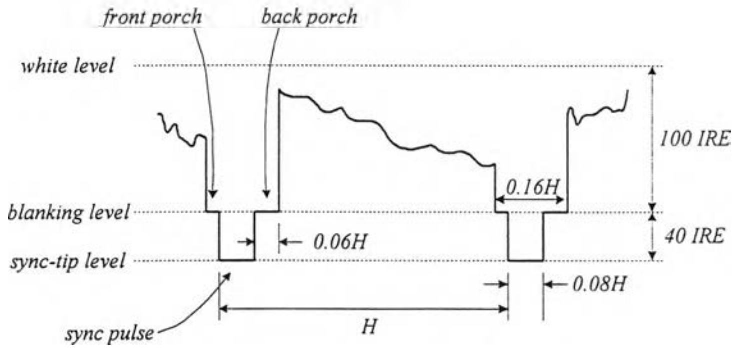
บทที่ 2

สัญญาณภาพโทรทัศน์และวงจรแคลมป์

2.1. สัญญาณภาพโทรทัศน์แบบรวมและระบบที่เกี่ยวข้อง

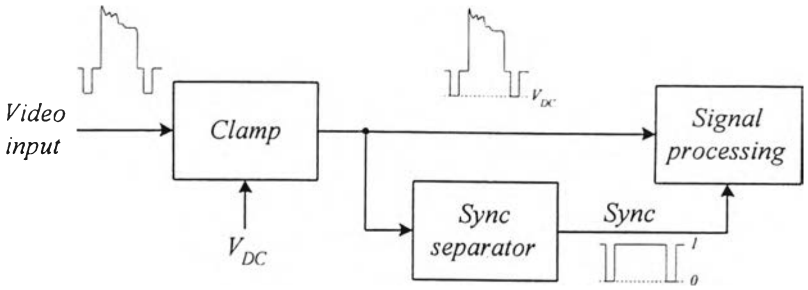
ในระบบการแพร่ภาพโทรทัศน์ สัญญาณภาพที่ใช้กันมีลักษณะเป็นสัญญาณภาพโทรทัศน์แบบรวม คือมีองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ สัญญาณเส้นภาพ สัญญาณซิงก์ สัญญาณสี รวมอยู่ด้วยกันเป็นรูปคลื่นสัญญาณเดียวกัน อุปกรณ์ปลายทางอันได้แก่เครื่องรับโทรทัศน์จะตรวจรับสัญญาณภาพจากคลื่นพาห์ และแยกองค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ออกมาใช้งาน นอกจากนี้สัญญาณภาพแบบรวมยังนิยมใช้ในการส่งข้อมูลภาพระหว่างอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เช่น เครื่องเล่นวิดีโอเทป เครื่องถอดรหัสเทเลเท็กซต์ กล้องบันทึกวิดีโอ เป็นต้น

สัญญาณภาพโทรทัศน์แบบรวมมีลักษณะดังรูปที่ 1. แสดงรูปร่างและขนาดของสัญญาณตามมาตรฐาน ซีซีไออาร์ (CCIR) โดยในระบบ PAL ค่าของช่วงคาบของเส้นภาพ H มีค่าเท่ากับ 64 ไมโครวินาที และมีค่า 63.5566 ไมโครวินาทีสำหรับระบบ NTSC และมีขนาดของสัญญาณที่ใช้งานทั่วไปขนาด 1 โวลต์จากยอดถึงยอด



รูปที่ 1. สัญญาณภาพโทรทัศน์แบบรวม

สัญญาณซิงก์ที่มากับสัญญาณภาพรวมใช้สำหรับอ้างอิง หรือควบคุมการทำงานระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณให้สัมพันธ์กันทางเวลาไม่ผิดเพี้ยน ระบบที่ทำงานกับสัญญาณภาพโทรทัศน์แบบรวมจึงจำเป็นต้องมีวงจรแยกสัญญาณซิงก์ออกมาใช้ควบคุมการทำงานทั้งหมดดังรูปที่ 2.

