บทที่ 2

สัญญาณและระบบโทรทัศน์

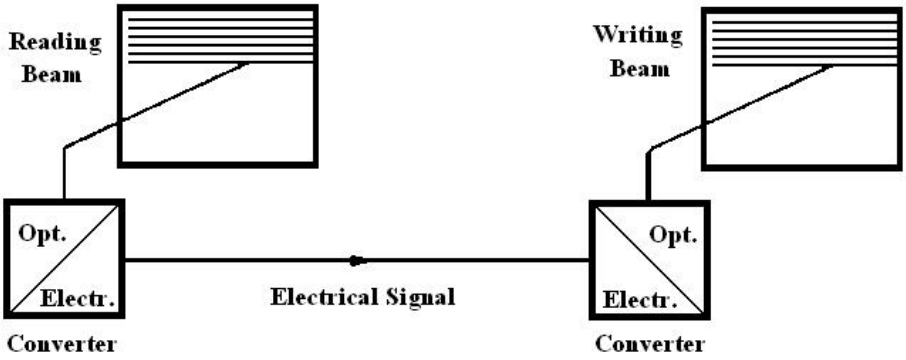
2.1 บทนำ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการนำเสนอวิธีการออกแบบระบบการสร้างสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้กับระบบของการส่งภาพผ่านสื่อกลางอย่างใดอย่างหนึ่งไปยังเครื่องรับโทรทัศน์เช่น จากสถานีส่ง, จากเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อความบันเทิงชนิดต่างๆ ฯลฯ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกล่าวถึงรายละเอียดในส่วนประกอบของสัญญาณและระบบที่ใช้ในการสร้างซึ่งงานวิจัยนี้ระบบที่ใช้เป็นต้นแบบก็คือระบบเชิงอุปมาน (Analog)

สัญญาณและระบบโทรทัศน์ที่ถูกคิดค้นขึ้นในยุคเริ่มต้นเป็นระบบขาวดำ หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาระบบจนทำให้เกิดระบบโทรทัศน์สีแต่หลักการส่วนใหญ่ก็ยังคงใช้หลักการของระบบขาวดำต่างกันที่ระบบโทรทัศน์สีได้เพิ่มในส่วนของสัญญาณสี (Chrominance: C) บวกไปกับสัญญาณภาพเบ็ดเสร็จ (Composite Video Signal: CVS) ที่ใช้รูปแบบเดิมของระบบขาวดำ ในช่วงของการพัฒนาระบบโทรทัศน์จากขาวดำเป็นระบบสีแต่ละประเทศก็ได้พัฒนาระบบเพื่อใช้เป็นมาตรฐานของตนเอง เช่น สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นใช้ระบบเอ็นทีเอสซี (National Television System Committee: NTSC) เป็นระบบมาตรฐาน เยอรมันใช้ระบบพาล (Phase Alternation Line: PAL) เป็นระบบมาตรฐาน ฝรั่งเศสใช้ระบบซีแคม (Sequentiel Couleur Avec Memoire: SECAM) เป็นระบบมาตรฐาน ส่วนประเทศไทยของเราก็ได้เลือกใช้ระบบพาลเป็นระบบมาตรฐานที่ใช้มาจนถึงทุกวันนี้ (พ.ศ. 2547) ดังนั้นงานวิจัยที่กำลังนำเสนอจะกล่าวถึงในรายละเอียดเฉพาะระบบพาลเท่านั้น

2.2 หลักการสร้างสัญญาณภาพ

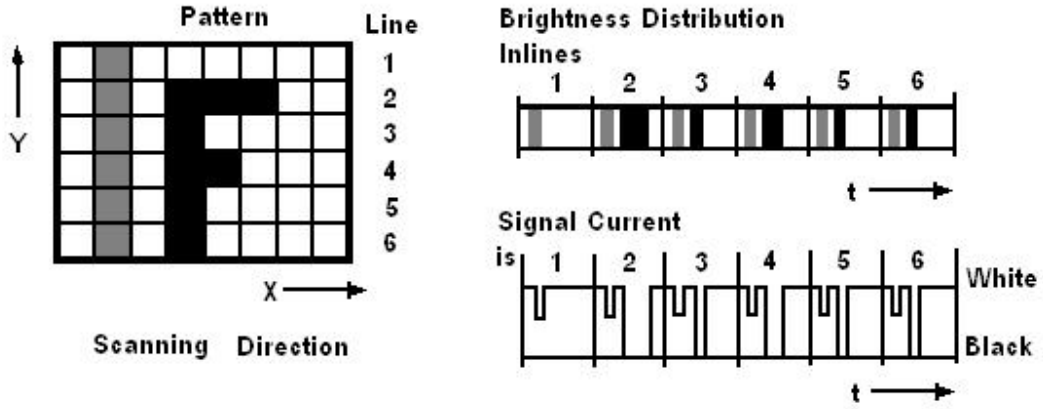
การส่งภาพจากที่ใดที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งสามารถทำได้โดยทางด้านเครื่องส่ง (Transmitter) ทำการแปลงข้อมูลความส่องสว่างของภาพให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วส่งผ่านสื่อกลางชนิดใดชนิดหนึ่งเช่น อากาศ, แผ่นซีดีรอม (CD Read Only Memory: CD-ROM), ฯลฯ ไปยังเครื่องรับ (Receiver) ซึ่งมีตัวแสดงผลทำงานในทางกลับกันคือ ทำการแปลงสัญญาณภาพที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นแสงเพื่อสร้างภาพจากการเรียงจุด ระบบของการรับและส่งภาพอย่างง่ายแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการส่งภาพของระบบโทรทัศน์

2.2.1 การกวาดเส้นภาพ (Scanning)

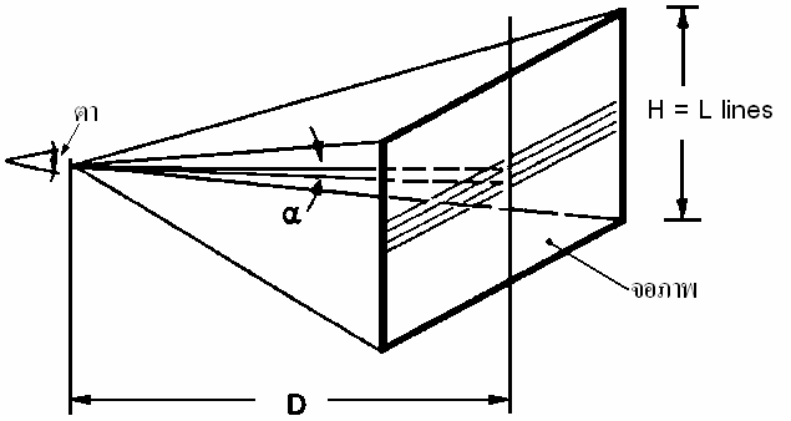
หลักการส่งภาพของระบบโทรทัศน์จะเริ่มจากการแปลงภาพให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยตัวเซนเซอร์ (Sensor) โดยการแบ่งภาพออกเป็นเส้นทางแนวนอนและกวาดจากมุมบนซ้ายลงไปมุมล่างขวาตามแนวตรงของการมองภาพจะทำให้ได้สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงค่าตามความส่องสว่างเป็นข้อมูลอนุกรมที่สัมพันธ์กับคาบเวลาของการกวาด สัญญาณภาพจะต้องถูกส่งไปคู่กับสัญญาณซิงโครไนเซชั่น (Synchronization) ซึ่งจะใช้ในการควบคุมการกวาดเส้นภาพกลับทางฝั่งเครื่องรับเพื่อสร้างภาพให้ถูกต้องตรงตามตำแหน่งเหมือนกับทางฝั่งภาคส่ง จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่ารูปตัวอักษรทางด้านซ้ายมือถูกแบ่งออกเป็น 6 เส้นและตัวเซนเซอร์ทำการกวาดเส้นภาพทำให้ได้สัญญาณกระแสไฟฟ้า (Is) ซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าตามความส่องสว่างของภาพ



รูปที่ 2.2 แสดงการกวาดเส้นภาพและรูปร่างของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์ (Sensor)

ทางด้านเครื่องส่งตัวแปลงภาพให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าอย่างหนึ่งที่เป็นที่รู้จักกันเป็นอย่างดีก็คือกล้องวิดีโอ (Video Camera) ส่วนทางด้านเครื่องรับจอภาพแสดงผลเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างภาพซึ่งในปัจจุบันมีหลายชนิด โดยทั่วไปจะใช้หลักการเดียวกันแต่จะแตกต่างกันตรงที่วิธีการสร้างแสงให้ปรากฏที่หน้าจอยกตัวอย่างเช่น จอภาพชนิดซีอาร์ที (Cathode Ray Tube: CRT) ใช้การสร้างแสงจากการยิงลำอิเล็กตรอนจากด้านหลังจอผ่านชุดเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอน (Deflection Yoke) และตกกระทบกับสารเรืองแสง (Phosphor) ที่ฉาบไว้ที่หน้าจอทำให้เกิดเป็นแสงจุดเล็กๆหลายแสนจุดรวมกันจนสามารถทำให้ตามนุษย์มองเห็นเป็นภาพที่หน้าจอได้

2.2.2 การแบ่งจำนวนเส้นของภาพ



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของระยะและมุมการมองภาพของสายตา

คุณภาพของการสร้างภาพกลับสามารถวัดได้โดยความละเอียดซึ่งก็คือจำนวนเส้นของการกวาดนั่นเอง จำนวนเส้นที่มากกว่าจะให้รายละเอียดของภาพที่สูงกว่าดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีการคำนวณหาจำนวนของเส้นที่เหมาะสม โดยมีสองตัวแปรที่จะนำมาพิจารณาคือ ความไว (Acuity) และระยะห่างจากระหว่างจอภาพแสดงผลกับตาของมนุษย์ จากรูปที่ 2.3 ค่าที่ดีที่สุดของระยะห่างก็คือ 5 เท่าของความสูงจอ [5] ที่จุดนี้ตาของมนุษย์จะมองภาพต่อเนื่องไม่มีรอยต่อที่เกิดจากโครงสร้างของเส้นภาพ ภายใต้เงื่อนไขปกติมุมของ α ประมาณ $\alpha 0 = 1.5$ องศา ($\alpha 0$ วัดโดยอ้างอิงจากจุดกึ่งกลางของจอภาพซึ่งเป็นจุดที่ใกล้ที่สุดระหว่างตากับจอภาพ) จากสมการที่ 2.1

$$\tan \alpha = \frac{H / L}{D} \approx \hat{\alpha} \qquad (2.1)$$

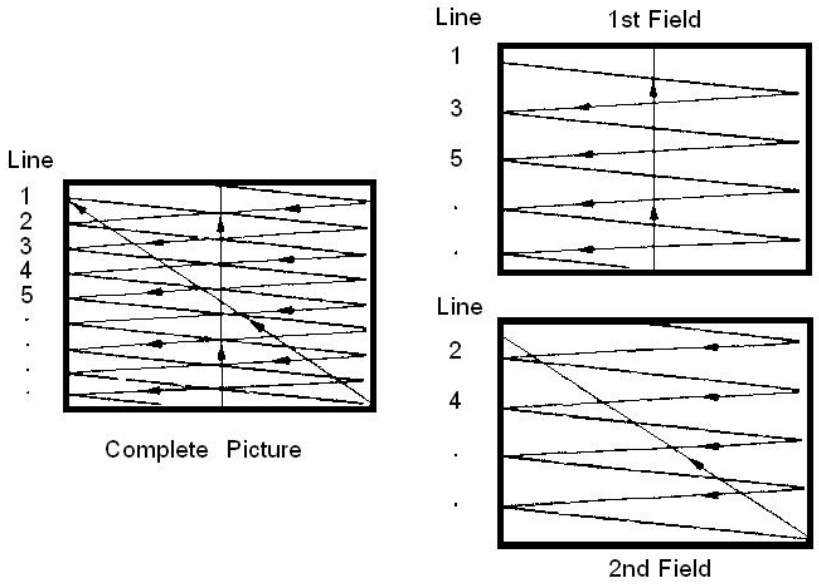
ด้วยค่า $\alpha = \alpha 0 = 1.5$ และ $\tan \alpha 0 \approx 4 \times 10^{-4}$ การคำนวณหาค่าจำนวนของเส้นภาพน้อยที่สุดที่เป็นไปได้สามารถทำได้โดยใช้สูตรการประมาณตามสมการที่ (2.2)

$$L = \frac{2500}{D / H} \tag{2.2}$$

สำหรับค่า D/H = 5 จะได้จำนวนเส้นภาพที่สามารถมองเห็นได้ทั้งหมด 500 เส้น แต่ระบบพาลตามมาตรฐานของ ซีซีไออาร์ (Consultative Committee on International Radio: CCIR) ได้แบ่งพื้นที่ของราสเตอร์ (Raster) ออกเป็นทั้งหมด 625 เส้นและเส้นภาพที่สามารถมองเห็นได้ทั้งหมดคือ 576 เส้น ส่วนที่หายไปก็เนื่องจากช่วงของการกวาดเส้นภาพกลับทางแนวตั้ง

