

เครื่องกระตุ้นการเดิน
WALK STIMULATION SYSTEM



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เครื่องกระตุ้นการเดิน

WALK STIMULATION SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

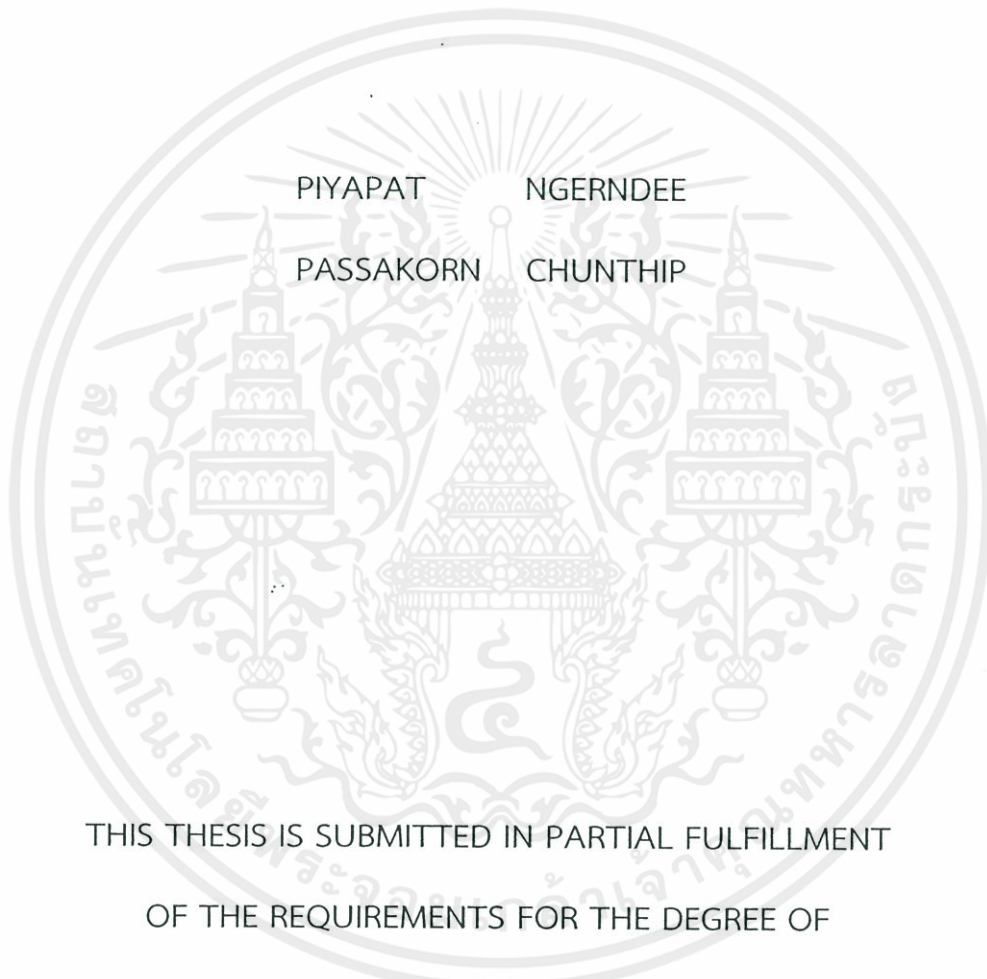
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงปีการศึกษา 2556 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WALK STIMULATION SYSTEM



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับค **ACADEMIC YEAR 2013** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องกระตุ้นการเดิน

WALK STIMULATION SYSTEM

ผู้จัดทำ

นายปิยภัทร์ เงินดี 53010991

นายภาสกร จันทิพย์ 53011260



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกระตุ้นการเดิน

โดย

นายปิยภัทร์ เงินดี 53010991

นายภาสกร จันทิพย์ 53011260

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ อนันตศิริภูรรัตน์

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอทฤษฎี และการออกแบบเครื่องกระตุ้นการเดิน สำหรับผู้ที่มีความพิการทางการเดิน เพื่อเป็นการฟื้นฟูหรือบำบัด ช่วยในการลดอัตราการฝ่อลีบของกล้ามเนื้อ แล้วยังช่วยคงคุณสมบัติของกล้ามเนื้อไว้ เพื่อไม่ให้กล้ามเนื้อส่วนนั้นเกิดการเป็นอัมพาตเป็นเวลานาน ในเบื้องต้นทำการออกแบบเครื่องกระตุ้นการเดิน ตลอดจนออกแบบวงจรจ่ายไฟสำหรับการกระตุ้น เพื่อใช้ติดบริเวณด้านข้างของหัวเข่า สำหรับกระตุ้นเส้นประสาท เพื่อยกปลายเท้าในจังหวะก้าวเดิน จากนั้นศึกษาการประยุกต์การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ และเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการเปลี่ยนค่าจากเซนเซอร์ FSR เป็นค่าแบบดิจิตอล และควบคุมการทำงานของเครื่องกระตุ้นการเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WALK STIMULATION SYSTEM

By

Mr.Piyapat Ngerndee 53010991

Mr.Phatsakon Chanthip 53011260

Advisor

Asst.Pref.Dr.Khongsak Anuntahirunrat

Academic Year 2013

ABSTRACT

This thesis presents the theory and design of walk stimulation system for those with walking disabilities. For rehabilitation or therapy Help to reduce muscle atrophy. And the properties of the muscles. In order not to paralyze the muscles that cause a long time. And designed to supply power for the stimulus used to stimulate the foot. Attached to the side of the knee. For nerve stimulation To lift the toes in walking pace. Then study the application and usage of microcontroller programming in order to change the value of the FSR sensor is digital. And control of walk stimulation system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ อนันตศิริภูริรัตน์ ที่ได้กรุณา และคอยให้คำปรึกษาที่ติมาตลอดตั้งแต่ต้น ทำให้ผู้จัดทำได้เข้าใจถึงที่มาของปัญหา และสามารถแก้ปัญหาต่างๆ นั้นได้อย่างถูกวิธี รวมทั้งเอื้อเพื่อ อุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ นายพรเทพ สงวนถอย ที่ให้ปรึกษาในส่วนของการออกแบบโปรแกรม และวงจร อิเล็กทรอนิกส์

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน ที่ให้กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน รวมทั้งคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่ตลอดเวลา

สุดท้ายขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

ผู้จัดทำ

นายปิยภัทร์ เงินดี

นายภาสกร จันทิพย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ	3
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเดิน	3
2.1.1 Stance Phase	3
2.1.2 Swing Phase	4
2.2 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้น (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation)	5
2.2.1 Conventional/ Tens หรือ High Frequency, Short Pulse Mode	5
2.2.2 Low Frequency TENS หรือ Acupuncture Like Mode	5
2.2.3 Brief Intense TENS Mode	6
2.2.4 Burst TENS หรือ Pulse-train Mode	6
2.3 ลักษณะพื้นฐานของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัด	6
2.3.1 ลักษณะคลื่น (Wave Forms)	6
2.3.1.1 กระแสไฟฟ้าเฟสเดียว (Monophasic Current)	6
2.3.1.2 กระแสไฟฟ้าเฟสคู่ (Biphasic Current)	6
2.3.1.3 กระแสไฟฟ้าหลายเฟส (Polyphasic)	6
2.3.2 ช่วงระหว่างการกระตุ้น (Interpulse Interval)	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4 หน่วยพื้นฐานของการกระตุ้น (Basic Unit of Pulse Description)	7
2.4.1 ความสัมพันธ์ของเฟสและช่วงเวลาการกระตุ้น (Phase/Pulse Duration)	8
2.4.2 ความสัมพันธ์ของเฟสและความแรงของการกระตุ้น (Phase/Intensity)	8
2.5 ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ของตัวกระตุ้น (Interaction of Pulse Variable)	9
2.5.1 กำหนดอัตราและช่วงการกระตุ้นคงที่	9
2.5.2 กำหนดความแรงและช่วงการกระตุ้นคงที่	9
2.5.3 กำหนดความแรงและอัตราการกระตุ้นให้คงที่	9
2.6 การทำงานของวงจรวจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โดยใช้ IC NE555	10
2.7 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ Bipolar Junction Transistor (BJT Transistor)	11
2.8 Arduino UNO SMD	12
2.8.1 ลักษณะทางกายภาพของบอร์ดอาร์ดูইโน	13
2.8.2 ลักษณะเฉพาะและหลักการทำงานของโค้ดภาษาอาร์ดูইโน	13
2.9 เซนเซอร์รับแรง FSR (Force Sensing Resistor)	14
2.10 รีเลย์ (Relay)	15
2.10.1 หลักการทำงานของรีเลย์	15
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	16
3.1 การคำนวณช่วงเวลาของการกระตุ้นด้วย IC NE555	16
3.2 การทำงานของวงจรวจร	18
3.3 การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	18
บทที่ 4 ผลการทดลอง	19
4.1 ผลการทดลองป้อนแหล่งจ่าย โดยใช้แหล่งจ่ายค่าต่างๆ และวัด Input, Output	19
4.1.1 กราฟแสดงค่าวัดได้จากการทดลอง	19
4.2 ผลการทดลองโดยปรับค่าตัวต้านทานแต่ละค่า โดยป้อนแรงดันคงที่ 9 V	21
4.3 อัตราการขยายสัญญาณของหม้อแปลง	21
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	21
5.1 สรุปผลการทดลอง	22
5.2 ปัญหาที่พบ	22
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	23
ภาคผนวก อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ	25
คู่มือการใช้งาน Force Sensing Resistor (FSR)	25
คู่มือการใช้งาน Microcontroller (Arduino UNO SMD)	27
คู่มือการใช้งาน Integrated Circuits (ICs) NE555	30
คู่มือการใช้งาน Transistor BC327	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	ขั้นตอนการเดินปกติของมนุษย์ (Normal Human Locomotion)	3
2.2	ขั้นตอนการเดินช่วง Swing Phase	5
2.3	แสดงลักษณะของกระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นทางคลินิก	7
2.4	แสดงช่วงระหว่างการกระตุ้นของกระแสไฟฟ้าชนิดต่างๆ	7
2.5	แสดงความสัมพันธ์ของเฟส และช่วงเวลาการกระตุ้นของกระแสไฟฟ้าชนิดต่างๆ	8
2.6	แสดงช่วงกระตุ้นชนิดต่อเนื่อง และปล่อยเป็นช่วงๆ (Interrupted)	8
2.7	แสดงกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยออกเป็นช่วงๆ ชนิด Burst	9
2.8	แสดง Block Diagram ของ IC 555	10
2.9	แสดงวงจร Astable Multivibrator	11
2.10	แสดงโครงสร้างของ BJT Transistor ชนิด PNP	11
2.11	แสดงอุปกรณ์ BJT Transistor ชนิด NPN	12
2.12	แสดงอุปกรณ์ Arduino UNO SMD	12
2.13	Force Sensing Resistor รูปแบบต่างๆ	14
2.14	กราฟ Force curve	14
2.15	โครงสร้างขณะสัมผัสกับขา NC	15
2.16	แสดงสัญลักษณ์ขณะสัมผัสกับขา NC	15
2.17	แสดงรีเลย์สถานะหน้าสัมผัส NO กับ C	15
3.1	วงจรสร้างสัญญาณ Pulse ความถี่ต่ำ	16
4.1	อัตราการขยายสัญญาณของหม้อแปลง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองป้อนแหล่งจ่าย โดยใช้แหล่งจ่ายค่าต่างๆ และวัด Input, Output	19
4.2 ผลการทดลองโดยปรับค่าตัวต้านทานแต่ละค่า โดยป้อนแรงดันคงที่ 9 V	21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเมื่อผู้ป่วยประสบอุบัติเหตุจนไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวร่างกายได้ อันเนื่องมาจากระบบกล้ามเนื้อ และเส้นประสาทได้รับความเสียหายจนไม่สามารถทำงานอย่างปกติได้ เราจึงต้องใช้เครื่องช่วยกระตุ้นทางการเดินขึ้นมา เนื่องจากเห็นว่าเป็นวิธีการรักษาที่ดีที่สุด แทนการรักษาโดยการผ่าตัดที่จะต้องเสียเงินกับค่าผ่าตัด อีกทั้งยังต้องพักฟื้นอีก ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้จะสามารถช่วยผู้ที่เดินผิดปกติที่มีอาการปลายเท้าตก หรือเรียกอีกอย่าง คือผู้ที่มีความพิการทางการเดิน กลับมาเดินแบบปกติได้ และทราบว่าเมื่อนำสินค้าชนิดนี้เข้ามาจากต่างประเทศ จะมีราคาที่สูงถึงหลักแสนบาทต่อหนึ่งเครื่อง แทนที่จะนำเข้ามาจากต่างประเทศ เราจึงทำการคิดค้นและพัฒนาอุปกรณ์ชนิดนี้ขึ้นเอง

การนำเครื่องกระตุ้นการเดินมาใช้ในการบำบัด ช่วยชะลออัตราการฝ่อลีบของกล้ามเนื้อแล้ว ยังช่วยคงคุณสมบัติของกล้ามเนื้อไว้ หากปล่อยให้กล้ามเนื้ออยู่ในสภาพอัมพาตเป็นเวลานาน กล้ามเนื้อจะเปลี่ยนคุณสมบัติกลายเป็นพังผืด ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของโรคอัมพาตถาวร

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดอัตราการฝ่อลีบของกล้ามเนื้อส่วนนั้น
2. เพื่อเป็นการทำกายภาพบำบัดที่สามารถใช้ได้ทุกที่ตามสะดวก
3. เพื่อที่จะได้ไม่ต้องไปทำกายภาพบำบัดกับทางโรงพยาบาลบ่อยๆ
4. ศึกษากระบวนการสื่อสารโดยกระแสไฟฟ้าของร่างกายมนุษย์
5. ศึกษาการออกแบบเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องกระตุ้นไฟฟ้า
2. เข้าใจหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. เข้าใจหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในวงจรต่างๆ
4. ประหยัดค่าใช้จ่ายโดยการลดการสั่งซื้อสินค้าจากต่างประเทศ

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ออกแบบ และพัฒนาเครื่องกระตุ้นไฟฟ้า สำหรับผู้ที่มีอาการปลายเท้าตก
2. เขียนโปรแกรมที่สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องกระตุ้นไฟฟ้า
3. ออกแบบเซนเซอร์ที่สามารถวัดค่าจากแรงกดจากเท้า
4. เขียนโปรแกรมที่สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องกระตุ้นไฟฟ้า สามารถบันทึกข้อมูลที่ส่งมาจากเครื่องมือ และนำเอาไปใช้ประโยชน์

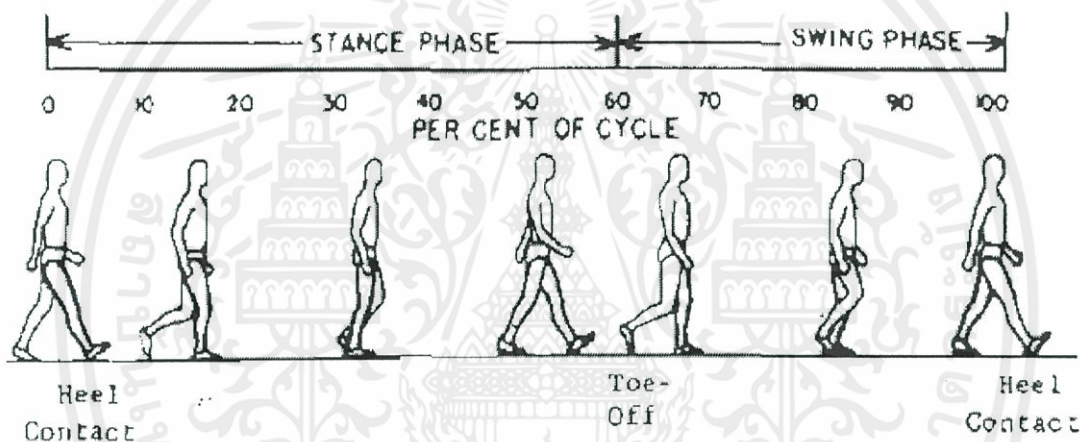
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีหรือหลักการ

