

การดีมอดูเลตสัญญาณ FM ด้วยการแปลงเป็น PWM ที่สามารถ ควบคุมอัตราขยายได้ด้วยแรงดันไฟฟ้า

FM Demodulation Based on FM to PWM Conversion With Voltage Gain Control

ระพีพงศ์ บุ่งศรี ปราโมทย์ วาดเขียน

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการในการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มด้วยการแปลงเป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (PWM, Pulse-Width Modulation) ที่สามารถควบคุมอัตราขยายได้ด้วยแรงดันไฟฟ้า (VGC, Voltage Gain Control) โดยใช้หลักการพื้นฐานของวิธีตัดข้ามสัญญาณผ่านศูนย์ (ZC, Zero Crossing) มาทำการแปลงสัญญาณมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มให้เป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (PWM) ซึ่งเราสามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ด้วยการควบคุมอัตราขยายแรงดันทางไฟฟ้าจึงทำให้มีการขยายเกิดขึ้นกับสัญญาณข่าวสาร จากนั้นนำเอาสัญญาณดังกล่าวไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำที่มีความถี่คัตออฟที่เหมาะสม ก็จะได้สัญญาณข่าวสารกลับคืนมา ซึ่งเมื่อนำเอาหลักการดังกล่าวข้างต้นมาออกแบบวงจรจะได้วงจรมีขนาดเล็ก อีกทั้งยังช่วยประหยัดกำลังงานของวงจร โดยในวงจรจะใช้เพียงโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์กับตัวกรองความถี่ต่ำ (LPF) เท่านั้น ซึ่งผลการทดลองและการสังเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ให้ผลสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : สัญญาณพีดับบลิวเอ็ม, วิธีการตัดข้ามสัญญาณผ่านศูนย์, การควบคุมอัตราขยายแรงดันไฟฟ้า

Abstract

This paper attempts to present the FM demodulation based on FM to PWM conversion with voltage gain control (VGC). The proposed circuit is based on the basic principle of zero crossing (ZC), converting FM to PWM. In the proposed scheme, the pulse width can be adjusted by VGC, which affects the gain of a message signal. The PWM-signal is filtered using low pass filter (LPF). The result is the recovered message signal. The proposed circuit is simple and efficient. It consists of just a monostable multivibrator and a low pass filter (LPF). The experimental and synthesis results from MATLAB confirm the mathematics analysis.

Keywords : Pulse-width modulation (PWM), Zero crossing (ZC), Voltage gain control (VGC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่า การมอดูเลตสัญญาณเอพเอ็ม ได้รับความนิยมนำใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสัญญาณที่มอดูเลตแล้วมีภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณรบกวนสูง การดีมอดูเลตสัญญาณเอพเอ็มนั้น มีผู้คิดค้นและพัฒนาหลักการในการดีเทคต์สัญญาณเอพเอ็มหลายวิธีด้วยกัน[1]-[5] อาทิ เช่น การดีมอดูเลตสัญญาณแบบตรง (Direct demodulation) จะอาศัยการทำอนุพันธ์สัญญาณเอพเอ็ม และนำสัญญาณที่ได้มาทำการดีเทคต์กรอบก็จะได้สัญญาณข่าวสารกลับคืนมา หรือว่าจะเป็นการดีมอดูเลตสัญญาณแบบควอดราเจอร์ (Quadrature detector)[2] ซึ่งยังมีข้อเสียเรื่องตัวเหนี่ยวนำที่จะนำมาเป็นองค์ประกอบในวงจรเลื่อนเฟส 90° ทำให้ไม่สามารถสร้างเป็นวงจรของไอซีได้อย่างสมบูรณ์แบบ อีกวิธีหนึ่งคือการดีมอดูเลตสัญญาณเอพเอ็มด้วยเฟสล็อกคูล (PLL : Phase Locked Loop) ถึงแม้จะมีโครงสร้างที่สามารถนำไปสร้างวงจรไอซีได้อย่างสมบูรณ์ และวงจรจะมีขนาดเล็กกลง แต่ อุปกรณ์ที่ใช้ยังต้องเป็นแบบอนาล็อกและยังต้องอาศัยการปรับจูนที่แม่นยำ จึงจะดีเทคต์สัญญาณเอพเอ็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

