บทที่ 3

การออกแบบและทดลองโครงงานหม้อหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง

ผู้ทดลองได้ทำการศึกษาและออกแบบวงจรและทำการต่อวงจรต่าง ๆ มีดังนี้

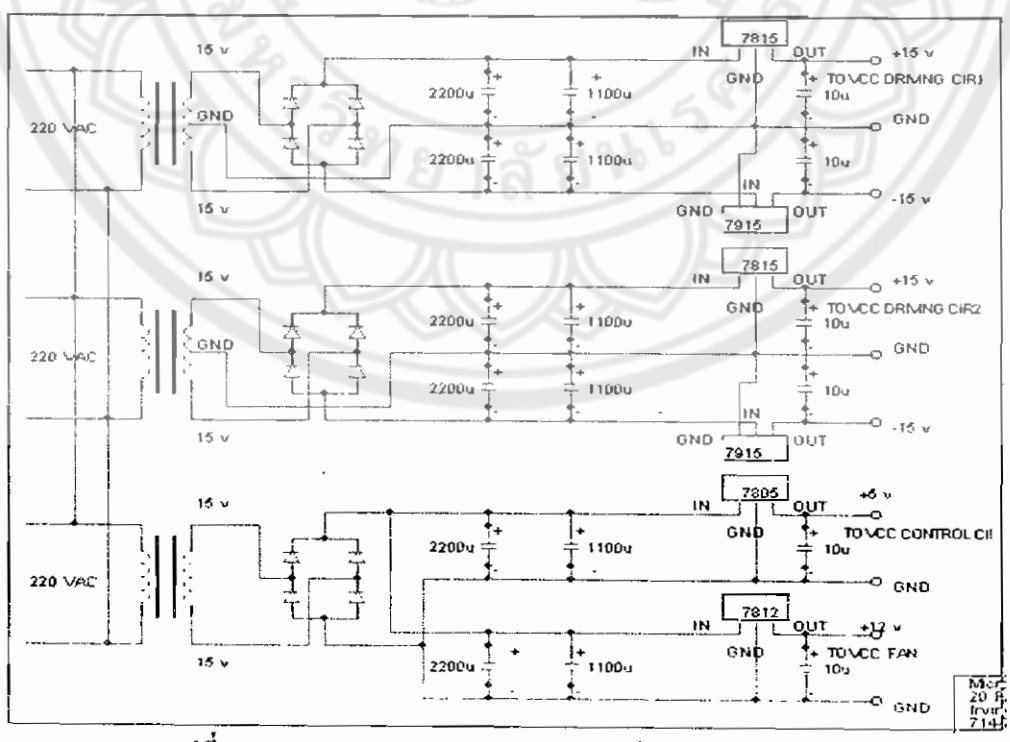
3.1 วงจร DC Supply สำหรับจ่ายให้วงจรคอนโทรล

เป็นวงจรสร้างแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรต่างๆในภาคคอนโทรล ประกอบด้วยวงจรขับเกต 2 ชุด วงจรสร้างพัลส์,สร้างเคลไทม์ และไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับพัดลมระบายความร้อน อีก 1ชุด จึงต้องใช้หม้อแปลง 220v /15v ขนาด 1 แอมป์ 3 ตัว โดยมี Tap กลาง 2 ตัว

IC 7815 , 7812 , 7805 เป็นไอซีสร้างไฟบวกขนาดแรงดัน 15 v , 9 v และ 5 v ตามลำดับ

IC 7915 เป็นไอซีสร้างไฟลบขนาดแรงดัน -15 v

การต่อวงจรสามารถแสดงได้ดังรูป ตัว C ค่าต่างๆที่ต่ออยู่ในวงจรมีหน้าที่ใช้เป็นตัวฟิวเตอร์เพื่อกำจัดRipple



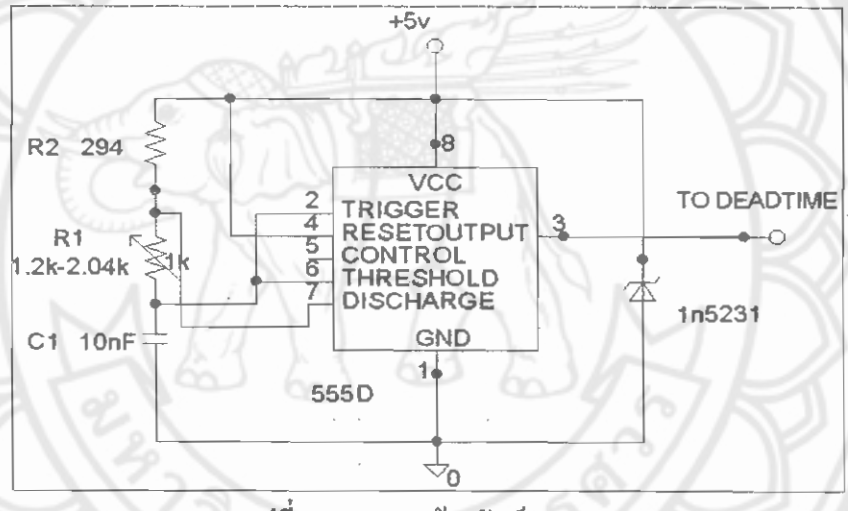
รูปที่ 3.1 วงจร DC Supply สำหรับจ่ายให้กับวงจรคอนโทรล

3.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)

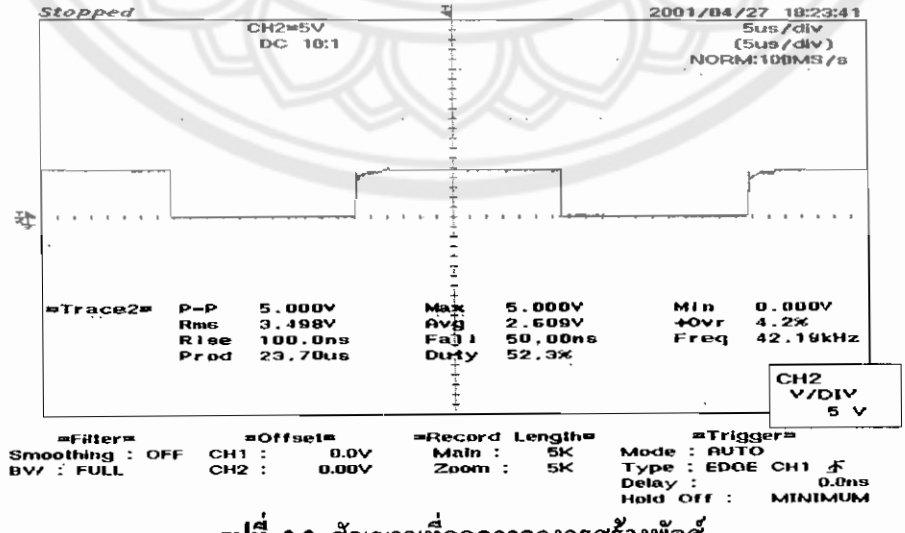
ใช้ไอซี TIMER LM 555 ในการสร้างสัญญาณโดยสามารถสร้างสัญญาณความถี่ได้จากสมการ