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเดิน

การเดิน คือ เป็นการเคลื่อนไหวของขา 2 ข้างสลับกัน (Alternating) อย่างเป็นจังหวะ (Rhythmic) และมีการเคลื่อนไหวของลำตัวเพื่อให้จุดศูนย์กลาง (Center of Gravity) ของร่างกาย เคลื่อนไปข้างหน้า การเดินจะต้องเป็นวงจร (Cycle) หรือเรียกว่า "Gait Cycle" ซึ่งครอบคลุมระยะต่างๆ คือ

1. Stance Phase คือ ระยะที่ขาข้างนั้นยังคงวางอยู่บนพื้น
2. Swing Phase คือ ระยะที่ขาข้างนั้นยกลอยขึ้นจากพื้น



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเดินปกติของมนุษย์ (Normal Human Locomotion)

จากรูปที่ 2.1 เมื่อก้าวออกเดินด้วยเท้าขวาในช่วงแรกเท้าขวาจะยันพื้นรับน้ำหนักตัว (Stance Phase) ลำตัวจะเคลื่อนไปข้างหน้าโดยเท้าซ้ายจะดันตัวไป เมื่อลำตัวเคลื่อนไปข้างหน้าเท้าซ้ายซึ่งลอยก็จะมาแตะพื้นเพื่อจะรับน้ำหนักเท้าขวาก็จะกลายเป็นตัวดันลำตัวให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า แล้วตัวเท้าเองก็จะลอยจากพื้น (Swing Phase) เพื่อจะไปคอยรับน้ำหนักตัวต่อไป ช่วงการเดินที่กล่าวถึงนี้คือการศึกษารายขาข้างใดข้างหนึ่ง ซึ่งจะเห็นว่าขาขวามี Stance Phase และ Swing Phase ตามกันไป เมื่อขาขวาเป็น Swing Phase ขาซ้ายต้องเป็น Stance Phase สลับกันไปจึงทำให้การเดินเป็นไปตามธรรมชาติซึ่งถ้าศึกษาให้ละเอียดแล้วจะเห็นว่าช่วงต่างๆ ยังแบ่งออกได้เป็นขั้นตอนดังนี้

2.1.1 Stance Phase ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ 5 ขั้นตอนดังนี้

1. Heel Strike คือ ขั้นตอนที่ส้นเท้ากระทบกับพื้นกล้ามเนื้อที่ทำงานระยะนี้คือ

- กล้ามเนื้อ Quadriceps ทำหน้าที่ให้เข่าเหยียด
 - กล้ามเนื้อ Gluteu Maximus ทำหน้าที่เหยียดสะโพกให้ส้นเท้ากดกับพื้น
 - กล้ามเนื้อ Hamstrings ทำหน้าที่ช่วยเหยียดสะโพกเพื่อให้ส้นเท้ากดกับพื้น
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องสงวนลิขสิทธิ์เอกสารฉบับนี้ไว้

- กล้ามเนื้อกระดูกข้อเท้าขึ้น ทำให้เท้ากระดูกพ่น

2. Foot Flat เป็นระยะของการเดินที่เท้าแตะพื้น ใช้กล้ามเนื้อเหมือนกับระยะ Heel Strike เว้นแต่ข้อเท้าอยู่ในท่ากระดูก 15 องศา

3. Mid-stance เป็นระยะของการเดินที่มีการเคลื่อนไหวของลำตัวมาด้านหน้ามากขึ้น น้ำหนักตัวลดลงในแนวศูนย์กลางมวลของร่างกายผ่านหลังข้อสะโพกข้อเข่าและข้อเท้ากล้ามเนื้อที่ทำงานระยะนี้ คือ

- กล้ามเนื้อ Iliopsoas ทำหน้าที่ให้ข้อสะโพกงอไม่ได้ Hyperextension

- กล้ามเนื้อ Gluteus Medius, Gluteus Minimus และ Tensor Fascia ทำหน้าที่ให้กระดูกเชิงกรานอยู่ในระดับไม่ให้เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง และไม่ให้เกิดหลังงอ

- กล้ามเนื้อ Quadriceps ทำหน้าที่ไม่ให้เข่างอพับลงมา

- กล้ามเนื้อกระดูกเท้าทำหน้าที่ให้ฝ่าเท้าแบน

4. Heel off เป็นระยะที่ส้นเท้ายกสูงจากพื้น ลำตัวจะเอนไปข้างหน้ามากขึ้น กล้ามเนื้อที่ทำงานในระยะนี้ คือ

- กล้ามเนื้อ Iliopsoas ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ข้อสะโพก Hyperextension

- กล้ามเนื้อ Hamstring ทำหน้าที่ข้อเข่า

- กล้ามเนื้อกระดูกเท้าลงทำหน้าที่กระดูกข้อเท้าลง

5. Toe off เป็นระยะที่นิ้วเท้าดันให้ขาข้างหน้าเพื่อเข้าสู่ระยะ Swing Phase กล้ามเนื้อที่ทำงานในระยะนี้ คือ

- กล้ามเนื้อ Iliopsoas ทำหน้าที่ข้อสะโพกเพื่อเหวี่ยงขาไปข้างหน้า

- กล้ามเนื้อ Quadriceps ทำหน้าที่ป้องกันการงอเข่าเร็วเกินไป

- กล้ามเนื้อกระดูกเท้าลงทำหน้าที่ดันให้ขาเหวี่ยงไปข้างหน้า

2.1.2 Swing phase กินเวลาประมาณ 1/3 ของวงจรการเดิน แบ่งเป็น 3 ระยะดังนี้

1. Acceleration คือ ระยะที่ขาเหวี่ยงไปข้างหน้าด้วยความเร็วจากแรงเฉื่อยมาแรง กล้ามเนื้อที่ทำงานระยะนี้ คือ

- กล้ามเนื้อ Iliopsoas ทำหน้าที่เหวี่ยงและงอข้อสะโพกไปข้างหน้า

- กล้ามเนื้อ Quadriceps ทำหน้าที่ป้องกันการงอเข่ามากเกินไป

- กล้ามเนื้อกระดูกเท้าขึ้นทำให้ข้อเท้ากระดูกขึ้น เพื่อไม่ให้ปลายเท้าแตะพื้นกัน

ล้ม

2. Mid Swing เป็นระยะที่ขาข้างนั้นถูกดึงให้ลอยมาอยู่ใต้ลำตัวกล้ามเนื้อที่ใช้เหมือนระยะ Acceleration

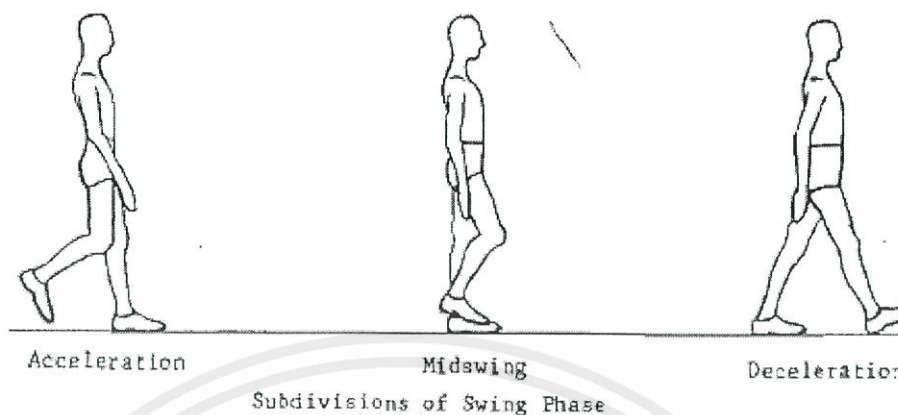
3. Deceleration คือ ระยะการเดินที่ขาที่ถูกเหวี่ยงไปข้างหน้าจากแรงกล้ามเนื้อที่กล่าวมา ถูกชะลอให้ช้าลงเพื่อเข้าสู่ Stance Phase อีกครั้งเป็นวงจรการเดินใหม่ต่อไป และ Double Support คือ ช่วงเวลาที่เท้าทั้งสองแตะพื้นเวลาเดียวกัน โดยที่ขาข้างหนึ่งอยู่ในระหว่าง Heel-off และ Toe-off ส่วนขาอีกข้างอยู่ในระหว่าง Heel Strike และ Foot Flat ซึ่งจะพบช่วง Double-support นี้ในการเดิน แต่จะไม่พบในการวิ่ง ระยะเวลาที่ใช้ในวงจรการเดินต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 3.1 Stance phase ใช้เวลา 60 % ของวงจรการเดิน (Gait Cycle) ครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Swing phase ใช้เวลา 40 % ของวงจรการเดิน

3.3 Double support ใช้เวลา 20 - 25% ของวงจรการเดิน



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเดินช่วง Swing Phase

2.2 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้น (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation)

เมื่อแปลตามความหมายของแต่ละคำ หมายถึง การกระตุ้นเส้นประสาทด้วยกระแสไฟฟ้าผ่านผิวหนัง ซึ่งกระแสไฟฟ้าหลายชนิดที่ใช้ทางกายภาพบำบัด เช่น กระแสกัลวานิก พาราดีกอินเตอร์เฟอเรนซ์ กระแสตรงศักย์สูง อะไดนามิก ฯลฯ ทั้งหมดนี้สามารถใช้กระตุ้นเส้นประสาทโดยผ่านทางผิวหนังได้ทั้งสิ้น ดังนั้นคำว่า TENS ได้ถูกเรียกเป็นชื่อของกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีความยาวอยู่ในช่วงกระตุ้นไม่เกิน 500 ไมโครวินาที นิยมใช้ในการลดอาการเจ็บปวด เครื่องกระตุ้น TENS ในปัจจุบันมีหลายรูปแบบหลายความถี่ ซึ่งขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต แต่ทั้งนี้ก็ต้องมีช่วงความถี่ที่เหมาะสมเพื่อการใช้ในผู้ป่วยแต่ละราย ซึ่งต้องผ่านการตรวจและประเมินจากแพทย์และนักกายภาพบำบัดก่อนการแบ่งรูปแบบของกระแส TENS ตามช่วยกระตุ้นและความถี่ต่างๆ ดังนี้

2.2.1 Conventional/ Tens หรือ High Frequency, Short Pulse Mode

เป็นกระแส TENS ที่เลือกปรับให้มีช่วงกระตุ้นประมาณ 20 ไมโครวินาที ถึง 60 ไมโครวินาที ความถี่ประมาณ 50 Hz ถึง 100 Hz การใช้กระแสรูปแบบนี้ในการกระตุ้นผู้ป่วยควรเปิดความแรงของกระแสให้สูงในระดับที่ผู้ป่วยรู้สึกชา ที่บริเวณกระตุ้นอาจติดต่อกันได้เป็นเวลานานๆ หรือกระตุ้นเป็นช่วง ช่วงละ 30 วินาที ถึง 60 วินาที วันละ 2 ครั้ง โดยขึ้นอยู่กับอาการเจ็บปวดและความรู้สึกสบายขึ้นของผู้ป่วย

2.2.2 Low Frequency TENS หรือ Acupuncture Like Mode

เป็นกระแส TENS ที่เลือกปรับให้มีช่วงกระตุ้นประมาณ 150 วินาที ถึง 250 วินาที ความถี่ประมาณ 1 ถึง 4 Hz ขณะใช้ควรเปิดความแรงมากกว่าแบบที่ 1 และให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อให้กระตุ้นเส้นใยประสาทนำเข้าความรู้สึกเจ็บปวดหรือเส้นใยประสาทขนาดเล็ก เพื่อผ่านกลไกลดการปวดทาง Descending Pain Suppression Mechanism ระยะเวลาในการกระตุ้นประมาณ 30 นาทีต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 Brief Intense TENS Mode

กระแสที่ใช้ค่อนข้างแรง โดยปรับช่วงกระตุ้นให้กว้างประมาณ 150 วินาที ถึง 250 วินาที ความถี่มากกว่า 100 Hz แล้วเปิดความแรงสูงสุดที่ผู้ป่วยสามารถรับได้ Brief TENS มีผลต่อกลไกความจำของความเจ็บปวด ทำให้ความจำของการเจ็บปวดเปลี่ยนไป มีผลทำให้การนำกระแสประสาทช้าลง และลดอาการปวดได้

2.2.4 Burst TENS หรือ Pulse-train Mode

เป็นกระแส TENS ที่มีความถี่สูง 70 Hz ถึง 100 Hz ที่ถูกผลิตออกมาเป็นชุดประมาณ 1 ชุด ถึง 4 ชุดต่อวินาที กระแสนี้เป็นการผสมระหว่าง High Frequency TENS และ Acupuncture-like TENS ทำให้ผู้ป่วยรู้สึกถึงการลดปวดแบบเกิดอาการชาเป็นชุดความถี่ต่ำๆ ติดต่อกัน

2.3 ลักษณะพื้นฐานของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัด

2.3.1 ลักษณะคลื่น (Wave Forms)

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในคลินิกมักจะถูกปล่อยเข้าไปในเนื้อเยื่อเป็นช่วงๆ ซึ่งแต่ละช่วงจะมีช่วงพักเป็นมิลลิวินาที ซึ่งจะแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ

2.3.1.1 กระแสไฟฟ้าเฟสเดียว (Monophasic Current)

หมายถึง กระแสไฟฟ้าที่มีเฟสเดียวในแต่ละช่วงการกระตุ้น (Pulse) บางครั้งอาจมีผู้เรียก “Pulsating DC” กระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นหลายชนิดรวมทั้งเครื่องกระตุ้นสมัยใหม่ๆ ด้วย เช่น เครื่องกระตุ้น High Voltage มักจะใช้กระแสชนิดเฟสเดียว นอกจากนั้นลักษณะจำเพาะอีกประการของกระแสไฟฟ้าเฟสเดียวมักจะมีเฟสเดียวเป็นบวกหรือลบในทิศทางหนึ่งเท่านั้น รูปที่ 2.3 ก

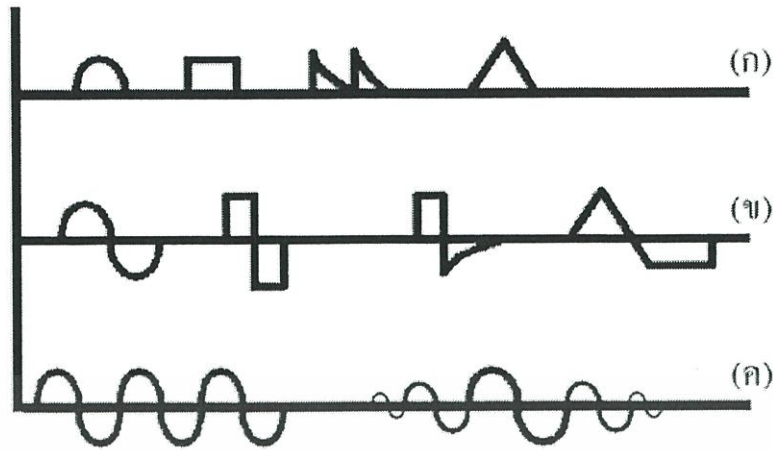
2.3.1.2 กระแสไฟฟ้าเฟสคู่ (Biphasic Current)

หมายถึงกระแสไฟฟ้าที่มีสองเฟสในแต่ละช่วงการกระตุ้น (Pulse) ซึ่งมักจะรวมไปถึงกระแสไฟสลับซึ่งเป็นรูป Sine Wave ด้วย กระแสไฟฟ้าเฟสคู่นี้อาจเป็นแบบชนิดสมมาตร (Symmetrical Biphasic) ซึ่งประกอบด้วยไฟสองเฟสขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามหรืออาจเป็นแบบเฟสคู่ชนิดไม่สมมาตร (Asymmetrical Biphasic) ซึ่งเฟสทั้งสองมีรูปร่างและขนาดไม่เท่ากัน ถ้าเป็นกระแสเฟสคู่ชนิด Typical Symmetrical ลักษณะคลื่นมักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือแบบ Sine Wave แต่ถ้าเป็นกระแสเฟสคู่ชนิด Typical Asymmetrical Biphasic Pulse มักจะเป็นไฟฟ้าฟาราดีก รูปที่ 2.1(ข) ในอดีตไฟเฟสคู่ชนิดไม่สมมาตร (ไฟฟ้าฟาราดีก) เป็นที่นิยมใช้กระตุ้นกล้ามเนื้อและเส้นประสาท แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ไฟเฟสคู่ชนิดสมมาตรเพราะจะไม่ระคายเคืองต่อผิวหนังขณะทำการกระตุ้น

2.3.1.3 กระแสไฟฟ้าหลายเฟส (Polyphasic)

