



ปีการศึกษา 2532

อุปกรณ์เชื่อมต่อกล้องโทรทัศน์ไร้สาย

โดย

1. นาย วัชเกษรติ อังคเรืองรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช

อาจารย์ กฤดากร กล่อมการ

อุปกรณ์เชื่อมต่อกล้องโทรทัศน์ไร้สาย

WIRELESS VIDEO CAMERA LINK

จัดทำโดย

1. นาย รักษ์เกียรติ อังคเรืองรัตนา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช
อาจารย์ ภูฎากร กล่อมการ

ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2532

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2532

ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้จัดทำ

1. นาย รักเกียรติ อังคเรืองรัตนา

..... (อาจารย์ที่ปรึกษา)
(..... นพ. เอมรพงศ์)

..... (อาจารย์ที่ปรึกษา)
(..... นพ.)

..... (อาจารย์ที่ปรึกษา)
(.....)

สารบัญ

คำนำ

ABSTRACT

บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 คริสตอลออสซิลเลเตอร์	2
2.2 โวลต์เตจคอนโทรลลอสซิลเลเตอร์	5
2.3 วงจรทวีความถี่	6
2.4 หลักการทำงานของเครื่องส่ง	8
2.5 รายละเอียดการทำงานของวงจร	9
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	13
3.1 คำนวณหาระยะทางมากที่สุด	14
3.2 รายละเอียดการพันคอยล์	15
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	18
4.1 การทดสอบและการปรับแต่ง	18
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	20
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	
ภาคผนวก	

อุปกรณ์ เชื่อมต่อกล่องโทรทัศน์ไร้สาย

รักเกียรติ อังคเรืองรัตนา

ผศ.ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช

อาจารย์ กฤดากร กล่อมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้ แสดงการออกแบบและผลการทดลองของอุปกรณ์ เชื่อมต่อกล่องโทรทัศน์ไร้สาย ซึ่งประกอบด้วย เครื่องส่งโทรทัศน์อย่างง่ายๆที่จะให้ความถี่เอาท์พุทสุดท้ายเป็น 549.930 MHz ซึ่งเป็นความถี่คลื่นพาห้สัญญาณภาพช่อง 27 ย่าน UHF

อุปกรณ์ เชื่อมต่อชนิดไร้สายนี้ สามารถส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณภาพไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ย่าน UHF ได้ ตัวอุปกรณ์ต้องการกำลังงานต่ำและสามารถติดตั้งแผ่นวงจรรวมทั้งแบตเตอรี่และสายอากาศลงในกล่องขนาดเล็กได้ง่าย เครื่องส่งเป็นคริสตอล-คอนโทรล (Crystal-Controlled) จึงง่ายในการสร้างและปรับแต่ง รวมทั้งราคาถูกและง่ายในการหาอุปกรณ์อีกด้วย

WIRELESS VIDEO CAMERA LINK

RAKKIAT ANGKHARUENGRATTANA

Asst.Prof. KANOK JENJIRAPONGVECH

KITDAKORN KLOMKARN

ADVISOR

1989

ABSTRACT

This thesis is presented the details of construction and results of wireless video camera link. The wireless video link consists of simple TV transmitter circuit that gives a final output frequency of 549.930 MHz-the video-carrier frequency of UHF channel twenty-seven.

Wireless link can transmit audio and video to any UHF TV channel. Low power requirements allow the transmitter to run on AA penlight batteries, and the PC board can be mounted easily in a small metal case, complete with batteries and a short antenna. The transmitter is crystal-controlled and it's easy to build and align. In addition, it uses low-cost, easy-to-get components.

บทที่ 1

บทนำ

การต่อกล้องโทรทัศน์เข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์นั้น จำเป็นที่จะต้องใช้สายในการนำสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงจากกล้องโทรทัศน์ไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ ทำให้เกิดความยุ่งยากเมื่อมีการเคลื่อนย้ายกล้องโทรทัศน์ไปที่ซึ่งอยู่ห่างไกลจากเครื่องรับโทรทัศน์ หรือในกรณีที่ต้องการส่งสัญญาณจากเครื่องเล่นวีดิโอเทปหนึ่งเครื่องไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ซึ่งมีจำนวนหลายๆเครื่องในเวลาเดียวกัน จึงจำเป็นที่จะต้องหาอุปกรณ์ที่จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณจากกล้องโทรทัศน์หรือเครื่องเล่นวีดิโอเทปไปยังเครื่องรับโทรทัศน์โดยปราศจากสายส่งสัญญาณ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

ในปัจจุบันนี้เราสามารถที่จะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบเป็นวงจรเพื่อทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณภาพจากกล้องโทรทัศน์หรือเครื่องเล่นวีดิโอเทปไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ได้ ซึ่งเราให้ชื่ออุปกรณ์ชนิดนี้ว่า "อุปกรณ์เชื่อมต่อกล้องโทรทัศน์ไร้สาย" (Wireless Video Camera Link)

อุปกรณ์เชื่อมต่อชนิดไร้สายนี้ สามารถที่จะส่งสัญญาณจากกล้องโทรทัศน์ไปยังเครื่องรับได้ โดยจะให้สัญญาณเสียงและภาพมอดูเลทกับคลื่นความถี่ย่าน UHF (Ultra High Frequency) ส่งออกอากาศไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ในย่าน UHF ซึ่งจะช่วยลดปัญหาในการใช้สายส่งสัญญาณยาวๆ และทำให้มีความคล่องตัวสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

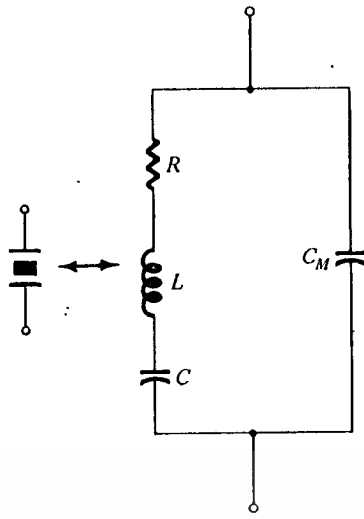
2.1 คริสตอลออสซิลเลเตอร์

คริสตอลออสซิลเลเตอร์เป็นวงจรพื้นฐานที่ใช้เพียโซอิเล็กทริก (Piezo electric crystal) เป็นวงจรรีโซแนนซ์ คริสตอล (ปกติจะใช้ควอทซ์) นี้จะมีความเที่ยงตรงสูงมากที่ความถี่ซึ่งคริสตอลถูกตัดออกมาก่อนใช้งาน คริสตอลออสซิลเลเตอร์นิยมใช้ในวงจรซึ่งต้องการความเที่ยงตรงสูง เช่น เครื่องรับ-เครื่องส่งในระบบสื่อสารต่างๆ เป็นต้น

คุณลักษณะของควอทซ์คริสตอล

ควอทซ์คริสตอลจะแสดงคุณสมบัติก็ต่อเมื่อมีแรงกดทางกลมากระทำที่ผิวหน้าของคริสตอล ทำให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างผิวด้านตรงข้ามของคริสตอล คุณสมบัตินี้ถูกเรียกว่าเพียโซอิเล็กทริกเอฟเฟค (piezoelectric effect) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการจ่ายแรงดันให้กับผิวของตัวคริสตอล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกลกับรูปร่างของคริสตอลขึ้น

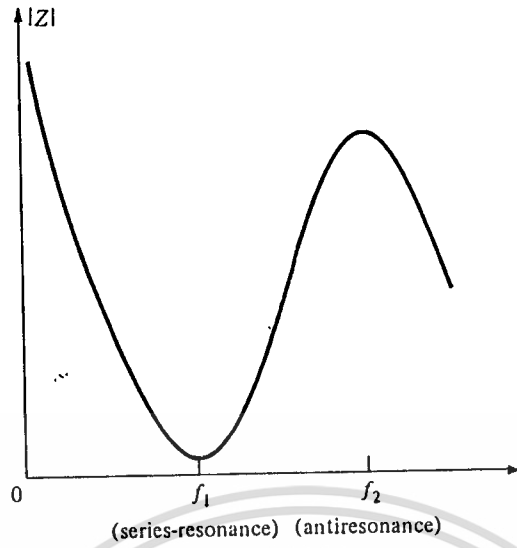
เมื่อเราจ่ายแรงดันไฟสลับ เข้าที่ตัวคริสตอล จะทำให้คริสตอลเกิดการลั่นขึ้น การลั่นนี้จะ เป็นความถี่รีโซแนนซ์ตามธรรมชาติขึ้นอยู่กับตัวคริสตอลนั้น เราสามารถที่จะแสดงการทำงานของคริสตอลโดยวงจรรีโซแนนซ์ทางไฟฟ้าแบบสมมูลย์ (equivalent electrical resonant circuit) ได้ดังรูปที่ 2.1 ตัวเหนี่ยวนำ L และตัวเก็บประจุ C แสดงวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าของสารคริสตอล ในขณะที่ R แสดงวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าของโครงสร้างภายในของตัวคริสตอล ตัวเก็บประจุ C_m ที่ต่อขนานอยู่แสดงค่าความจุเนื่องจากการต่อทางกลของคริสตอล เพราะคริสตอลมีการสูญเสีย น้อยมาก จึงมีค่า Q (Quality factor) สูงมาก ประมาณ 20,000