2.2.3 ความถี่ของการฉายภาพซ้ำ (Picture Repetition Frequency)

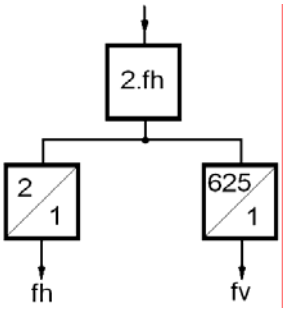
ภาพเคลื่อนไหวที่มองเห็นจากหน้าจอภาพแสดงผลเกิดจากการฉายภาพนิ่งหลายเฟรม (Frame) ต่อเนื่องกันด้วยความเร็วค่าหนึ่งจนทำให้ตามองเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหว ดังนั้นการสร้างภาพเคลื่อนไหวต่อเนื่องสิ่งที่ต้องคำนึงถึงอย่างมากคือจำนวนน้อยที่สุดของการฉายภาพซ้ำเพื่อที่จะทำให้ตามนุษย์มองไม่เห็นความไม่ต่อเนื่อง การหาค่าความถี่ของการฉายภาพซ้ำจะต้องใช้คุณลักษณะทางสรีระของตาในการพิจารณา จากการทดลองพบว่าค่าต่ำสุดของการฉายภาพซ้ำอยู่ที่ 16-18 เฟรมต่อวินาที (Frame Per Second: FPS) [5] สำหรับเครื่องฉายภาพยนตร์ใช้อยู่ที่ประมาณ 24 เฟรมต่อวินาที ระบบของโทรทัศน์จึงได้นำค่านี้ไปพิจารณาเทียบความสัมพันธ์กับความถี่ไฟบ้านที่ใช้อยู่ในขณะนั้น (50 Hz. ในยุโรป) ดังนั้นระบบพาลที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยชาวเยอรมนีจึงเลือกใช้ค่าความถี่ของการฉายภาพซ้ำเท่ากับ 25 เฟรมต่อวินาที แต่อย่างไรก็ตามการฉายภาพซ้ำจำนวน 25 เฟรมต่อวินาทีนั้นไม่เพียงพอเนื่องจากตามนุษย์สามารถมองเห็นการกระพริบ (Flicker) สำหรับเครื่องฉายภาพยนตร์ได้ใช้การขัดจังหวะของ ฟลิคเกอร์ชัตเตอร์ (Flicker Shutter) เพิ่มความถี่ของการฉายภาพซ้ำเป็นสองเท่าในการแก้ปัญหานี้ แต่กับระบบโทรทัศน์ไม่สามารถใช้วิธีการนี้ได้ ดังนั้นระบบโทรทัศน์ได้ใช้อีกวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาคือ ใช้การกวาดเส้นภาพแบบสอดแทรกความหมายก็คือภาพหนึ่งภาพหรือหนึ่งเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็นสองฟิลด์ (Field) ประกอบด้วยฟิลด์เส้นคี่ 1..3..5..7… และฟิลด์เส้นคู่ 2..4..6..8… การฉายภาพหนึ่งเฟรมต้องใช้ภาพทั้งสองฟิลด์ดังกล่าว ดังนั้นการฉายภาพด้วยความถี่ 25 เฟรมต่อวินาทีจะทำให้ได้ความถี่ของการกระพริบเท่ากับ 50 ครั้งต่อวินาทีหรือ 50 ฟิลด์ต่อวินาทีทำให้สามารถแก้ปัญหาการมองเห็นภาพกระพริบของตามนุษย์ได้ รูปที่ 2.4 แสดงการแบ่งการกวาดเส้นภาพ



รูปที่ 2.4 แสดงการแบ่งการกวาดเส้นภาพ

การสร้างภาพกลับจากภาพที่ถูกแบ่งออกเป็นสองฟิลด์ของจอภาพแสดงผล การกวาดเส้นภาพแบบสอดแทรกจะต้องมีความแม่นยำเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดราสเตอร์ ในระบบที่ใช้จำนวนเส้นภาพเป็นจำนวนคี่เช่น โทรทัศน์ระบบพาลที่ใช้จำนวนเส้นภาพเท่ากับ 625 เส้น ช่วงต่อระหว่างฟิลด์แรกกับฟิลด์ที่สอง การกวาดเส้นภาพกลับเพื่อการเริ่มต้นกวาดเส้นภาพฟิลด์ที่สองจะทำที่ครึ่งหลังของการกวาดเส้นสุดท้ายของฟิลด์แรก ด้วยวิธีการนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณพิเศษในการแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนคาบเวลาของสองฟิลด์ดังกล่าว ด้วยเหตุนี้เส้นภาพจำนวน 312.5 เส้น 50 ฟิลด์ถูกฉายในหนึ่งวินาทีเรียกว่า ความถี่การฉายภาพซ้ำของฟิลด์ (Field Repetition) หรือความถี่ของการกวาดเส้นภาพทางแนวตั้ง (Vertical Frequency: FV) จากค่าดังกล่าว FV = 50 Hz. เป็นผลให้สามารถคำนวณหาค่าความถี่ของการกวาดเส้นภาพทางแนวนอน (Horizontal Frequency: FH) ได้ด้วยความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.3) คาบเวลาของการกวาดเส้นภาพทางแนวนอนจึงมีค่าเท่ากับ 64 uS. และคาบเวลาของการกวาดเส้นภาพทางแนวตั้งมีค่าเท่ากับ 20 mS. แต่การกวาดเส้นภาพทางแนวนอนและแนวตั้งดังกล่าวจะต้องซิงโครไนซ์กัน (Synchronize) วิธีที่สามารถทำได้ง่ายก็คือการหารจากความถี่สองเท่าของความถี่การกวาดเส้นภาพทางแนวนอนแสดงดังรูปที่ 2.5

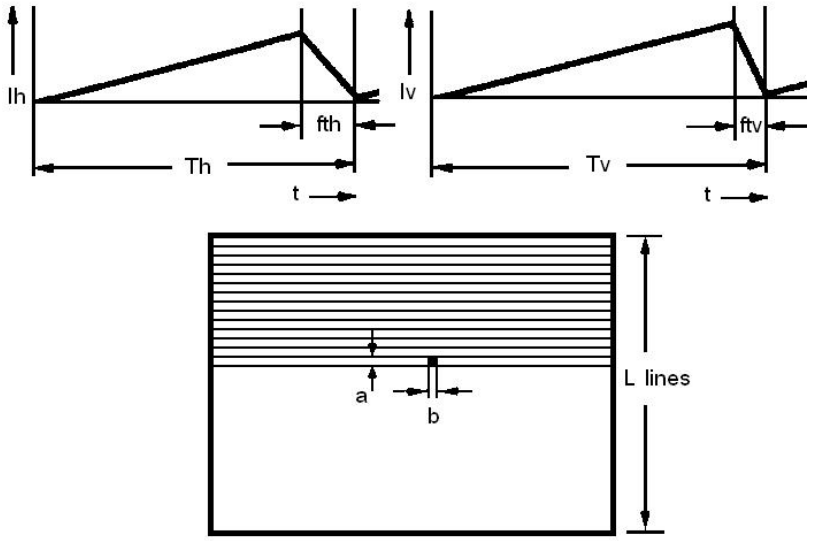
$$FH = 25 \times 625 = 50 \times 312.5 = 15625\,Hz. \qquad (2.3)$$



รูปที่ 2.5 แสดงการสร้างความถี่ที่ใช้ในการกวาดเส้นภาพ

2.2.4 แถบความถี่ของสัญญาณภาพ (Bandwidth of Picture Signal)

ความละเอียดของภาพที่ส่งออกไปสามารถวัดได้โดยจำนวนของเส้นกวาด ด้วยค่าความละเอียดที่เท่ากันของสองทิศทางทั้งแนวนอนและแนวตั้งดังนั้นความกว้างของจุดภาพ (b ของรูปที่ 2.6) จะต้องมีขนาดเท่ากับขนาดของเส้นภาพ (a ของรูปที่ 2.6) เส้นภาพถูกกวาดจากทางด้านซ้ายไปทางด้านขวาของจอภาพหลังจากนั้นเส้นภาพจะกวาดกลับ(สะบัดกลับ)เพื่อเริ่มการกวาดเส้นภาพต่อไปซึ่งในช่วงนี้เส้นกวาดจะต้องถูกทำให้มืดเนื่องจากไม่มีข้อมูลภาพเรียกว่าช่วงแบล้งกิ้งทางแนวนอน (Horizontal Blanking) ทางด้านแนวตั้งก็มีหลักการคล้ายกันคือหลังจากการกวาดภาพจนถึงด้านล่างของจอภาพเส้นภาพจะถูกกวาดกลับไปที่ด้านบนของจอและถูกทำให้มืดเรียกว่า ช่วงแบล้งกิ้งทางแนวตั้ง (Vertical Blanking) ช่วงแบล้งกิ้งทั้งทางแนวนอนและแนวตั้งอีกชื่อหนึ่งเรียกว่าช่วงฟลายแบ็ค (Fly Back) ตามมาตรฐานของซีซีไออาร์กำหนดคาบเวลาตามสมการที่ (2.4)-(2.5)



รูปที่ 2.6 แสดงความละเอียดและคาบเวลาของการกวาดเส้นภาพ

$$tfh = 0.18 \times Th = 11.52\,\mu s. \quad (2.4)$$

$$tfv = 0.08 \times Tv = 1.6ms. \quad (2.5)$$

เมื่อ

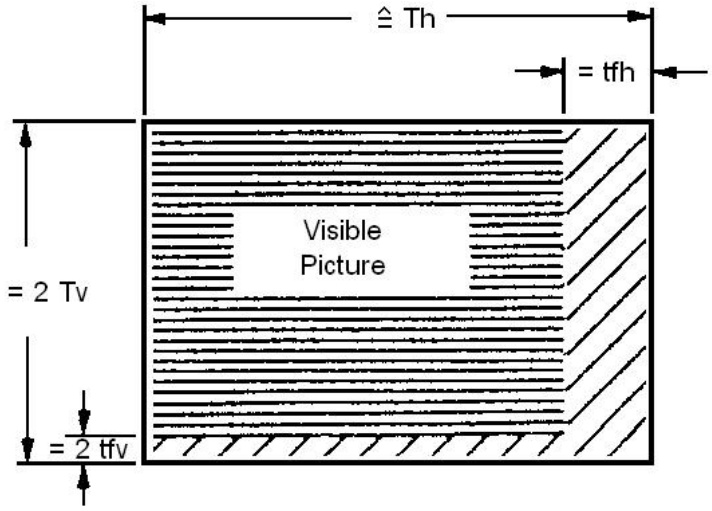
tfh คือ เวลาของช่วงแบล้งกิ้งทางแนวนอน

tfv คือ เวลาของช่วงแบล้งกิ้งทางแนวตั้ง

Th คือ เวลาของการกวาดเส้นภาพทางแนวนอน

Tv คือ เวลาของการกวาดเส้นภาพทางแนวตั้ง

ด้วยเหตุนี้ข้อมูลของสัญญาณภาพจะเท่ากับ Th(1-0.18) = 52.48 uS.ของเวลาที่ใช้ในการกวาดเส้นภาพทั้งหมดทางแนวนอน (Th) และ 625(1-0.08) = 575 เส้น สำหรับการกวาดเส้นภาพทางแนวตั้ง ทำให้พื้นที่ในการมองเห็นภาพลดลงอันเนื่องมาจากเวลาของการกวาดเส้นภาพกลับดังกล่าว รูปที่ 2.7 แสดงผลของช่วงฟลายแบ็คที่ทำให้พื้นที่ของราสเตอร์ลดลง



