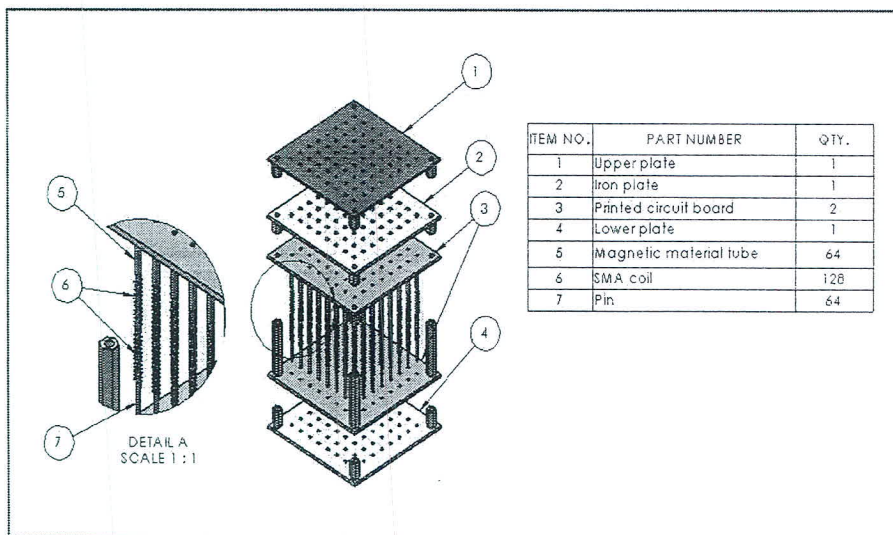


บทที่ 4

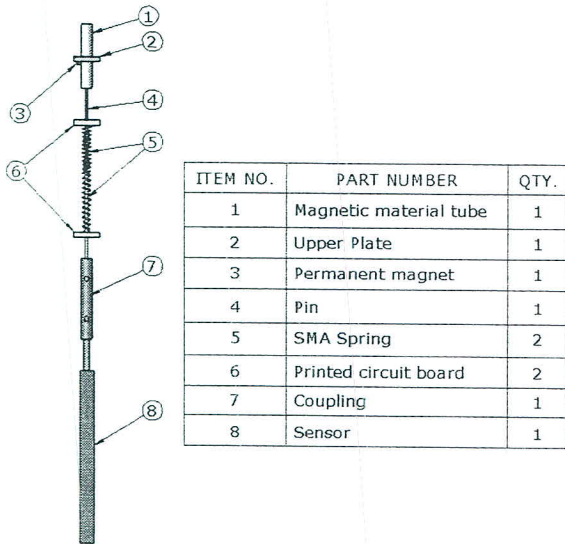
แนวทางในการออกแบบ

4.1 การออกแบบทางกล

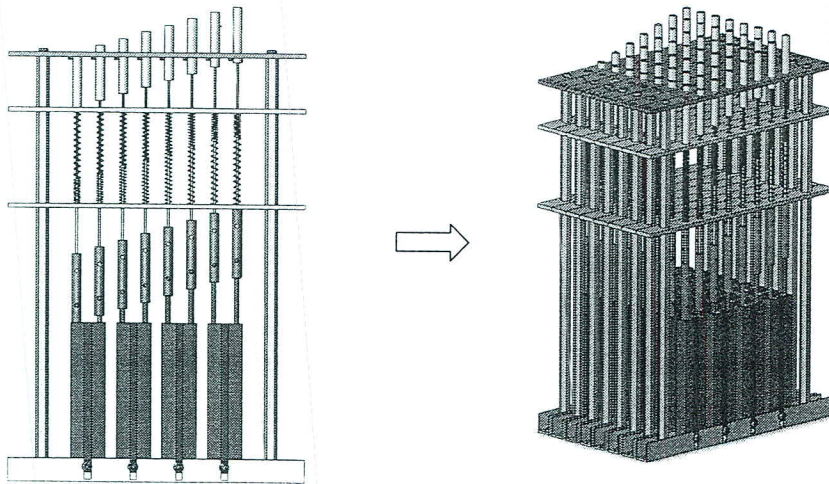


รูปที่ 4.1 การออกแบบแบบแสดงผลแบบสามมิติ

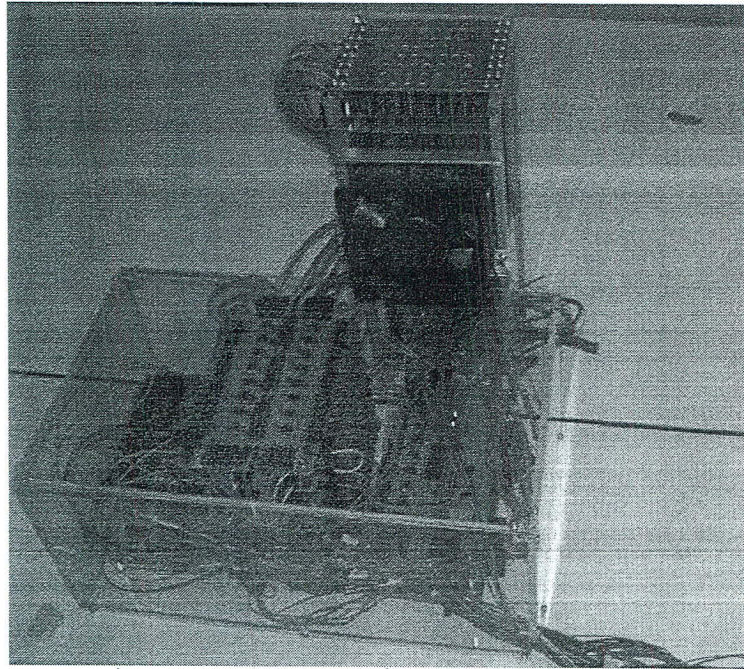
จากรูปจะใช้ Pin ในการแสดงผลทั้งหมด 64 ปุ่ม โดยแต่ละ Pin จะถูกขับเคลื่อนโดยใช้ spring SMA 2 coil ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นลง ดังนั้นเมื่อทำให้ Pin แต่ละอันเคลื่อนที่ขึ้นลง ด้วยระยะที่แตกต่างกันจะทำให้มองเห็นในลักษณะ 3 มิติ ระบบทางกลที่ได้ออกแบบไว้ ด้านบนของ Pin จะเป็นแผ่นแม่เหล็กทำหน้าที่ในการเหนี่ยวนำ ให้ Pin หยุดการเคลื่อนที่เมื่อควบคุมระยะได้ตามที่ต้องการ ส่วนด้านล่างจะติดตั้ง sensor เพื่อตรวจวัดระยะทางในการเคลื่อนที่ และจะมีแผ่น circuit board 2 แผ่นทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อ spring SMA กับ ลายทองแดงเพื่อป้องกันกระแสให้กับ spring SMA สำหรับด้านข้างของ SMA actuator จะติดตั้ง พัดลมเพื่อระบายความร้อนให้กับ spring SMA โดยคำนึงถึงการตอบสนองของ Actuator สำหรับการออกแบบจะต้องทำให้พื้นที่ของ spring SMA สัมผัสกับอากาศให้มากที่สุด การเคลื่อนที่ของ Pin แต่ละอันนั้นไม่เป็นอิสระต่อกันขึ้นอยู่กับ Program ที่ได้ออกแบบเอาไว้



รูปที่ 4.2 แท่งแสดงผลซึ่งประกอบไปด้วยการทำงานร่วมกันของสปริงสองส่วน



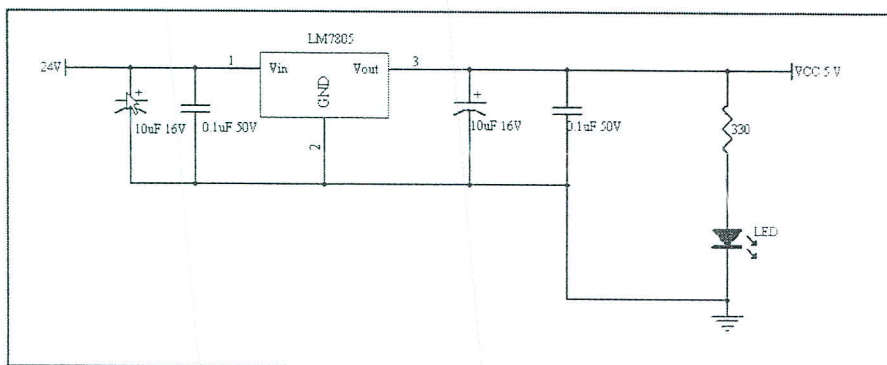
รูปที่ 4.3 แท่งแสดงผลประกอบรวมกันเป็นจอแสดงผลขนาด 8x8



รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นหลังจากการออกแบบ

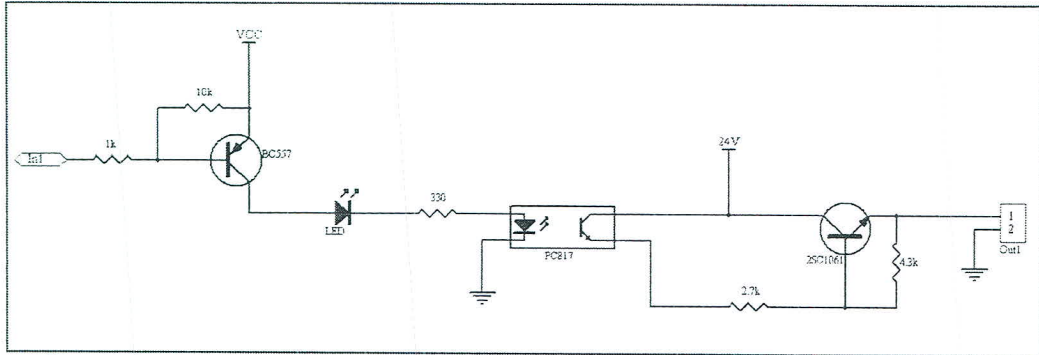
รูปที่ 4.3-4.4 แสดงถึงการออกแบบระบบแสดงผลแบบสามมิติ โดย รูปที่ 4.4 เป็นตัวแสดงผลที่ประกอบขึ้น ด้านล่างเป็นส่วนของวงจรควบคุมในการให้กระแสไฟฟ้าเข้าสู่หลอด SMA ส่วนด้านบนจะเป็นเป็นแผงแสดงผลขนาด 8x8 โดยมีพัดลมติดอยู่ด้านข้างเพื่อช่วยระบายความร้อนในระหว่างการควบคุมการเคลื่อนที่