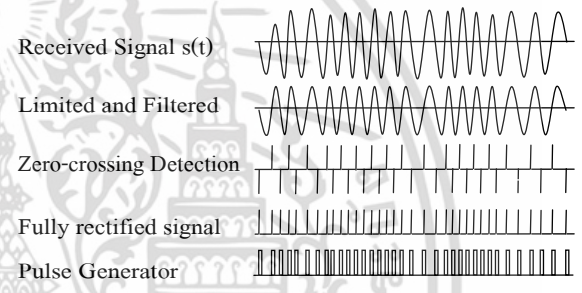
ดังนั้นในบทความนี้จึงได้นำเสนอวิธีการดีมอดูเลตสัญญาณเอพเอ็มด้วยการแปลงเป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็มด้วยหลักการพื้นฐานของวิธีการตัดข้ามสัญญาณผ่านศูนย์ ซึ่งเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับสร้างเป็นไอซี ซึ่งเราจะใช้เพียงวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ และวงจรกรองความถี่ต่ำเท่านั้น และถึงแม้ว่าในอดีตจะได้มีการนำเสนอการดีมอดูเลตเอพเอ็มแบบวิธีการตัดข้ามสัญญาณผ่านศูนย์ [6]-[10] และพีดับบลิวเอ็มไว้แล้วก็ตามแต่ในแง่มุมทางทฤษฎีของพีดับบลิวเอ็มยังขาดหายอยู่ และยังไม่มีการกล่าวถึงการปรับความกว้างของโมโนพัลส์ที่ใช้ ซึ่งจะทำให้มีอัตราขยายเกิดขึ้นกับสัญญาณข่าวสารที่ดีมอดูเลต ดังนั้นเราจึงได้นำเสนอการดีมอดูเลตสัญญาณเอพเอ็มโดยมีการปรับอัตราขยายด้วยแรงดันไฟฟ้าเพื่อตอบสนองกับสัญญาณข่าวสารที่มีการเปลี่ยนแปลง และเพื่อให้มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ทำให้ได้วงจรดีมอดูเลตสัญญาณเอพเอ็ม ที่มีโครงสร้างกะชับ ประหยัดกำลังงาน และมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลักการที่นำเสนอ

2.1 หลักการของวิธีการตัดข้ามสัญญาณผ่านศูนย์ (ZC)

ใช้หลักการที่สัญญาณต้องมีการตัดผ่านจุดศูนย์ทุกรอบของสัญญาณ ซึ่งจำนวนครั้งของการตัดผ่านจุดศูนย์ต่อหนึ่งหน่วยเวลาก็คือความถี่เฉลี่ยของสัญญาณนั่นเอง ถ้าความถี่สูงขึ้น การตัดผ่านจุดศูนย์จะมากขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลาเพื่อความเข้าใจพิจารณารูปที่ 1 สัญญาณที่ได้จากการดีเทคต์[6] โดยใช้หลักการของการตัดผ่านจุดศูนย์นั้นจะถูกแทนด้วยพัลส์หนึ่งพัลส์ต่อสัญญาณ 1 คาบ บทความนี้จะพิจารณาที่ค่าจุดตัดบวก ซึ่งตำแหน่งการเกิดพัลส์จะเปลี่ยนไปตามความถี่และเมื่อนับจำนวนพัลส์เฉลี่ยแล้ว จะได้เป็นระดับของสัญญาณที่เปลี่ยนไปตามความถี่



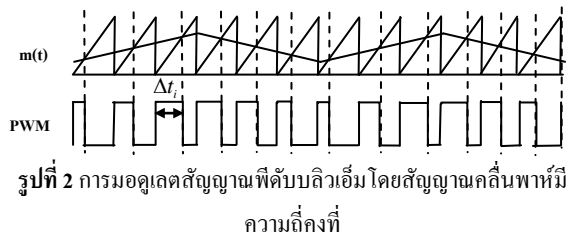
รูปที่ 1 การดีเทคต์สัญญาณเอพเอ็ม โดยหลักการ Zero-crossing (ZC)

