เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูป ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

FM Stereo Multiplex PLL Transmitter Control With Microcontroller

สมภพ ผดุงพันธ์ คอ.บ. (Somphop Padoongphan, B.S.Tech.ED.)[1]

บรรจบ ขาวอำไพ คอ.ม. (Bunjob Khowumpai, M.S.Tech.ED.)[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูป โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน ซึ่งต้องการให้ความถี่ที่ส่งออกอากาศมีเสถียรภาพที่คงที่ได้มาตรฐาน รวมทั้งต้องการให้สัญญาณเสียงที่ผ่านการมอดูเลตมีคุณภาพดี การออกแบบตามแนวคิดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F819 เป็นองค์ประกอบหลักในการควบคุมการทำงานของระบบเฟสล็อคลูป ระบบการแสดงผล และระบบตรวจสอบป้องกันข้อผิดพลาดในกรณีวงจรเฟสล็อคลูปไม่ล็อคความถี่ ผลการวิจัยทำให้ค่าความถี่วิทยุที่ส่งออกอากาศมีความเที่ยงตรงได้มาตรฐาน คุณภาพเสียงที่ผ่านการมอดูเลตมีคุณภาพชัดเจน รวมทั้งมีระบบตรวจสอบป้องกันอันเนื่องมาจากกรณีวงจรเฟสล็อคลูปไม่ล็อคความถี่ ซึ่งอาจส่งผลทำให้เกิดค่า reverse power และความถี่ที่ไม่พึงประสงค์ไปรบกวนการทำงานของย่านความถี่อื่น ทำให้การส่งกระจายเสียงวิทยุในระบบเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ มีประสิทธิภาพและก่อเกิดประโยชน์ต่อชุมชนในพื้นที่เป้าหมายของการรับฟังมากที่สุด

คำสำคัญ : เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูป ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

objectives of this research were to study and to design FM radio stereo multiplex as a phase locked loop system. The microcontroller was used to control broadcast frequency in order to be stable and standardized. However, this system was also designed to emit the radio signals efficiently. In addition, a microcontroller, no. PIC 16F819 was used to control the phrase locked loop system.

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยการอาชีพตากใบ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

The results of the study showed that if the display systems and motoring systems were used to prevent the errors that occurred in the process of phase locked loop with unlocked the frequency, there would not be diverse power and undesirable frequency which interfere with other frequencies. Thus, this design made the broadcast signals in FM multiplex became more efficient and beneficial to the communities where the radio signal was received.
Keywords : FM Transmitter , Stereo Multiplex , Phase Locked Loop System , Microcontroller

บทนำ

การส่งกระจายเสียงวิทยุในระบบ AM ข้อเสียที่เกิดจากข้อจำกัดในด้านการส่งด้วยความถี่ต่ำ และใช้หลักการผสมคลื่นทางแอมปลิจูดก็คือ การถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ (natural statics noise) หรือจากที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made noise) ทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางแอมปลิจูดของคลื่นพาห์ ในการติดต่อสื่อสารจึงได้มีการปรับปรุงพัฒนาให้สามารถหลีกเลี่ยงหรือป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น โดยพัฒนามาเป็นการรับส่งสัญญาณในระบบ FM ซึ่งสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้โดยใช้วงจรจำกัดแอมปลิจูด (amplitude limitter) ที่เครื่องรับวิทยุ จึงทำให้มีระบบ FM ขึ้นมาใช้ในการติดต่อสื่อสารทางวิทยุที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบ AM และการที่นำเอาระบบ FM มาใช้กับวิทยุกระจายเสียง เพราะว่ามีข้อดีคือ การรบกวนต่ำ รวมทั้งมีคุณภาพเสียงที่ดีกว่าการส่งกระจายเสียงแบบ AM การมอดูเลตทางความถี่ หรือ FM ใช้หลักการเบื้องต้นโดยการนำเอาแอมปลิจูดของสัญญาณความถี่ที่ต้องการมอดูเลต (modulating signal) หรือสัญญาณข่าวสาร ไปเปลี่ยนแปลงค่ารีแอกแตนซ์ของวงจร กำหนดความถี่คลื่นพาห์หรือวงจรออสซิลเลเตอร์ (oscillator) เพื่อทำให้ความถี่นั้นเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณข่าวสารโดยตรง ซึ่งเรียกว่า direct FM (วิโรจน์ แก้วจันทร์ ,2543) การควบคุมความถี่ในวงจรออสซิลเลเตอร์ให้คงที่ ถือเป็นสิ่งสำคัญด้านเสถียรภาพของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงในระบบ FM ซึ่งปัจจุบันใช้ระบบเฟสล็อคลูป (phase locked loop) ในการควบคุมการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์ เพื่อให้ความถี่มีความคงที่และเกิดเสถียรภาพในการทำงานที่ดี ระบบเฟสล็อคลูป เป็นระบบ negative feedback นั่นคือระบบเฟสล็อคลูป จะทำงานโดยการล็อคความถี่ โดยระบบเฟสล็อคลูปจะทำการตามรอยความถี่ (tracking) กับความถี่อ้างอิง (reference) ที่ป้อนเข้าทางอินพุต (input) เมื่อระบบล็อคความถี่แล้ว ถ้ามีเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณอินพุต ระบบจะสามารถรักษาสภาพการล็อคนั้นอยู่ การประยุกต์ใช้วงจร phase locked loop ในวงจร FM modulator จะใช้วิธีการสร้างสัญญาณ FM โดยให้สัญญาณอินพุตไปควบคุมให้วงจรกำเนิดสัญญาณเอาท์พุท (output) ออกมา และความถี่ของสัญญาณเอาท์พุตจะเปลี่ยนแปลงไปตามแรงดันของสัญญาณอินพุต (มนตรี ศิริปรัชญานันท์ ,2554) การนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ประโยชน์ในการควบคุมการทำงานของระบบเฟสล็อคลูป และวงจรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องนั้น ถือเป็นหัวใจสำคัญที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องส่งวิทยุ รวมทั้งการควบคุมคุณภาพเสียงในการส่ง