รูปที่ 2.7 แสดงผลของช่วงฟลายแบ็คทำให้พื้นที่ของราสเตอร์ลดลง

สำหรับจอภาพโทรทัศน์อัตราส่วนของความยาวต่อความสูงเท่ากับ 4:3 ด้วยขนาดที่เท่ากันของความกว้างทางแนวนอนและขนาดของเส้นเพื่อสร้างจุดของแสงที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังนั้นถ้าพิจารณาอัตราส่วนของจอและจำนวนทั้งหมดของเส้นภาพทำให้สามารถคำนวณหาค่าความละเอียดทางแนวนอนได้ตามสมการที่ (2.6)

$$\frac{4}{3} \times 625(1 - 0.08) = 767 \qquad (2.6)$$

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าจำนวนเส้นภาพทั้งหมดเป็นความละเอียดทางด้านแนวตั้งส่วนความละเอียดทางด้านแนวนอนหาได้จากสมการ (2.6) ทำให้สามารถคำนวณหาจำนวนของจุดภาพ (Picture Element: Pixel) ทั้งหมดบนหน้าจอได้ตามสมการที่ (2.7)

$$\frac{4}{3} \times 625(1 - 0.08) \times 625(1 - 0.08) = 440833 \text{ Pixels.} \qquad (2.7)$$

จำนวนของจุดภาพที่ได้จากสมการ (2.7) สามารถคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการส่งทั้งหมดได้ตามสมการที่ (2.8)

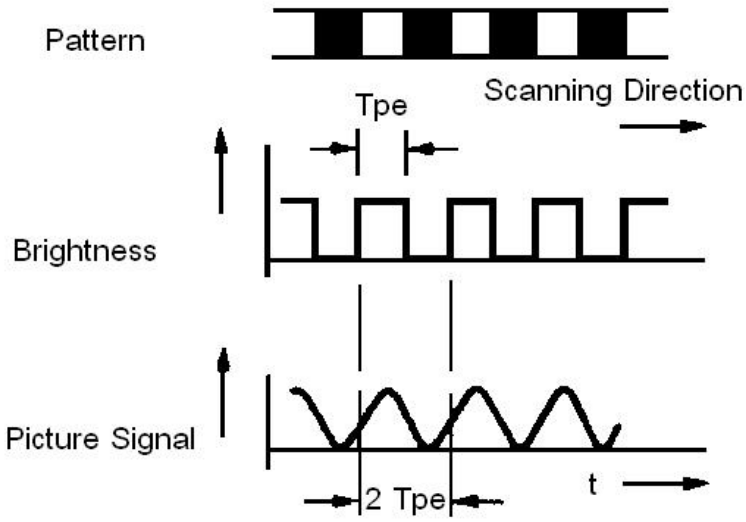
$$64\,\mu s\,(1 - 0.18) \times 625(1 - 0.08) = 30.176\,ms \qquad (2.8)$$

จากสมการที่ (2.7) และ (2.8) เวลาที่ใช้ในการกวาดเส้นภาพให้ได้หนึ่งจุดภาพ (Pixel) หรือ Tpe สามารถคำนวนหาได้จากสมการที่ (2.9)

$$Tpe = \frac{30.176\,ms}{440833} = 0.0684\,\mu s \qquad (2.9)$$

ภาพที่ทำให้เกิดความถี่ของสัญญาณภาพสูงสุดคือภาพที่มีสีดำสลับกับสีขาวจุดภาพเว้นจุดภาพ (Pixel) ดังนั้นคาบเวลาของสัญญาณภาพนี้คือ Tp = 2 Tpe โดยปกติภาพที่มีสีดำสลับกับสีขาวดังกล่าว จะต้องใช้คลื่นสแควเวฟ (Square Wave) ในการสร้าง แต่เนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่ใช้ในการสร้างแสงมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่จำกัดการใช้คลื่นสแควเวฟจะทำให้ช่วงการเปลี่ยนแปลงจากขาวเป็นดำถูกลบความคมแสดงดังรูปที่ 2.8 หรืออาจกล่าวได้ว่าการใช้คลื่นสแควเวฟเกินความจำเป็นเนื่องจากข้อจำกัดของลำอิเล็คตรอนดังกล่าว ดังนั้นการส่งเฉพาะความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) ของคลื่นสแควเวฟจึงเพียงพอสำหรับการสร้างภาพ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่าความถี่สูงสุดที่เป็นไปได้สำหรับสัญญาณภาพได้จากสมการที่ (2.10)

$$Fp_{\max} = \frac{1}{Tp} = 7.3 \text{ MHz.} \qquad (2.10)$$



รูปที่ 2.8 แสดงการลดความคมของสัญญาณภาพเนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางที่จำกัดของลำอิเล็กตรอน

เมื่อพิจารณาเส้นผ่าศูนย์กลางที่จำกัดของลำอิเล็กตรอนจะพบว่าความละเอียดทางแนวตั้งจะลดลงเปรียบเทียบกับสมการที่ 2.10 ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้ค่าคงที่เคล (KELL Factor: K) [5] ด้วยค่าของ $K \approx 2/3$ ซีซีไออาร์จึงได้กำหนดแถบความถี่ของสัญญาณภาพเท่ากับ 5 MHz.

จากทั้งหมดที่ได้กล่าวในข้างต้นเป็นหลักการสร้างสัญญาณภาพที่เป็นหลักการโดยรวมทั้งระบบขาวดำและระบบสี อย่างไรก็ตามทั้งสองระบบดังกล่าวยังมีส่วนที่แตกต่างกันได้แก่จุดภาพ (Pixel) สำหรับระบบขาวดำจุดภาพที่ใช้ในการสร้างภาพจะไม่มีสีแต่จะมีเฉพาะความส่องสว่าง (Lumiance: Y) ที่มีระดับต่างกัน แต่สำหรับระบบสีจุดภาพสามารถให้แสงที่มีสีได้เนื่องจากใช้การสร้างจุดภาพจากแสงที่เป็นแม่สีได้แก่ สีแดง, สีเขียวและสีน้ำเงินซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.3 สัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จ (Composite Color Video Signal: CCVS)

ในปัจจุบันเครื่องรับโทรทัศน์ถูกออกแบบมาให้สามารถรับสัญญาณภาพได้หลายรูปแบบด้วยกันเช่น สัญญาณอาร์เอฟ (Radio Frequency: RF), สัญญาณซูปเปอร์วิดีโอ (Super Video: S-Video), สัญญาณคอมโพเน้นท์ (Component YPbPr), สัญญาณอาร์จีบีจากสคาร์ท (Scart) แต่อย่างไรก็ตามสำหรับระบบการส่งกระจาย (Broadcast) ภาพในระบบเชิงอุปมาน สัญญาณภาพที่จำเป็นต้องใช้ในการ

มอดูเลตก็คือ สัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จ (Composite Color Video Signal: CCVS) นอกจากนั้นสัญญาณขาออกที่ได้จากเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อความบันเทิงบางชนิดเช่น เครื่องเล่นดีวีดี (DVD), วีซีดี (VCD) ก็ยังเป็นสัญญาณภาพชนิดนี้อยู่เช่นกัน

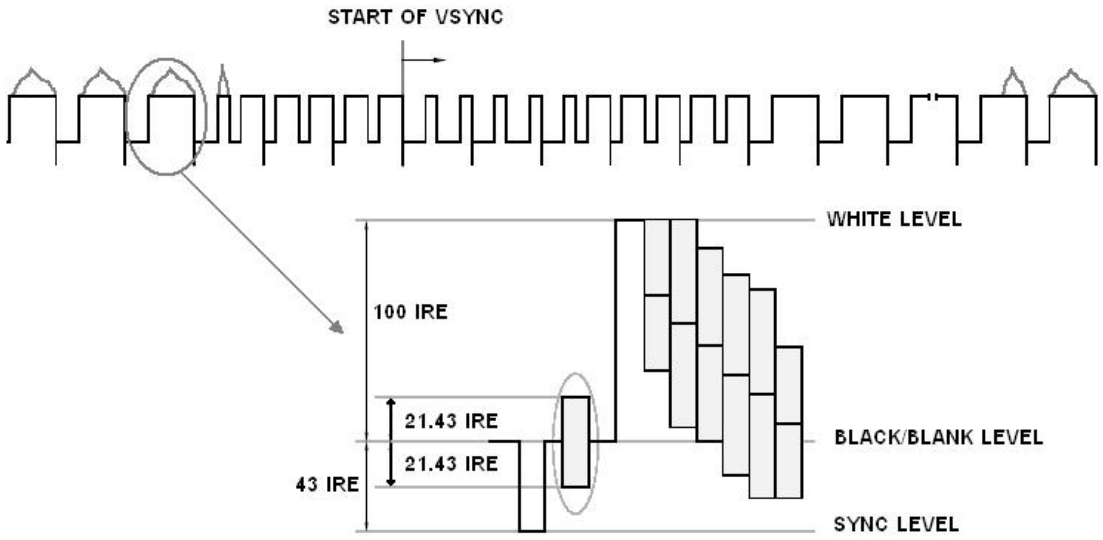
สัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จถูกสร้างขึ้นระหว่างช่วงรอยต่อของการเปลี่ยนระบบการส่งกระจายภาพโทรทัศน์จากระบบขาวดำไปเป็นระบบสี วัตถุประสงค์หลักของการสร้างก็คือเพื่อการส่งสัญญาณภาพสีในการรับชมกับโทรทัศน์ระบบสีในขณะที่โทรทัศน์ระบบเก่าที่เป็นระบบขาวดำก็ยังคงต้องสามารถรับชมสัญญาณภาพจากสถานีส่งได้เหมือนเดิม หลักการคือส่งสัญญาณภาพเบ็ดเสร็จ (Composite Video) ซึ่งเป็นสัญญาณเดิมที่ใช้อยู่ของระบบขาวดำในการส่งความส่องสว่างของภาพกับสัญญาณสี (Chrominance) ไปในเวลาเดียวกันด้วยการมัลติเพล็กทางความถี่ [5] เพื่อส่งข้อมูลสีของภาพโดยใช้ย่านความถี่ของช่องสัญญาณระบบโทรทัศน์ขาวดำเดิมที่ใช้อยู่ซึ่งถือได้ว่าเป็นการบีบอัดข้อมูลภาพวิธีหนึ่ง [6]

2.3.1 ส่วนประกอบของสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จระบบพาล

จากหลักการสร้างภาพที่ได้กล่าวถึงไปแล้วนั้นพบว่าสัญญาณภาพจะต้องประกอบด้วยสัญญาณที่จำเป็นสำหรับการสร้างภาพกลับทางด้านเครื่องรับได้แก่

- สัญญาณแบล้งกิ้ง (Blanking) เป็นสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมความสว่างในช่วงของการสบัดกลับของเส้นภาพเพื่อเริ่มการกวาดเส้นหรือฟิลด์ต่อไป
- สัญญาณซิงโครไนเซชั่น (Synchronization) เป็นสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการกวาดเส้นภาพระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับให้มีคาบเวลาที่ตรงกัน
- สัญญาณความส่องสว่าง (Luminance: Y) หรือสัญญาณภาพขาวดำ
- สัญญาณสี (Chrominance: C) เป็นสัญญาณข้อมูลสีที่ผ่านการมอดูเลตประกอบด้วยสัญญาณความแตกต่างสี (Color Difference) R-Y, B-Y และสัญญาณเบิรสต์

สำหรับระบบโทรทัศน์ขาวดำสัญญาณภาพจะประกอบด้วยสัญญาณซิงโครไนเซชั่น, สัญญาณแบล้งกิ้งและสัญญาณความส่องสว่างเรียกสัญญาณภาพที่เกิดจากการบวกกันของสามสัญญาณดังกล่าวว่า “สัญญาณภาพเบ็ดเสร็จ” (Composite Video Signal: CVS) [5] ส่วนของระบบโทรทัศน์สีมีความแตกต่างก็คือได้บวกสัญญาณสีเข้ากับสัญญาณภาพเบ็ดเสร็จของระบบขาวดำและเรียกสัญญาณนี้ว่า “สัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จ” (Composite Color Video Signal: CCVS) [5] ตำราบางเล่มเรียกสัญญาณนี้ว่า “สัญญาณซีวีบีเอส” (Composite Video Blanking Sync: CVBS)



