บทที่5

การออกแบบและสร้างฮาร์ดแวร์

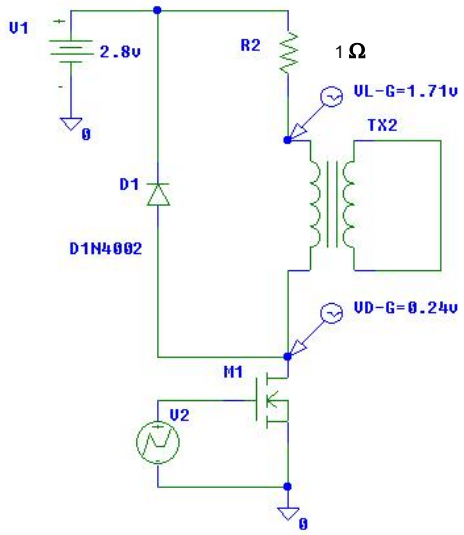
5.1 หลักการทำงาน

จากบทที่ 4 ที่ผ่านมานั้นเราจะทราบถึง การนำวิธีเอาสัญญาณชั่วขณะมาใช้ในการหาค่า วงจร RL อนุกรม ซึ่งจะมีรูปแบบง่ายๆ โดยการวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 1 โอห์ม ค่าที่วัดได้จะเป็นค่ากระแสในวงจร RL อนุกรม แล้วนำค่าที่ได้ไปย้อนหาค่าต่างๆ ของวงจร เช่น ค่าความต้านทานภายในของหม้อแปลง ค่ารีแอคแตนซ์ เทียบเคียง เป็นต้น

ส่วนที่สำคัญที่สุดในการวัดค่าคือการหาค่า เวลาที่เหมาะสม ในการเก็บค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าต่อหน่วยเวลา เพื่อหาค่าช่วงซ้ำของสัญญาณกระแสที่จะเริ่มคงที่ (5τ) ในวิธีการหาแบบจุดเวลาคงที่และการหาค่าแบบการปรับเส้นโค้ง เพื่อที่จะนำค่าที่เก็บได้ไปคำนวณต่อไป

5.2 การสร้างชุดจ่ายสัญญาณชั่วขณะ

ชุดจ่ายสัญญาณชั่วขณะจะต้องออกแบบมาเพื่อให้สามารถจ่ายกระแสได้ ตามที่วงจรทดสอบต้องการ โดยมีผลกระทบของแรงดันตกภายในแหล่งจ่ายที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสัญญาณที่ใช้วัด เพราะเนื่องจากการสร้างให้ตัวจ่ายแรงดันต้องจ่ายค่ากระแสออกมาโดยที่แรงดันไม่ตกเลยในช่วงเวลาสั้นๆ นั้นเป็นสิ่งที่ยากในการหาวงจรแบบนั้นได้



รูปที่ 5.1 วงจรจ่ายสัญญาณทดสอบวงจรลัดหม้อแปลงไฟฟ้า

จากรูปที่ 5.1 เป็นวงจรต้นแบบที่ใช้สำหรับจ่ายสัญญาณชั่วขณะให้กับอุปกรณ์ที่จะนำมาทดสอบเพื่อหาค่า L โดยอุปกรณ์แต่ละตัวทำหน้าที่ สำคัญแตกต่างออกไป ดังต่อไปนี้

- D1 ทำหน้าที่ เป็นตัวลัดวงจรทดสอบ ให้ตัวเหนี่ยวนำจ่าย กระแสที่ได้เก็บเอาไว้ในตัวมันออกมา เพื่อรอที่จะทำการทดสอบในครั้งต่อๆไป
- M1 ทำหน้าที่ ปิด/เปิดวงจรเพื่อจ่ายและหยุดจ่ายกระแสให้กับวงจรทดสอบ โดยในวงจรได้เลือกใช้ MOSFET เบอร์ IRF640 ทนกระแสได้สูงสุด 15A
- R2 ทำหน้าที่ วัดค่าหากระแสของวงจรทดสอบ โดยการวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมค่าความต้านทาน 1 โอห์มเพื่อเปลี่ยนมาเป็นค่าสัญญาณกระแส และนอกจากนี้ก็ใช้สำหรับ ลิมิตค่ากระแสทดสอบในกรณีที่สายวัดต่อถึงกันโดยไม่ตั้งใจ เพื่อป้องกัน MOSFET เสียหาย โดยที่ค่าความต้านทานที่ใช้ต้องมีค่าความผิดพลาดที่น้อยมากๆ
- V1 ทำหน้าที่ จ่ายแรงดันให้กับวงจรทดสอบ
- V2 ทำหน้าที่ จ่ายสัญญาณชั่วขณะที่กำหนดค่าเวลาในการเปิด/ปิดได้ ตามต้องการในการทดสอบ ในหลายๆรูปแบบ

