บทที่ 3

การสร้างเอ็นเอ็มอาร์ดีเทคเตอร์แบบโรบินสัน

ในการตรวจวัดสัญญาณ NMR อุปกรณ์สำคัญในการตรวจวัดคือ โรบินสันออสซิลเลเตอร์ โดยเป็นออสซิลเลเตอร์ที่มีเสถียรภาพทางความถี่ดีมาก การปรับเปลี่ยนความถี่เป็นไปได้ง่าย และมีสัญญาณรบกวนต่ำมากๆ ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งเครื่องรับ และเครื่องส่ง (transceiver) โดยจะส่งสัญญาณอาร์เอฟผ่านคอยล์ไปให้แก่นิวเคลียสของสารตัวอย่าง และ เมื่อสารตัวอย่างเกิดเรโซแนนซ์ ก็จะรับสัญญาณความถี่ระดับอาร์เอฟผ่านคอยล์อันเดิมมาขยาย และแสดงเป็นสัญญาณเรโซแนนซ์บนจอออสซิลโลสโคป

เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงการทำงานและการสร้างโรบินสันออสซิลเลเตอร์ จึงขอกล่าวถึงเงื่อนไขที่จำเป็นของวงจรออสซิลเลเตอร์โดยทั่วๆ ไป พร้อมทั้งขั้นตอนการออกแบบวงจรโรบินสันออสซิลเลเตอร์ไว้ดังข้างล่างนี้

วงจรออสซิลเลเตอร์จะประกอบไปด้วยวงจรขยาย และวงจรป้อนกลับ โดยถ้าให้สัญญาณขนาดเล็กๆ ป้อนเข้ามาทางอินพุทของวงจรขยาย สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะกลับเฟสแล้วมาเสริมกับสัญญาณอินพุทของวงจรขยาย ทำให้อินพุทมีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยปกติการเพิ่มขึ้นของสัญญาณจะถูกจำกัดที่ค่าแรงดันค่าหนึ่ง ดังนั้นเสมือนกับเป็นการป้อนกลับด้วยค่าแรงดันคงที่ วงจรจึงให้เอาท์พุทได้ที่ระดับแรงดันเสมือนกับคงที่คือการออสซิลเลตนั่นเอง โดยวงจรออสซิลเลเตอร์ทั่วไปมักจะการออสซิลเลตที่ความถี่เดียว ทั้งนี้เพราะวงจรป้อนกลับเป็นวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์จำพวก R ,L และC ซึ่งมีผลทางด้านเฟสของสัญญาณซึ่งเงื่อนไขที่จำเป็นที่ทำให้เกิดการออสซิลเลตในวงจรได้คือ (Walston and Miller,1963)

1. อุปกรณ์แอกตีฟที่ใช้ เช่น ทรานซิสเตอร์ , FET ฯลฯ จะต้องมีอัตราขยายกำลังที่ความถี่ของการออสซิลเลตและต้องมีอัตราขยายพอเพียงที่สูงกว่าอัตราการสูญเสียของวงจร ซึ่งในการออกแบบวงจรต้องออกแบบให้อัตราขยายวงรอบ (Loop Gain) มีค่ามากกว่า 1 เพื่อทำให้การออสซิลเลตเกิดขึ้นได้อย่าง ต่อเนื่อง เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุปกรณ์ต่างๆ ตามเวลาและอุณหภูมิ

2. เฟสที่เลื่อนไปเนื่องจากอุปกรณ์แอกตีฟและวงจรข่ายป้อนกลับ (Feedback Network)จะต้องทำให้การรวมเฟสที่เลื่อนไปนับเริ่มจากสัญญาณเข้าผ่านวงจรขยาย วงจรป้อนกลับ กลับมาที่ขั้วเข้าจะต้องเท่ากับศูนย์หรือเป็นผลคูณเลขจำนวนเต็มของ 2π

<u>ขั้นตอนการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์</u> (Oscillator Design Procedure)

ขั้นตอนการออกแบบสำหรับวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ มักจะออกแบบโดยใช้พื้นฐานที่เป็นเชิงเส้น แม้ว่าการเกิดออสซิลเลชั่นจะไม่เป็นเชิงเส้นก็ตาม ดังนั้นการคำนวณการออกแบบเบื้องต้นจะเป็นเพียงการประมาณค่าสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะถูกทดลองในการออกแบบ วงจรขั้นสุดท้าย ซึ่งขั้นตอนการออกแบบโดยทั่วไปจะเป็นดังนี้ (Edwin,1967)

1. เลือกทรานซิสเตอร์ที่สามารถมีกำลังขยายพอเพียงและกำลังขาออก (Power Output) ที่ความถี่ใช้งาน โดยศึกษาจากคู่มือแสดงลักษณะเฉพาะสำหรับทรานซิสเตอร์

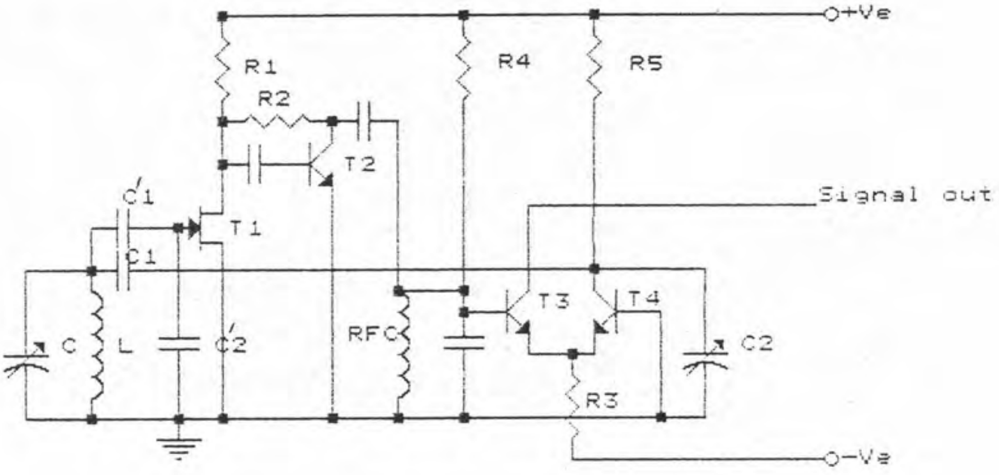
2.เลือกรูปแบบการทำงานของวงจร เช่นในงานวิจัยครั้งนี้ใช้วงจรออสซิลเลเตอร์แบบโรบินสัน

