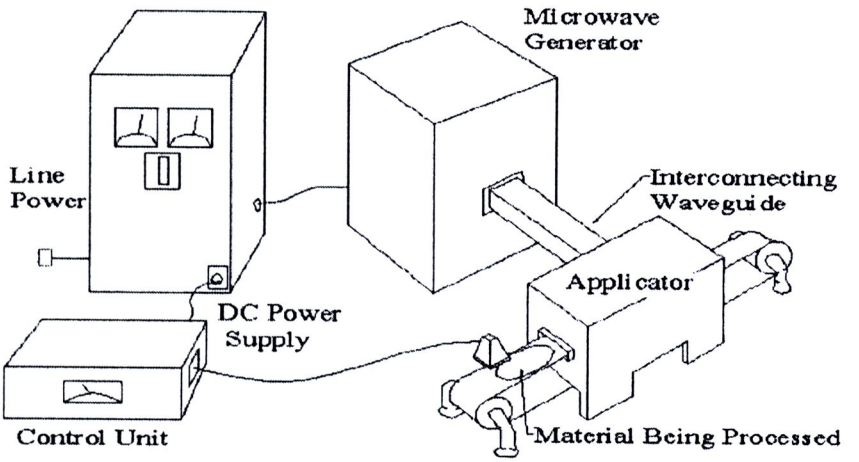
บทที่ 3
แนวความคิด และการออกแบบระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย การออกแบบตู้ลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ ส่วนกำเนิดคลื่นและการควบคุมการส่งกำลัง การออกแบบสายพานลำเลียง การออกแบบโครงสร้าง วงจรควบคุมมอเตอร์ วงจรตรวจจับผ่านศูนย์ การออกแบบวงจรควบคุมกำลังวัตต์ และการออกแบบระบบการทำงานของโปรแกรม

3.1 หลักการและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้อาศัยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยระบบพื้นฐานจะประกอบ ด้วย แหล่งกำเนิดพลังงานความถี่สูงหรือ เจนเนอเรเตอร์ และใช้ท่อนำคลื่น (Waveguide) ไปยังชิ้นงาน (Load) ที่อยู่ภายในแอพพลิเคเตอร์ (Applicator) โดยรูปแบบและหลักการทำงานของระบบแสดงดังไดอะแกรมในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมการทำงานของระบบการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงโดยใช้สายอากาศแบบฮอร์นเพื่อลดความชื้นสำหรับผลิตเมล็ดพันธุ์.

จากรูปที่ 3.1 แมกนีตรอน (Magnetron) ที่ติดตั้งบนท่อนำคลื่น (Waveguide) ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟหรือสร้างพลังงานไมโครเวฟ ไมโครเวฟจะเคลื่อนที่ผ่านท่อนำคลื่นไปยังวัสดุ(เมล็ดพันธุ์)ที่นำมาผ่านกระบวนการที่อยู่ภายในคาวิตี้ (Cavity) หรือ แอพพลิเคเตอร์

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(Applicator) เมื่อพลังงานไมโครเวฟเข้าสู่วัสดุแล้ว ส่วนที่นอกเหนือจากการดูดซับ (Absorbed Wave) โดยตัววัสดุ จะมีบางส่วนที่ทะลุผ่าน (Transmitted Wave) วัสดุและจะมีบางส่วนที่สะท้อนกลับ (Reflected wave) ไป ซึ่งอันตราย พลังงานไมโครเวฟที่สะท้อนกลับจะขึ้นอยู่กับค่าคุณสมบัติไดอิเลคตริก (Dielectric Properties) ของวัสดุและคุณลักษณะประจำตัวของวัสดุเอง คลื่นสะท้อนที่เกิดจากการสะท้อนกลับของคลื่นไมโครเวฟขณะชนกับวัสดุ อาจทำให้ตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟเสียหายได้ (โดยเฉพาะระบบที่ใช้ไมโครเวฟกำลังสูง) ดังนั้นโดยทั่วไประบบไมโครเวฟจะติดตั้งตัวดักคลื่น หรือที่เรียกทั่วไปว่า เซอร์คูเลเตอร์ (Circulator) (อุปกรณ์ทำให้คลื่นไมโครเวฟเดินได้ทางเดียว)ระหว่างตัวกำเนิดคลื่นและท่อนำคลื่นเพื่อป้องกันการเสียหายดังกล่าว นอกจากนั้นยังติดตั้งอุปกรณ์ปรับแต่งคลื่นเพื่อที่จะลดพลังงานสะท้อนกลับนี้ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Matching Tuner มาติดตั้งระหว่างท่อนำคลื่นและบริเวณทำความร้อน อุปกรณ์ตัวนี้ทำหน้าที่ปรับให้คลื่นไมโครเวฟมีการดูดซับในตัววัสดุได้ดีขึ้นโดยที่การสะท้อนของคลื่นที่ผิววัสดุลดลง ส่งผลทำให้ระบบไมโครเวฟทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด

สำหรับปัญหาหนึ่งของแอพพลิเคเตอร์ ชนิดคาวิตี้ คือไม่มีความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในโหลด(เมล็ดพันธุ์) ซึ่งส่งผลต่อการกระจายตัวของความร้อนภายในโหลด ดังนั้นเพื่อให้การทำความร้อนมีความสม่ำเสมอจึงอาจจะออกแบบให้มีการเคลื่อนที่หรือการหมุนของโหลดในแอพพลิเคเตอร์ ซึ่งอาจใช้ระบบสายพานลำเลียงหรือถาดหมุน หรือมีโหมดของการกวนสนามพลังงาน (Mode Stirrer) โดยอาจจะเป็นใบกวนที่การหมุนรอบต่ำ และออกแบบสายอากาศแบบฮอร์นเพื่อทำให้เกิดรูปแบบการกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในแอพพลิเคเตอร์ที่ดีขึ้น โดยเมล็ดพันธุ์จะถูกลำเลียงผ่านคาวิตี้ ภายในแอพพลิเคเตอร์หรือคาวิตี้จะมีสายอากาศแบบฮอร์นเพื่อช่วยในการกระจายคลื่นไมโครเวฟหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้สามารถกระจายได้ทั่วโหลด

