

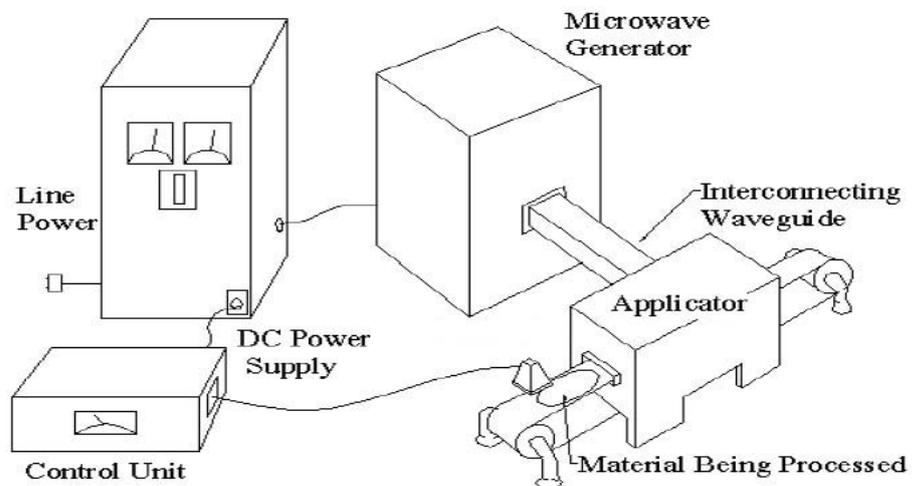
บทที่ 3

แนวความคิด และการออกแบบระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย การออกแบบผู้ลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ ส่วนกำเนิดคลื่นและการควบคุมการส่งกำลัง การออกแบบสายพานลำเลียง การออกแบบโครงสร้าง วงจรควบคุมมอเตอร์ วงจรตรวจจับผ่านศูนย์ การออกแบบวงจรควบคุมกำลังวัตต์ และการออกแบบระบบการทำงานของโปรแกรม

3.1 หลักการและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้อาศัยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยระบบพื้นฐานจะประกอบด้วย แหล่งกำเนิดพลังงานความถี่สูงหรือ เจนเนอเรเตอร์ และโซ่ไดโอดนำคลื่น (Waveguide) ไปยังชิ้นงาน (Load) ที่อยู่ในแอปพลิเคชัน (Applicator) โดยรูปแบบและหลักการการทำงานของระบบแสดงดังไดอะแกรมในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมการทำงานของระบบการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงโดยใช้สายอากาศแบบฮอร์นเพื่อลดความชื้นสำหรับผลิตเมล็ดพันธุ์.

จากรูปที่ 3.1 แมกนีตรอน (Magnetron) ที่ติดตั้งบนท่อนำคลื่น (Waveguide) ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟหรือสร้างพลังงานไมโครเวฟ ไมโครเวฟจะเคลื่อนที่ผ่านท่อนำคลื่นไปยังวัสดุ(เมล็ดพันธุ์)ที่นำมาผ่านกระบวนการที่อยู่ในควาวิตี้ (Cavity) หรือ แอพ

พลิกเคเตอร์ (Applicator) เมื่อพลังงานไมโครเวฟเข้าสู่วัตถุแล้ว ส่วนที่นอกเหนือจากการดูดซับ (Absorbed Wave) โดยตัววัตถุ จะมีบางส่วนที่ทะลุผ่าน (Transmitted Wave) วัตถุ และจะมีบางส่วนที่สะท้อนกลับ (Reflected wave) ไป ซึ่งอันตรายน้อย พลังงานไมโครเวฟที่สะท้อนกลับจะขึ้นอยู่กับค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric Properties) ของวัตถุและคุณลักษณะประจำตัวของวัตถุเอง คลื่นสะท้อนที่เกิดจากการสะท้อนกลับของคลื่นไมโครเวฟขณะชนกับวัตถุ อาจทำให้ตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟเสียหายได้ (โดยเฉพาะระบบที่ใช้อนุภาคนิวตรอน) ดังนั้นโดยทั่วไประบบไมโครเวฟจะติดตั้งตัวดูดคลื่น หรือที่เรียกทั่วไปว่า เซอร์คูลเตอร์ (Circulator) (อุปกรณ์ที่ทำให้คลื่นไมโครเวฟเดินไปทางเดียว) ระหว่างตัวกำเนิดคลื่นและท่อนำคลื่นเพื่อป้องกันการเสียหายดังกล่าว นอกจากนี้ยังติดตั้งอุปกรณ์ปรับแต่งคลื่นเพื่อที่จะลดพลังงานสะท้อนกลับนี้ โดยใช้ อุปกรณ์ที่เรียกว่า Matching Tuner มาติดตั้งระหว่างท่อนำคลื่นและบริเวณทำความร้อน อุปกรณ์ตัวนี้ทำหน้าที่ปรับให้คลื่นไมโครเวฟมีการดูดซับในตัววัตถุได้ดีขึ้น โดยที่การสะท้อนของคลื่นที่ผิววัสดุลดลง ส่งผลทำให้ระบบไมโครเวฟทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด

สำหรับปัญหาหนึ่งของแอปพลิเคชันคลื่นความถี่สูง คือไม่มีความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในโหลด (ผลิตภัณฑ์) ซึ่งส่งผลต่อการกระจายตัวของความร้อนภายในโหลด ดังนั้นเพื่อให้การทำความร้อนมีความสม่ำเสมอจึงอาจจะออกแบบให้มีการเคลื่อนที่หรือการหมุนของโหลดในแอปพลิเคชัน ซึ่งอาจใช้ระบบสายพานลำเลียงหรือถาดหมุน หรือมีโหมคของการกวนสนามพลังงาน (Mode Stirrer) โดยอาจจะเปลี่ยนที่การหมุนรอบตัว และออกแบบสายอากาศแบบฮอร์นเพื่อให้เกิดรูปแบบการกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในแอปพลิเคชันที่ติดตั้ง โดยผลิตภัณฑ์จะถูกลำเลียงผ่านควอเตอร์ภายในแอปพลิเคชันหรือควอเตอร์จะมีสายอากาศแบบฮอร์นเพื่อช่วยในการกระจายคลื่นไมโครเวฟหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้สามารถกระจายได้ทั่วโหลด

3.2 การออกแบบและคำนวณค่าต่างๆทางทฤษฎี

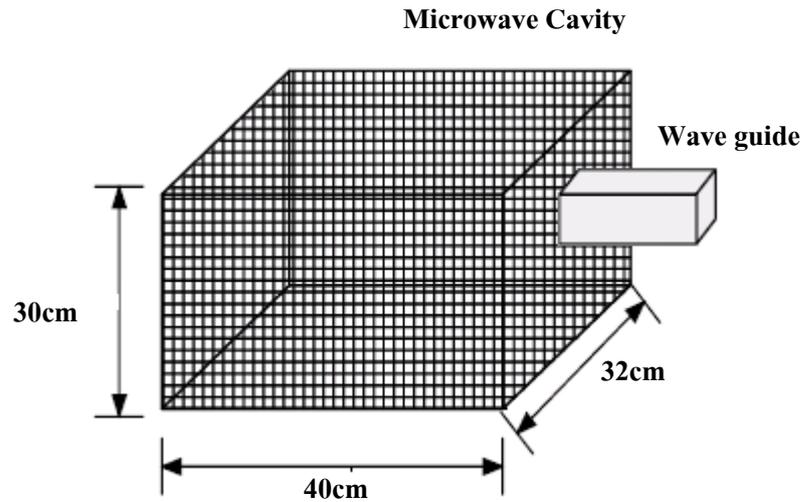
3.2.1 การออกแบบผู้ลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ

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

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

เพื่อใช้ในการอบวัสดุมีหลักการ โดยให้ภายในเตาอบเกิดการสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟอยู่ภายในเตาอบและเกิดการรวมกัน ซึ่งปรากฏนี้เรียกว่าการเกิดคลื่นนิ่งโดยการเกิดคลื่นนิ่งภายในเตาอบได้ถูกออกแบบให้เกิดคลื่นนิ่งได้หลายโหมดการเกิด(multi mode) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 3.2

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



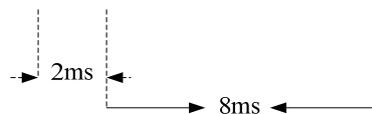
รูปที่ 3.2 แสดงขนาดของเตาอบ (cavity) ที่ได้ออกแบบสร้าง

3.2.2 ส่วนกำเนิดคลื่นและการควบคุมการส่งกำลัง

ในส่วนนี้เป็นการออกแบบระบบควบคุมการทำงานของไมโครเวฟซึ่งหลอดแมกนีตรอนเริ่มทำงานที่ -4000 โวลต์ จึงได้ใช้วงจรทวิแรงดันในการขับหลอดแมกนีตรอน และทำการทดลองปรับระดับแรงดันทางด้านอินพุตด้วยวาร์ริเอกเพื่อหาระดับแรงดันขีดเริ่มของหลอดแมกนีตรอนก่อนเข้าวงจรทวิแรงดันมีค่า 160 โวลต์ ซึ่งใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมกำลังวัตต์ของไมโครเวฟที่ทำการแบ่งระดับการปรับเป็น 16 ระดับโดยปรับครั้งละ 50 วัตต์ ไปจนถึง 800 วัตต์ ในการปรับระดับกำลังวัตต์นี้ได้ใช้ การควบคุมไฟฟ้าทางด้านอินพุตแบบเฟสทริกเกอร์ซึ่งการหาค่าเฉลี่ยของคลื่นไซน์ ด้วยการแบ่งพื้นที่ใต้กราฟเพื่อนำแรงดันของพื้นที่แต่ละส่วน