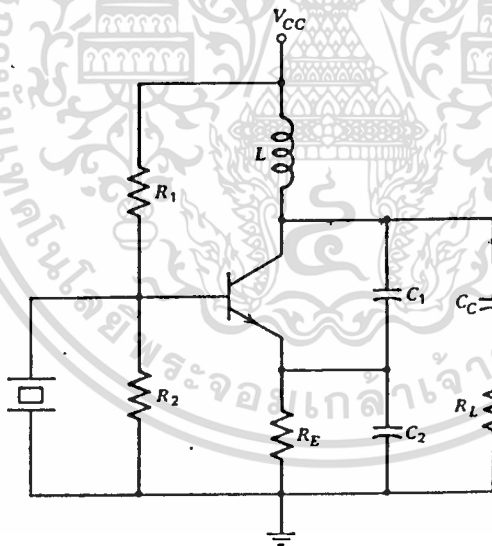
รูปที่ 2.1 แสดงวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของคริสตอล

คริสตอลที่แสดงโดยวงจรสมมูลทางไฟฟ้า ตามรูปที่ 2.1 จะมีความถี่ที่รีโซแนนซ์ได้ 2 ความถี่ ความถี่แรกเกิดขึ้นเมื่อรีแอคแตนซ์ของ RLC อนุกรมเท่ากับกรณีนี้ series-resonant impedance จะต่ำมาก (เท่ากับ R) อีกความถี่หนึ่งเกิดขึ้นที่ความถี่สูงกว่า เมื่อความต้านทานของขาค่า series-resonant เท่ากับความต้านทานของตัวเก็บประจุ C_M ซึ่งเรียกว่ารีโซแนนซ์แบบขนาน (series-resonance) หรือ แอนติรีโซแนนซ์ (antiresonance) ของคริสตอล อิมพีแดนซ์ต่อความถี่ของคริสตอลแสดงดังรูปที่ 2.2 เพื่อที่จะใช้คริสตอลให้ถูกต้อง จึงต้องต่อวงจรให้มีอิมพีแดนซ์ต่ำ สำหรับการทำงานในโหมด ซีรีส์-รีโซแนนซ์ หรือ อิมพีแดนซ์สูงในโหมดการทำงานแบบแอนติรีโซแนนซ์

รูปที่ 2.3 เป็นวงจรโคพิทส์คริสตอลออสซิลเลเตอร์ (Colpitts crystal oscillator) ซึ่งมีคริสตอลต่อเข้าทางด้านขาเบสของทรานซิสเตอร์ โดยขาข้างหนึ่งของคริสตอลต่อลงกราวนด์



รูปที่ 2.2 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ของคริสตอล

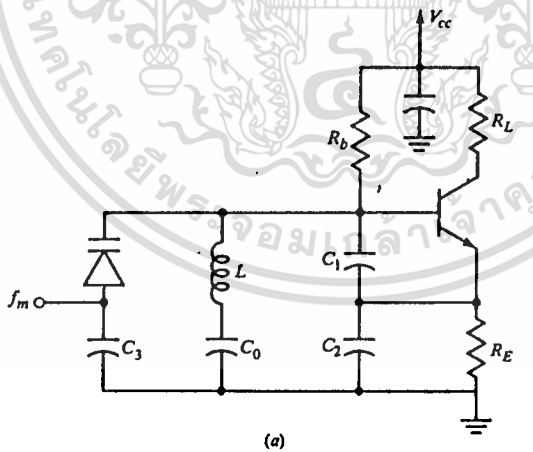


รูปที่ 2.3 โคพพิทส์ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ซีรี่ย์รีโซแนนซ์คริสตอล
ต่อลงกราวที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์

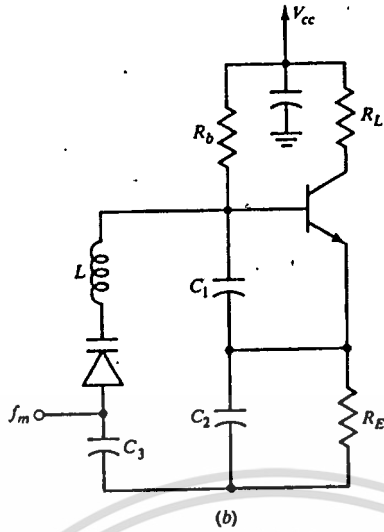
2.2 โวลต์เตจคอนโทรลอสซิลเลเตอร์

ถ้าวารีแคป (Variable Capacitor) ถูกใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์และความถี่ของการออสซิลเลทเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟตรงที่ตกคร่อมตัววารีแคป เราเรียกออสซิลเลเตอร์ชนิดนี้ว่า Voltage-controlled oscillator (VCO) ถ้า VCO มีคริสตัลเป็นตัวควบคุม เราเรียกว่า Voltage-Controlled Crystal Oscillator (VCXO) ซึ่งมีใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น Frequency Modulators, Telemetry, Doppler Radar, Spectrum Analyzers, television Tuners และ Frequency Synthesizers

วงจร VCO ที่ใช้งานอย่างกว้างขวาง แสดงในรูปที่ 2.4a แรงดันมอดูเลตตั้ง f_m จะเปลี่ยนแรงดันวารีแคป และใช้ค่าความจุขนาน L รูปที่ 2.4b เป็น VCO ชนิด Clapp-Houriet Oscillator



รูปที่ 2.4(a) โวลต์เตจคอนโทรลอสซิลเลเตอร์



รูปที่ 2.4(b) Clapp Gouriet Oscillator

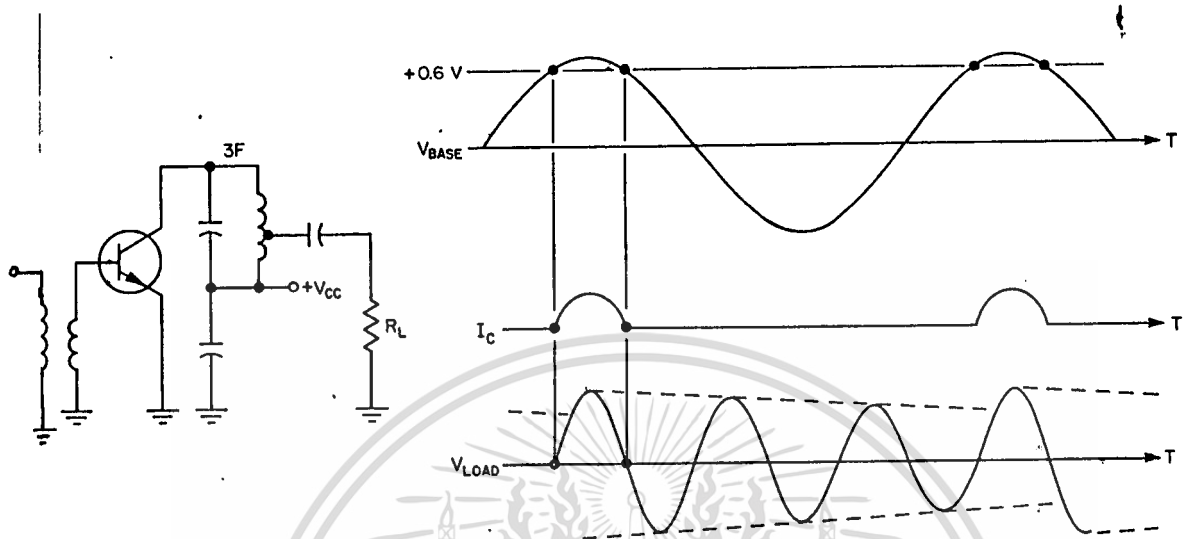
2.3 วงจรทวีความถี่

วงจรทวีความถี่ (Frequency Multipliers) มักจะพบบ่อยในวงจรย่านความถี่ VHF และ UHF เช่น นิยมใช้ในวงจรเครื่องส่ง FM, AM และ CW โดยเฉพาะเมื่อใช้กับคริสตอลคอนโทรลอสซิลเลเตอร์ ซึ่งเราต้องการได้ความถี่ที่สูงกว่าความถี่ที่เราได้จากคริสตอล อุปกรณ์แบบแอนลิเนียร์โดยจะให้กำเนิดฮาร์โมนิคของชายน์เวฟ และแอมพลิจูดของฮาร์โมนิคจะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณที่ขับและคุณลักษณะของอุปกรณ์แบบแอนลิเนียร์นั้นด้วย เราจึงใช้วงจรรีโซแนนซ์ทำการคูณเอาฮาร์โมนิคที่ต้องการออกจากสัญญาณเดิม