รูปที่ 2.9 แสดงสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จของสัญญาณภาพแท่งสี 75 %

2.3.1.1 สัญญาณแบล้งกิ้ง

การกวาดเส้นภาพจะเริ่มจากมุมบนซ้ายและสิ้นสุดที่มุมล่างขวาของจอภาพ หลังจากทำการกวาดเส้นภาพสิ้นสุดในแต่ละเส้นหรือแต่ละฟิลด์ เส้นกวาด (หรือลำอิเล็กตรอน) จะถูกลดความเข้มเพื่อทำให้แสงที่จอภาพมืดลงชั่วขณะเพื่อเริ่มการกวาดเส้นภาพในเส้นหรือฟิลด์ต่อไป เหตุผลที่ต้องดับเส้นกวาดก็เนื่องจากว่าไม่มีข้อมูลสัญญาณภาพในช่วงของการสบัดกลับ ระดับแรงดันของสัญญาณในช่วงนี้จึงถูกเรียกว่า “ระดับแบล้งกิ้ง” ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดเท่ากับระดับดำของสัญญาณภาพแต่จะมีเพียงบางระบบเท่านั้นที่ระดับแบล้งกิ้งและระดับดำมีขนาดแตกต่างกันเช่น ระบบเอ็นทีเอสซีเอ็ม (NTSC-M)หรือระบบพาลเอ็ม (PAL-M) [7] เป็นต้น เนื่องจากการกวาดเส้นภาพเป็นการกวาดแบบสองมิติดังนั้นสัญญาณแบล้งกิ้งจึงประกอบด้วย สัญญาณแบล้งกิ้งทางแนวนอน (Horizontal Blanking)และสัญญาณแบล้งกิ้งทางแนวตั้ง (Vertical Blanking) คาบเวลาของทั้งสองสัญญาณแสดงโดยสมการที่ (2.4) – (2.5)

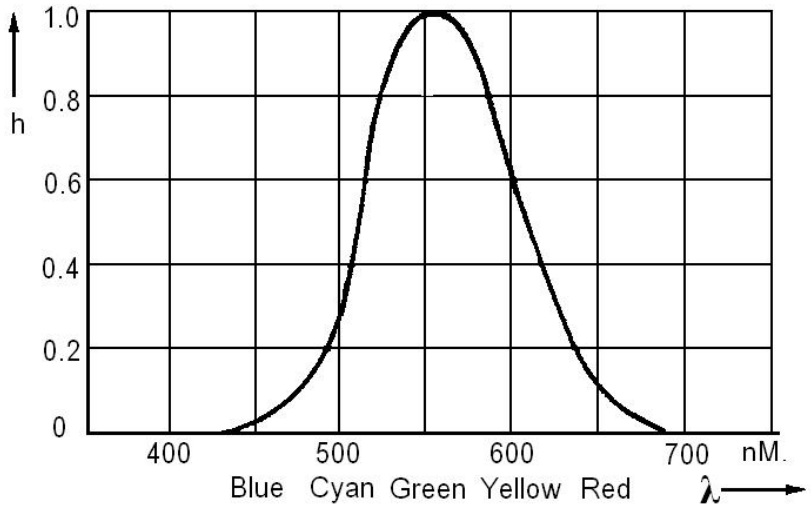
2.3.1.2 สัญญาณซิงโครไนเซชั่น

การส่งสัญญาณภาพของระบบโทรทัศน์เป็นการส่งเส้นภาพกวาดแบบสอดแทรก ลำดับของการเรียงเส้นระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับจะต้องตรงกันเพื่อให้ได้ภาพที่ถูกต้อง สัญญาณซิงโครไนเซชั่นเป็นสัญญาณถูกส่งมาจากเครื่องส่งหรือต้นกำเนิดของสัญญาณภาพใช้เพื่อควบคุมการกวาดเส้นภาพทางฝั่งเครื่องรับและเนื่องจากจอภาพเป็นการแสดงผลแบบสองมิติคือมีด้านกว้างกับด้านยาวดังนั้นจึงต้องใช้สองสัญญาณในการควบคุมซึ่งประกอบด้วย สัญญาณซิงโครไนเซชั่นทางแนวนอน

(Horizontal Synchronization) และสัญญาณซิงโครไนเซชั่นทางแนวตั้ง (Vertical Synchronization) สำหรับสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จสัญญาณซิงโครไนเซชั่นเป็นสัญญาณที่มีระดับแรงดันต่ำที่สุด

2.3.1.3 สัญญาณความส่องสว่าง

แสงที่ตามนุษย์มองเห็นเกิดจากการเรดิเอท (Radiate) ของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ละช่วงของความถี่ของแสงทำให้ตามนุษย์มองเห็นเป็นสีที่มีความสว่างไม่เท่ากันเช่น ความยาวคลื่นประมาณ 700 nM. ทำให้ตามองเห็นเป็นแสงสีแดง หรือแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแสงที่มีองค์ประกอบของความถี่กว้างทำให้ตามนุษย์มองเห็นเป็นสีขาว ความไวของตามนุษย์เปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นของแสงโดยแสงที่มีพลังเท่ากันแต่มีความยาวคลื่นต่างกันจะทำให้ตามองเห็นความส่องสว่างมีค่าต่างกันแสดงดังรูปที่ 2.10 จากรูปจะเห็นว่าแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 435 nM. ตามนุษย์จะมองเห็นเป็นสีน้ำเงินและมีความส่องสว่างน้อยกว่าแสงสีเขียวซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 546 nM.



รูปที่ 2.10 แสดงค่าความไว (h) ต่อความส่องสว่างของตามนุษย์ต่อแสงที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆ

ในยุคแรกๆของการพัฒนาระบบโทรทัศน์เริ่มจากระบบขาวดำ แต่ในความเป็นจริงภาพที่เรามองเห็นเป็นภาพสี ดังนั้นสำหรับระบบขาวดำจึงใช้การส่งค่าความส่องสว่างของภาพตามความไวของตามนุษย์แทนการส่งสีของภาพซึ่งในขณะนั้นยังไม่สามารถทำได้ ตัวเซ็นเซอร์ที่มีคุณสมบัติในการแปลงภาพสีให้เป็นความส่องสว่างตามความไวของตามนุษย์ก็คือกล้องวิดีโอขาวดำ (Black & White Video Camera) แต่เนื่องจากความต้องการส่งสัญญาณภาพสีจึงจำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดหรือตัวเซ็นเซอร์ที่ให้สัญญาณขาออกเป็นสัญญาณสีเช่น กล้องวิดีโอสี (Color Video Camera) ดังนั้นจึงต้องมีการแปลงกลับสัญญาณสีให้เป็นสัญญาณความส่องสว่าง (Luminance: Y) ตามมาตรฐานซีไออี (CIE

illuminate C) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.11) ความหมายก็คือความส่องสว่างสามารถสร้างได้จากผลรวมของแสงที่เป็นแม่สีทางแสงได้แก่สีแดง, เขียวและน้ำเงินที่มีค่าสัมประสิทธิ์แตกต่างกันอันเนื่องมาจากความไวต่อความส่องสว่างของตากับแม่สีของแสงทั้งสามดังกล่าวมีค่าไม่เท่ากัน

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \qquad (2.11)$$

2.3.1.4 สัญญาณสี

หลังจากได้พัฒนาและส่งกระจายภาพในระบบขาวดำมาระยะหนึ่งแต่ละประเทศก็ได้พัฒนาระบบโทรทัศน์สีเพื่อใช้เป็นระบบมาตรฐานของตนเอง แต่ทุกระบบของการเข้ารหัสสีพบกับปัญหาเดียวกันคือ จะต้องส่งสัญญาณภาพสีที่มีข้อมูลความส่องสว่างของภาพเพื่อทำให้โทรทัศน์ที่เป็นระบบขาวดำรับชมภาพได้เหมือนเดิม จากการศึกษาพบว่าสีที่ปรากฏในธรรมชาติสามารถสร้างได้จากการรวมกันของแสงที่เป็นแม่สีหลักได้แก่ สีแดง, เขียวและน้ำเงิน ฉะนั้นนั้นการส่งสัญญาณสีแดง,เขียวและน้ำเงินของระบบโทรทัศน์ จึงเพียงพอกับการสร้างภาพที่มีสีตามธรรมชาติทางด้านเครื่องรับ [5]

ถึงแม้ว่าภาพสีสามารถสร้างได้จากการรวมกันของแสงที่เป็นแม่สีหลักทั้งสาม แต่ด้วยข้อจำกัดของความเข้ากันได้ (Compatibility) ของระบบการส่งกระจายภาพระหว่างระบบสีและขาวดำ การส่งกระจายภาพโทรทัศน์จึงต้องใช้การส่งสัญญาณความแตกต่างสีไปกับสัญญาณภาพเบ็ดเสร็จแทนการส่งสัญญาณของแม่สีทั้งสามโดยตรงซึ่งสามารถทำให้แก้ปัญหาเรื่องข้อจำกัดของความเข้ากันได้ เนื่องจากทั้งสองสัญญาณนี้เพียงพอสำหรับการสร้างสัญญาณที่จำเป็นในการสร้างภาพกลับทางฝั่งเครื่องรับได้ทั้งระบบขาวดำและสี วิธีการนี้จึงถูกนำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าวกับทุกระบบของการเข้ารหัสสี สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2.11

สำหรับระบบโทรทัศน์ขาวดำสามารถใช้สัญญาณความส่องสว่างที่ส่งมาได้โดยตรงในขณะที่ระบบโทรทัศน์สีต้องใช้สัญญาณความแตกต่างสีในการสร้างกลับสัญญาณแม่สีทางแสงดังนี้

$$R = (R - Y) + Y \qquad (2.12)$$

$$G = (G - Y) + Y \qquad (2.13)$$

$$B = (B - Y) + Y \qquad (2.14)$$

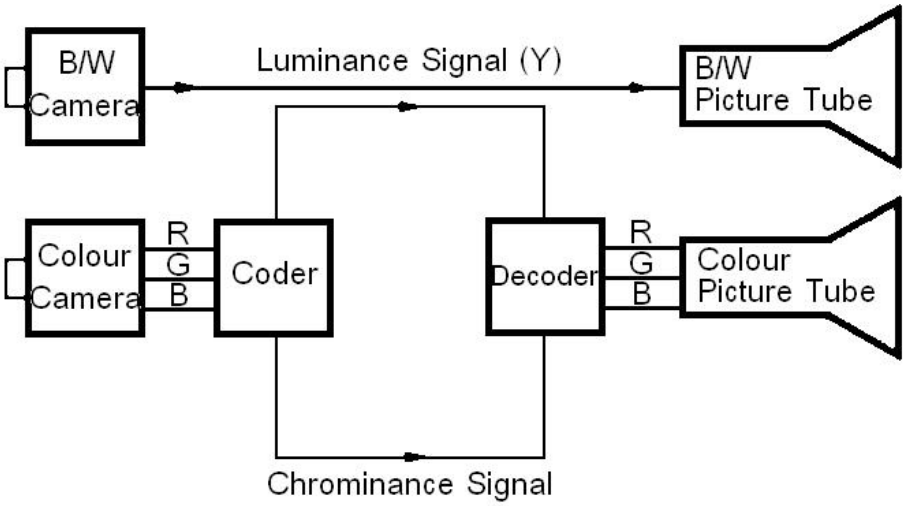
สัญญาณความแตกต่างสีจะมีเฉพาะสัญญาณ R-Y และ B-Y ทางฝั่งเครื่องรับสามารถสร้างสัญญาณ G-Y ได้ดังนี้คือ จาก (2.11) ทำให้ทราบว่า

$$Y = 0.299Y + 0.587Y + 0.114Y \qquad (2.15)$$

(2.11)-(2.15) จะได้

$$0 = 0.299(R - Y) + 0.587(G - Y) + 0.114(B - Y)$$

$$G - Y = -\left(\frac{0.299}{0.587}\right)(R - Y) - \left(\frac{0.114}{0.587}\right)(B - Y) \qquad (2.16)$$