จากแรงดันที่ทำให้หลอดแมกนีตรอนเริ่มทำงานมีค่า -4000V และจากการทดลองเมื่อทำการวัดแรงดันก่อนเข้าวงจรทวิแรงดันเพื่อใช้ขับหลอดแมกนีตรอนมีค่า 160V เนื่องจากแรงดันอินพุตที่ขับหลอดแมกนีตรอนเป็น 220Vac ความถี่ 50Hz ถ้าพิจารณาในโดเมนของเวลา ครึ่งไซน์เกล็ดของสัญญาณอินพุตมีค่า 10ms จากรูปที่ 3.3 แรงดันเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟที่มุม $\sin 60^\circ$ ได้

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



รูปที่ 3.3 แสดงเวลาซิคเริ่มการทำงานของหลอดแมกนีตรอน

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



รูปที่ 3.5 แสดงมุ้งลวดที่นำมาใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.6 แสดงการนำมุ้งลวดมาแทนสายพานเพื่อลำเลียงข้าวเปลือก

3.2.4 การออกแบบโครงสร้าง

เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟมีอันตรายจึงออกแบบเครื่องที่มีความคงทนที่สามารถจะป้องกันคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้แผ่นสแตนเลสและอลูมิเนียมหนา 0.5 มิลลิเมตรซึ่งโครงสร้างภายในทั้งหมดก่อนทำการประกอบ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างภายในของตู้อบเมล็ดพันธุ์

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



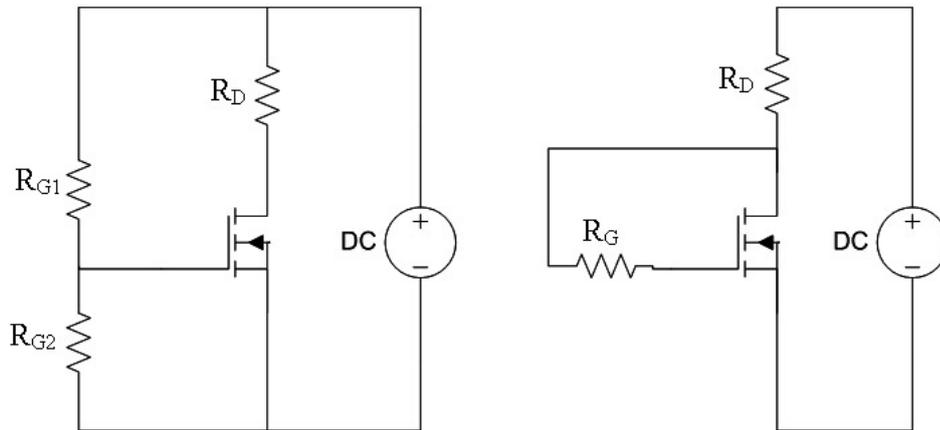
รูปที่ 3.9 แสดงด้านหลังของเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ

การออกแบบถังใส่ข้าวมีความกว้าง 54 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร หนา 20 เซนติเมตร และเพื่อไม่ให้คลื่นรั่วไหลออกมาด้านนอกจึงได้ทำการใส่ฝาปิดทางด้านบนของตัวเครื่องด้วย

3.2.5 วงจรควบคุมมอเตอร์

การไบอัส E-MOSFET

การควบคุมแรงดัน VGS ให้มีค่ามากกว่าแรงดันเทส โทล VGS (th) จากรูปที่ 3.10 สามารถไบอัส E-MOSFET ได้ 2 วิธีคือ ไบอัสแบบแบ่งแรงดัน 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

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

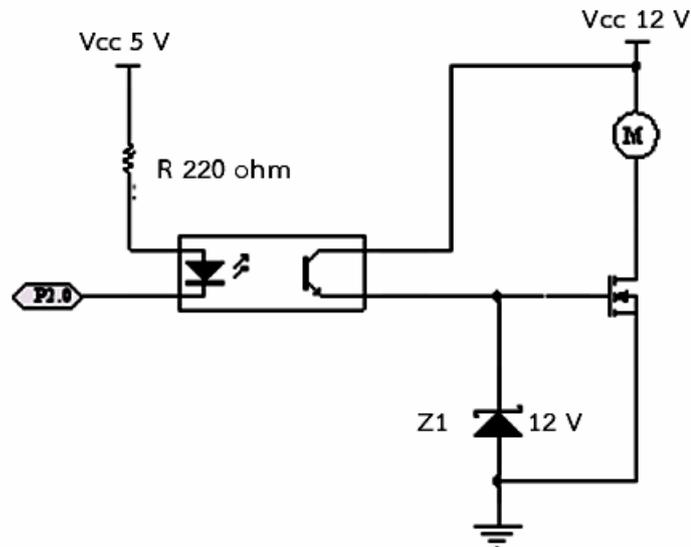
$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D \quad (3.4)$$