3.ออกแบบวงจรไบแอสในแต่ละจุด

4.ออกแบบวงจรแทงค์เพื่อเลือกความถี่ใช้งาน

5.ออกแบบวงจรป้อนกลับ

<u>หลักการทำงานของโรบินสันออสซิลเลเตอร์</u>



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรพื้นฐานของโรบินสันออสซิลเลเตอร์(Klein,1990)

จากรูปที่ 3.1 ทรานซิสเตอร์ T_1 เป็นฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์(FET : field effect transistor) ชนิด n แชลแนล โดยถ้าให้ g_1 เป็นความนำไฟฟ้า (mutual conductance) ของ T_1 อัตราขยายสัญญาณของ T_1 จะมีค่าเท่ากับ g_1R_2 ทรานซิสเตอร์ T_2 เป็นชนิด npn ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างรอยต่อเบสกับคอลเลคเตอร์ซึ่งขนานอยู่กับ R_2 จะเป็นตัวจำกัดความถี่ เมื่อความถี่มีค่าสูงๆ วงจรขยายเนื่องจากทรานซิสเตอร์ T_1 กับ T_2 มี ความต้านทานขาออกต่ำ โดยสัญญาณจากคอลเลคเตอร์ของ T_2 จะผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิง (coupling) เพื่อไปขับคู่ของทรานซิสเตอร์ T_3 และ T_4 ซึ่งหากมีสัญญาณRF เข้าที่เบสของ T_3 มีแอมปลิจูดประมาณ 100 mV จะมีกระแสไหลผ่าน T_4 เป็นพัลส์เนื่องจากทำงานอยู่ใน คลาส C และ T_3 จะทำงานเฉพาะครึ่งบวกของสัญญาณอินพุทเท่านั้น
โดยอัตราการขยายกระแสขึ้นอยู่กับ R_3

อัตราการขลิปสัญญาณกระแสก่อนการป้อนกลับแบบลบไปสู่วงจรแทงค์ (Tank Circuit)เพื่อทำให้เกิดการออสซิลเลตจะขึ้นกับอัตราส่วนของตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ซึ่งแอมปลิจูดของสัญญาณสอดคล้อง โดยตรงกับค่า Q ของวงจร สัญญาณที่เรานำมาตรวจวัดคือสัญญาณกระแสที่คอลเลคเตอร์ของ

T_3 โดยสัญญาณ RF จะถูกส่งผ่านไปยังวงจรความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Frequency Circuit) ก่อนทำการตรวจวัด ดังนั้นในการเลือกคู่ของ ทรานซิสเตอร์ T_3 และ T_4 ต้องแน่ใจว่าความต่างศักย์ที่เบสกับอีมิตเตอร์ที่กระแสเดียวกัน จะต้องสอดคล้องกันในหน่วยของมิลลิโวลต์และค่าความจุไฟฟ้าระหว่างเบสกับคอลเลคเตอร์จะ ต้องมีค่าต่ำมากๆ เพราะหากมีค่าสูงอาจเป็นทางผ่านของสัญญาณความถี่สูงเสียเองและทรานซิสเตอร์ T_3และ T_4จะต้องมีสมบัติสำคัญอีกสองประการคือ

1. มีสมบัติทางความถี่สูงดี
2. มีสัญญาณรบกวน (1/f) ต่ำมากๆ เพราะจะได้ไม่ปรากฏในการตรวจวัด

ซึ่งทรานซิสเตอร์ที่มีสมบัติตามต้องการที่สามารถหาได้คือ ทรานซิสเตอร์ ชนิด pnp เบอร์ BCY71 โดยมีค่าความถี่ทรานซิชั่น f_T สูงมากกว่า 300 MHz และมีค่าสัญญาณรบกวนต่ำมาก แต่ก็มีข้อจำกัดคือจะมีค่าความจุระหว่างคอลเลคเตอร์กับเบสที่ความถี่ 50 MHz ประมาณ 6 PF ซึ่งทำให้ค่าความต้านทานมีค่าเพียง 500 Ω จึงสามารถขับแรงดันได้สูงสุดประมาณ 2 V ทำให้ทรานซิสเตอร์ T_2 ต้อง สามารถสวิง(swing)ได้ถึง 4 mA โดยการประมาณให้ความต้านทานของวงจรแทงค์มีค่าประมาณ $10^5\Omega$ โดยมีค่ามากกว่า ความต้านทานแหล่งกำเนิด R_s (sourse impedance) ซึ่งทำให้สามารถลดปัญหา อุณหภูมิรบกวน (noise temperature) ของวงจรขยายลงได้ โดยตัวเก็บประจุ C'_1 และ C'_2 ร่วมกับตัว เก็บประจุระหว่างเกตและซอร์สของทรานซิสเตอร์ T_1 สามารถที่จะเปลี่ยนความต้านทานขาเข้าและแรงดัน RF ให้มีค่าลดต่ำลงได้ด้วยอัตราลดลงประมาณ 4 เท่า ดังนั้นจะมี แรงดันขาเข้าป้อนแก่ทรานซิสเตอร์ T_1 เพียง 0.5 V ในขณะที่มีแรงดันตกคร่อมวงจรแทงค์ เท่ากับ 2 V จึงทำให้สามารถที่จะลดสัญญาณรบกวนลงได้ โดยปกติแล้วการออกแบบจะต้องให้อินพุทอิมพิแดนซ์แมทช์ได้พอดีกับค่าอิมพิแดนซ์ของแหล่งกำเนิดสัญญาณตัวเก็บประจุ C_1 และC_1' จึงทำหน้าที่ช่วยในการแมทช์ชิง ทางด้านอินพุท ในทางปฏิบัติถ้าให้ C'_1 มีค่าประมาณ2 PF และ ตัวเก็บประจุแปรค่าได้ C_2 มีค่าสูงสุด 100 PF โดยตัวเก็บประจุ C_1 มีค่า 1 PF ก็จะทำให้วงจรทั้งหมดเป็นไปตามเงื่อนไขที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

สัญญาณรบกวนในวงจรออสซิลเลเตอร์ส่วนใหญ่จะมาจากวงจรจูน(Tune Circuit) จากการป้อนกลับยังวงจรแทงค์ที่คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ T_4โดยเป็นสัญญาณรบกวน ระดับ RF อีกทั้งยังมีสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำจากเครื่องตรวจวัดด้วย โดยทรานซิสเตอร์ T_1 และ T_2 จะเป็นแหล่งขยายสัญญาณรบกวน ดังนั้นเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นที่ทรานซิสเตอร์ T_1 และ T_2 ซึ่งสามารถผสมพาหะ RF ได้ จึงให้ไบแอสตรงแก่ทรานซิสเตอร์ T_1 กับ T_2 ด้วย R_6 และ R_7 ที่มีค่ามากและให้แรงดันไฟตรงระดับ -27 V โดยใช้ตัวเก็บประจุกันสัญญาณ ไฟตรงและเป็นตัวบายพาส (by pass) สัญญาณ