กระจายเสียงเพื่อให้ได้คุณภาพเสียงที่ดีทางเครื่องรับ การควบคุมเสถียรภาพทางความถี่ของเครื่องส่งวิทยุจะต้องมีความถี่ที่ออกอากาศเที่ยงตรง รวมถึงการควบคุมระดับสัญญาณรบกวนไม่ให้มีคลื่นความถี่ที่ไม่พึงประสงค์ออกไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ เครื่องใช้ และการสื่อสารอื่นๆ อันจะทำให้การส่งกระจายเสียงมีประสิทธิภาพและก่อเกิดประโยชน์สูงสุด

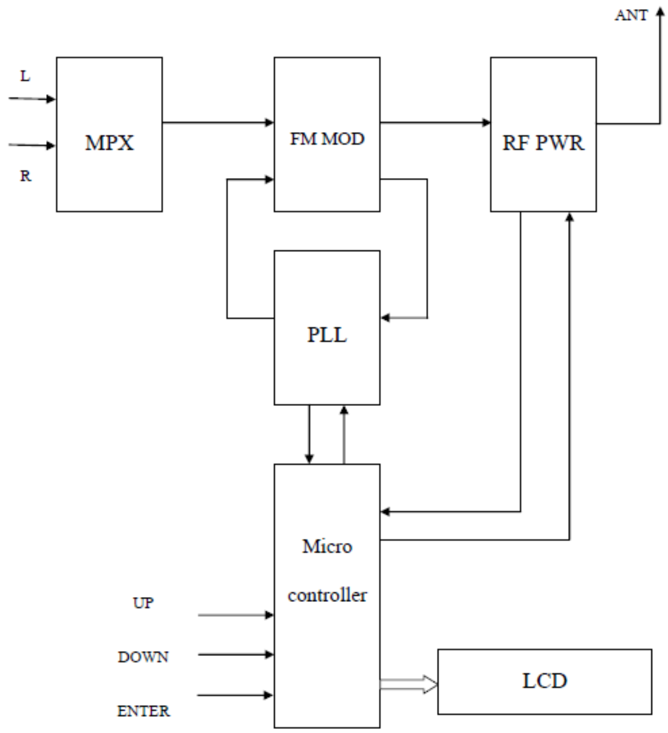
การวิจัยนี้มีเป้าหมายในการออกแบบ และพัฒนาเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูป โดยใช้อุปกรณ์ประเภทไมโครคอนโทรลเลอร์ มาควบคุมการทำงานของระบบเฟสล็อคลูป เพื่อให้มีเสถียรภาพของความถี่ในการส่งกระจายเสียงที่เที่ยงตรงและมีคุณภาพเสียงที่ส่งออกอากาศที่ดี มีความชัดเจน รวมทั้งควบคุมมิให้เกิดความถี่ที่ไม่พึงประสงค์เกินระดับมาตรฐาน อันจะทำให้การส่งกระจายเสียงในระบบเอฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ มีคุณภาพและเกิดประสิทธิภาพในการสื่อสารกับผู้รับข้อมูลข่าวสารของกลุ่มเป้าหมายมากที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูป โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน
2. เพื่อนำไปใช้งานในการประชาสัมพันธ์ เผยแพร่ข้อมูลข่าวสารของมหาวิทยาลัยฯ
3. เพื่อนำผลที่ได้จากการวิจัยไปออกแบบและพัฒนา ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในระดับต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

แนวความคิดในการออกแบบเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูป ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังภาพที่ 1 สัญญาณเสียงในระบบสเตอริโอแชนแนลซ้าย (L) และแชนแนลขวา (R) ที่ได้จากแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียง จะถูกนำมาเข้ารหัสเป็นสัญญาณสเตอริโอ มัลติเพล็กซ์ ในบล็อก MPX ได้สัญญาณเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณ MPX composite ส่งไปผสมกับคลื่นพาห์ในภาค FM modulation และขยายกำลังในภาค RF PWR เพื่อส่งออกอากาศโดยผ่านสายอากาศต่อไป ในส่วนของวงจรภาค FM modulation จะทำหน้าที่เป็นวงจรกำเนิดความถี่ (oscillator) ย่านกระจายเสียง FM และทำหน้าที่ผสมคลื่นพาห์ที่ได้ กับสัญญาณ MPX composite การทำหน้าที่กำเนิดความถี่ดังกล่าวจะถูกควบคุมด้วยวงจร PLL (phase locked loop) เพื่อรักษาเสถียรภาพทางความถี่ให้คงที่ โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณทางเอาต์พุตของวงจร FM modution ส่วนหนึ่ง จะถูกนำมาตรวจสอบเฟสในวงจร PLL และสัญญาณเอาต์พุตของวงจร PLL จะส่งไปควบคุมความถี่ในวงจร FM modulation การทำงานจะเป็นลักษณะของการวนรอบ (loop) เพื่อรักษาเสถียรภาพทางความถี่ให้คงที่ตลอดเวลา