หมายถึง กระแสไฟฟ้าที่มีหลายเฟสในแต่ละช่วงการกระตุ้น ประกอบด้วย 3 เฟส หรือมากกว่านั้นเครื่องกระตุ้นส่วนใหญ่ไม่สามารถสร้างคลื่นไฟฟ้าชนิดนี้ได้ ยกเว้น เครื่องกระตุ้นที่ให้กระแสไฟฟ้าจำเพาะ เช่น เครื่องกระตุ้น Interferential Current กระแสไฟหลายเฟสมักเป็นกระแสไฟ ดังรูปที่ 2.3 ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

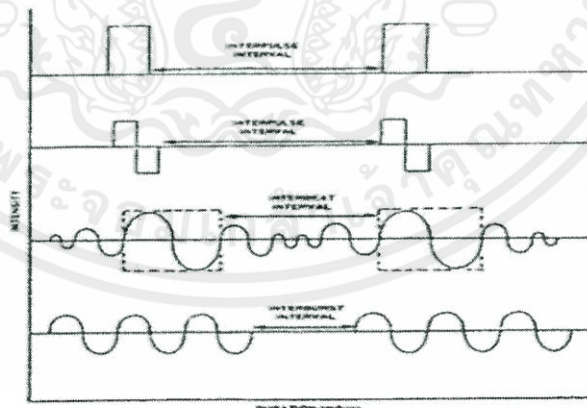


รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของกระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นทางคลินิก

- (ก) กระแสไฟฟ้าเฟสเดียว (Monophasic)
- (ข) กระแสไฟฟ้าสองเฟส (Biophasic)
- (ค) กระแสไฟฟ้าหลายเฟส (Polyphasic)

2.3.2 ช่วงระหว่างการกระตุ้น (Interpulse Interval)

เครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อเนื้ออ่อนใหม่ๆ มักจะออกแบบให้สร้างกระแสที่มีช่วงการกระตุ้นที่สั้นมากๆ แต่จะมีช่วงพักหรือช่วงระหว่างการกระตุ้น (Interpulse Interval) ยาวนานปกติมักจะมีค่าประมาณ 10 มิลลิวินาที ถึง 900 มิลลิวินาที ขึ้นอยู่กับความยาวของช่วงกระตุ้น และจำนวนช่วงการกระตุ้นต่อวินาที (ความถี่ของการกระตุ้น) เช่น ถ้าเครื่องกระตุ้นนั้นสร้างคลื่นไฟฟ้าชนิดหลายเฟส ก็จะไม่มีการพักระหว่างการกระตุ้น หรือถ้ามีก็สั้น และมักจะพักเป็นช่วงๆ ช่วงละประมาณ 10 มิลลิวินาที ถึง 25 มิลลิวินาที ช่วงของการกระตุ้นเฟสคู่ แล้วจึงพัก 1 ช่วง ซึ่งคลื่นไฟฟ้าลักษณะนี้ บางครั้งเรียกว่า “Burst of Pulse” ซึ่งก็คือช่วงการกระตุ้นของกระแสไฟฟ้าหลายเฟส ดังรูปที่ 2.4



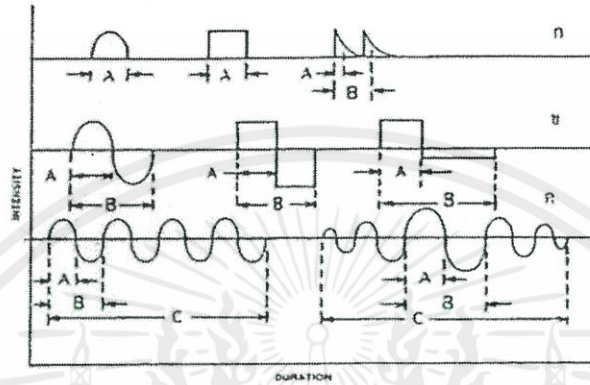
รูปที่ 2.4 แสดงช่วงระหว่างการกระตุ้นของกระแสไฟฟ้าชนิดต่างๆ

2.4 หน่วยพื้นฐานของการกระตุ้น (Basic Unit of Pulse Description)

การเปรียบเทียบลักษณะเครื่องกระตุ้น หรือการอธิบายผลทางสรีรวิทยาของกระแสแต่ละชนิดๆ ตลอดจนการประยุกต์กระแสไฟฟ้า เพื่อใช้รักษาทางคลินิกของเครื่องกระตุ้นแต่ละชนิดมักจะอธิบายผลจากหน่วยพื้นฐานของช่วงการกระตุ้น นั่นก็คือ “เฟส” นั่นเอง

2.4.1 ความสัมพันธ์ของเฟสและช่วงเวลาการกระตุ้น (Phase/Pulse Duration)

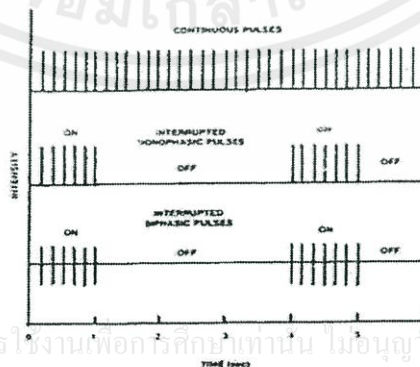
ช่วงเวลาของแต่ละเฟส หมายถึง ระยะเวลาจากการเริ่มของเฟสจนกระทั่งสิ้นสุดเฟสนั้นๆ เครื่องกระตุ้นไฟฟ้ารุ่นใหม่ๆ ช่วงเวลาของเฟสจะสั้นมากหน่วยเป็นไมโครวินาที กระแสไฟฟ้าชนิดเฟสเดียวช่วงเวลาของเฟส และช่วงเวลาของการกระตุ้นจะเท่ากัน ส่วนกระแสไฟฟ้าชนิดสองเฟสนั้น ช่วงเวลาของเฟสทั้งสองรวมกันจะเท่ากับช่วงเวลาการกระตุ้นแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของเฟส และช่วงเวลาการกระตุ้นของกระแสไฟฟ้าชนิดต่างๆ

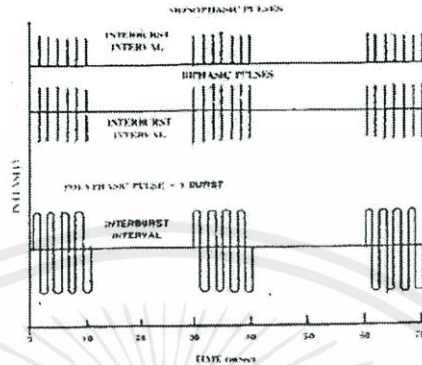
2.4.2 ความสัมพันธ์ของเฟสและความแรงของการกระตุ้น (Phase/Intensity)

จุดสูงสุดของช่วงการกระตุ้น (Peak Pulse) หรือความแรงของการกระตุ้นด้วยไฟฟ้ามักจะวัดเป็นหน่วยมิลลิแอมป์ ในกระแสไฟฟ้าเฟสเดียวมักจะวัดจากเส้นระนาบไฟฟ้าไปยังจุดสูงสุดของสัญญาณที่กระตุ้น กรณีของไฟเฟสคู่ชนิดสมมาตรและไฟหลายเฟส สัญญาณไฟฟ้ามักจะมีจุดสูงสุดสองทิศทาง การวัดนิยมวัดแบบ Peak to Peak เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่ดีควรจะสามารถปรับค่าช่วงกระตุ้น (Phase/Pulse Duration) ความแรงของการกระตุ้น (Pulse Intensity) และอัตราการกระตุ้น (Rate) ได้โดยแต่ละค่าไม่ขึ้นต่อกัน เพื่อให้เครื่องสามารถปรับกระแสช่วงกระตุ้นให้เหมาะสมกับผู้ป่วยความแรงของคลื่นกระตุ้นมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อย และค่อยๆ ลดลงทีละน้อยอย่างเป็นอัตราส่วนกัน กระแสชนิดนี้เรียกว่า “Ramp” ประโยชน์ของกระแสนิดนี้ทำให้กล้ามเนื้อค่อยๆ เพิ่มการหดตัวและค่อยๆ คลายตัวแสดงดังรูปที่ 2.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 2.6 แสดงช่วงกระตุ้นชนิดต่อเนื่อง และปล่อยเป็นช่วงๆ (Interrupted) ที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าที่ให้ช่วงการกระตุ้นเป็นช่วงๆ หรือเป็นชุดๆ เรียกว่า “Burst of Pulse” มักจะหมายถึงกระแสที่ถูกปล่อยเป็นช่วง 1-10 มิลลิวินาที และพัก 10-500 มิลลิวินาที จำนวนของ Burst อาจมีค่าตั้งแต่ 1-50 ครั้ง/วินาที กระแสไฟเฟสคู่ ก็สามารถปรับให้เป็นไฟ Burst ได้เช่นกัน กระแส Interferential ก็ถือว่าเป็นไฟ Burst ชนิดหนึ่งแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยออกเป็นช่วงๆ ชนิด Burst

2.5 ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ของตัวกระตุ้น (Interaction of Pulse Variable)

เฟสและช่วงการกระตุ้นที่ได้กล่าวมาแล้ว มีส่วนกระตุ้นโดยตรงต่อการรักษาหรือขณะกระตุ้นด้วยไฟฟ้า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงด้วยตัวแปรของตัวกระตุ้น เช่น ความแรงของการกระตุ้นความถี่ และช่วงการกระตุ้นที่จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการตอบสนองทางสรีรวิทยาในผู้ป่วย บางครั้งผลของการเปลี่ยนแปลงก็เกิดประโยชน์ แต่บางครั้งก็เกิดโทษได้

2.5.1 กำหนดอัตราและช่วงการกระตุ้นคงที่

ถ้าปรับค่าอัตราและช่วงการกระตุ้นคงที่ ให้มีการเปลี่ยนแปลงได้เฉพาะความแรงของช่วงการกระตุ้น เมื่อมีการเพิ่มความแรงของกระแสจะเป็นการเพิ่มกระแสสูงสุด (Peak Current) ในแต่ละเฟส และเป็นการเพิ่มปริมาณกระแสเฉลี่ย (Average Current) ทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณประจุในแต่ละเฟสมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้น สามารถกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อที่อยู่ลึกมากขึ้น แต่ผลเสียที่เกิดขึ้นก็คือ ผู้ถูกกระตุ้นจะมีความรู้สึกเจ็บปวดมากขึ้น

2.5.2 กำหนดความแรง และช่วงการกระตุ้นคงที่

ถ้ามีการเพิ่มอัตราหรือความถี่ของการกระตุ้นโดยปรับค่าความแรง และช่วงการกระตุ้นให้คงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งก็คล้ายกับการเพิ่มปริมาณกระแสเฉลี่ยด้วยเช่นกัน เนื่องจากจำนวนช่วงการกระตุ้นเพิ่มมากขึ้นในเวลาเท่ากันมีผลให้ช่วงพักน้อยลง ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวถี่ขึ้นจนเกิดการหดตัวแบบเกร็งค้าง

2.5.3 กำหนดความแรงและอัตราการกระตุ้นให้คงที่

ถ้าปรับค่าความแรง และอัตราการกระตุ้นให้คงที่โดยเพิ่มช่วงการกระตุ้น จะส่งผลให้ปริมาณในแต่ละเฟส และปริมาณกระแสเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทำให้การตอบสนองของเส้นประสาท และกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การทำงานของวงจรจรวจระสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โดยใช้ IC NE555 .

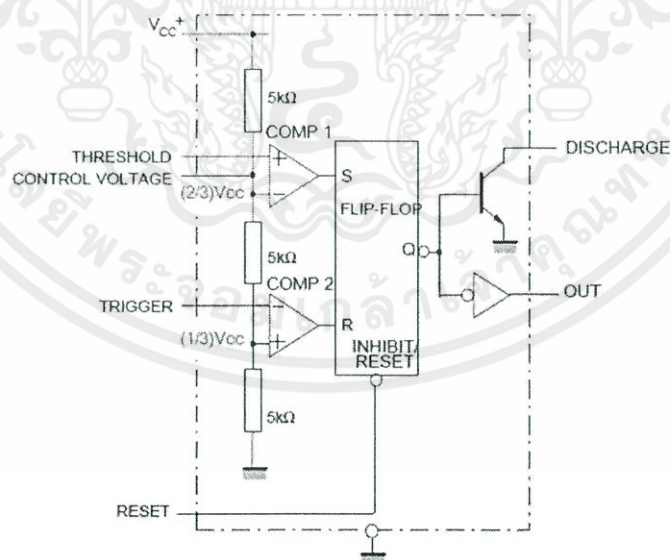
เมื่อทำการต่อวงจรไฟฟ้าตามรูปที่ 2.9 เราจึงสามารถวิเคราะห์การทำงานของวงจร โดยพิจารณาเงื่อนไข $V_{TRIGGER} = V_{THRESHOLD}$ และรูปที่ 2.8 ควบคู่กันได้ดังนี้

1. เมื่อค่าแรงดันที่ตกตัวเก็บประจุ C_1 ต่ำกว่า $(1/3)V_{CC}$ หรือ $(V_{TRIGGER} < (1/3)V_{CC})$ จะทำให้สัญญาณขาออกของวงจรเปรียบเทียบตัวที่ 2 (COMP 2) เป็นลอจิก “1” ส่วนสัญญาณขาออกของวงจรเปรียบเทียบตัวที่ 1 (COMP 1) เป็นลอจิก “0” ($V_{THRESHOLD} < (2/3)V_{CC}$) ทำให้สัญญาณขาออกของวงจรอาร์เอสฟลิปฟลอป Q เป็นลอจิก “0” ทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำตัวเหมือนสวิตช์หยุดทำงาน ตัวเก็บประจุ C_1 จึงถูกชาร์จผ่าน R_1 และ R_2 ทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 สูงขึ้น

2. เมื่อค่าแรงดันที่ตกตัวเก็บประจุ C_1 เท่ากับ $(1/3)V_{CC}$ หรือ $(V_{TRIGGER} = (1/3)V_{CC})$ จะทำให้สัญญาณขาออกของวงจรเปรียบเทียบตัวที่ 2 (COMP 2) เป็นลอจิก “0” ($V_{THRESHOLD} < (2/3)V_{CC}$) ส่วนสัญญาณขาออกของวงจรเปรียบเทียบตัวที่ 1 (COMP 1) เป็นลอจิก “0” ทำให้สัญญาณขาออกของวงจรอาร์เอสฟลิปฟลอป Q ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้สถานะการทำงานทุกอย่างยังคงเดิม

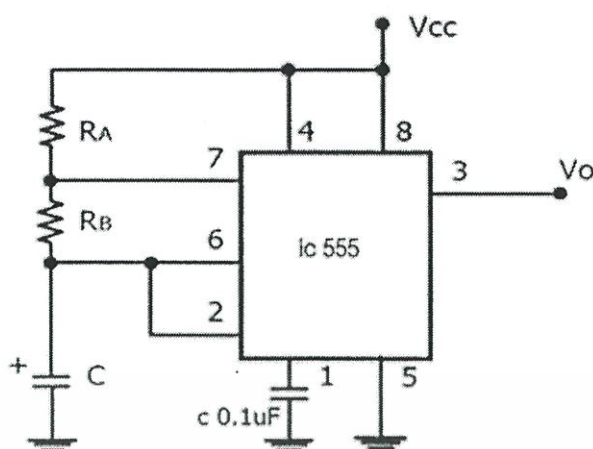
3. เมื่อค่าแรงดันที่ตกตัวเก็บประจุ C_1 เท่ากับ $(2/3)V_{CC}$ หรือ $(V_{TRIGGER} > (1/3)V_{CC})$ จะทำให้สัญญาณขาออกของวงจรเปรียบเทียบตัวที่ 2 (COMP 2) เป็นลอจิก “0” ($V_{THRESHOLD} = (2/3)V_{CC}$) ส่วนสัญญาณขาออกของวงจรเปรียบเทียบตัวที่ 1 (COMP 1) เป็นลอจิก “0” ทำให้สัญญาณขาออกของวงจรอาร์เอสฟลิปฟลอป Q ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