วงจรทวีความถี่อย่างง่ายที่สุด คือ แบบไดโอดตัวเดียว (Single Diode) ที่ทำการกรองคลื่นแบฮาร์ฟเวฟของสัญญาณอินพุต และวงจรจะทำการเลือกฮาร์โมนิค ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับฮาร์โมนิคที่เลือก ระดับสัญญาณอินพุต และ ความเร็วในการสวิตช์ของไดโอด การทำงานควรใช้ในการทวีแบบ 2 เท่าหรือ 3 เท่า และความถี่อินพุตต่ำกว่า 75 MHz

รูปที่ 2.5 เป็นวงจรขยายทราซีสเตอร์แบบคลาส C ซึ่งนิยมใช้มากในวงจร

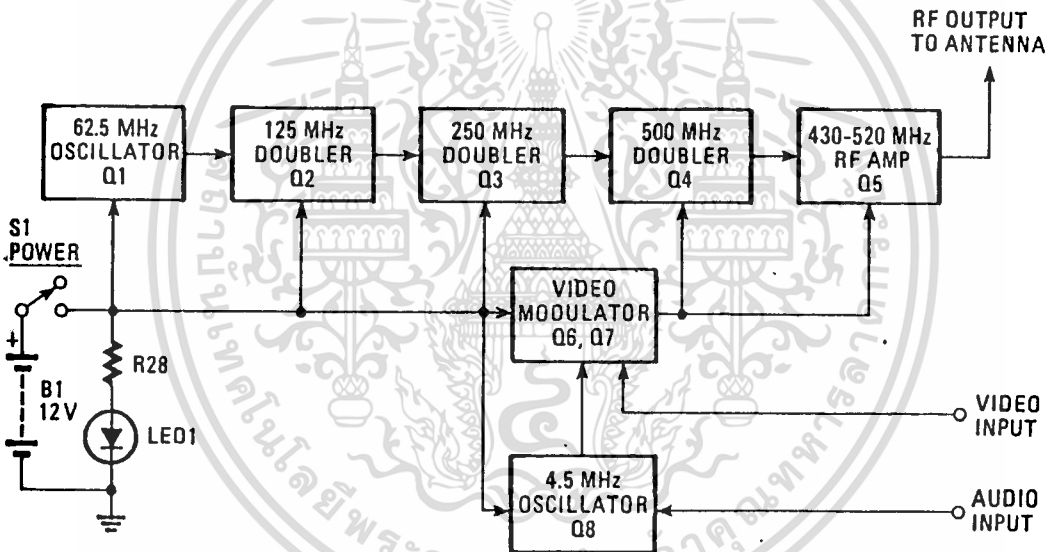
เครื่องส่ง รวมทั้งรูปคลื่นสัญญาณตามจุดต่างๆด้วย



รูปที่ 2.5 วงจรทวีความถี่ 3 เท่า คลาส C
รวมทั้งเวฟฟอร์มเอาต์พุต

2.3 หลักการทำงานของวงจรเครื่องส่ง

บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องส่งวิทยุสาย แสดงดังรูปที่ 2.6 สำหรับภาคแรกเป็นคริสตัลคอนโทรลลอสซิลเลเตอร์ (Crystal-Controlled Oscillator: Q₁) ผลิตความถี่ 60-65 MHz ซึ่งเป็นหนึ่งในแปดของความถี่เอาต์พุตสุดท้าย ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเราใช้คริสตัลความถี่ 60.40625 MHz ก็จะได้ความถี่เอาต์พุตสุดท้ายเท่ากับ 483.25 MHz ซึ่งเป็นความถี่พาหุภาพของช่อง 27 ย่าน UHF (Ultra High Frequency)



รูปที่ 2.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง

ออสซิลเลเตอร์จะผลิตสัญญาณประมาณ +6 dBm (4 มิลลิวัตต์) ซึ่งจะได้รับ การขับจากวงจรทวีความถี่ 2 เท่า (Frequency Doublers) 3 ภาค จึงมี ลักษณะเหมือนกับการที่เราคูณความถี่อิมพุตด้วยแปด เพื่อให้ได้ความถี่เอาต์พุตสุดท้าย (โดยทั่วไป) 500 MHz วงจรดับเบิล-จูน (Double-tuned Circuits) ที่ใช้ ระหว่างภาคแต่ละภาคจะช่วยลดสัญญาณรบกวนซึ่งอาจจะทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ (Interference) ที่ไม่ต้องการได้



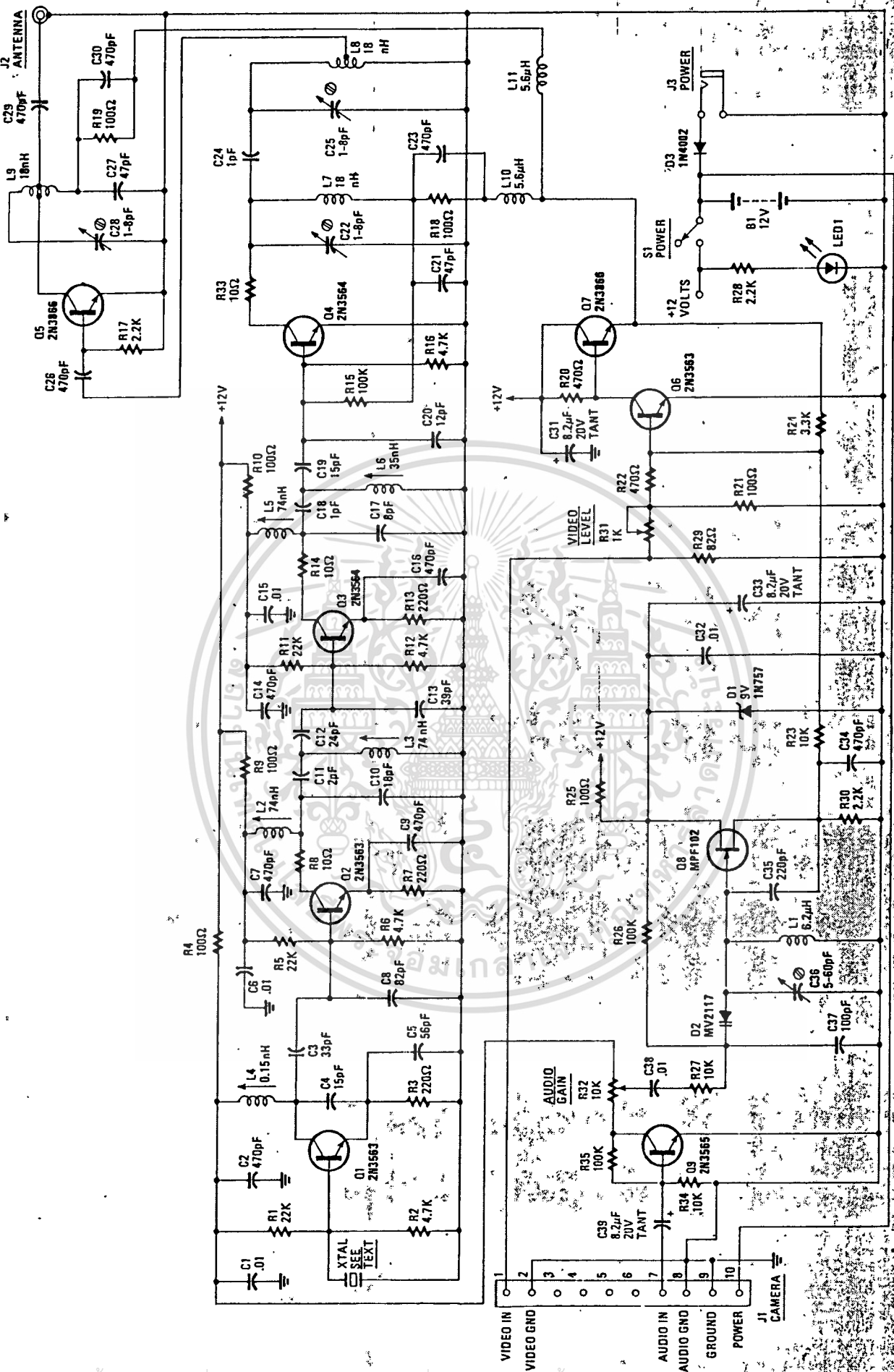
สัญญาณอินพุทภาพจากกล้องโทรทัศน์, VCR, เป็นต้น จะขับโดยวัตต์โอมอดูเลเตอร์ (Q_6 และ Q_7 , ซึ่งรวมสัญญาณภาพเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ +12 โวลต์, วงจรทวีความถี่สุดท้าย (Q_4) และวงจรขยายเอาท์พุท (Q_5) ขบวนการในการมอดูเลชันนี้มีลักษณะคล้ายกับการมอดูเลชันของเครื่องส่งวิทยุ AM โดยทั่วไปแล้ววัตต์โอมอดูเลเตอร์จะมีแบนด์วิท 5 MHz