2.2 วิเคราะห์หาค่าประกอบของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม

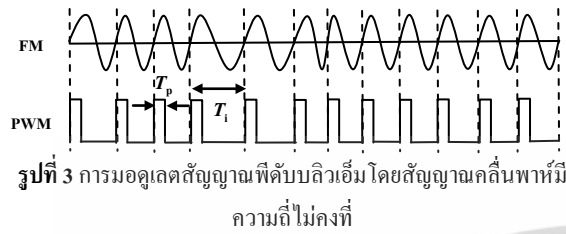
จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มตามเอกสาร[5] เราจะได้สมการของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ดังสมการที่(1) โดยที่ $\Phi_{pwm}(t)$ คือสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม A คือขนาดของพัลส์บวก

$$\Phi_{pwm}(t) = \frac{Akm(t)}{T} + \frac{A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sin(n\omega_0 t)}{n} \\ - \frac{\sin(n\omega_0(t - km(t)))}{n} \end{array} \right\} \quad (1)$$

ซึ่งสัญญาณ $\Phi_{pwm}(t)$ มีค่าคาบคงที่ และเมื่อเราพิจารณาสัญญาณพีดับบลิวเอ็มดังกล่าวในรูปที่ 2 ก็พบว่าช่วงเวลาคาบกว้างของพัลส์บวกมีการแปรผันโดยตรงกับข่าวสารคือ $\Delta t_i = km(t)$ โดย $m(t)$ คือสัญญาณข่าวสาร, k คือค่าคงที่ และ Δt_i คือช่วงเวลาคาบกว้างพัลส์บวกที่ i โดยที่ i เป็นจำนวนเต็มบวก ($i = 0, 1, 2, \dots$)



รูปที่ 2 การมอดูเลตสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มโดยสัญญาณคลื่นพหุหาร์ม
ความถี่คงที่



รูปที่ 3 การมอดูเลตสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มโดยสัญญาณคลื่นพหุหาร์ม
ความถี่ไม่คงที่

โดยที่ T_p คือความกว้างพัลส์บวกของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม และ T_i คือคาบเวลาของสัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณเอฟเอ็มเป็นสัญญาณที่มีความถี่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณข่าวสาร ดังนั้นคาบเวลาในแต่ละคาบจะแปรผกผันตามขนาดของสัญญาณอินพุต ดังนั้นจากรูปที่ 3 ถ้าเราสร้างสัญญาณด้วยการนำสัญญาณเอฟเอ็มไปทำการตัดข้ามสัญญาณผ่านศูนย์โดยมีความกว้างพัลส์บวก T_p คงที่ และถ้าเราผ่อนคลายกฎเกณฑ์ของความเป็นคาบตามเอกสาร[6] โดยมองว่าสัญญาณนี้เป็นคาบเวลาแล้ว เราก็จะมองได้ว่าสัญญาณนี้เป็นสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มเช่นเดียวกันแต่ความถี่จะไม่คงที่ ดังนั้นในการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบของสัญญาณจะใช้อนุกรมฟูเรียร์ในรูปแบบเอกซ์โพเนนเชียล โดยกำหนดให้ $\Phi_{pwm}(t)$ คือสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มแสดงได้ตามสมการที่ (2) คือ

$$\begin{aligned}\Phi_{pwm}(t+T) &= \Phi_{pwm}(t) \\ &= F_0 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\omega_i t}\end{aligned}\quad (2)$$

โดยที่ F_n คือค่าสัมประสิทธิ์ของฟูเรียร์ในรูปแบบเอกซ์โพเนนเชียล และ n คือเลขจำนวนเต็มโดยที่ค่า

$$F_n = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \Phi_{pwm}(t) e^{-jn\omega_i t} dt \quad (3)$$