5.3 การหาค่าเวลาคงที่(5τ)ของวงจรอนุกรมRLโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

ในการวัดหาช่วงเวลาที่เกิดซ้ำของค่าแรงดันที่วัดได้ จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความเที่ยงตรงในการจัดเก็บข้อมูลของระดับแรงดันที่วัดได้ เพื่อนำกลับไปหาเวลาจริงที่เกิดค่าสัญญาณแรงดันที่ซ้ำกัน งานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกไมโครคอนโทรเลอร์ PIC 16F628 เนื่องจากมีชุดคำสั่งน้อยในการเขียนและเป็นอุปกรณ์ไมโครคอนโทรเลอร์ที่มีค่าความน่าเชื่อถือในเรื่องของเวลาในระดับที่ใช้ได้

5.3.1 การเก็บข้อมูลแรงดันของPIC16F628 กับ ADC0832

IC ADC0832 เป็นตัวแปลงระดับแรงดัน 0-5V ผู้ผลิตคือ เนชั่นเนล เซมิคอนดักเตอร์ ขนาดการแปลงสัญญาณ 8 บิต โดยสามารถรับสัญญาณอะนาลอกได้สองช่อง ในงานวิจัยนี้จะใช้ช่องเดียว คุณสมบัติที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

- ไฟเลี้ยง	+5V	- แรงดันอะนาลอก	0-5V
- กินกำลังไฟฟ้า	15mW	- ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ	32μS
- อุณหภูมิใช้งาน	-65ถึง+150 C^0	- ค่าความเที่ยงตรง	$\pm$0.5LSB

การจัดเก็บข้อมูลแรงดันที่วัดได้จาก ADC0832 จะเก็บในหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) ของ PIC16F628 ที่ตำแหน่ง 0x20 ถึง 0x30 รวมทั้งหมด 16ค่า โดยค่าเวลาจัดการเก็บแต่ละครั้งสามารถกำหนดช่วงห่างได้ โดยจะมีช่วงเวลาที่ห่างเท่ากันในการจัดเก็บแต่ละตัว เพื่อจะให้สามารถอธิบายกระบวนการทดสอบได้ง่ายในการออกแบบวงจรทดสอบจะขอกำหนดค่าช่วงห่างของเวลาดังต่อไปนี้

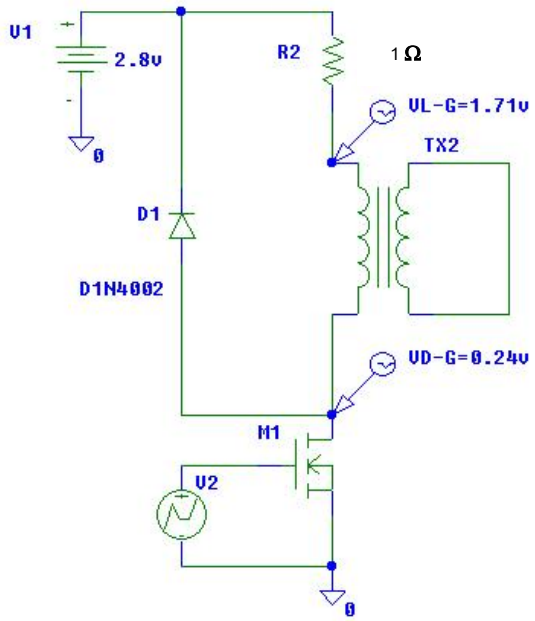
ตารางที่ 5-1 เวลาจัดเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่ง