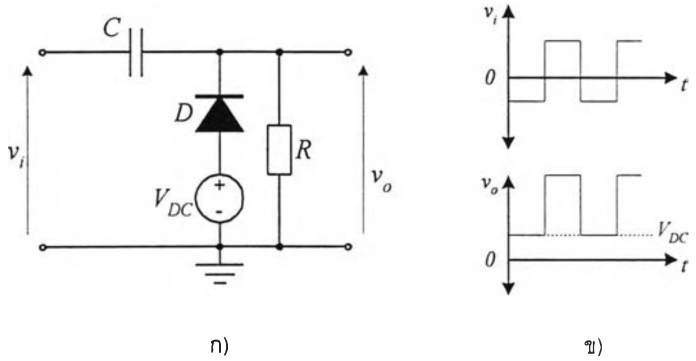


รูปที่ 2. การแยกสัญญาณซิงก์มาใช้ควบคุมการทำงาน

รูปที่ 2. แสดงระบบประมวลผลสัญญาณโทรทัศน์โดยทั่วไป สัญญาณภาพโทรทัศน์แบบรวมอาจมาจากวงจรจูน (tuner circuit) หรือแหล่งสัญญาณอื่น ๆ เช่นเครื่องเล่นวิดีทัศน์ เครื่องกำเนิดสัญญาณ หรือกล้องบันทึกภาพวิดีโอ สัญญาณภาพแบบรวมจะผ่านเข้าสู่วงจรแคลมป์เพื่อให้มีระดับอ้างอิงสัญญาณไฟตรงที่เหมาะสม จากนั้นจะนำไปแยกสัญญาณซิงก์ซึ่งอาจสามารถทำได้ง่ายโดยใช้วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันหรือวงจรขลิบสัญญาณ และนำสัญญาณซิงก์ไปใช้กำหนดจังหวะของการทำงานกับสัญญาณภาพ

2.2. วงจรแคลมป์

วงจรแคลมป์เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ปรับระดับไฟตรงของสัญญาณให้มีค่าเหมาะสมตามต้องการโดยรูปคลื่นของสัญญาณไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับสัญญาณภาพโทรทัศน์แบบรวมที่ได้จากแหล่งสัญญาณต่าง ๆ อาจมีค่าระดับไฟตรงของสัญญาณได้ต่าง ๆ กัน ดังนั้นก่อนที่สัญญาณจะถูกนำไปใช้งานหรือนำไปแยกสัญญาณซิงก์ จะต้องถูกปรับให้มีระดับไฟตรงที่เหมาะสมสำหรับการอ้างอิงเสียก่อน



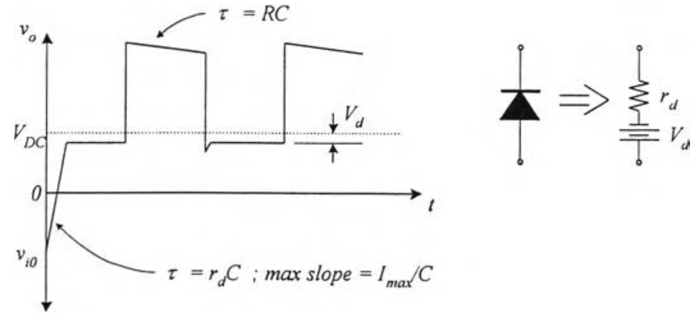
ก) ข)

รูปที่ 3. วงจรแคลมป์ [7]

รูปที่ 3. ก) แสดงวงจรแคลมป์อย่างง่ายที่สามารถปรับให้สัญญาณเข้ามีระดับไฟตรง V_{DC} ตามที่กำหนดได้ และรูปที่ 3. ข) แสดงตัวอย่างรูปคลื่นสัญญาณก่อนและหลังแคลมป์ การทำงานของวงจรอธิบายได้อย่างง่าย ๆ คือ ในช่วงเวลาที่สัญญาณ v_i มีค่าต่ำกว่า V_{DC} ไดโอดจะนำกระแส