4. เมื่อค่าแรงดันที่ตกตัวเก็บประจุ C_1 มากกว่า $(2/3)V_{CC}$ หรือ $(V_{TRIGGER} > (2/3)V_{CC})$ จะทำให้สัญญาณขาออกของวงจรเปรียบเทียบตัวที่ 2 (COMP 2) เป็นลอจิก “0” ส่วนสัญญาณขาออกของวงจรเปรียบเทียบตัวที่ 1 (COMP 1) เป็นลอจิก “1” ($V_{THRESHOLD} > (2/3)V_{CC}$) ทำให้สัญญาณขาออกของวงจรอาร์เอสฟลิปฟลอป Q เป็นลอจิก “1” ทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำตัวเหมือนสวิตช์เริ่มทำงาน ตัวเก็บประจุ C_1 ที่ถูกชาร์ตเก็บประจุมาจึงคายประจุออก



รูปที่ 2.8 แสดง Block Diagram ของ IC 555

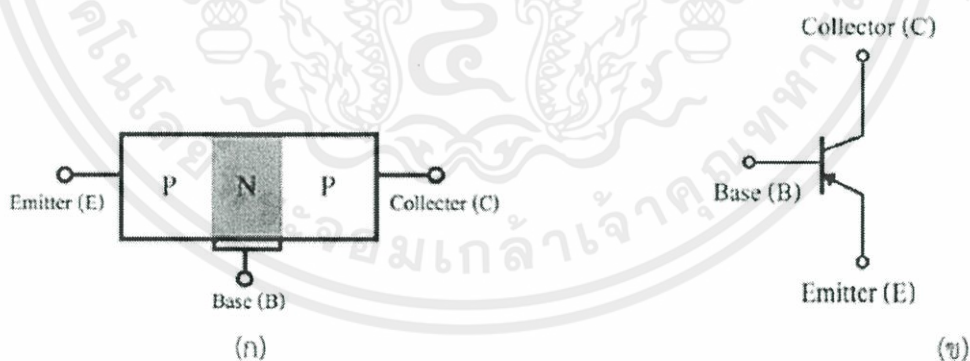
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงวงจร Astable Multivibrator

2.7 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ Bipolar Junction Transistor (BJT Transistor)

ไบโพลาร์จังก์ชันทรานซิสเตอร์ (BJT Transistor) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิดคือ P-Type และ N-Type โดยมีขาใช้งานจำนวน 3 ขาคือ ขา E, ขา B และขา C โครงสร้างของ Bipolar Junction Transistor มี 2 โครงสร้างคือ BJT Transistor ชนิด PNP ดังรูปที่ 2.10 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ส่วนอีกโครงสร้างคือ BJT Transistor ชนิด NPN ดังรูปที่ 2.11 (ก) และ (ข) ตามลำดับ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้หากมีกระแสเพียงเล็กน้อยที่ขาเบส จะทำให้กระแสในขาคอลเลคเตอร์ไหลเข้าสู่ขาอิมิตเตอร์ นั่นหมายความว่าไบโพลาร์จังก์ชันทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายสัญญาณและสวิตช์ทรานซิสเตอร์

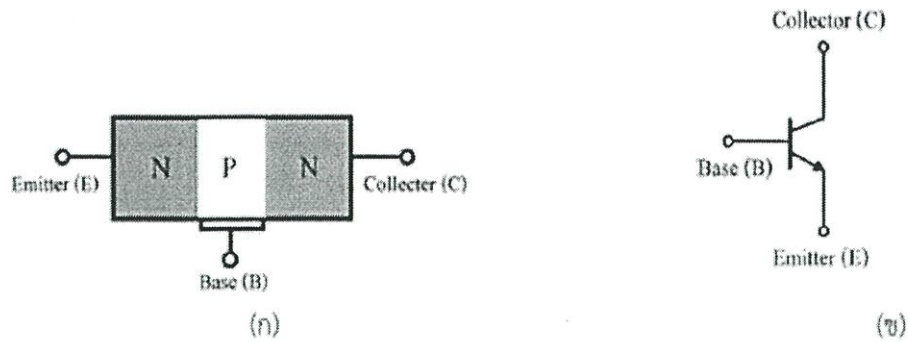


รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของ BJT Transistor ชนิด PNP

(ก) แสดงโครงสร้างของ BJT Transistor ชนิด PNP

(ข) แสดงสัญลักษณ์ของ BJT Transistor ชนิด PNP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

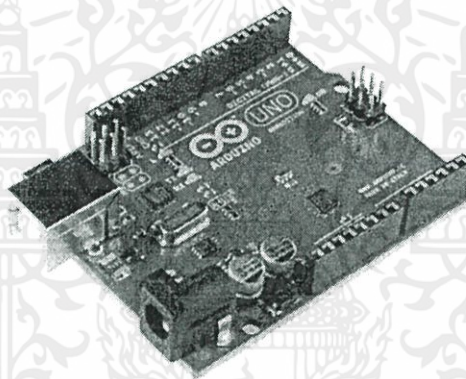


รูปที่ 2.11 แสดงอุปกรณ์ BJT Transistor ชนิด NPN

(ก) แสดงโครงสร้างของ BJT Transistor ชนิด NPN

(ข) แสดงสัญลักษณ์ของ BJT Transistor ชนิด NPN

2.8 Arduino UNO SMD



รูปที่ 2.12 แสดงอุปกรณ์ Arduino UNO SMD

Arduino Uno เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ มี 14 ขาดิจิตอลเข้า / ส่งออก (ซึ่ง 6 สามารถใช้เป็นผล PWM), 6 ปัจจัยการผลิตนาฬิกาคริสตัล 16 MHz, การเชื่อมต่อ USB, แจ็คไฟหัว ICSP และปุ่มรีเซ็ตมีทุกอย่างที่จำเป็นในการสนับสนุนไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงแค่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิล หรือกับอะแดปเตอร์หรือแบตเตอรี่ AC-DC เพื่อที่จะเริ่มต้นใช้งานประมวลผลในขั้นตอนต่อไป ดังนั้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ จึงสามารถแยกออกตามขั้นตอน การทำงานได้ 4 ส่วนคือ

1. อุปกรณ์ป้อนสัญญาณขาเข้า (Input Device)
2. อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing Device)
3. อุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูล (Data Storage Device)
4. อุปกรณ์ส่งสัญญาณขาออก (Output Device)

เอกสารนี้เป็นปัจจุบัน อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผลหลังจากรับค่าจากอุปกรณ์ป้อนสัญญาณขาเข้า และการก็นำมาใช้ในงานสื่อปฏิสัมพันธ์กันอย่างแพร่หลาย คือ บอร์ดอาร์ดูโน (Arduino Controller) ซึ่งตัวฮาร์ดแวร์นั้นจำเป็นต้องทำงานโดยการป้อนโค้ดจากชุดพัฒนาโปรแกรมอาร์ดูโน (Integrated

Development Environment หรือ IDE) โดยใช้ภาษาโปรแกรมอาร์ดูโน้ อีกรังยังสามารถเชื่อมต่อและสื่อสารกับซอฟต์แวร์ต่างๆ อย่างเช่น แฟลช (Flash), โพรเซสซิง (Processing), แม็กซ์ เอ็มเอสพี (Max/MSP) เป็นต้น เมื่อเริ่มใช้งานเป็นครั้งแรกผู้ใช้งานจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. สาย USB สำหรับเชื่อมต่อบอร์ดอาร์ดูโน้กับคอมพิวเตอร์
2. ชุดพัฒนาโปรแกรมอาร์ดูโน้ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดได้ที่

<http://arduino.cc/en/Main/Software> เมื่อดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้งานจึงจะเสียบสาย USB เข้ากับบอร์ดอาร์ดูโน้ได้

3. เปิดโปรแกรมอาร์ดูโน้ แล้วทำการเลือกรุ่นของบอร์ดที่ใช้จากเมนู Tools -> Board
4. เลือกพอร์ตที่ใช้ในการเชื่อมต่อจากเมนู Tools -> Serial Port -> /dev/tty.usbmodem หรือถ้าหากเป็นบอร์ดรุ่นเก่า อย่างเช่น รุ่นดิวเมิลานีเอพอร์ตเชื่อมต่อจะเป็น /dev/tty.usbserial
5. ทำการอัปโหลดโค้ดไปยังบอร์ดอาร์ดูโน้ ให้สังเกตจากสัญญาณหลอดไฟ LED ที่ช่องสัญญาณขาออกช่องที่ 13 หรือพินหมายเลข 13 จะกระพริบเมื่ออัปโหลดโค้ดเสร็จแล้ว

2.8.1 ลักษณะทางกายภาพของบอร์ดอาร์ดูโน้

บอร์ดอาร์ดูโน้โดยมาตรฐานจะมีช่องสัญญาณดิจิทัลและช่องสัญญาณขาเข้าแบบอนาล็อกช่องสายดิน ช่องสำหรับสัญญาณไฟ 9 โวลต์ และ 5 โวลต์ ปุ่มกดรีเซ็ตการทำงานของบอร์ด ทั้งนี้เราสามารถสั่งงานจากโค้ดเพื่อเลือกโหมดการทำงานของช่องสัญญาณดิจิทัลเพื่อเลือกโหมดขาเข้าหรือขาออกได้

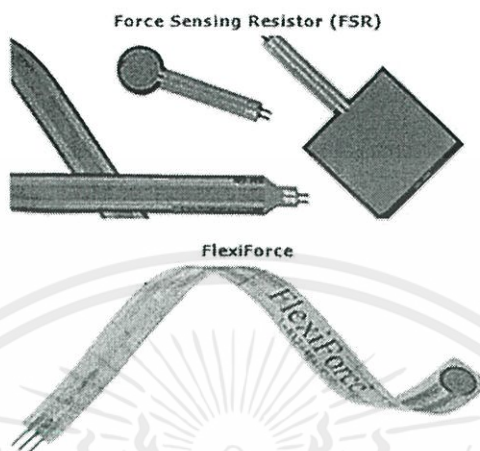
2.8.2 ลักษณะเฉพาะและหลักการการทำงานของโค้ดภาษาอาร์ดูโน้

ลักษณะของภาษาอาร์ดูโน้นับได้ว่าคล้ายคลึงกับภาษาในตระกูล OOP (Object-Oriented Programming) หากแต่ว่าลักษณะพื้นฐานของโค้ดนั้นจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันหลักอยู่ 2 รูปแบบ คือฟังก์ชัน Setup () และฟังก์ชัน Loop () ฟังก์ชันทั้งสองรูปแบบนี้จะทำงานตามลำดับขั้นตอนจาก Setup () ก่อนเสมอทั้งนี้หน้าที่หลักของฟังก์ชัน Setup () คือ การกำหนดค่าตัวแปรโกลบอล (Global Variable), การกำหนดโหมดการทำงานของพินต่างๆ และการเรียกใช้ไลบรารีเป็นต้น ส่วนฟังก์ชัน Loop () จะทำหน้าที่เรียกใช้เงื่อนไขการทำงานของโค้ดไปเรื่อยๆ

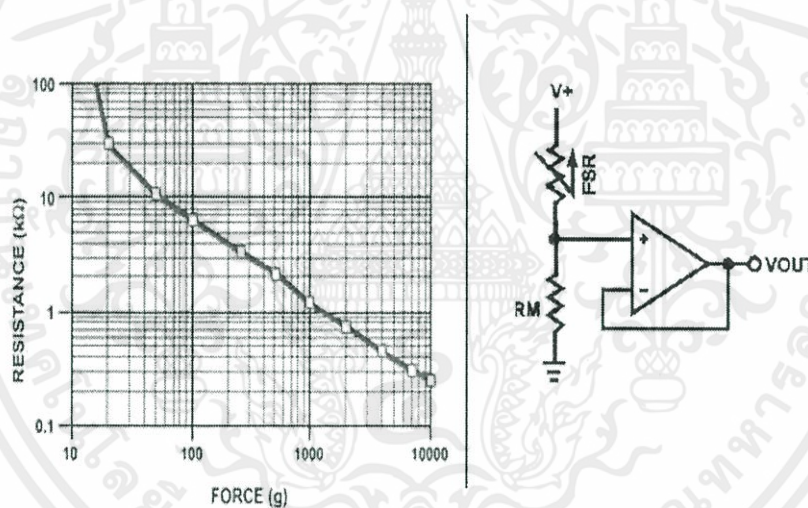
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 เซนเซอร์รับแรง FSR (Force Sensing Resistor)

FSR คือ ตัวต้านทานที่ค่าความต้านทานของมันจะเปลี่ยนแปลงไปตามแรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความต้านทานของ FSR จะลดลงเมื่อ Load (Force) มากขึ้น



รูปที่ 2.13 Force Sensing Resistor รูปแบบต่างๆ



รูปที่ 2.14 กราฟ Force Curve

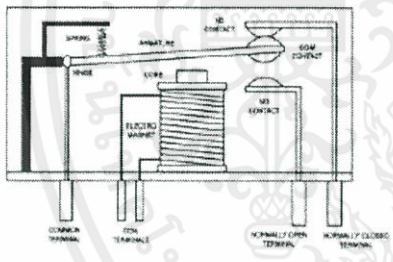
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 รีเลย์ (Relay)

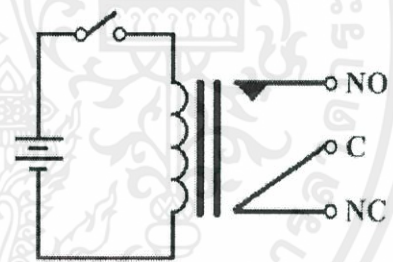
รีเลย์ (Relay) จัดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ตัด-ต่อวงจรไฟฟ้าคล้ายกับสวิตช์ทั่วไป โดยการสั่งงานให้รีเลย์ทำงานนั้นต้องจ่ายไฟแรงดันให้เหมาะสมตามขนาดที่ถูกกำหนดไว้บนอุปกรณ์ โครงสร้างของภายในของรีเลย์จะประกอบไปด้วยขดลวด 1 ชุด และหน้าสัมผัส ซึ่งในหน้าสัมผัส 1 ชุด ซึ่งจะประกอบไปด้วยหน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally Close หรือ NC) ซึ่งในสภาวะปกติขานี้จะต่ออยู่กับขาร่วม (C) และหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open หรือ NO) ขานี้จะต่อเข้ากับขาร่วม (C) เมื่อขดลวดมีแรงดันตกคร่อม หรือกระแสไหลผ่าน (ในปริมาณที่เพียงพอ) ในรีเลย์ 1 ตัว อาจมีหน้าสัมผัสมากกว่า 1 ชุด ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ผลิต

2.10.1 หลักการทำงานของรีเลย์

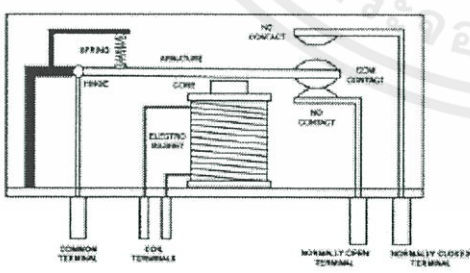
รีเลย์จะทำงานตามหลักการแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อนำเอาขดลวดพันรอบแกนเหล็กหลายรอบแล้วป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดนั้นแกนเหล็กจะกลายเป็นแม่เหล็ก (เป็นแม่เหล็กแบบชั่วคราวเท่านั้น) และเมื่อเรานำไฟฟ้าออกแกนเหล็กจะกลายเป็นแกนเหล็กธรรมดา เมื่อรีเลย์อยู่ในสภาวะปกติ ยังไม่มีการจ่ายกระแสให้รีเลย์หน้าสัมผัส NC กับ C จะต่อถึงกันแสดงดังรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 ตามลำดับ ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจาก NC ผ่านไปยัง C ได้ และเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้รีเลย์ ทำให้ขดลวดเกิดเป็นแม่เหล็ก อำนาจแม่เหล็กจะดึงหน้าสัมผัส C มาต่อกับหน้าสัมผัส NO ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจาก NO ไปยัง C ได้แสดงดังรูปที่ 2.17 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และเมื่อเราเอากระแสไฟฟ้าออกจากรีเลย์หน้าสัมผัส C จะถูกสปริงดึงไปให้ติดกับหน้าสัมผัส NC ดังเดิม



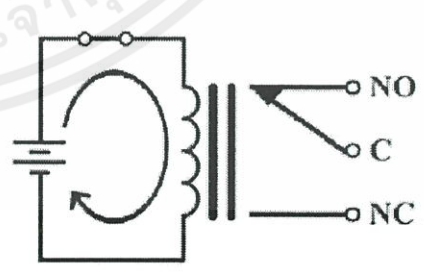
รูปที่ 2.15 โครงสร้างขณะที่สัมผัสกับขา NC