ค่าตำแหน่งข้อมูลฐาน16	**เวลาที่จัดเก็บ**	**ค่าตำแหน่งข้อมูลฐาน16**	**เวลาที่จัดเก็บ**
0x20	36us	0x28	1.76 ms
0x21	252us	0x29	1.98 ms
0x22	468us	0x2A	2.20 ms
0x23	684us	0x2B	2.41 ms
0x24	900us	0x2C	2.63 ms
0x25	1.12ms	0x2D	2.84 ms
0x26	1.33 ms	0x2E	3.06 ms
0x27	1.55 ms	0x2F	3.28 ms

จากตารางที่ 5.1 ที่แสดงข้างบนนี้ ค่าเวลาที่ตำแหน่งข้อมูลที่ 0x20 สาเหตุที่ไม่สามารถเริ่มต้นเวลาที่ 0 ได้นั้นเพราะก่อนหน้าจะมีชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรเลอร์อยู่ช่วงหนึ่ง เพื่อสั่งให้ปิดเปิดวงจรทดสอบและให้ตัวแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นค่าดิจิตอลทำงานได้เต็มที่เป็นต้น

5.3.2 วิธีการคำนวณหาค่า L ของหม้อแปลงไฟฟ้า TX-2 โดยใช้สัญญาณขั้นบันได

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณทดสอบลัดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้า TX-2



รูปที่ 5.2 วงจรทดสอบลัดวงจรหม้อแปลง TX2

ทำการทดสอบที่แรงดัน Vsc=2.8 Volt วัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมหม้อแปลง V_{L-G}=1.71v และแรงดันตกคร่อม MOSFET V_{D-G}=0.24v ดังในรูปที่ 3-1

คำนวณหาค่าความต้านทานภายใน (R_L) ของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$R_L = (V_{L-G} - V_{D-G})/(Vsc - V_{L-G})$$

$$= (1.71-0.24)/(2.8-1.71)$$

$$= 1.349\ \Omega$$

ค่าความต้านทานรวม R_T=1+ R_L+R_{ei}=1+1.349+0.8=3.149 Ω

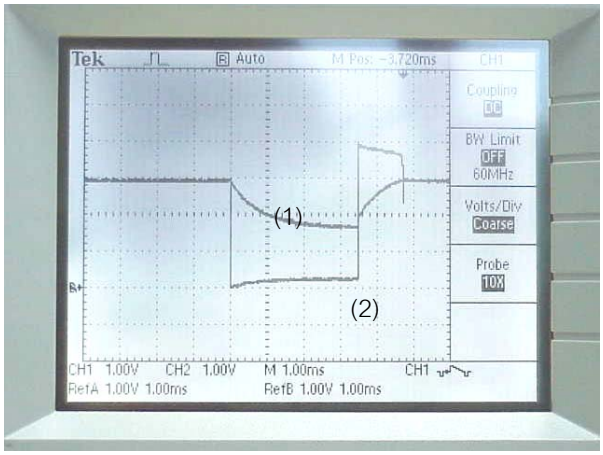
โดยที่ R_{ei} คือความต้านภายในแหล่งจ่าย

คำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ (L) ของหม้อแปลงไฟฟ้า จากการจับเวลาที่ตำแหน่งข้อมูลซ้ำของสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า V_{L-G} ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เป็นเวลาคงที่ของสัญญาณชั่วขณะที่วัดได้ที่ตำแหน่ง16 มีค่าเวลาที่จัดเก็บเท่ากับ 3.28ms จากตารางที่ 5-1