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

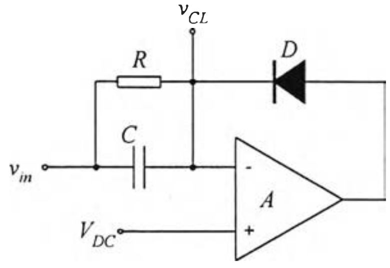
และอัดประจุเข้าสู่ตัวเก็บประจุ C ซึ่งจะสะสมแรงดันจนมีค่าเท่ากับ V_{DC} ดังนั้น v_o จะถูกเลื่อนให้มีระดับไฟตรงเท่ากับ V_{DC} ตัวต้านทาน R มีไว้เพื่อให้ C สามารถคายประจุออกได้ในกรณีที่สัญญาณ v_i มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีค่ามากกว่า V_{DC} เพื่อให้วงจรยังคงทำงานแคลมป์สัญญาณต่อไปได้ ค่าของ R ต้องมีค่ามากกว่าความต้านทานขณะนำกระแสของไดโอด และต้องไม่มากจนเกินไป



รูปที่ 4. รูปคลื่นแสดงการทำงานจริงของวงจรแคลมป์ในรูปที่ 3. ก)

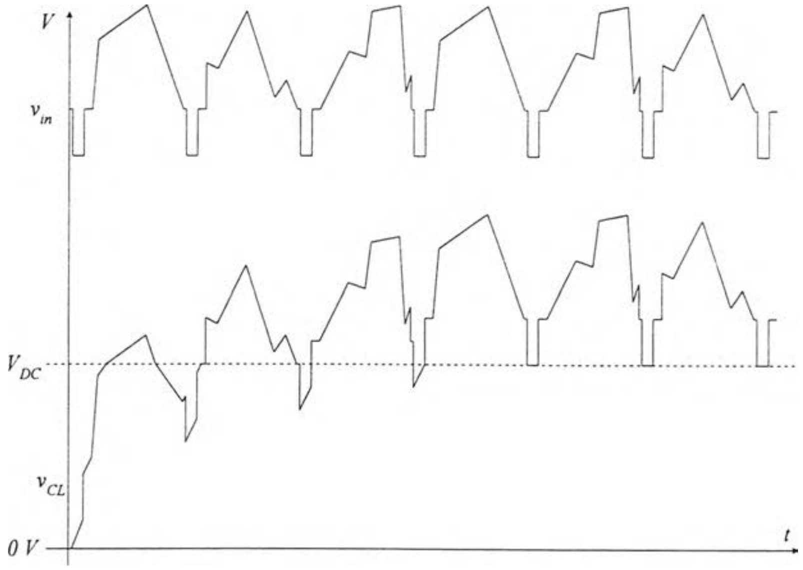
ในการทำงานจริงของวงจรในรูปที่ 3. ก) สัญญาณ v_o จะไม่ได้ถูกปรับเข้าสู่ค่า V_{DC} ในทันทีเนื่องจากไดโอดมีความต้านทานในขณะนำกระแส r_d ทำให้สัญญาณถูกแคลมป์ด้วยค่าคงที่ทางเวลา $\tau = r_d C$ และอัตราสลูว์ (slew rate) ยังจำกัดด้วยค่ากระแสสูงสุดที่ออปแอมป์จะจ่ายได้ด้วย นอกจากนี้ ค่าแรงดันคัทอิน (cut-in voltage) V_d ของไดโอดทำให้สัญญาณไม่ได้ถูกแคลมป์ที่ระดับแรงดัน V_{DC} พอดี แต่จะมีค่าต่ำกว่าอยู่เท่ากับ V_d รูปที่ 4. แสดงลักษณะของรูปคลื่นในการทำงานจริงตามที่ได้กล่าวมา