4.2 การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์



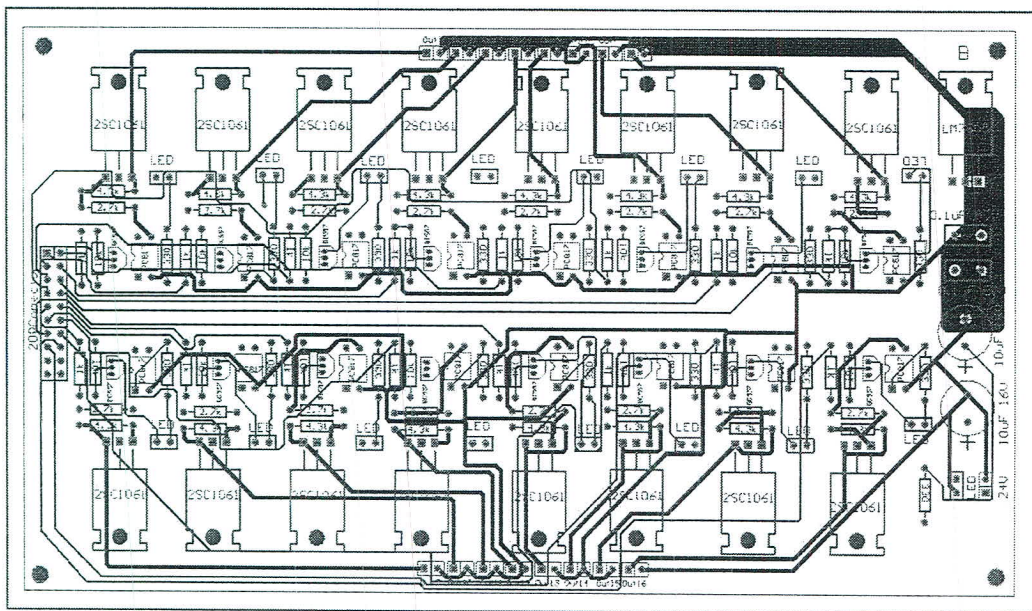
รูปที่ 4.5 ออกแบบอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อจ่ายไฟ

การออกแบบวงจรปรับแรงดันไฟเลี้ยงโดยแปลงแรงดันจากแหล่งจ่ายกระแสตรงที่มีค่าสูงให้มีค่าต่ำตามที่ต้องการใช้กับวงจรโดยใช้ IC Regulator เบอร์ LM7805 ได้รับแรงดันจากแหล่งจ่ายกระแสตรง 24 V แปลงแรงดันให้ Output ออก 5 V



รูปที่ 4.6 ออกแบบอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อจ่ายไฟให้กับ SMA Actuator

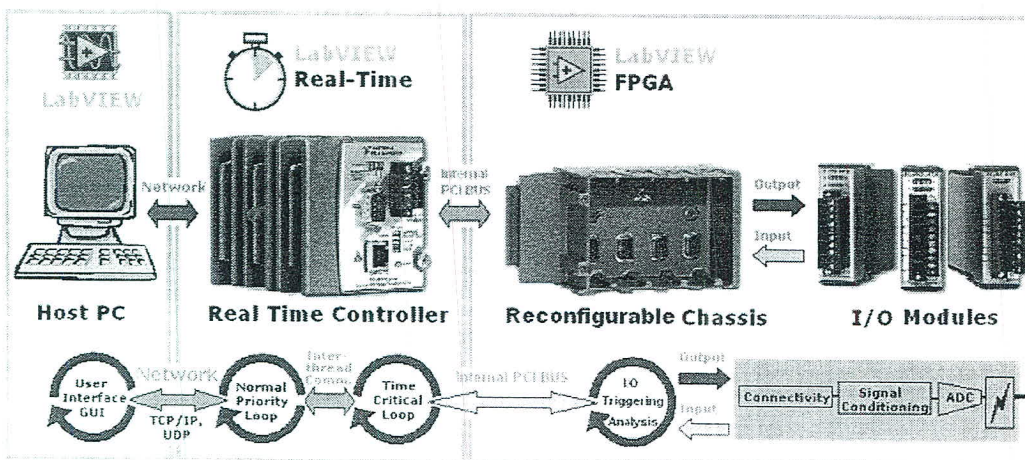
ลักษณะวงจรที่จ่ายกระแสให้กับ SMA actuator ซึ่งการทำงานของวงจรจะแยกส่วน Input กับ Output ออกจากกันเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจาก Controller โดยจะเริ่มทำงานเมื่อป้อนโลจิก "0" ที่ Input ซึ่งจะส่งผลให้ขา Base ของทรานซิสเตอร์ BC 557 ได้รับการไบอัส ทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส ซึ่งจะให้มีแรงดัน +VCC (+5VDC) ไหลออกจากขา Emitter ไปยัง Collector ผ่าน LED ติดสว่าง และวงจร OPTO ISOLATE ทำงาน เป็นผลให้เกิดมีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย +24 VDC ผ่านภาค Output ของ OPTO ISOLATE (PC 817) โดยแรงดัน V_{out} จะถูกจำกัดขนาดของกระแสด้วยตัวต้านทาน $2.7\text{ k}\Omega$ ก่อนที่จะป้อนให้กับขา Base ของทรานซิสเตอร์ 2SC1061 ที่ต่ออยู่กับวงจรภาค Output เป็นผลให้ทรานซิสเตอร์ 2SC1061 นำกระแส ซึ่งก็จะทำให้มีกระแสไฟไหลผ่าน SMA ทำให้เกิดการขับเคลื่อนที่ของตัว SMA actuator