ω_0 คือความถี่มูลฐานของสัญญาณและ $\omega_0 = \omega_i$ มีค่าเท่ากับ $2\pi/T_i$ โดยที่ T_i คือคาบเวลาของสัญญาณ และจากการพิจารณาสัญญาณคาบที่ i^{th} จะได้ว่า

$$\begin{aligned}F_n &= \frac{1}{T_i} \int_0^{T_p} A e^{-jn\omega_i t} dt = \frac{A}{T_i - jn\omega_i} \Big|_0^{T_p} \\ F_n &= \frac{A (e^{-jn\omega_i T_p} - 1)}{T_i - jn\omega_i} = \frac{A (e^{-jn\omega_i T_p} - 1)}{-jn\omega_i T_i} \\ &= \frac{A}{(-jn2\pi)} [e^{-jn\omega_i T_p} - 1]\end{aligned}\quad (4)$$

และ F_0 จะได้

$$\begin{aligned}F_0 &= \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \Phi_{pwm}(t) dt \\ &= \frac{1}{T_i} \int_0^{T_p} A dt \\ F_0 &= \frac{AT_p}{T_i}\end{aligned}\quad (5)$$

จากนั้นแทน F_n กับ F_0 ลงในสมการที่ (2) และเขียนสมการที่ (2) ใหม่

$$\begin{aligned}\Phi_{pwm}(t) &= \frac{AT_p}{T_i} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{A}{jn2\pi} (e^{-jn\omega_i T_p} - 1) e^{jn\omega_i t} \right\} \\ &= \frac{AT_p}{T_i} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ \begin{aligned} &-\frac{A}{jn2\pi} e^{jn\omega_i(t-T_p)} \\ &+\frac{A}{jn2\pi} e^{jn\omega_i t} \end{aligned} \right\} \\ &= \frac{AT_p}{T_i} + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \begin{aligned} &-\frac{A}{jn2\pi} e^{jn\omega_i(t-T_p)} \\ &+\frac{A}{jn2\pi} e^{jn\omega_i t} \end{aligned} \right\} \\ &\quad + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \begin{aligned} &+\frac{A}{jn2\pi} e^{-jn\omega_i(t-T_p)} \\ &-\frac{A}{jn2\pi} e^{-jn\omega_i t} \end{aligned} \right\} \\ &= \frac{AT_p}{T_i} + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \begin{aligned} &-\frac{A}{jn2\pi} (e^{jn\omega_i(t-T_p)} - e^{-jn\omega_i(t-T_p)}) \\ &+\frac{A}{jn2\pi} (e^{jn\omega_i t} - e^{-jn\omega_i t}) \end{aligned} \right\} \\ &= \frac{AT_p}{T_i} + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \begin{aligned} &-\frac{A}{n\pi} \sin(n\omega_i(t-T_p)) \\ &+\frac{A}{n\pi} \sin(n\omega_i t) \end{aligned} \right\}\end{aligned}\quad (6)$$

จากสมการที่ (6) เนื่องจากสัญญาณอินพุตที่เราใช้เป็นสัญญาณเอฟเอ็ม ดังนั้น $T_i \propto 1/m(t)$ และ $T_i = 1/km(t)$ โดยที่ค่า k คือค่าคงที่ และสามารถเขียนพจน์แรกได้เป็น

$$\frac{AT_p}{T_i} = AT_p km(t) \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนพจน์แรกจากสมการที่ (7) ลงในสมการที่ (6) จะได้

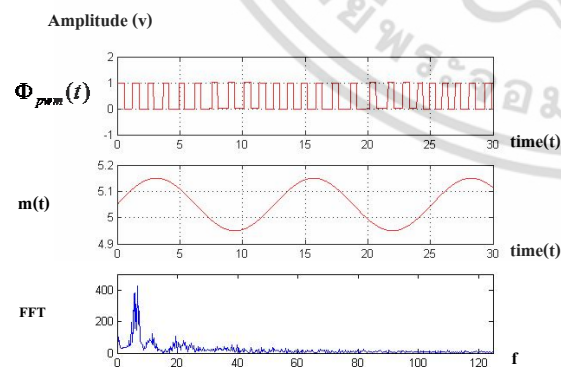
$$\Phi_{pwm}(t) = AT_p km(t) + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \begin{aligned} &-\frac{A}{n\pi} \sin(n\omega_c(t-T_p)) \\ &+\frac{A}{n\pi} \sin(n\omega_c t) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