อินพุทเสียงจะผ่านเข้ามาทาง Q_8 ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับเป็น VCO ทำงานที่ความถี่ 4.5 MHz เพื่อผลิตไปมอดูเลทสำหรับคลื่นพาห์เสียง ที่จริงแล้ว Q_8 ก็คือ Free-running oscillator แต่ความถี่เบี่ยงเบน (Frequency deviation) ± 25 KHz ที่ต้องการนั้น ทำได้ยากมาก ถ้าจะผลิตด้วยคริสตอลออสซิลเลเตอร์ เพราะว่า โดยทั่วไประบบเสียงของโทรทัศน์จะยอมรับความผิดพลาดได้เพียง ± 10 KHz ในคลื่นพาห์เสียงโดยปราศจากการผิดเพี้ยน จึงต้องการวงจรที่มีประสิทธิภาพสูงมาก

2.4 รายละเอียดการทำงานของวงจร

วงจรที่สมบูรณ์ของเครื่องส่ง แสดงในรูปที่ 2.7 เราจะอธิบายการทำงานของแต่ละภาคอย่างละเอียด ทราซิสเตอร์ Q_1 เป็นวงจรคอมมอนเบส (หรือโคพิลส์) ออสซิลเลเตอร์จัดไบอัสโดยตัวต้านทาน R_1 , R_2 และ R_3 ขดลวดเหนี่ยวนำ L_1 และตัวเก็บประจุ C_1 , C_2 , C_3 และ C_4 เป็นตัวจูนที่ความถี่ของคริสตอล

คริสตอลเป็น ซีรีส์-รีโซแนนซ์ที่ความถี่ระหว่าง 60 ถึง 65 MHz ดังนั้นจะปรากฏว่ามีอิมพีแดนซ์ต่ำ (50 โอห์ม หรือน้อยกว่า) ที่ความถี่นั้น เพราะฉะนั้น Q_1 จะมีอัตราขยายเพียงพอสำหรับวงจรขยายแบบเบสรวมที่ความถี่รีโซแนนซ์ของคริสตอลเท่านั้น ด้วยเหตุนี้สัญญาณที่ตกคร่อมบริเวณรอยต่อของ C_4 และ C_5 จะถูกขยายโดย Q_2 เฉพาะสัญญาณที่มีความถี่เดียวกับคริสตอลเท่านั้น ที่ความถี่นี้จะมียัตราการขยายเพียงพอที่จะออสซิลเลท เพราะว่า อัตราส่วนของแรงดันเริ่มต้นระหว่าง C_4 และ C_5 ที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q_1 มีค่ามากกว่า 1



รูปที่ 2.7 วงจรเครื่องส่งที่สวมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 -10-
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุ C_9 และ C_{10} เป็นวงจรจูนซึ่งทำหน้าที่แบ่งแรงดันบ่อนให้ขาเบสของ Q_2 ประมาณ 1 โวลต์ ของสัญญาณที่มาจาก Q_1 ทราซิสเตอร์ Q_2 ทำหน้าที่คล้ายกับตัวขยายแบบโอเวอร์ไดรฟ์ (Overdriven Amplifier) ซึ่งจะลดทอนสัญญาณอินพุทและทำการผลิตฮาร์โมนิคของสัญญาณอินพุทออกมา

ฮาร์โมนิคที่ 2 (120 MHz) เป็นความถี่ที่เราต้องการซึ่งได้จากวงจรจูนประกอบด้วย L_2 และ C_{10} สำหรับ C_{10} นั้นเป็นซีรีส์-รีโซแนนซ์ที่ความถี่นั้นด้วยกระแสรวมที่ขาเบสซึ่งจ่ายโดย C_9 จะทำให้ Q_2 เกิดการออสซิลเลทขึ้นด้วย วงจรดับเบิลจูนซึ่งใช้ C_{11} , C_{12} , C_{13} และ L_3 จะทำการกรองฮาร์โมนิคที่สูงกว่าฮาร์โมนิคที่ 2 และสัญญาณจากคริสตอลด้วย

วงจรที่มีความถี่ภาคต่อไปใช้ Q_3 ซึ่งทำงานคล้ายกับ Q_2 ยกเว้นวงจรจูนเท่านั้นที่มีอินพุทรีโซแนนซ์ประมาณ 125 MHz และเอาท์พุทประมาณ 250 MHz Q_3 จะทำงานเหมือนกับ Q_2 เพียงแต่เปลี่ยนวงจรจูนเท่านั้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่าไม่มีการใช้ตัวเก็บประจุบายพาสที่อิมิตเตอร์และตัวต้านทาน เนื่องจากเป็นการยากที่จะตัวบายพาสที่ดีในย่าน 430-500 MHz ด้วยอุปกรณ์ธรรมดาซึ่งจะต้องมีอิมพีแดนซ์น้อยมากที่อิมิตเตอร์ เพราะจะไปทำการลดอัตราการขยายกำลังของภาคนี้ลง เพราะฉะนั้นอิมิตเตอร์จึงต้องลงกราวด์โดยตรง

Q_4 เป็นตัวขยายกำลัง ซึ่งรับเข้ามาทาง Q_3 และผ่านวงจรดับเบิลจูน VHF ซึ่งประกอบไปด้วย L_7 , L_8 , C_{22} , C_{24} และ C_{25}

ทั้ง Q_4 และ Q_5 ได้รับแหล่งจ่ายแรงดันจากอิมิตเตอร์ของ Q_3 ซึ่งจะจ่ายแรงดัน +4.5 โวลต์ ในขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุทเข้ามายัง Q_4 และ Q_5 แรงดันนี้จะมียุสัญญาณซิงค์-ทอปบวก (Positive sync-tip video) รวมอยู่ด้วย Q_4 และ Q_5 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณภาพซึ่งมีแบนด์วิทมากกว่า 10 MHz ทราซิสเตอร์นี้สามารถที่จะขับโหลด 75 โอห์ม ถึง 10 โวลต์พีคทูพีค (peak-to-peak)

สัญญาณภาพอินพุทซิงค์-ลบ (Negative-sync input video) จากกล้องโทรทัศน์, VCR ฯลฯ เป็นสัญญาณไฟตรงผ่านเข้ามายังรอยต่อของ R_{21} และ R_{22} ตัวเก็บประจุ C_{21} เป็นตัวบายพาสสัญญาณภาพ อัตราการขยายและจุด (Q-point) ปรับโดย R_{24} โปเทนทีอิมิตเตอร์ R_{23} ทำหน้าที่เหมือนตัวควบคุมอัตราการขยาย

สัญญาณภาพ (Video gain control) และ R_{29} เป็นตัวรักษาระดับอินพุทอิมพีแดนซ์ ให้ได้ประมาณ 75 โอห์ม

FET Q_6 ทำหน้าที่เหมือน VCO ชนิดฮาร์ตลีย์ (Harley type) ซึ่งทำงานที่ความถี่ 4.5 MHz C_{96} เป็นตัวปรับจูนความถี่อย่างละเอียด C_{94} และ C_{95} เป็นวงจรบ้อนกลับ D_2 เป็นวาระกเตอร์ไดโอด R_{25} , R_{26} และ ซีเนอร์ไดโอด D_1 เป็นตัวจัดไบอัสให้ D_2 และ Q_6 ประมาณ 9 โวลต์

วาระกเตอร์ D_2 จะเปลี่ยนค่าความถี่ไปตามอัตราเสียงที่เข้ามาซึ่งเป็นเหตุให้ความถี่ในการออสซิลเลทเปลี่ยนแปลง นั่นก็คือ วาระกเตอร์ทำการผสมทางความถี่ (Frequency Modulation) สัญญาณเสียงที่ป้อนเข้าทาง D_1 โดยผ่าน R_{27} , C_{98} และ C_{97} ซึ่งจะทำให้ RF ความถี่ 4.5 MHz ผ่านไปได้ C_{94} ซึ่งมีค่าน้อยๆ (0.01uF) ทำหน้าที่เป็น ปริเอมฟาสิส (Pre-emphasis) สำหรับสัญญาณเสียง Q_6 เป็นตัวขยายสัญญาณเสียงอันดับแรก R_{32} เป็นตัวควบคุมอัตราขยายสัญญาณเสียง สัญญาณ FM 4.5 MHz จาก Q_6 จะถูกรวมกับสัญญาณภาพผ่านทาง R_{29} ระดับของคลื่นพาห้เสียงอาจจะเปลี่ยนแปลงโดยการปรับ R_{29} ถ้าจำเป็น

แหล่งจ่ายไฟที่ใช้ คือ +12 โวลต์ จากแบตเตอรี่ซึ่งประกอบด้วยถ่านชนิดอัลคาไลน์ (Alkaline) ขนาด AA จำนวน 8 ก้อน หรือจะใช้ถ่านชนิด นี-แคด (Nicle-cadmium) ขนาด AA จำนวน 10 ก้อน เราอาจใช้แหล่งจ่ายไฟจากภายนอกโดยผ่านทาง J_9 LED1 แสดงสภาวะการทำงานของเครื่องซึ่งถูกจำกัดกระแสโดย R_{28}