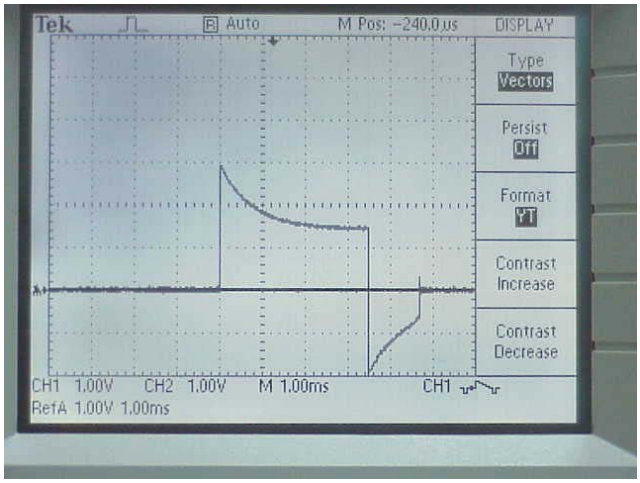
จากสูตร $5\tau = 5(L/R_T)$=3.28ms

ดังนั้น L= $(5\tau x R_T)/5 = (3.28x10^{-3}x3.149)/5 = 2.066$ mH

ค่าความต้านทานเหนี่ยวไฟฟ้า (Leakage Reactance) $X_L = 2\pi fL = 2x\pi x50x2.066x10^{-3} = 0.649\ \Omega$



รูปที่ 5.3 รูปสัญญาณ แรงดันระหว่างหม้อแปลงกับกราวด์(1)กับขา D มอสเฟตกับกราวด์(2)



รูปที่ 5.4 รูปสัญญาณ แรงดันตกคร่อมหม้อแปลง

5.4 การหาค่า RLอนุกรม โดยใช้วิธีการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting)

วิธีนี้จะนำเอาค่าข้อมูลจากวิธีที่ผ่านมาคือวิธีการหาค่าเวลาคงที่โดยเพิ่มค่าการคำนวณหาค่าสัญญาณกระแสของการทดสอบขึ้นมาด้วย โดยใช้วิธีที่การนำเอาค่า Vsc - V_{L-G} ทุกจุดที่มีการเก็บค่าในการทดสอบ แล้วนำค่าที่ได้นำไปใช้วิธีการปรับเส้นโค้งเพื่อหาค่า L ต่อไป

เพื่อให้มีความเข้าใจในวิธีการปรับเส้นโค้งเพื่อหาค่าจะกำหนดวงจร RL อนุกรมขึ้นมาเพื่อสะดวกในการอธิบาย โดยกำหนดให้ E = 5V , R_t = 3 , L =2 mH ช่วงเวลาทดสอบ 0.4 mS

สมการกระแสที่ได้ $y = (E/R_t)x(1-e(-(R_t/L)t))$ โดยที่ xi = t

ตารางที่ 5-2 การแสดงค่าการคำนวณโดยวิธีปรับเส้นโค้งจากข้อมูลจริง

	เวลา(xi)	กระแส (y)	yi=[ln((E/R)-y)]	xi^2	yi*xi
	0.000212	0.45	1.93E-01	4.49E-08	4.09E-05
	0.000612	1.00	-4.07E-01	3.75E-07	-2.49E-04
	0.001012	1.30	-1.01E+00	1.02E-06	-1.02E-03
	0.001412	1.47	-1.61E+00	1.99E-06	-2.27E-03
	0.001812	1.56	-2.21E+00	3.28E-06	-4.00E-03
	0.002212	1.61	-2.81E+00	4.89E-06	-6.21E-03
	0.002612	1.63	-3.41E+00	6.82E-06	-8.90E-03
รวม	0.009884	9.019243	-1.13E+01	1.84E-05	-2.26E-02

จากสมการที่ 4-14

$$(\sum_{i=1}^{n} x^2)a + (\sum_{i=1}^{n} x_i)b = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i$$