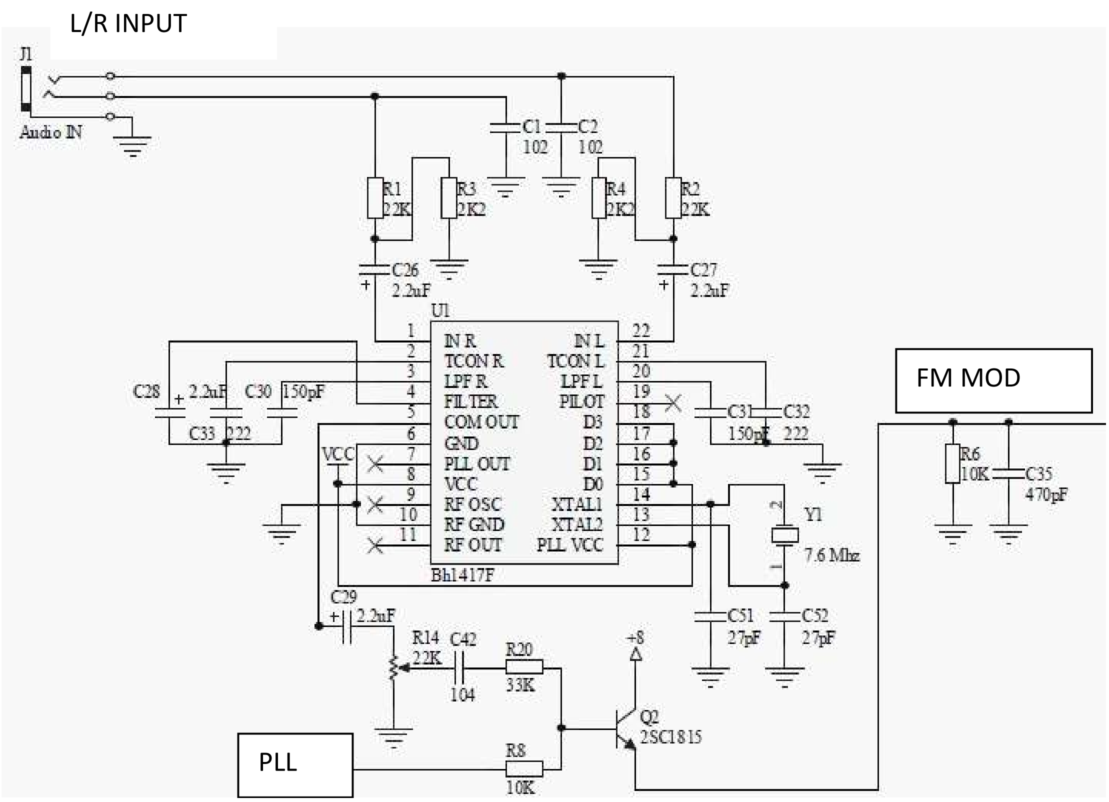
ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบ

องค์ประกอบสำคัญในการควบคุมการทำงาน จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากสวิทช์ UP, DOWN และ ENTER ในการตั้งค่าความถี่ใช้งาน เมื่อมีการตั้งค่าความถี่ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์จะบันทึกค่าใช้งานลงในหน่วยความจำ EEPROM แล้วสั่งงานไปยังวงจร PLL เพื่อส่งสัญญาณไปยังวงจร FM modulation ในการกำเนิดความถี่ใช้งาน รวมทั้งกระบวนการควบคุมความถี่ใช้งานให้คงที่นั้น จะถูกควบคุมด้วยซอฟต์แวร์สั่งงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ค่าความถี่ใช้งานจะนำไปแสดงผลยังจอภาพ LCD เพื่อแสดงผลค่าความถี่ในขณะมีการตั้งค่า และขณะใช้งาน เพื่อตรวจสอบสถานะความถี่ที่กำลังใช้งานในปัจจุบัน

จากแนวความคิด ในการออกแบบเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูปควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบต่างๆ ตามแนวความคิด สามารถนำไปสู่ขั้นตอนการออกแบบวงจรได้ โดยแบ่งเป็นวงจรที่ต้องออกแบบใช้งานได้ทั้งหมด 5 วงจร คือ