อย่างไรก็ดี แบบด์วิทของสัญญาณภาพจะต้องลดลง ควรเพิ่มตัวเก็บประจุค่าน้อยๆ คร่อม R_{24}

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

3.1 คำนวณหาระยะทางมากที่สุด

สมการต่อไปนี้จะใช้ในการคำนวณหาระยะทางมากที่สุดที่คาดว่าจะได้จากเครื่องส่ง ลอการิทึมทั้งหมดในสมการนี้เป็นฐานสิบ ความถี่ (f) กำหนดเป็น MHz และ ระยะทาง (D) กำหนดเป็นไมล์

โดยทั่วไปเครื่องรับโทรทัศน์จะมีแบนด์วิธ (BW) 4.0 MHz และ Noise factor (NF) 6 dB สำหรับ snow-free picture นั้น ค่า carrier-to-noise ratio (C/N) ควรจะเป็น 40 dB หรือมากกว่า ความไวของเครื่องรับ (Receiver Sensitivity) สามารถที่จะคำนวณเป็น Minimum Desired Signal (MDS):

$$MDS = NF + 10 \log(BW) - 174 + C/N$$

แทนค่าลงในสมการ เราจะได้:

$$\begin{aligned} MDS &= 6 + 10 \log(4 * 10^6) - 174 + 40 \\ &= 62 \text{ dBm} \end{aligned}$$

หรือ

$$0.794 * 10^{-3} * 273 = 216 \text{ มิลลิวัตต์}$$

ดังนั้นเครื่องส่งที่กำลัง +15 dBm และ 2 isotropic antennas ซึ่งจะยอมให้ Path Loss (PL) เท่ากับ 87 dB

$$PL = 37 + 20 \log(D) + 20 \log(f)$$

ย้ายสมการเราจะได้:

$$20 \log(D) = 87 - 37 - 20 \log(f)$$

$$20 \log(D) = 50 - (20 * 2.7)$$

$$\log(D) = -4/20$$

$$= -0.2$$

ดังนั้นระยะทางสูงสุดที่ควรจะได้ คือ:

$$D = 10^{-0.2}$$

$$D = 0.6 \text{ ไมล์}$$

$$= 3,100 \text{ ฟุต}$$

อย่างไรก็ตาม เราไม่สามารถที่จะได้ระยะทางเท่ากับ 3,100 ฟุต จริงๆ เพราะว่าการหักเห (Reflections), การสูญเสียจาก "Dead spots", Terrain loss, Obstacle shielding แต่ระยะทางหลายร้อยฟุตก็เป็นไปได้เมื่อใช้แหล่งจ่ายแรงดัน +12 โวลต์

3.2 รายละเอียดการพันคอยล์

L1 ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 21 SWG พันรอบ Ferrite Toroidal Core เบอร์ FT-50-61 ซึ่งมีสูตรคำนวณดังนี้:

$$N = 1000 \sqrt{\frac{\text{ค่า } L \text{ ที่ต้องการ (mH)}}{A_L \text{ (mH/1000turns)}}$$

โดยที่

N : จำนวนรอบ

L : ค่าอินดักแตนซ์ (mH)

A_L : อินดักแตนซ์ อินเดค (mH/1000turns)

สำหรับค่า A_L ของ Ferrite Toroidal Core เบอร์ FT-50-61 คือ 68.8 mH/1000t ค่าคอยล์ที่ต้องการคือ 6.2 uH

จำนวนรอบที่ต้องการพันจะเท่ากับ:

$$N = 1000 \sqrt{\frac{0.0062}{68.8}}$$

$$= 1000 \sqrt{9.0116 * 10^{-5}}$$

$$= 1000 (9.493 * 10^{-3})$$

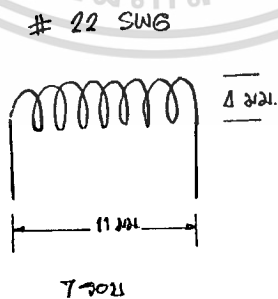
$$= 9.493$$

$$N = 9.5 \text{ รอบ}$$

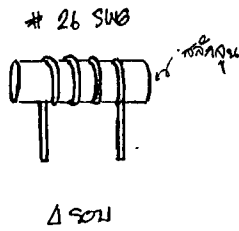
เพราะฉะนั้น L1 ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 21 SWG พันรอบ Ferrite Toroidal Core เบอร์ FT-50-61 จำนวน 9.5 รอบ จะได้ค่า 6.2 uH



L2 และ L3 ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 22 SWG พันจำนวน 7 รอบ เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. ยึดคอยล์ออกประมาณ 11 มม. ค่า 74 uH

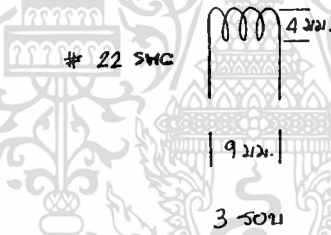


L4 ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 26 SWG พันจำนวน 4 รอบ บนล็กจูนเล็ก ๆ



รูปที่ 3.3 แสดงการพันคอยล์ L4

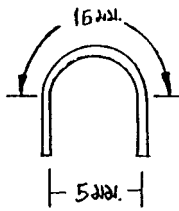
L5 และ L6 ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 22 SWG พันจำนวน 3 รอบ เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. ยึดคอยล์ออกประมาณ 9 มม. ค่า 35 nH



รูปที่ 3.4 แสดงการพันคอยล์ L5 และ L6

L7, L8 และ L9 ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 22 SWG ขาวประมาณ 1.5 ซม. ทำเป็นลูปครึ่งวงกลมรัศมี 5 มม. ค่า 10 nH

22 SWG



รูปที่ 3.5 แสดงการพันคอยล์ L7, L8 และ L9

L₁₀ และ L₁₁ ใช้ RFC (Radio Frequency Chock) มาตรฐาน
ค่า 5.6 uH



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 17-ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

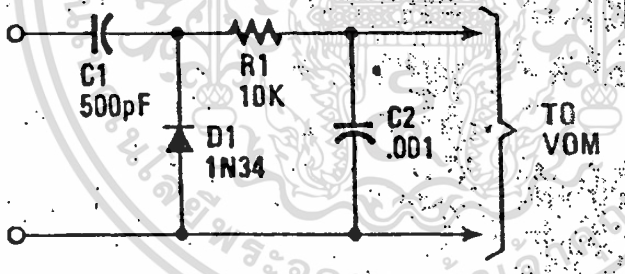
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดสอบและการปรับแต่ง

อุปกรณ์ที่จำเป็นในการปรับแต่งเครื่องส่ง มีดังนี้

1. VOM หรือ DVM ซึ่งมีความไวอย่างน้อย 20 กิโลโอห์ม/โวลต์
2. RF PROBE
3. แหล่งจ่ายสัญญาณภาพ (VCR หรือ กล้องโทรทัศน์)
4. โทรทัศน์
5. 50 โอห์ม ดัมมี่โหลด (Dummy Load)

สำหรับ RF PROBE สร้างง่าย ๆ โดยใช้วงจรดังรูป



ดัมมี่โหลดจะใช้ตัวต้านทาน 51 โอห์ม ขนาด 1/4 วัตต์ แทน

ข้อนไฟเข้าไปยังวงจรและตรวจสอบไฟ +12 โวลต์ที่ R_4 , R_9 , R_{10} และ
ขาคอลเลคเตอร์ของ Q_7 ตรวจสอบไฟ +9 โวลต์ ที่ขาเบสของ Q_6 ตรวจสอบไฟ
1.0 ถึง 1.5 โวลต์ ที่ขาอิมิตเตอร์ของ Q_1 , Q_2 , Q_5 ตรวจสอบไฟ +4.5 โวลต์
ถึง +5.5 โวลต์ ที่ขาอิมิตเตอร์ของ Q_7 และไฟ +4.5 โวลต์ ที่ขาคอลเลคเตอร์
ของ Q_4 และ Q_6 ที่ขาอิมิตเตอร์ของ Q_7 อาจจะมีปรากฏค่าไฟ 4-7 โวลต์ ซึ่งถือ
ว่าปกติ

ถ้าไฟตรงที่จ่ายให้ถูกต้องจึงเริ่มทำการปรับแต่ง ชั้นแรกตรวจแรงดันที่ชาคอล
เลคเตอร์ของ Q_5 เมื่อต่อขาเบสของ Q_5 ลงกราวด์ แรงดันควรเพิ่มมากกว่า 10
โวลท์ ถ้าวงจรมอดูเลเตอร์ทำงาน