<u>การออกแบบวงจรโรบินสันออสซิลเลเตอร์</u>

การออกแบบวงจรให้ดีเพื่อให้มีสัญญาณรบกวนต่ำมากที่สุด เป็นสิ่งจำเป็นมากและเป็นจุดประสงค์ในการทำวิจัยในครั้งนี้ สำหรับทรานซิสเตอร์ T_1 เลือกใช้ FET ชนิด n แชลแนล ที่ใช้งานย่านความถี่ UHF/VHF เบอร์ BF256A ที่มีอัตราขยาย h_{fe} ประมาณ 350 และ มีค่าความจุไฟฟ้าขาเข้า 5 PF โดยทำงานเป็นวงจรซอร์สร่วมเพื่อเป็นการแมตชิ่งอิมพีแดนซ์กับวงจรแทงค์ (tank circuit) ซึ่งจากรูปที่ 3.1โหลด R_1 มีค่าเท่ากับ 680 Ω ซึ่งจะทำ ให้เดรนของ T_1 มีศักย์ไฟฟ้าประมาณ +15 V โดยสัญญาณ เอาท์พุทจะมีรูปร่างลักษณะเหมือนกับสัญญาณอินพุท แต่จะมีเฟสตรงกันข้าม ทรานซิสเตอร์ T_2 เป็น ชนิด npn ทำจากซิลิกอน เบอร์ MPSH11 โดยถูกออกแบบไว้ใช้งานเป็นคอมมอนเบสออสซิลเลเตอร์ (common base oscillator) ในย่านความถี่ VHF/UHF ซึ่งมีค่าความถี่ทรานซิชัน f_T เท่ากับ 650 MHz และมีค่าความจุระหว่างเบสกับคอลเลคเตอร์ต่ำกว่า 1 PFโดยมีอัตราขยายกระแสตรงสูงมากกว่า 50 และเลือกให้ทำงานที่ 8 mA โดยออกแบบให้เป็นวงจรอีมิตเตอร์ร่วม เพื่อเป็นการแมตชิงอิมพีแดนซ์ของ วงจรและเพื่อที่จะขับทรานซิสเตอร์ T_3, T_4 ซึ่งโหลด R_2 มีค่าประมาณ1 K สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณอินพุทแต่จะมีเฟสตรงข้าม ทรานซิสเตอร์ T_3 และT_4 เป็นชนิด pnp ทำจากซิลิกอนเบอร์ BCY71 โดยต่อเป็นวงจรขยายแยกเฟสแบบเชื่อมต่อที่อีมิตเตอร์ สัญญาณออกที่คอลเลคเตอร์ทั้งสองจะเหมือนกันแต่มีเฟสตรงข้ามกันมี R_3 = 470 Ω เป็นตัวจำกัดกระแสให้มีค่าประมาณ 0.8 mA เท่ากันที่ประมาณ+1.4โวลต์ ในทรานซิสเตอร์แต่ละตัว เมื่อสัญญาณอินพุททางครึ่งบวกผ่านเข้ามาจะทำให้แรงดันของการไบแอสตรงระหว่างเบสกับอีมิตเตอร์ลดลงเป็นผลให้กระแส

คอลเลคเตอร์ลดลง ดังนั้นค่าแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานโหลด 2.2 K ในวงจรที่ได้รับการออกแบบอย่างสมบูรณ์จึงมีค่าลดลง และในทำนองเดียวกันเมื่อสัญญาณอินพุทลดลงมาทางครึ่งลบจะทำให้แรงดันคร่อมโหลดมีค่าสูงขึ้น นั่นคือสัญญาณเอาท์พุทที่เกิดขึ้นจะมีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณอินพุท

ทรานซิสเตอร์ T_4 ดึงสัญญาณ จากทรานซิสเตอร์ T_3 เข้า ทางอีมิตเตอร์และสัญญาณเอาท์พุทจะตกคร่อมโหลด R_5 ที่คอลเลคเตอร์ เมื่อสัญญาณอินพุททางครึ่งลบผ่านเข้ามาจะทำให้แรงดันไบแอสตรงระหว่างเบสอีมิตเตอร์ มีค่าลดลงเป็นผลให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานโหลดมีค่าลดลง ดังนั้นสัญญาณเอาท์พุทจึงมีรูปร่าง เหมือนกับสัญญาณอินพุทและมีเฟสเดียวกันโดยสัญญาณเอาท์พุทจากคอลเลคเตอร์ของ T_4 จะป้อนกลับสู่ทรานซิสเตอร์ T_1 โดยสัญญาณเอาท์พุทจากทรานซิสเตอร์ T_3 จะผ่านไปยังวงจรความถี่ต่ำผ่านและจะได้รับการขยายโดยทรานซิสเตอร์ T_6 และ T_7 (Klein,1990)

จากรูปที่ 3.2 ทรานซิสเตอร์ T_5 เป็นชนิด npn ทำจากซิลิกอน เบอร์ BFY90 ทำหน้าที่เป็น RF บัฟเฟอร์แอมปลิไฟเออร์(buffer amplifier) ทรานซิสเตอร์ T_8 เป็นชนิด npn ทำจากซิลิกอน เบอร์ BC182L และทรานซิสเตอร์ T_9 เป็นชนิด pnp ทำจากซิลิกอน เบอร์ BC212L ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟ (supply filters) ทรานซิสเตอร์ T_6และT_7 เป็นชนิด pnp ทำจากซิลิกอน เบอร์ BCY71 ทำหน้าที่ LF บัฟเฟอร์แอมปลิไฟเออร์ (Bowick,1987)