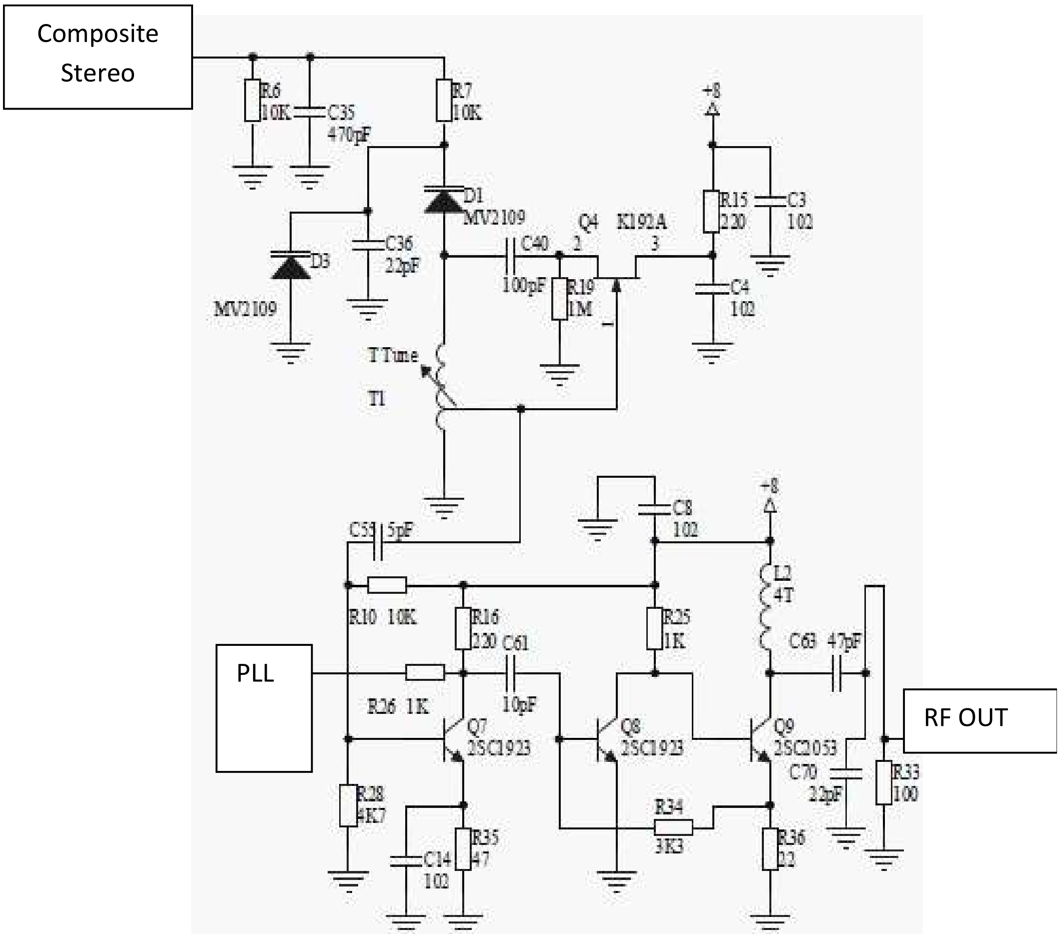
1. วงจร multiplex encoder
2. วงจร FM modulation
3. วงจร RF PWR
4. วงจร phase locked loop
5. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบวงจร multiplex encoder เพื่อนำสัญญาณสเตอริโอจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ มาเข้ารหัสเป็นสัญญาณ stereo multiplex จะใช้ไอซีเบอร์ BH1417F ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเข้ารหัสสัญญาณสเตอริโอ จากแหล่งกำเนิดสัญญาณสเตอริโอ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะเป็นสัญญาณคอมโพสิตสเตอริโอ (Composite Stereo) สามารถนำสัญญาณดังกล่าวส่งไปผสมกับคลื่นพาห์ในวงจร FM modulation ได้ต่อไป (Pira Company ,2554) ซึ่งการออกแบบวงจร multiplex encoder แสดงดังภาพที่ 2 การทำงานของวงจร สัญญาณสเตอริโอจากแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียงซึ่งประกอบด้วยสัญญาณเสียงแชนแนลซ้าย (L) และสัญญาณเสียงแชนแนลขวา (R) จะส่งเข้าขา 22 และขา 1 ของไอซี U1 เบอร์ BH1417F ตามลำดับ ในโครงสร้างการทำงานของไอซีจะมี X-TAL Y1 ความถี่ 7.6 MHz ภายนอกทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิกา เพื่อสร้างฐานความถี่ใช้งานภายในตัว สัญญาณคอมโพสิตเสตอริโอที่เป็นสัญญาณเอาต์พุตจะได้จากขา 5 ส่งไปยังทรานซิสเตอร์ Q2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์และรับแรงดันควบคุมความถี่ที่มาจากวงจร PLL ส่งผ่านขา E ไปยังวงจร FM modulation ต่อไป