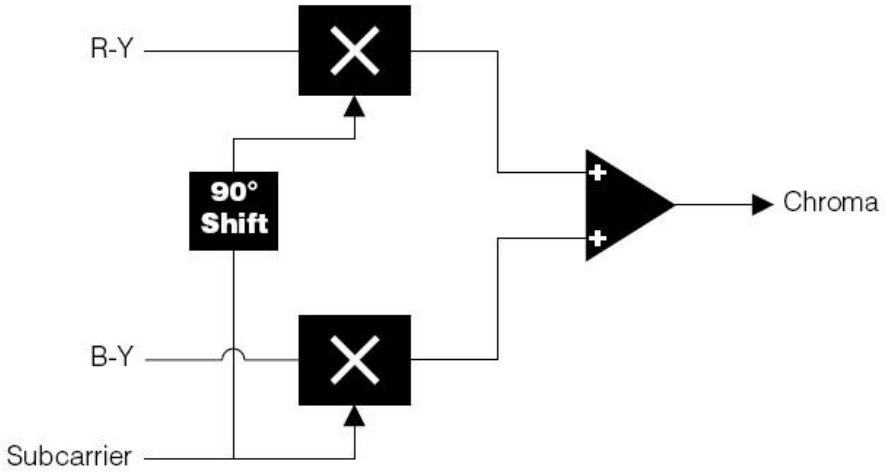


รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบการส่งสัญญาณภาพเพื่อความเข้ากันได้ของระบบโทรทัศน์สีและขาวดำ

สัญญาณแบนด์มูลฐาน (Base Band) ของสัญญาณความแตกต่างสีไม่สามารถส่งไปพร้อมกับสัญญาณภาพเบ็ดเสร็จได้โดยตรงด้วยการบวก เนื่องจากมีสเปกตรัม (Spectrum) อยู่ในช่วงเดียวกัน ดังนั้นการเข้ารหัสสีจึงถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว สัญญาณความแตกต่างสีของระบบพาลและเอ็นทีเอสซีได้ใช้การมอดูเลตเชิงแอมปลิจูดแบบแถบข้างคู่ขจัดคลื่นพาห์ (Amplitude Modulation Double Side Band Suppress Carrier: AMDSBSC) กับคลื่นพาหะที่มีค่าความถี่ที่เหมาะสมค่าหนึ่ง [5] ส่วนระบบซีแคมได้ใช้การมอดูเลตเชิงความถี่ (Frequency Modulation: FM)

สัญญาณความแตกต่างสี B-Y และ R-Y หลังจากการมอดูเลตเชิงแอมปลิจูดแบบแถบข้างคู่ขจัดคลื่นพาห์ทำให้สเปกตรัม (Spectrum) ถูกย้ายไปอยู่ที่ความถี่พาหะรองของสัญญาณสีเพื่อทำการมัลติเพล็กทางความถี่ (Frequency Division Multiplex: FDM) กับสัญญาณภาพเบ็ดเสร็จ [5] วัตถุประสงค์ก็คือ เพื่อทำให้สัญญาณสีที่เพิ่มเข้ามาใช้ย่านความถี่ช่องสัญญาณเดิมของระบบขาวดำ ในขณะที่สัญญาณพาหะรองของสัญญาณ B-Y และ R-Y มีเฟสต่างกัน 90° เพื่อทำการมัลติเพล็กทาง

เวลา (Time Division Multiplex: TDM) ของทั้งสองสัญญาณดังกล่าวและเรียกการมอดูเลตที่ใช้สัญญาณพาหะรองที่มีเฟสต่างกัน 90° นี้ว่า ควอดราเจอร์ (Quadrature Modulation) ซึ่งมีบล็อคไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 2.12

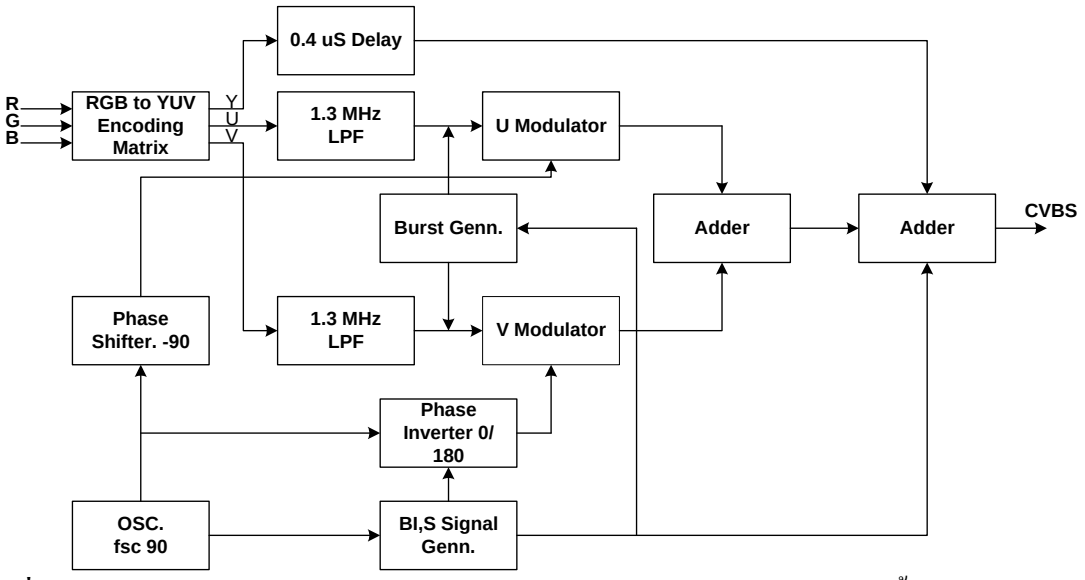


รูปที่ 2.12 แสดงควอดราเจอร์มอดูเลเตอร์

สำหรับระบบการสร้างสัญญาณสีที่ใช้งานจริงนั้นสัญญาณความแตกต่างสี B-Y, R-Y จะถูกลดทอนลงและเรียกสัญญาณที่ถูกลดทอนนี้ว่าสัญญาณ U และ V เพื่อแก้ปัญหาการมอดูเลตเกิน (Over Modulation) ของภาคมอดูเลตสัญญาณภาพ [5] กล่าวคือ เนื่องจากระบบพาลบีและจี ใช้การมอดูเลตสัญญาณภาพทางลบ (Negative) สัญญาณซิงโครไนเซชั่นเป็นช่วงสัญญาณที่ทำให้สัญญาณพาหะมีขนาดสูงสุดอยู่ที่ 100% และสัญญาณภาพที่มีความส่องสว่างมากจะทำให้สัญญาณพาหะมีขนาดลดลง ในกรณีที่ไม่มีการลดทอนสัญญาณความแตกต่างสี สัญญาณแท่งสี 100% ทำให้เกิดการมอดูเลตเกินเมื่อสัญญาณสีมีการอิ่มตัวสูงสุดเท่ากับ 78% แต่หลังจากการลดทอนสัญญาณความแตกต่างสีจะทำให้เกิดการมอดูเลตเกินเท่ากับ 33% ซึ่งหมายถึงว่าแม้มีการลดทอนสัญญาณความแตกต่างสีลงก็ยังคงมีการมอดูเลตเกินอยู่ถ้าสัญญาณสีมีการอิ่มตัวสูงสุด (Fully Saturated Colors) แต่ในทางปฏิบัติเกิดขึ้นน้อยมาก [5] ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการกำหนดและสร้างสัญญาณภาพแท่งสี 75% ขึ้นมาใช้ในการทดสอบเพื่อแก้ปัญหาการมอดูเลตเกินดังกล่าว นอกจากนี้เทคนิคการเข้ารหัสสีของระบบพาลยังสามารถแก้ความเพี้ยนทางเฟสของสัญญาณความแตกต่างสีที่เกิดจากระบบการส่ง ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อระบบที่ใช้ในการสร้างสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จ

2.3.2 ระบบที่ใช้ในการสร้างสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จ

ระบบที่ใช้ในการสร้างสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จได้มีการทำวิจัยและพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะบริษัทผู้ผลิตไอซี การพัฒนายังคงใช้โครงสร้างของระบบที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ส่วนที่แตกต่างกันจะเป็นเทคนิคการออกแบบระบบและวงจรเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้ได้สัญญาณที่ใกล้เคียงกับอุดมคติมากที่สุด รูปที่ 2.13 แสดงบล็อคไดอะแกรมของตัวเข้ารหัสสัญญาณภาพสีแดง ,เขียวและน้ำเงินเป็นสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จที่เป็นมาตรฐานของระบบพาล [5]



รูปที่ 2.13 แสดงบล็อคไดอะแกรมของตัวเข้ารหัสสัญญาณภาพสีแดง เขียวและน้ำเงินเป็นสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จ

2.3.2.1 ภาค RGB to YUV Encoding Matrix

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพสีแดง, เขียวและน้ำเงิน ให้อยู่ในรูปของสัญญาณความส่องสว่างซึ่งมีรูปแบบการแปลงตามสมการที่ (2.11) และสัญญาณความแตกต่างสี B-Yและ R-Y โดยที่สัญญาณ B-Yและ R-Y จะไม่ถูกนำมาใช้โดยตรงแต่มันจะถูกลดทอนขนาดลง ก่อนที่จะส่งให้วงจรภาค U และ V มอดูเลชั่น เพื่อป้องกันการมอดูเลตเกินที่ภาคมอดูเลตสัญญาณภาพ (Vision Modulator) [5] เรียกสัญญาณความแตกต่างสีที่ถูกลดทอนขนาดลงว่าสัญญาณ U และ V แสดงดังสมการที่ (2.17) – (2.18) สัญญาณแม่สีทั้งสามดังกล่าวอาจได้มาจากแหล่งกำเนิดชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น กล้องวิดีโอ (Video Camera) หรือ เครื่องเล่นดีวีดี-วีซีดี ฯลฯ เป็นต้น

$$U = 0.493 * (B - Y) \quad (2.17)$$

$$V = 0.877 * (R - Y) \quad (2.18)$$

2.3.2.2 ภาค U Low Pass Filter และ V Low Pass Filter

ทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านเพื่อจำกัดย่านความถี่ของสัญญาณความแตกต่างสี U, V ที่ได้จากภาค RGB to YUV Encoding Matrix ก่อนป้อนให้ภาค U, V Modulation เพื่อจำกัดไซด์แบนด์ (Sidebands) ของสัญญาณความแตกต่างสีหลังการมอดูเลต สำหรับระบบพาลบีและพาลจีตัวกรองมีคุณสมบัติคือ อัตราการลดทอนน้อยกว่า 2 dB.ที่ความถี่ 1.3 MHz. และที่ความถี่ 3.6 MHz. มีอัตราการลดทอนมากกว่า 20 dB.

2.3.2.3 ภาค Y Delay

จากบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 2.13 จะเห็นว่าสัญญาณถูกแบ่งการประมวลผลออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนแรกการประมวลผลสัญญาณภาพเบ็ดเสร็จซึ่งได้จากการรวมกันของสัญญาณความส่องสว่าง, สัญญาณแบล้งกิ้งและสัญญาณซิงโครไนเซชั่น ส่วนที่สองการประมวลผลสัญญาณสีซึ่งได้จากการรวมกันของสัญญาณเบิรสต์และสัญญาณความแตกต่างสีที่ผ่านการมอดูแลตแล้ว จากลำดับของการประมวลผลจะสังเกตเห็นได้ว่าการประมวลผลสัญญาณสีมีการประมวลที่มีขั้นตอนมากกว่าดังนั้นจะใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าส่วนของสัญญาณภาพเบ็ดเสร็จ สัญญาณความส่องสว่างจึงต้องมีการหน่วงเวลาประมาณ 0.4 uS. เพื่อชดเชยเวลาการประมวลที่ช้ากว่าของสัญญาณสี

2.3.2.4 ภาค U และ V Modulation

ทำหน้าที่มอดูเลตสัญญาณความแตกต่างสีกับสัญญาณพาหะรองที่มีความถี่เท่ากับ 4.43361875 MHz. สำหรับระบบพาล [7] ถือได้ว่าเป็นส่วนที่สำคัญมากส่วนหนึ่ง การทำงานมีรายละเอียดดังนี้