วงจรแคลมป์อีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันคือ วงจรแคลมป์แบบป้อนกลับ ซึ่งมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับวงจรที่ได้กล่าวมาแล้วคือ ใช้ไดโอดและตัวเก็บประจุทำหน้าที่ในการปรับระดับไฟตรงของสัญญาณให้มีค่าตามที่ต้องการ การใช้ออปแอมป์ช่วยในการป้อนกลับมีผลดีคือ ค่าผิดพลาดของระดับการแคลมป์เนื่องจากแรงดันคัทอินของไดโอดสามารถลดลงได้มาก โดยตามหลักการของวงจรป้อนกลับ ค่าผิดพลาดของระดับการแคลมป์จะเหลือเพียงประมาณ $1/A_v$ เท่าของ V_d เมื่อ A_v คืออัตราขยายของออปแอมป์



รูปที่ 5. วงจรแคลมป์แบบป้อนกลับ

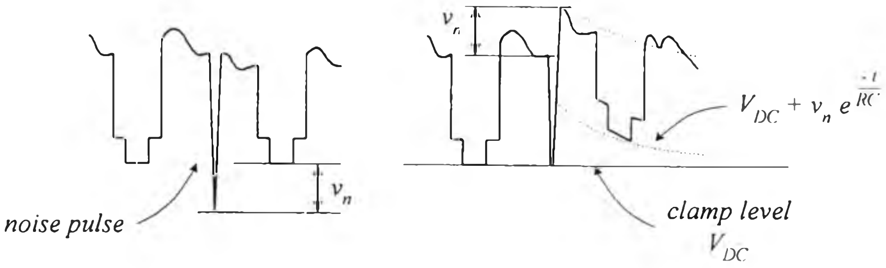
จากรูปที่ 5. สัญญาณ v_{CL} จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นตาม v_{in} โดยวงจรจะปรับระดับสัญญาณยอดล่างของรูปคลื่น v_{CL} อยู่ที่ระดับแรงดันไฟตรง V_{DC} ถ้า v_{in} มีค่าต่ำกว่าระดับแรงดันไฟตรง V_{DC} ตัวเก็บประจุ C จะถูกอัดประจุโดยออปแอมป์ A ผ่านไดโอด D จนกระทั่ง v_{CL} มีค่าเท่ากับ V_{DC} ไดโอด D ก็จะหยุดนำกระแส และตัวเก็บประจุ C ก็จะรักษาค่าแรงดันไว้ ดังนั้น ในที่สุดยอดล่างของรูปคลื่น v_{CL} ก็จะมีระดับสัญญาณไฟตรงเท่ากับ V_{DC} รูปที่ 6. เป็นรูปคลื่นจำลองแสดงการทำงานของวงจรดังที่ได้อธิบาย



รูปที่ 6. รูปคลื่นจำลองแสดงการทำงานของวงจรแคลมป์

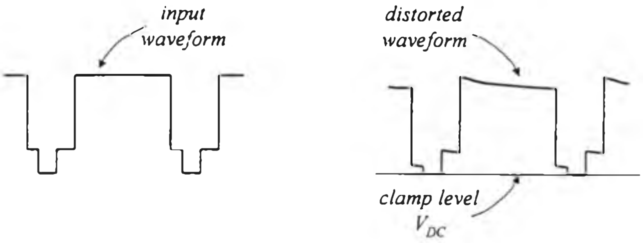
วงจรแคลมป์แบบป้อนกลับนี้ได้รับความนิยมแพร่หลายเนื่องจากไม่มีความซับซ้อนมาก ทำงานได้ผลดี และเหมาะกับการสร้างเป็นวงจรรวม ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนได้แก่ วงจรรวม LM1881 ของบริษัทเนชันแนลเซมิคอนดัคเตอร์ ซึ่งเป็นวงจรรวมสำหรับแยกสัญญาณซิงก์ที่นิยมใช้กันแพร่หลายตัวหนึ่ง