รูปที่ 2.16 แสดงสัญลักษณ์ขณะที่สัมผัสกับขา NC



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.17 แสดงรีเลย์สถานะหน้าสัมผัส NO กับ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเลือกใช้ $C_1 = 100nF$ และ $I = 16.5 \text{ mA}$ (เป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่กล่อมเนื้อบริเวณที่ถูกกระแสไฟฟ้าดูดจะเกิดการหดตัว) และหา R_1 และ R_2 โดย

$$\begin{aligned} R_1 + R_2 &= \frac{V_{CC}}{3I} \\ &= \frac{9}{3(16.5)} \\ &= 181.8 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

และเลือกหาค่า R สองตัวที่รวมค่ากัน แล้วได้ $181.8 \text{ k}\Omega$

ดังนั้น จะได้ $R_1 = 180 \text{ k}\Omega$ และ $R_2 = 1.8 \text{ k}\Omega$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ (3.1) } t_{on} &= 0.693(R_1 + R_2)C_1 \\ &= 0.693(180k + 1.8k)100n \\ &= 12.6 \text{ msec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ (3.2) } t_{off} &= 0.693(R_2)C_1 \\ &= 0.693(1.8k)100n \\ &= 0.125 \text{ msec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ (3.3) } T &= t_{on} + t_{off} \\ &= 12.725 \text{ msec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ (3.4) } f &= \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C_1} \\ &= \frac{1.44}{(180k + 3.6k)100n} \\ &= 78.43 \text{ Hz} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทำงานของวงจรสร้างสัญญาณ Pulse

จากรูปที่ 3.1 จะมีการทำงานโดยเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ส่งค่าสัญญาณดิจิทัล 5V เข้าทรานซิสเตอร์ (Transistor Q_3) ให้รีเลย์ (Relay) ทำงาน ซึ่งรีเลย์ (Relay) ก็มีหน้าที่ต่อไฟเลี้ยงให้กับวงจร IC 555 โดยวงจร IC 555 จะจ่ายสัญญาณสแควร์เวฟ (Square Wave) ที่แน่นอนให้กับทรานซิสเตอร์ Q_1 ซึ่งมีหน้าที่ขยายสัญญาณที่ออกจาก IC 555 ซึ่งทำงานอยู่ในจุดอิ่มตัว (Saturation) และจุดตัดกระแส (Cut-off) ซึ่งมีลักษณะเป็นเหมือนกับสวิตช์ปิดเปิด และทรานซิสเตอร์ (Transistor Q_2) เป็นตัวกำหนดปริมาณกระแสที่ไหลเข้าหม้อแปลง ซึ่งควบคุมด้วยการปรับอัตราส่วนของ RV_1

3.3 การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นวงจรที่ออกแบบมาเพื่อให้รับข้อมูลจาก FSR (Force Sensing Resistor) และเป็นตัวส่งการไปยังวงจรสร้างสัญญาณ Pulse ความถี่ต่ำ ในโครงงานนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Arduino UNO



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

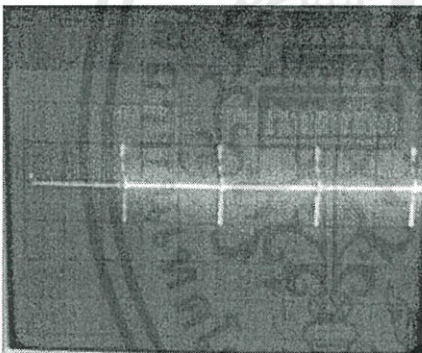
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองป้อนแหล่งจ่าย โดยใช้แหล่งจ่ายค่าต่างๆ และวัด Input, Output

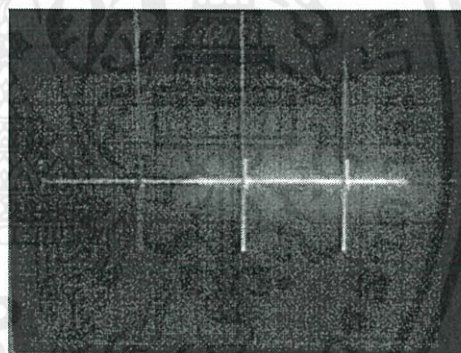
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองป้อนแหล่งจ่าย โดยใช้แหล่งจ่ายค่าต่างๆ และวัด Input, Output

แรงดันอินพุต (โวลต์)	แรงดันเอาต์พุตก่อนผ่านหม้อแปลง (โวลต์)	ความถี่ (Hz)	แรงดันเอาต์พุตหลังผ่านหม้อแปลง (โวลต์)
5	5	62	46
6	6	76	50
7	7	83	62
8	8	90	70
9	9	100	78

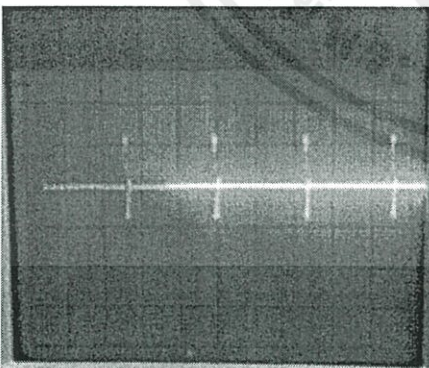
4.1.1 กราฟแสดงค่าได้วัดได้จากการทดลอง



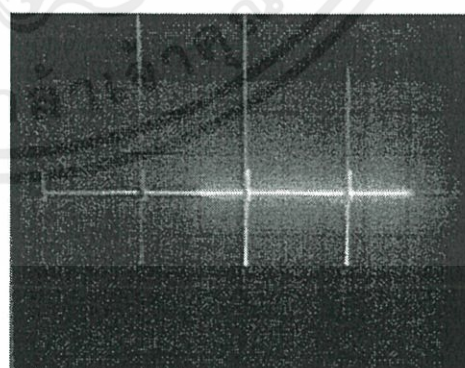
แรงดันก่อนผ่านหม้อแปลง = 5 V



แรงดันหลังผ่านหม้อแปลง

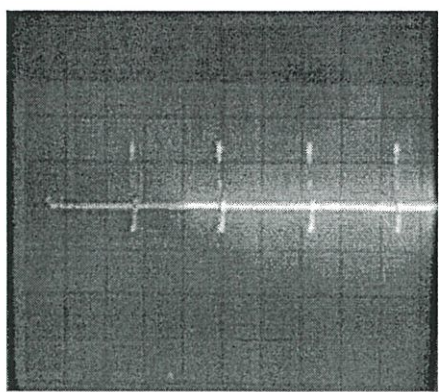


แรงดันก่อนผ่านหม้อแปลง = 6 V

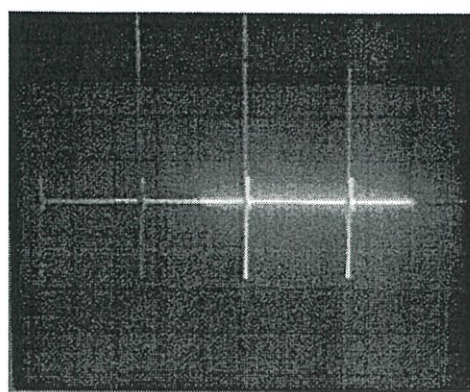


แรงดันหลังผ่านหม้อแปลง

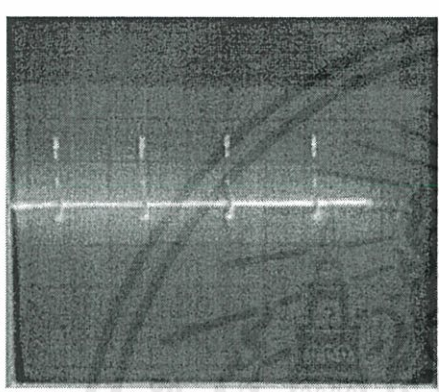
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



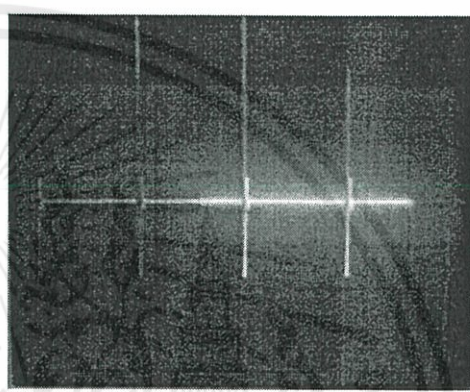
แรงดันก่อนผ่านหม้อแปลง = 7 V



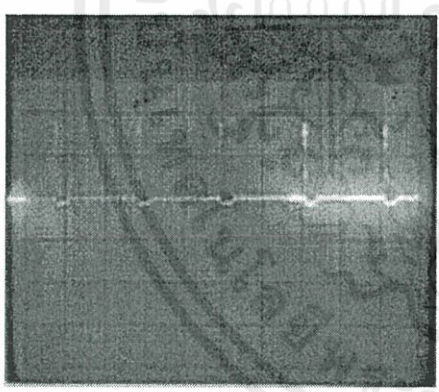
แรงดันหลังผ่านหม้อแปลง



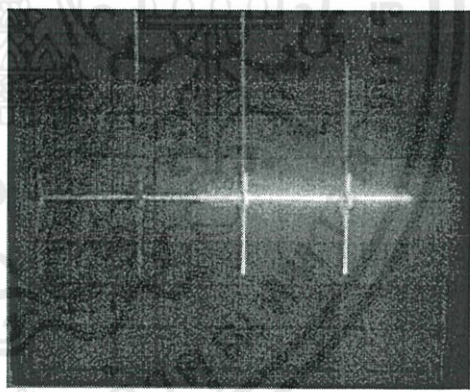
แรงดันก่อนผ่านหม้อแปลง = 8 V



แรงดันหลังผ่านหม้อแปลง



แรงดันก่อนผ่านหม้อแปลง = 9 V



แรงดันหลังผ่านหม้อแปลง

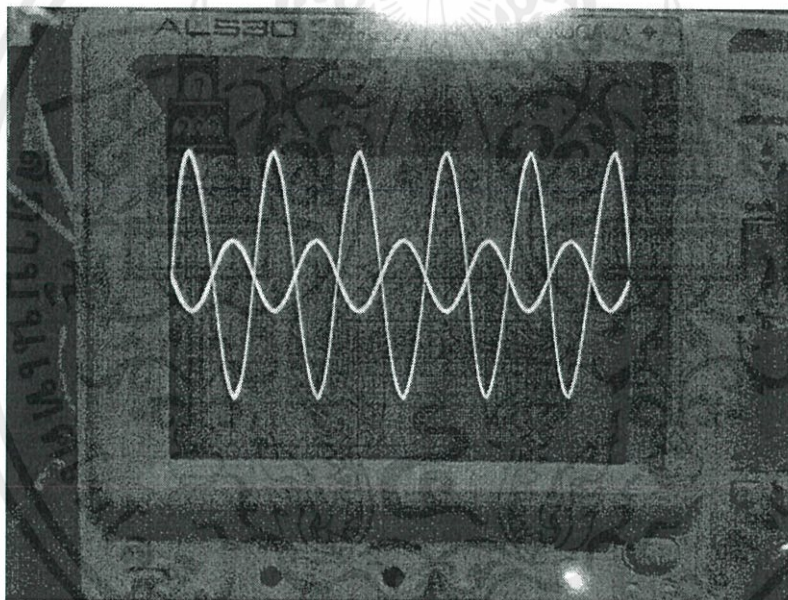
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองโดยปรับค่าตัวต้านทานแต่ละค่า โดยป้อนแรงดันคงที่ 9 V

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองโดยปรับค่าตัวต้านทานแต่ละค่า โดยป้อนแรงดันคงที่ 9 V

ความต้านทาน (k Ω)	แรงดันเอาต์พุตก่อนผ่านหม้อแปลง (V.)	แรงดันเอาต์พุตหลังผ่านหม้อแปลง (V.)	ความถี่ (Hz)
1	2.2	20	56
2	4	30	68
3	5	48	77
4	7	61	87
4.7	9	78	100

4.3 อัตราการขยายสัญญาณของหม้อแปลง



รูปที่ 4.1 อัตราการขยายสัญญาณของหม้อแปลง

Input วัดได้ 30 V. Peak to Peak

Output วัดได้ 4 V. Peak to Peak

อัตราการขยาย $35/4 \approx 9$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการที่ได้ศึกษาวงจรสร้างสัญญาณ Pulse ความถี่ต่ำ แล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าไปกับจำนวนสัญญาณ Pulse ความถี่ต่ำที่สร้างขึ้นที่แรงดัน 9V ปล่อยกระแสไปยังแผ่น Electrode ทั้ง 2 แผ่น แล้วนำไปติดกับร่างกายเรา บริเวณใต้หัวเข่าข้างลำแข้ง และบริเวณสันหน้าแข้งใกล้กระดูกหน้าแข้ง พบว่าเครื่องกระตุ้นการเดินนี้ ไม่สามารถกระตุ้นได้จริง โดยมีสาเหตุที่เครื่องกระตุ้นการเดินไม่สามารถกระตุ้นได้จริงบริเวณนี้ เพราะค่าความต้านทานจากร่างกายมนุษย์เรานั้นเอง เนื่องจากค่าความต้านทานจากร่างกายมนุษย์มีมากเกินไป โดยจะมีค่าประมาณ 10,000 ถึง 50,000 โอห์ม อีกทั้งมนุษย์เรามีค่าความต้านทานในแต่ละคนแตกต่างกันออกไปอีกด้วย

5.2 ปัญหาที่พบ

1. แรงดัน 9V ไม่เพียงพอต่อการกระตุ้นการเดิน
2. จากการทดลองจริง ไม่สามารถกระตุ้นบริเวณเท้าได้จริง เพราะร่างกายมนุษย์มีค่าความต้านทานมาก

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

1. ถ่านเซลล์กัลวานิก 9V ไม่สามารถกระตุ้นได้ ควรเปลี่ยนมาใช้แหล่งพลังงานที่มากกว่านี้ โดยไม่เกิน 15V
2. ควรมีการพัฒนาและต่อยอดระบบเครื่องกระตุ้นการเดินให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาย รัตน์ทองคำ. การกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำ. ขอนแก่น : ภาควิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2554.
- [2] Robert Boylestad. Electronic Devices and Circuit Theory. 6th. Prentice-Hall : International Ed, 1997.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ

คู่มือการใช้งาน Force Sensing Resistor (FSR)

Force Sensing Resistor (FSR) คือ ตัวต้านทานที่ค่าความต้านทานของมันจะเปลี่ยนแปลงไปตามแรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความต้านทานของ FSR จะลดลงเมื่อ load (Force) มากขึ้น โดยมีรายละเอียดการใช้งาน ดังนี้

Force Sensing Resistors An Overview of the Technology

Force Sensing Resistors (FSR) are a polymer thick film (PTF) device which exhibits a decrease in resistance with an increase in the force applied to the active surface. Its force sensitivity is optimized for use in human touch control of electronic devices. FSRs are not a load cell or strain gauge, though they have similar properties. FSRs are not suitable for precision measurements.

Force vs. Resistance

The force vs. resistance characteristic shown in Figure 2 provides an overview of FSR typical response behavior. For interpretational convenience, the force vs. resistance data is plotted on a log/log format. These data are representative of our typical devices, with this particular force-resistance characteristic being the response of evaluation part # 402 (0.5" [12.7 mm] diameter circular active area). A stainless steel actuator with a 0.4" [10.0 mm] diameter hemispherical tip of 60 durometer polyurethane rubber was used to actuate the FSR device. In general, FSR response approximately follows an inverse power-law characteristic (roughly $1/R$).