สัญญาณข่าวสาร (Message) ทั้งสองได้แก่สัญญาณ U และ V ถูกป้อนเข้าตัวมอดูเลตเชิงแอมปลิจูดแบบแถบข้างคู่ขจัดคลื่นพาห์สองตัวด้วยสัญญาณพาหะรองที่มีเฟสต่างกัน 90° ซึ่งตัวมอดูเลตสามารถสร้างได้จากตัวคูณแบบสี่ควอแดรนท์ (Four Quadrant Multiplier) เนื่องจากตัวมอดูเลเตอร์ทั้งสองตัวดังกล่าวมีการทำงานเหมือนกัน แตกต่างกันเฉพาะเฟสของคลื่นพาห์ดังนั้นจะอธิบายเฉพาะส่วนของสัญญาณ U

$$\phi_{DSB-SC}(t) = k.u(t).Cos(\omega_{sc}t + \theta_c) \quad (2.19)$$

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์สัญญาณ เราสามารถที่จะสมมุติให้ k = 1 และ $\theta_c = 0$ ได้ โดยไม่เสียความหมายของการวิเคราะห์สัญญาณโดยทั่วไปแต่อย่างใด เพียงแต่จะได้รูปของสมการที่กระชับขึ้นเป็น

$$\phi_{DSB-SC}(t) = u(t).Cos(\omega_{sc}t) \tag{2.20}$$

เพื่อที่จะทำความเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในโดเมนความถี่ จะสมมุติให้ $U(\omega)$ คือฟังก์ชั่นสเปกตรัมของ u(t) กล่าวคือ

$$u(t) \leftrightarrow U(\omega) \tag{2.21}$$

โดยอาศัยคุณสมบัติของการแปลงฟูริเยร์ (Fourier) จะได้

$$u(t).Cos(\omega_{sc}t) \leftrightarrow \frac{1}{2}[U(\omega+\omega_{sc}) + U(\omega-\omega_{sc})] \tag{2.22}$$

นั่นคือ สัญญาณในโดเมนความถี่จะมีค่าเป็น

$$\phi_{DSB-SC}(\omega) = \frac{1}{2}[U(\omega+\omega_{sc}) + U(\omega-\omega_{sc})] \tag{2.23}$$

ทางฝั่งเครื่องรับสามารถดีมอดูเลตได้ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} V_d(t) &= \phi_{DSB-SC}(t)Cos(\omega_{sc}t) \\ &= \{u(t)Cos(\omega_{sc}t)\}Cos(\omega_{sc}t) \\ &= u(t)Cos^2(\omega_{sc}t) \\ &= \frac{1}{2}u(t) + \frac{1}{2}u(t)Cos(2\omega_{sc})t \end{aligned} \tag{2.24}$$

และโดยคุณสมบัติของการแปลงฟูริเยร์จะได้

$$\phi_{DSB-SC}(t)Cos(\omega_{sc}t) \leftrightarrow \frac{1}{2}U(\omega) + \frac{1}{4}[U(\omega + 2\omega_{sc}) + U(\omega - 2\omega_{sc})] \quad (2.25)$$

เมื่อนำสัญญาณไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านทำให้สัญญาณความถี่สูงถูกตัดออกจะทำให้ได้สัญญาณขาออกของการดีมอดูเลตคือ

$$V_o(t) = \frac{1}{2}u(t) \quad (2.26)$$

จากสมการที่ (2.24) ทางฝั่งเครื่องรับการดีมอดูเลตสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตเชิงแอมปลิจูดแบบแถบข้างคู่ขจัดคลื่นพาห์จำเป็นต้องใช้สัญญาณคลื่นพาห์ที่มีความถี่และเฟสที่ตรงกับทางฝั่งเครื่องส่งจึงจะได้สัญญาณที่มีความถูกต้อง ด้วยเหตุนี้เองการดีมอดูเลตวิธีนี้จึงถูกเรียกว่า การดีมอดูเลตหรือการดีเทกต์แบบสัมพัทธ์ (Synchronous Detection) หรือ การดีเทกต์แบบร่วมนัย (Coherent Detection) [8] แต่ด้วยสาเหตุที่ใช้การมอดูเลตแบบนี้สัญญาณพาหะจะถูกขจัด ทำให้ต้องส่งสัญญาณพาหะรองของสัญญาณสีซึ่งถูกเรียกว่าสัญญาณ “เบิรสต์” (Burst) บวกไปเป็นช่วงๆกับสัญญาณความแตกต่างสีที่ถูกมอดูเลต ทำให้ได้รูปแบบของสัญญาณตามสมการที่ (2.27)

$$\phi_{DSB-SC}(t) = u(t).Sin(\omega_{sc}t) \pm v(t).Cos(\omega_{sc}t) + Burst \quad (2.27)$$

แต่ถ้าสัญญาณคลื่นพาห์มีความถี่หรือเฟสผิดเพี้ยนไปจากทางฝั่งเครื่องส่งจะทำให้ได้สัญญาณดีมอดูเลต Vd(t) ทางฝั่งเครื่องรับที่มีความเพี้ยนดังนี้

$$\begin{aligned} V_d(t) &= \phi_{DSB-SC}(t)Cos\{(\omega_{sc} + \Delta\omega)t + \delta\} \\ &= u(t)Cos(\omega_{sc}t)Cos\{(\omega_{sc} + \Delta\omega)t + \delta\} \\ &= \frac{1}{2}u(t)Cos(\Delta\omega t + \delta) + \frac{1}{2}u(t)Cos\{(2\omega_{sc} + \Delta\omega)t + \delta\} \end{aligned} \quad (2.28)$$

เมื่อ

$v(d)$ คือสัญญาณขาออกจากตัวดีมอดูเลต (ก่อนวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน)

$\phi_{DSB-SC}(t)$ คือสัญญาณความแตกต่างสี (U) ที่รับได้ทางฝั่งเครื่องรับ (ผ่านการมอดูเลตแบบ AM-DSBSC)

$Cos\{(\omega_{sc} + \Delta\omega)t + \delta\}$ คือสัญญาณคลื่นพาห์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นทางฝั่งเครื่องรับซึ่งมีความถี่และเฟสผิดเพี้ยนไปจากทางฝั่งเครื่องส่ง ($\Delta\omega$ และ δ)

สัญญาณ Vd(t) จะถูกป้อนเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านทำให้สัญญาณความถี่สูงถูกตัดออก ซึ่งก็คือพจน์หลังของ (2.28) เพราะฉะนั้นสัญญาณขาออกของวงจรดีมอดูเลเตอร์ Vo(t) จะได้

$$V_o(t) = \frac{1}{2}u(t)Cos(\Delta\omega t + \delta) \qquad (2.29)$$

ถ้าเครื่องรับผลิตคลื่นพาห์โดยไม่มีความคลาดเคลื่อน กล่าวคือ $\Delta\omega$ และ δ เท่ากับศูนย์ จะทำให้ได้สัญญาณขาออกที่ถูกต้องคือ Vo(t) = ½ u(t) แต่ถ้าเครื่องรับผลิตคลื่นพาห์ที่มีความถี่ถูกต้อง ($\Delta\omega = 0$) แต่มีความคลาดเคลื่อนทางเฟส ($\delta \neq 0$) จะได้สัญญาณขาออกที่มีความคลาดเคลื่อนดังนี้

$$V_o(t) = \frac{1}{2}u(t)Cos(\delta) \qquad (2.30)$$

เนื่องจาก $|Cos(\delta)| \leq 1$ ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นก็คือสัญญาณขาออกจะมีระดับลดลงและถ้า $\delta = \pm\pi/2$ ระดับของสัญญาณขาออกก็จะเป็นศูนย์ เนื่องจาก $Cos(\pm\pi/2) = 0$

ถ้าสมมุติว่าเครื่องรับผลิตคลื่นพาห์ที่มีเฟสเริ่มต้นถูกต้อง ($\delta = 0$) แต่มีความถี่คลาดเคลื่อน ($\Delta\omega \neq 0$) จะทำให้ได้สัญญาณขาออกที่มีความคลาดเคลื่อนดังนี้

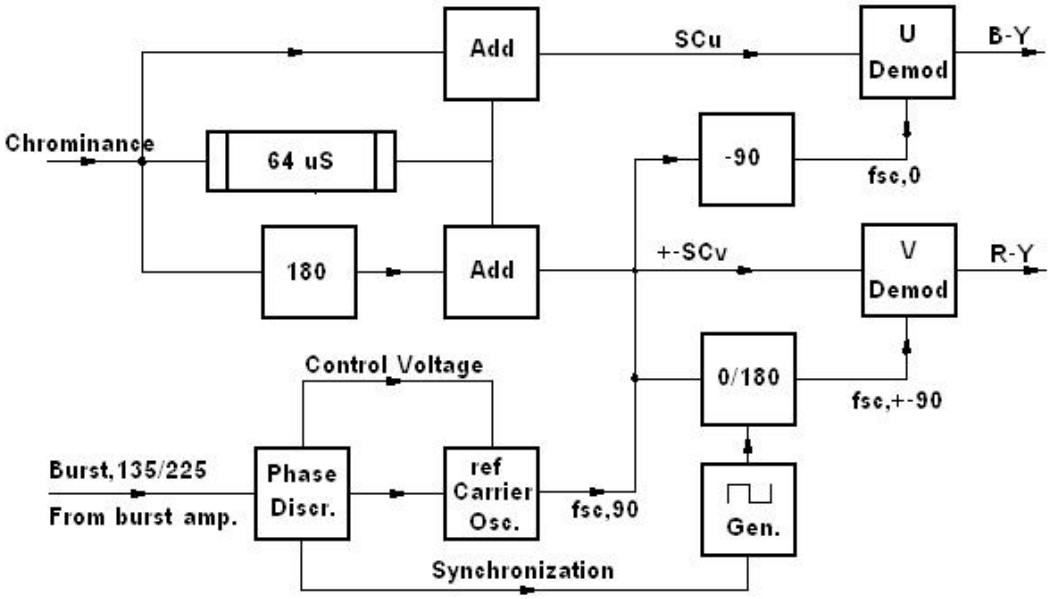
$$V_0(t) = \frac{1}{2}u(t)Cos(\Delta\omega t) \qquad (2.31)$$

สมการที่ (2.31) แสดงให้เห็นว่าสัญญาณขาออกมีลักษณะผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริงคือสัญญาณจะถูกบังคับขนาดหรือถูกคูณด้วยคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่ต่ำ $\Delta\omega$ ผลที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า มีการบีท (Beating) จากความถี่ต่ำ

การส่งสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จผ่านระบบส่งที่ประกอบด้วยวงจรขยายทรานซีสเตอร์จะทำให้เกิดความเพี้ยนสองประการคือ ความเพี้ยนทางขนาดและความเพี้ยนทางเฟส กล่าวคือ ประการแรกความเพี้ยนทางขนาดเกิดจากการทำงานที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) ของทรานซีสเตอร์และสามารถแก้ความเพี้ยนชนิดนี้ได้ด้วยการป้อนกลับทางลบ (Negative Feedback) ประการที่สองความเพี้ยนทางเฟสเกิดจากค่าความจุของตัวเก็บประจุ (Capacitor) ภายในทรานซีสเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงตามค่ากระแสอิมิต

เตอร์อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณความส่องสว่าง ความเพี้ยนทางเฟสทำให้เกิดปัญหากับสัญญาณสีที่ทับซ้อน (Superimpose) อยู่บนสัญญาณความส่องสว่าง เนื่องจากสัญญาณสีใช้การมอดูเลตแบบสัมพัทธ์ ผลก็คือสัญญาณความแตกต่างสีที่ได้จากการดีมอดูเลตมีขนาดผิดจากความเป็นจริง ทำให้การสร้างสีกลับผิดไปจากความเป็นจริงเช่นเดียวกัน เช่น จากสีม่วงกลายเป็นสีม่วงแดง เป็นต้น