$$T = 1.1 \cdot R \cdot C \qquad (3.1)$$

จากการออกแบบวงจรสามารถ Tuning ความถี่ได้ตั้งแต่ย่าน 30 KHz - 45 KHz โดยการปรับค่า R ในการกำหนดดิวตี้ไซเคิล ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้ R Volume 1.2k –2.04k จะได้ค่า Duty cycle = 50 % สร้างจากต่อ R 294 Ω ลงไปในวงจร ซีเนอร์ไดโอด 1N5231 ที่ต่อคร่อมระหว่างไฟเลี้ยงกับ ground ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ ทำให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนและสไปซ์ของสัญญาณได้



รูปที่ 3.2 วงจรสร้างพัลส์

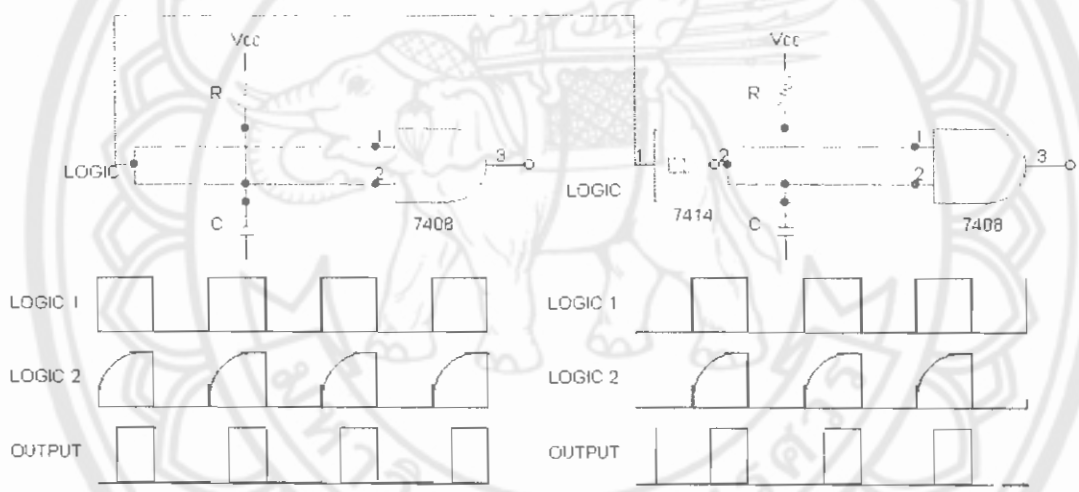


รูปที่ 3.3 สัญญาณที่ออกจากวงจรสร้างพัลส์

3.3 วงจรสร้างเดดไทม์

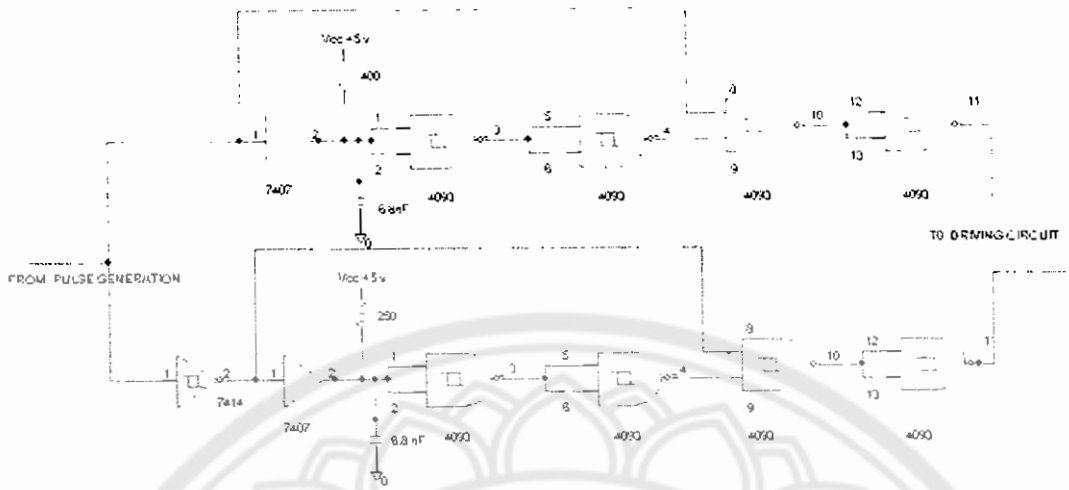
วงจรเดดไทม์เป็นการป้องกันการสวิตชิ่งพร้อมกันของมอสเฟตทั้งสองตัวในระหว่างเวลาที่ตัวหนึ่งเริ่มที่จะ OFF และอีกตัวหนึ่งเริ่มที่จะ ON ซึ่งอาจเกิดการ Short Twoได้ จึงต้องใช้วิธีการขลิบสัญญาณออกซึ่งวงจรนี้เป็นวงจรขลิบหน้าสัญญาณหลักการทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้

- เมื่อมี LOGIC เข้ามาก็จะต่อเชื่อมกันระหว่าง ขา 1 และขา 2 ของ AND GATE แต่ที่ขา 2 จะใช้วงจร R,C Circuit หน่วงสัญญาณ จะหน่วงสัญญาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการออกแบบค่า R และ C และ IC จะแอกทีฟเป็น LOGIC 1 ได้จะใช้แรงดันประมาณ 3.5 v ทำให้เกิดการขลิบสัญญาณขึ้น จากนั้นเมื่อ LOGIC ของขาทั้งสอง AND กันก็จะได้รูปสัญญาณดังรูป และสัญญาณที่จะเข้ามอสเฟสอีกตัวก็ต้องผ่านINVERTER GATE ก่อนที่สัญญาณจะเข้าวงจรเดดไทม์ซึ่งสามารถได้ดังรูป