3.2 การออกแบบและคำนวณค่าต่างๆทางทฤษฎี

3.2.1 การออกแบบตู้ลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ในการออกแบบเตาอบโดยมีขนาดของเตาอบเป็นดังรูปที่ 3.2 (ยุทธพงศ์),2548 ได้ออกแบบโดยใช้สแตนเลสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร เนื่องจากค่าความลึกผิว(skin depth) มีค่า 0.02 มิลลิเมตร ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \qquad (3.1)$$

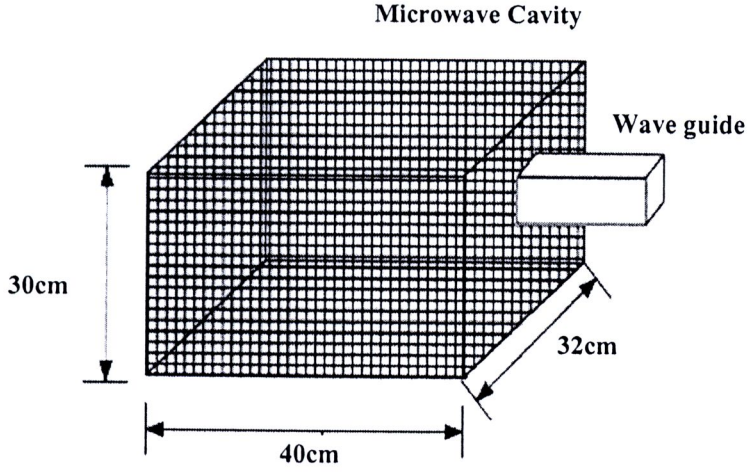
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 27 ก.ค. 2556
เลขทะเบียน 245587
เลขเรียกหนังสือ

เพื่อใช้ในการอบวัสดุมีหลักการ โดยให้ภายในเตาอบเกิดการสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟอยู่ภายในเตาอบและเกิดการรวมกัน ซึ่งปรากฏนี้เรียกว่าการเกิดคลื่นนิ่งโดยการเกิดคลื่นนิ่งภายในเตาอบได้ถูกออกแบบให้เกิดคลื่นนิ่งได้หลายโหมดการเกิด(multi mode) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 3.2

$$f^{c}_{mnp} = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2} \qquad (3.2)$$



รูปที่ 3.2 แสดงขนาดของเตาอบ (cavity) ที่ได้ออกแบบสร้าง

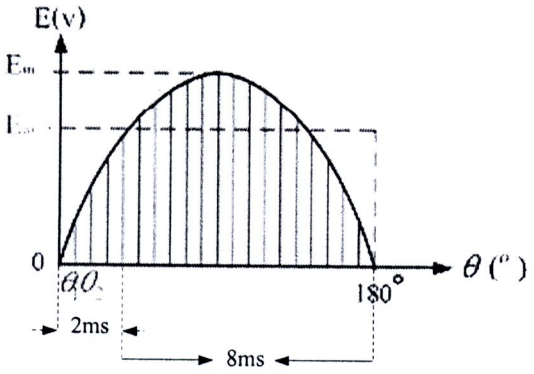
3.2.2 ส่วนกำเนิดคลื่นและการควบคุมการส่งกำลัง

ในส่วนนี้เป็นการออกแบบระบบควบคุมการทำงานของไมโครเวฟซึ่งหลอดแมกนีตรอนเริ่มทำงานที่ -4000 โวลต์ จึงได้ใช้วงจรทวีแรงดันในการขับหลอดแมกนีตรอน และทำการทดลองปรับระดับแรงดันทางด้านอินพุตด้วยวาร์รีแอกเพื่อหาระดับแรงดันขีดเริ่มของหลอดแมกนีตรอนก่อนเข้าวงจรทวีแรงดันมีค่า 160 โวลต์ ซึ่งใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมกำลังวัตต์ของไมโครเวฟที่ ทำการแบ่งระดับการปรับเป็น 16 ระดับโดยปรับครั้งละ 50 วัตต์ ไปจนถึง 800 วัตต์ ในการปรับระดับกำลังวัตต์นี้ได้ใช้ การควบคุมไฟฟ้าทางด้านอินพุตแบบเฟสทริกเกอร์ซึ่งการหาค่าเฉลี่ยของคลื่นไซน์ ด้วยการแบ่งพื้นที่ใต้กราฟเพื่อนำแรงดันของพื้นที่แต่ละส่วน

จากแรงดันที่ทำให้หลอดแมกนีตรอนเริ่มทำงานมีค่า -4000V และจากการทดลองเมื่อทำการวัดแรงดันก่อนเข้าวงจรทวีแรงดันเพื่อใช้ขับหลอดแมกนีตรอนมีค่า 160V เนื่องจากแรงดันอินพุตที่ขับหลอดแมกนีตรอนเป็น 220Vac ความถี่ 50Hz ถ้าพิจารณาในโดเมนของเวลา ครึ่งไซน์เคิลของสัญญาณอินพุตมีค่า 10ms จากรูปที่ 3.3 แรงดันเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟที่มุม sin 60° ได้