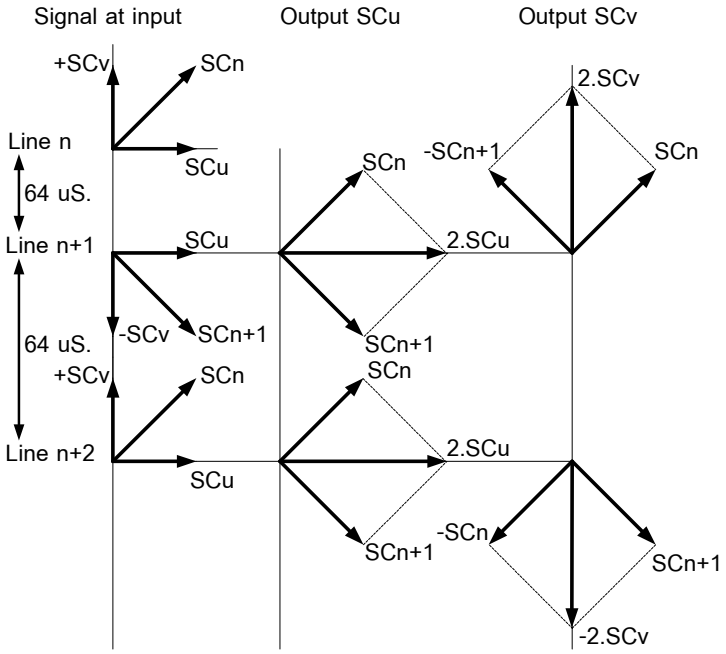
วิธีการลดความเพี้ยนทางเฟสโดยทั่วไปก็คือการลดขนาดของสัญญาณให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่วิธีการนี้ไม่สามารถนำมาใช้กับระบบการส่งสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จได้ สำหรับระบบพาลได้ใช้วิธีการแก้ปัญหาความเพี้ยนทางเฟสโดยการกลับเฟสของสัญญาณ V เส้นเว้นเส้นสังเกตได้จากพจน์ $\pm v(t).Cos(\omega_{sc}t)$ ของสมการ (2.27) ซึ่งเป็นที่มาของชื่อระบบการเข้ารหัสแบบพาล (Phase Alternation Line: PAL) นั่นเอง การกลับเฟสของสัญญาณ V ดังกล่าวสามารถแก้ความเพี้ยนทางเฟสได้ดังนี้



รูปที่ 2.14 แสดงบล็อกไดอแกรมของตัวดีมอดูเลตสัญญาณความแตกต่างสีของระบบพาล

จากรูปที่ 2.14 การดีมอดูเลตสัญญาณของเครื่องรับจะใช้ข้อมูลสัญญาณสีเส้นก่อนหน้าซึ่งได้จากตัวหน่วงเวลา 1 เส้นกวาดที่เรียกว่า ดีเลย์ไลน์ (Delay Line) มาทำการบวกกับสัญญาณสีของเส้นกวาดปัจจุบันเพื่อแยกสัญญาณ SCu และ SCv ออกจากกัน (จากรูป SCu และ SCv คือสัญญาณ $u(t).Sin(\omega_{sc}t)$ และ $\pm v(t).Cos(\omega_{sc}t)$) สำหรับสัญญาณ SCu ใช้การบวกโดยตรงส่วนสัญญาณ SCv

มีการกลับเฟสก่อนการบวกหรืออาจมองได้ว่าเป็นการลบนั่นเอง หลังจากที่ได้สัญญาณ SCu และ SCv ทั้งสองสัญญาณจะถูกแยกไปดีมอดูเลตเพื่อนำสัญญาณแบนด์มูลฐาน (Base Band) ของสัญญาณ B-Y และ R-Y ไปใช้ในภาคต่อไป

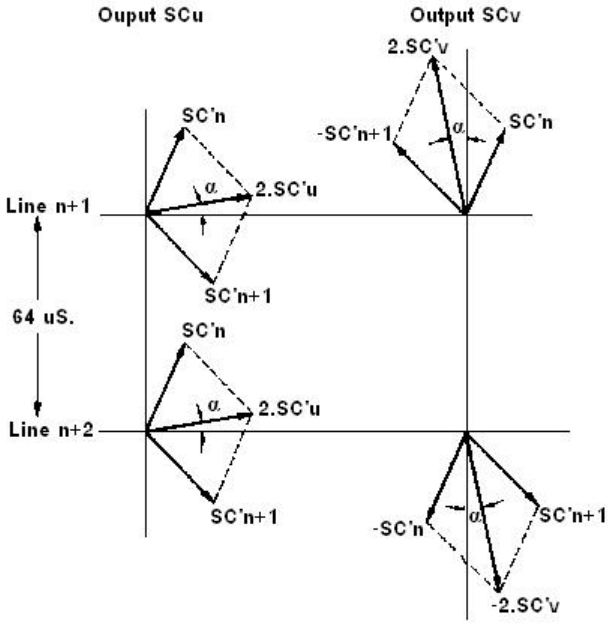


รูปที่ 2.15 แสดงเวคเตอร์ของสัญญาณในกรณีที่สัญญาณไม่มีความเพี้ยนทางเฟส

รูปที่ 2.15 แสดงในกรณีที่สัญญาณไม่มีความเพี้ยนทางเฟส จะเห็นว่าเส้นที่ n สัญญาณ SCv เป็นเฟสบวกและเส้นที่ n+1 เป็นเฟสลบซึ่งเป็นผลมาจากการกลับเฟสของสัญญาณพาหะรอง สัญญาณสีของทั้งสองเส้น (SCn เป็นสัญญาณที่ได้จากดีเลย์ไลน์และ SCn+1 เป็นสัญญาณเส้นต่อมา) จะถูกนำมาบวกกันเพื่อแยกสัญญาณ SCu จากผลการบวกจะทำให้ได้สัญญาณ SCu ที่มีขนาดเป็นสองเท่า ส่วนการแยกสัญญาณ SCv ใช้การลบ ผลจากการลบจะทำให้ได้สัญญาณ SCv ที่มีขนาดเป็นสองเท่าและกลับเฟสสลับเส้นเว้นเส้นตามการกลับเฟสของสัญญาณพาหะรอง ดังนั้นตัวดีมอดูเลตจะใช้สัญญาณไอเดนต์ซึ่งสร้างจากการดีเทกต์เฟสของสัญญาณเบิรสต์และมีความถี่เท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่การกวาดเส้นภาพทางแนวนอนในการควบคุมการกลับเฟสสัญญาณ SCv เพื่อให้ได้เฟสที่ถูกต้อง จากบล็อคไดอะแกรมดังรูปที่ 2.14 ใช้การกลับเฟสสัญญาณพาหะรองโดยภาค 0/180° ในการกลับเฟสสัญญาณ SCv ดังกล่าว

ในกรณีที่สัญญาณมีความเพี้ยนทางเฟสแสดงดังรูปที่ 2.16 โดยสมมติให้สัญญาณมีเฟสคลาดเคลื่อนเท่ากับ α องศาซึ่งเกิดจากระบบของการส่ง ความคลาดเคลื่อนของเฟสนี้จะไม่มีผลกับ

ขนาดของสัญญาณเนื่องจากความเพี้ยนทางขนาดสามารถแก้ไขได้ด้วยการป้อนกับทางลบ (Negative Feedback: NFB) และการปรับอัตราการขยายอัตโนมัติ (Automatic Gain Control: AGC) หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าขนาดที่เป็นผลรวมทางเวคเตอร์ของสัญญาณ SCu และ SCv มีค่าถูกต้องแต่ขนาดของสัญญาณ U และ V หลังการดีมอดูเลตจะมีขนาดที่ผิดไปจากค่าจริงซึ่งคำนวณได้จาก $U = [SCu]Cos\alpha$ และ $V = [SCv]Cos\alpha$ ในกรณีที่ไม่มีความเพี้ยนทางเฟสมุม α จะเท่ากับศูนย์ อย่างไรก็ตามอัตราการลดทอนจากผลของความเพี้ยนทางเฟสนี้จะไม่มีผลกับสีสัน (Hue) เนื่องจากสัญญาณ U และ V ถูกลดทอนด้วยค่าเดียวกันหรืออัตราส่วนของสัญญาณ U/V มีค่าเท่าเดิมแต่จะมีผลกับค่าความอิ่มตัวของสี (Saturation) นั่นคือความเข้มของสีจะลดลงแต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าของมุม α



รูปที่ 2.16 แสดงเวคเตอร์ของสัญญาณในกรณีที่สัญญาณมีความเพี้ยนทางเฟส

2.3.2.5 ภาค Sub Carrier Generator

ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพาหะรองความถี่ 4.43361875 MHz. สำหรับการเข้ารหัสในระบบพาลบีและจี เพื่อใช้ในการมอดูเลตกับสัญญาณความแตกต่างสี โดยทำงานร่วมกับวงจรกลับเฟสสัญญาณ 180° เพื่อป้อนให้วงจรมอดูเลตสัญญาณ V เพื่อกลับเฟสสัญญาณหลังการมอดูเลต ความถี่ในการกลับเฟสมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่การกวาดเส้นภาพทางแนวนอน สำหรับสัญญาณ U ความถี่พาหะไม่มีการกลับเฟส

2.3.2.6 ภาค Burst Generator

ทำหน้าที่สร้างสัญญาณอ้างอิงที่มีความถี่เท่ากับสัญญาณพาหะรองของสัญญาณสีและถูกเรียกว่า “สัญญาณเบิรสต์” สัญญาณเบิรสต์จะมีเฟสต่างกับสัญญาณพาหะของสัญญาณ U 180°± 45° กล่าวคือ มันจะมีเฟสนำหน้าสัญญาณพาหะของสัญญาณ U 135° สำหรับเส้นกวาดที่ไม่มีกลับเฟสสัญญาณ V และมันจะมีเฟสนำหน้าสัญญาณพาหะของสัญญาณ U 225° สำหรับเส้นกวาดที่มีการกลับเฟสสัญญาณ V ดังนั้นมันจึงมีเฟสต่างกัน 90° หรือ ±45° ดังกล่าว วัตถุประสงค์ของการสร้างมี 2 อย่าง คือ ประการแรกใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงในการสร้างกลับสัญญาณพาหะรองของสัญญาณสีโดยทางภาครับจะใช้เฉลี่ยสัญญาณเบิรสต์ในการสร้างกลับสัญญาณพาหะรอง ประการที่สองทางภาครับจะใช้ในการผลิตสัญญาณไอเดนต์ (Identification) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมพาลสวิทช์ (PAL Switch) ทำหน้าที่กลับเฟสสัญญาณ V ให้สอดคล้องกับทางฝั่งเครื่องส่ง เพื่อให้ได้สัญญาณ V ที่มีเฟสถูกต้อง

2.3.2.7 ภาค Blanking & Sync Generator

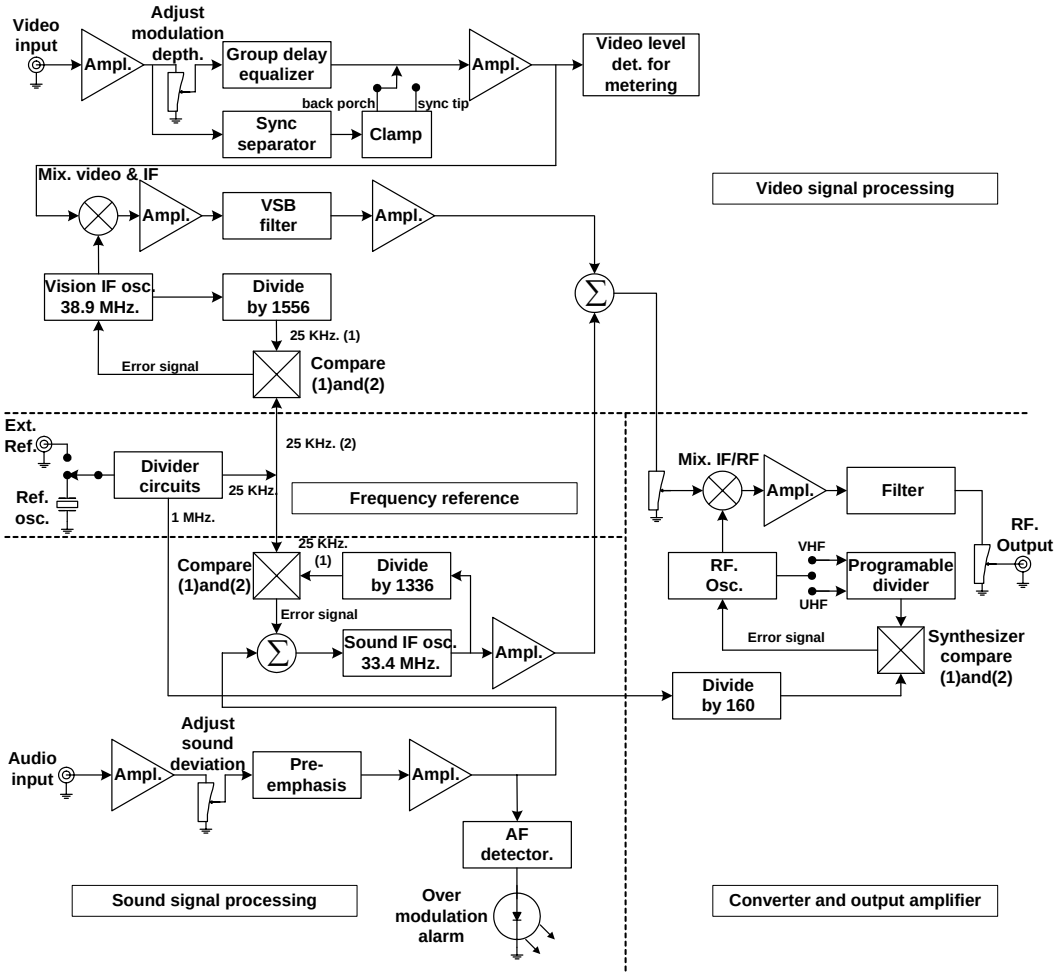
ทำหน้าที่สร้างสัญญาณแบล้งกิ้งและสัญญาณซิงโครไนเซชั่น สำหรับการกวาดเส้นภาพทั้งทางแนวตั้งและแนวนอน