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

จากข้อมูลข้างต้นได้ออกแบบการไต่อกับมอเตอร์ด้วยมอเตอร์ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ด้วยออปโต (Opto) เบอร์ PC817 มี $I_F=50\text{mA}$, $V_{CE0}=35\text{V}$ ซึ่งมอเตอร์จะไต่ได้ดีและไม่มี การรบกวนจากคลื่นของไมโครเวฟต่างจากรีเลย์ที่มีผลต่อคลื่นเนื่องจากมอเตอร์ 12 V กินกระแส 0.64 A หรือประมาณ 1A จึงได้เลือกใช้มอเตอร์เบอร์ IRF 540 ซึ่งสามารถทนกระแสได้ 22 A และ $V_{GS} +22\text{ V}$, $V_{DS} =100\text{ V}$ และใช้ ซีเนอร์ไดโอด 12V ให้มีแรงดันตกคร่อม $V_{GS} 12\text{ V}$ ซึ่งทำงาน ในย่านอิมิตัว ทางด้านแรงดันอินพุตของออปโตไดโอด โสเลเตอร์คำนวณมาจากค่ากระแสที่อินพุต สามารถรับได้มีค่าเท่ากับ 20-50 mA จึงคำนวณได้ดังข้างด้านล่างนี้ (เลือกจำกัดกระแสที่ 20mA)

$$5/20\text{mA}=250\text{ ohm}$$

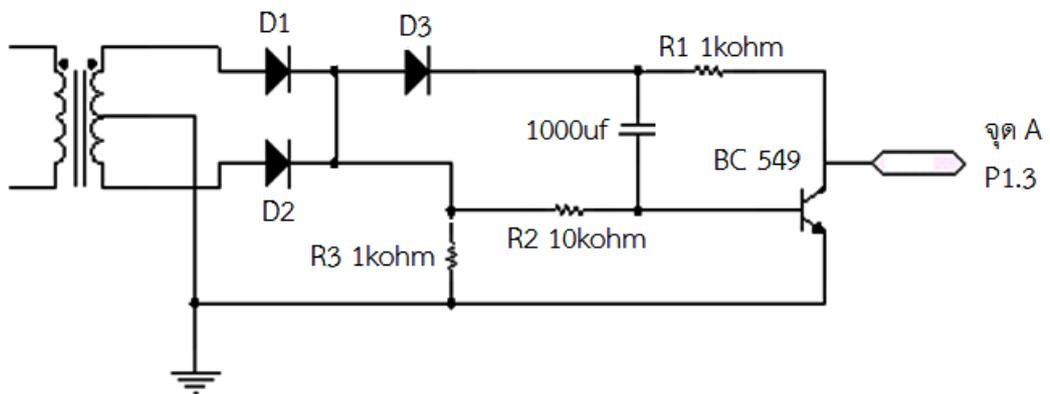
จากการคำนวณข้างต้นได้ค่าความต้านทานทางด้านอินพุตของออฟโต 250 โอห์ม จึงเลือกใช้ 220 โอห์มเพราะมีค่าใกล้เคียง ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรขับมอเตอร์

3.2.6 วงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero Crossing Detectors)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่หาจุดเริ่มของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะไปควบคุมการทำงานของไตรแอก ใช้หลักการทำงานคือเมื่อแรงดันผ่านวงจรเร็กติไฟแบบเต็มคลื่นแล้วไปผ่านไดโอดอีกครั้ง เพื่อที่จะเป็นแรงดันให้ขา C ของทรานซิสเตอร์แบบครึ่งคลื่น ส่วนขา B จ่ายแบบเต็มคลื่นเพื่อที่จะให้ได้แรงดันทางด้านเอาต์พุตไปทริกไมโครคอนโทรลเลอร์จึงได้คำนวณค่าความต้านทาน R1 , R2 ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero crossing)

แนวคิดการออกแบบ

แรงดันอินพุต $V_{in} = 12\text{ V}$, ต้องการเอาต์พุต 5 V , $I = 6\text{-}7\text{ mA}$

$$V_c = 12\text{V} / 7\text{mA} = 1\text{k} = R1$$

$$V_b = 12\text{V} / 7\text{mA} = 1\text{k} = R2$$

และเพื่อให้แรงดันที่ขา B มีค่ามากพอที่จะทำให้อานซิสเตอร์นำกระแส ใช้ค่าความต้านทาน R3 1k

3.2.7 การออกแบบวงจรควบคุมกำลังวัตต์ (Control power)