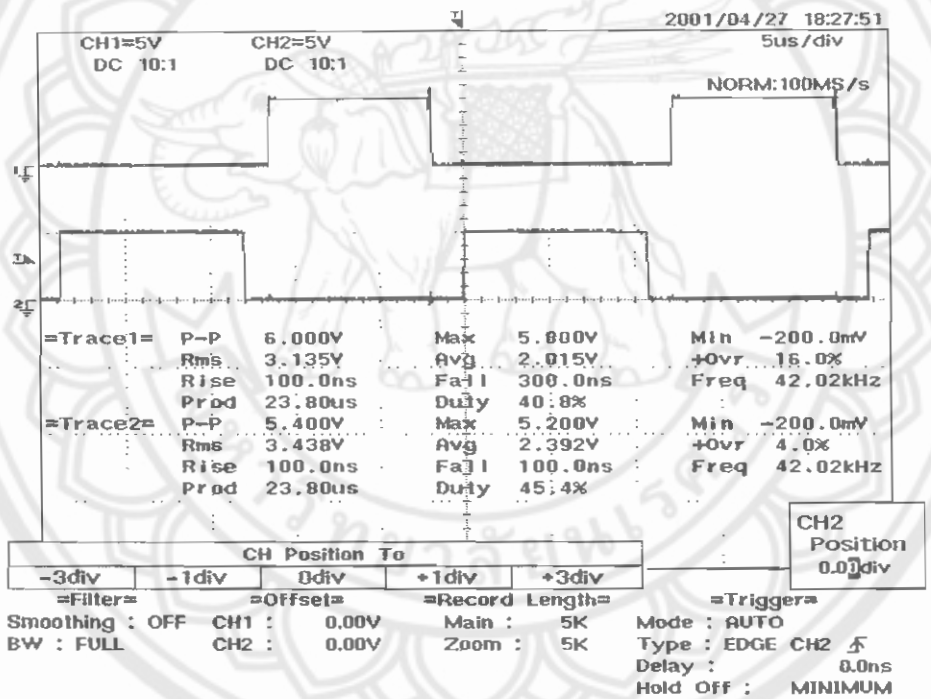


รูปที่ 3.4 สัญญาณก่อนเข้าวงจรเดดไทม์

แต่วงจรที่ผู้ทดลองสร้างจริงเป็นวงจรตามรูปที่ เนื่องจาก IC AND GATE ยังไม่มีบริษัทใดที่ผลิต IC ตัวนี้จึงต้องใช้ IC NAND GATE มาทำการ NAND กันสองครั้งเพื่อให้ได้ AND จึงใช้ IC เบอร์4093 เป็น IC ชนิดที่มี Schmitt-Trigger คือมีการกำจัดสัญญาณรบกวนออก มี GATE 4 ตัวอยู่ภายในทำการต่อวงจรตามรูป ดังนั้นจะต้องใช้ IC 4093 จำนวน 2 ตัว IC 7407 เป็นบัฟเฟอร์ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่มาจากวงจร Pulse Generator ใช้ค่า R = 400 Ω , 250 Ω และค่า C = 6.8 nF ดังรูป จะได้ค่าเดดไทม์เท่ากับ 2 µs เมื่อสัญญาณผ่านวงจรเดดไทม์แล้วก็จะไปที่วงจรขับเกต(Driving Circuit) ต่อไป



รูปที่ 3.5 วงจรเดดไทม์



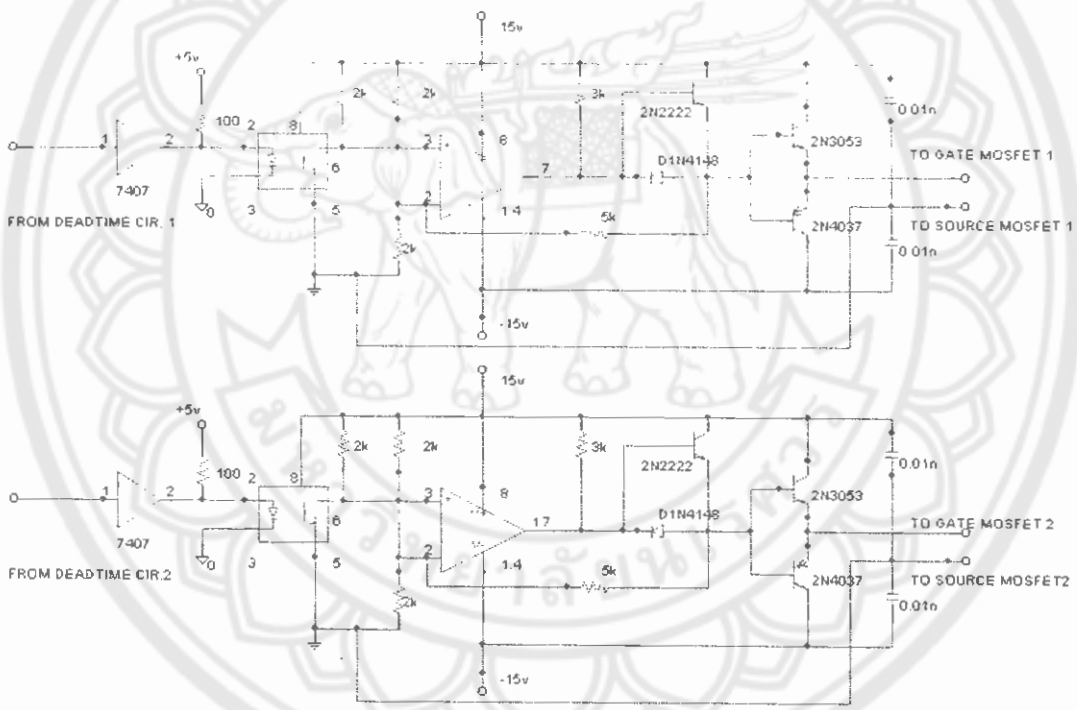
รูปที่ 3.6 สัญญาณที่ออกจากวงจรเดดไทม์ มีค่าเดดไทม์เท่ากับ 2 μs

3.4 วงจรขับเกต(Driving Circuit)