$$(\sum_{i=1}^{n} x_i)a + (\sum_{i=1}^{n} n)b = \sum_{i=1}^{n} y_i$$

แทนสมการที่ 4-14 จากค่าในตาราง

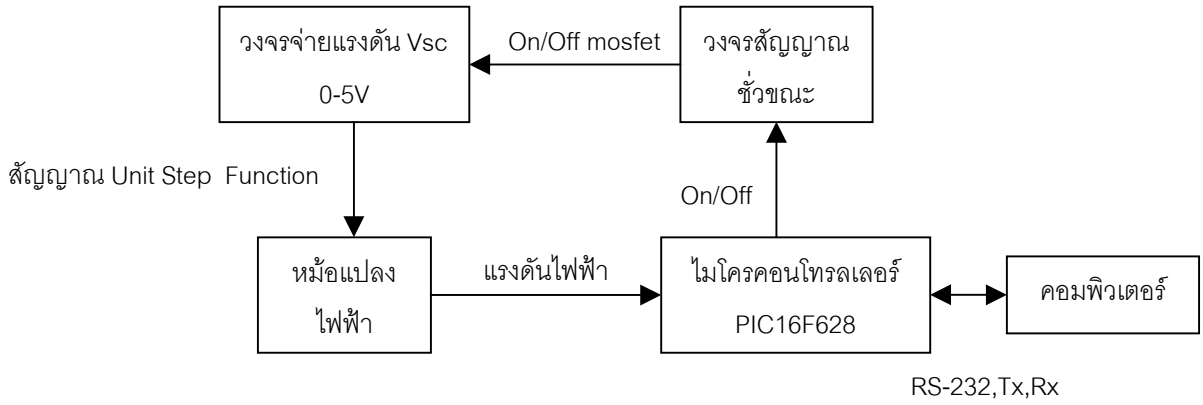
$$\left.\begin{aligned} 1.84E\text{-}05\ a + 0.009884\ b &= -2.26E\text{-}02 \\ 0.009884\ a + 7\ b &= -1.13E+01 \end{aligned}\right\} \quad (5\text{-}1)$$

แก้สมการที่ 5-1 a = -1500 , b = 0.511

เมื่อ $a = R_t/L$

ดังนั้น L = 3/1500 = 2 mH

5.5 รูปแบบและการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 5.5 รูปลำดับการทำงานของชุดทดสอบ