การป้องกันสัญญาณรบกวนในวงจรโรบินสันออสซิลเลเตอร์

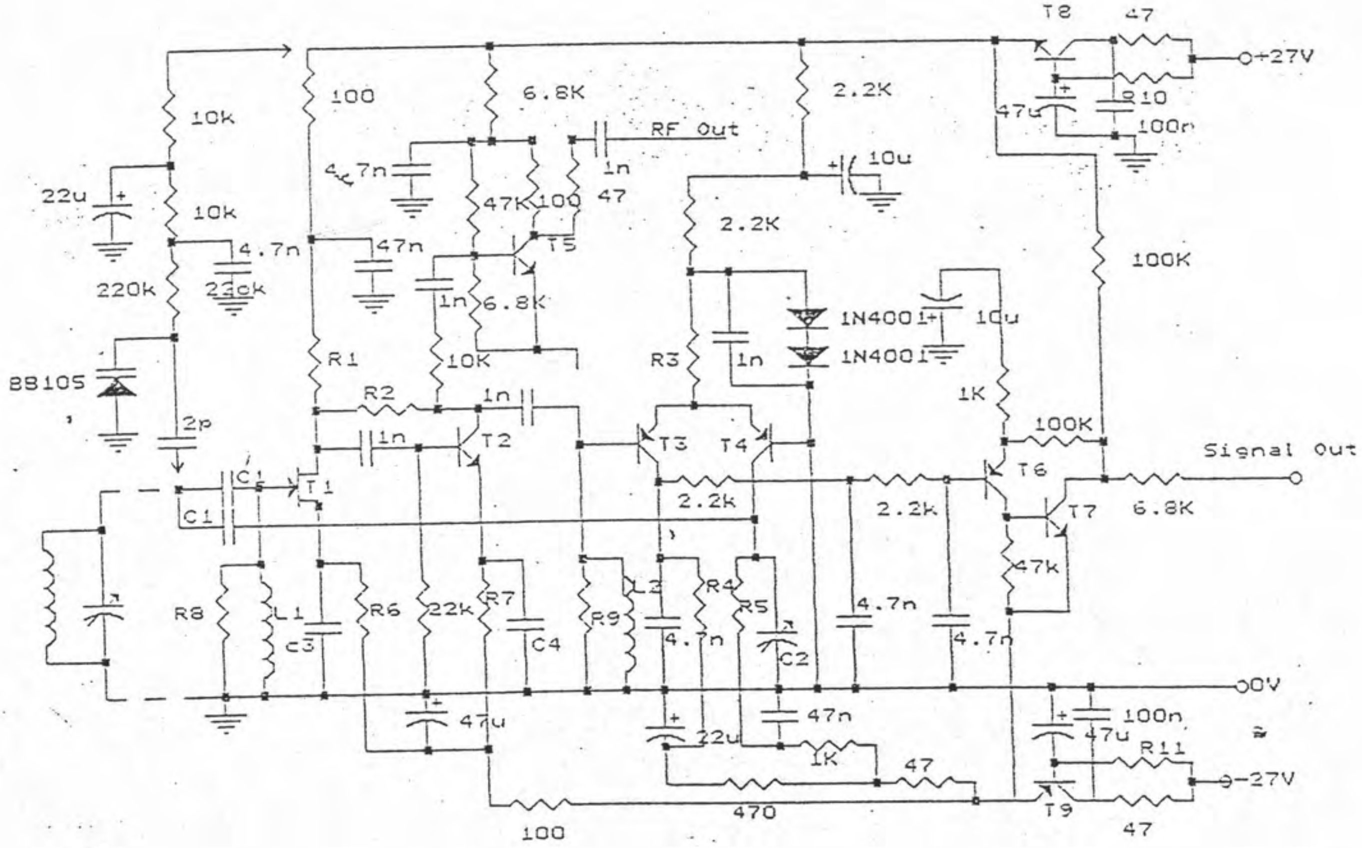
การต่อวงจรออสซิลเลเตอร์ให้ดีขนาดไม่มีสัญญาณรบกวนเลยในทางปฏิบัติทำได้ยากมากแต่เราสามารถที่จะแก้ไขไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวนมากจนเกินไป โดยที่มาของสัญญาณรบกวนสามารถ แบ่งออกอย่างกว้างๆ ได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. สัญญาณรบกวนที่มาจากองค์ประกอบวงจร เช่น ทรานซิสเตอร์ ,ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ เป็นต้น

2. สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการออกแบบวงจรผิดพลาด

<u>การป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากทรานซิสเตอร์และ FET</u>

วิธีป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากทรานซิสเตอร์หรือ FET ทำได้โดยการเลือกใช้ชนิดที่มี



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรโรบินสันออสซิลเลเตอร์ที่ได้รับการออกแบบอย่างสมบูรณ์(Robinson,1982)

สัญญาณรบกวนต่ำ (low noise) โดยเฉพาะทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในภาคขยายแรกๆ นอกจากนั้นยังยังพิจารณาคุณสมบัติของอัตราขยายกระแส h_{fe} ด้วย โดยภาคขยายแรกจึงไม่ใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีค่า h_{fe} สูงมากๆ เพราะอาจเกิดการออสซิลเลตที่ไม่ต้องการขึ้นได้ โดยทั่วไปมักเลือกใช้ประมาณ 200-300 ก็พอแล้ว และค่า h_{fe}นี้ควรจะมีค่าคงที่อยู่เสมอไม่ว่ากระแสคอลเลคเตอร์จะเพิ่มขนาดขึ้นเท่าใดก็ตาม และเลือก ใช้ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในภาคขยายแรกที่มีความเป็นเชิงเส้นของ h_{fe} ดีที่สุด เหตุผลก็คือวงจรออสซิลเลเตอร์ได้ออกแบบให้มีการป้อนกลับจากภาคสุดท้ายมายังภาคแรก โดยเพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพในการทำงานและลดสัญญาณรบกวนด้วยการป้อนกลับจะเป็นไปได้ดีถ้าอัตราขยายเดิมของวงจรขยายก่อนการป้อนกลับมีค่าสูงพอ ถ้า h_{fe}ของทรานซิสเตอร์ไม่คงที่โดยขึ้นกับกระแสคอลเลคเตอร์ เมื่อ h_{fe} มีค่าต่ำอัตราขยายวงจรก็ต่ำด้วย ทำให้การป้อนกลับไม่ได้ผลสัญญาณรบกวนก็จะไม่ลดลงอย่างที่หวังไว้ ซึ่งเมื่อพิจารณาสมบัติ ของทรานซิสเตอร์ตามเหตุผลที่กล่าวมาแล้วนั้นจากคู่มือแล้ว พบว่าทรานซิสเตอร์ที่เหมาะกับวงจรขยาย ภาคแรกในวงจรออสซิลเลเตอร์เป็น FET เบอร์ BF 256A และMPSH 11

การป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวต้านทาน

สัญญาณรบกวนชนิดนี้จะมีขนาดไม่ใหญ่นักเมื่อเทียบกับสัญญาณรบกวนที่เกิดจากทรานซิสเตอร์หรือ FET ขนาดของสัญญาณรบกวนจะคงที่ไม่ขึ้นกับความถี่ แต่จะขึ้นอยู่กับชนิดและค่าของตัวต้านทานดังนั้นในการออกแบบวงจรเพื่อให้มีสัญญาณรบกวนต่ำที่สุดจึงเลือกใช้ชนิดของตัวต้านทานที่มีสมบัติทางความถี่ดีที่สุดคือ ความต้านทานชนิดฟิล์มโลหะทั้งหมด