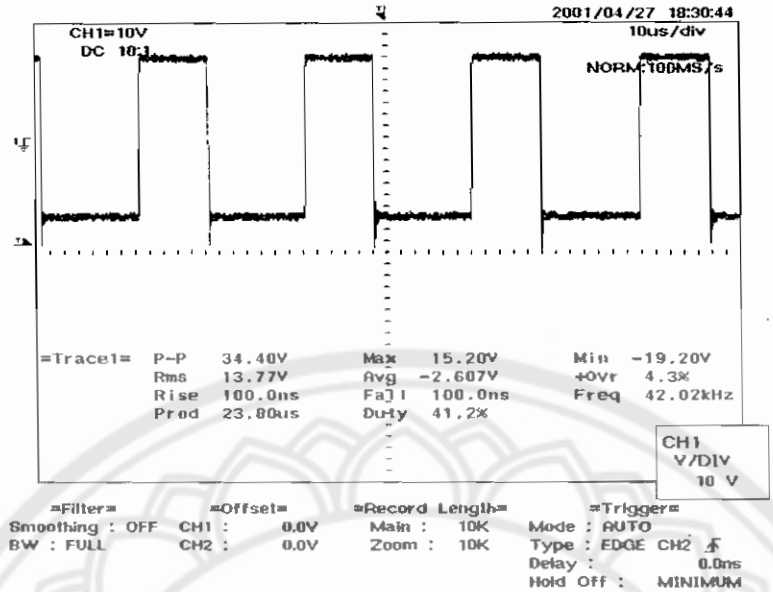
การที่จะขับมอสเฟตให้สามารถแอกทีฟได้นั้นต้องใช้แรงดันที่ระดับหนึ่งคือประมาณ 10 v ขึ้นไปและในสภาวะที่มีโหลดสูงด้วยแล้วนั้นจำเป็นต้องใช้กระแสในการขับที่ขาเกตด้วยจากรูปวงจร Half Bridge Inverter ใช้มอสเฟตสองตัวสลับกันสวิตชิ่ง จากรูปวงจรต้องแยก ground ระหว่างขา Sourse ของมอสเฟตทั้งสองตัวเพราะถ้าใช้ ground ร่วมกันแล้วทำให้เกิดการ Short ผ่านมอสเฟต

ตัวล่างทำให้มอสเฟตตัวล่างทำงานตลอดถึงแม้จะมีการสวิตชิ่งเป็นผลทำให้เกิดการ Short Two หลักการทำงานของวงจรขับเกตจะมีการทำงานดังนี้

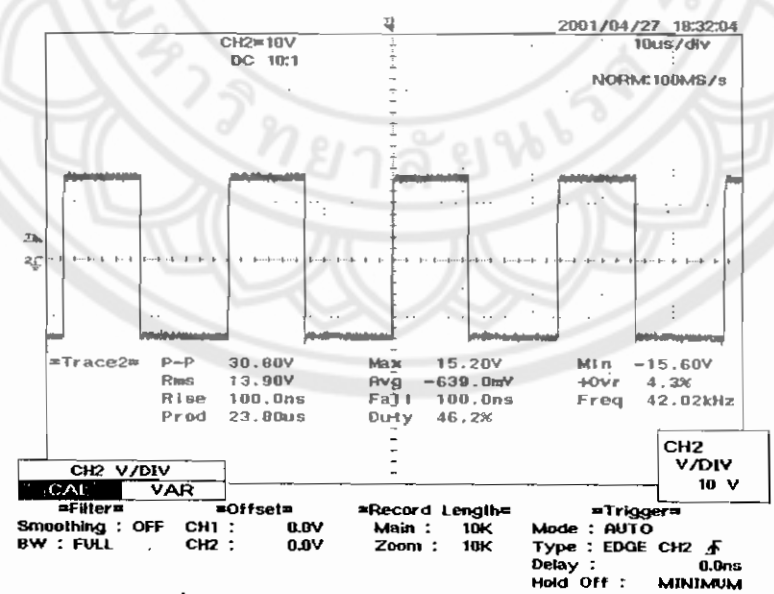
เมื่อสัญญาณออกจากเดดไทม์จะเข้า IC 7407 หรือบัฟเฟอร์เพื่อทำการขยายสัญญาณโดยมี R 100 Ω Pull Up จากนั้นสัญญาณจะถูก Isolate หรือแยก ground ด้วย IC Opto 6N136 เอาพุทท์จะออกมาเป็น Inverse เป็น Pulse 15 v จากนั้นนำมาเปรียบเทียบสัญญาณโดย IC Op.Amp LM 311 เป็น Square Wave 15 v และเข้าทรานซิสเตอร์ 2N2222 เฉพาะแรงดันด้านซีกบวกเท่านั้นและจะขับกระแสด้านบวก เนื่องจากมีไดโอด1N4148 Block สัญญาณด้านบวกไว้ จากนั้นจะได้ Square Wave 15 v และจะถูกขับแรงดันด้านบวกด้วยทรานซิสเตอร์ 2N3053 และแรงดันด้านลบด้วยทรานซิสเตอร์ 2N4037 ทำให้ได้ Square Wave 15 v และสามารถจ่ายกระแสที่ใช้ในการขับมอสเฟตได้ ค่า C 0.01 nF จะทำหน้าที่เป็นฟิวเตอร์กรองสัญญาณให้เรียบขึ้นแสดงการต่อวงจรดังรูป