รูปที่ 4.7 แผงวงจรที่วางไว้เพื่อการจ่ายไฟสำหรับแผงแสดงผล

จากรูปเป็นการออกแบบลายวงจรซึ่งจะรวมวงจรแหล่งจ่ายไฟและวงจรจ่ายกระแสให้กับ SMA เพื่อโดยมี Input สำหรับ Real time Controller และ Output 16 ช่อง สำหรับ SMA

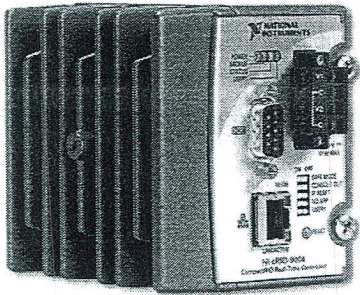
4.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับในการควบคุม



รูปที่ 4.8 อุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวแสดงผล

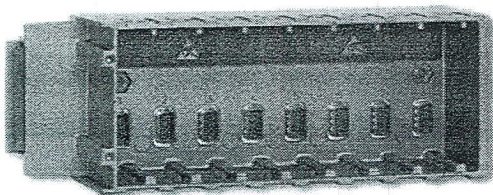
จากรูปแสดงถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมซึ่งจะประกอบด้วย Computer, Real Time controller, FPGA, I/O Modules

Real-Time Controllers



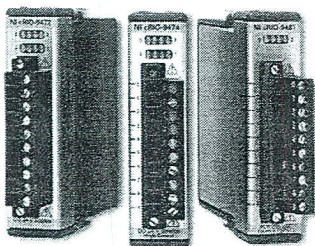
Real-Time Controllers ที่ใช้ในงานวิจัยนี้โดยใช้ cRIO-9014 เพื่อการควบคุมการเคลื่อนที่ของ SMA actuator มีหน่วยความจำภายใน DRAM 128 MB 400 MHz ใช้ไฟกระแสตรง 9-35 VDC จะติดต่อกับ Computer ผ่านสาย LAN สำหรับรับ-ส่งข้อมูล และเชื่อมต่อกับ Reconfigurable Embedded Chassis 4 slot

Reconfigurable Embedded Chassis



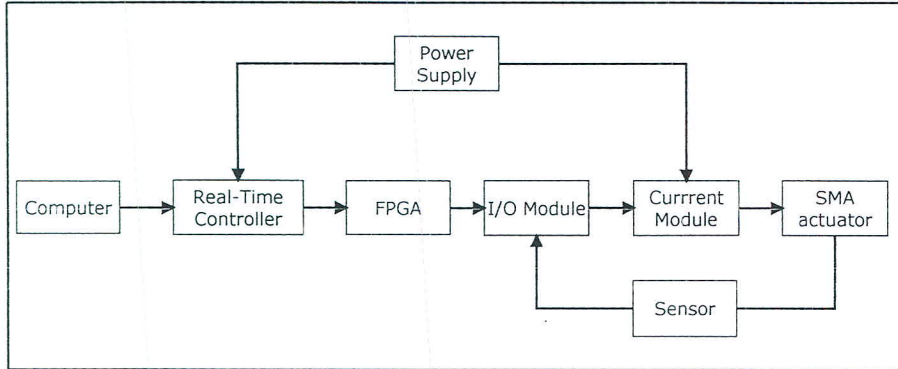
เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ Real-Time Controller ผ่านทาง PCI bus จะทำหน้าที่เป็น embedded FPGA สำหรับควบคุม I/O Modules

Compact RIO I/O Modules

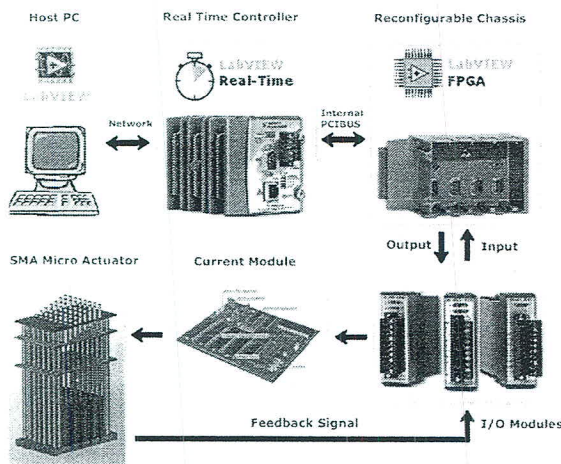


เป็นอุปกรณ์ I/O ที่ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกไม่ว่าจะเป็น Digital I/O module และ Analog I/O สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ NI 9403 เป็น Digital Output ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์ และ NI 9217 เป็น Analog Input โดยทำหน้าที่เป็น Input ของสัญญาณที่รับมาจาก Displacement Sensor