การป้องกันสัญญาณรบบกวนที่เกิดจากตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุที่ใช้มีหลายชนิด ตัวเก็บประจุในวงจรกรองแรงดันไฟจะใช้ชนิด อิเลคโตรไลต์และตัวเก็บประจุคัปปลิงทางด้านสัญญาณเข้าของทรานซิสเตอร์ T_2,T_3,T_5 ซึ่งมีค่า1nFใช้ชนิดโพลีสไตรีน (polystyrene) ที่ตอบสนองต่อความถี่สูงได้ดี และตัวเก็บประจุบายพาสสัญญาณซึ่งมีค่า 47 nFและ

100 nF ใช้ชนิดโพลิเอสเตอร์ (polyester) ที่มีค่าความผิดพลาด 5% ส่วนตัวเก็บประจุที่ป้องกันการเกิดออสซิลลเลตที่ไม่ต้องการมีค่า 4.7 nF ใช้ชนิดเซรามิกซึ่งตัวเก็บประจุเหล่านี้จะไม่เป็นตัวผลิตสัญญาณรบรบกวนโดยตรง แต่การใช้ตัวเก็บประจุผิดชนิดในบางตำแหน่งจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้

การป้องกันสัญญาณรบกวนจากภาคจ่ายไฟ

ใช้วงจรเรกูเลเตอร์ (regurator) ในภาคจ่ายไฟ เพื่อลดริปเปิลของแหล่งจ่ายไฟ โดยสร้างวงจรเรกูเลเตอร์แยกจากวงจรออสซิลเลเตอร์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากหม้อแปลง

การออกแบบลายวงจรพิมพ์

เพื่อที่จะทำให้วงจรออสซิลเลเตอร์มีสัญญาณรบกวนต่ำที่สุด ดังนั้นการเดินลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์จึงได้ออกแบบดังนี้

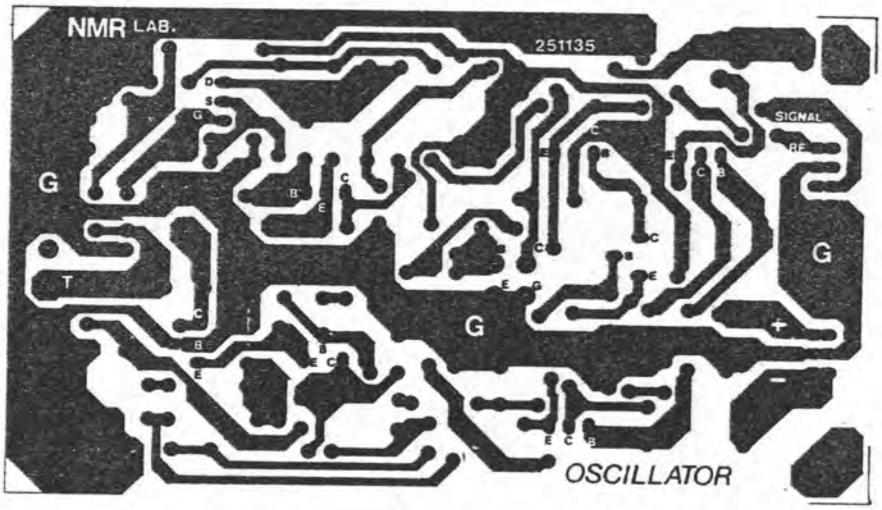
1.ลายวงจรของภาคขยายภาคแรก เนื่องจากภาคขยายภาคแรกทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็น FET ลายวงจรบริเวณนำสัญญาณเข้าจึงล้อมด้วยเส้นกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 จึงจะปลอดภัยจากสัญญาณรบกวนและเนื่องจากความต้านทานขาเข้าของ FET มีค่าสูงมาก ดังนั้นจึงออกแบบให้เส้นวงจรทางด้านขาเข้ามีระยะทางสั้นๆ เพื่อป้องกันสัญญาณจากที่อื่นๆคัปปลิงเข้ามาทางอินพุทของวงจรได้ง่าย ซึ่งทั้งนี้ได้ตระหนักถึงความสำคัญที่ว่าการออกแบบลายวงจรทางด้านขาเข้าที่ดีเป็นการเพิ่มอัตราส่วน s/n ให้ดีขึ้นได้

2.ใช้สายจัมพ์ให้เป็นประโยชน์ ในกรณีที่ต้องการเชื่อมต่อจุดสองจุดที่อยู่ห่างกันเราจะใช้สายจัมพ์เชื่อมต่อ ซึ่งเป็นการดีกว่าที่จะเดินลายวงจรอ้อมไปไกลๆ การเดินลายวงจรให้ยาวโดยเฉพาะสำหรับเส้นสัญญาณจะทำให้มีโอกาสรับสัญญาณรบกวนจากภายนอกได้ง่าย นอกจากนั้นการเดินลายวงจรงอโค้งจะอันตรายมากเพราะบริเวณงอโค้งจะมีองค์ประกอบอินดักแตนซ์ สามารถรับสัญญาณเข้าโดยการเหนี่ยวนำได้ การเกิดอินดักแตนซ์ในเส้นสัญญาณจะทำให้เสถียรภาพของวงจรในย่านความถี่สูงไม่ดี

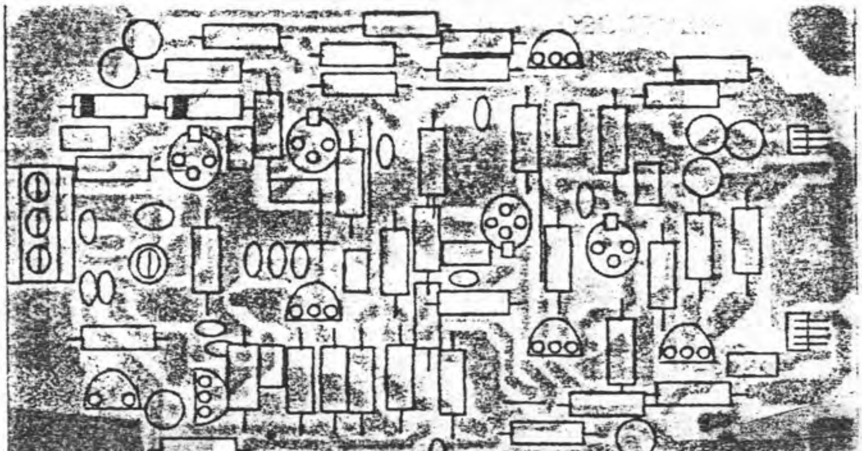
3.ความกว้างของลายวงจร ลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์มีขนาด 2-3มิลลิเมตร ยกเว้นบริเวณ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สายกราวด์ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดตัวเก็บประจุเสมือนบนลายวงจร ซึ่งมีผลทำให้อัตราขยายที่ความถี่สูงไม่ดี และหากเส้นลายวงจรมีขนาดใหญ่จะทำให้การไหลของกระแสบนเส้นวงจรไม่กระจายไปทั่ว โดยจะไหลเฉพาะเส้นทางที่มีค่าความต้านทานน้อยสุดเท่านั้นเป็นเหตุให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้