ต่อไปต่อ RF PROBE เข้ายังรอยต่อของ C_{23} และ C_{25} ปรับ L_4 จนกระทั่ง
 Q_5 เริ่มที่จะออสซิลเลทซึ่งจะแสดงโดยการอ่านจาก VOM ประมาณ 0.5 ถึง 1.0
โวลท์ จากนั้นต่อ RF PROBE ยังขาเบสของ Q_5 แล้วทำการปรับ L_2 และ L_3
โดยการยึดหรือหัดคอล์ย เพื่อให้ได้ค่าแรงดันสูงที่สุด จากนั้นต่อ RF PROBE เข้าที่
ขาเบสของ Q_4 แล้วปรับ L_5 และ L_6 จนได้ค่าแรงดันสูงที่สุด ทำการปรับ L_2 , L_3
และ L_4 ซ้ำอีกจนกระทั่งได้อ่านค่าแรงดันได้สูงสุด ต่อโวลท์มิเตอร์เขายังขาเบส
ของ Q_5 และปรับทริมเมอร์ C_{22} และ C_{25} เพื่อให้ได้ค่าสูงสุด ปรับ L_5 และ L_6
ซ้ำอีกที

ต่อคัมมีโพลด์เข้าที่ J2 และต่อ RF PROBE คร่อมโพลด์นั้น ปรับ C_{22} , C_{25}
 C_{26} และตำแหน่งที่แทปออกจาก L_5 และ L_6 จนกระทั่งไปสังเกตเห็นการเพิ่มขึ้น
ทางเอาท์พุทอีก

ถ้าภาคใดภาคหนึ่งไม่มีเอาท์พุท สาเหตุอาจจะมาจากการปรับแต่งที่ผิดพลาด
ของภาคก่อนหน้านั้น เราอาจจะลองมีการปรับ L_2 , L_3 , L_5 หรือ L_6 โดยการยึด
หรือหัดคอล์ย

ต่อไปทำการเปิดเครื่องรับโทรทัศน์ และทำการปรับแต่งเพื่อรับเอาท์พุทจาก
เครื่องส่ง เมื่อเครื่องส่งเริ่มทำงานเราจะเห็น blank raster บนจอเครื่องรับ
ต่อสัญญาณภาพไปยังอินพุทแจ็ค (J1) และปรับระดับสัญญาณภาพเพื่อที่จะให้ภาพคงที่

ปรับ C_{26} เพื่อให้เสียงที่คมชัดที่สุด ในขณะที่บ่อนสัญญาณเสียงเข้าทาง C_{26}

เมื่อทำการปรับแต่งเรียบร้อยแล้วหาเสาอากาศสั้น ๆ (ประมาณหนึ่งนิ้ว) ต่อ
แทนตัวต้านทาน 51 โอห์ม เพื่อจำกัดระยะทางส่ง หรือจะใช้สายอากาศวีปขนาด
6 นิ้ว เพื่อเพิ่มระยะทางก็ได้

บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์

จากผลการทดลอง ได้พบปัญหาอยู่หลายประการ เช่น อุปกรณ์บางตัวไม่มีขายในท้องตลาด จึงต้องใช้เบอร์แทน ปัญหาเรื่องเครื่องมือวัดและทดสอบไม่มีประสิทธิภาพ ระยะทางในการส่งนั้นไกลกว่าที่คำนวณเอาไว้มาก อาจเนื่องมาจากการใช้อุปกรณ์แทน การซึ่ลต์ของวงจรอาจไม่ดีเท่าที่ควร

จากปัญหาที่พบจึงต้องมีการพัฒนาเครื่องส่งให้มีประสิทธิภาพต่อไป



กิตติกรรมประกาศ

(ACKNOWLEDGMENT)

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.กนก เจนจันทร์เวช ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำโปรเจกต์ชิ้นนี้ รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ กฤตากร กล่อมการ ที่ได้ให้คำปรึกษาและเสนอแนะรวมทั้งให้เอกสารในการค้นคว้าหาข้อมูลต่างๆในการสร้าง และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำห้อง LAB ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม (เนกเทวี) ที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่างๆ จนโปรเจกต์ชิ้นนี้ได้เสร็จสิ้นลงด้วยดี รวมทั้งอาจารย์ภาคเทคนิคอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำงานเป็นอย่างดี

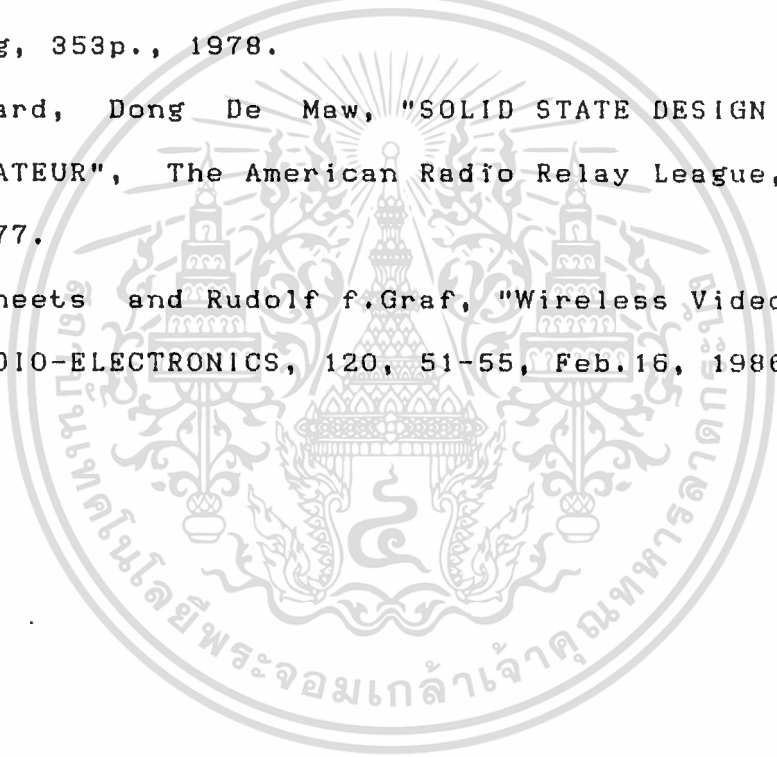
ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Herbert L Krass., Charles W. Bostian and Frederick H Kraab, "SOLID STATE RADIO ENGINEERING", John Wiley & Sons, Inc., 534p., 1980.
2. James K. Hardy, "HIGH FREQUENCY CIRCUIT DESIGN", Reston Publishing, 353p., 1978.
3. Wes Hayward, Dong De Maw, "SOLID STATE DESIGN FOR THE RADIO AMATEUR", The American Radio Relay League, Inc., 256p., 1977.
4. William Sheets and Rudolf f. Graf, "Wireless Video Camera Link", RADIO-ELECTRONICS, 120, 51-55, Feb. 16, 1986



ภาคผนวก
รายการอุปกรณ์

ตัวต้านทาน (ทุกค่าขนาด 1/4 วัตต์, 5% ยกเว้นที่ระบุไว้)

R1	22 K	R19	100
R2	4.7 K	R20	470
R3	220	R21	100
R4	100	R22	470
R5	22 K	R23	10 K
R6	4.7 K	R24	3.3 K
R7	220	R25	100
R8	10	R26	100 K
R9	100	R27	10 K
R10	100	R28	2.2 K
R11	22 K	R29	82
R12	4.7 K	R30	2.2 K
R13	220	R31	1 K (POTENTIOMETER)
R14	10	R32	10 K (POTENTIOMETER)
R15	100 K	R33	10
R16	4.7 K	R34	10 K
R17	2.2 K	R35	100 K
R18	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุ

C1	0.01uF	disc	C21	47 PF	mica
C2	470 PF	disc	C22	1-8 PF	trimmer
C3	33 PF	mica	C23	470 PF	disc
C4	15 PF	mica	C24	1-8 PF	trimmer
C5	56 PF	mica	C25	1-8 PF	trimmer
C6	0.01uF	disc	C26	470 PF	disc
C7	470 PF	disc	C27	47 PF	mica
C8	82 PF	mica	C28	1-8 PF	trimmer
C9	470 PF	disc	C29	470 PF	disc
C10	18 PF	mica	C30	470 PF	disc
C11	2 PF	mica	C31	8.2 uF	tantalum
C12	24 PF	mica	C32	0.01uF	disc
C13	39 PF	mica	C33	8.2 uF	tantalum
C14	470 PF	disc	C34	470 PF	mica
C15	0.01uF	disc	C35	220 PF	mica
C16	470 PF	disc	C36	5-60PF	trimmer
C17	8 PF	mica	C37	100 PF	mica
C18	1 PF	mica	C38	0.01uF	disc
C19	15 PF	mica	C39	8.2 uF	tantalum
C20	12 PF	mica			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซมิคอนดักเตอร์

Q1	2N3563	Q6	2N3563
Q2	2N3563	Q7	2N3866
Q3	2N3563	Q8	MPF102
Q4	2N3564	Q9	2N3565
Q5	2N3866		

D1	1N757
D2	MV2117
D3	1N4002

LED RED

อินดักเตอร์

L1	6.2 μ H	L7	18 nH
L2	74 nH	L8	18 nH
L3	74 nH	L9	18 nH
L4	0.15 μ H	L10	5.6 μ H
L5	35 nH	L11	5.6 μ H
L6	35 nH		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์อื่นๆ