สมการที่ (8) จะเห็นได้ว่าพจน์แรก $AT_p km(t)$ คือเทอมของข่าวสารที่ถูกสเกลด้วย $AT_p k$ อยู่ที่ความถี่ต่ำ ดังนั้นถ้านำไปผ่านวงจรความถี่ต่ำที่เหมาะสม จะได้สัญญาณข่าวสารกลับคืนมา

2.3 การสังเคราะห์สัญญาณพีดีบีเอ็ม

จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์จะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสัญญาณพีดีบีเอ็มดังแสดงในสมการที่ 8 ในหัวข้อนี้จะทำการสังเคราะห์สัญญาณพีดีบีเอ็มโดยใช้โปรแกรม MATLAB มาจำลองแบบเพื่อยืนยันและพิสูจน์ว่าผลจากที่เราวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณพีดีบีเอ็มนั้นสามารถนำไปสร้างสัญญาณพีดีบีเอ็มได้จริงและสอดคล้องกับสิ่งที่นำเสนอในหัวข้อที่ 2.2

โดยรูปที่ 4 คือ ผลการจำลองแบบจากสมการ โดยใช้โปรแกรม MATLAB สัญญาณเส้นบนเป็นสัญญาณพีดีบีเอ็ม สัญญาณเส้นที่สองแสดงสัญญาณข่าวสารอินพุต และสัญญาณเส้นล่างสุดแสดงผลการวัดสเปกตรัมสัญญาณพีดีบีเอ็ม จากกราฟเส้นบนแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่นำมาจำลองแบบสามารถสร้างสัญญาณพีดีบีเอ็มได้จริง

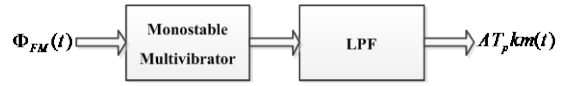


รูปที่ 4 ผลการจำลองแบบสังเคราะห์สัญญาณพีดีบีเอ็มที่เกิดจากการตัดผ่านศูนย์สัญญาณเอพีเอ็มโดยโปรแกรม MATLAB กราฟเส้นบนสุดคือสัญญาณพีดีบีเอ็มที่ได้จากการสังเคราะห์ เส้นกลางคือสัญญาณข่าวสาร เส้นล่างสุดคือองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณพีดีบีเอ็มจากการทำ FFT

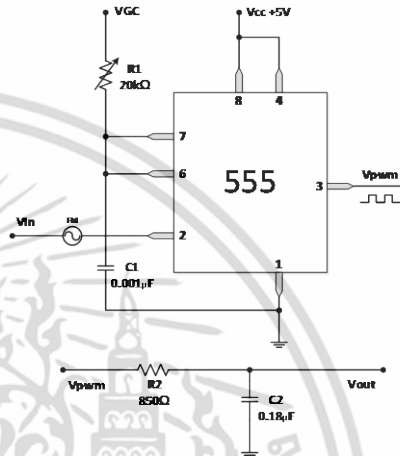
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทดลองและผลการทดลอง

จากหลักการที่นำเสนอในหัวข้อที่ 2 สำหรับการดีมอดูเลตสัญญาณเอพีเอ็ม โดยการใช้การแปลงเป็นพีดีบีเอ็ม นั้นแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 5



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมการดีมอดูเลตสัญญาณเอพีเอ็ม



รูปที่ 6 วงจรการทดลองการดีมอดูเลตสัญญาณเอพีเอ็ม

จากนั้นเราได้ทำการทดลองโดยทำการต่อวงจรจริงตามรูปที่ 6 โดยใช้ไอซีโมโนสเตเบิลเบอร์ NE555N และต่อวงจรรองความถี่ต่ำที่สามารถรับช่วงความถี่ส่งผ่านให้อยู่ในย่านความถี่ของสัญญาณข่าวสารที่ต่างกัน ได้ และเมื่อทำการวิเคราะห์ห้วงจร IC555 ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรมอนอสเตเบิลแล้วจะได้รับความสัมพันธ์ของความกว้างพัลส์บวก T_p ดังสมการที่ (9)

$$T_p = C_T R_T \ln \left(\frac{V_{GC}}{V_{GC} - \frac{2}{3} V_{CC}} \right) \quad (9)$$