4.4 ภาพรวมของระบบ



รูปที่ 4.9 ภาพรวมของระบบในรูปแบบของ Block diagram

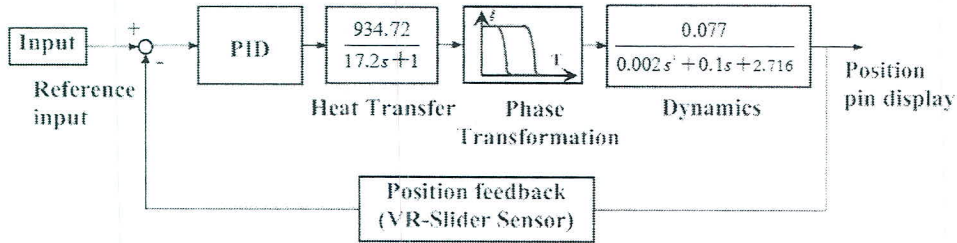


รูปที่ 4.10 แผนภาพแสดงการทำงานร่วมกันทั้งหมดในระบบ

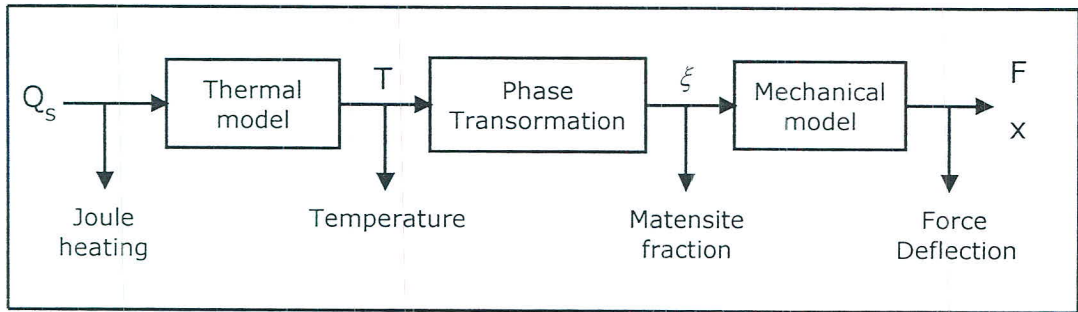
รายละเอียดการสร้างแบบจำลอง และการคำนวณทาง Simulation โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink

แบบจำลอง ใน Simulink ประกอบไปด้วยการรวม Model ต่างๆเข้าด้วยกันขณะที่ลวด SMA เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและต่อเนื่องทำให้เกิดการเคลื่อนที่ โดยการเปลี่ยนแปลงนี้

เป็นผลมาจากการให้ความร้อนผ่านทางกระแสไฟฟ้า และความร้อนนี้ไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลวด ก่อให้เกิดการหดตัวของลวดกลับไปสู่รูปร่างที่ลวดได้จำไว้ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ทางกลขึ้น ดังนั้นจึงมีการสร้างแบบจำลองในแต่ละส่วนของการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.11-4.12



รูปที่ 4.11 Block diagram แสดงการทำงานเพื่อใช้ในแบบจำลอง Simulink



รูปที่ 4.12 ภาพรวมของระบบโดยจะการทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลองจาก Model ต่าง ๆ

1) แบบจำลองการถ่ายเทความร้อน (Thermal Model)

จากกฎของเทอโมไดนามิกส์ ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (กำลังงานที่ป้อนให้กับ SMA) กับ เอาท์พุท แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\rho CV \frac{dT}{dt} = Q_s - hA(T - T_0)$$

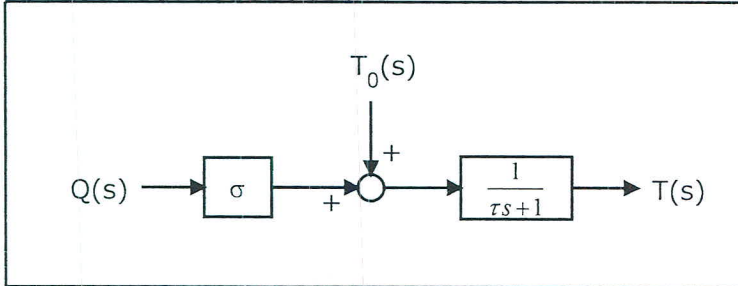
$$\rho CV \frac{dT}{dt} + hAT = Q_s + hAT_0$$

$$\frac{\rho CV}{hA} \frac{dT}{dt} + T = \frac{Q_s}{hA} + T_0$$

$$\text{กำหนดให้ } \tau = \frac{\rho CV}{hA} \quad \sigma = \frac{1}{hA}$$

$$(\tau s + 1)T(s) = \sigma Q(s) + T_0(s)$$

$$T(s) = \frac{\sigma}{(\tau s + 1)}Q(s) + \frac{1}{(\tau s + 1)}T_0(s)$$



รูปที่ 4.13 Block diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต $Q(s)$ และเอาต์พุต $T(s)$