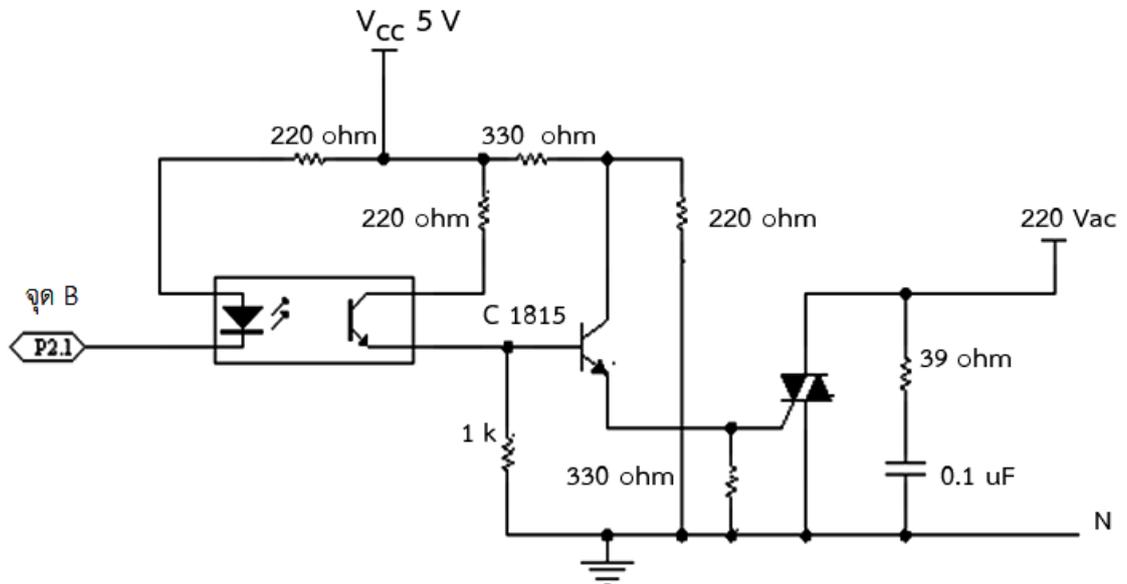
การออกแบบ จะใช้ไทรแอกควบคุมการทำงานของหลอดแมกนีตรอนเพื่อ ปรับระดับกำลังวัตต์ของไมโครเวฟโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทริกเกต จากเนื่องไมโครทริกแบบตรงๆไทรแอกไม่สามารถได้จึงใช้ C1815 ช่วยในการทริกเกต เลือกใช้ไทรแอกเบอร์ BTA40 สามารถทนกระแสได้ 40A , $V_{GT}=1.3\text{ V}$ จึงคำนวณค่าแรงดันจ่ายให้กับไทรแอกดังนี้ ให้ $V_{cc} = 5\text{ V}$

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

ทางด้านแรงดันอินพุตของออฟโต R 220 ohm คำนวณมาจากค่ากระแสที่อินพุตสามารถรับได้มีค่าเท่ากับ 20-50 mA จึงคำนวณได้ดังนี้

$$5 / 20\text{mA} = 250\text{ ohm}$$

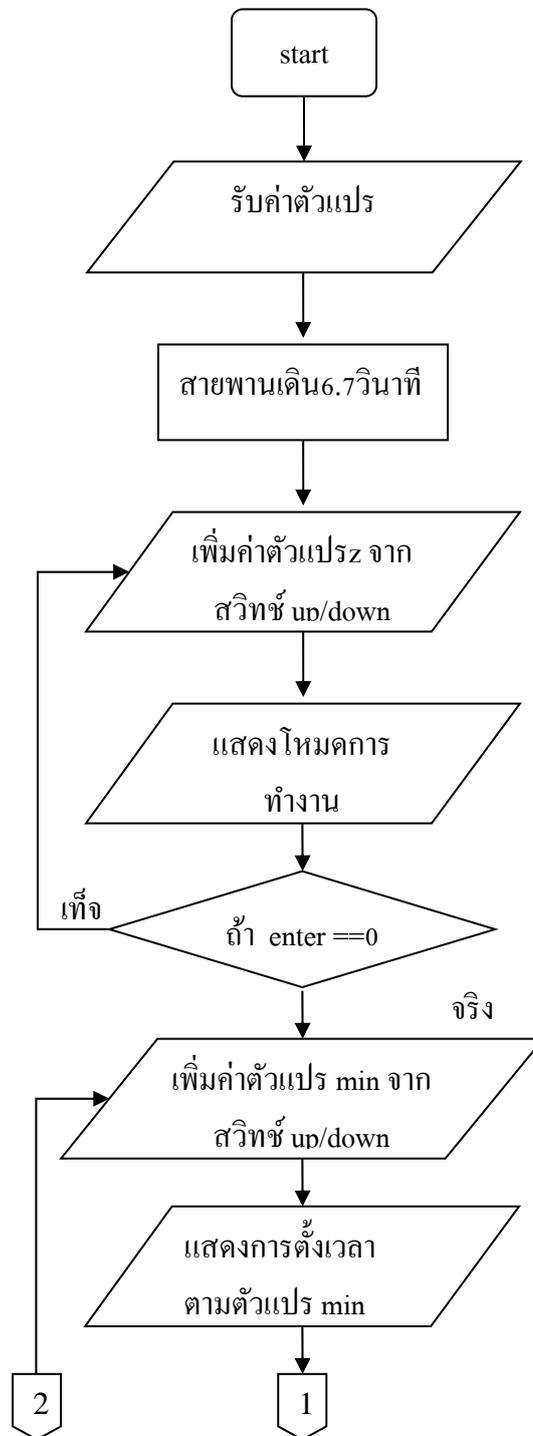
จากการคำนวณข้างต้นได้ค่าความต้านทานทางด้านอินพุตของออฟโตได้ 250 โอห์ม จึงเลือกใช้ 220 โอห์มเพราะมีค่าใกล้เคียง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.13