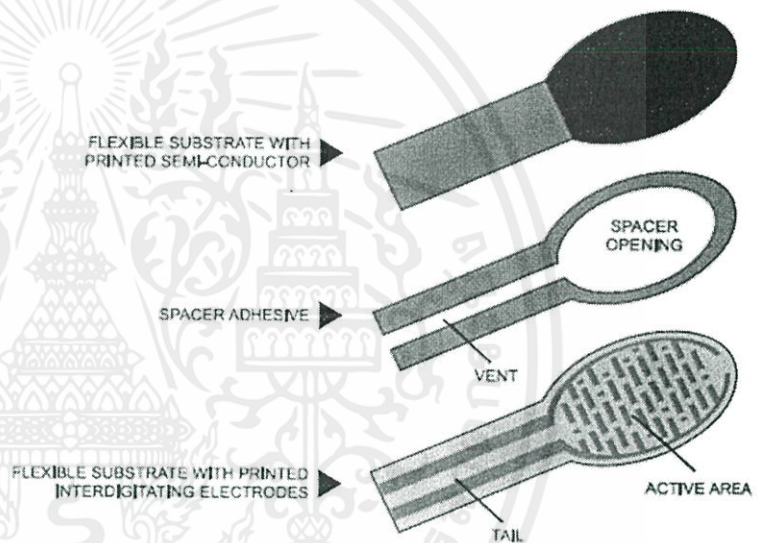


Figure 1: FSR Construction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

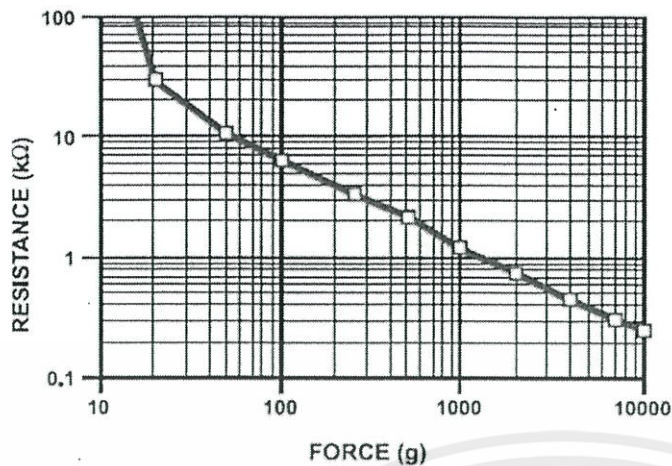
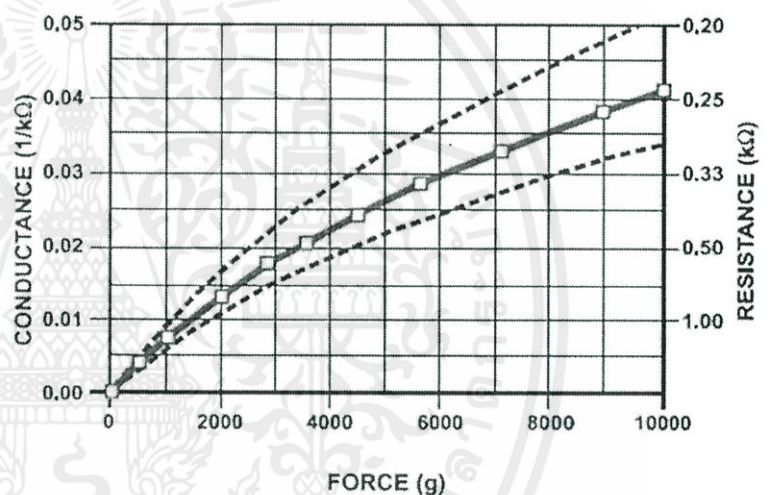


Figure 2: Resistance vs. Force

At the high force end of the dynamic range, the response deviates from the power-law behavior, and eventually saturates to a point where increases in force yield little or no decrease in resistance. Under these conditions of Figure 2, this saturation force is beyond 10 kg. The saturation point is more a function of pressure than force. The saturation pressure of a typical FSR is on the order of 100 to 200 psi. For the data shown in Figures 2, 3 and 4, the actual measured pressure range is 0 to 175 psi (0 to 22 lbs applied over 0.125 in²). Forces higher than the saturation force can be measured by spreading the force over a greater area; the overall pressure is then kept below the saturation point, and dynamic response is maintained. However, the converse of this effect is also true, smaller actuators will saturate FSRs earlier in the dynamic range, since the saturation point is reached at a lower force.

Figure 3:
Conductance vs. Force (0-10Kg)

Referring to Figure 2, at the low force end of the force-resistance characteristic, a switch-like response is evident. This turn-on threshold, or 'break force', that swings the resistance from greater than 100 kΩ to about 10 kΩ (the beginning of the dynamic range that follows a power-law) is determined by the substrate and overlay thickness and flexibility, size and shape of the actuator, and spacer-adhesive thickness (the gap between the facing conductive elements). Break force increases with increasing substrate and overlay rigidity, actuator size, and spacer-adhesive thickness. Eliminating the adhesive, or keeping it well away from the area where the force is being applied, such as the center of a large FSR device, will give it a lower rest resistance (e.g. stand-off resistance).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

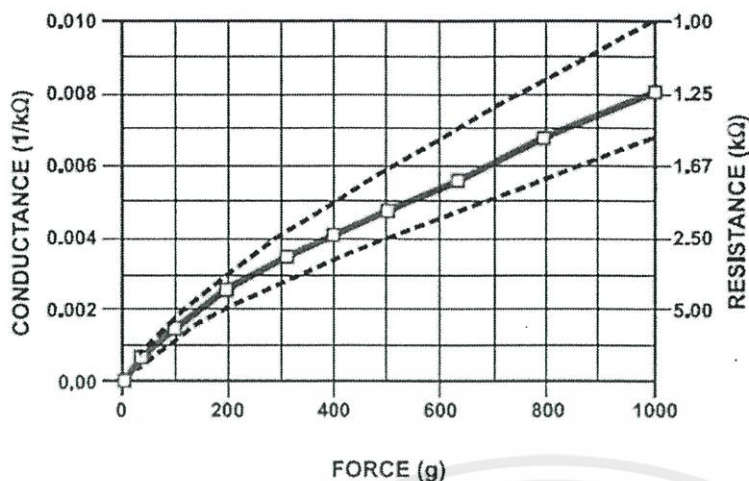


Figure 4:
Conductance vs. Force (0-1Kg) Low Force Range

strongly dependent on the repeatability of any actuating and measuring system, as well as the repeatability tolerance held by Interlink Electronics during FSR production. Typically, the part-to-part repeatability tolerance held during manufacturing ranges from $\pm 15\%$ to $\pm 25\%$ of an established nominal resistance.

Figure 4 highlights the 0-1 kg (0-2.2 lbs) range of the conductance-force characteristic. As in Figure 3, the corresponding resistance values are included for reference. This range is common to human interface applications. Since the conductance response in this range is fairly linear, the force resolution will be uniform and data interpretation simplified. The typical part-to-part error band is also shown for this touch range. In most human touch control applications this error is insignificant, since human touch is fairly inaccurate. Human factors studies have shown that in this force range repeatability errors of less than $\pm 50\%$ are difficult to discern by touch alone.

Force vs. Conductance

In Figure 3, the conductance is plotted vs. force (the inverse of resistance: $1/r$). This format allows interpretation on a linear scale. For reference, the corresponding resistance values are also included on the right vertical axis. A simple circuit called a current-to-voltage converter (see page 21) gives a voltage output directly proportional to FSR conductance and can be useful where response linearity is desired. Figure 3 also includes a typical part-to-part repeatability envelope. This error band determines the maximum accuracy of any general force measurement. The spread or width of the band is

คู่มือการใช้งาน Microcontroller (Arduino UNO SMD)

ARDUINO คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการคิดคำนวณ รับค่าจากระบบวัดผล ภายนอกเข้ามาประมวลผล เพื่อส่งการตอบสนองออกไปที่อุปกรณ์ต่อเชื่อมอื่นๆ ตัวมันเองจะทำอะไร ไม่ได้มากไปกว่าการคิด

โดยโค้ดที่ใช้ใน Microcontroller มีดังนี้

```
int fsrPin = 0; // the FSR and 10K pulldown are connected to a0

int fsrReading; // the analog reading from the FSR resistor divider

void setup(void) {

// We'll send debugging information via the Serial monitor

Serial.begin(9600);

}

void loop(void) {

fsrReading = analogRead(0);

Serial.print("FSR1 = ");

Serial.print(fsrReading); // the raw analog reading

// We'll have a few thresholds, qualitatively determined

if (fsrReading < 100) {

Serial.println(" - Sensor On");

digitalWrite(12,HIGH);

}

else {
```

Serial.println(" - Sensor Off");
 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะตีพิมพ์ขึ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 digitalWrite(12,LOW);

}

delay(300);

}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

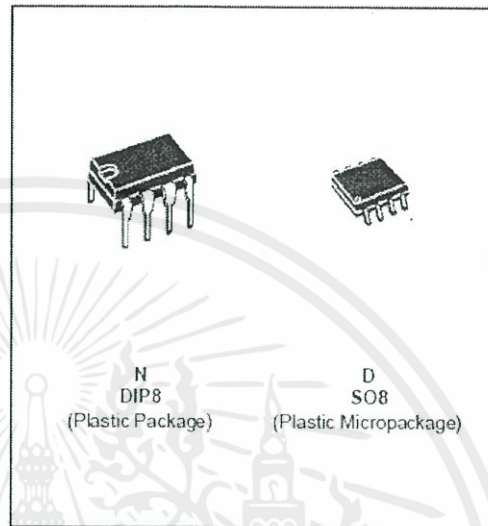
คู่มือการใช้งาน Integrated Circuits (ICs) NE555

Integrated Circuits (ICs) คือ วงจรรวม หรือวงจรเบ็ดเสร็จ หมายถึง วงจรที่นำเอาไดโอด , ทรานซิสเตอร์, ตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุ และองค์ประกอบวงจรต่างๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นวงจรขนาดเล็ก บางที่อาจเรียก ชิป (Chip) โดยมีรายละเอียดการใช้งาน ดังนี้

- LOW TURN OFF TIME
- MAXIMUM OPERATING FREQUENCY GREATER THAN 500kHz
- TIMING FROM MICROSECONDS TO HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- HIGH OUTPUT CURRENT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- TTL COMPATIBLE
- TEMPERATURE STABILITY OF 0.005% PER°C

DESCRIPTION

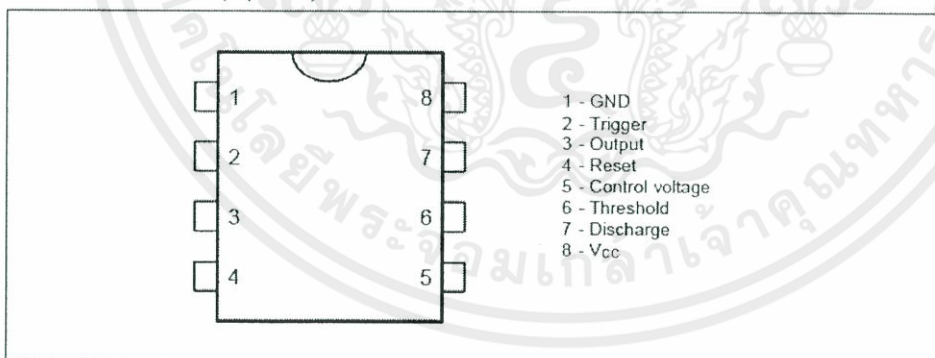
The NE555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA. The NE555 is available in plastic and ceramic minidip package and in a 8-lead micropackage and in metal can package version.



ORDER CODES

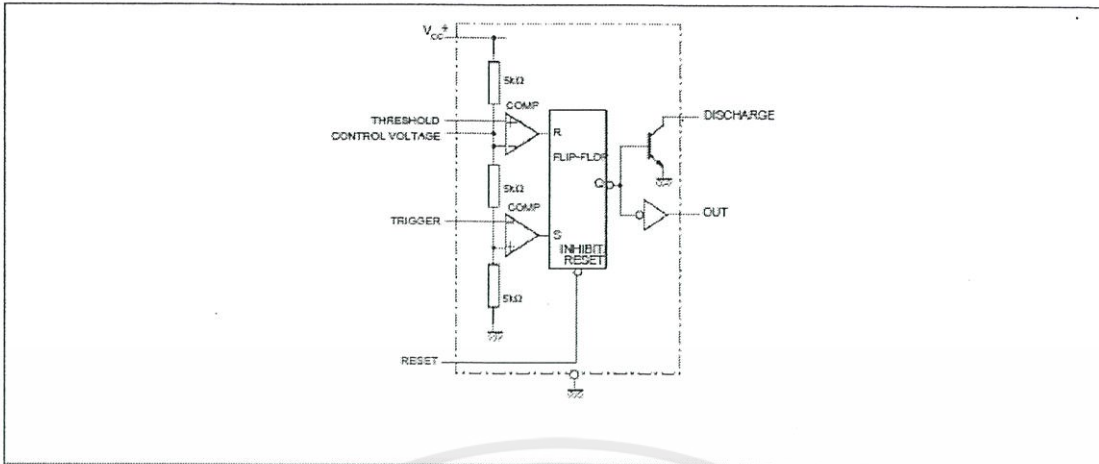
Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
NE555	0°C, 70°C	•	•
SA555	-40°C, 105°C	•	•
SE555	-55°C, 125°C	•	•

PIN CONNECTIONS (top view)

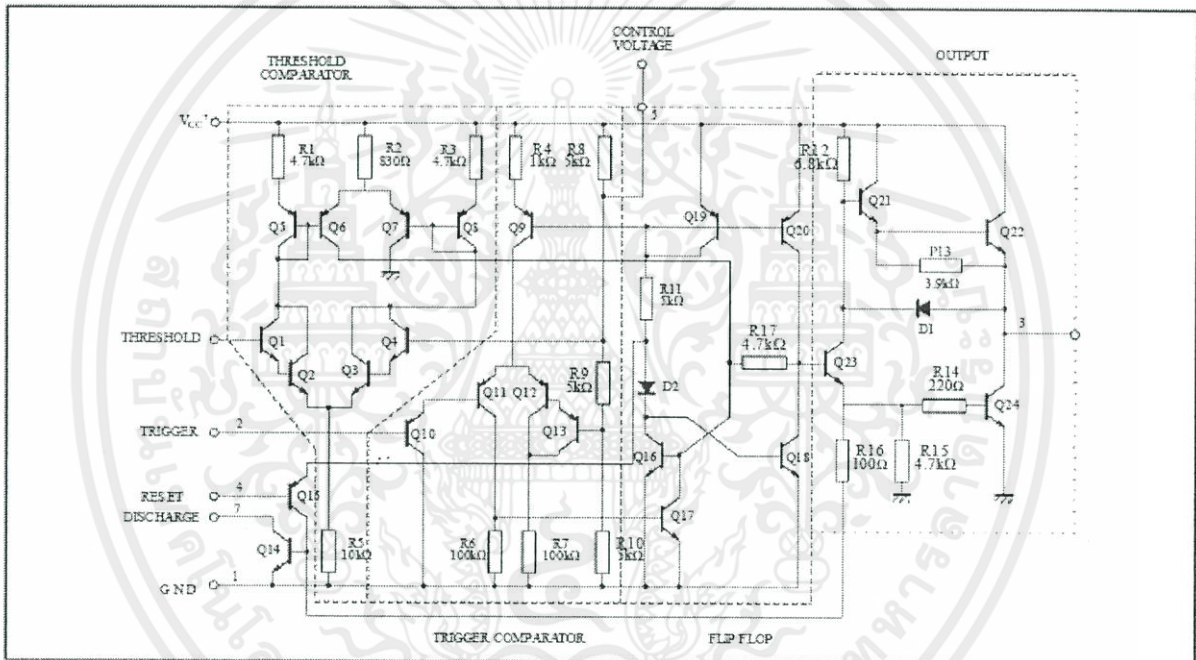


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK DIAGRAM



SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{cc}	Supply Voltage	18	V
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	for NE555 for SA555 for SE555	0 to 70 -40 to 105 -55 to 125
T_j	Junction Temperature	150	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to 150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	SE555	NE555 - SA555	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	4.5 to 18	4.5 to 18	V
V_{th} , V_{trig} , V_{cl} , V_{reset}	Maximum Input Voltage	V_{CC}	V_{CC}	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_{amb} = +25^{\circ}C$, $V_{CC} = +5V$ to $+15V$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	SE555			NE555 - SA555			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
I_{CC}	Supply Current ($R_L = \infty$) (- note 1)							mA
	Low State $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +15V$		3 10	5 12		3 10	6 15	
	High State $V_{CC} = 5V$		2			2		
	Timing Error (monostable) ($R_A = 2k$ to $100k\Omega$, $C = 0.1\mu F$) Initial Accuracy - (note 2) Drift with Temperature Drift with Supply Voltage		0.5 30 0.05	2 100 0.2		1 50 0.1	3 3 0.5	% ppm/ $^{\circ}C$ %/V
	Timing Error (astable) ($R_A, R_B = 1k\Omega$ to $100k\Omega$, $C = 0.1\mu F$, $V_{CC} = +15V$) Initial Accuracy - (note 2) Drift with Temperature Drift with Supply Voltage		1.5 90 0.15			2.25 150 0.3		% ppm/ $^{\circ}C$ %/V
V_{CL}	Control Voltage level							V
	$V_{CC} = +15V$ $V_{CC} = +5V$	9.6 2.9	10 3.33	10.4 3.8	9 2.6	10 3.33	11 4	
V_{th}	Threshold Voltage							V
	$V_{CC} = +15V$ $V_{CC} = +5V$	9.4 2.7	10 3.33	10.8 4	8.8 2.4	10 3.33	11.2 4.2	
I_{th}	Threshold Current - (note 3)		0.1	0.25		0.1	0.25	μA
V_{trig}	Trigger Voltage							V
	$V_{CC} = +15V$ $V_{CC} = +5V$	4.8 1.45	5 1.87	5.2 1.9	4.5 1.1	5 1.87	5.6 2.2	
I_{trig}	Trigger Current ($V_{trig} = 0V$)		0.5	0.9		0.5	2.0	μA
V_{reset}	Reset Voltage - (note 4)	0.4	0.7	1	0.4	0.7	1	V
I_{reset}	Reset Current							mA
	$V_{reset} = +0.4V$ $V_{reset} = 0V$		0.1 0.4	0.4 1		0.1 0.4	0.4 1.5	
V_{OL}	Low Level Output Voltage							V
	$V_{CC} = +15V$, $I_{O(sink)} = 10mA$		0.1	0.15		0.1	0.25	
	$I_{O(sink)} = 50mA$		0.4	0.5		0.4	0.75	
	$I_{O(sink)} = 100mA$		2	2.2		2	2.5	
	$I_{O(sink)} = 200mA$		2.5			2.5		
	$V_{CC} = +5V$, $I_{O(sink)} = 8mA$		0.1	0.25		0.3	0.4	
$I_{O(sink)} = 5mA$		0.05	0.2		0.25	0.35		
V_{OH}	High Level Output Voltage							V
	$V_{CC} = +15V$, $I_{O(source)} = 200mA$		13	12.5		12.5		
	$I_{O(source)} = 100mA$		3	13.3		13.3		
	$V_{CC} = +5V$, $I_{O(source)} = 100mA$		3	3.3		2.75	3.3	