ความยาวของลวด SMA ที่ใช้ทำ Spring

$$\begin{aligned} L &= n\sqrt{P^2 + (\pi D)^2} \\ &= 12\sqrt{0.5^2 + (\pi \times 2.5)^2} \\ &= 94.44 \text{ mm} \end{aligned}$$

การหาพื้นที่ผิวสัมผัส

$$\begin{aligned} A &= \pi dL \\ &= \pi \times 0.5 \times 94.44 \\ &= 148.35 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

การคำนวณหาปริมาตร

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi d^2}{4} L \\ &= \frac{\pi \times 0.5^2}{4} \times 94.44 \\ &= 29.13 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของ SMA actuator

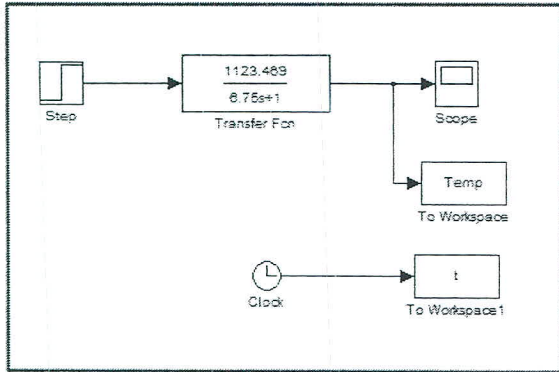
Properties		Value	Unit
Wire's diameter	d	0.2	mm

Mean coil diameter	D	2.825	mm
Active coil	n	32	
Density	ρ	0.645	g/cm^3
Specific heat	C_p	0.32	$\text{J/g}^\circ\text{C}$
Volume	V	8.92	mm^3
Convection surface	A	178.31	mm^2
Heat-transfer coefficient	h	6	$\text{W/m}^2\text{C}$
Transformation temperatures		78, 68, 52,	$^\circ\text{C}$
A_f, A_s, M_s, M_f		42	
Elastic module tensor	E	700	MPa
Coefficient tensor	Ω	-70	MPa
Mass of pin	m	0.002	kg

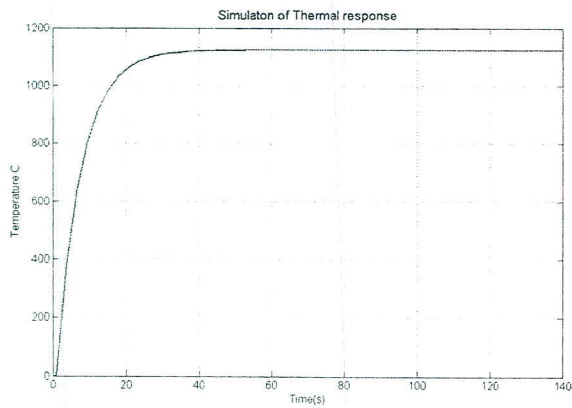
$$\tau = \frac{\rho CV}{hA} = \frac{0.645 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0.32 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} \times 29.13 \times 10^{-3} \text{cm}^3}{6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} \times 148.35 \times 10^{-6} \text{m}^2} = 17.2\text{s}$$

$$\sigma = \frac{1}{hA} = \frac{1}{6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} \times 148.35 \times 10^{-6} \text{m}^2} = 934.72 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

หลังจากนั้นจึงใช้พารามิเตอร์ที่ได้ทำการจำลอง Simulate โดยใช้ Simulink จาก Transfer function ที่หามาได้



รูปที่ 4.14 Block diagram ของ Thermal Model



รูปที่ 4.15 การตอบสนองของอุณหภูมิเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

2) แบบจำลองการเปลี่ยนเฟส (Phase Transformation Model for Heating)

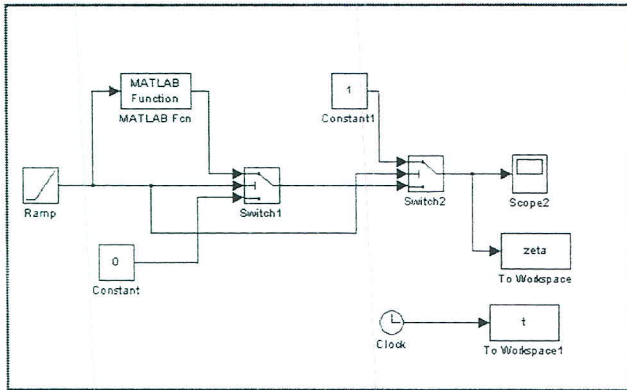
$$\xi(T) = 0 \quad \text{for } T > A_f$$

$$\xi(T) = \frac{1}{2} \left[\cos \left(\pi \frac{T - A_s}{A_f - A_s} \right) + 1 \right] \quad \text{for } A_s < T < A_f$$