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

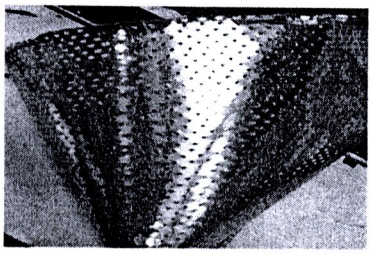
ค่าแรงดันเฉลี่ย 160V เมื่อคำนวณในรูปโดเมนของเวลาจะได้ค่าเวลาขีดเริ่มของหลอดแมกนีตรอน ประมาณ 2ms และช่วง 8ms จะใช้ในการปรับกำลังวัตต์ทางด้านอินพุตจำนวน 16 ระดับ ระดับละ 0.5ms



รูปที่ 3.3 แสดงเวลาขีดเริ่มการทำงานของหลอดแมกนีตรอน

3.2.3 การออกแบบสายพานลำเลียง

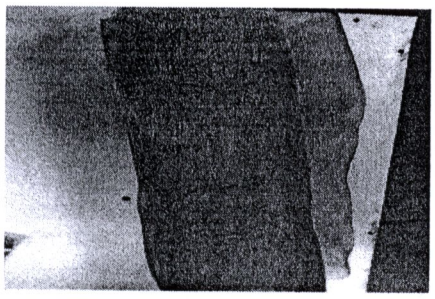
เนื่องจากสายพานที่นำมาใช้งานกับคลื่นไมโครเวฟได้นั้นจำเป็นจะต้องทนความร้อนสูง จากการหาข้อมูลพบว่าสายพานทนความร้อนส่วนใหญ่จะมีราคาสูงจึงเลือกใช้สายพานที่ทำจากอลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.4



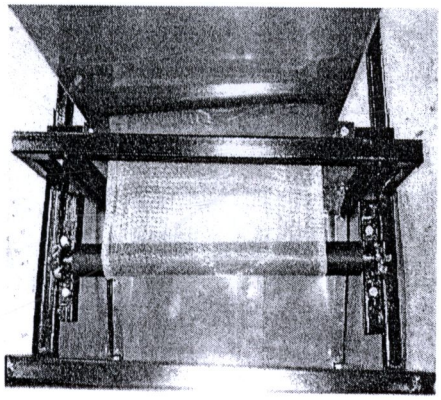
รูปที่ 3.4 แสดงแผ่นอลูมิเนียมที่นำมาใช้ทำการทดลอง

โดยตัดสายพานมีหน้ากว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 160 เซนติเมตร แต่เกิดปัญหาการเบียดของสายพานและทำให้มอเตอร์ไม่สามารถทำงานได้เพราะอลูมิเนียมมีความแข็งเกินไปจึงได้เปลี่ยนเป็นมุ้งลวดแทน ซึ่งสามารถทนความร้อนได้และมีความยืดหยุ่นมากกว่าดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



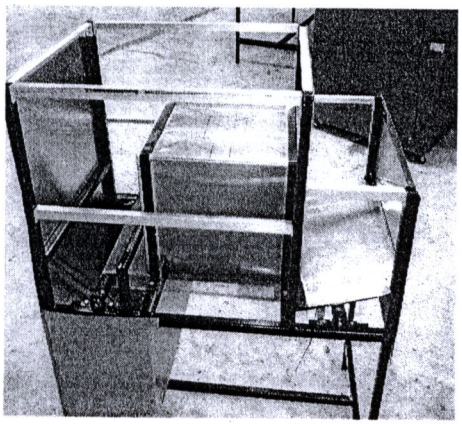
รูปที่ 3.5 แสดงมุ้งลวดที่นำมาใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.6 แสดงการนำมุ้งลวดมาแทนสายพานเพื่อลำเลียงข้าวเปลือก

3.2.4 การออกแบบโครงสร้าง

เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟมีอันตรายจึงออกแบบเครื่องที่มีความคงทนที่สามารถจะป้องกันคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้แผ่นสแตนเลสและอลูมิเนียมหนา 0.5 มิลลิเมตรซึ่งโครงสร้างภายในทั้งหมดก่อนทำการประกอบ แสดงดังรูปที่ 3.7



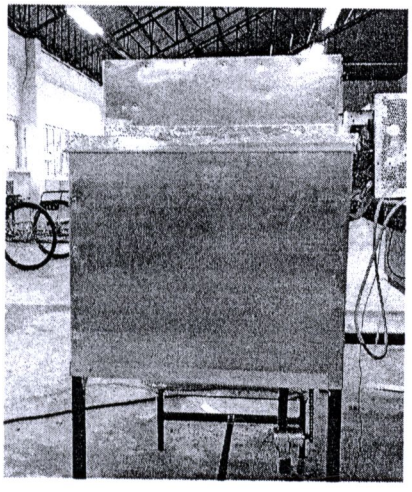
รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างภายในของตู้อบเมล็ดพันธุ์

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การออกแบบโครงสร้างของเครื่องเป็นเหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว โดยขนาดของโครงสร้างที่ออกแบบ ด้านหน้ามีความกว้าง 54 เซนติเมตร ความสูง 120 เซนติเมตร ทางด้านซ้ายและทางด้านขวามีขนาดความยาว 90 เซนติเมตร ความสูงด้านซ้ายสูง 120 เซนติเมตร ทางด้านขวาสูง 60 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 แสดงด้านข้างของเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ทางด้านหลังก็มีความกว้าง 54 เซนติเมตร ความสูงจากพื้นถึงขอบบน 100 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงด้านหลังของเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ

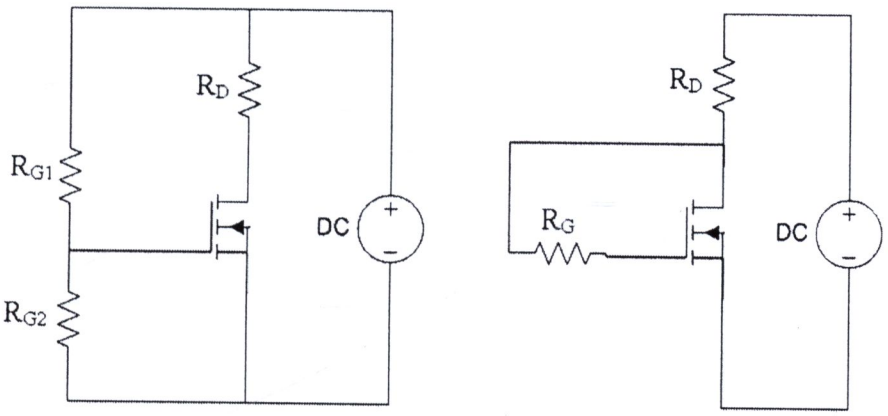
การออกแบบถังใส่ข้าวมีความกว้าง 54 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร หนา 20 เซนติเมตร และเพื่อไม่ให้คลื่นรั่วไหลออกมาด้านนอกจึงได้ทำการใส่ฝาปิดทางด้านบนของตัวเครื่องด้วย

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2.5 วงจรควบคุมมอเตอร์

การไบอัส E-MOSFET

การควบคุมแรงดัน VGS ให้มีค่ามากกว่าแรงดันเทสโฮล VGS (th) จากรูปที่ 3.10 สามารถไบอัส E-MOSFET ได้ 2 วิธีคือไบอัสแบบแบ่งแรงดัน โดยใช้ R1 และ R2 และไบอัสด้วยการป้อนกลับที่เดรน ด้วยการต่อ RG เข้ากับเดรนของ E-MOSFET



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรไบอัส E-MOSFET

วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดันในรูปที่ 3.10 สามารถคำนวณหาค่าของ VGS ได้ดังสมการที่ 3.3-3.4

$$V_{GS} = (R_2/(R_1 + R_2))V_{DD} \quad (3.3)$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D \quad (3.4)$$

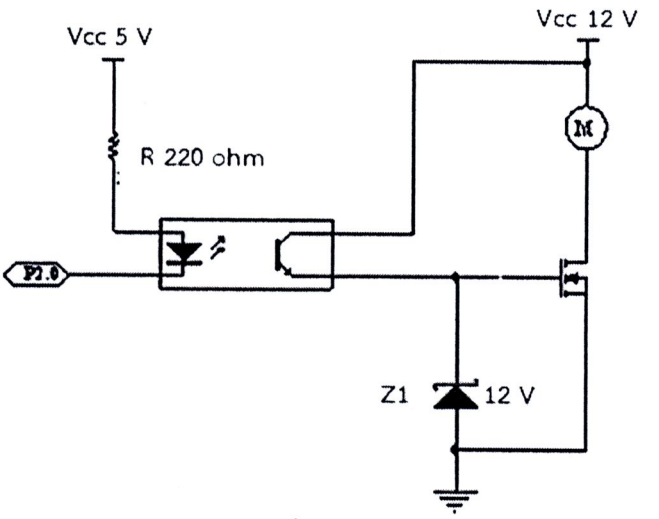
เมื่อ $I_D = K(V_{GS} - V_{GS(TH)})2$

จากข้อมูลข้างต้นได้ออกแบบการไดรด้วยมอสเฟทซึ่งสามารถควบคุมการทำงานของมอสเฟทด้วยออฟโต(Opto) เบอร์ PC817 มี,I_F=50mA,V_{CEO}=35V ซึ่งมอสเฟทจะไดร์ได้ดีและไม่มีการรบกวนจากคลื่นของไมโครเวฟต่างจากรีเลย์ที่มีผลต่อคลื่นเนื่องจากมอเตอร์ 12 V กินกระแส 0.64 A หรือประมาน 1A จึงได้เลือกใช้มอสเฟทเบอร์ IRF 540 ซึ่งสามารถทนกระแสได้ 22 A และ V_{GS} +-22 V, V_{DS} =100 V และใช้ ซีเนอร์ไดโอด 12V ให้มีแรงดันตกคร่อมคง V_{GS} 12 V ซึ่งทำงานในย่านอิ่มตัว ทางด้านแรงดันอินพุตของออฟโต้ไอโซเลเตอร์คำนวณมาจากค่ากระแสที่อินพุตสามารถรับได้มีค่าเท่ากับ 20-50 mA จึงคำนวณได้ดังข้างด้านล่างนี้ (เลือกจำกัดกระแสที่ 20mA)