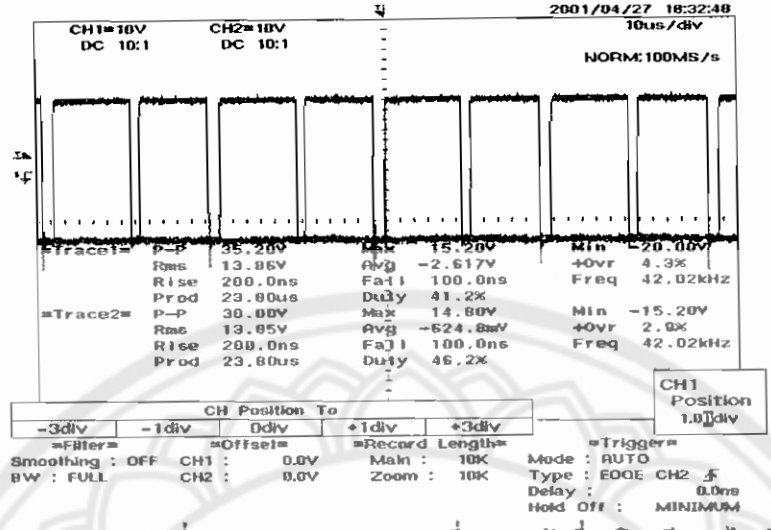
รูปที่ 3.7 วงจรขับเกต



รูปที่ 3.8 สัญญาณที่ออกจากวงจรขับเกตตัวที่ 1



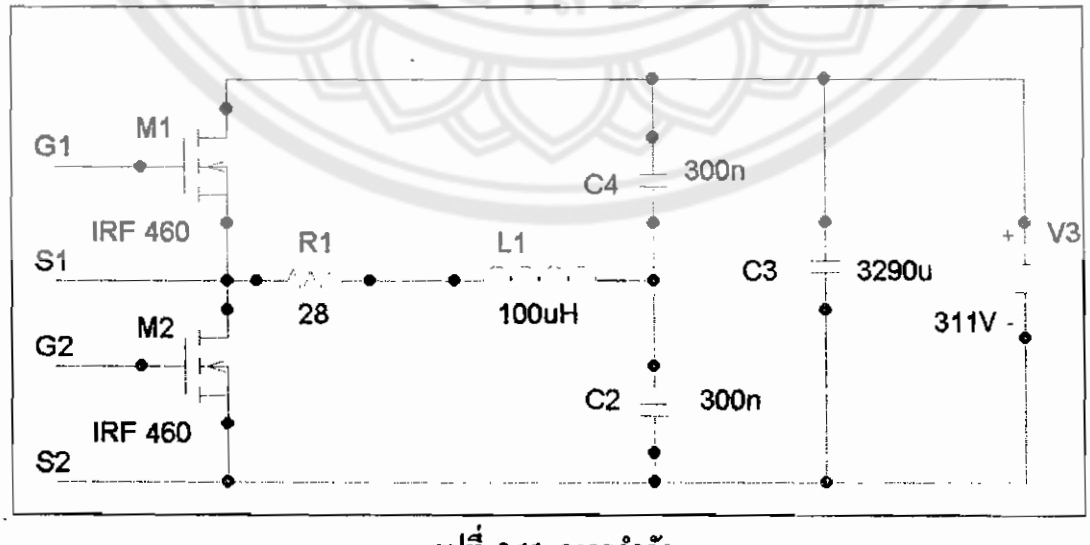
รูปที่ 3.9 สัญญาณที่ออกจากวงจรขับเกตตัวที่ 2



รูปที่ 3.10 สัญญาณที่ออกจากวงจรขับเกตตัวที่ 1 และตัวที่ 2 โดยมี เดดไทม์ 2 µs

3.5 วงจรกำลัง (Power Circuit)

วงจรกำลังนี้ใช้มอสเฟต IRFP 460 ซึ่งทนแรงดันสูงสุด 500 V กระแส 20 A ชนิด N-Channel แบบ Fast Swiching ต่อเป็นแบบวงจร Half Bridge Inverter ดังแสดงในรูปที่ 3.11 มอสเฟตเบอร์นี้จะมีซีเนอร์ไดโอดอยู่ภายใน ทำหน้าที่ขลิบสัญญาณที่เกินพิกัดได้ ส่วนค่า C = 300 nf 2000 Vdc ใช้เป็น C ที่ใช้ Resonance บัสดีซีจะต่อกับค่า C ค่า 3290 uF 400 และ C ขนาดเล็ก 0.47 uF ทำหน้าที่ในการกรองสัญญาณรบกวน สำหรับภาคดีซีจะได้มาจากวงจร Bridge Rectifier ซึ่งแปลงไฟจากเอซีไปเป็นดีซี ในส่วนของดีซีและเอซีจะมีการติดตั้งฟิวส์ ขนาด 5 แอมป์ และ CircuitBreker ขนาด 10 แอมป์ ที่เอซี เพื่อป้องความเสียหายเมื่อเกิดการลัดวงจร และ Over Current ที่อาจเกิดขึ้นได้



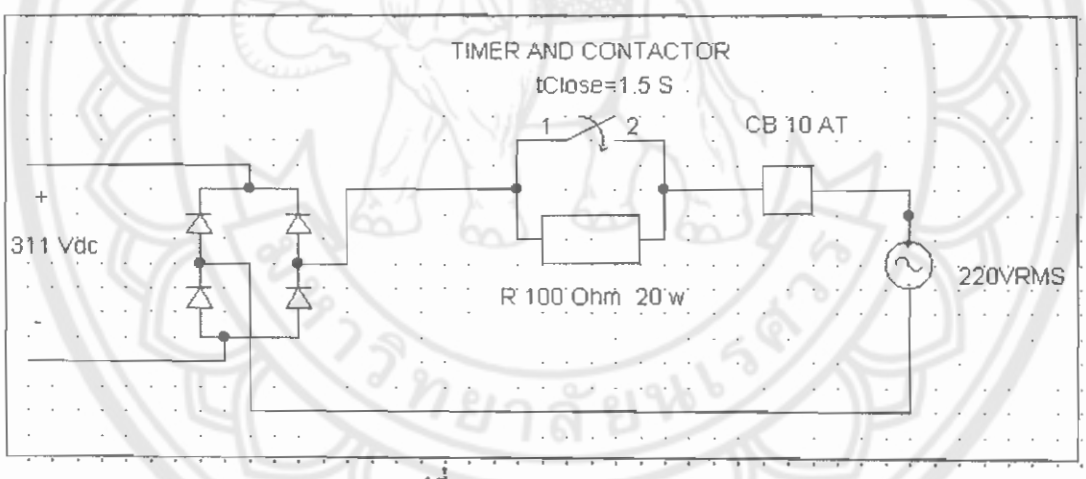
รูปที่ 3.11 วงจรกำลัง

3.6 วงจร Soft Start

เนื่องจากการสับสวิตช์ที่ระดับแรงดัน 311 Vdc กระแส 3 A ทางด้านวงจรกำลังซึ่งจะมี Power ค่อนข้างสูงอาจเป็นผลให้มอสเฟตเสียหายได้ จึงต้องมีการแบ่งการป้อนแรงดันเป็น 2 Step เพื่อลดกระแสทรานเซียนต์ และ Power ในช่วงสับสวิตชิ่งลงครึ่งหนึ่ง โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 Step การทำงานดังนี้

Stepแรก เมื่อ Close Circuit breaker กระแสจะถูก Block โดย R และ L ซึ่ง จะเกิดการจำกัดกระแส เนื่องจากว่า L ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงกระแสทันทีทันใดได้ ทำให้ใน Stepแรก กระแสเป็น 1.5 A

Stepที่สอง เมื่อตั้งเวลา Delay ด้วย Timer 1.5 s Contact ก็จะ Close แสดงได้ดังรูป ทำให้ Short Circuit ที่ R และ L จึงไม่มีกระแสไหลผ่านกระแสก็จะเพิ่มเป็น 3 A ทำให้ลดการกระชากของกระแสลงได้ในระดับหนึ่ง และสามารถ ลดความเสียหายของมอสเฟตได้ แต่เกิดการLimitกระแส เพราะกระแสในLไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดได้