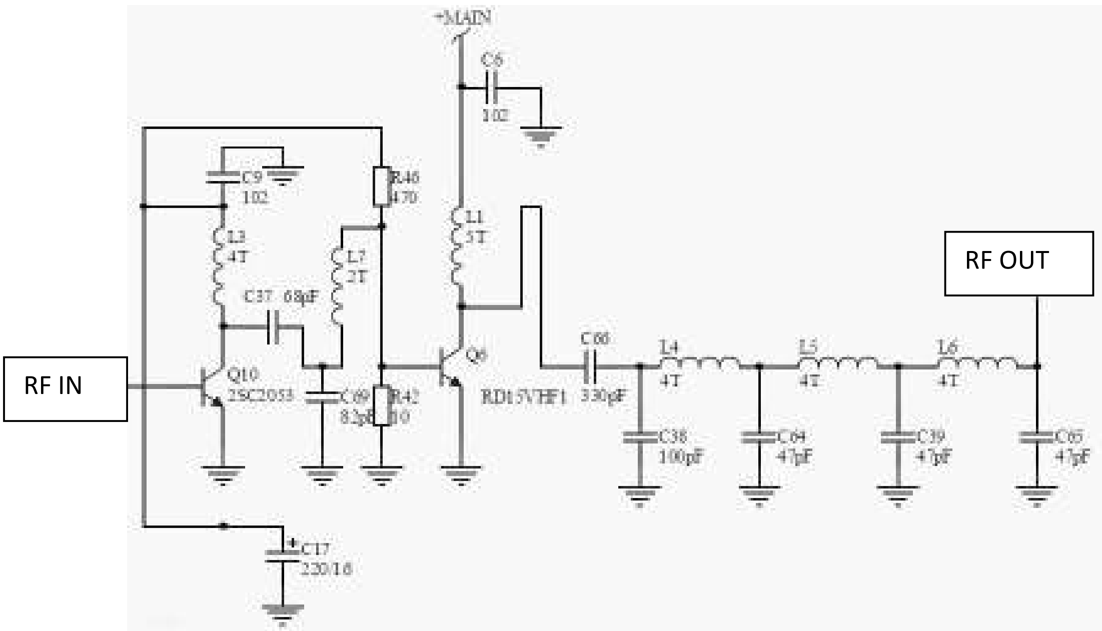
ภาพที่ 2 วงจร multiplex encoder

การออกแบบวงจร FM modulation เพื่อทำหน้าที่ผสมสัญญาณ composite stereo เข้ากับคลื่นพาห์ที่กำเนิดขึ้น สิ่งที่สำคัญที่สุดคือเสถียรภาพทางความถี่ที่เกิดจากการ modulation ในระบบ FM จะต้องมีประสิทธิภาพ รวมทั้งคุณภาพเสียงที่ผ่านการ modulation จะต้องคงสภาพเดิม ไม่ผิดเพี้ยน นั่นหมายถึงวัตถุประสงค์ที่ต้องการของการออกแบบวงจร FM modulation ที่ดี (Dignow C ,2554) จากแนวความคิดดังกล่าว สามารถออกแบบวงจร FM modulation ได้ดังภาพที่ 3 วงจร VCO (voltage control oscillator) ที่ประกอบด้วย JFET Q4 กับขดลวด T1 ทำงานเป็นวงจร hartley oscillator แรงดันควบคุมความถี่และสัญญาณ composite stereoที่มาจากขา E ของ Q2 จะส่งเข้ามาไบอัส D1 และ D3 ทำให้เกิดการ modulation ในระบบ FM สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการ modulation จะส่งไปขยายกำลังที่วงจรขยายกำลัง Q8 และ Q9 โดยผ่าน Q7 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจร RF buffer ซึ่งความถี่ ณ ตรงจุดนี้จะผ่าน R26 ส่งไปยังวงจร phase locked loop เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของความถี่ที่เกิดขึ้นต่อไป



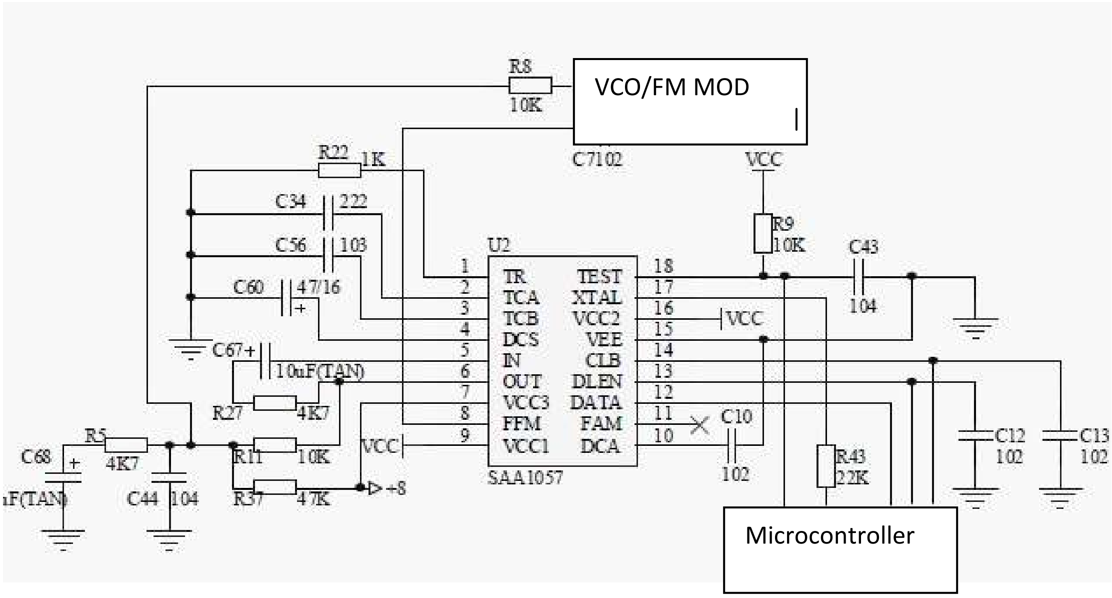
ภาพที่ 3 วงจร FM modulation

การออกแบบวงจร RF PWR ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายกำลังคลื่นวิทยุในย่านกระจายเสียง FM ก่อนที่จะส่งสัญญาณไปยังสายอากาศเพื่อแพร่กระจายคลื่นต่อไป แนวความคิดในการออกแบบต้องการให้ได้กำลังขยายที่ระดับไม่เกิน 30 วัตต์ และมีคลื่น harmonics ที่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนอันไม่พึงประสงค์อยู่ในระดับต่ำที่สุด ไม่เกินกว่าระดับที่กำหนดเป็นมาตรฐาน วงจร RF PWR แสดงดังภาพที่ 4 สัญญาณ FM ที่ผ่าน Q9 มาแล้ว จะส่งเข้ามายัง Q10 ที่ทำหน้าที่เป็นวงจร RF driver และส่งกำลังไปขยายต่อที่วงจรขยายกำลังสุดท้ายที่ Q6 ซึ่งเป็น MOSFET แบบ RF PWR เบอร์ RD15HVF1 ทำงานในย่านความถี่ FM ให้กำลังขยายประมาณ 15 วัตต์ (RF Parts Company ,2554) กำลังงานคลื่นวิทยุที่ได้นี้จะส่งผ่านวงจร low pass filter เพื่อกรองคลื่นความถี่ harmonics ก่อนจะส่งไปที่สายอากาศเพื่อแพร่กระจายคลื่น



ภาพที่ 4 วงจร RF PWR

วงจร phase locked loop จะทำหน้าที่ในการนำความถี่ทางด้านเอาต์พุตของวงจร FM modulation มาตรวจสอบและแก้ไข เพื่อส่งแรงดันไปควบคุมการกำเนิดความถี่ในวงจร VCO ลักษณะการทำงานของวงจรจะเป็นลักษณะของการทำงานที่เป็นวงรอบตลอดเวลา จากแนวความคิดสามารถออกแบบวงจร phase locked loop ได้ดังภาพที่ 5