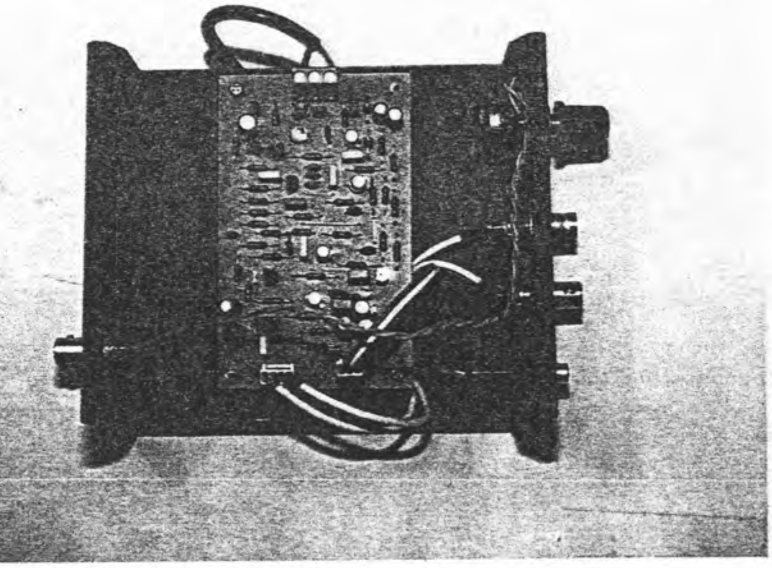
รูปที่ 3.3 แสดงลายวงจรพิมพ์ขนาดเท่าแบบที่ได้รับการออกแบบอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 3.4 แสดงการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์

<u>การสร้าง การทดสอบและการแก้ไขโรบินสันออสซิลเลเตอร์</u>

แผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งประกอบด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์ รวมทั้งวงจร RF และ LF บัฟเฟอร์แอมปลิไฟเออร์และวงจรกรองแรงดันไฟถูกบรรจุอยู่ในกล่องดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงภายในของโรบินสันออสซิลเลเตอร์

เมื่อจ่ายไฟให้กับวงจรออสซิลเลเตอร์และใช้เครื่องนับความถี่หรือออสซิลโลสโคปวัดที่ RFเอาท์พุท จะเห็นรูปคลื่นซายน์และลองปรับที่ตัวเก็บประจุแปรค่าได้ จะสังเกตุเห็นค่าความถี่มีการเปลี่ยนแปลงตามการปรับ ถ้าไม่เป็นไปตามที่กล่าวข้างต้นแสดงว่า RF ออสซิลเลเตอร์มีความผิดปกติในภาค RF โดยมีทรานซิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ T_1,T_2,T_3,T_4 และ T_5 ลองตรวจสอบแก้ไขตามขั้นตอนต่อไปนี้ลองวัดไฟ +27 V ที่จ่ายให้กับวงจรว่ามีหรือไม่ ถ้าไม่มีให้ตรวจสอบวงจรเรกูเลเตอร์ โดยถ้าไม่มีไฟบวกให้ตรวจที่ไอซีเบอร์ 7805 และถ้าไม่มีไฟลบให้ตรวจที่ไอซีเบอร์ 7905 ถ้าวงจรจ่ายไฟปกติ ให้วัดแรงดันที่ขาเดรนของ T_1 หาก วงจรทำงานถูกต้อง จะมีแรงดันประมาณ+15 Vหากไม่มีแรงดัน +15 V แสดงว่า T_1เสีย ถ้า T_1 ปกติ ให้วัดแรงดันที่คอลเลคเตอร์ของ T_2 ต้องมีแรงดันประมาณ+9 V หากปกติให้วัดแรงดันที่

คอลเลคเตอร์ของT_4จะมีแรงดันประมาณ -12 Vและแรงดันที่คอลเลคเตอร์ของ T_3 มีค่าประมาณ -15 V และแรงดันที่คอลเลคเตอร์ของ T_5จะมีค่าประมาณ +7 V ซึ่งหากมีสัญญาณคลื่นรูปซายน์เป็นปกติ ต่อ signal out เข้าออสซิลโลสโคปจะเห็นสัญญาณลักษณะคล้ายสัญญาณรบกวนโดยมีความถี่ประมาณ 50 Hz มีแอมปลิจูดอยู่ในหน่วยมิลลิโวลต์หากไม่มีสัญญาณให้เห็นแสดงว่าภาค LF ผิดปกติต้องตรวจสอบทรานซิสเตอร์ T_6 และ T_7 โดยหากวงจรทำงานปกติคอลเลคเตอร์ของ T_6 และ T_7 จะมีแรงดันประมาณ -23 Vและ -12 V ตามลำดับ และหากตรวจสอบแรงดันของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวแล้วไม่ได้ค่าดังที่กล่าวไว้ แสดงว่าทรานซิสเตอร์ตัวนั้นๆ อาจเสีย

การปรับแต่ง

วงจรโรบินสันออสซิลเลเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้จะเห็นว่าไม่ต้องการการปรับแต่งมากนัก จะมีบ้างก็ตรงค่าของตัวเก็บประจุ ซึ่งตัวเก็บประจุ C'_1 นั้นเราเลือกใช้ค่า 2 pF เพื่อที่จะแมตชิงอิมพีแดนซ์ระหว่างคอยล์กับวงจรขยาย และเพื่อให้มีสัญญาณรบกวนต่ำที่สุด โดยเราประมาณว่าตัวเก็บประจุขาเข้ามีค่าประมาณ 5pF ซึ่งเราสามารถที่จะลดหรือเพิ่มค่าของ C'_1 ได้ เพื่อทำให้ระดับสัญญาณ RF มีค่าเพิ่ม ขึ้นหรือลดลงโดยทั้งนี้จะต้องไม่ให้มีสัญญาณรบกวนในระดับสูงมากนัก การปรับแต่งอีกจุดคือที่ตัวเก็บประจุป้อนกลับ C_1 ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของ C_2 โดยเป็นการเปลี่ยนระดับสัญญาณRF ตามการป้อนกลับ การตั้งค่าของ C_2 ทำได้โดยสังเกตุจากออสซิลโลสโคป