5/20mA=250 ohm

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

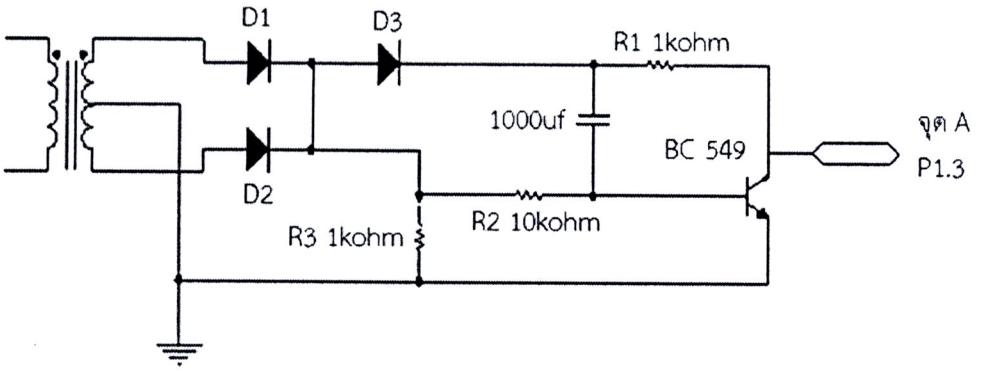
จากการคำนวณข้างต้นได้ค่าความต้านทานทางด้านอินพุตของออฟโต 250 โอห์ม จึงเลือกใช้ 220 โอห์มเพราะมีค่าใกล้เคียง ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรขับมอเตอร์

3.2.6 วงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero Crossing Detectors)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่หาจุดเริ่มของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านให้กับไมโครคอนโทรนเลอร์เพื่อที่จะไปควบคุมการทำงานของไตรแอก ใช้หลักการทำงานคือเมื่อแรงดันผ่านวงจรเร็กติไฟแบบเต็มคลื่นแล้วไปผ่านไดโอดอีกครั้ง เพื่อที่จะเป็นแรงดันให้ขา C ของทรานซิสรเตอร์แบบครึ่งคลื่น ส่วนขา B จ่ายแบบเต็มคลื่นเพื่อที่จะให้ได้แรงดันทางด้านเอาต์พุตไปทริกไมโครคอลโทลเลอร์จึงได้คำนวณค่าความต้านทาน R1 , R2 ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero crossing)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แนวคิดการออกแบบ

แรงดันอินพุต Vin = 12 V , ต้องการเอาต์พุต 5V , I = 6-7 mA

$$Vc = 12V / 7mA = 1k = R1$$

$$Vb = 12V / 7mA = 1k = R2$$

และเพื่อให้แรงดันที่ขา B มีค่ามากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส ใช้ค่าความต้านทาน R3 1k

3.2.7 การออกแบบวงจรควบคุมกำลังวัตต์ (Control power)

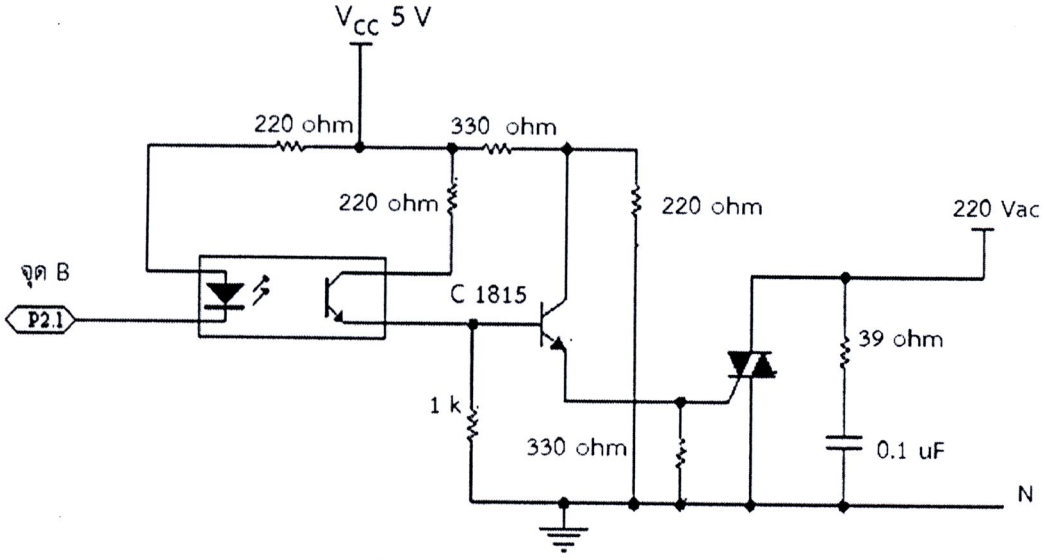
การออกแบบ จะใช้ไตรแอกควบคุมการทำงานของหลอดแมกนีตรอนเพื่อ ปรับระดับกำลังวัตต์ของไมโครเวฟโดยใช้ไมโครคอนโทรนเลอร์ควบคุมการทริกเกต จากเนื่องไมโครทริกแบบตรงๆไตรแอกไม่สามารถได้จึงใช้ C1815 ช่วยในการทริกขาเกต เลือกใช้ไตรแอกเบอร์ BTA40 สามารถทนกระแสได้ 40A ,V_{GT}=1.3 V จึงคำนวณค่าแรงดันจ่ายให้กับไตรแอกดังนี้ ให้ Vcc = 5 V

$$V_{GT} = (5*330)/(220*330)=1.26V$$

ทางด้านแรงดันอินพุตของออฟโต R 220 ohm คำนวณมาจากค่ากระแสที่อินพุตสามารถรับได้มีค่าเท่ากับ 20-50 mA จึงคำนวณได้ดังนี้

$$5/20mA=250\ ohm$$

จากการคำนวณข้างต้นได้ค่าความต้อนทานทางด้านอินพุตของออฟโตได้ 250 โอห์ม จึงเลือกใช้ 220 โอห์มเพราะมีค่าใกล้เคียง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.13