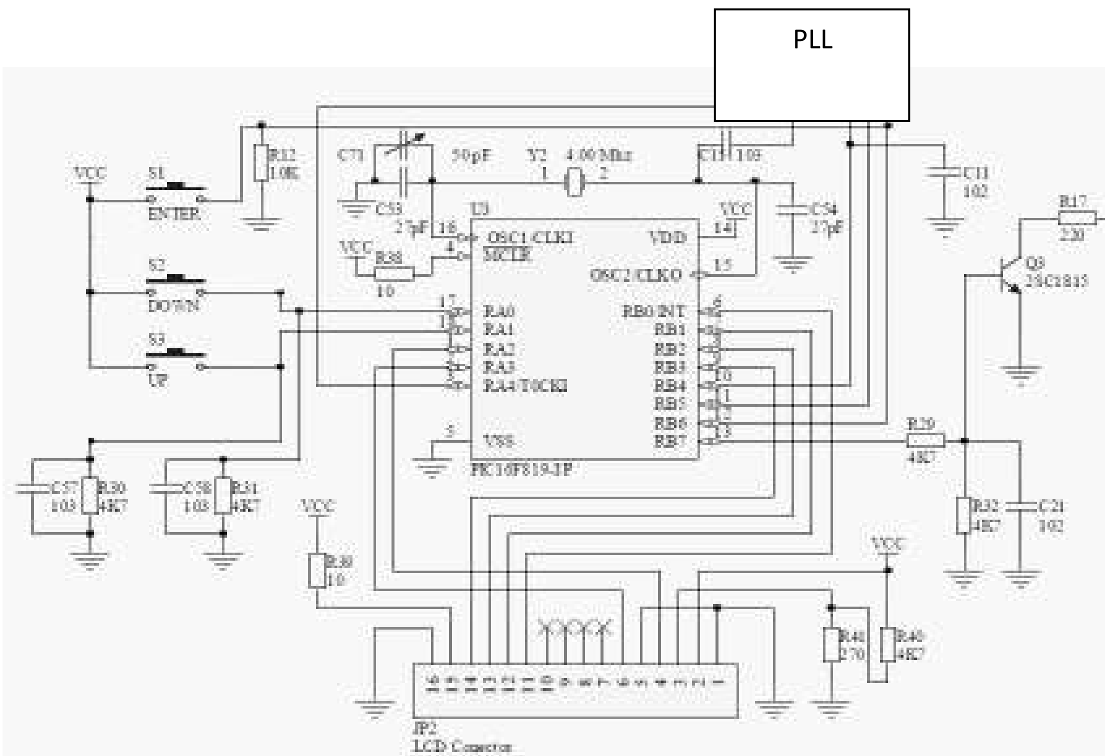


ภาพที่ 5 วงจร phase locked loop

การทำงานของวงจร phase locked loop จะใช้ไอซี SAA1057 ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความถี่ในระบบ phase locked loop และสังเคราะห์ความถี่ ซึ่งโครงสร้างภายในตัวไอซีออกแบบมาเป็น on-chip prescaler ที่ทำงานกับความถี่สูงได้ถึง 120 MHz ทำให้การออกแบบลดขั้นตอนและความยุ่งยากไปได้มาก เพราะไอซี SAA1057 สามารถทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Alldatasheet ,2554) โดยความถี่เอาต์พุตของวงจร VCO จะป้อนเข้ามาที่ขา 8 ของไอซี ภายหลังจากการเปรียบเทียบเฟสจะส่งแรงดันเอาต์พุตจากขา 6 ไปควบคุมการกำเนิดความถี่ในวงจร VCO สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวไอซีกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะผ่านทางขา 12 , 13 และ 14

องค์ประกอบสำคัญในกระบวนการควบคุมความถี่ให้คงที่และมีประสิทธิภาพ นอกจากวงจร VCO ที่ถูกควบคุมการกำเนิดความถี่จากวงจร phase locked loop แล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์คือส่วนสำคัญที่ควบคุม และตรวจสอบการทำงานของวงจร phase locked loop ให้ทำงานอย่างถูกต้อง และเที่ยงตรง การออกแบบวงจรควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้เลือกใช้เบอร์ PIC16F819 ของบริษัทไมโครชิป เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC (peripheral interface controller) ที่ประกอบด้วยหน่วยความจำโปรแกรม (program memory) หน่วยความจำข้อมูล (data memory) พอร์ตอินพุต (input port) พอร์ตเอาต์พุต (output port) ทำให้ PIC เหมือนเป็นคอมพิวเตอร์ตัวหนึ่ง นอกจากนี้ภายใน PIC ยังมี I2C , PWM , A/D ซึ่งถือได้ว่าเป็นคุณสมบัติพิเศษของ PIC ที่แตกต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวอื่นๆ การรวมทุกสิ่งทุกอย่างไว้ในตัว PIC ทำให้นำมาใช้งานได้ง่ายและสะดวก เพียงต่อแหล่งจ่ายไฟ ป้อนสัญญาณนาฬิกา และเขียนโปรแกรมควบคุม PIC

ก็สามารถควบคุมอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตได้ (ธีรวัฒน์ ประกอบผล ,2540) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16FXXX ได้รับความนิยมมาก เพราะเป็นชิปรุ่นแรกที่หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลช และมีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ทำให้สามารถพัฒนาโปรแกรมได้ง่าย PIC16FXXX สนับสนุนการทำงานแบบ in circuit debugger ทำให้ไม่ต้องใช้อีพรอมอีมูเลเตอร์ (EPROM emulator) ซึ่งมีราคาแพง มีคำสั่งภาษาแอสเซมบลี 35 คำสั่ง และมีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D) ขนาด 10 บิตอยู่ภายในด้วย PIC16F819 คุณสมบัติหลัก ๆ ของ PIC16F819 เช่น มีคำสั่งที่เป็นภาษาแอสเซมบลี 35 คำสั่ง ใช้เวลาทำงาน 1-2 ไซเคิล ต่อ 1 คำสั่ง ทำงานได้ที่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz หน่วยความจำเป็นแบบแฟลช มีขนาด 2 กิโลเวอร์ด มีหน่วยความจำข้อมูล (RAM) ขนาด 256 ไบต์ มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 256 ไบต์ ตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ได้ทั้งหมด 9 แหล่ง ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2VDC – 5.5VDC กระแส sink/source current อยู่ที่ 25 mA มี timer/counter 3 ตัว คือ Timer 0 ขนาด 8 บิต Timer 1 ขนาด 16 บิต และ Timer 2 ขนาด 8 บิต มีโมดูล capture/compare/PWM (pulse width modulation) 1 ชุด มีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D) ขนาด 10 บิต และมี 16 I/O (2 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต) (microchip company ,2554) เป็นต้น วงจรที่ออกแบบแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

การควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F819 ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ 1)รับสัญญาณสั่งงานจากสวิทช์ UP , DOWN และ ENTER 2)ควบคุมการทำงานของวงจร phase locked loop 3)ส่งข้อมูลไปแสดงผลยังจอภาพ LCD และ 4)ตรวจสอบการล็อคความถี่

ผลการวิจัย

จากการออกแบบวงจรเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูป ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และได้นำไปสู่ขั้นตอนการสร้าง ประกอบและติดตั้งเครื่องจนเสร็จสมบูรณ์นั้น ในขั้นตอนของการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องส่งวิทยุดังกล่าว จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบหาประสิทธิภาพกับดัมมี่โหลด (dummy load) และการทดสอบหาประสิทธิภาพกับสายอากาศ (antenna)

ในการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องส่งวิทยุ โดยทั่วไปก่อนทดลองออกอากาศเพื่อแพร่กระจายคลื่นวิทยุออกไปในอากาศนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำเครื่องส่งวิทยุมาทดสอบกับดัมมี่โหลดก่อน ทั้งนี้เพราะว่าดัมมี่โหลดจะเป็นอุปกรณ์จำลองแทนโหลดจริงที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องส่งวิทยุ ดังนั้นการทดสอบเครื่องส่งวิทยุกับดัมมี่โหลด จะสามารถทดสอบผลลัพธ์การทำงานของเครื่องส่งวิทยุที่สามารถวัดค่าพารามิเตอร์เอาต์พุตได้ดีที่สุด เช่น ค่ากำลังงานเอาต์พุต (watt) และค่าอัตราการสะท้อนกลับของคลื่นวิทยุ (VSWR) เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้ทราบถึงสภาวะการทำงานที่ปกติ และผิดปกติของเครื่องส่ง เช่น สภาพอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ตัวเครื่อง ณ เวลาต่างๆ รวมทั้งประสิทธิภาพในการทำงานที่ต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพการทำงานได้กำหนดองค์ประกอบในการทดสอบไว้ดังนี้

1. ความถี่ที่ใช้ทดสอบ 100.25 MHz
2. ค่าแรงดันที่จ่ายให้กับเครื่องส่งวิทยุ 20 Vdc
3. อุณหภูมิในห้องทดสอบประมาณ 27 องศาเซลเซียส
4. ป้อนสัญญาณเสียงสเตอริโอทางอินพุต เพื่อให้เกิดการ modulation ตามปกติ
5. ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องส่งและค่าอิมพีแดนซ์ของดัมมี่โหลดมีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานได้ผลลัพธ์ดังนี้

1. ค่ากำลังเอาต์พุต (RF power) เท่ากับ 15 วัตต์
2. ค่า VSWR เท่ากับ 1:1.1
3. ค่าความถี่ที่วัดได้จากเครื่อง frequency counter แสดงผลที่ 100.25 MHz
4. อุณหภูมิที่แผ่นระบายความร้อนบนแผ่นวงจรเครื่องส่งสูงขึ้นเล็กน้อย

ภายหลังจากที่ได้ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูป ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ กับดัมมี่โหลดแล้ว ทำให้ทราบว่าค่ากำลังเอาต์พุต

ที่ค่า VSWR 1:1.1 มีค่าเท่ากับ 15 วัตต์ ดังนั้นในขั้นตอนการทดสอบกับสายอากาศ จะเป็นการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพจริงในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในรูปแบบต่าง ๆ การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพกับสายอากาศ ผู้วิจัยได้เลือกใช้สายอากาศ 2 แบบในการทดสอบ คือ 1)สายอากาศยากิ (yaki antenna) ขนาด 3 E ออกแบบโดยใช้ซอฟต์แวร์ YAKI-UDA ANTENNAS (VE3SQB ,2554) ในการคำนวณ แล้วนำขนาดต่างๆ ที่ได้ไปสร้างเพื่อใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องส่งวิทยุ และลักษณะการแพร่กระจายคลื่นที่ออกจากสายอากาศ 2)สายอากาศเจโพล (J-pole) ออกแบบโดยใช้ซอฟต์แวร์ J-POLE DESIGN (VE3SQB Antenna Design Program ,2554) ในการคำนวณ แล้วนำขนาดต่างๆ ที่ได้ไปสร้างเพื่อใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องส่งวิทยุ และลักษณะการแพร่กระจายคลื่นที่ออกจากสายอากาศ ผลการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องส่งกับโหลดที่เป็นสายอากาศแบบยากิขนาด 3E ติดตั้งในแนวระนาบที่ระดับความสูง 25 เมตร และใช้สายนำสัญญาณเบอร์ RG58A/Uทดลองส่งออกอากาศด้วยความถี่ 100.25 MHz กำลังส่ง 15 วัตต์ ได้ผลลัพธ์ดังนี้