การสร้างวงจรแทงค์

วงจรแทงค์เป็นวงจรเลือกความถี่ของออสซิลเลเตอร์ที่มีหน้าที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ใช้เป็นตัวเลือกความถี่ของการออสซิลเลต
2. เป็นวงจรข่ายป้อนกลับ
3. ใช้เป็นตัวพิจารณาถึงเสถียรภาพของออสซิลเลเตอร์
4. เป็นแฟกเตอร์หลักที่พิจารณาถึงประสิทธิภาพของวงจร

สำหรับวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ได้รับการออกแบบเป็นอย่างดี อุปกรณ์แอกตีฟรอบๆ วงจรแทงค์จะสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่เรโซแนนซ์ โดยเลือกความถี่จากค่าของ L และ C ของวงจรแทงค์ ซึ่งจากวงจรออสซิลเลเตอร์จะเห็นว่าวงจรแทงค์ถูกใช้เป็นวงจรข่ายป้อนกลับที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์แอกตีฟและเสถียรภาพทางความถี่จะพิจารณาได้จากค่า Q_L ของวงจรแทงค์โดยความถี่จะเปลี่ยนไปตามเฟสของสัญญาณที่ได้รับการป้อนกลับที่เป็น 360 องศา พอดี

องค์ประกอบของวงจรแทงค์

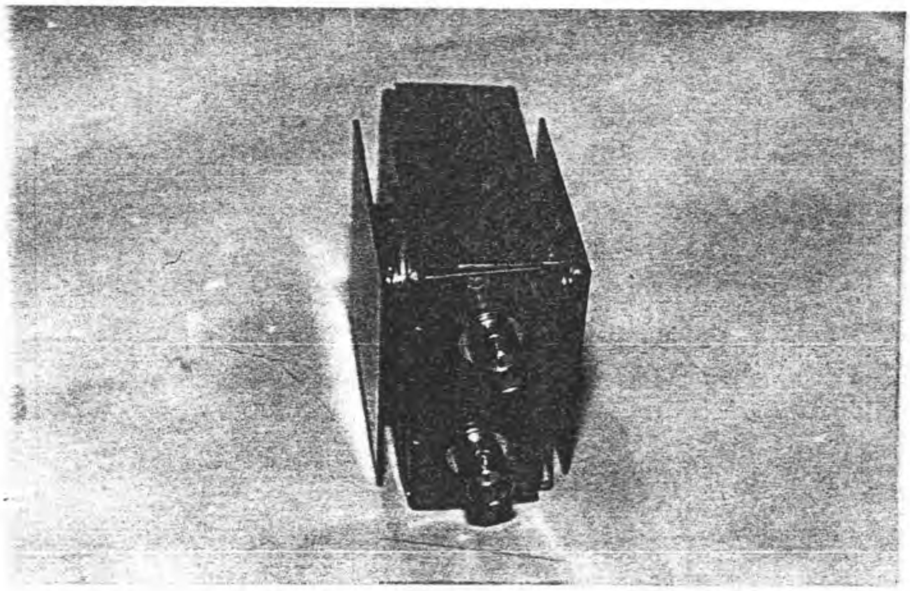
1. ตัวเก็บประจุ ชนิดของตัวเก็บประจุที่นิยมใช้ในวงจร RF ออสซิลเลเตอร์มากที่สุดเป็นชนิดซิลเวอร์ไมก้า แต่เพื่อความสะดวกและเหมาะสม ดังนั้นตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก ซึ่งเป็นที่นิยมรองลงมาจึงถูกเลือกใช้ในงานวิจัยครั้งนี้
2. ขดลวดตัวนำ (inductance)โดยปกติตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรแทงค์ของRFออสซิลเลเตอร์จะมีการสูญเสียต่ำมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียในคอยล์ (coil) ด้วยเหตุผลนี้วงจรเรโซแนนซ์ขณะที่ยังไม่มีโหลดค่า Q ของวงจรจึงขึ้นอยู่กับค่า Q ของคอยล์เป็นส่วนใหญ่

รูปร่างของคอยล์ที่มักพบบ่อยในวงจร RF ออสซิลเลเตอร์ เป็นชนิดโซลินอยด์ชั้นเดียว(single layer solenoid) โดยค่าเหนี่ยวนำพิจารณาจากจำนวนรอบและรูปร่าง ซึ่งความถี่ของการออสซิลเลตสัมพันธ์กับค่าของ Lและ C ดังนี้

$$f = (1/2\pi)\ (LC)^{-1/2}$$

สำหรับคอยล์ที่ใช้ในวงจรโรบินสันออสซิลเลเตอร์นี้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร พันด้วยลวดอาบน้ำยาเบอร์ 20 จำนวน 13 รอบ โดยสร้างให้อยู่ในกล่องที่ทำด้วยแผ่นทองแดงขนาด

6 x 7 x 2.5 เซนติเมตร ตัวเก็บประจุที่ขนานกับคอยล์ใช้ชนิดเซรามิก มีค่าเท่ากับ 50 pF โดยต่อขนานกับตัวเก็บประจุแปรค่าได้ที่มีค่าประมาณ 40-100 PFไว้ที่แผ่นพิมพ์วงจรออสซิลเลเตอร์ ในทางปฏิบัติ สารทดลองที่บรรจุในหลอดทดลองจะอยู่ภายในคอยล์และจะมีขดลวดโมดูเลตพันไว้ที่ด้านข้างกล่องทั้งสอง ด้านดังแสดงในรูปที่ 3.6