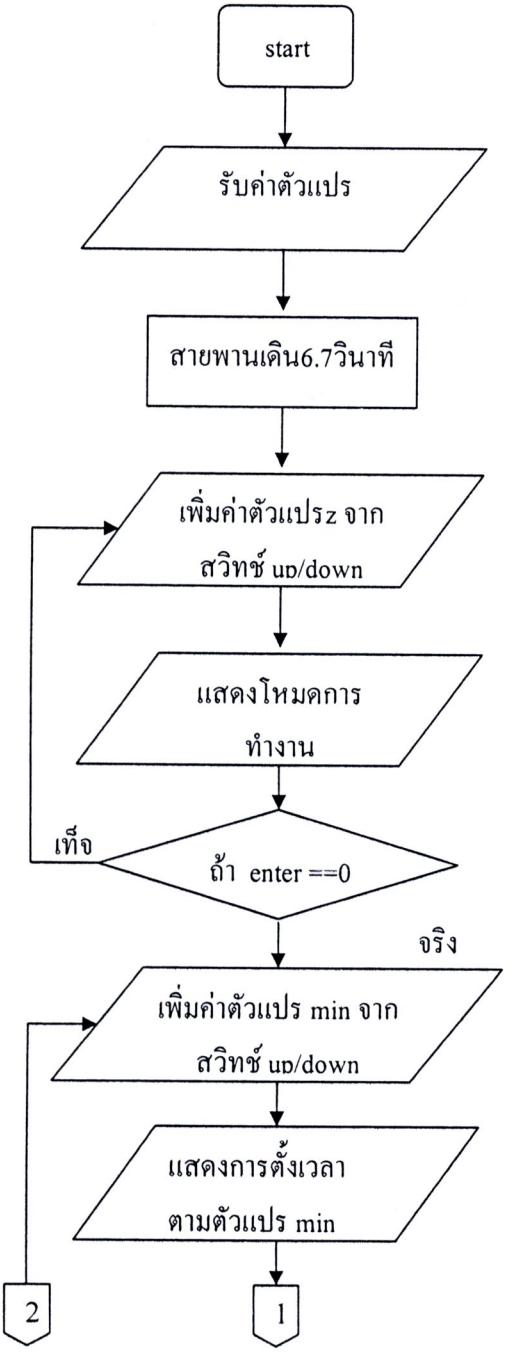


รูปที่ 3.13 แสดงวงจรควบคุมหลอดแมกนีตรอน

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

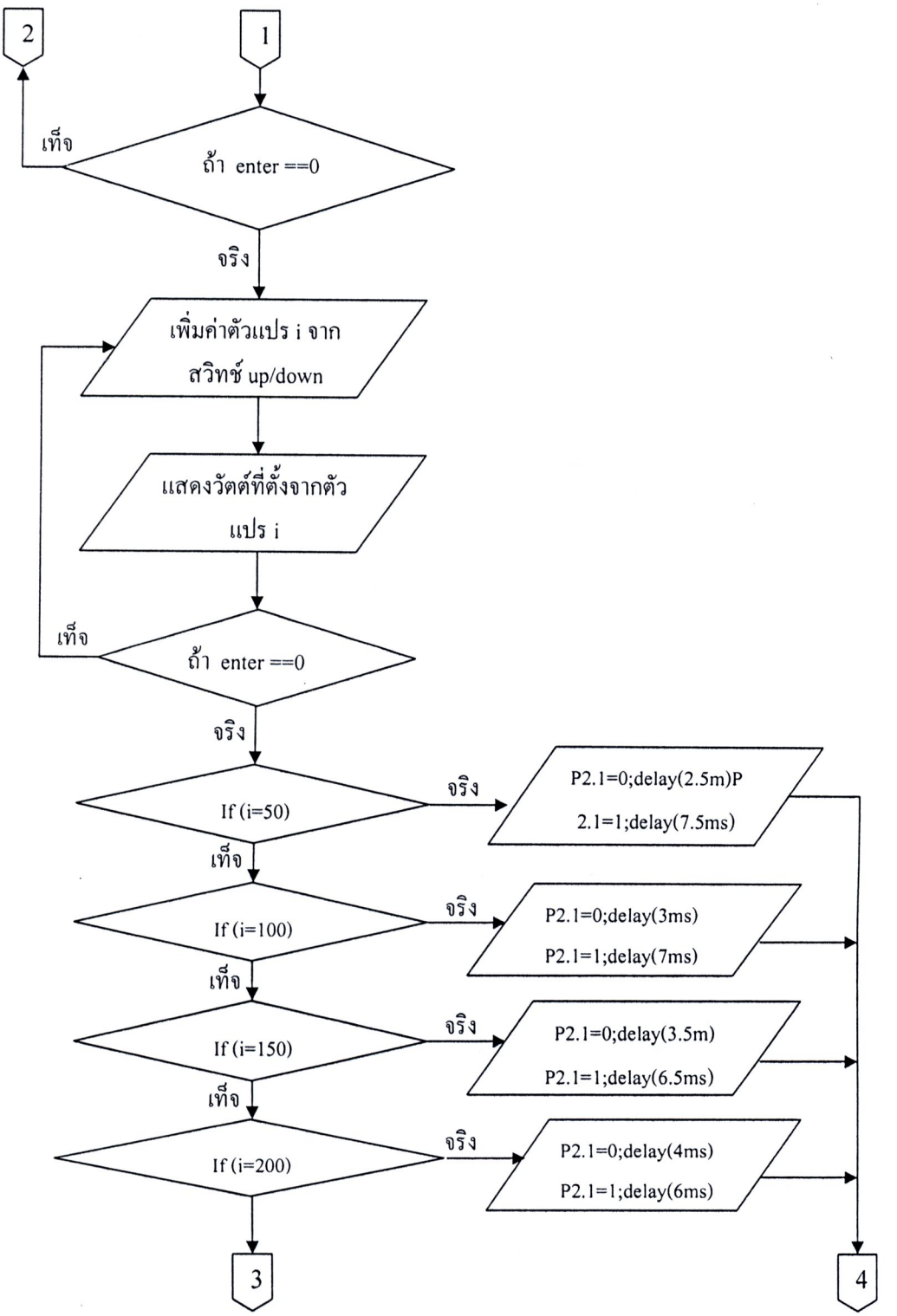
3.3 การออกแบบระบบการทำงานของโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมจำเป็นที่จะต้องมีขั้นตอนต่างๆ ของการเขียนโปรแกรมเพื่อง่ายในการเขียนซึ่งระบบการทำงานของเครื่องมีขั้นตอนดังรูปที่ 3.14