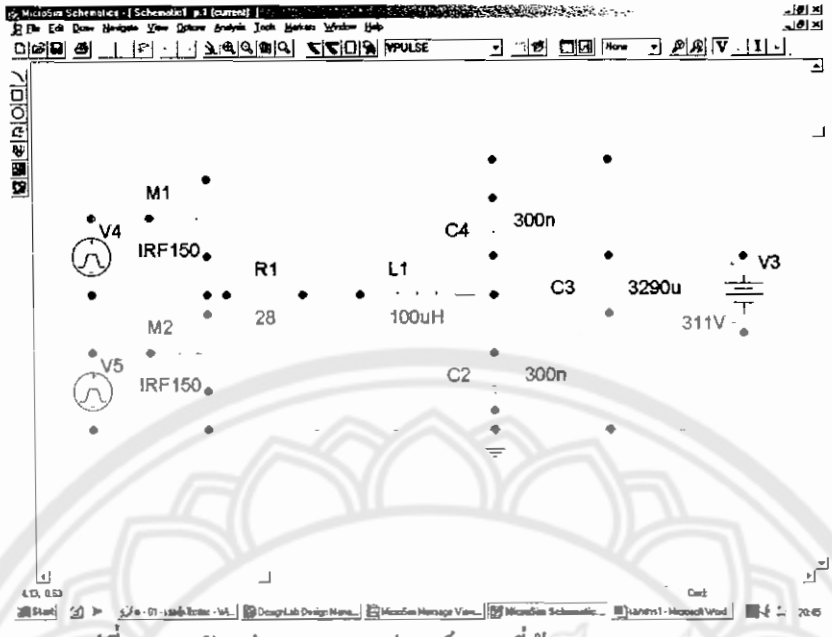


รูปที่ 3.12 วงจร Soft Start

3.7 การวิเคราะห์วงจรโดยใช้การ Simulate จากโปรแกรม PSPICE

ขั้นตอนในการจำลองการทำงาน

1. สร้างแผนภาพวงจรด้วยโปรแกรม Schematic โดยทำการวางอุปกรณ์ตามรูปแบบของวงจรที่เราต้องการสร้างจริง แต่ต้องกำหนดจุดร่วม (Reference Node) หรือการต่อลงดิน เพื่อให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลได้ครบวงจร สามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการวางอุปกรณ์วงจรที่ต้องการจะ simmulate

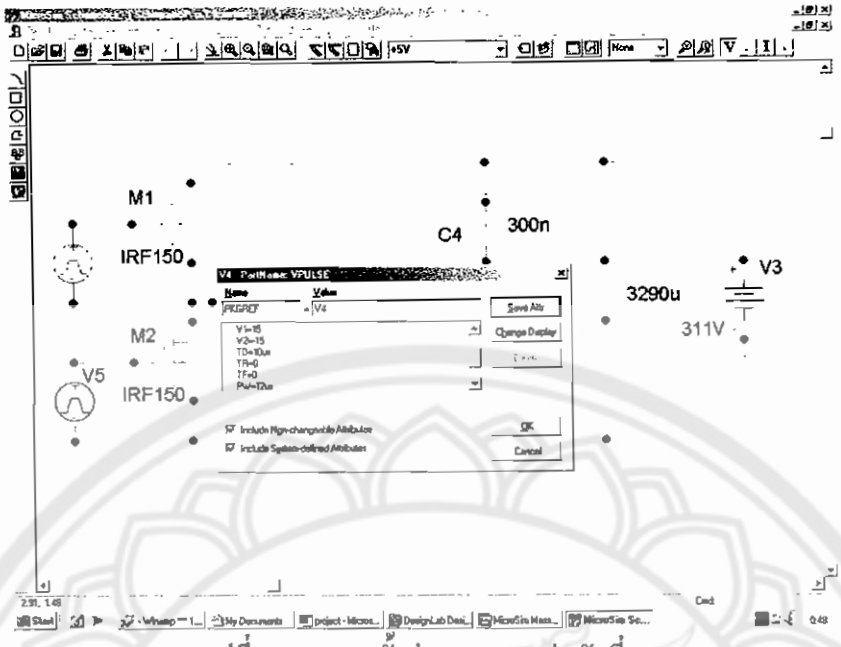
2. กำหนดเงื่อนไขการจำลองการทำงาน ชนิดหรือวิธีของการวิเคราะห์ ซึ่งมีวิธีการกำหนดค่าและเงื่อนไขดังนี้

2.1 ใช้แหล่งจ่าย V_{Pulse} แทนสัญญาณคอนโทรลในการสวิตชิ่งมอสเฟตทั้งสองตัว ซึ่งต้องตั้งค่าความถี่ในการสวิตชิ่งระดับแรงดัน อีกทั้งต้องตั้งค่าให้สัญญาณทั้งสองมีเดดไทม์ด้วย สามารถอธิบายการตั้งค่าได้ดังต่อไปนี้

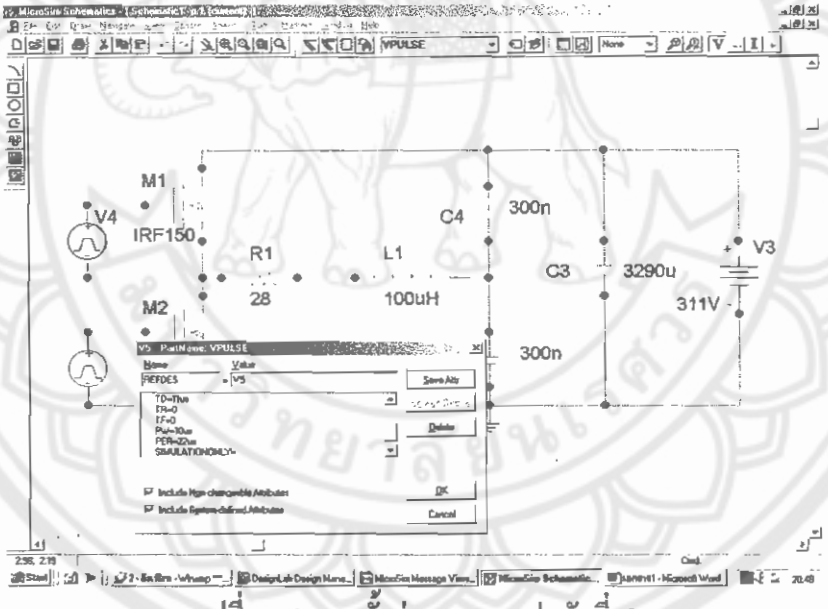
การตั้งค่าต่อไปนี้เป็นการสวิตชิ่งที่ความถี่ 45 KHz จะได้คาบสัญญาณเท่ากับ 1/45KHz เท่ากับ 22 us และเป็นการสวิตชิ่งที่ระดับแรงดันเป็น Square Wave 15 โวลท์ จะต้องตั้งค่าของ V_{Pulse} ดังนี้

-V_{Pulse} ที่ใช้ในการสวิตชิ่งมอสเฟตตัวที่ 1 จะกำหนดให้ V1 = 15 v ,V2 = -15 v , TD = 10 us , TR = 0, TF = 0 , PW = 12 us , PER = 22 us แสดงได้ดังรูปที่ 3.14