J1 VIDEO CAMERA JACK

J2 BNC JACK

J3 COAXIAL POWER JACK

S1 SPST MINITURE TOGGLE

XTAL CRYSTAL 68.74125 MHz

กล่องอลูมิเนียม



ตาราง แสดงขนาดของเส้นลวดทองแดงเคลือบฉนวนเปรียบเทียบขนาดในระบบ SWG, BWG, และ AWG, ทนาคเป็นระบบเมตริก

ลวดเบอร์	SWG (ระบบอังกฤษ)		BWG (ระบบเบอร์มิงแฮม)		AWG (ระบบอเมริกา)		หมายเหตุ
	หาศูนย์กลาง (มม.)	ท.ท.หน้าตัด (ตร.มม.)	หาศูนย์กลาง (มม.)	ท.ท.หน้าตัด (ตร.มม.)	หาศูนย์กลาง (มม.)	ท.ท.หน้าตัด (ตร.มม.)	
0,000,000	12.70	126.7	25.4 มม.=1 นิ้ว
000,000	11.79	109.1	...	...	...	...
00,000	10.97	94.66	...	...	...	...
0,000	10.16	81.07	11.53	104.40	11.68	107.20	
000	9.46	70.12	10.80	91.52	10.40	85.01	
00	8.84	61.36	9.652	73.17	9.266	67.43	
0	8.23	53.19	8.636	58.58	8.252	53.49	
1	7.62	45.60	7.620	45.60	7.348	42.41	
2	7.01	38.60	7.214	40.87	6.543	33.62	
3	6.40	32.18	6.579	33.99	5.827	26.87	
4	5.89	27.27	6.045	28.70	5.189	21.16	
5	5.38	22.77	5.588	24.52	4.620	16.77	
6	4.88	18.68	5.166	24.88	4.115	13.30	
7	4.47	15.70	4.572	16.42	3.665	10.55	
8	4.06	12.97	4.191	13.80	3.264	8.367	
9	3.66	10.51	3.759	11.10	2.906	6.631	
10	3.25	8.302	3.404	9.098	2.588	6.261	
11	2.95	6.818	3.048	7.297	2.304	4.170	
12	2.64	5.481	2.769	6.020	2.050	3.310	
13	1.34	4.289	2.413	4.573	1.830	2.630	
14	2.03	3.243	2.108	3.491	1.630	2.080	
15	1.83	2.627	1.829	2.627	1.450	1.650	
16	1.63	2.076	1.651	2.141	1.290	1.31	
17	1.42	1.589	1.473	1.705	1.150	1.04	
18	1.22	1.168	1.245	1.217	1.020	.823	
19	1.02	.8107	1.067	.8938	.912	.653	
20	.914	.6567	.8890	.6207	.813	.519	
21	.813	.5189	.8128	.5189	.724	.441	
22	.711	.3973	.7112	.3973	.643	.324	
23	.610	.2919	.6350	.3167	.574	.259	
24	.559	.2452	.5588	.2452	.511	.205	
25	.508	.2027	.5080	.2027	.455	.162	
26	.457	.16417	.4572	.1642	.404	.128	
27	.417	.13628	.4064	.1297	.361	.102	
28	.376	.11099	.3556	.09932	.320	.0804	
29	.345	.09372	.3302	.08503	.287	.0647	
30	.316	.07791	.3048	.07297	.254	.0507	
31	.295	.06818	.2540	.05067	.226	.0401	
32	.274	.05910	.2286	.04104	.203	.0324	
33	.264	.05067	.2032	.03243	.180	.0255	
34	.234	.04289	.1778	.02483	.160	.0201	
35	.213	.03575	.1270	.01270	.142	.0159	
36	.193	.02977	.1016	.008107	.127	0.127	
37	.173	.02343	...	...	.114	.0103
38	.152	.01824	...	...	.102	.00811
39	.132	.01310	...	...	.0889	.00621
40	.122	.01168	...	...	.0797	.00487

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.4 การแบ่งช่องความถี่ TV ในระบบต่างๆ

E EUROPEAN STANDARD (CCIR)					
Band I VHF		Channel 61	790 MHz - 797 MHz	Channel A 55	716 MHz - 722 MHz
Channel E 2	47 MHz - 54 MHz	Channel 62	798 MHz - 805 MHz	Channel A 56	722 MHz - 725 MHz
Channel E 3	54 MHz - 61 MHz	Channel 63	806 MHz - 813 MHz	Channel A 57	728 MHz - 734 MHz
Channel E 4	61 MHz - 68 MHz	Channel 64	814 MHz - 821 MHz	Channel A 58	734 MHz - 740 MHz
Band III VHF		Channel 65	822 MHz - 829 MHz	Channel A 59	740 MHz - 746 MHz
Channel E 5	174 MHz - 181 MHz	A AMERICAN STANDARD (FCC)		Channel A 60	746 MHz - 752 MHz
Channel E 6	181 MHz - 188 MHz	Channel A 2	54 MHz - 60 MHz	Channel A 61	752 MHz - 758 MHz
Channel E 7	188 MHz - 195 MHz	Channel A 3	60 MHz - 60 MHz	Channel A 62	758 MHz - 764 MHz
Channel E 8	195 MHz - 202 MHz	Channel A 3	60 MHz - 66 MHz	Channel A 63	764 MHz - 770 MHz
Channel E 9	202 MHz - 209 MHz	Channel A 4	66 MHz - 72 MHz	Channel A 64	770 MHz - 776 MHz
Channel E 10	209 MHz - 216 MHz	Channel A 5	76 MHz - 82 MHz	Channel A 65	776 MHz - 782 MHz
Channel E 11	216 MHz - 223 MHz	Channel A 6	82 MHz - 88 MHz	Channel A 66	782 MHz - 788 MHz
Channel E 12	223 MHz - 230 MHz	Channel A 7	174 MHz - 180 MHz	Channel A 67	788 MHz - 794 MHz
Band IV UHF		Channel A 8	180 MHz - 186 MHz	Channel A 68	794 MHz - 800 MHz
Channel 21	470 MHz - 477 MHz	Channel A 9	186 MHz - 192 MHz	Channel A 69	800 MHz - 806 MHz
Channel 22	478 MHz - 485 MHz	Channel A 10	192 MHz - 197 MHz	Channel A 70	806 MHz - 812 MHz
Channel 23	486 MHz - 493 MHz	Channel A 11	198 MHz - 204 MHz	Channel A 71	812 MHz - 818 MHz
Channel 24	494 MHz - 501 MHz	Channel A 12	204 MHz - 210 MHz	Channel A 72	818 MHz - 824 MHz
Channel 25	502 MHz - 509 MHz	Channel A 13	210 MHz - 216 MHz	Channel A 73	824 MHz - 830 MHz
Channel 26	510 MHz - 517 MHz	Channel A 14	470 MHz - 476 MHz	Channel A 74	830 MHz - 834 MHz
Channel 27	518 MHz - 525 MHz	Channel A 15	476 MHz - 482 MHz	Channel A 75	836 MHz - 841 MHz
Channel 28	526 MHz - 533 MHz	Channel A 16	482 MHz - 488 MHz	Channel A 76	842 MHz - 847 MHz
Channel 29	534 MHz - 541 MHz	Channel A 17	488 MHz - 494 MHz	Channel A 77	848 MHz - 853 MHz
Channel 30	542 MHz - 549 MHz	Channel A 18	494 MHz - 500 MHz	Channel A 78	854 MHz - 859 MHz
Channel 31	550 MHz - 557 MHz	Channel A 19	500 MHz - 506 MHz	Channel A 79	860 MHz - 866 MHz
Channel 32	558 MHz - 565 MHz	Channel A 20	506 MHz - 512 MHz	Channel A 80	866 MHz - 872 MHz
Channel 33	566 MHz - 573 MHz	Channel A 21	512 MHz - 518 MHz	Channel A 81	872 MHz - 878 MHz
Channel 34	574 MHz - 581 MHz	Channel A 22	518 MHz - 524 MHz	Channel A 82	878 MHz - 884 MHz
Channel 35	582 MHz - 589 MHz	Channel A 23	524 MHz - 530 MHz	Channel A 83	884 MHz - 890 MHz
Channel 36	590 MHz - 597 MHz	Channel A 24	530 MHz - 536 MHz		
Channel 37	598 MHz - 605 MHz	Channel A 25	536 MHz - 542 MHz		
Band V UHF		Channel A 26	542 MHz - 548 MHz		
Channel 38	606 MHz - 613 MHz	Channel A 27	548 MHz - 554 MHz		
Channel 39	614 MHz - 621 MHz	Channel A 28	554 MHz - 560 MHz		
Channel 40	622 MHz - 629 MHz	Channel A 29	560 MHz - 566 MHz		
Channel 41	630 MHz - 637 MHz	Channel A 30	566 MHz - 572 MHz		
Channel 42	638 MHz - 645 MHz	Channel A 31	572 MHz - 578 MHz		
Channel 43	646 MHz - 654 MHz	Channel A 32	578 MHz - 584 MHz		
Channel 44	654 MHz - 661 MHz	Channel A 33	584 MHz - 590 MHz		
Channel 45	662 MHz - 669 MHz	Channel A 34	590 MHz - 596 MHz		
Channel 46	670 MHz - 677 MHz	Channel A 35	596 MHz - 602 MHz		
Channel 47	678 MHz - 685 MHz	Channel A 36	602 MHz - 608 MHz		
Channel 48	686 MHz - 693 MHz	Channel A 37	608 MHz - 614 MHz		
Channel 49	694 MHz - 701 MHz	Channel A 38	614 MHz - 620 MHz		
Channel 50	702 MHz - 709 MHz	Channel A 39	620 MHz - 626 MHz		
Channel 51	710 MHz - 717 MHz	Channel A 40	626 MHz - 632 MHz		
Channel 52	718 MHz - 725 MHz	Channel A 41	632 MHz - 638 MHz		
Channel 53	726 MHz - 733 MHz	Channel A 42	638 MHz - 644 MHz		
Channel 54	734 MHz - 741 MHz	Channel A 43	644 MHz - 649 MHz		
Channel 55	742 MHz - 749 MHz	Channel A 44	650 MHz - 656 MHz		
Channel 56	750 MHz - 757 MHz	Channel A 45	656 MHz - 662 MHz		
Channel 57	758 MHz - 765 MHz	Channel A 46	662 MHz - 668 MHz		
Channel 58	766 MHz - 773 MHz	Channel A 47	668 MHz - 674 MHz		
Channel 59	774 MHz - 781 MHz	Channel A 48	674 MHz - 680 MHz		
Channel 60	782 MHz - 789 MHz	Channel A 49	680 MHz - 686 MHz		
		Channel A 50	687 MHz - 692 MHz		
		Channel A 51	692 MHz - 698 MHz		
		Channel A 52	698 MHz - 704 MHz		
		Channel A 53	704 MHz - 710 MHz		
		Channel A 54	710 MHz - 716 MHz		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FERRITE TOROIDAL CORES