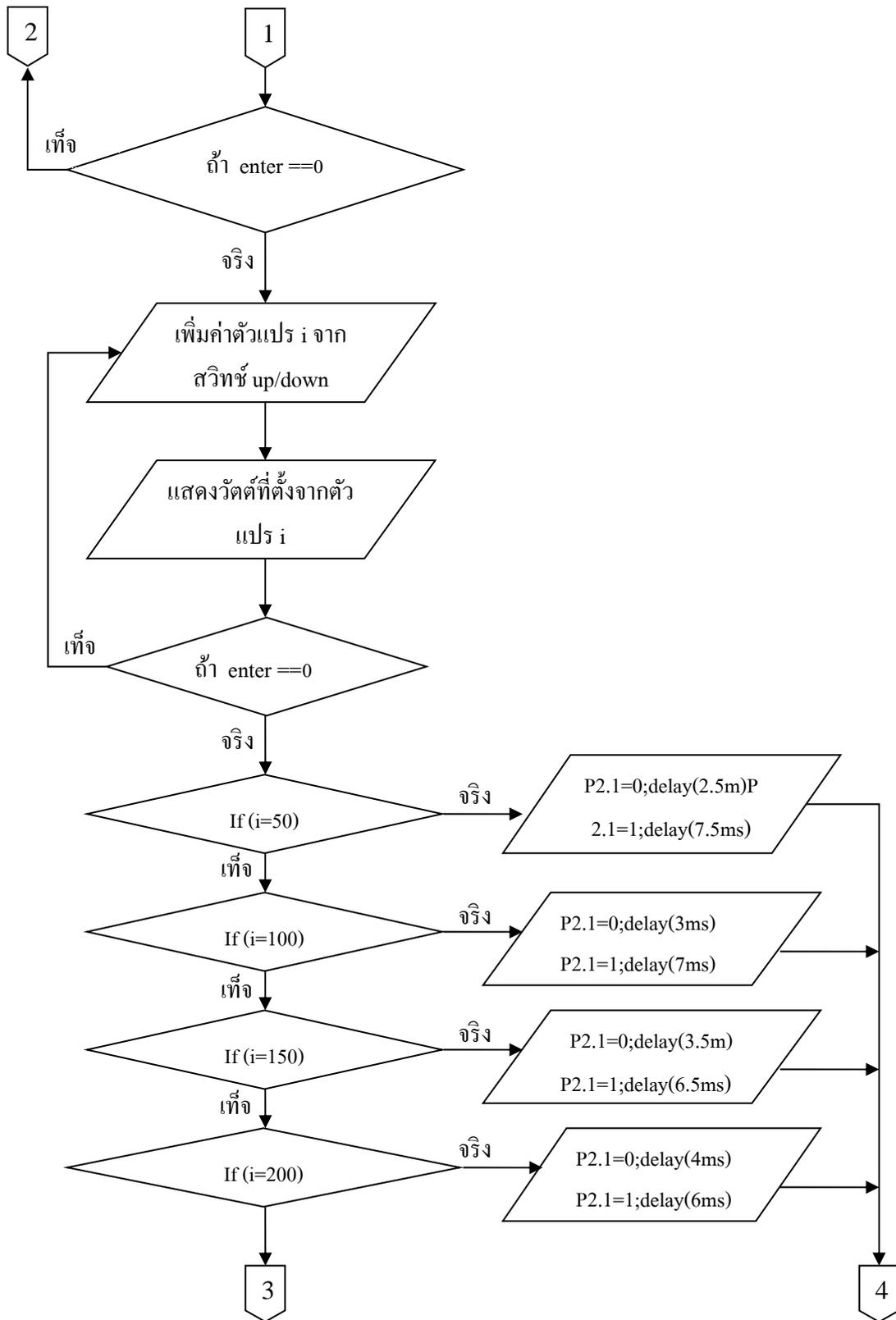
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรควบคุมหลอดแมกนีตรอน

3.3 การออกแบบระบบการทำงานของโปรแกรม

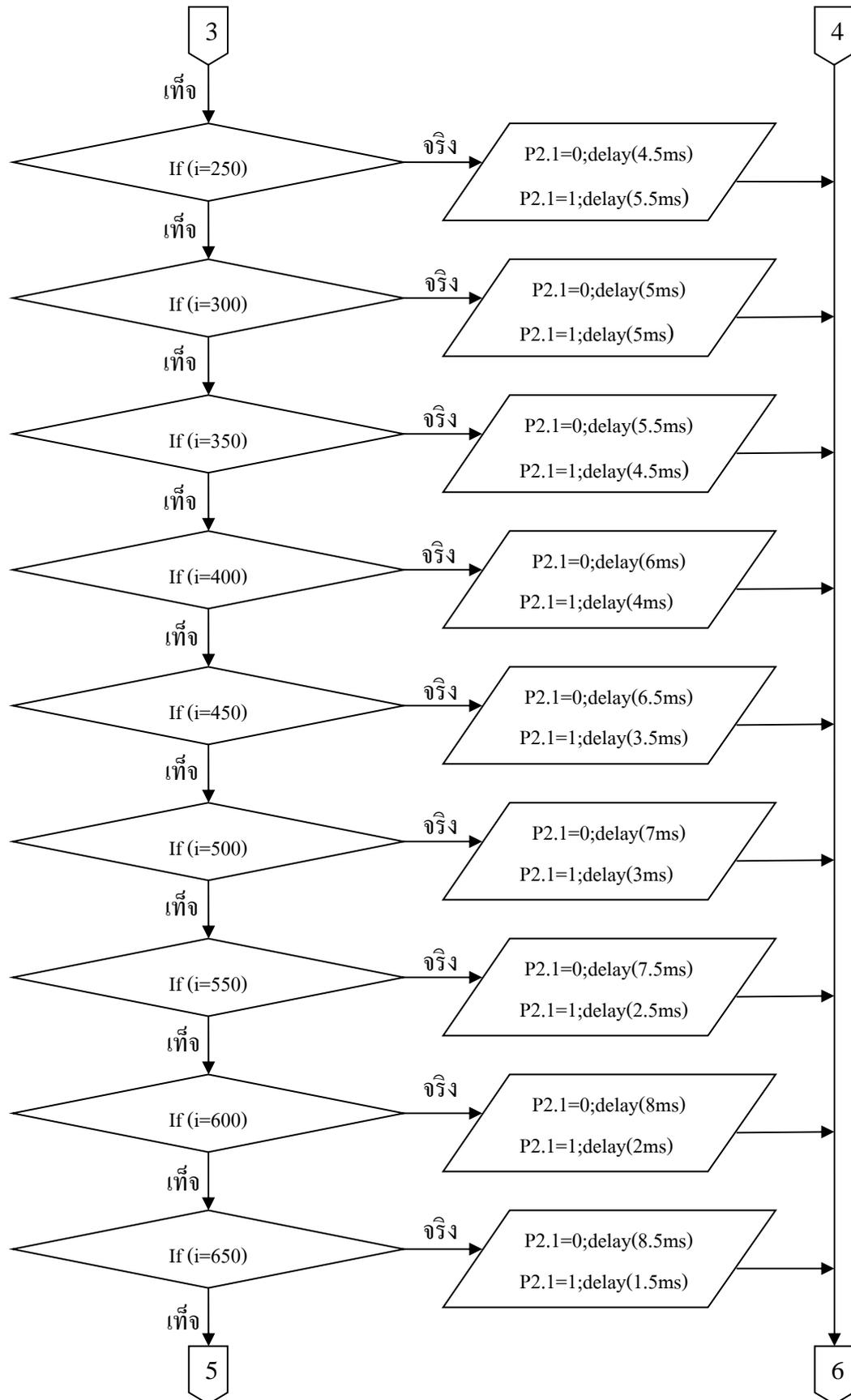
ในการเขียนโปรแกรมจำเป็นที่จะต้องมีส่วนขั้นตอนต่างๆ ของการเขียนโปรแกรมเพื่อง่ายในการเขียนซึ่งระบบการทำงานของเครื่องมีขั้นตอนดังรูปที่ 3.14