-V_{Pulse} ที่ใช้ในการสวิตชิ่งมอสเฟตตัวที่ 2 จะกำหนดให้ V1 = -15 v ,V2 = 15 v ,เพื่อกำหนดให้มีการ Inverse ของสัญญาณ และตั้งค่า TD = 11 us , TR = 0, TF = 0 , PW = 10us , เพื่อกำหนดเดดไทม์ ซึ่งเท่ากับ 2 us ,PER = 22 us แสดงได้ดังรูปดังรูปที่ 3.15



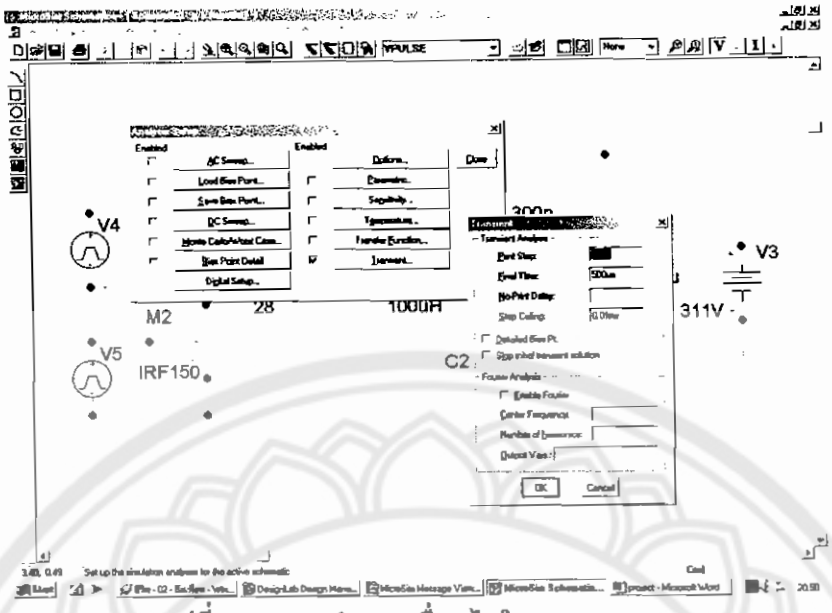
รูปที่ 3.14 การตั้งค่าของมอสเฟตตัวที่ 1



รูปที่ 3.15 การตั้งค่าของมอสเฟตตัวที่ 2

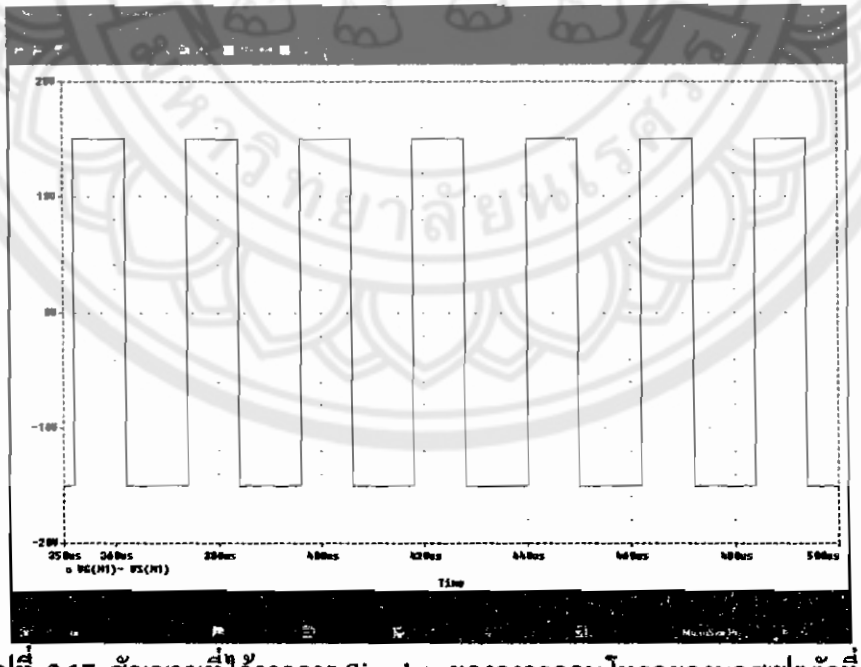
2.2 กำหนดเงื่อนไขในการ Simulate ดังนี้

-เข้าไปที่เมนู Analysis ต่อด้วย Setup เลือกเงื่อนไขการวิเคราะห์วงจรเป็น Transient ตั้งค่า Print Step ที่ 20 ns Final time เท่ากับ 500 us และ Step Ceiling เท่ากับ 0.01 ms ดังรูป

