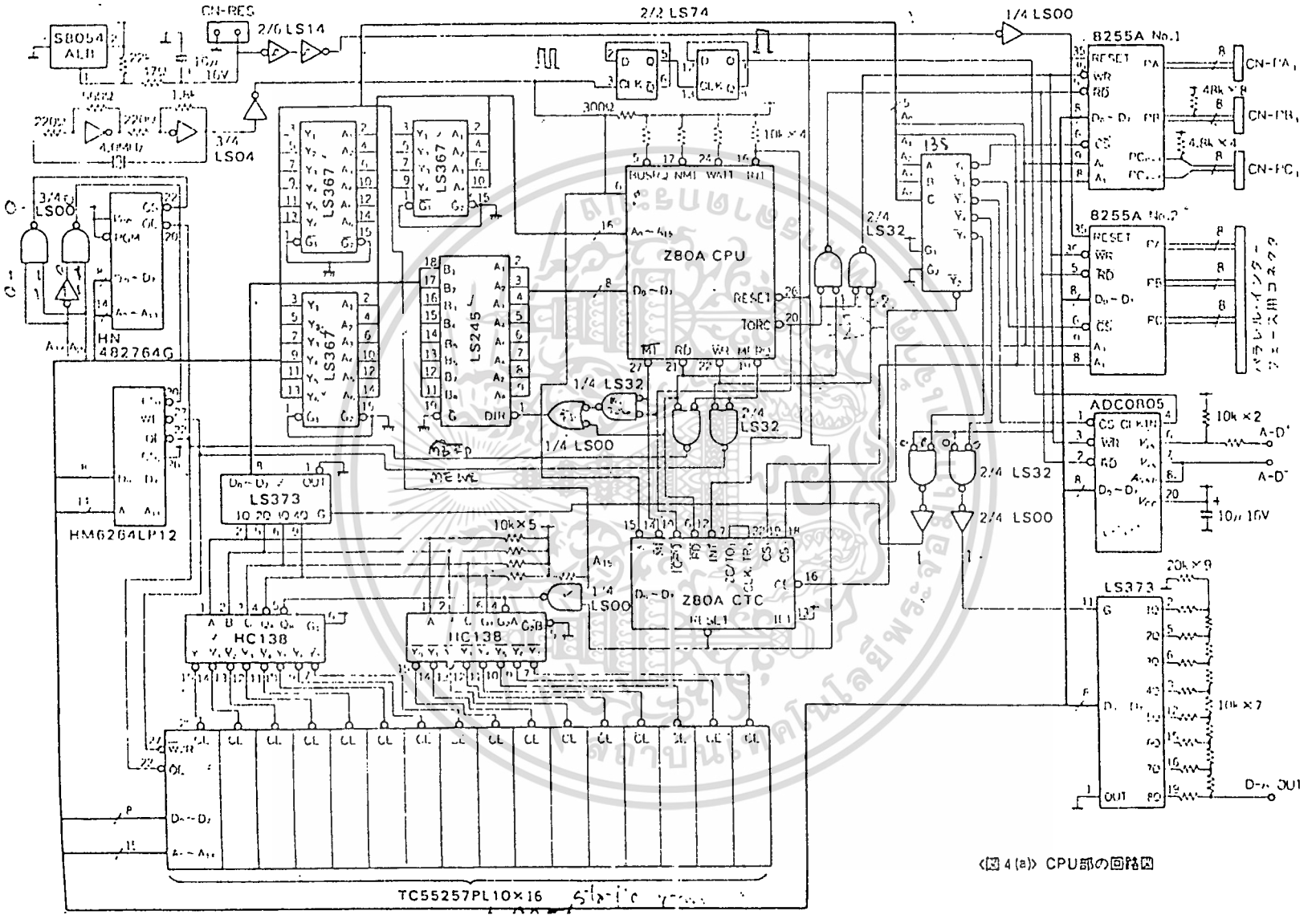
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



〈図4(a)〉 CPU部の回路図

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามนำไปใช้ในการแสวงหากำไร ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ภาคผนวก ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