โดย $R_T = R_1 = 1.84k\Omega, f_c = 1kHz,$

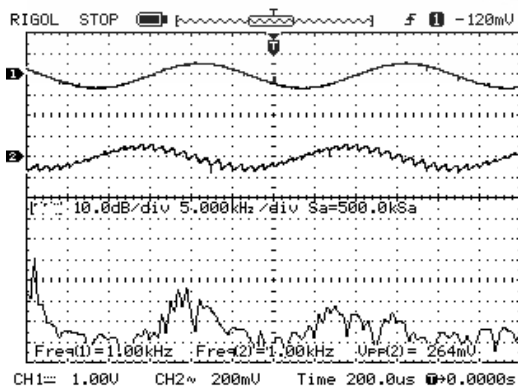
$C_T = C_1 = 0.001\mu F, V_{CC} = 5V$

จากสมการที่ (8) จะเห็นว่าพจน์ของข่าวสาร $AT_p km(t)$ นั้นมีความสัมพันธ์กับค่าความกว้างพัลส์ T_p อยู่ ดังนั้นเมื่อแทนค่า T_p จากสมการที่ (9) ลงไปในสมการที่ (8) เฉพาะพจน์ของข่าวสาร จะได้สมการที่ (10) ออกมา จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า V_{CC} แล้ว จะส่งผลให้อัตราขยายแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสาร $m(t)$ เปลี่ยนแปลงได้

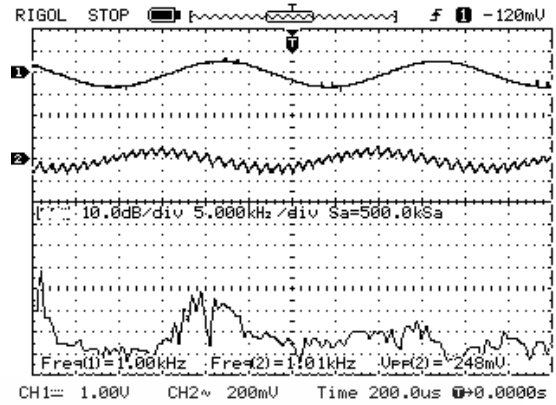
$$AT_p km(t) = AC_T R_T \ln \left(\frac{V_{GC}}{V_{GC} - \frac{2}{3} V_{CC}} \right) km(t) \quad (10)$$

จากสมการที่ 10 จะนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าอัตราขยายแอมพลิจูดของสัญญาณขาออกเอาต์พุตที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และการทดลองต่อวงจรจริง สำหรับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ จะกำหนดค่า V_{GC} และทำการแทนค่าลงในสมการที่ 10 เพื่อหาค่าอัตราขยายแอมพลิจูด ($AT_p k$) ในส่วนการทดลองต่อวงจรจริง จะทำการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้า V_{GC} และทำการอ่านค่าแอมพลิจูดของสัญญาณจากออสซิลอโคป