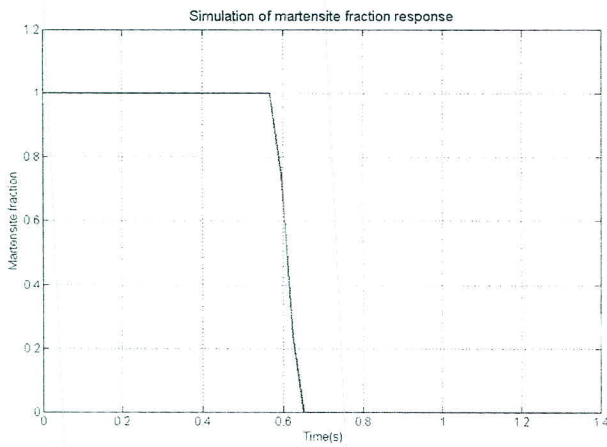
$$\xi(T) = 1 \quad \text{for } T < A_s$$

$$A_s = 68^\circ C \quad A_f = 78^\circ C$$

$$M_f = 42^\circ C \quad M_s = 52^\circ C$$



รูปที่ 4.16 Block diagram ของ Phase transformation



รูปที่ 4.17 ผลการตอบสนองของขณะที่เกิดการเปลี่ยนเฟส

3) แบบจำลองการเคลื่อนที่ทางกล (Mechanical model)

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติต่าง ๆ ของ spring SMA แสดงดังนี้

d	Wire's diameter	0.5 mm
n	Active coil	12
E	Elastic module	1192.43 MPa
Ω	Coefficient tensor	-15.89 MPa
D	Mean coil diameter	2.5 mm
c	Damping coefficient of SMA	0.15 Ns/m
m	Mass	0.009 kg

$$P_1 = Ax + B\dot{\xi}_1$$

$$A = \frac{d^4 E_1}{8nD^3} \quad B = \frac{\pi d^3 \Omega_1}{8D}$$

$$A = \frac{d^4 E}{8nD^3} = \frac{(0.5 \times 10^{-3})^4 m^4 \times 1192.43 \times 10^6 N/m^2}{8 \times 12 \times (2.5 \times 10^{-3})^3 m^3} = 12.1207 N/m$$

$$B = \frac{\pi d^3 \Omega}{8D} = \frac{\pi (0.5 \times 10^{-3})^3 m^3 (-15.89 \times 10^6) N/m^2}{8 \times 2.5 \times 10^{-3} m} = -0.312 N$$

$$P_2 = -Kx$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} = P_2 - P_1$$

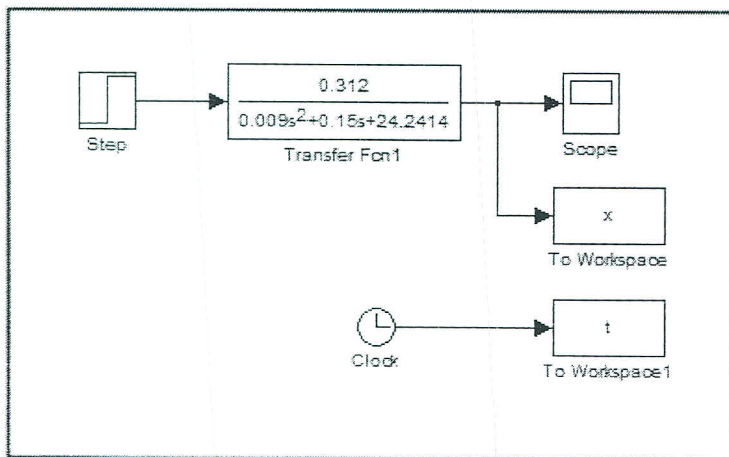
$$= -Kx - Ax - B\dot{\xi}_1$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + (K + A)x = -B\dot{\xi}_1$$

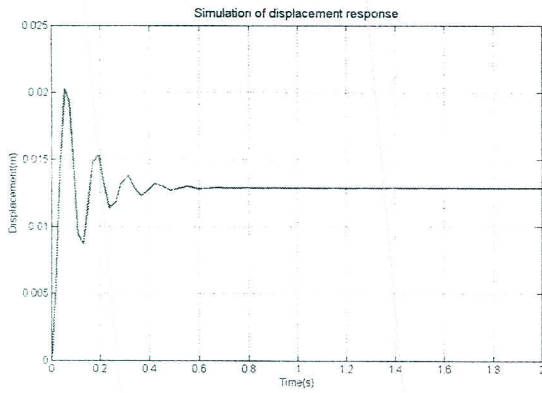
$$(ms^2 + cs + (K + A))X(s) = -B\dot{\xi}_1(s)$$