อธิบายองค์ประกอบแต่ละส่วน

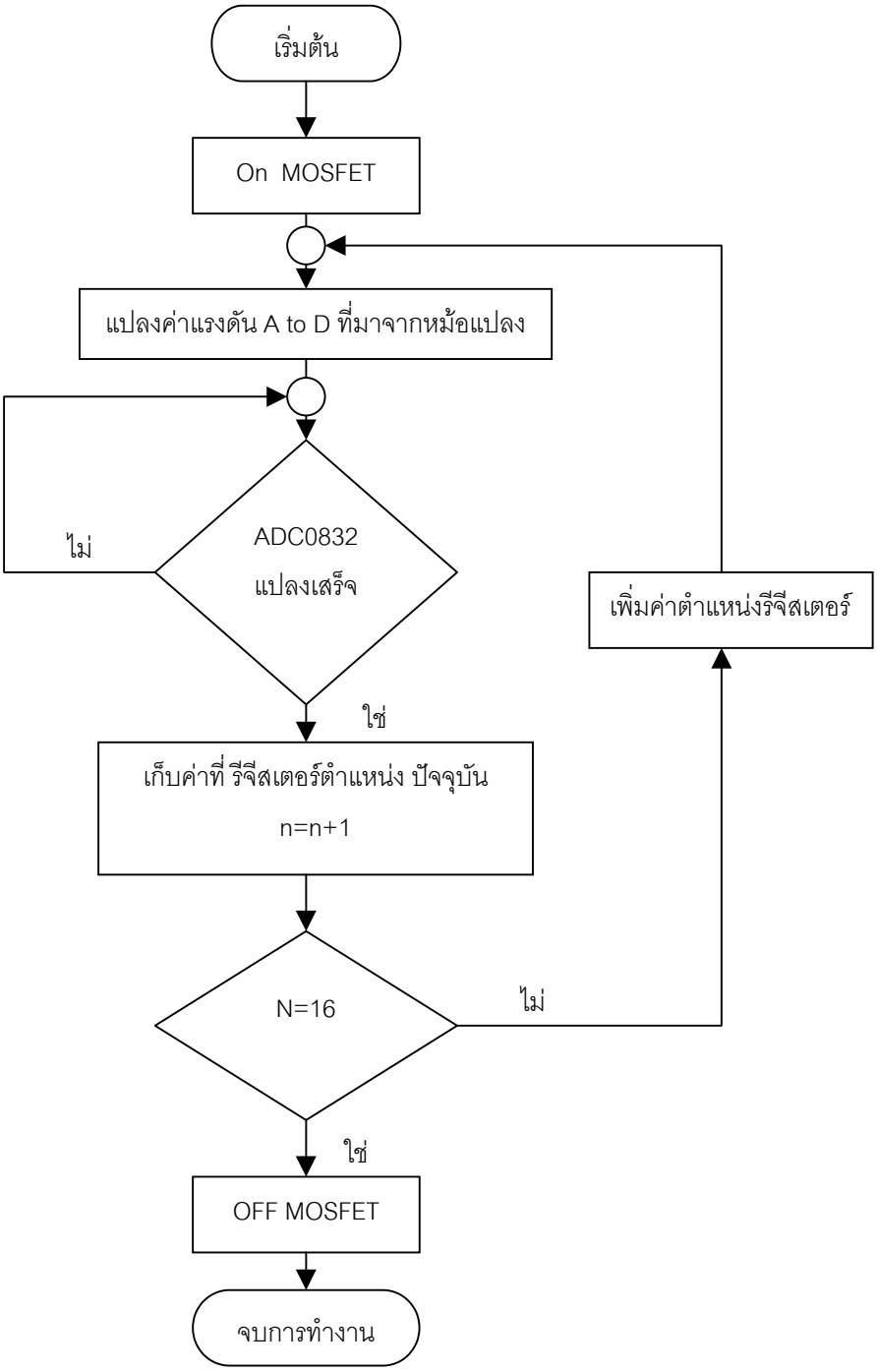
ส่วนการทำงาน	**ส่วนประกอบ/หน้าที่**
วงจรสัญญาณชั่วขณะ	วงจร On/Off มอสเฟต (IRF640), IN4002, R=1 Ω
ไมโครคอนโทรลเลอร์(PIC)	PIC16F628, ความเร็ว 4MHZ,ADC0832ความละเอียด 8Bit

การทำงานจะเริ่มต้นที่ตัวไมโครคอนโทรเลอร์จะส่งสัญญาณชั่วขณะออกไปยังวงจรสัญญาณชั่วขณะ ที่ขา G ของ มอสเฟต (IRF640) เพื่อปิดวงจรทดสอบจ่ายกระแสให้กับหม้อแปลงที่กำลังทดสอบ โดยที่สัญญาณ ที่ส่งออกมาจะอยู่ในรูปของสัญญาณ สี่เหลี่ยมที่มีระยะเวลา On/Off ไม่น้อยกว่าค่า 5τ (Unit Step Function) ของวงจร RL อนุกรมนั้นๆ

ส่วนแรงดันที่หม้อแปลงส่งมายังไมโครคอนโทรเลอร์ ไมโครคอนโทรเลอร์จะแปลงสัญญาณอะนาลอกที่ได้รับเป็น สัญญาณ ดิจิตอล 8 บิตเก็บค่าที่ตำแหน่ง รีจีสเตอร์ 0x20-0x2F โดยจะทำการเก็บแบบต่อเนื่องจนหมดตำแหน่งของหน่วยความจำแล้วจะหยุดตัวเองลง พร้อมกับการเก็บค่าเอาไว้