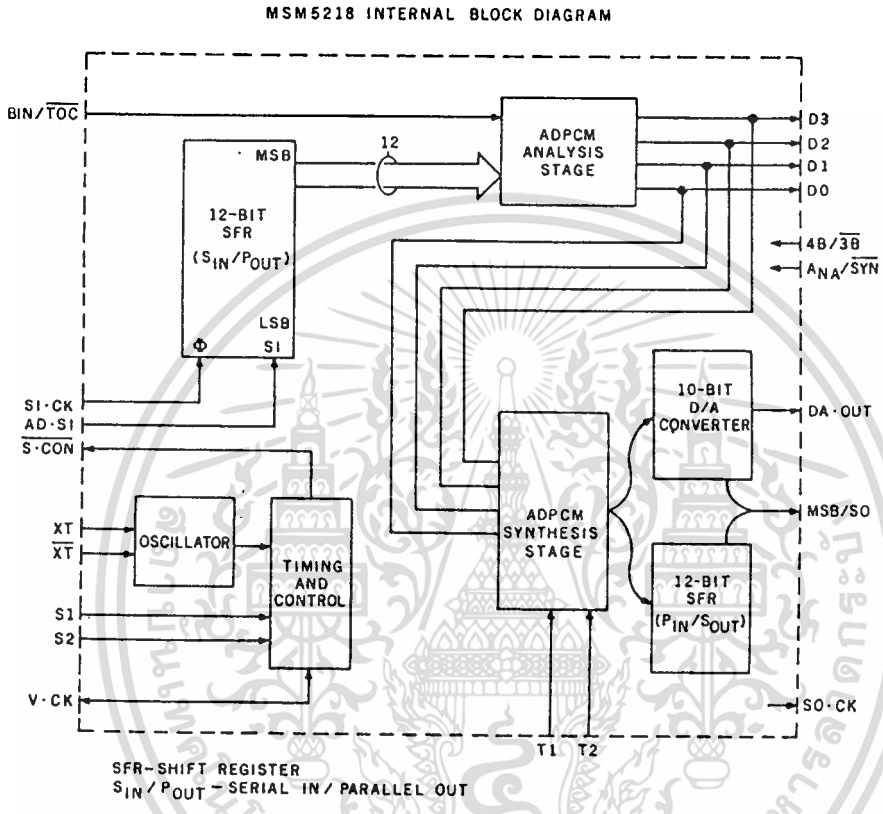
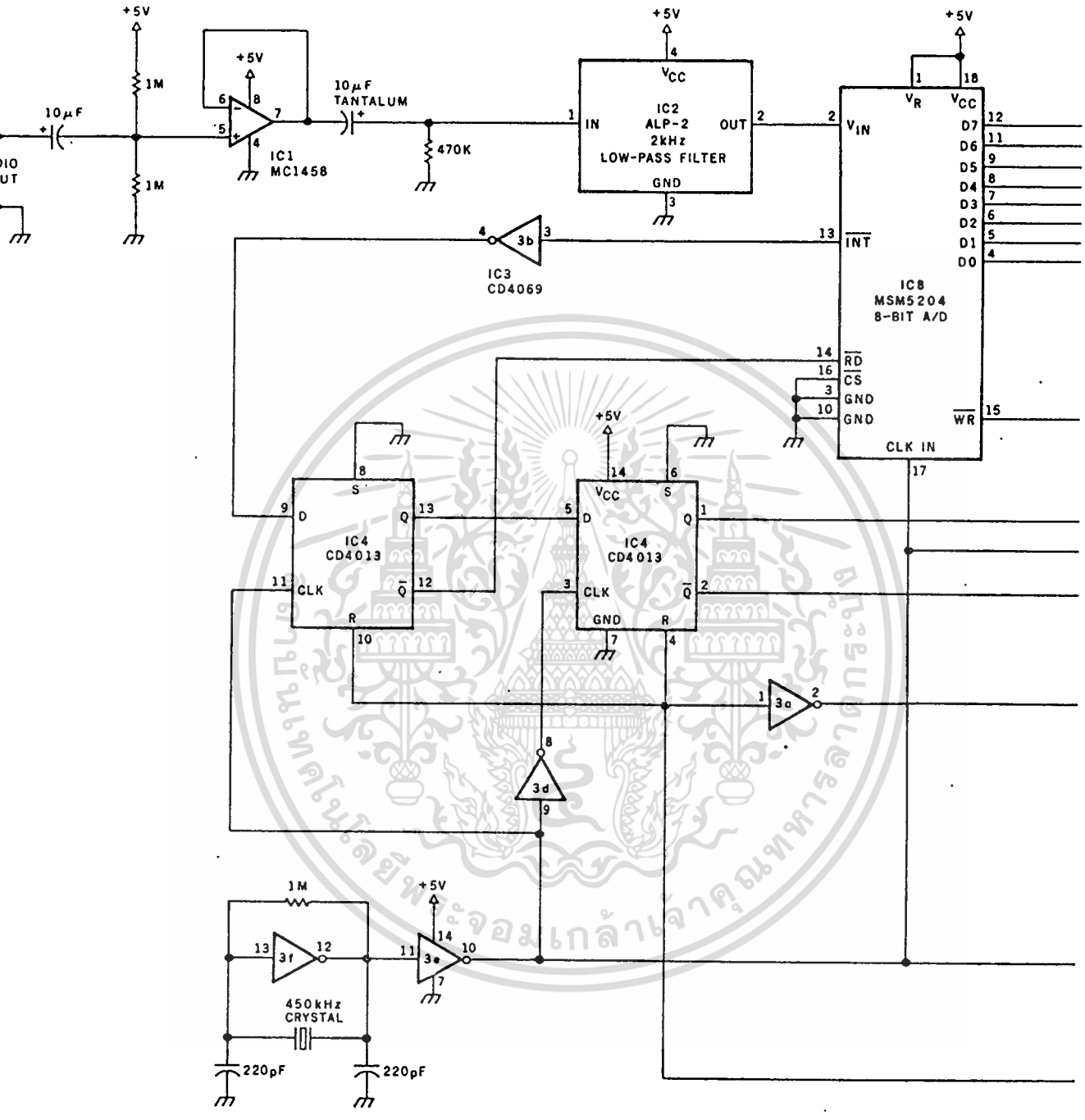