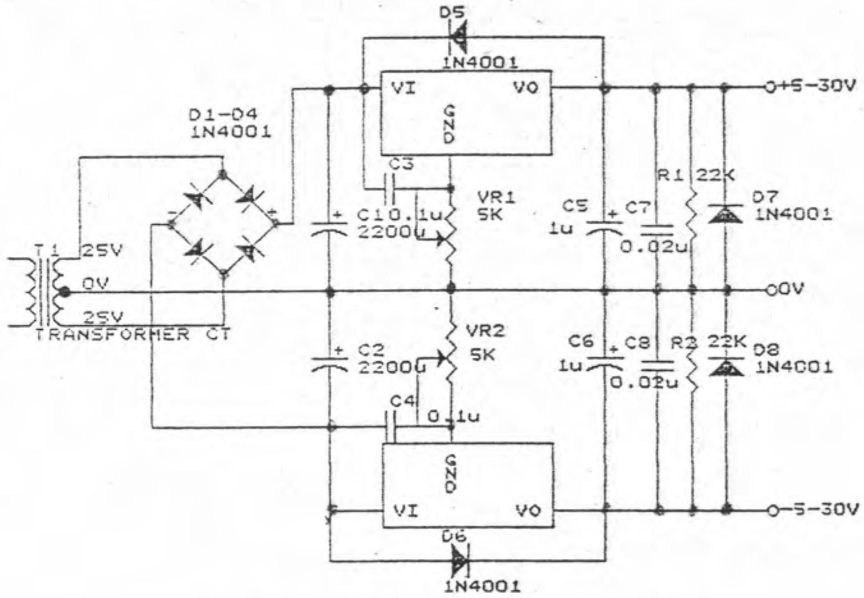


รูปที่ 3.6 แสดงวงจรแทงค์ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์

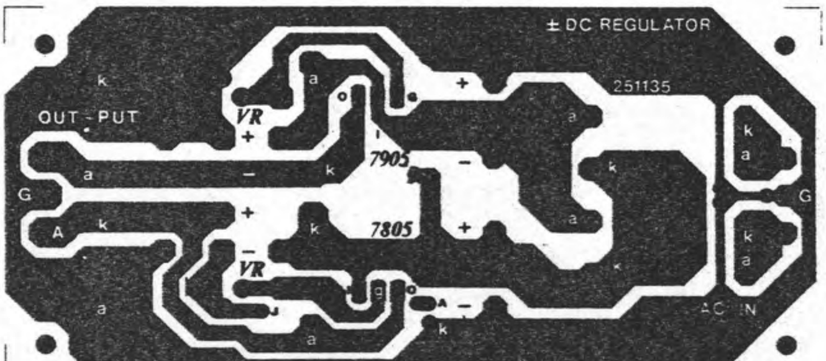
<u>การสร้างวงจรเรกูเลเตอร์</u>

จากรูปที่ 3.7 หม้อแปลง T_1 ทำหน้าที่แปลงแรงดัน 220 โวลต์ ลงเหลือ 24 โวลต์ ไดโอด D_1 ถึง D_4 ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟสลับให้เป็นไฟตรงทั้งบวกและลบ เมื่อเทียบกับจุด 0 โวลต์ C_1 และ C_2 ทำหน้าที่กรองกระแสให้เรียบขึ้น C_3,C_4,C_7และC_8 ทำหน้าที่ป้องกันการออสซิลเลตที่อาจเกิดกับไอซีเรกูเลเตอร์แบบ 3 ขา เบอร์ 7805 และเบอร์7905 ซึ่งจะเรกูเลตให้ไฟตรงออกมา +5และ -5 โวลต์ตามลำดับ เราใส่ VR_1 และ VR_2 ตรงตำแหน่งขา adjust ของ IC_1 และ IC_2 เพื่อปรับแรงดันขาออกให้มีค่าคงที่ +27 V ไดโอด D_5, D_6 ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันจากภายนอกย้อนกลับเข้ามาในตัวไอซีซึ่งอาจทำให้

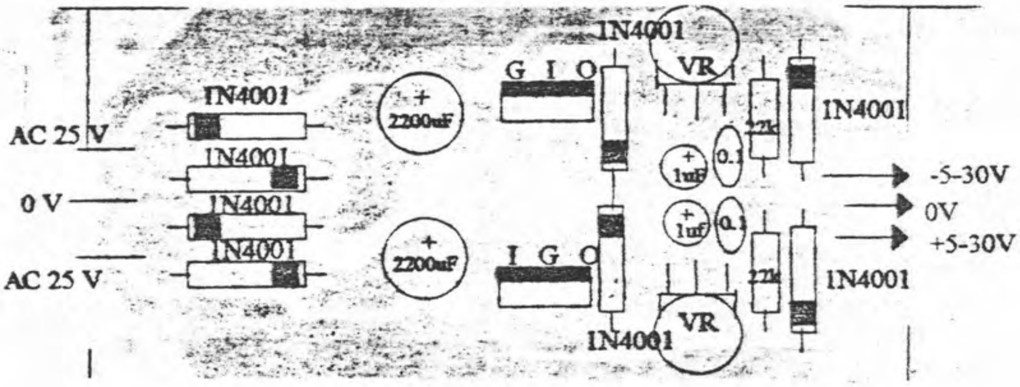
ไอซีเสียได้ เช่นแรงดันจากตัวเก็บประจุขนาดใหญ่จากภายนอก เป็นต้น ซึ่งถ้ามีแรงดันจากภายนอกย้อนเข้ามาก็จะผ่าน D_5, D_6 ไปหมด D_7, D_8 ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ D_5, D_6



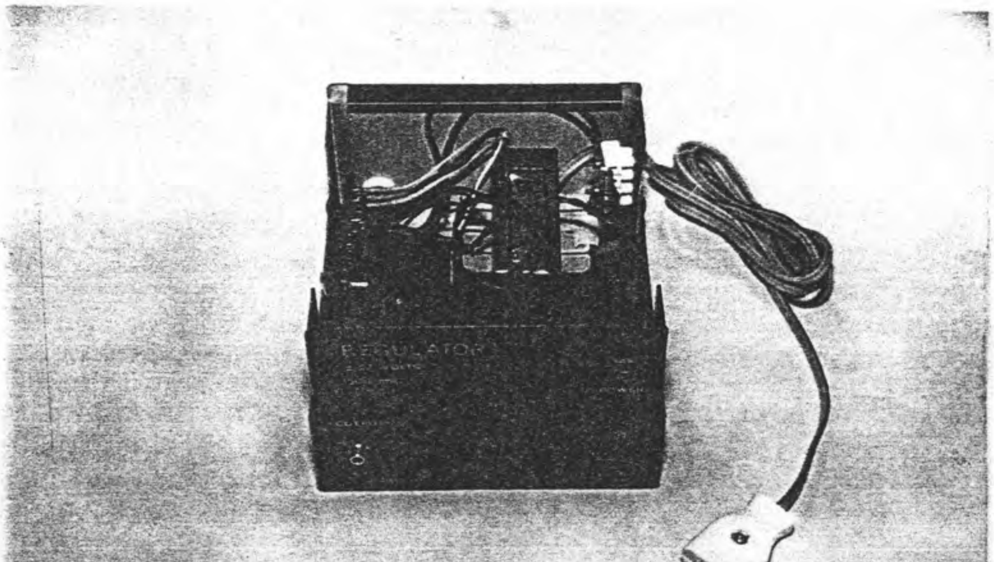
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรเครื่องจ่ายไฟ ±27 V



รูปที่ 3.8 ลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ขนาดเท่าแบบ



รูปที่ 3.9 แสดงการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์



รูปที่ 3.10 แสดงภายในของเครื่องจ่ายไฟตรง ±27 V