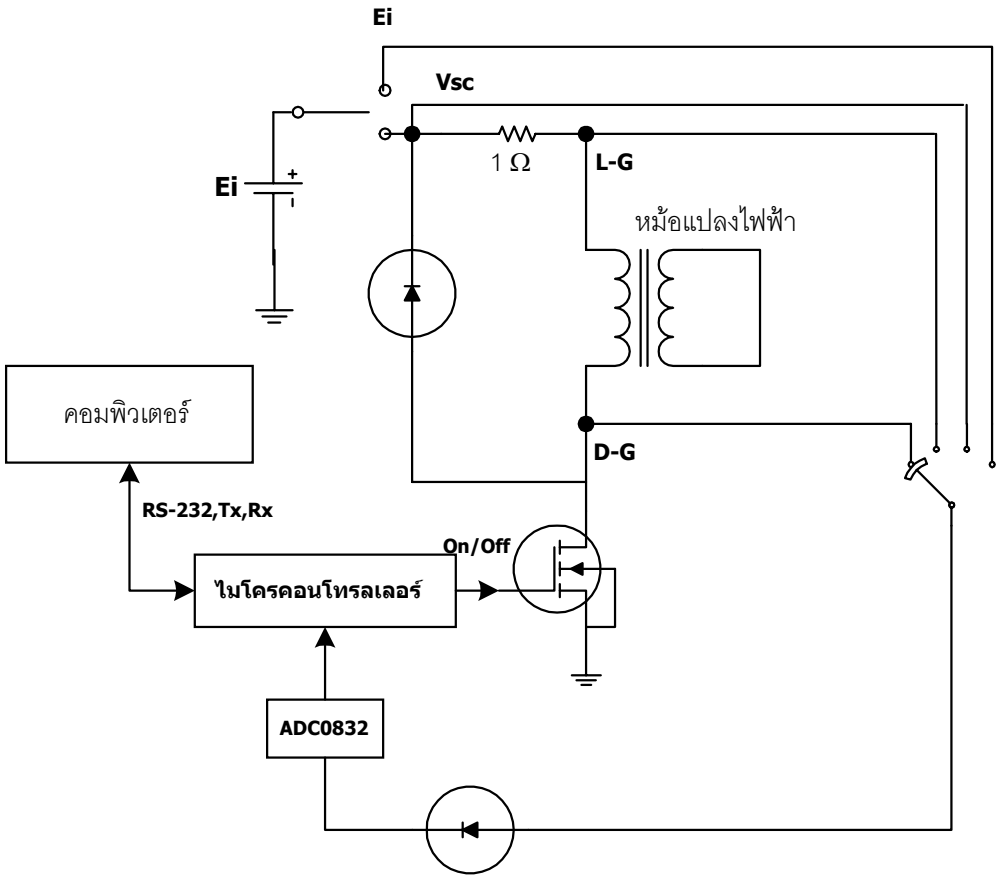
5.5.1 ผังการทำงานของชุดคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากบทที่ 5 นี้จะกล่าวเฉพาะชุดคำสั่งที่ใช้สร้างสัญญาณชั่วขณะและการเก็บค่าของตัวไมโครลอนโทรลเลอร์ จะไม่กล่าวถึงการส่งค่าไปยังคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะกล่าวในบทต่อๆไป จะทำให้ผู้อ่านไม่สับสนกับคำสั่ง



รูปที่ 5.6 ผังการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 5.6 ภายหลังที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ สั่งให้มอสเฟต ทำงาน ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เองจะทำการเริ่มต้นแปลงสัญญาณ อะนาลอกทันที โดยจะต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งที่ให้ ADC0832 ทำการแปลงได้เสร็จ เมื่อทำการแปลงเสร็จแล้วก็จะนำค่าที่ได้ไปเก็บไว้ในรีจีสเตอร์ชั่วคราว ซึ่งจะเรียงลำดับไปเลื่อยๆ จนครบ 16 ตำแหน่ง จึงอันเป็นเสร็จในหนึ่งกระบวนการทำงาน