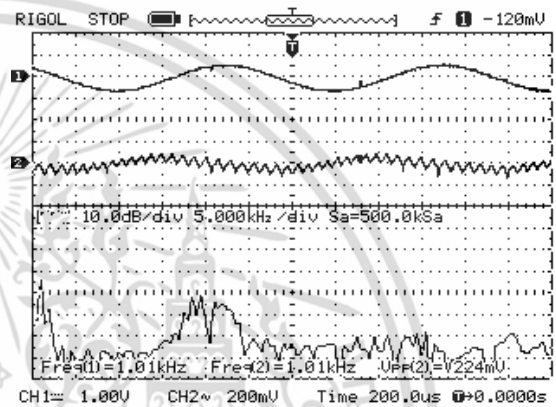
จากการทดลองต่อวงจรตามรูปที่ 6 กำหนดให้ความถี่คลื่นพหุมีค่าเท่ากับ 20 kHz และทำการป้อนสัญญาณขาเข้าเป็นสัญญาณรูปไซน์ความถี่เท่ากับ 1 kHz ทำการปรับแรงดันไฟฟ้า V_{GC} ที่ค่า 3.8V, 4.2V และ 4.4V ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 7(a) – 7(c) ตามลำดับ โดยผลการทดลองในแต่ละรูปนั้น สัญญาณเส้นบนแสดงสัญญาณขาเข้าอินพุตที่ทำการมอดูเลตกับสัญญาณเอฟเอ็ม สัญญาณเส้นที่สองแสดงสัญญาณขาออกที่ได้จากการมอดูเลต และสัญญาณเส้นล่างสุดคือสเปกตรัมสัญญาณขาออกเอาต์พุต จากผลการทดลองเมื่อทำการปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็น 3.8V, 4.2V และ 4.4V จะเห็นได้ว่าขนาดของสัญญาณขาออกที่มอดูเลตมานั้นมีค่าลดลงเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณากราฟสัญญาณเส้นที่สอง จะเห็นได้ว่า สัญญาณขาออกเอาต์พุตที่ได้จากการมอดูเลตนั้นมีรูปร่างเหมือนกับสัญญาณขาออกอินพุต กล่าวคือวงจรการทดลองสามารถมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มได้จริง ตามที่ได้นำเสนอ



(a) คิมมอดูเลตสัญญาณขาออกโดยการปรับแรงดันไฟฟ้า $V_{GC} = 3.8V$



(b) คิมมอดูเลตสัญญาณขาออกโดยการปรับแรงดันไฟฟ้า $V_{GC} = 4.2V$



(c) คิมมอดูเลตสัญญาณขาออกโดยการปรับแรงดันไฟฟ้า $V_{GC} = 4.4V$

รูปที่ 7 ผลการทดลองการมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มเมื่อทำการปรับแรงดันไฟฟ้า V_{GC} ด้วยค่าต่างๆ โดยที่สัญญาณเส้นบนสุดคือสัญญาณขาเข้าที่ทำการมอดูเลตกับสัญญาณเอฟเอ็ม สัญญาณเส้นกลางคือขาออกที่มอดูเลตได้ และสัญญาณเส้นล่างสุดคือสเปกตรัมของสัญญาณที่บับลิเนอ์ที่สร้างมาจากวิธีการตัดศูนย์

สำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาค่าอัตราขยายแอมพลิจูด ($AT_p k$) ทำโดยการแทนค่า V_{GC} ลงในสมการที่ (10) โดยแทนค่าเท่ากับ 3.7V, 4V, 4.3V, 4.6V และ 4.9V ลงในสมการ เราจะได้ค่า $AT_p k$ ซึ่งเป็นค่าอัตราขยายแอมพลิจูดของสัญญาณขาออกเอาต์พุต และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณขาออกเอาต์พุตที่เกิดจากการทดลอง จะถูกแสดงผลไว้ตามตารางที่ 1 โดยกำหนดให้ A_T แทนค่า $AT_p k$ หรืออัตราขยายแอมพลิจูดที่เกิดจากการแทนค่าลงในสมการที่ (10) และ A_O แทนอัตราขยายแอมพลิจูดที่ได้จากการทดลอง และเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแอมพลิจูดของสัญญาณขาออกเอาต์พุตกับการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า V_{GC} จะได้ผลแสดงในรูปที่ 8 โดยแกนบนคือค่า