MATERIAL '77' (72)						Permeability 2000	
Core\number	O.D. (in)	I.D. (in)	Hgt. (in)	ρ_0 cm	A_{e2} cm ²	V_{e3} cm ³	A_L value mh/1000 t
FT-23 -77	.230	.120	.060	1.34	.021	.029	396
FT-37 -77	.375	.187	.125	2.15	.076	.163	884
FT-50 -77	.500	.281	.188	3.02	.133	.401	1100
FT-50A -77	.500	.312	.250	3.68	.152	.559	1200
FT-50B -77	.500	.312	.500	3.18	.303	.964	2400
FT-82 -77	.825	.516	.250	5.26	.246	1.290	1170
FT-114 -77	1.142	.750	.295	7.42	.375	2.790	1270
FT-114A -77	1.142	.750	.545	7.42	.690	5.130	2340
FT-140 -77	1.400	.900	.500	9.02	.806	7.280	2250
FT-240 -77	2.400	1.400	.500	14.80	1.610	23.900	2740

MATERIAL 'F'						Permeability 3000	
Core\number	O.D. (in)	I.D. (in)	Hgt. (in)	ρ_e cm	A_{e2} cm ²	V_{e3} cm ³	A_L value mh/1000-t
FT-87A -F	.870	.540	.500	5.42	.522	2.830	3624
FT-114 -F	1.142	.748	.295	7.32	.369	2.701	1902
FT-150 -F	1.500	.750	.250	8.30	.581	4.822	2640
FT-150A -F	1.500	.750	.500	8.30	1.110	9.213	5020
FT-193 -F	1.932	1.252	.625	12.310	1.220	16.620	3640
FT-193A -F	1.932	1.252	.750	12.310	1.490	19.940	4460

MATERIAL 'J' (75)						Permeability 5000	
Core\number	O.D. (in)	I.D. (in)	Hgt. (in)	ρ_e cm	A_{e2} cm ²	V_{e3} cm ³	A_L value mh/1000 t
FT-23 -J	.230	.120	.060	1.34	.021	.029	980
FT-37 -J	.375	.187	.125	2.15	.076	.163	2196
FT-50 -J	.500	.281	.188	3.02	.133	.401	2715
FT-50A -J	.500	.312	.250	3.68	.152	.559	2968
FT-82 -J	.825	.516	.250	5.26	.246	1.290	3020
FT-87A -J	.870	.540	.312	5.42	.522	2.829	6040
FT-114 -J	1.142	.750	.295	7.42	.375	2.790	3170
FT-140 -J	1.400	.900	.500	9.02	.806	7.280	6736
FT-150 -J	1.500	.750	.250	8.30	.581	4.822	4400
FT-150A -J	1.500	.750	.500	8.30	1.110	9.213	8365
FT-193 -J	1.932	1.250	.525	12.31	1.220	16.620	6065
FT-240 -J	2.400	1.400	.500	14.80	1.610	23.900	6845

The following equations are useful for calculating the number of turns, the inductance or the A_L value of any Ferrite toroidal core. Each core has been assigned its own A_L value which is found in the preceding Ferrite toroidal core charts.

$$N = 1000 \sqrt{\frac{\text{desired 'L' (mh)}}{A_L \text{ (mh/1000 turns)}}} \quad L \text{ (mh)} = \frac{A_L \times N^2}{1,000,000} \quad A_L \text{ (mh/1000 turns)} = \frac{1,000,000 \times 'L' \text{ (mh)}}{N^2}$$

Number of turns N L = inductance (mh) A_L = inductance index (mh / 1000 turns)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FERRITE TOROIDAL CORES

MATERIAL 43

Core\number	O.D. (in)	I.D. (in)	Hgt (in)	ℓ_e cm	A_e cm ²	Permeability 850 V_{e3} cm ³	A_L value mh/1000 t
T-23 -43	.230	.120	.060	1.34	.021	.029	188
T-37 -43	.375	.187	.125	2.15	.076	.163	420
T-50 -43	.500	.281	.188	3.02	.133	.401	523
T-50A -43	.500	.312	.250	3.68	.152	.559	570
T-50B -43	.500	.312	.500	3.18	.303	.964	1140
T-82 -43	.825	.516	.250	5.26	.246	1.290	557
T-114 -43	1.142	.750	.295	7.42	.375	2.790	603
T-140 -43	1.400	.900	.500	9.02	.806	7.280	953
T-240 -43	2.400	1.40	.500	14.80	1.610	23.900	1239

MATERIAL 61

Core\number	O.D. (in)	I.D. (in)	Hgt (in)	ℓ_e cm	A_e cm ²	Permeability 125 V_{e3} cm ³	A_L value mh/1000 t
T-23 -61	.230	.120	.060	1.34	.021	.029	24.8
T-37 -61	.375	.187	.125	2.15	.076	.163	55.3
T-50 -61	.500	.281	.188	3.02	.133	.401	68.8
T-50A -61	.500	.312	.250	3.68	.152	.559	75.0
T-50B -61	.500	.312	.500	3.18	.303	.964	150.0
T-82 -61	.825	.516	.250	5.26	.246	1.290	73.3
T-114 -61	1.142	.750	.295	7.42	.375	2.790	79.3
T-140 -61	1.142	.750	.545	7.42	.690	5.130	146.0
T-140 -61	1.400	.900	.500	9.02	.806	7.280	140.0
T-240 -61	2.400	1.40	.500	14.80	1.610	23.900	171.0

MATERIAL 63/67

Core\number	O.D. (in)	I.D. (in)	Hgt (in)	ℓ_e cm	A_e cm ²	Permeability 40 V_{e3} cm ³	A_L value mh/1000 t
T-23 -63/67	.230	.120	.060	1.34	.021	.029	7.9
T-37 -63/67	.375	.187	.125	2.15	.076	.163	19.7
T-50 -63/67	.500	.281	.188	3.02	.133	.401	22.0
T-50A -63/67	.500	.312	.250	3.68	.152	.559	24.0
T-50B -63/67	.500	.312	.500	3.18	.303	.964	48.0
T-82 -63/67	.825	.516	.250	5.26	.246	1.290	22.4
T-114 -63/67	1.142	.750	.295	7.42	.375	2.790	25.4
T-140 - /67	1.400	.900	.500	9.02	.806	7.280	45.0
T-240 - /67	2.400	1.400	.500	14.80	1.610	23,900	50.0

MATERIAL 68

Core\number	O.D. (in)	I.D. (in)	Hgt (in)	ℓ_e cm	A_e cm ²	Permeability 20 V_{e3} cm ³	A_L value mh/1000 t
T-23 -68	.230	.120	.060	1.34	.021	.029	4.0
T-37 -68	.375	.187	.125	2.15	.076	.163	8.8
T-50 -68	.500	.281	.188	3.02	.133	.401	11.0
T-50A -68	.500	.312	.250	3.68	.152	.559	12.0
T-82 -68	.825	.516	.250	5.26	.246	1.290	11.7
T-114 -68	1.142	.750	.295	7.42	.375	2.790	12.7