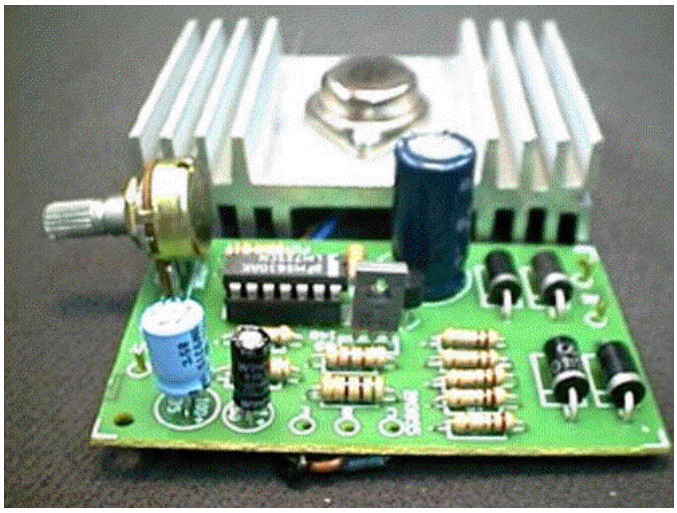


รูปที่ 5.7 วงจรชุดทดสอบแบบภาพรวม

5.6 องค์ประกอบของฮาร์ดแวร์และวิธีใช้

5.6.1 ชุดเพาเวอร์ซับพลายแรงดันทดสอบ

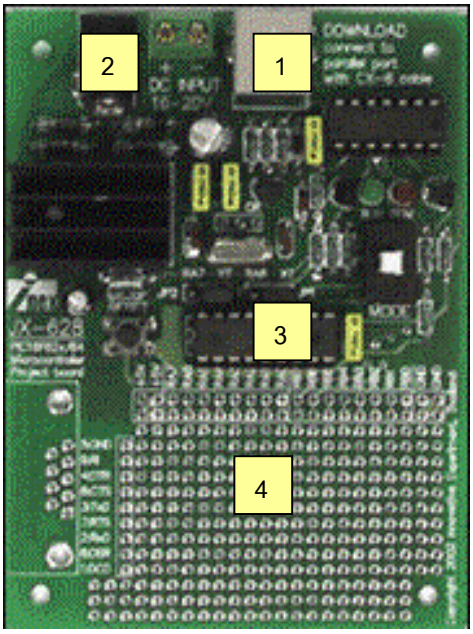
เพื่อให้ชุดทดสอบเป็นอุปกรณ์ที่ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายไปมาได้สะดวก จึงได้ทำการร่วมชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ทดสอบรวมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟที่ใช้สำหรับเลี้ยงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งออกแบบให้ใช้แบตเตอรี่แห้ง 12V ที่สามารถประจุไฟฟ้าได้ โดยชุดที่จ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ทดสอบ จะใช้ IC UA723 เป็น IC พาเวอร์ซับพลาย จ่ายให้กับอุปกรณ์ทดสอบ โดยสามารถ ปรับค่าได้ 0-12 V ดังในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.8 ชุดพาเวอร์ซับพลายปรับค่า 0-12V 3A

5.6.2 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628

ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะประกอบไปด้วย ตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 12V เป็น 5V ที่สามารถใช้กับ IC ภายในชุดทดลองนี้ทั้งหมด และนอกจากนี้ยังมีชุดโหลดโปรแกรมให้ PIC ทำงานตามเงื่อนไขใหม่ๆที่ผู้ออกแบบได้พัฒนาขึ้น



รูปที่ 5.9 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628

ส่วนประกอบที่สำคัญ

1. ช่องต่อสายดาวน์โหลดโปรแกรมลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านพอร์ขนานของคอมพิวเตอร์
2. ชั้วต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า DC 12-16V
3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628
4. พื้นที่ Proto Area สำหรับสร้างวงจรเพิ่มเติม จำนวนจุดบัดกรี 272 จุด

5.6.3 วิธีการใช้เครื่องทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

รูปที่ 5.10 แผงควบคุมส่วนหน้าของชุดทดสอบ

การทดสอบจะต้องใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรมทดสอบ ต่อสาย RS232 เปิด สวิตช์ V-IN ซึ่งอยู่ด้านหลังของเครื่องมือ
2. เปิดปุ่ม Power รอให้หลอดไฟ Ready ติด แล้วหมุนปุ่ม SW-TEST ไปยัง INT
3. เสียบสาย Test กับหม้อแปลงที่เราจะทดสอบ
4. ทดสอบหาเวลาหน่วงที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการทดสอบหลักกับทุกค่าที่เหลือ
5. เมื่อได้ค่าหน่วงที่เหมาะสม ทดสอบค่าที่เหลือและเก็บค่าการทดสอบ