- Notes : 1. Supply current when output is high is typically 1mA less.
2. Tested at $V_{CC} = +5V$ and $V_{CC} = +15V$.
3. This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for +15V operation the max total is $R = 20M\Omega$ and for 5V operation the max total $R = 3.5M\Omega$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	SE555			NE555 - SA555			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$I_{dis(off)}$	Discharge Pin Leakage Current (output high) ($V_{dis} = 10V$)		20	100		20	100	nA
$V_{dis(sat)}$	Discharge pin Saturation Voltage (output low) - (note 5) $V_{CC} = +15V, I_{dis} = 15mA$ $V_{CC} = +5V, I_{dis} = 4.5mA$		180 80	480 200		180 80	480 200	mV
t_r t_f	Output Rise Time Output Fall Time		100 100	200 200		100 100	300 300	ns
t_{off}	Turn off Time - (note 6) ($V_{reset} = V_{CC}$)		0.5			0.5		μs

Notes : 5. No protection against excessive Pin 7 current is necessary, providing the package dissipation rating will not be exceeded.
6. Time measured from a positive going input pulse from 0 to $0.8 \times V_{CC}$ into the threshold to the drop from high to low of the output trigger is tied to threshold.

Figure 1 : Minimum Pulse Width Required for Triggering

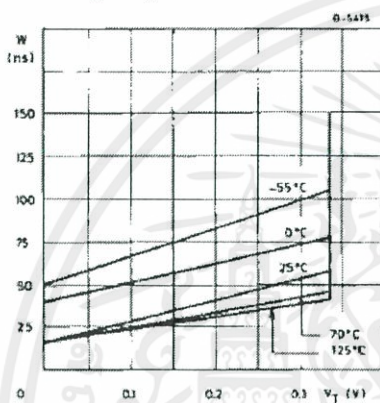


Figure 2 : Supply Current versus Supply Voltage

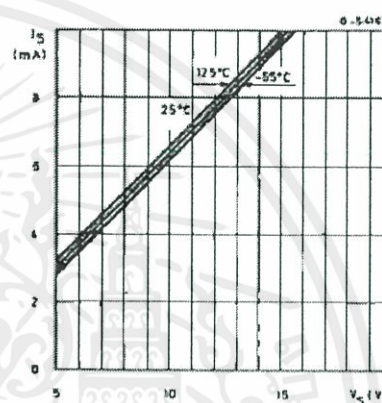


Figure 3 : Delay Time versus Temperature

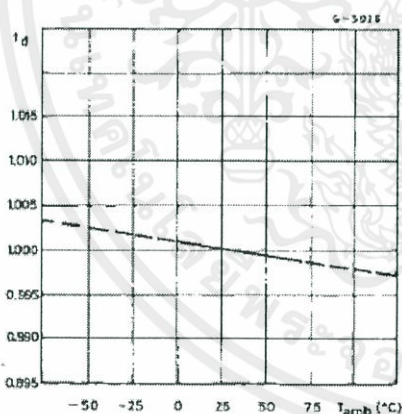
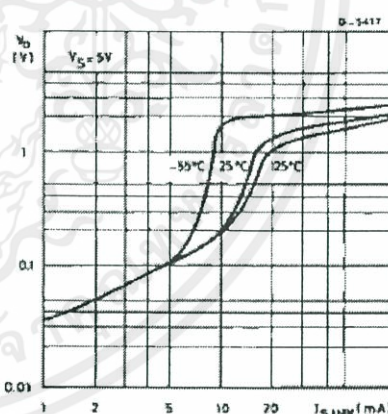


Figure 4 : Low Output Voltage versus Output Sink Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 5 : Low Output Voltage versus Output Sink Current

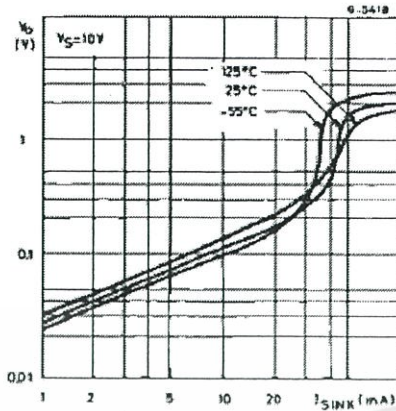


Figure 6 : Low Output Voltage versus Output Sink Current

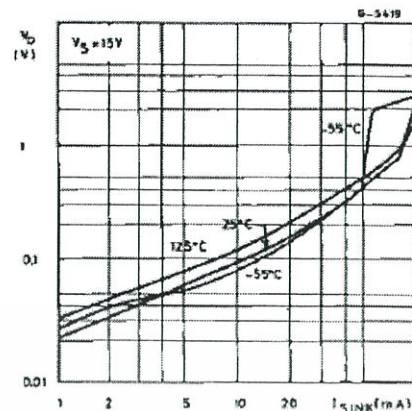


Figure 7 : High Output Voltage Drop versus Output

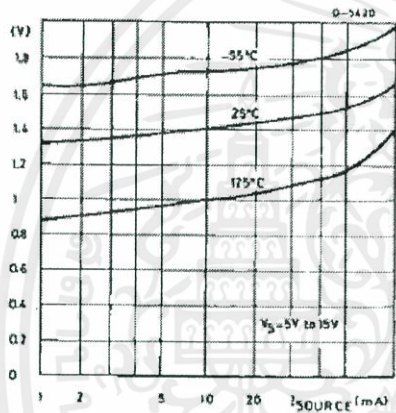


Figure 8 : Delay Time versus Supply Voltage

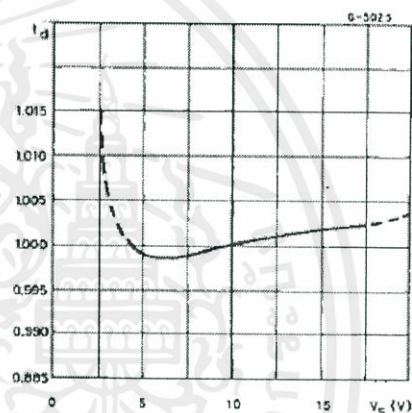
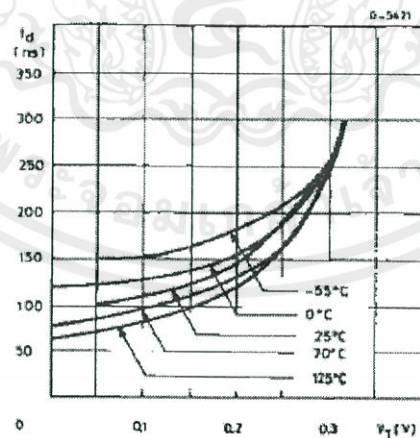


Figure 9 : Propagation Delay versus Voltage Level of Trigger Value



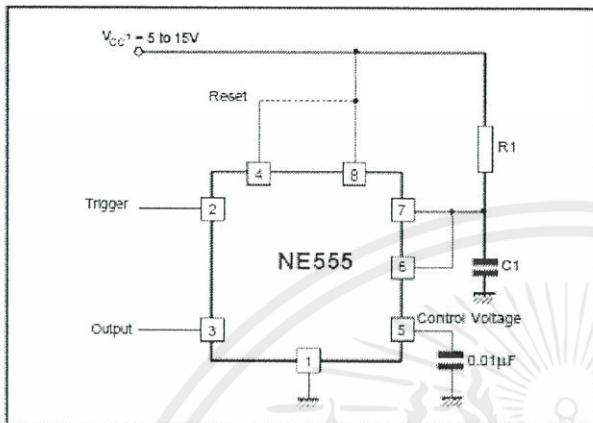
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

MONOSTABLE OPERATION

In the monostable mode, the timer functions as a one-shot. Referring to figure 10 the external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer.

Figure 10



The circuit triggers on a negative-going input signal when the level reaches $1/3 V_{cc}$. Once triggered, the circuit remains in this state until the set time has elapsed, even if it is triggered again during this interval. The duration of the output HIGH state is given by $t = 1.1 R_1 C_1$ and is easily determined by figure 12.

Notice that since the charge rate and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply. Applying a negative pulse simultaneously to the reset terminal (pin 4) and the trigger terminal (pin 2) during the timing cycle discharges the external capacitor and causes the cycle to start over. The timing cycle now starts on the positive edge of the reset pulse. During the time the reset pulse is applied, the output is driven to its LOW state.

When a negative trigger pulse is applied to pin 2, the flip-flop is set, releasing the short circuit across the external capacitor and driving the output HIGH. The voltage across the capacitor increases exponentially with the time constant $\tau = R_1 C_1$. When the voltage across the capacitor equals $2/3 V_{cc}$, the comparator resets the flip-flop which then discharge the capacitor rapidly and drives the output to its LOW state.

Figure 11 shows the actual waveforms generated in this mode of operation.

When Reset is not used, it should be tied high to avoid any possibly or false triggering.

Figure 11

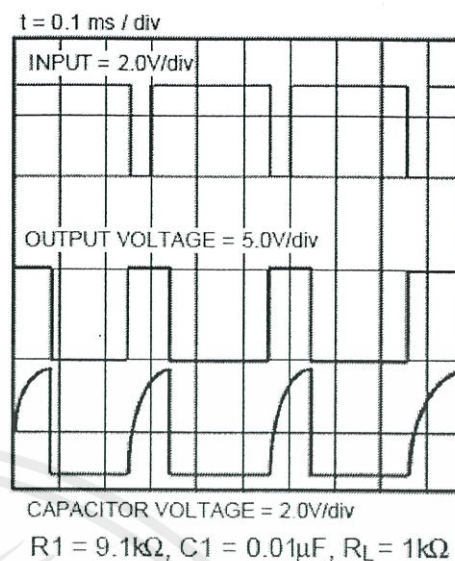
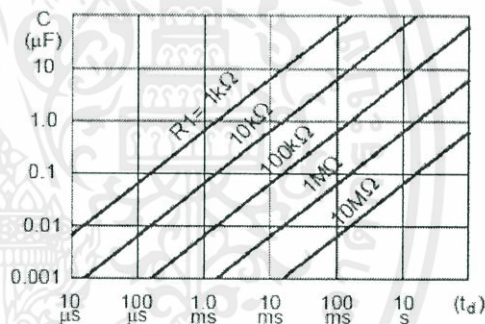


Figure 12



ASTABLE OPERATION

When the circuit is connected as shown in figure 13 (pin 2 and 6 connected) it triggers itself and free runs as a multivibrator. The external capacitor charges through R_1 and R_2 and discharges through R_2 only. Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

In the astable mode of operation, C_1 charges and discharges between $1/3 V_{cc}$ and $2/3 V_{cc}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times and therefore frequency are independent of the supply voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 13

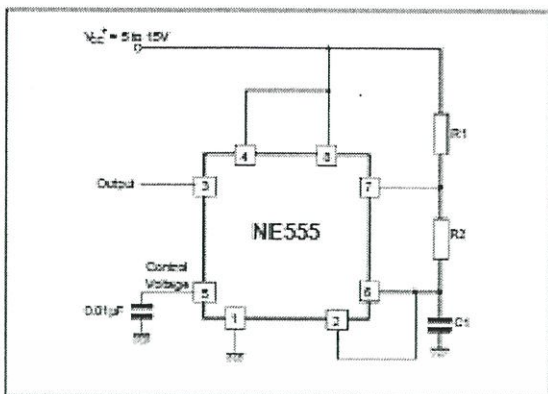


Figure 14 shows actual waveforms generated in this mode of operation.

The charge time (output HIGH) is given by :

$$t_1 = 0.693 (R_1 + R_2) C_1$$

and the discharge time (output LOW) by :

$$t_2 = 0.693 (R_2) C_1$$

Thus the total period T is given by :

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_1 + 2R_2) C_1$$

The frequency of oscillation is them :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2) C_1}$$

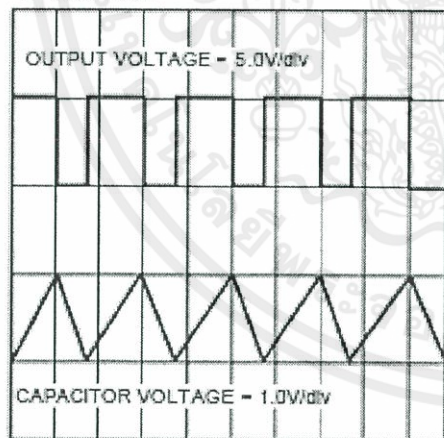
and may be easily found by figure 15.

The duty cycle is given by :

$$D = \frac{R_2}{R_1 + 2R_2}$$

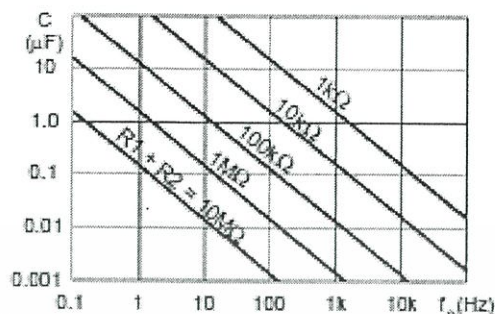
Figure 14

t = 0.5 ms / div



R1 = R2 = 4.8kΩ, C1 = 0.1µF, RL = 1kΩ

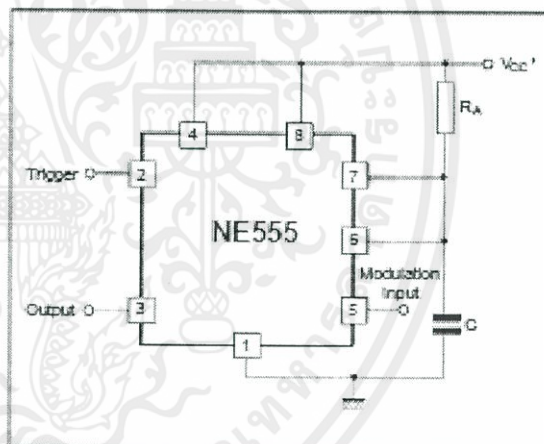
Figure 15 : Free Running Frequency versus R1, R2 and C1



PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 16 shows the circuit.

Figure 16 : Pulse Width Modulator.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A , in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 17 shows a circuit configuration that will perform this function.