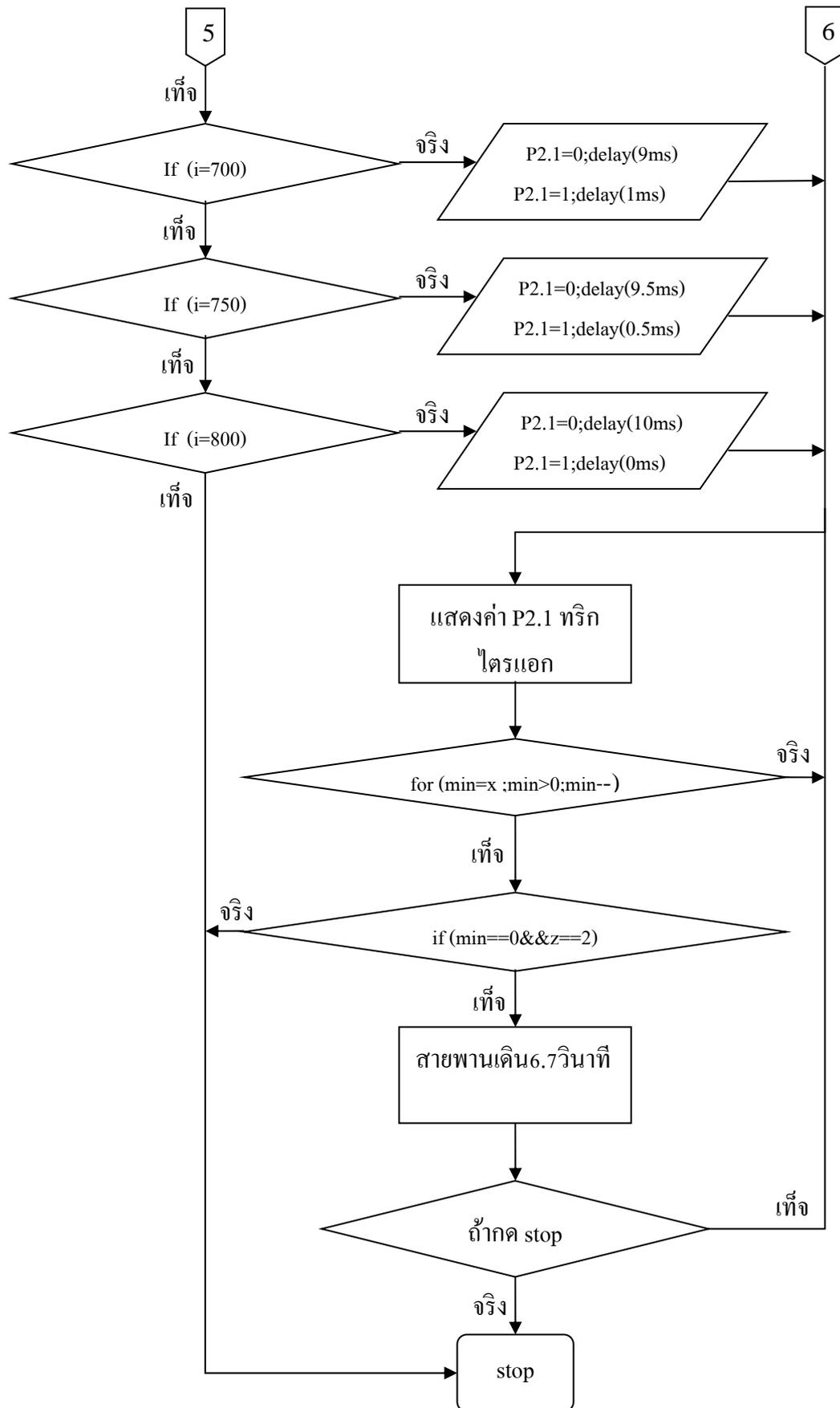
รูปที่ 3.14 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.14 (ต่อ) แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.14 (ต่อ) แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.14 (ต่อ) แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม

หลักการการทำงานของโปรแกรม

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องระบบจะรับค่าตัวแปรหลังจากนั้น สายพานทำการลำเลียงข้าวเปลือกเข้าไปในตู้จากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งใช้เวลา 6.7 วินาที(จากการทดลอง) เลือกระบบการทำงาน จากสวิตช์ up หรือ down ซึ่งมีระบบการทำงานแบบต่อเนื่อง กับระบบทำงานแบบครั้งเดียวหยุด พร้อมแสดงผลทาง แอลอีดี 7 ส่วน(7-Segment) เมื่อทำการกดปุ่ม enter ระบบจะให้ตั้งค่าของเวลาในการทำงานของเครื่อง โดยจะรับค่าจาก สวิตช์ up หรือ down เพื่อเพิ่มค่า หรือลดค่าของตั้งแปร min พร้อมทั้งแสดงค่าทาง แอลอีดี 7 ส่วน เมื่อทำการกดปุ่ม enter ระบบจะลงมาตั้งค่ากำลังวัตต์ทางด้านอินพุต โดยระบบจะรับค่า จากสวิตช์ up หรือ down เพิ่มค่าหรือลดค่าของตั้งแปร i โดยเพิ่มค่าที่ละ 50 วัตต์ ได้จนถึง 800 วัตต์ เมื่อกดปุ่ม enter ระบบจะลงมาเช็คค่าของตัวแปร i ว่ามีค่าตรงตามเงื่อนไขใดก็จะไปทำใน main ที่ได้ตั้งค่าไว้โดยแมกนีตรอนทำงานตามตัวแปร d และทำจนกว่าตัวแปร min เท่ากับ 0 จึงจะมาเช็คกว่าถ้าตัวแปร $min = 0$ 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