2.4 การส่งสัญญาณวิทยุของสัญญาณภาพและเสียง

ตัวเข้ารหัสสัญญาณภาพสีแดง, เขียวและน้ำเงินเป็นสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จที่นำเสนอสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะกับระบบที่เป็นระบบเชิงเลข แต่เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยชิ้นนี้มุ่งเน้นกับการประยุกต์ใช้งานกับระบบโทรทัศน์ไม่ว่าจะเป็นระบบส่ง (Transmitter) หรือเครื่องรับ (Receiver) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นระบบที่เป็นจุดกำเนิดของสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จ ดังนั้นหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงการส่งสัญญาณภาพและเสียงของระบบโทรทัศน์ที่ใช้ตัวเข้ารหัสฯเป็นส่วนการทำงานที่สำคัญส่วนหนึ่งของระบบ ตัวอย่างที่จะนำเสนอเป็นตัวมอดูเลเตอร์ของบริษัทฟิลิปส์รุ่น PM 5671 [9] ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดทดสอบที่ใช้เป็นมาตรฐานในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องรับโทรทัศน์ หน้าที่ของมอดูเลเตอร์คือ ทำการมอดูเลตสัญญาณภาพและเสียงด้วยสัญญาณพาหะที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของช่องสัญญาณมาตรฐานของระบบนั้นๆ สำหรับระบบที่กำลังนำเสนอเป็นระบบพาล บล็อคไดอะแกรมของมอดูเลเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.17

จากรูปสามารถแบ่งระบบออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆได้แก่ ส่วนของการประมวลผลสัญญาณภาพ, ส่วนของการประมวลผลสัญญาณเสียงและส่วนคอนเวอเตอร์และวงจรภาคเอาท์พุท ทุกส่วนการทำงานที่เกี่ยวกับการควบคุมหรือสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesis) จะใช้สัญญาณอ้างอิงซึ่ง

สร้างจากวงจรผลิตความถี่ที่มีการชดเชยอุณหภูมิ (Temperature-Compensated Crystal Oscillator: TCXO) เพื่อทำให้สัญญาณมีความถี่ที่เที่ยงตรงและเสถียร ความถี่อ้างอิงที่ใช้มี 2 ค่าคือ 1 MHz. และ 25 KHz. หน้าที่การทำงานของแต่ละส่วนโดยสังเขปมีดังนี้



รูปที่ 2.17 แสดงบล็อคไดอะแกรมมอดูเลเตอร์ของบริษัทฟิลิปส์รุ่น PM 5671

2.4.1 ส่วนการประมวลผลสัญญาณภาพ (Video Signal Processing)

สัญญาณภาพที่เป็นสัญญาณสีแดง เขียวและน้ำเงินถูกป้อนเข้าตัวเข้ารหัสสัญญาณภาพสีแดง เขียวและน้ำเงินเป็นสัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จ สัญญาณภาพสีเบ็ดเสร็จที่ได้จะถูกป้อนเข้ามอดูเลเตอร์ที่จุด Video Input ผ่านวงจรขยายที่มีอัตราการขยายสูงพอที่จะสามารถปรับความลึกการมอดูเลตของสัญญาณภาพ (Rest Carrier) สัญญาณภาพที่ผ่านการขยายจะถูกป้อนให้วงจรภาคชดเชยการล้าหลังของกลุ่ม (Group Delay) ตามความต้องการของแต่ละระบบซึ่งมีความแตกต่างกัน เช่น ระบบพาลบีและจีจะใช้

การชดเชยแตกต่างกับระบบพาลเอ็ม หลังจากผ่านการชดเชยการล้าหลังของกลุ่มสัญญาณจะถูกแคล้มป์ (Clamp) ค่าระดับแรงดันที่จุดหรือระดับใดระดับหนึ่งของสัญญาณเช่น ระดับแบล้งกิ้งหรือระดับของสัญญาณซิงค์โครไนเซชั่น วงจรที่ทำหน้านี้เรียกว่าวงจร “DC Restorer” จากนั้นสัญญาณจะถูกขยายอีกครั้งหนึ่งและป้อนให้ภาคมอดูเลตสัญญาณภาพ เพื่อทำการมอดูเลตเชิงแอมปลิจูดสัญญาณภาพกับสัญญาณพาหะความถี่ 38.9 MHz. ซึ่งเป็นความถี่กลางของสัญญาณภาพ (Vision Intermediate Frequency: Vision IF) สัญญาณพาหะดังกล่าวถูกสร้างจากวงจร Voltage Controlled Crystal Oscillator (VCXO) การควบคุมความถี่ใช้ระบบ Phase Locked Loop (PLL) ที่ใช้ความถี่อ้างอิงเท่ากับ 25 KHz. ในการเปรียบเทียบกับสัญญาณขาออกซึ่งถูกหารด้วย 1556 (38.9 MHz./1556 = 25 KHz.) ทำให้ได้สัญญาณที่มีความถี่และเฟสเที่ยงตรง ขั้นตอนสุดท้ายของการประมวลผล สัญญาณภาพที่ผ่านการมอดูเลตจะถูกป้อนให้ตัวกรองที่เรียกว่า ตัวกรองเวสติเจียนไซด์แบนด์ (Vestigial Side Band Filter: VSB Filter) เพื่อจำกัดช่วงความถี่ของไซด์แบนด์ที่เกิดจากการมอดูเลต [8],[5] ก่อนนำบวกกับสัญญาณความถี่กลางของสัญญาณเสียงที่ถูกมอดูเลตเชิงความถี่เพื่อส่งให้ภาค Converter & Output Amplifier ทำการประมวลผลต่อไป

2.4.2 ส่วนการประมวลผลสัญญาณเสียง (Sound Signal Processing)

สัญญาณเสียงจะถูกป้อนเข้าสู่วงจรขยายเพื่อทำให้สัญญาณแรงพอที่จะสามารถปรับระดับการเบี่ยงเบน (Frequency Deviation) ของสัญญาณหลังการมอดูเลตเชิงความถี่ จากนั้นสัญญาณจะถูกยกระดับที่ความถี่สูงโดยวงจร Pre-emphasis และป้อนให้วงจรมอดูเลเตอร์ทำการมอดูเลตเชิงความถี่สัญญาณเสียงกับสัญญาณพาหะซึ่งเป็นความถี่กลาง (Sound Intermediate Frequency: Sound IF) โดยที่แต่ละระบบใช้ค่าความถี่แตกต่างกัน เช่น ระบบพาลบีและจีใช้ความถี่ 33.4 MHz. ระบบพาลดีและเคใช้ความถี่ 32.4 MHz. ระบบพาลไอใช้ความถี่ 32.9 MHz. และ 34.4 MHz. สำหรับระบบพาลเอ็ม [9] เป็นต้น ตัวมอดูเลตเชิงความถี่สร้างจากระบบเฟสล็อคลูป (Phase Locked Loop: PLL) การทำงานของวงจรขณะไม่มีสัญญาณเสียงคือวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) จะให้ค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อน (Error Signal) มีค่าเป็นศูนย์ทำให้วงจรผลิตความถี่ผลิตความถี่เท่ากับความถี่กลางของสัญญาณเสียง แต่ถ้ามีสัญญาณเสียงป้อนเข้ามามันจะถูกบวกเข้ากับสัญญาณความคลาดเคลื่อนส่งผลให้วงจรผลิตความถี่ผลิตความถี่เบี่ยงเบนไปจากค่ากลางทำให้เกิดการมอดูเลตเชิงความถี่และนำสัญญาณที่ได้ไปบวกกับสัญญาณภาพที่ผ่านการมอดูเลตเชิงแอมปลิจูดที่ได้จากวงจรส่วนของการประมวลผลภาพเพื่อทำการประมวลผลในภาคต่อไป

2.4.3 ส่วนคอนเวอเตอร์และวงจรภาคเอาท์พุท (Converter and Output Circuits)

เอาท์พุทจากวงจรบวกซึ่งประกอบด้วยภาพสีเบ็ดเสร็จที่ทับ (Superimpose) อยู่บนสัญญาณความถี่ไอเอฟของสัญญาณภาพและสัญญาณความถี่กลางของสัญญาณเสียงที่ถูกมอดูเลตเชิงความถี่ สัญญาณดังกล่าวจะถูกป้อนเข้าสู่วงจร ไอเอฟ/อาร์เอฟ มิกเซอร์ (IF/RF Mixer) เพื่อทำการผสม (Mix) กับสัญญาณอาร์เอฟจากวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ (Local Oscillator: LO) โดยสามารถตั้งค่าความถี่ได้ทั้งย่านวีเอชเอฟ (Very High Frequency: VHF) และยูเอชเอฟ (Ultra High Frequency: UHF) จากการเลือกตัวหาร (Divider) ที่ถูกโปรแกรมมาจากโรงงานผู้ผลิต การควบคุมความถี่ใช้ระบบเฟสล็อคลูป (Phase Locked Loop: PLL) ที่มีความถี่อ้างอิงเท่ากับ 1 MHz. วงจรภาคสุดท้ายของส่วนนี้ก็คือวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter: BPF) ซึ่งทำหน้าที่กรองความถี่ของสัญญาณขาออก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.32)

$$F_{out} = F_{osc} - 38.9 \quad \text{MHz.} \tag{2.32}$$

2.5 การวัดทดสอบคุณสมบัติของระบบโทรทัศน์

เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามอุดมคติทั้งอุปกรณ์ที่ทำงานเป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น หลังจากนำอุปกรณ์เหล่านี้มาสร้างเป็นระบบจะทำให้ได้สัญญาณที่ไม่เป็นไปตามอุดมคติเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องมีการวัดคุณสมบัติของระบบว่าให้ค่าของความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยทั่วไปในทางปฏิบัติใช้การป้อนสัญญาณทดสอบ (Test Signal) ที่ทราบคุณสมบัติผ่านเข้าไปในระบบที่ต้องการวัดจากนั้นใช้เครื่องมือวัดในการวัดสัญญาณขาออกและใช้การวิเคราะห์สัญญาณที่ได้เพื่อหาคุณสมบัติ สำหรับระบบโทรทัศน์ก็ใช้หลักดังกล่าวเช่นเดียวกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่ามี 2 ส่วนสำคัญที่ใช้ในการวัดหาคุณสมบัติของระบบโทรทัศน์ได้แก่

- สัญญาณทดสอบ (Test Signal) ได้แก่ สัญญาณที่ได้จากเครื่องสร้างสัญญาณภาพทดสอบ (Video Test Pattern Generator) ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบระบบโทรทัศน์ เช่น เครื่องสร้างสัญญาณภาพทดสอบของบริษัท ROHDE & SCHWARZ
- เครื่องมือวัดทดสอบ ได้แก่ ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ชนิดพิเศษที่รู้จักกันในชื่อของ เวฟฟอร์มมอนิเตอร์ (Waveform Monitor) และเว็คเตอร์สโคป (Vector Scope) เช่น เครื่องมือวิเคราะห์สัญญาณภาพของบริษัท Tektronix รุ่น VM700A

การวัดคุณสมบัติของระบบโทรทัศน์สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทดังนี้ [10]

- Amplitude and Timing Measurements
- Linear Distortions
- Non-linear Distortions
- Noise Measurements
- Transmitter Measurements

รายละเอียดสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก [10]