Figure 17.

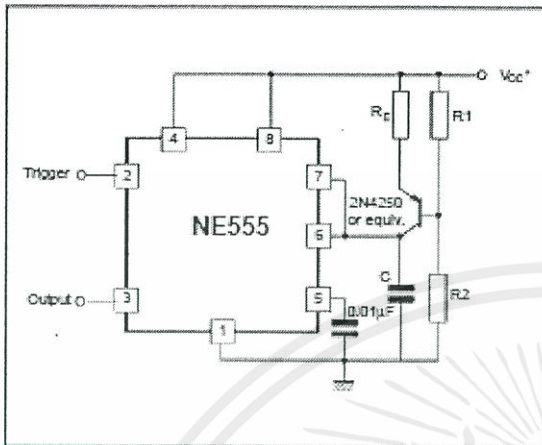
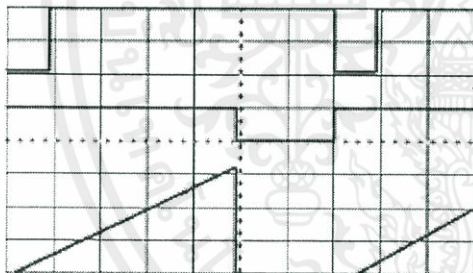


Figure 18 shows waveforms generated by the linear ramp.

The time interval is given by :

$$T = \frac{(2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C)}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)} \quad V_{BE} = 0.6V$$

Figure 18 : Linear Ramp.



$V_{CC} = 5V$
 Time = 20µs/DIV
 $R_1 = 47k\Omega$
 $R_2 = 100k\Omega$
 $R_E = 2.7k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top trace : input 3V/DIV
 Middle trace : output 5V/DIV
 Bottom trace : output 5V/DIV
 Bottom trace : capacitor voltage 1V/DIV

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle the resistors R_A and R_E may be connected as in figure 19. The time period for the output high is the same as previous,

$$t_1 = 0.693 R_A C$$

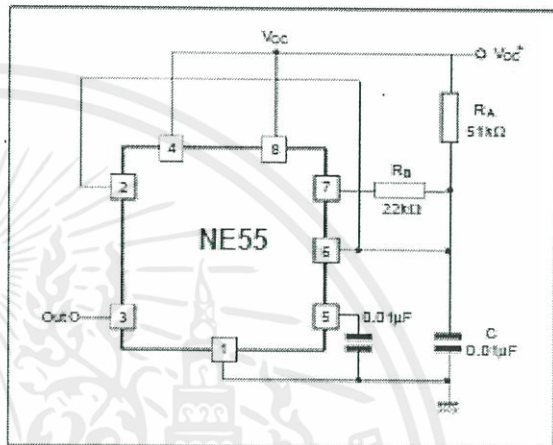
For the output low it is $t_2 =$

$$[(R_A R_B)/(R_A + R_B)] \text{CLn} \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is $f = \frac{1}{t_1 + t_2}$

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater

Figure 19 : 50% Duty Cycle Oscillator.



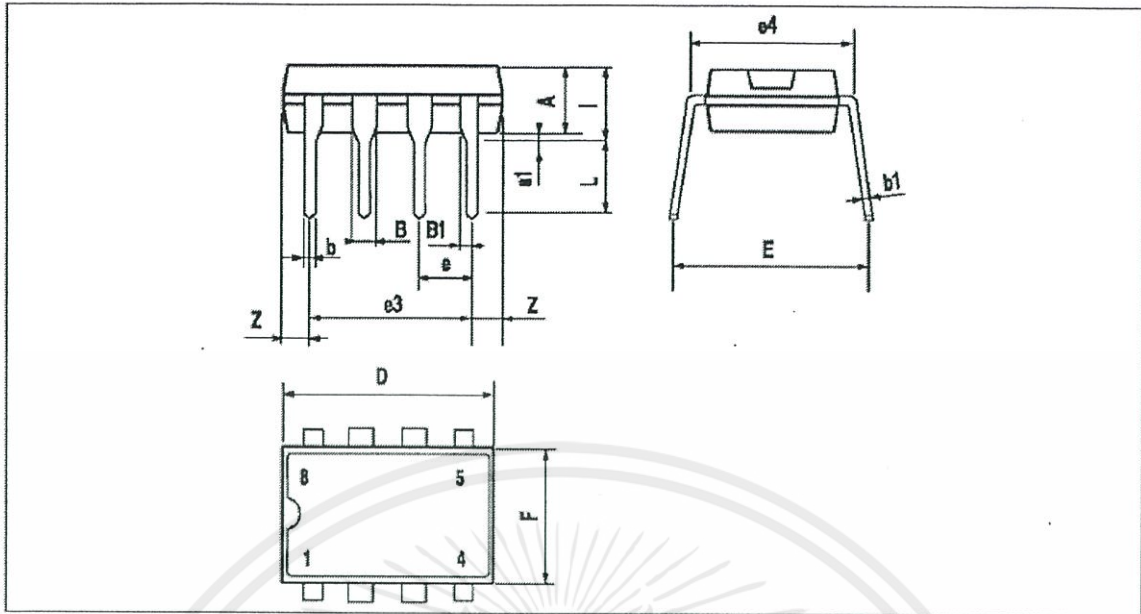
than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is $0.1\mu F$ in parallel with $1\mu F$ electrolytic.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 PINS - PLASTIC DIP



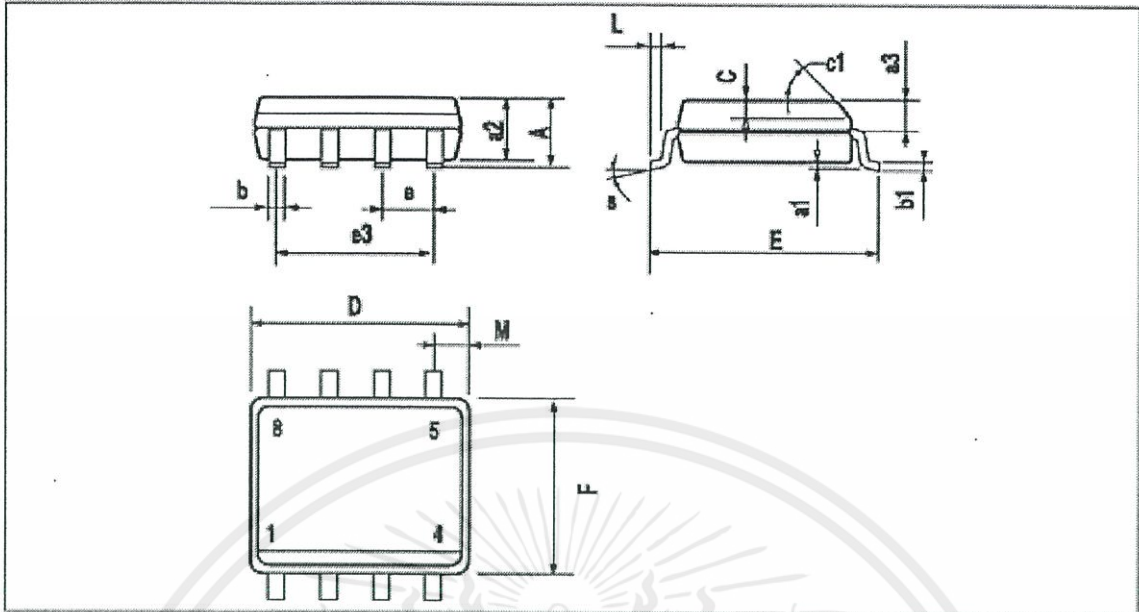
PM-DIP8PS

Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

DPA:TEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1			45° (typ.)			
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S			8° (max.)			

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a trademark of STMicroelectronics

© 1998 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved
 STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

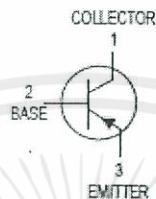
Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Mexico - Morocco
 The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน Transistor BC327

ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถควบคุมการไหลของอิเล็กตรอนได้ ใช้ทำหน้าที่ ขยายสัญญาณไฟฟ้า, เปิด/ปิดสัญญาณไฟฟ้า, ควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่, หรือกล้ำสัญญาณไฟฟ้า (Modulate) โดยมีรายละเอียดการใช้งาน ดังนี้

Amplifier Transistors PNP Silicon



BC327,-16,-25
BC328,-16,-25



CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC327	BC328	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	-45	-25	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	-50	-30	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	-5.0		Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	-800		mA _{dc}
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	825	5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5	12	Watt mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150		°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = -10\text{ mA}, I_E = 0$)	BC327 BC328	$V_{(BR)CEO}$	-45 -25	— —	Vdc
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = -100\ \mu\text{A}, I_E = 0$)	BC327 BC328	$V_{(BR)CES}$	-50 -30	— —	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = -10\ \mu\text{A}, I_C = 0$)		$V_{(BR)EBO}$	-5.0	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = -30\text{ V}, I_E = 0$) ($V_{CB} = -20\text{ V}, I_E = 0$)	BC327 BC328	I_{CBO}	— —	— -100 -100	nA _{dc}
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = -45\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = -25\text{ V}, V_{BE} = 0$)	BC327 BC328	I_{CES}	— —	— -100 -100	nA _{dc}
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = -4.0\text{ V}, I_C = 0$)		I_{EBO}	—	-100	nA _{dc}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain ($I_C = -100\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)	hFE	100	—	630	—
($I_C = -300\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)		100	—	250	
		160	—	400	
Base-Emitter On Voltage ($I_C = -300\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)	$V_{BE(on)}$	—	—	-1.2	Vdc
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = -500\text{ mA}$, $I_B = -50\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	—	-0.7	Vdc
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS					
Output Capacitance ($V_{CB} = -10\text{ V}$, $I_E = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{ob}	—	11	—	pF
Current-Gain — Bandwidth Product ($I_C = -10\text{ mA}$, $V_{CE} = -5.0\text{ V}$, $f = 100\text{ MHz}$)	f_T	—	260	—	MHz

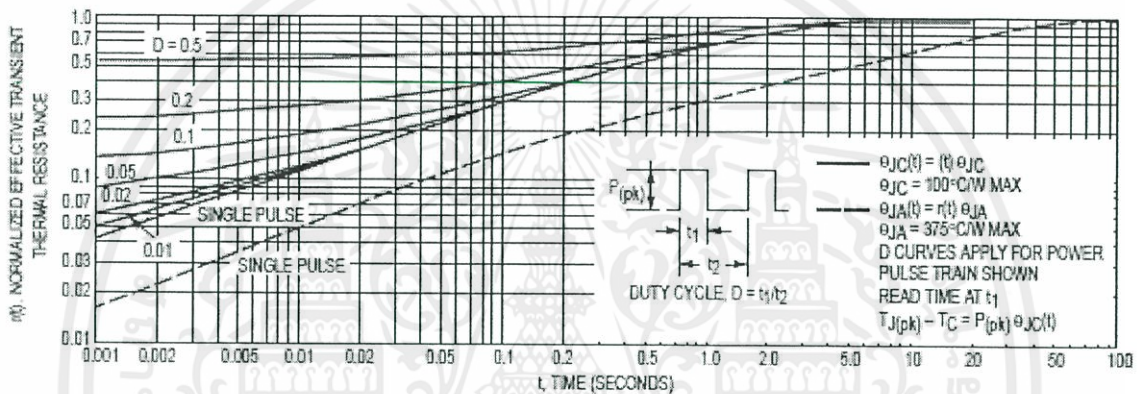


Figure 1. Thermal Response

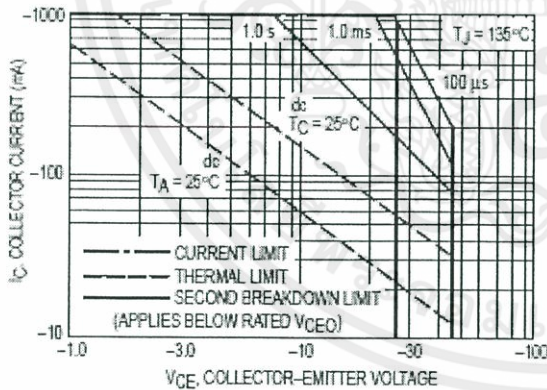


Figure 2. Active Region — Safe Operating Area

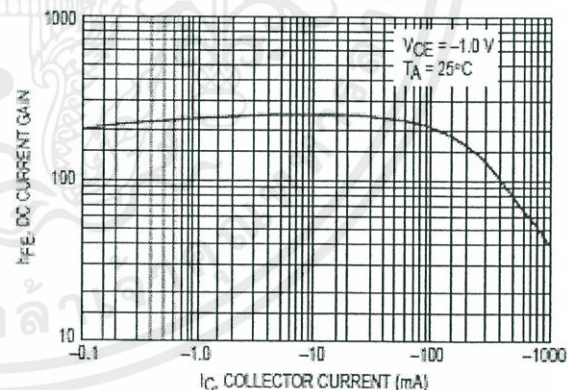


Figure 3. DC Current Gain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

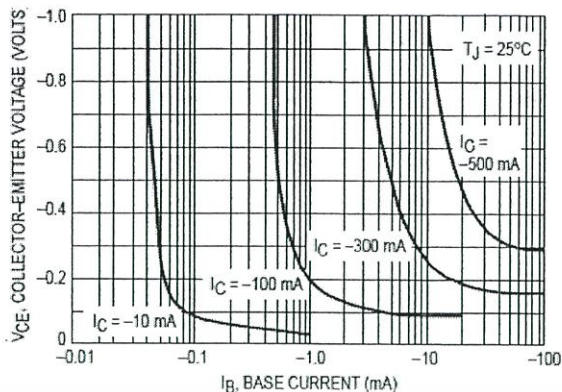


Figure 4. Saturation Region

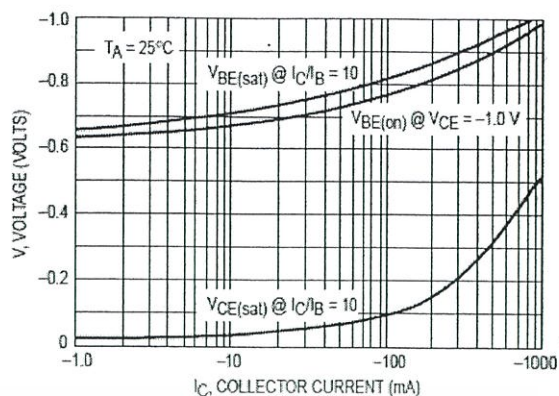


Figure 5. "On" Voltages

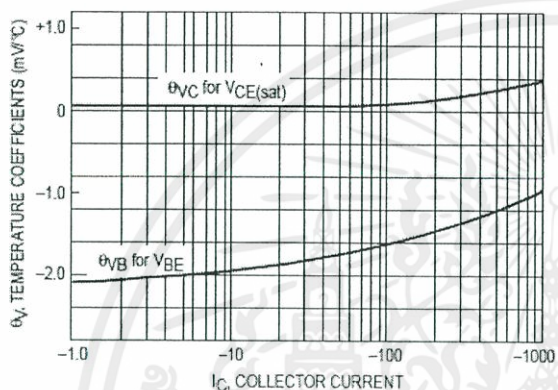


Figure 6. Temperature Coefficients

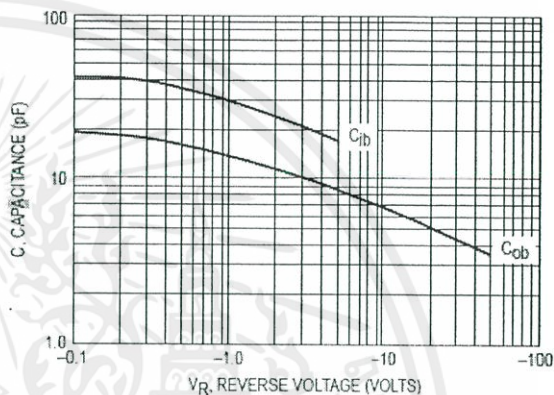


Figure 7. Capacitances

PACKAGE DIMENSIONS

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K. MINIMUM LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.195	3.18	4.91
D	0.016	0.022	0.41	0.55
F	0.010	0.012	0.41	0.48
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.035	0.105	2.42	2.68
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
N	0.080	0.105	2.04	2.68
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

STYLE 17:
FIN 1. COLLECTOR
2. BASE
3. EMITTER

CASE 029-04
(TO-226AA)
ISSUE AD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้