วงจรแคลมป์ที่ใช้ไดโอดในการทำงานยังมีข้อจำกัด คือ วงจรจะแคลมป์สัญญาณที่ยอดล่างของรูปคลื่นให้มีระดับแรงดันท่ากับแรงดันอ้างอิงเท่านั้น ไม่สามารถแคลมป์ที่ตำแหน่งอื่นได้ และถ้ายอดล่างของสัญญาณที่จะแคลมป์ v_{CL} มีระดับลอยขึ้นสูงกว่าแรงดันอ้างอิง(ซึ่งอาจเกิดได้จากสัญญาณรบกวน) จะทำให้สัญญาณ v_{CL} มีค่ามากกว่า V_{DC} ตลอดเวลา วงจรก็จะทำงานไม่ได้ เนื่องจากออปแอมป์จะให้สัญญาณออกเป็นลบและไดโอดจะอยู่ในสภาวะคัทออฟตลอดเวลา การใช้ตัวต้านทานช่วยคายประจุออกจากตัวเก็บประจุเป็นวิธีการแก้ปัญหาวิธีหนึ่งให้วงจรกลับเข้าสู่การทำงานปกติได้ดังรูปที่ 7. [1], [6]



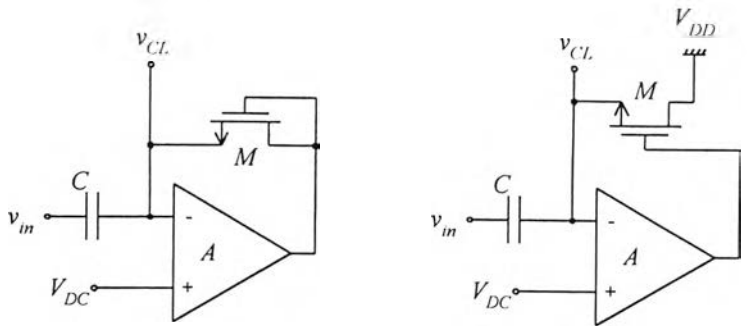
รูปที่ 7. สัญญาณภาพโทรทัศน์ที่ถูกรบกวนและการเข้าสู่การทำงานปกติของวงจรแคลมป์ [1]

จะเห็นได้ว่าภายในช่วงเวลาประมาณ *4RC* สัญญาณที่ถูกรบกวนจะกลับเข้าสู่ระดับการแคลมป์ซึ่งสามารถออกแบบค่าของ *R* และ *C* ที่เหมาะสมตามความต้องการได้ ทั้งนี้ควรคำนึงด้วยว่าการคายประจุออกจากตัวเก็บประจุมีผลต่อความเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณดังรูปที่ 8. และถ้าการคายประจุเร็วเกินไปสัญญาณที่แคลมป์อาจผิดเพี้ยนไปมากจนใช้การไม่ได้ เช่นพัลส์สัญญาณซิงก์หายไป หรือระดับสัญญาณความสว่างของเส้นภาพลดทอนลง