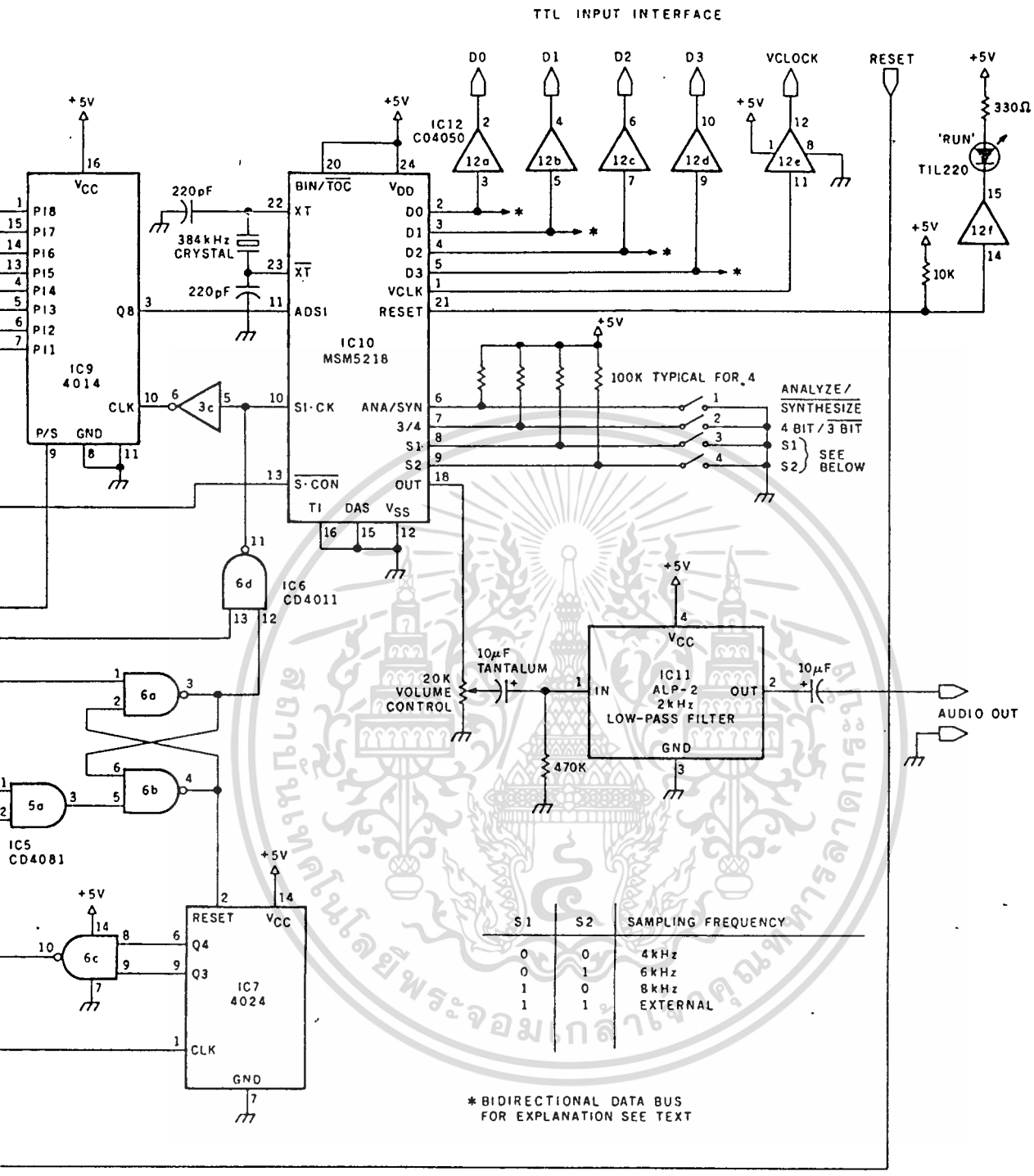
Figure 6: *Functional block diagram of the Oki Semiconductor MSM5218RS ADPCM integrated circuit.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