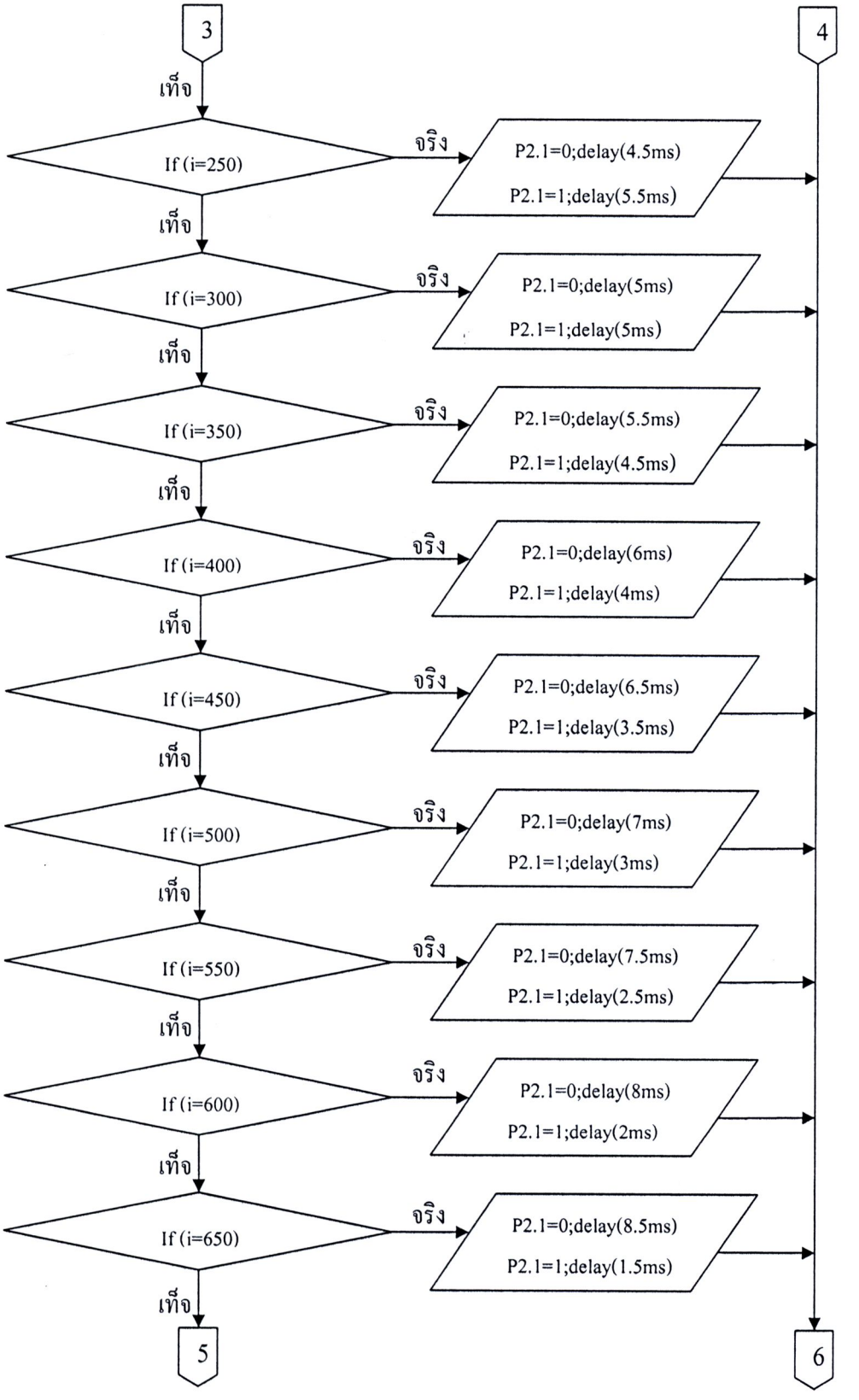
รูปที่ 3.14 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