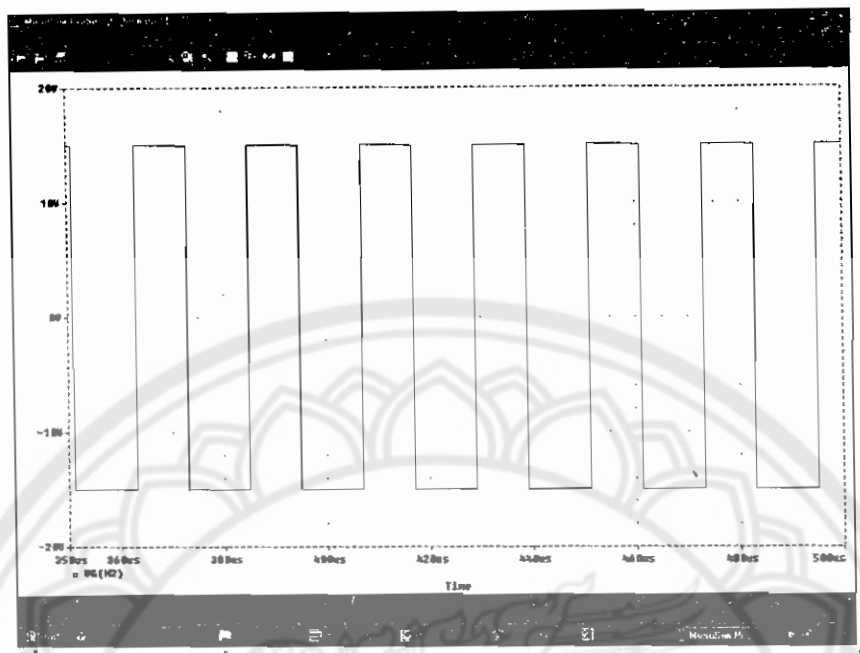


รูปที่ 3.16 การกำหนดเงื่อนไขในการ simulate

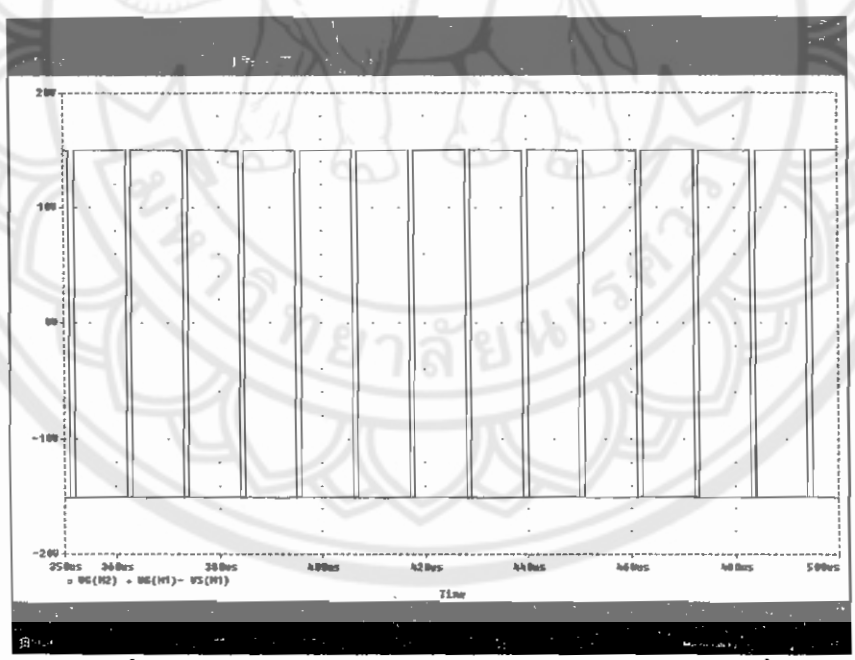
-จากนั้นทำการ save ข้อมูลแล้วทำการ RUN Simulate เมื่อ Run เสร็จแล้วเลือกที่ Trace และ Add Trace เลือกที่ VG(M1) –VS(M) เพื่อเป็นการทดสอบวงจรคอนโทรลของมอสเฟตตัวที่ 1 และเลือก VG(M2) เพื่อเป็นการทดสอบวงจรคอนโทรลของมอสเฟตตัวที่ 2 จากนั้นเลือกทั้งสองในหน้าต่างเดียวกันเพื่อทดสอบสัญญาณเดดไทม์จะได้รูปสัญญาณ แสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.17 สัญญาณที่ได้จากการ Simulate ของวงจรคอนโทรลของมอสเฟตตัวที่ 1



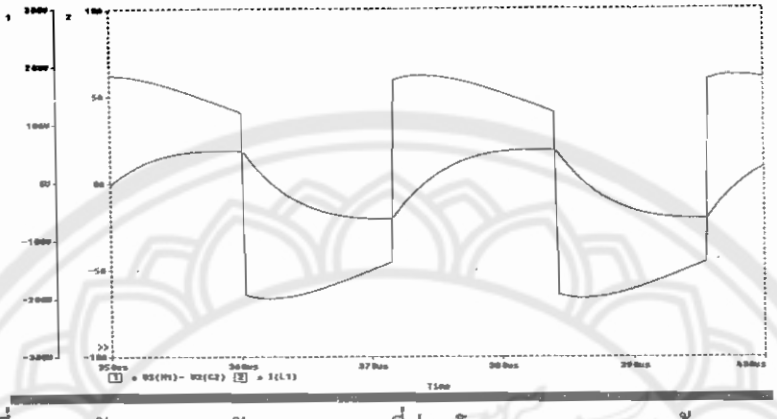
รูปที่ 3.18 สัญญาณที่ได้จากการ Simulate ของวงจรคอนโทรลของมอสเฟตตัวที่ 2



รูปที่ 3.19 สัญญาณที่ได้จากการ Simulate ของวงจรคอนโทรลของมอสเฟตตัวที่ 1 และตัวที่ 2 โดยมีเดดไทม์ 2 us

2.3 เมื่อทดสอบสัญญาณคอนโทรลแล้วก็ทำการ RUN Simulate สัญญาณแรงดันและกระแสที่ผ่านโหลด R,Lของวงจรด้าน POWER โดยการ Add Trace ที่ I(L1) และ VS(M1) - V2

(C2) จะได้รูปสัญญาณดังรูป ทำการใส่ค่า R,L ที่ได้จากการคำนวณ ที่จะทำให้กระแสที่ไหลผ่าน L sinusoidal wave ซึ่งจะเกิดการ Resonance ซึ่งจะแสดงได้ดังรูปและเมื่อได้ค่าแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปออกแบบ ค่า L ของขดลวดเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.20 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ผ่านโหลด R,Lของวงจรด้าน POWER

3.8 การพันขดลวดเหนี่ยวนำ

ขดลวดเหนี่ยวนำเป็นส่วนที่จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นไปดัดกับแผ่นตัวนำหรือหม้อ เพื่อทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ผิวของแผ่นตัวนำหรือหม้อ

วิธีการพันขดลวด

1. ใช้ลวดอาบน้ำยาเบอร์ 30 S.W.G จำนวน 27 เส้นตีเลียวเข้าด้วยกัน
2. พันเป็นวงกลมรูปจาน (แบบ DISK) จำนวน 45 รอบ
3. เคลือบวานิชเพื่อให้คงรูปและเป็นฉนวน

หลังจากทำการพันขดลวดตามวิธีที่ได้กล่าวมาจะได้แผ่นขดลวดเหนี่ยวนำที่มีค่าประมาณ 300 μH แต่จะมีความคลาดเคลื่อนบ้างเนื่องมาจากการพันขดลวดมีการตีเกลียวและแต่ละรอบนั้นไม่สามารถที่จะพันขดลวดให้ชิดกันได้ทุกจุด จะเกิดเป็นช่องอากาศเล็ก ๆ ซึ่งจะมีผลต่อความยาวของเส้นลวดทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าเหนี่ยวนำไปบ้างเล็กน้อย

หมายเหตุ :

1. เหตุผลที่ใช้วิธีการพันขดลวดแบบจานคือต้องการพื้นที่ของสนามแม่เหล็กให้มากที่สุด

2. ที่ใช้ขดลวดชั้นเดียวเพราะถ้าใช้ขดลวด 2 ชั้นหรือมากกว่า ขดลวดแต่ละชั้นจะสร้างสนามแม่เหล็กมาดัดกันเองทำให้เกิดความร้อนที่ขดลวด ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้ฉนวนของขดลวดเสียหายได้