$$\frac{X(s)}{\dot{\xi}_1(s)} = \frac{-B}{(ms^2 + cs + (K + A))}$$

$$\frac{X(s)}{\dot{\xi}_1(s)} = \frac{0.321}{(0.009s^2 + 0.15s + 24.2414)}$$

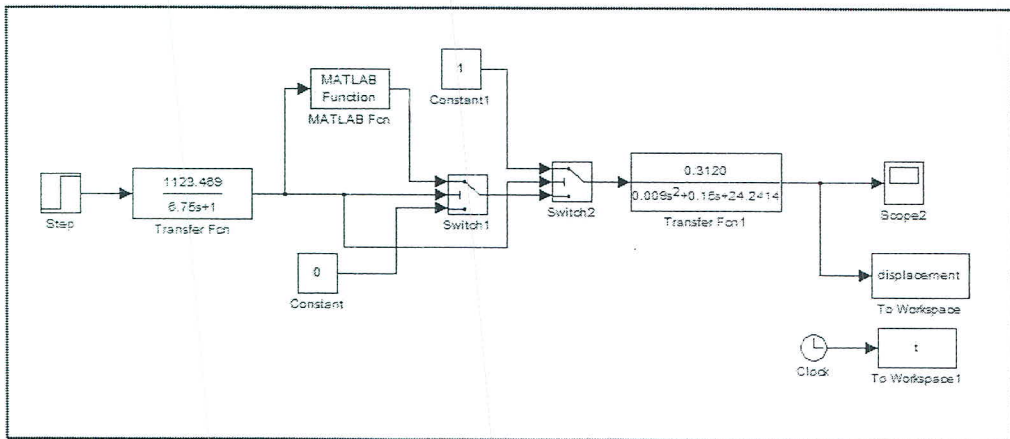


รูปที่ 4.18 Block diagram ของ Mechanical Model

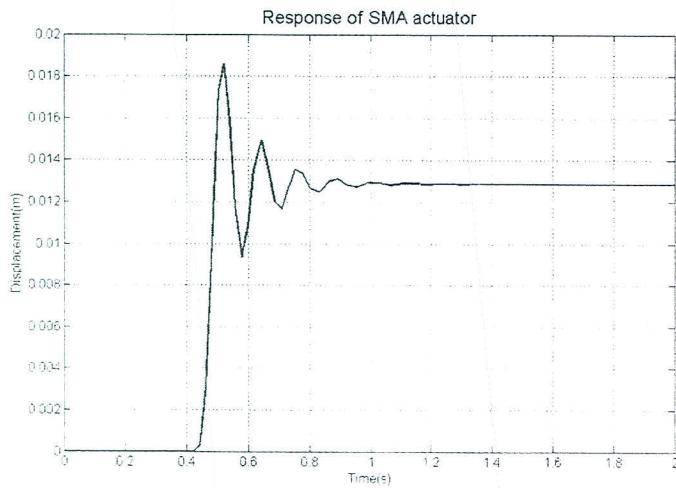


รูปที่ 4.19 ผลการตอบสนองของ Mechanical Model

เมื่อนำ Model ทั้ง 3 มารวมเป็นระบบเดียวกัน

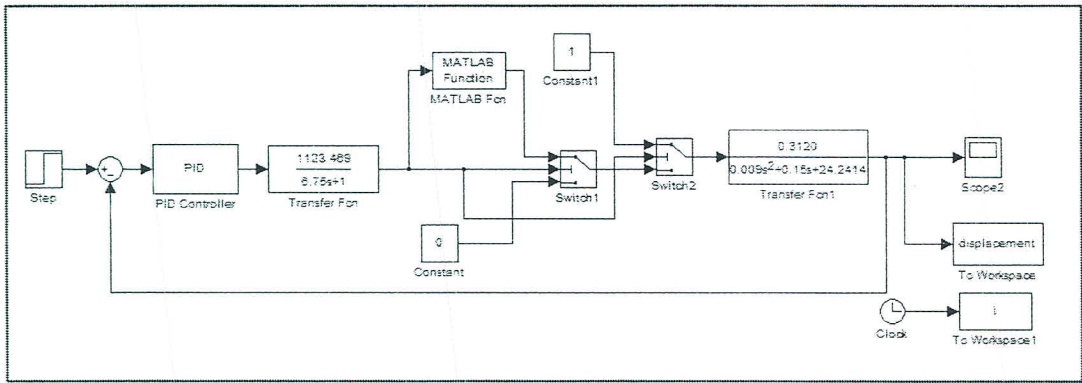


รูปที่ 4.20 Block diagram แสดงการรวมแบบจำลองเข้าด้วยกันใน Simulink

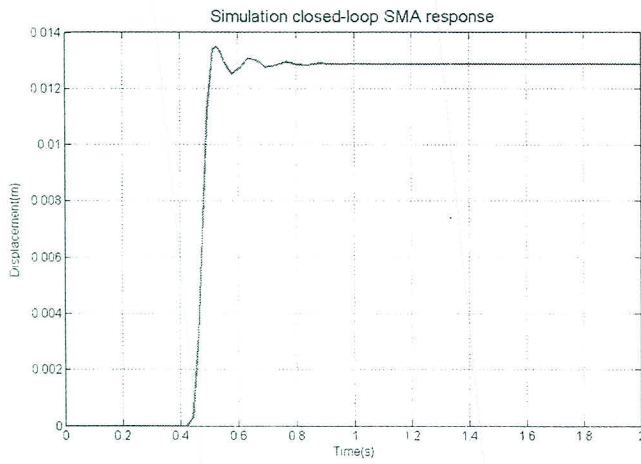


รูปที่ 4.21 ผลการตอบสนองหลังจากการรวมแบบจำลองทั้งสาม

การควบคุมโดยใช้ PD controller



รูปที่ 4.22 Block diagram แสดงการรวมแบบจำลองเข้าด้วยกันรวมถึงการใช้ตัวควบคุม ใน Simulink



รูปที่ 4.21 ผลการตอบสนองหลังจากการรวมแบบจำลองทั้งสามพร้อมตัวควบคุม