e 7: An ADPCM speech analysis and synthesis (storage and reproduction) circuit built around the Oki MSM5218RS chip. A ost 8-bit A/D converter is used in place of a higher-resolution and more costly 12-bit converter. The Oki MSM5204RS 8-bit S A/D converter, used in this circuit, contains a successive-capacitor-ladder conver ion system. It also incorporates a sample-

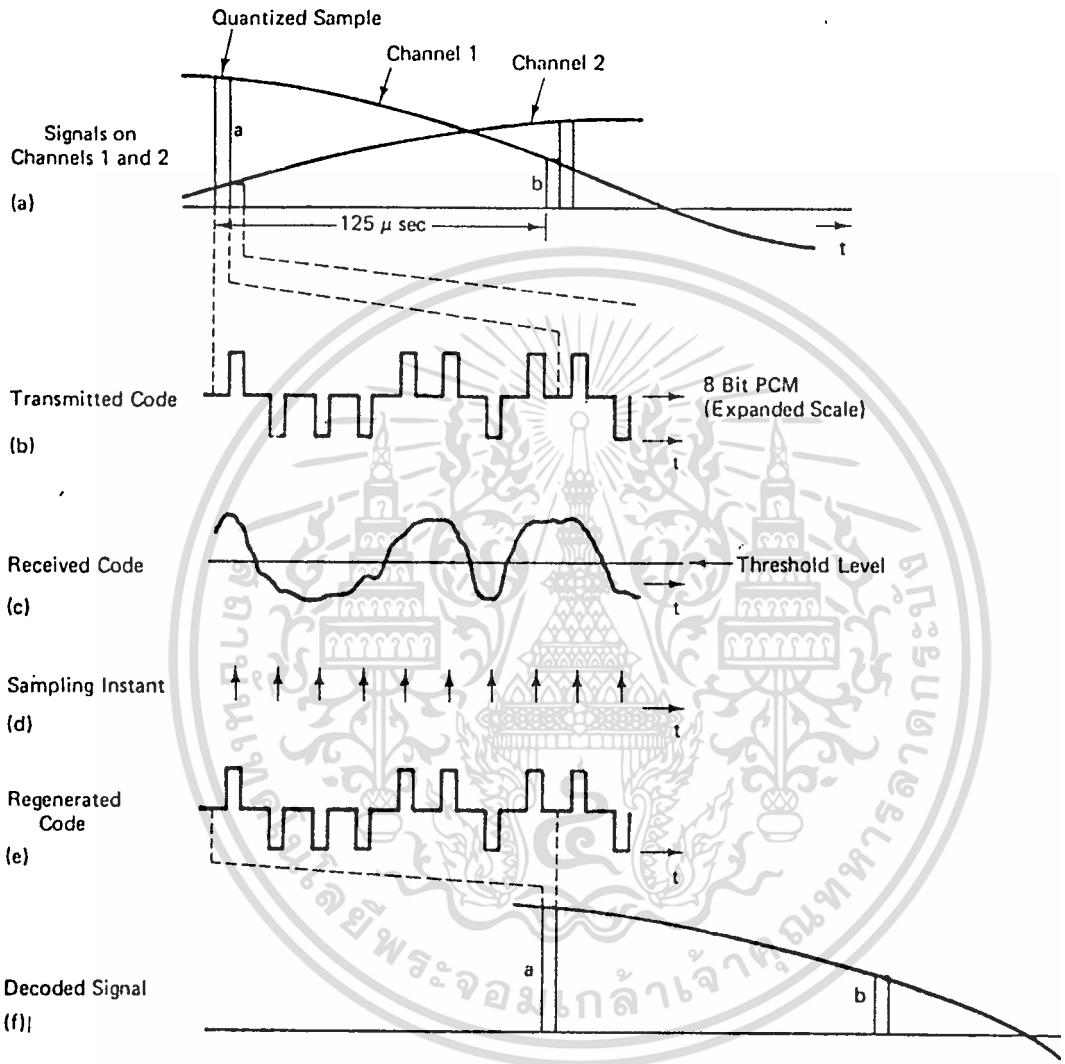
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