รูปที่ 8. ความเพี้ยนของสัญญาณจากการแคลมป์ที่มีการคายประจุผ่านตัวต้านทาน

ในปัจจุบันวงจรรวมอนาลอกมีการสร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยีซีมอสมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเทคโนโลยีซีมอสมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าเทคโนโลยีไบโพลาร์ที่เดิมนิยมใช้กับวงจรรวมอนาลอก ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปอุปกรณ์ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้ที่แบนวิดธ์สูงกว่าอุปกรณ์มอสแต่ก็กินกำลังงานสูญเสียมากกว่า อีกทั้งเทคโนโลยีซีมอสยังได้รับการพัฒนาให้สามารถผลิตอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติดีขึ้นเรื่อย ๆ และนอกจากนี้ มอสทรานซิสเตอร์สามารถควบคุมพารามิเตอร์คุณสมบัติทางไฟฟ้าได้ง่ายจากการขนาดและรูปร่างของอุปกรณ์ในขณะที่คุณสมบัติของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์จะขึ้นกับกระบวนการผลิตและมีความแตกต่างกันได้มากสำหรับอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเหมือน ๆ กันแต่ละตัว [2] วงจรแคลมป์แบบที่ใช้ไดโอดก็สามารถออกแบบให้ใช้มอสทรานซิสเตอร์ทำงานเลียนแบบในลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 9. ก) และ ข) แต่อย่างไรก็ดีวงจรก็ยังมีข้อจำกัดเช่นเดียวกับวงจรที่สร้างขึ้นโดยใช้ไดโอด ซึ่งในบทต่อไปจะได้กล่าวถึงวงจรแคลมป์อีกแบบหนึ่งที่ใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของมอสทรานซิสเตอร์ และทำงานโดยไม่มีข้อจำกัดที่เกิดกับวงจรแบบที่ใช้ไดโอดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

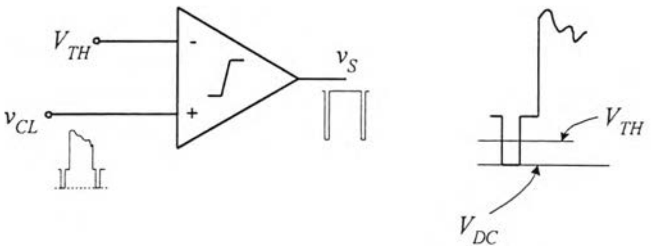


ก) ข)

รูปที่ 9. วงจรแคลมป์แบบที่ใช้มอสทรานซิสเตอร์เลียนแบบไดโอด

2.3. **วงจรแยกสัญญาณซิงก์**

การแยกสัญญาณซิงก์จากสัญญาณภาพแบบรวมที่แคลมป์แล้วสามารถทำได้ง่ายโดยใช้วงจรเปรียบเทียบดังรูปที่ 10. โดยใช้ค่าแรงดันเทรชโฮลด์ (threshold voltage) V_{TH} อยู่ระหว่างระดับไฟตรง V_{DC} กับระดับแบลงกิ้ง (blanking level)



รูปที่ 10. การแยกสัญญาณซิงก์ด้วยวงจรเปรียบเทียบ

สัญญาณภาพโทรทัศน์แบบรวมมีขนาด 1 โวลต์จากยอดถึงยอด ซิงก์พัลส์มีขนาดประมาณ 28.6 % ของสัญญาณ (40 IRE / 140 IRE) หรือประมาณ 0.286 โวลต์ ดังนั้น ระดับแรงดันเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมสำหรับวงจรเปรียบเทียบก็คือประมาณ 0.143 โวลต์

ในวงจรเครื่องรับโทรทัศน์รุ่นแรก ๆ วงจรในภาคแยกสัญญาณซิงก์มีการใช้วงจรขยายโอเวอร์ไดรว์ (overdriven transistor amplifier) [1] หรือวงจรขลิบเบสร่วม (common base clipper) [1] ซึ่งจะนำสัญญาณภาพผ่านวงจรบัฟเฟอร์และเข้าสู่วงจรแยกสัญญาณซิงก์โดยไม่ต้องแคลมป์สัญญาณก่อน วงจรดังกล่าวจะตั้งระดับแรงดันไบแอสของทรานซิสเตอร์ให้ตัด หรือ ขลิบสัญญาณภาพให้เหลือเฉพาะสัญญาณซิงก์ วิธีนี้แอมพลิจูดของสัญญาณมีผลต่อการทำงานของวงจร ถ้าสัญญาณมีขนาดเล็ก (ภาพมืด) หรือขนาดใหญ่ (ภาพสว่าง) เกินไป จะทำให้วงจรไม่สามารถตัดเอาสัญญาณซิงก์ออกมาได้ถูกต้อง