1. ค่า VSWR เท่ากับ 1:1.2
2. ระยะทางแพร่กระจายคลื่นทิศทางด้านหน้า ประมาณ 8 กิโลเมตร
3. ระยะทางแพร่กระจายคลื่นทิศทางด้านหลัง ประมาณ 3 กิโลเมตร
4. ระยะทางแพร่กระจายคลื่นทิศทางด้านข้าง ประมาณ 5 กิโลเมตร

ผลการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องส่งกับโหลดที่เป็นสายอากาศแบบ J-pole ติดตั้งในแนวตั้งที่ระดับความสูง 25 เมตร และใช้สายนำสัญญาณเบอร์ RG58A/U ทดลองส่งออกอากาศด้วยความถี่ 100.25 MHz กำลังส่ง 15 วัตต์ ได้ผลลัพธ์ดังนี้

1. ค่า VSWR เท่ากับ 1:1.2
2. ระยะทางแพร่กระจายคลื่นทิศทางด้านหน้า ประมาณ 7 กิโลเมตร
3. ระยะทางแพร่กระจายคลื่นทิศทางด้านหลัง ประมาณ 7 กิโลเมตร
4. ระยะทางแพร่กระจายคลื่นทิศทางด้านข้าง ประมาณ 7 กิโลเมตร

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ระบบเฟสล็อคลูปควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์กับดัมมี่โหลด ทำให้ทราบว่าเครื่องส่งให้กำลังเอาต์พุต 15 วัตต์ ที่ระดับแรงดัน 20 โวลต์ และมีเสถียรภาพทางความถี่ที่ดี การทดสอบประสิทธิภาพกับสายอากาศโดยใช้กำลังเอาต์พุต 15 วัตต์ ที่ระดับแรงดัน 20 โวลต์ ความถี่ในการทดสอบ 100.25 MHz เมื่อทดสอบกับสายอากาศยากิขนาด 3E ที่วางในแนวระนาบด้วยระดับความสูง 25 เมตร ระยะทางการแพร่กระจายคลื่นด้านหน้าจะมากกว่าด้านข้าง และด้านหลังตามลำดับ การทดสอบประสิทธิภาพกับสายอากาศ J-pole ที่วางในแนวตั้งด้วยระดับความสูง 25 เมตร ระยะทางการแพร่กระจายคลื่นทุกทิศทางจะเท่ากันเพราะสายอากาศ J-pole เป็นสายอากาศที่แพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวแต่มีอัตราขยายต่ำ การทดสอบกับสายอากาศทั้งสองแบบโดยให้เครื่องส่งทำงานต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหลายชั่วโมงติดต่อกัน สามารถรักษาเสถียรภาพทางความถี่ได้คงที่ รวมทั้งคุณภาพเสียงที่รับฟังทางเครื่องรับก็อยู่ในระดับที่ดีมาก

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูป ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ อันจะทำให้ได้องค์ความรู้และนวัตกรรมที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสาธารณชน และการจัดการความรู้ในการเรียนการสอนแก่นักศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการดำเนินการวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยสามารถที่จะนำแนวความคิดตามหลักการ ไปออกแบบและสร้างเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูป ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้การทำงานของเครื่องส่งมีเสถียรภาพทางความถี่ที่ดี รวมทั้งคุณภาพเสียงที่ผ่านการ modulation ก็อยู่ในระดับดีมาก สอดคล้องกับแนวความคิดในการออกแบบ

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ ระบบเฟสล็อคลูป ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้วิจัยได้ประสบปัญหาบางประการ และมีข้อเสนอแนะในการดำเนินการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้ 1) การจัดหาวัสดุอุปกรณ์บางตัวในพื้นที่ที่ทำการวิจัย ประสบปัญหาเพราะต้องจัดซื้อโดยตรงจากกรุงเทพมหานคร เพราะเป็นวัสดุอุปกรณ์ด้านความถี่สูง รวมทั้งเป็นเบอร์เฉพาะงานที่ไม่มีจำหน่ายทั่วไป 2) การสร้างและทดสอบเครื่อง จะต้องกระทำด้วยความระมัดระวังเป็นอย่างมากเพราะแผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้งานเป็นแบบสองหน้าและมีขนาดลายเส้นที่เล็กมาก 3) จะต้องมีการทดสอบและปรับแต่งสายอากาศให้อิมพีแดนซ์สมดุลก่อนทดสอบกับเครื่องส่งวิทยุ เพราะอาจเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากค่า VSWR สูงเกินได้

รายการอ้างอิง

ธีรวัฒน์ ประกอบผล. (2540). **การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

มนตรี ศิริปรัชญานันท์. (2554). **Phase Locked Loop.** เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 มีนาคม 2554, จาก http://www.te.kmutnb.ac.th/~msn/PLLnew.pdf

วิโรจน์ แก้วจันทร์. (2543). **ทฤษฎีเครื่องส่งวิทยุ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัทสกายบุ๊กส์ จำกัด.

Alldatasheet. (2554). **SAA1057.** Retrieved March 7, 2011, from http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/18929/PHILIPS/SAA1057.html

Dignow C. (2554). **FM Transmitter.** Retrieved March 7, 2011, from http://www.dignow.org/blog/radio-frequency-circuit-32700-94773.html

Microchip Company. (2554). **PIC16F819.** Retrieved March 7, 2011, from http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010227

Pira Company. (2554). **BH1417F.** Retrieved March 7, 2011, from http://www.pira.cz/pdf/bh1417f.pdf

RF Parts Company. (2554). **RD15HVF1.** Retrieved March 7, 2011, from http://www.rfparts.com/pdf_docs/RD/rd15hvf1.pdf.

VE3SQB. (2554). **Antenna Design Program.** Retrieved March 7, 2011, from http://www.ve3sqb.com