d stage that enables direct input of rapidly changing analog signals. An external clock signal provides timing for the chip; the frequency is not critical and can be anywhere from 450 to 500 kHz.

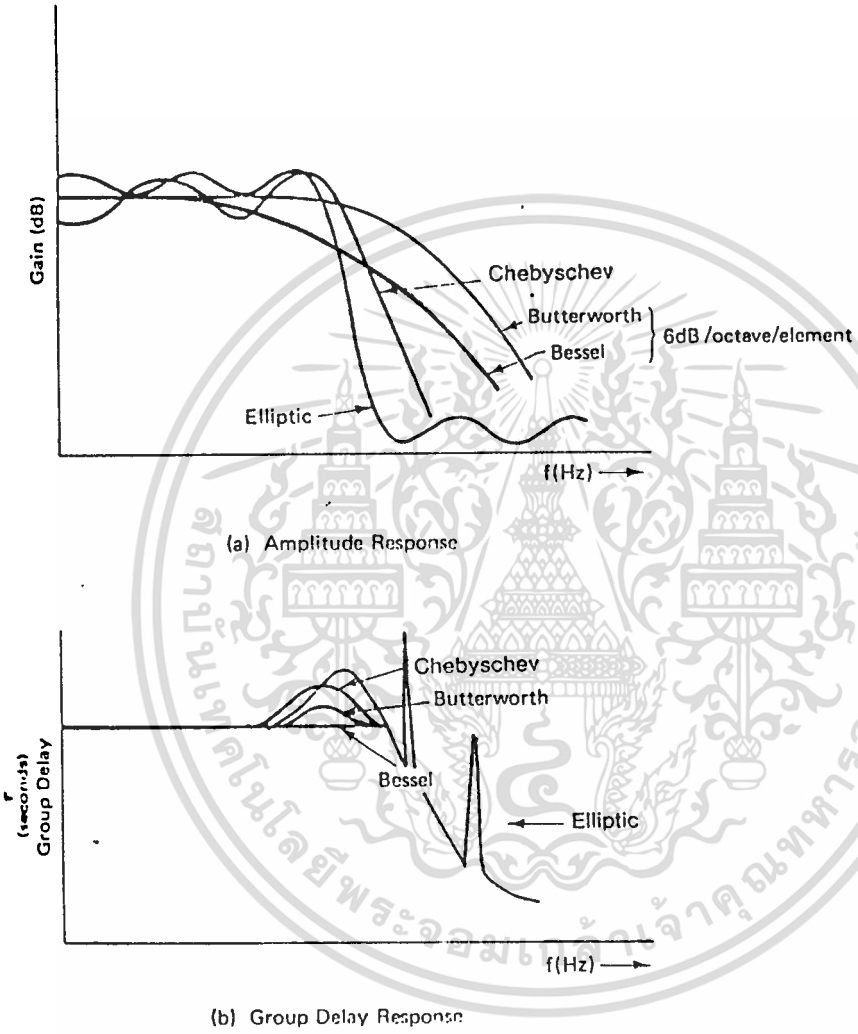
requency bandwidth of the signal input to the A/D converter is limited by an active low-pass filter, IC2, an Oki ALP-2 filter .7-kHz cutoff frequency and attenuation of 18 dB per octave above the cutoff frequency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Regeneration of Discrete Signals

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้