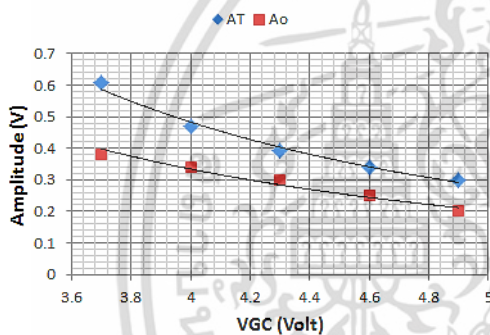
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า แกนตั้งคือค่าแอมพลิจูด จะเห็นได้ว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มสอดคล้องกันคือ เมื่อแรงดันไฟฟ้า V_{GC} เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของข้อมูลข่าวสารที่ทำการคิโมดูลเตมานั้นมีค่าลดลง ซึ่งผลการเปรียบเทียบได้ผลสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เป็นอย่างดี

ตารางที่ 1 ผลของการปรับแรงดันไฟฟ้าเทียบกับค่าแอมพลิจูด

V_{GC} (Volt)	A_T (Volt)	A_O (Volt)
3.7	0.6067	0.38
4.0	0.4702	0.34
4.3	0.3917	0.30
4.6	0.3385	0.25
4.9	0.2992	0.20



รูปที่ 8 กราฟผลการปรับแรงดันไฟฟ้าเทียบกับค่าแอมพลิจูด

4. สรุปและวิจารณ์

บทความนี้ได้เสนอหลักการคิโมดูลเตสัญญาณเอฟเอ็ม โดยการแปลงเป็นพีดับบลิวเอ็มที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าเวลาในการเกิดพัลส์บวกได้ด้วยวิธีการทางไฟฟ้า แล้วนำสัญญาณดังกล่าวไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำที่สามารถปรับเปลี่ยนให้ช่วงความถี่ส่งผ่านอยู่ในย่านความถี่ของข่าวสาร จะทำให้ได้สัญญาณข่าวสารกลับคืนมา โดยวงจรดีเทคต์สัญญาณเอฟเอ็มที่ได้มีโครงสร้างที่เล็ก และที่สำคัญสามารถปรับอัตราขยายของสัญญาณข่าวสารที่คิโมดูลเตมาได้ ซึ่งก็ทำให้สามารถดีเทคต์กับสัญญาณข่าวสารที่ไม่คงที่ได้เช่นกัน โดยอาศัยเพียงวงจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์กับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเท่านั้น และผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบสัญญาณที่ได้ยังทำให้เห็นถึง

อิทธิพลของความกว้างพัลส์บวกที่มีต่อขนาดของสัญญาณข่าวสารที่ได้คิโมดูลเตมา

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Schwartz, W. R. Bennett and S. Stem, "Communication Systems and Techniques," McGraw-Hill, pp.248-254, 1966.
- [2] P. H. Young, "Electronic Communication Technique," Third Edition, Merrill, pp. 368-370, 1994.
- [3] W.kiranon and P.Wardkein, "A novel FM Demodulation Scheme," IEEE Transaction on consumer Electronics, Vol.41, No.4, pp. 1103-1108, Nov., 1995.
- [4] C.Chankhunapas, P.Wardkein, "FM Detector based on PPM simulation," 19th Electrical Engineering Conference, Vol.1, pp.CM-67-CM-72, Nov., 1995.
- [5] N. Maneejiraprakarn, P.Wardkein and A. Arunsriseangchai, "A mathematical Analysis of PWM and PPM Spectrum for simple demodulation," Ladkrabang Engineering Journal, Vol.15, No.2, pp.142-147, Dec., 1998.
- [6] R. B. Stone, "FM Demodulator Zero-crossing Detector," United States Patent Office, Patent No.3,491,305, Jan., 1970.
- [7] M. J. Dupuy, "Impulse Duration Modulator," United States Patent Office, Patent No.3, 732, 506, May., 1973.
- [8] S. K. Ray, "Zero-crossing-based approximate demodulation of wide-deviation FM," IEE PROCEEDINGS, Vol.131, Part F, No.1, pp.47-51, Feb., 1984.
- [9] M. Furihata, "FM Detector using Monostable Multivibrators," United States Patent Office, Patent No.4,504,792, Mar., 1985.
- [10] E. K. B. Lee, "Zero-crossing zero-IF demodulator, Electronic letters," Vol.31, No.15, pp.1218-1219, Jul., 1995.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้