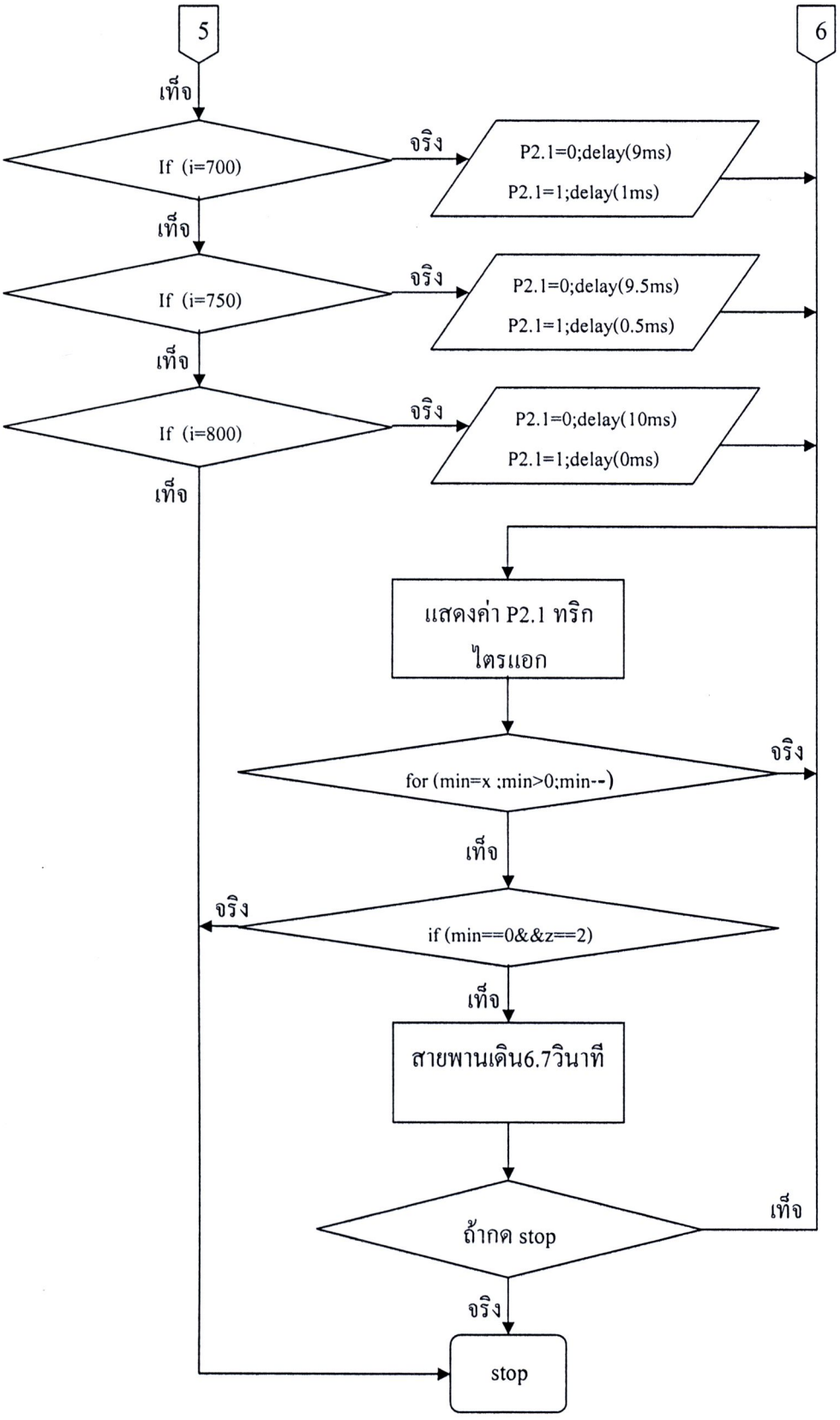
รูปที่ 3.14 (ต่อ) แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 3.14 (ต่อ) แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 3.14 (ต่อ) แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หลักการทำงานของโปรแกรม

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องระบบจะรับค่าตัวแปรหลังจากนั้น สายพานทำการลำเลียงข้าวเปลือกเข้าไปในตู้จากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งใช้เวลา 6.7 วินาที(จากการทดลอง) เลือกระบบการทำงาน จากสวิตซ์ up หรือ down ซึ่งมีระบบการทำงานแบบต่อเนื่อง กับระบบทำงานแบบครั้งเดียวหยุด พร้อมแสดงผลทาง แอลอีดี 7 ส่วน(7-Segment) เมื่อทำการกดปุ่ม enter ระบบจะให้ตั้งค่าของเวลาในการทำงานของเครื่อง โดยจะรับค่าจาก สวิตซ์ up หรือ down เพื่อเพิ่มค่า หรือลดค่าของตังแปร min พร้อมทั้งแสดงค่าทาง แอลอีดี 7 ส่วน เมื่อทำการกดปุ่ม enter ระบบจะลงมาตั้งค่ากำลังวัตต์ทางด้านอินพุต โดยระบบจะรับค่า จากสวิตซ์ up หรือ down เพิ่มค่าหรือลดค่าของตังแปร i โดยเพิ่มค่าที่ละ 50 วัตต์ ได้จนถึง 800 วัตต์ เมื่อกดปุ่ม enter ระบบจะลงมาเช็คค่าของตัวแปร i ว่ามีค่าตรงตามเงื่อนไขใดก็จะไปทำใน main ที่ได้ตั้งค่าไว้โดยแมกนีตรอนทำงานตามตัวแปร d และทำจนกว่าตัวแปร min เท่ากับ 0 จึงจะมาเช็กว่าถ้าตัวแปร min = 0 และ z=1 ให้มอเตอร์เดินตามค่าตัวแปร m และแมกนีตรอนทำงานค่าเดิมซ้ำต่อไปจนกว่าจะกดปุ่มหยุด และถ้าตัวแปร min = 0 และ z = 2 จะให้มอเตอร์เดินตามค่าตัวแปร m และก็กลับไปเริ่มต้นตั้งค่าใหม่อีกครั้ง

หมายเหตุ

i คือ ค่ากำลังวัตต์

min คือ ค่าเวลา

Z คือ ค่าโหมดการทำงาน

m คือ ค่าของเวลาของสายพานลำเลียง

d คือ ค่าเวลาทริกเกต

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง