เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

POWER FACTOR METER

โดย

นายธีระชัย เกื้อกูลสงฆ์

นายพิเชฐ ไข่ด้วง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ วิริยะ กองรัตน์

เลขเรียกหนังสือ ปพ ท๒๖๑ ๒๕๔๑

เลขทะเบียน 040593

วัน เดือน ปี ๑๖ ก.ค. ๔๒

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

040593

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

POWER FACTOR METER

ผู้จัดทำ

1.นาย ธีระชัย เกื้อกูลสงฆ์ 39013387

2.นาย พิเชฐ ไข่ด้วง 39013391

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. วิริยะ กองรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

ธีระชัย เกื้อกูลสงฆ์
พิเชฐ ไข่ด้วง

อาจารย์ วิริยะ กองรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เรียบเรียงขึ้นจากผลงานที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องวัด ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (power factor meter) แบบดิจิตอล (digital) โดยการนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสผ่านวงจรซีโร่ครอสซิงดีเทกเตอร์ (zero-crossing detector) เพื่อแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (digital) และนำสัญญาณดังกล่าวไปผ่านวงจรปรับระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ จากนั้นจึงผ่านสัญญาณไปยังวงจรเฟสคอมพาราเตอร์ (phase comparator) เพื่อหาค่าความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง นำสัญญาณไปผ่านวงจรผ่านความถี่ต่ำ (low-pass filter) ซึ่งจะทำการแปลงค่าความต่าง เฟสเป็นแรงดันไฟฟ้าคงที่ซึ่งอยู่ในช่วง 0-4.096 โวลต์ ค่าที่ได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง ซึ่งค่าความต่างเฟสนี้ก็คือค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ สัญญาณที่ได้จากวงจรผ่านความถี่ต่ำนำไปเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอก (analog) ไปเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 10 บิต (bit) เพื่อนำไปเข้าส่วนไมโครโปรเซสเซอร์ (microprocessor) เป็นค่าของเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ต้องการจริง แล้วแสดงผลด้วยจอ LCD

เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้เป็นเครื่องวัดที่มีความสะดวกในการใช้งาน เป็นเครื่องวัดค่าที่ไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ วงจรประกอบด้วยอุปกรณ์เพียงเล็กน้อยทำให้ราคาไม่แพงเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER FACTOR METER

TEERACAHI KURGULSOK
PICHET KSAIDOUNG
ADVISOR VIRIYA KONGRAT
1998

Abstract

This thesis is an application of Zero - Crossing Detector to develop Digital Power Factor Meter. The Zero - Crossing Detector Converts Voltage level in order to adjust Voltage level interval 0 - 5 Volts and passes signal through Phase Comparator. The low -pass Filter receivers the different signal Form Phase Comparator and converts to voltage level interval 0 - 4.096 volts. The output from Low – pass Filter is converted by Analog to digital Converter to 10 - bit data. The microprocessor calculates 10 - bit data to Power Factor meter value shown by LCD module. This project is developed for convenient use because it does not depend on frequency and low cost.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

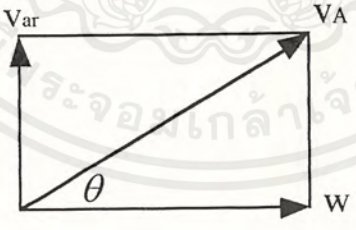
บทที่ 1 เพาเวอร์แฟกเตอร์	1
เพาเวอร์แฟกเตอร์	1
1.เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์	2
1.1หลักการทำงาน	3
บทที่ 2 หลักการทำงานของเครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์	6
2.1 วงจรซีโรครอสซิงดีแทกเตอร์	7
2.2 วงจรปรับระดับสัญญาณแบบไดโอด	10
2.3 วงจรผ่านความถี่ต่ำ	11
2.4 SUCESSIVE APPROXIMATION ADC	12
บทที่ 3 โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS-51	16
สัญญาณนาฬิกาของ MCS-51	21
การจัดวางหน่วยความจำ	22
บทที่ 4 การอินเตอร์รัปต์	25
แหล่งกำเนิดการอินเตอร์รัปต์ของ MCS-51	26
การเขียนโปรแกรมโดยการใช้การอินเตอร์รัปต์	31
บทที่ 5 ไทเมอร์และเคาร์เตอร์	33
การควบคุมไทเมอร์	34
บทที่ 6 แนวทางการใช้งาน LCD module	39
การต่อเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์	40
ลายละเอียดของคำสั่ง	43
การอ่านข้อมูลและการเขียนข้อมูลกับ DDRAM/CGRAM	46
บทที่ 7 การคำนวณการสร้าง	47
การคำนวณการสร้าง	47
บทที่ 8 การทดลองและผลการทดลอง	85
บทวิจารณ์และบทสรุป	86
วงจรเครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์	87
บทเพิ่มเติมเกี่ยวกับการแก้ค่า Power factor	88
กิตติกรรมประกาศ	
อ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เพาเวอร์แฟกเตอร์

กำลังงานในระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ กำลังไฟฟ้าจริง (Real power หรือ active power) ซึ่งมีหน่วยวัดเป็นวัตต์ (watt) เป็นกำลังงานที่สามารถเปลี่ยนแปลงโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ เช่น แสงสว่าง ความร้อน หรือกำลังงานกลและอีกส่วนหนึ่งคือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive power) มีหน่วยวัดเป็น วาร์ (Var) เป็นกำลังงานที่ไม่สามารถที่จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น มอเตอร์ (motor) หม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) ต้องใช้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟนี้สร้างสนามแม่เหล็ก ผลรวมของกำลังงานทั้งสองนี้เรียกว่า กำลังไฟฟ้าเสมือน (apparent power) ซึ่งมีหน่วยวัดเป็น โวลต์แอมแปร์ (VA) เป็นกำลังงานที่แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ และมีขนาดเท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้าในวงจรของแรงดันของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า อัตราส่วนของกำลังงานจริงต่อกำลังงานปรากฏราเรียกว่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ซึ่งเป็นตัวบอกให้ทราบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆใช้กำลังงานจริงเป็นสัดส่วนเท่าไหร่เมื่อเทียบกับกำลังงานปรากฏดังนั้นในระบบไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์สูงจะมีความสามารถหรือประสิทธิภาพในการทำงานดีกว่าระบบไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ต่ำกว่าผลรวมของกำลังไฟฟ้าทั้งสองรวมเข้ากันทางเฟสเซอร์ (phasor) แสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

พาเวอร์แฟกเตอร์อาจเป็นแบบนำหน้าหรือตามหลัง (lead/lag) ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกำลังงานที่ทำให้เกิดงานและกำลังงานรีแอกทีฟ ถ้ากำลังงานทั้งสองส่วนนี้ไหลไปในทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกัน ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่จุดนั้นจะเป็นแบบตามหลัง แต่ถ้าไหลไปคนละทิศทางกันแล้วค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่จุดนั้นจะเป็นแบบนำหน้า เนื่องจากตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นแหล่งกำเนิดกำลังงาน Reactive power เพียงอย่างเดียวมันจึงมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบนำหน้าเสมอ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็นแบบตามหลังเพราะมันต้องการทั้งกำลังงานที่ทำให้เกิดงานและกำลัง Reactive power (ไหลเข้ามอเตอร์ทั้งสองส่วน) สำหรับซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous motor) ที่ถูกกระตุ้นเกินขนาด (Overexcited) นั้นสามารถจ่ายกำลังรีแอกทีฟเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้ แต่กำลังงานที่ทำให้เกิดงานต้องไหลเข้ามอเตอร์เสมอ ดังนั้นมันจึงมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็นแบบนำหน้าได้

ในระบบไฟฟ้านั้นค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็นเรื่องที่สำคัญ ดังนั้นเราจะทำอย่างไรที่จะทำให้เราทราบค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ได้ ปกติแล้วค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เราสามารถคำนวณได้ แต่เนื่องจากในการใช้งานจริงนั้น ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะต้องมาคอยคำนวนค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ทุกๆครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลง จึงมีการสร้างเครื่องมือวัดเพื่อช่วยให้เกิดความสะดวกในการวัดมากขึ้น ซึ่งก็คือบอกค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์โดยไม่ต้องมาสังเกตการเปลี่ยนแปลงแล้วคำนวนออกมาให้เสียเวลา

1. เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

ในการสร้างเครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์นั้น สามารถสร้างได้หลายแบบ ซึ่งจะได้อธิบายอย่างคร่าวๆ เพียง 3 แบบ ดังต่อไปนี้

1.เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบไดนาโมมิเตอร์เฟสเดียว
(Dynamometer type single-phase power factor meter)

2. เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบไดนาโมมิเตอร์สำหรับโหลด 3 เฟสสมดุล
(Dynamometer power factor meter for balanced three phase load)

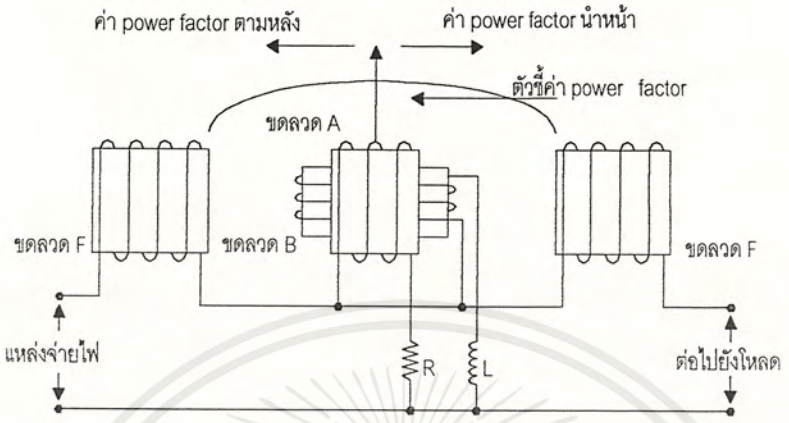
3. เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบอัลเตอร์เนทีฟ (Alternative power factor meter)

1.1 เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบไดนาโมมิเตอร์เฟสเดียว

เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยขดลวด F ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่และขดลวด A และ B ที่วางตั้งฉากกัน 90 องศาเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ แกนขดลวด A และ B จะถูกต่ออยู่กับเข็มชี้บอกค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ดังในรูปที่ 1.2 จำนวนรอบ ขนาดและวัสดุที่ใช้ทำขดลวด A และ B จะเหมือนกันหมด ขดลวด A และ B เราเรียกว่าขดลวดเคลื่อนที่ (moving coil) ในวงจรของเครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ชนิดนี้ ขดลวด A จะต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานสูงแล้วขนานกับโหลด (load) ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะวัดส่วนของขดลวด B จะอนุกรมกับค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ L แล้วขนานกับโหลดเหมือนกัน



รูปที่ 1.2 เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบไดนาโมมิเตอร์เฟสเดียว

ค่าความเหนี่ยวนำ L และค่าความต้านทาน R จะทำหน้าที่ปรับให้กระแสไหลในขดลวด A และ B เท่ากันที่ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่จะวัดสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนขดลวด F จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับกระแสที่ไหลไปยังโหลดที่จะวัด

หลักการทำงาน

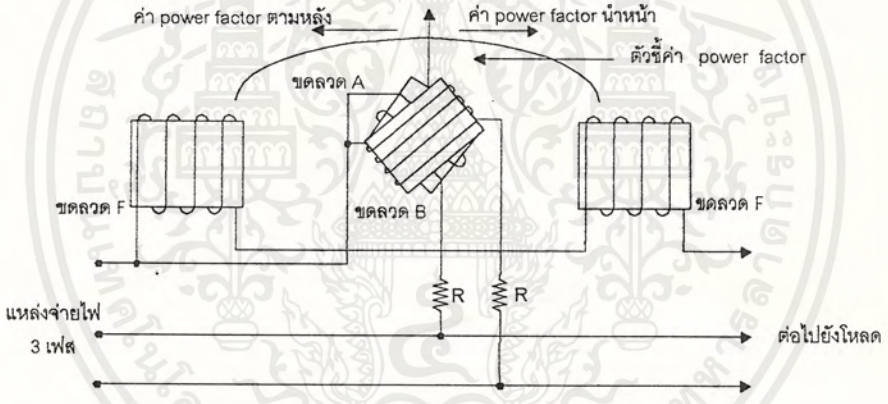
เมื่อกระแสและแรงดันของโหลดที่จะวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์มีเฟส (phase) ตรงกันกระแสในขดลวด A ก็จะมีเฟสตรงกับในขดลวด F และ F′ขณะที่กระแสในขดลวด B จะมีเฟสตรงแรงดัน 90°ซึ่งก็จะตามหลังกับกระแสในขดลวด F 90° ด้วยเช่นกัน แรงกิริยาในขดลวด A จะทำให้เข้มชี้อยู่ในภาวะสมดุล ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับขดลวด F ซึ่งขณะนั้นก็คือ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับ 1 นั้นเองถ้ากระแสในขดลวด B มีเฟสตรงกับกระแสในขดลวด F ขณะเดียวกัน กระแสในขดลวด A จะมีเฟสตรงกับกระแสในขดลวด F 90° ระบบขับเคลื่อนจะพลักดันให้ขดลวด B หมุนไปจนกระทั้งตั้งฉากกับแกนขดลวด F เป็นผลให้เข็มของมิเตอร์ (meter) เคลื่อนที่ชี้ไปยังตำแหน่งที่แสดงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็นศูนย์ นั้นคือค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็น 1 ขดลวด A จะตั้งฉากกับขดลวด F ถ้าเป็นศูนย์ ขดลวด B จะตั้งฉากกับขดลวด F แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์อยู่ระหว่าง 0-1 ระบบขับเคลื่อนภายในมิเตอร์จะทำให้เข็มชี้อยู่ที่กึ่งกลาง ตัวชี้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะเคลื่อนที่ทำมุม 90°- θ กับแกนของขดลวด F โดย θ คือค่าเฟสของวงจรที่ทำการวัดเสมอ

1.2 เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบไดนาโมมิเตอร์สำหรับโหลด 3 เฟสสมดุล

มิเตอร์แบบนี้ใช้วัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบไฟฟ้า 3 เฟส มีโครงสร้างดังรูปที่ 1.3 ขดลวดเคลื่อนที่ A และ B จะวางทำมุมกัน 120° และต่อคร่อมสายไฟฟ้าที่มีเฟสต่างกันของวงจรจ่ายแรงดัน ส่วนขดลวดไม่เคลื่อนที่ (ขดลวด F) จะต่ออนุกรมเข้ากับสายร่วมเพื่อตรวจจับกระแสไฟฟ้าในสาย ถ้าหากค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง ในสายแรงดันแต่ละเส้นจะมีแรงดันต่างเฟสกัน 120° ก็จะทำให้เข็มชองมิเตอร์ชี้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางตั้งฉากกับขดลวดเคลื่อนที่ทั้งสอง



รูปที่ 1.3 เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบไดนาโมมิเตอร์สำหรับโหลด 3 เฟสสมดุล

1.3 เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบอัลเตอร์เนทีฟ

เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบนี้มีโครงสร้างภายในเป็นมิเตอร์แบบแกนเหล็กเคลื่อนที่ กล่าวคือเป็นมิเตอร์ที่ใช้แผ่นเหล็กอ่อน (เหล็กที่ใช้ทำเป็นแม่เหล็กชั้วคราว) ยึดติดกับเข็มเป็นส่วนที่สำหรับขดลวดนั้นจะอยู่กับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในมิเตอร์จะประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด วางทำมุมกัน 120° เพลาของเข็มจะยึดติดกับแผ่นเหล็กอ่อนมีมุมเอียงชิ้นละ120° 2 ชิ้น สำหรับขดลวด 3 ชุดนี้จะต่อกับแรงดันทั้ง 3 เฟส เพื่อทำให้เกิดทอร์ค (Torque) บนแกนเพลาของเข็มชี้ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องมีสปริงที่ควบคุมตำแหน่งเข็ม เข็มของมันสามารถจะกวาดรอบหน้าปัดได้ 360° ส่วนใหญ่ เครื่องวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์ชนิดนี้จะใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟสเท่านั้น

ข้อเสียของเครื่องวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์ชนิดนี้ก็คือ ความเที่ยงตรงจะน้อยกว่า 2 แบบแรกที่กล่าวมา แต่ข้อดีก็คือมีความทนทานมากกว่า

เครื่องวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่กล่าวมานี้ เป็นตัวอย่างของเครื่องวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์อย่างง่ายๆ ในปัจจุบันมีการพัฒนาเป็นระบบดิจิตอลที่สามารถแสดงผลเป็นตัวเลขทำให้มีความแม่นยำเที่ยงตรงมากขึ้น

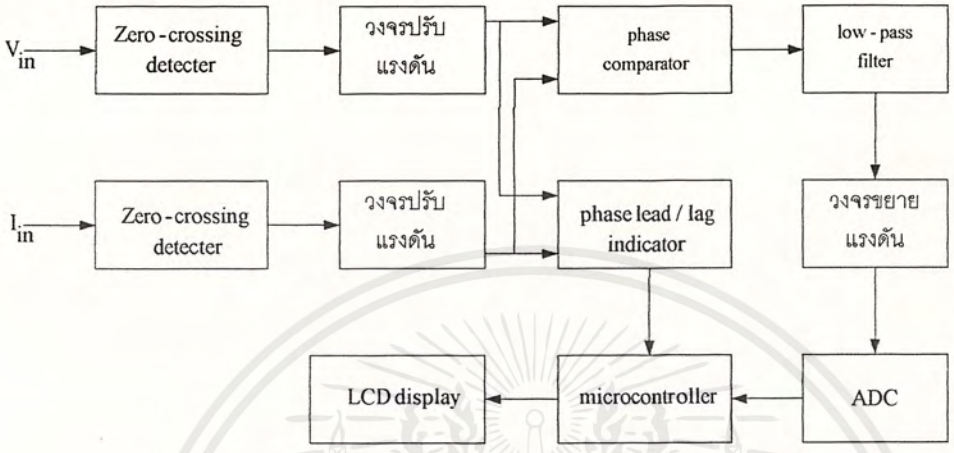
1.4 เครื่องวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบดิจิตอล

ตามปกติเครื่องวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) จะมีความไวขึ้นอยู่กับไฟและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป เครื่องวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่เป็นดิจิตอลจะต้องการวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นเชิงซ้อน แต่เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในที่นี้จะเป็นแบบง่ายๆและไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ วงจรประกอบไปด้วยอุปกรณ์เพียงเล็กน้อย เช่น Op-amp และ Gate ต่างๆค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ได้จะเป็นค่าไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ในช่วง 0-3 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

หลักการทำงาน



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

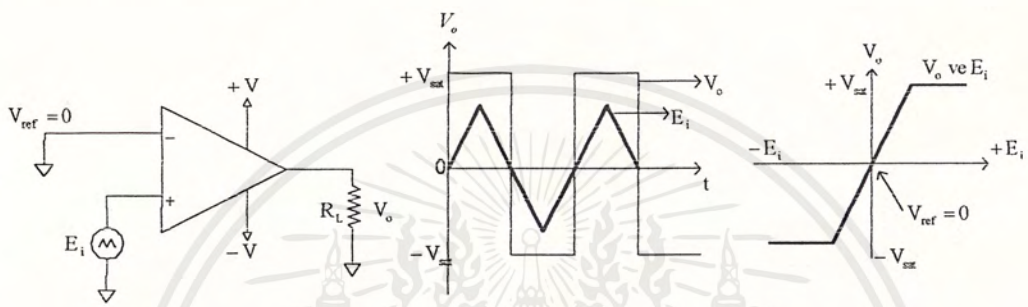
เมื่อป้อนสัญญาณ Vin และ Iin เข้างจร Zero-Crossing Detecter โดยวงจร Zero จะทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณรูป sin ที่เป็นสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล และจะส่งผ่านไปวงจรปรับแรงดันโดยวงจรปรับแรงดันนี้ จะปรับระดับของแรงดันให้ได้ตามที่เราต้องการ (การทดทองเราใช้ 5 โวลต์) เมื่อได้ระดับแรงดันที่ต้องการแล้วก็จะส่งสัญญาณที่ได้ไปยังส่วนของวงจร Phase lead/lag indicator และวงจร phase comparator ซึ่ง Block ทั้ง 2 นี้เป็นBlock ที่แสดงส่วนของการเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้รับเข้ามาสำหรับวงจร Phase lead/lag indicator จะใช้ Flip flop เป็นตัวเปรียบเทียบว่าสัญญาณที่ได้รับเข้ามานั้น สัญญาณใดนำหน้าหรือล้าหลังส่วนของวงจร Phase comparator จะใช้ X-NOR เป็นตัวเปรียบเทียบทำให้ได้ค่าความต่าง เฟสออกมาว่ามีค่าเท่าได เมื่อเรารู้ค่าความต่างเฟสแล้วก็จะส่งสัญญาณที่เปรียบเทียบได้ เข้าวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-pass fitter) เพื่อทำการกรองความถี่ให้มีค่าคัตออฟใกล้ๆ 0 มากที่สุดเพื่อที่จะให้สัญญาณมีความเรียบมากที่สุด เมื่อได้สัญญาณที่มีความถี่คัตออฟใกล้ 0 มากที่สุดแล้วก็จะส่งสัญญาณที่ได้ผ่านเข้าไปยังวงจรขยายแรงดัน เพื่อที่จะขยายให้อยู่ในช่วง 0-4.096 V. จากนั้นนำค่าแรงดันที่ได้ส่งเข้าวงจร ADC เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล 10 Bit จากนั้นสัญญาณที่ได้ก็จะถูกส่งไปยังส่วนของ Microcontroller เพื่อทำการประมวลผลและแสดงผลออกมาทางจอ LCD display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1วงจรซีโรครอสซิงดีเทกเตอร์

2.1.1 Noninverting Zero-crossing Detector

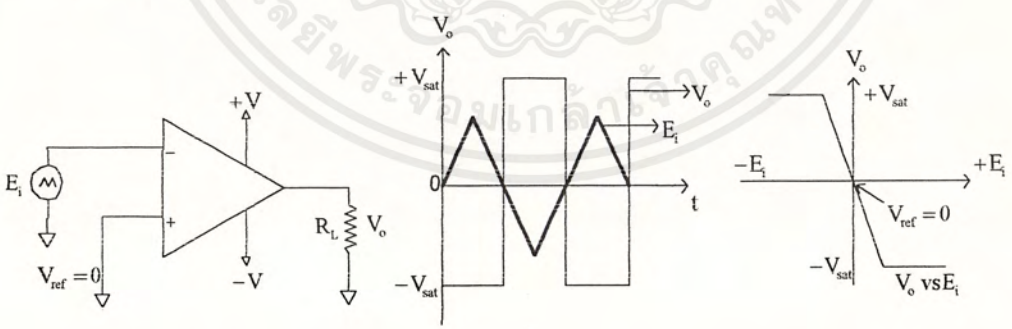
จากรูปที่ 2.3 Op-amp เป็นตัวคอมพาราเตอร์ (comparator) โดยที่ขาบวกของออปแอมป์ต่อกับค่าแรงดันไฟฟ้า E_i และต่อกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (reference voltage) $V_{ref} = 0$ เมื่อ E_i มีค่ามากกว่า V_{ref} ทำให้ $V_0 = +V_{sat}$ เพราะว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาบวกมีค่าเป็นบวกมากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาลบดังนั้น V_0 จงมีค่าเป็นบวก



รูปที่ 2.2 noninverting zero-crossing detector เมื่อ E_i มากกว่า V_{ref} . $V_0 = +V_{sat}$

2.1.2 Inverting zero-crossing Detector

ขาลบของออปแอมป์ในรูปที่ 2.4 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ E_i และมีแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงเป็นศูนย์ ($V_{ref} = 0$) เป็นวงจร Inverting zero-crossing Detector เมื่อ E_i มีค่ามากกว่า V_{ref} จะได้ $V_0 = -V_{sat}$



รูปที่ 2.3 inverting zero-crossing detector เมื่อ E_i มากกว่า V_{ref} . $V_0 = -V_{sat}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

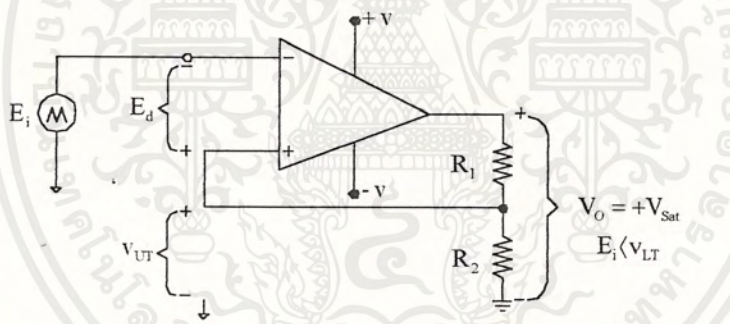
2.1.3 Zero -Crossing Detector with HysteresisUpper-Threshold Voltage

ในรูปที่ 2.4 (a) แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุท V_0 จะคร่อมระหว่าง R_1 และ R_2 ส่วนหนึ่งของ V_o จะถูกป้อนกลับเข้าที่ขาบวกของออปแอมป์ เมื่อ $V_o = +V_{sat}$ แรงดันไฟฟ้าที่ถูกป้อนกลับจะเรียกว่า upper-threshold voltage V_{UT}. V_{UT} สามารถแสดงโดยใช้ voltage devider ดังนี้

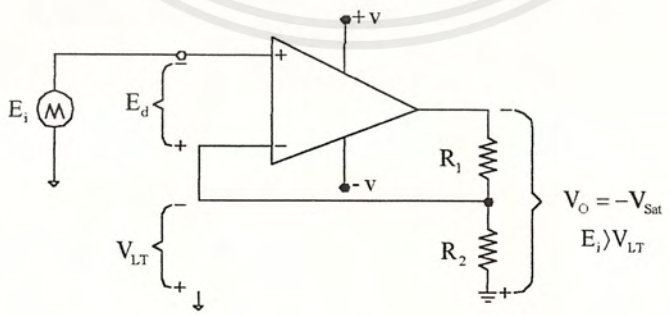
$$V_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\left(+V_{sat}\right) \quad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อ E_i มีค่าน้อยกว่า V_{UT} ซึ่งก็คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาบวกจะมีค่ามากกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาลบ จะได้ $V_o = +V_{sat}$

ถ้าค่า E_i มีค่าเป็นบวกมากกว่า V_{UT} เพียงเล็กน้อย ค่า E_d จะกลับขั้ว และค่า E_d เริ่มลดลงในขณะนี้ค่าบางส่วนของ V_o ที่ถูกป้อนกลับไปทางขาบวกจะมีค่าน้อยลง และ E_d มีค่ามากขึ้น V_o จะลดลงอย่างรวดเร็วและจะมีค่าเป็น $-V_{sat}$ วงจรจะคงที่ที่สภาวะดังในรูปที่ 2.4 (b)



(a) Upper - threshold voltage. V_{UT}



(b) Lower - threshold voltage. V_{LT}

รูปที่ 2.4 วงจรแสดงถึงค่า V_{UT}. V_{LT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

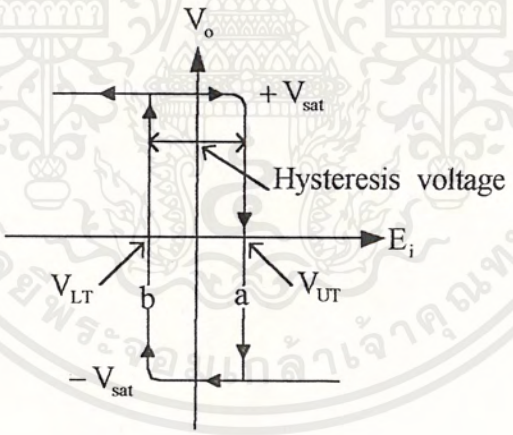
Lowper-Threshold Voltage

เมื่อ V_o มีค่าเป็น $-V_{sat}$ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนกลับไปที่ขาบวกของออปแอมป์เรียกว่า Lowper-Threshold Voltage V_{LT}. V_{LT} คิดได้จากสมการที่ 2.2

$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\left(-V_{sat}\right) \quad \text{.....(2.2)}$$

ค่าของ V_{LT} จะเป็นลบเมื่อเทียบกับกราวด์ (ground) V_o จะมีค่าเท่ากับ $-V_{sat}$ ในขณะที่ E_i มีค่าเป็นบวกมากกว่า V_{LT} V_o จะเปลี่ยนกลับไปเป็น $+V_{sat}$ เมื่อ E_i มีค่าเป็นลบมากกว่าหรือมีค่าต่ำกว่า V_{LT}

คำนิยามของฮิสทีรีซิส (Hysteresis) วิธีมาตราฐานในการแสดงผลของการทำงานของตัวพาราเตอร์บนกราฟเพียงกราฟเดียวแทนการใช้กราฟ 2 กราฟเหมือนในรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 โดยการพรอท (plot) ค่า E_i บนแกนนอน และค่า V_0 บนแกนตั้ง เราก็จะได้ output-input voltage characteristic ดังรูปที่ 2.5



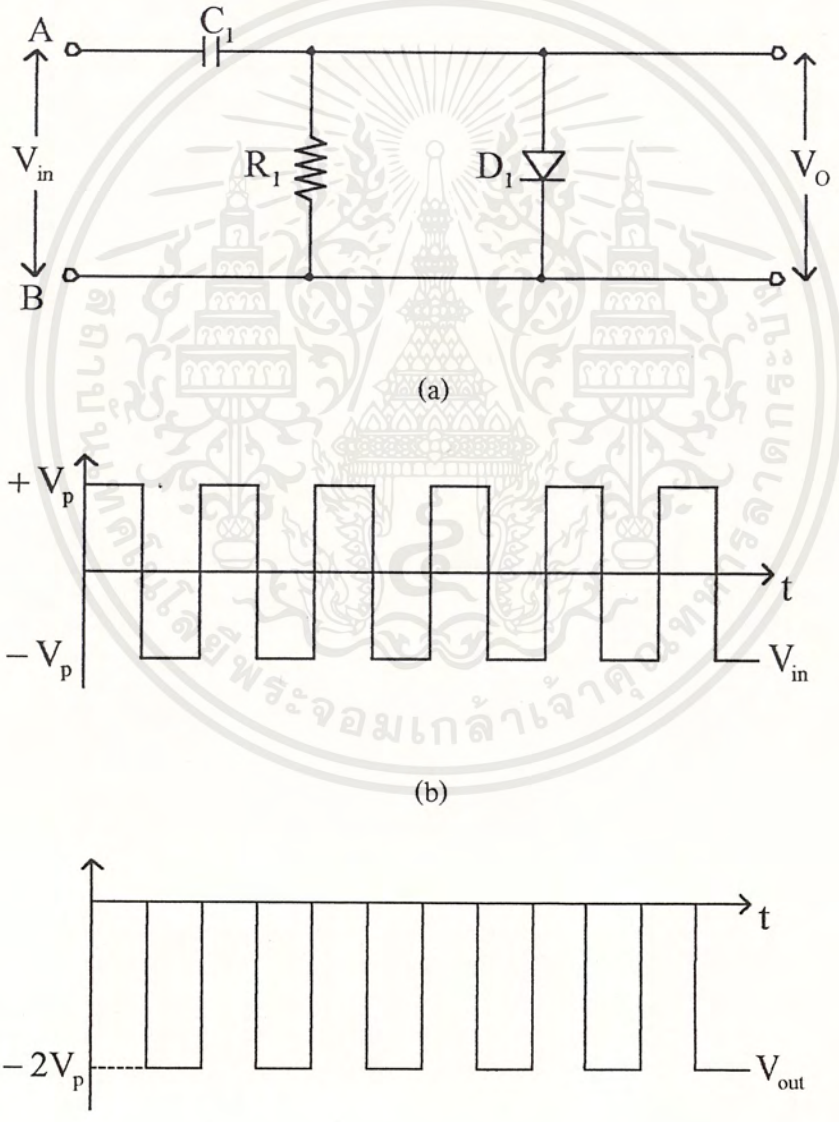
รูปที่ 2.5 กราฟของ V_0 กับ E_i แสดงถึงค่าของแรงดันไฟฟ้าฮิสทีรีซิสในวงจรคอมพาราเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า E_i มีค่าน้อยกว่า V_{LT} (lower threshold voltage) จะได้ $V_0 = +V_{sat}$ และเส้นตรง a แสดงถึงค่า V_0 เปลี่ยนแปลงจาก $+V_{sat}$ ไปสู่ $-V_{sat}$ ในขณะที่ E_i มีค่ามากกว่า V_{UT} (upper threshold voltage) เส้นตรง b แสดงถึง V_0 เปลี่ยนแปลงจาก $-V_{sat}$ ไปสู่ $+V_{sat}$ เมื่อ E_i มีค่าน้อยกว่า V_{LT} ค่าความแตกต่างศักดาระหว่าง V_{UT} กับ V_{LT} จะเรียกว่าแรงดันไฟฟ้าฮิสทีรีซิส V_H

ถ้ากำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าฮิสทีรีซิสมากกว่า ค่าpeak-to-peak noise voltage ก็จะไม่เกิดค่าความผิดพลาดของเอาต์พุทครอสซิง (output crossing) ดังนั้นค่า V_H จึงบอกเราได้ว่าวงจรจะสามารถทนค่า peak-to-peak noise voltage ได้เท่าไร

2.2 วงจรปรับระดับสัญญาณแบบไดโอด (Diode)



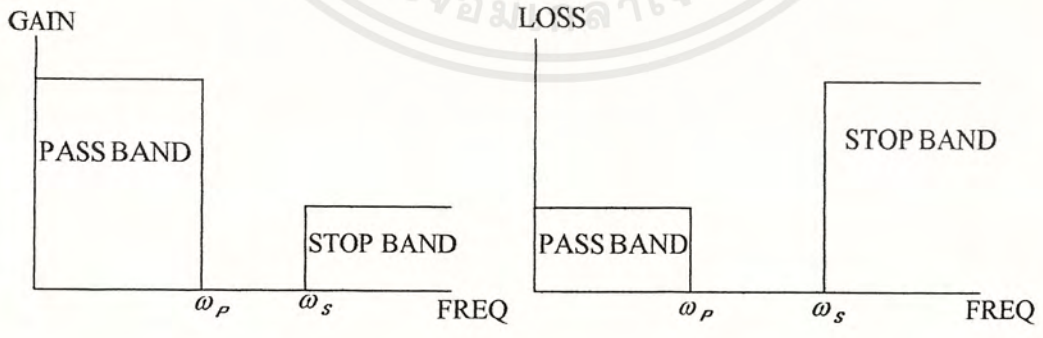
รูปที่ 2.6 วงจรปรับระดับสัญญาณและกราฟสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรปรับระดับสัญญาณนั้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.6 วงจรนี้เป็นวงจรลดระดับสัญญาณให้ต่ำลง พิจารณาเมื่อสัญญาณเข้า (V_{in}) ผ่านเข้ามาในวงจรนี้ ในช่วงของสัญญาณเข้า ตัวเก็บประจุจะเริ่มอัดประจุจนกระทั้งมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของสัญญาณภายในช่วงเวลานี้ แรงดันไฟฟ้าที่จุด A จะมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่จุด B นั้นทำให้ไดโอด D_1 ได้รับไบอัสตรง (forward bias) ดังนั้นสัญญาณออกในช่วงนี้จึงมีค่าเป็น 0 โวลต์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณเข้าเปลี่ยนเป็นช่วงลบ คือแรงดันไฟฟ้าที่จุด B มีค่ามากกว่าที่จุด A คราวนี้ไดโอด D_1 ก็จะได้ไบอัสย้อนกลับ(reverse bias) จึงทำให้ไดโอด D_1 มีค่าความต้านทานสูงมากเป็นอนันต์ เมื่อเป็นดังนั้นตัวเก็บประจุเป็นตัวคายประจุจึงคายประจุผ่านตัวต้านทาน R การคายประจุของตัวเก็บประจุนั้น แรงดันไฟฟ้าของมันจะรวมกับศักดาช่วงลบของสัญญาณเข้าเพราะในช่วงนี้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีทิศทางเสริมกับสัญญาณเข้าทำให้เราได้รับสัญญาณออกที่มีขนาดเท่ากับสัญญาณเข้า แต่มีระดับเฉลี่ยต่ำกว่าดังรูป

2.3 วงจรผ่านความถี่ต่ำ

คุณสมบัติพื้นฐานของวงจรผ่านความถี่ต่ำ คือ ผ่านความถี่ต่ำและบั่นทอนความถี่สูงดังรูปที่2.7 วงจรผ่านความถี่ต่ำจะต้องผ่านสัญญาณจาก DC จนถึงความถี่คัทออฟ(cut-off frequency) ω_p ซึ่งในช่วงของพาสแบนด์ (pass band) จะต้องสูญเสีย (loss) ไม่เกิน A_{max} dB ความถี่ที่สูงกว่า ω_s จนถึงอนันต์ (infinity) จะต้องสูญเสียอย่างต่ำ A_{min} dB ความถี่จาก $\omega_s - \infty$ เรียกว่าสตอปแบนด์ (stop band)



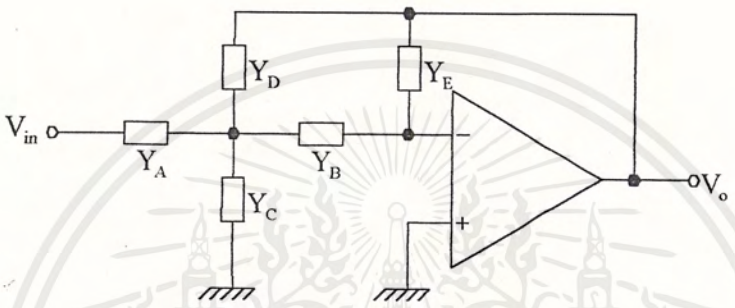
รูปที่ 2.7 คุณสมบัติของ LPF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Second order LPF จะมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\text{LPF}(\text{GAIN}) = \frac{K\omega_P^2}{S^2 + \frac{\omega_P}{Q_P}S +} \cdot \omega_P^2 \; ; \text{GAIN} = K \quad \text{.....(2.3)}$$

Negative feedback topology



รูปที่ 2.8 วงจร generalized NFB filter

จากวงจร generalized NFB ในรูปที่ 2.8 โดยการใช้ node analysis ได้

$$T_V = \frac{V_O}{V_{LN}} = \frac{-Y_A Y_C}{Y_E(Y_A + Y_B + Y_C + Y_D) + Y_C Y_D} \quad \text{.....(2.4)}$$

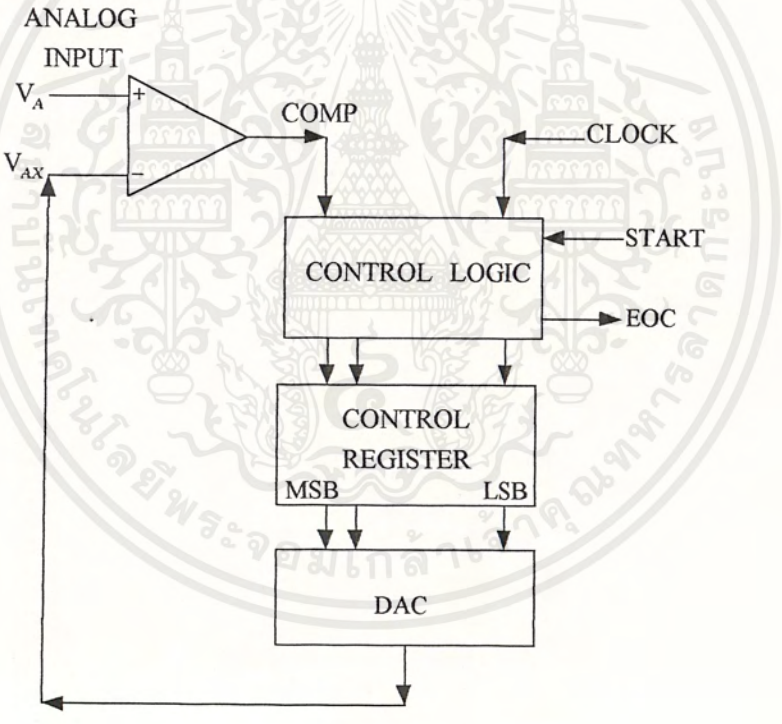
2.4 SUCESSIVE APPROXIMATION ADC

Successive approximation ADC เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งเป็นวงจรที่มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีดิจิตอลแรมป์(Digital ramp) ADC แต่เวลาในการแปลง (conversion) สั้นกว่า ในที่นี้ SAC แสดงใน 2.9(a) เป็นวิธีการซึ่งจะคล้ายๆกับการแปลงดิจิตอลแรมป์ ADC อย่างไรก็ตาม SAC ไม่จำเป็นต้องมีตัวนับที่ต้องใส่ให้ตรงส่วนของ ADC แต่ใช้รีจิสเตอร์ (register) แทนสัญญาณควบคุมจะถูกตั้งไว้ควบคุมบิตรีจิสเตอร์ (register bit) ต่อบิต (bit) ตั้งแต่รีจิสเตอร์ข้อมูลเป็นดิจิตอลที่เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

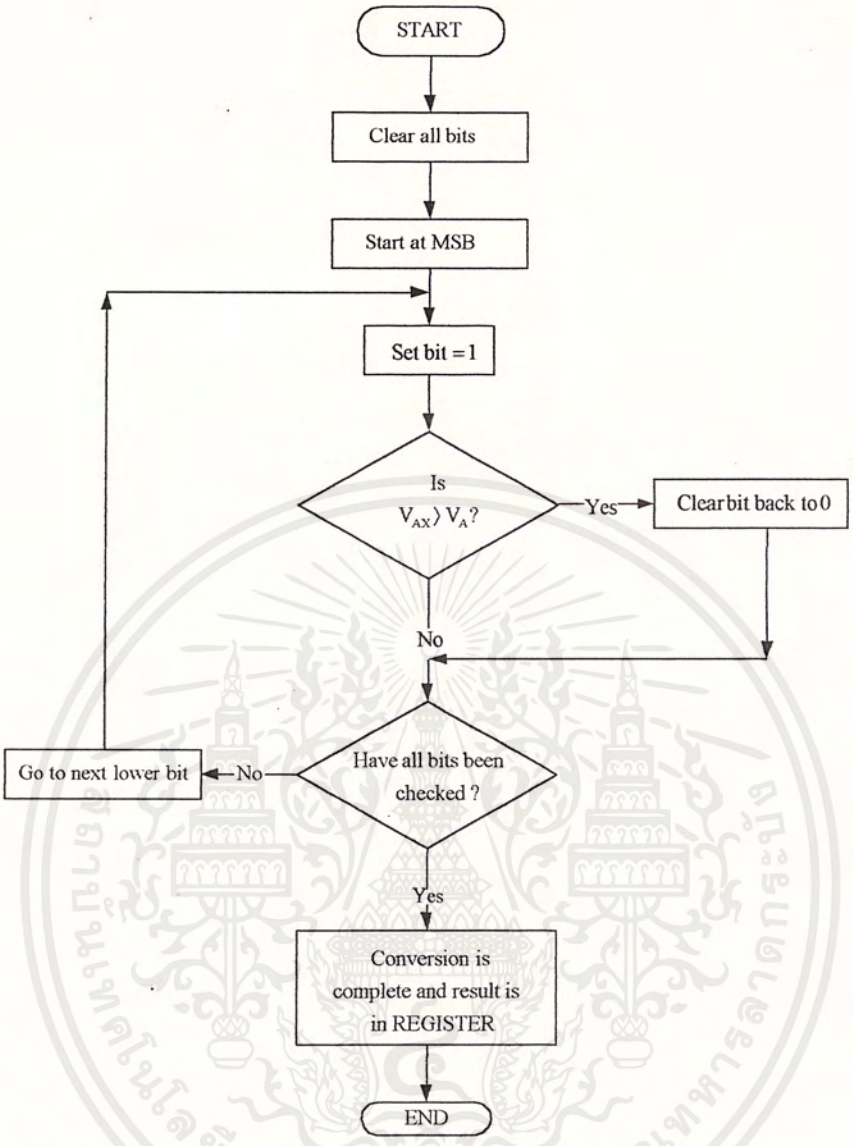
สัญญาณอนาลอก V_A ซึ่งจะเป็นคำตอบของการแปลงการทำงานขั้นพื้นฐานจะแสดงโดยโฟลชาร์ต (flowchart)ในรูปที่ 2.9 (b) ตามโฟตชาร์ตนี้จะเห็นได้ตามตัวอย่างในรูปที่ 2.10

ตามตัวอย่างเราจะเลือกตัวอย่างๆ เพียงการแปลงแบบ 4 บิต แต่ละขั้นจะห่างกัน 1 โวลต์ถึงแม้ว่าในความเป็นจริง SACs จะมีมีบิตมากกว่านี้และการแก้ปัญหาจะเล็กกว่านี้ดังตัวอย่าง แต่การทำงานจะเหมือนกันทุกประการ ในจุดที่ควรจะอธิบายว่า 4 บิต ที่แปลงเป็น ADC นั้นมีค่าเป็น 8,4,2 และ 1 โวลต์ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 (a) Successive approxmation

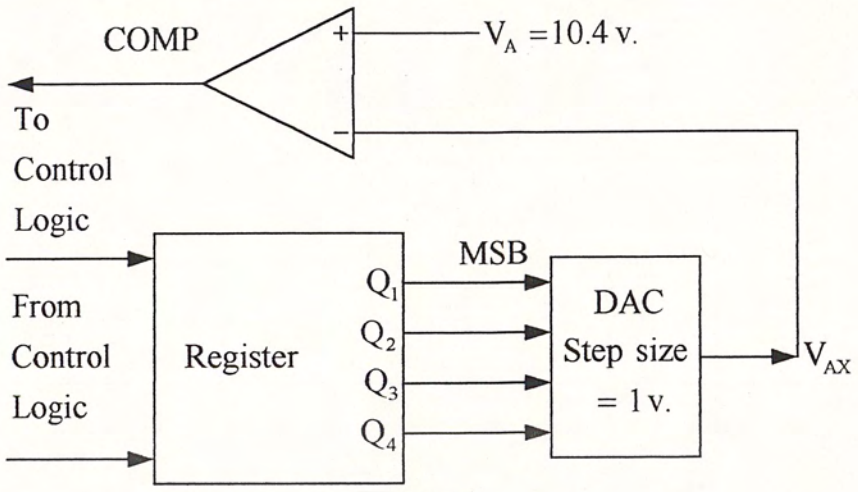
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



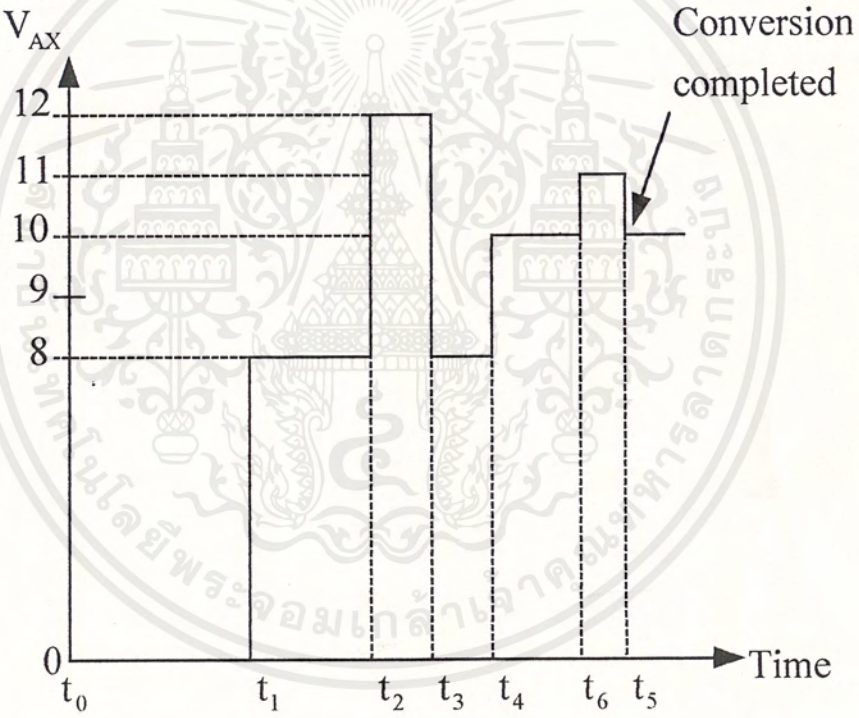
รูปที่ 2.9 (b) แผนภาพแสดงการทำงาน

ในที่นี้ให้สัญญาณอินพุตเป็น $V_A = 10.4$ โวลต์ การทำงานจะเริ่มตั้งแต่เคลียร์คอนโทรลลอจิก (control logic) ทุกบิตให้เป็นศูนย์ดังนั้น $Q_3 = Q_2 = Q_1 = 0$ หรือ [Q]=0000 ซึ่งค่านี้จะทำให้ DAC เอาต์พุท $V_{AX} = 0$ โวลต์ ที่เวลา t_0 ดังรูปที่ 2.10(b) ซึ่ง $V_{AX} \langle V_A$ และเอาต์พุตของคอมพาราเตอร์ (comparator) จะแสดงสถานะสูง (high)ในขั้นตอนต่อมา (t_1) คอนโทรลลอจิกจะทำการเซต (set) ค่าบิตนัยสำคัญสูงสุด (mostsignificant bit:MSB) .ให้เป็น 1 ดังนั้น [Q] =1000 จะทำให้ $V_{AX} \langle V_A$ เอาต์พุตที่คอมพาราเตอร์ จะยังคงสูงสถานะ สถานะสูงนี้จะบอกคอนโทรลลอจิกว่าค่าที่ตั้งยังน้อยกว่า ดังนั้น ค่าบิตนัยสำคัญสูงสุด ต้องมีค่าเป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 2.10 แผนภาพแสดงการทำงานของ SAC 4 บิต โดยการใช้ DAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS-51

ตระกูล MCS-51 ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมมาตราฐานขนาน 8 บิตไมโครคอนโทรลเลอร์ และให้มีความสามารถในการงานควบคุมประยุกต์ใช้งานในเรื่อง sequential real time control, close loop control และ data control และมีส่วนคล้ายกับ MCS-48 แต่จะทำงานได้เร็วกว่าเป็น 2 ถึง 5 เท่า รวมทั้งอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นตามลักษณะหลักทั่วๆไปดังต่อไปนี้

1. ใช้ HMOS และ CHMOS เทคโนโลยีในการสร้างและทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 V. เพียงแหล่งเดียว
2. ซีพียูมีขนาด 8 บิต
3. มีวงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจรนาฬิกาบนชิป
4. ชุดแบงค์ (BANK) เรจิสเตอร์มี 4 ชุด แต่ละชุดมีเรจิสเตอร์ 8 ตัว ทำงานเช่นเดียวกับ MCS-48
5. มีตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต 2 ชุด และสำหรับเบอร์ 8032/8052 มี 3 ชุด
6. มีพอร์ตไอโอแบบขนานสองทิศทางจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต รวมทั้งหมดเป็น 32เส้น แต่เหลือเพียง 16 เส้น สำหรับเบอร์ 8031 อีก 16 เส้น จะใช้ในการเข้าถึงแอดเดรสและข้อมูล
7. พอร์ตแบบอนุกรมสามารถที่จะโปรแกรมการรับส่งแบบ Full Duplex ที่ความเร็วสูง
8. หนึ่งวัฏจักรคำสั่งจะกินเวลา 1 ไมโครวินาที ด้วยการใช้คริสทัล 12 เม็กกะเฮิรตซ์
9. แอดเดรสข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
10. แอดเดรสโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
11. สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนานไบต์หรือบิตได้โดยตรง
12. มีซอฟต์แวร์บิตแฟลกสำหรับผู้ใช้ที่จะกำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิต
13. โครงสร้างอินเตอร์รัพต์จะติดตั้งได้ถึง 5 แหล่ง และ 6 แหล่ง สำหรับ 8032/8052 พร้อมด้วยการจัดไพรโอริตี้ (Priority) ได้ 2 ระดับ
14. ตัวโพรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบบูลีน (Boolcan) ได้ สำหรับการใช้กับกระบวนการงานควบคุม
15. มีคำสั่งคูณ และหารทางฮาร์ดแวร์ที่ทำได้ภายใน 4 ไมโครวินาที
16. ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ใช้ได้ทั้งระบบไบนารีและเดซิมัล
17. การใช้พื้นที่สแตกสำหรับโปรแกรมย่อยต่างๆ ทำได้กว้างกว่า MCS-48
18. ชุดคำสั่งของ MCS-51มีความสามารถสูงกว่าคำสั่งของ MCS-48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

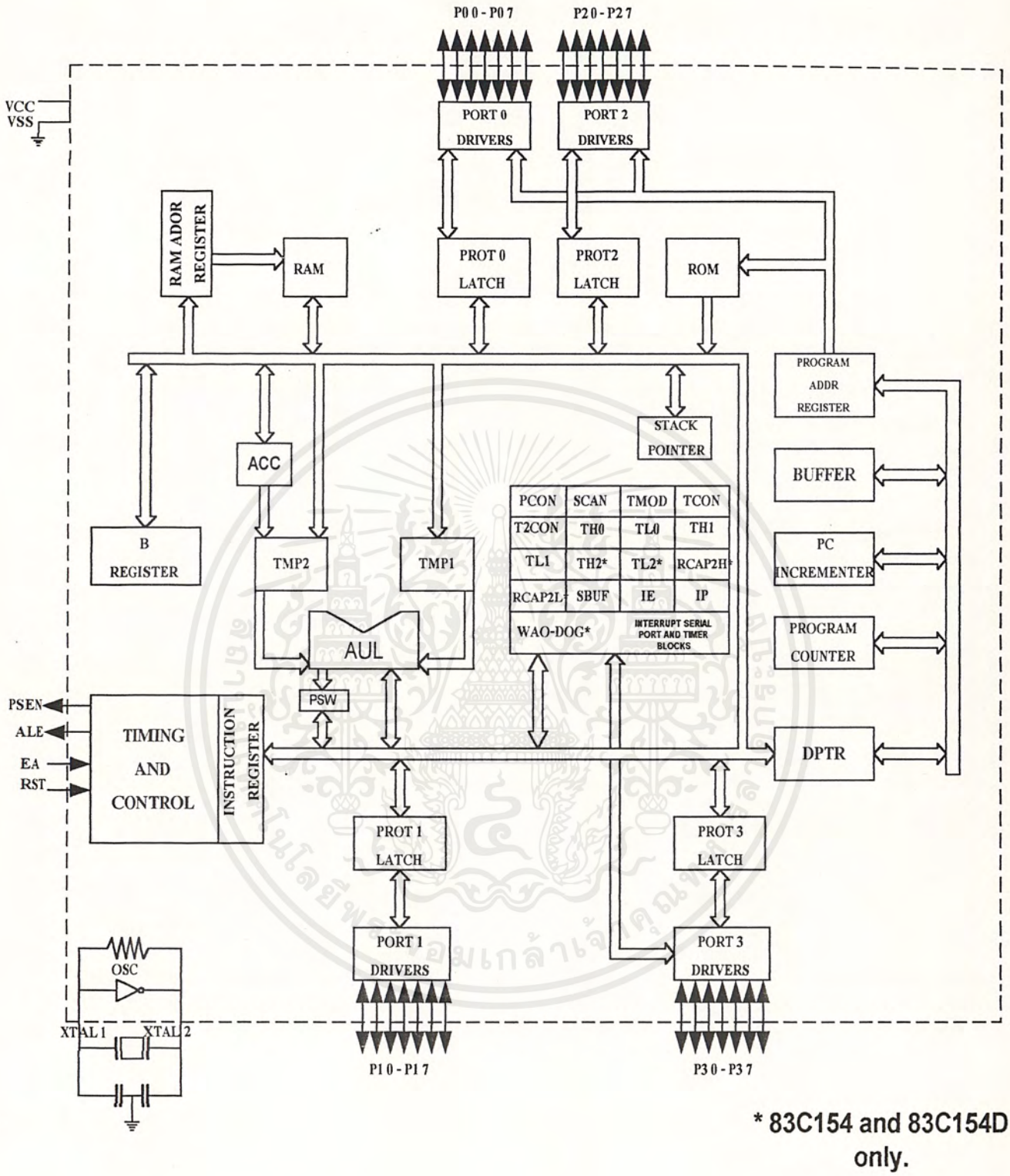
ตระกูล MCS-51จะมีทั้งแบบ ROM ในตัว หรือไม่มี ROM หรือมี EPROM บนชิปเดียวกันและจะมีตำแหน่งขาที่เหมือนกัน ตารางที่ 3.1 แสดงถึงตารางรายละเอียดของเบอร์ต่างๆ ในตระกูล MCS-51 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ตารางที่ 3.1 ตารางรายละเอียดของตระกูล MCS-51

เบอร์	หน่วยความจำภายใน		ตัวจับเวลา/ ตัวนับจำนวน	อินเตอร์รัพต์
	โปรแกรม	ข้อมูล		
8052 AH	8K × 8 ROM	256 × 8 RAM	3 × 16 BIT	6
8051 AH	4K × 8 ROM	128 × 8 RAM	2 × 16 BIT	5
8051	4K × 8 ROM	128 × 8 RAM	2 × 16 BIT	5
8032 AH	NO ROM	256 × 8 RAM	3 × 16 BIT	6
8031 AH	NO ROM	128 × 8 RAM	2 × 16 BIT	5
8031	NO ROM	128 × 8 RAM	2 × 16 BIT	5
8751 H	4K × 8 EPROM	128 × 8 RAM	2 × 16 BIT	5
8752 H	8K × 8 EPROM	256 × 8 RAM	3 × 16 BIT	6

8751 H อยู่ในกลุ่มรุนเดียวกับ 8051 AH ที่เราสามารถโปรแกรมได้ด้วยระบบไฟสามารถลบโปรแกรมออกได้ด้วยแสงอุลตร้าไวโอเลต นอกเหนือจากไอซีที่แสดงในตารางข้างบนที่ใช้เทคโนโลยี HMOS แล้วยังมีตระกูลอื่นที่ใช้เทคโนโลยี CHMOS ที่ประหยัดพลังงานได้มากกว่า 4 เท่าของ HMOS ที่มีจำหน่ายขณะนี้คือ เบอร์ 80C51,80C31 และ 87C51การจัดขาลักษณะภายนอกของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างภายในของ MCS-51 จะเป็นดังรูป 3.1 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนสำคัญหลักๆดังนี้

- ซีพียู ขนาด 8 บิต ประกอบด้วยรีจีสเตอร์ A acumulator และรีจีสเตอร์ B
- โปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) และดาต้าพอยน์เตอร์ (data pointer ; DPTR) ขนาด 16 บิต
- โปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (program status word ; PSW) ขนาด 8 บิต
- สแต็กพอยน์เตอร์ (stack pointer ; SP) ขนาด 8 บิต
- หน่วยความจำรอม (ROM) หรือ อีพรอม (EPROM เฉพาะ 8751) ขนาด 0 กิโลไบต์ (8031) ถึง 4 กิโลไบต์ (8051)
- หน่วยความจำแรมภายในขนาด 128 ไบต์ ประกอบด้วย

1. รีจีสเตอร์แบงก์ 4 แบงก์ แต่ละแบงก์ประกอบด้วยรีจีสเตอร์ขนาด 8 บิต จำนวน 8 รีจีสเตอร์(R0-R7)
2. หน่วยความจำ จำนวน 16 ไบต์ ที่สามารถอ้างแอดแดรสเพื่อควบคุมการทำงานในระดับบิตได้
3. มีหน่วยความจำสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

- ขารับสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต 32 ขา แบ่งออกเป็นกลุ่มๆ ละ 8 บิต ได้สี่กลุ่มคือ P0,P1,P2,P3
- ไทม์เมอร์/เคาท์เตอร์ขนาด 16 บิต สองชุดคือ T0 และ T1
- พอร์ตอนุกรมที่ใช้รับส่งสัญญาณแบบฟูลดูเพลกซ์ (full duplex) เรียกว่า SBUF
- รีจีสเตอร์ควบคุมได้แก่ TCON, TMOD, SCON, PCON, IP และ IE
- สามารถทำการอินเตอร์รัปต์ได้ทั้งภายในและภายนอก การอินเตอร์รัปต์ภายในได้มาจากแหล่ง กำเนิดการอินเตอร์รัปต์สามแหล่ง การอินเตอร์รัปต์ภายนอกได้มาจากแหล่งกำเนิดการอินเตอร์รัปต์จากภายนอกสองแหล่ง
- ส่วนของออสซิลเลเตอร์ และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายใน

การใช้งานของขาต่างๆ พอกล่าวคร่าวๆในขั้นต้นได้ดังนี้

พอร์ต 0 (ขา 32~39) เป็นพอร์ตที่ใช้งานสองหน้าที่ด้วยกัน หน้าที่แรกใช้เป็นอินพุต/เอาต์พุต พอร์ต ส่วนอีกหน้าที่หนึ่งนั้นใช้ควบคุมหน่วยความจำภายนอก เมื่อต้องการขยายระบบให้ใหญ่ขึ้นโดยจะให้สัญญาณที่มัลติเพลกซ์ระหว่างบัสแอดแดรสกับบัสข้อมูลออกมา (AD7~AD0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปพ
ค๒๖๑๔
๒๕๓๑
040593

พอร์ต 1 (ขา 1~8) ใช้เป็นอินพุต/เอาต์พุตอย่างเดียว ใช้สัญลักษณ์เรียงกันเป็น P1.0, P1.1 จนถึง P1.7 พอร์ตนี้ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหน้าที่เดียวเท่านั้น ยกเว้น 8032/8052 ที่ใช้ P1.0 และ P1.1 เป็นอินพุต/เอาต์พุต หรืออินพุตภายนอกของไทเมอร์ชุดที่สาม

พอร์ต 2 (ขา 21~28) เป็นพอร์ตที่ใช้งานสองหน้าที่ด้วยกันหน้าที่แรกเป็น อินพุต/เอาต์พุต หน้าที่ที่สองใช้ควบคุมหน่วยความจำภายนอก โดยให้สัญญาณแอดเดรสไบต์สูง (A15~A8) ออกมา

พอร์ต 3 (ขา 10~17) เป็นพอร์ตที่ใช้งานสองหน้าที่ด้วยกัน หน้าที่แรกเป็นอินพุต/เอาต์พุต หน้าที่ที่สองแยกออกได้หลายฟังชั่นก์ดังนี้

บิต	ชื่อ	ทำหน้าที่ย่อย
P3.0	RXD	รับข้อมูลสำหรับพอร์ตอนุกรมย่อย
P3.1	TXD	ส่งข้อมูลสำหรับพอร์ตอนุกรม
P3.2	INT0	อินเตอร์รัปต์ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	INT1	อินเตอร์รัปต์ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T0	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 (อินพุตจากภายนอก)
P3.5	T1	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (อินพุตจากภายนอก)
P3.6	WR	สัญญาณเขียนใช้ต่อกับหน่วยความจำภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณอ่านใช้ต่อกับหน่วยความจำภายนอก

PSEN (program store enable) (ขา 29) เป็นสัญญาณเอาต์พุตใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอีนาเบิล (enable) หน่วยความจำที่ใช้เก็บรหัสที่ต่ออยู่ภายนอก [external program (code) memory] โดยทั่วไปจะต่อกับขาเอาต์พุตอีนาเบิล (output enable ; OE) ของอีพรอมPSEN จะใช้พัลส์ต่ำในขณะที่อยู่ในขั้นตอนเฟตช์คำสั่งจากอีพรอม ข้อมูลจะถูกวางลงในบัสข้อมูลและถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์คำสั่งภายในตัว 8051 เพื่อรอรับการถอดรหัสต่อไป เมื่อทำการรันโปรแกรมจากรอมภายในตัว (8051/8052) PSEN จะมีระดับสัญญาณเป็น 1 ตลอด

ALE (address latch enable) (ขา 30) เป็นสัญญาณเอาต์พุตใช้เป็นสัญญาณควบคุมการแลตช์ (latch) สัญญาณแอดเดรสที่ออกมาจากพอร์ต 0 เมื่อพอร์ต 0 ถูกใช้งานในหน้าที่ที่สอง (เป็นสัญญาณแอดแดรสและข้อมูลมัลติเพลกซ์ออกมา) ความถี่ของ ALE จะมีค่าเป็น 1/6 เท่าของความถี่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นภายในชิป เช่น ถ้าใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกกะเฮิรตซ์ ALE จะมีความถี่เป็น 2 เมกกะเฮิรตซ์ ยกเว้นการทำคำสั่ง MOV X

EA (external access) (ขา 31) ขา EA เป็นขาอินพุตเพื่อใช้ต่อกับ VCC หรือกราวด์ ถ้าต่อกับ VCC 8051/8052 จะรันโปรแกรมจากรอมภายในก่อนในช่วงหน่วยความจำ 4K/8K แรก จากนั้นจึงออกมารันที่หน่วยความจำภายนอก ถ้าต่อกับกราวด์ 8051/8052 จะรับโปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกทั้งหมด ถ้าใช้ 8031/8032 ขา EA จะต้องต่อลงกราวด์ เนื่องจากตัวมันไม่มีหน่วยความจำรอมภายใน

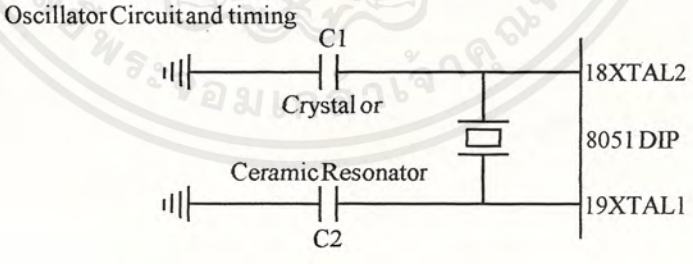
RST (reset) (ขา9) เป็นขาอินพุตที่ใช้รีเซ็ต 8051 เมื่สัญญาณที่ขา RST เป็นลอจิก 1 (อย่างน้อย 2 วงรอบแมชีน) ทำให้ 8051 ทำการรีเซ็ตระบบภายในของมันทั้งหมด

ออสซิลเลเตอร์อินพุต (oscillator input) (ขา18~19) เนื่องจาก 8051 มีวงจรออสซิลเลเตอร์อยู่ภายในโดยเชื่อมต่อกับขาคริสตอลผ่านทางขา 18 และ 19 ในตระกูล MCS-51 สามารถใช้คริสตอลที่มีความถี่สูงถึง 12 เมกกะเฮิรตซ์ บางเบอร์เช่น 80C31 BH-1 สามารถใช้คริสตอลที่มีความถี่สูงถึง 16 เมกกะเฮิรตซ์

แหล่งจ่ายไฟ (ขา 40 และ 20) 8051 ใช้แหล่งจ่ายไฟแหล่งเดียวขนาด +5 โวลต์ โดย VCC ต่อกับขา 40 และกราวด์ต่อกับขา 20 จากนี้จะแยกกล่าวออกเป็นส่วนๆดังนี้

สัญญาณนาฬิกาของ MCS-51

เนื่องจาก MCS-51 มีวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายใน เพื่อทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับระบบ ทำให้ระบบทำงานสอดคล้องกันทั้งหมด ผู้ใช้เพียงแต่ต่อคริสตอลและตัวเก็บประจุเข้าไปดังรูป



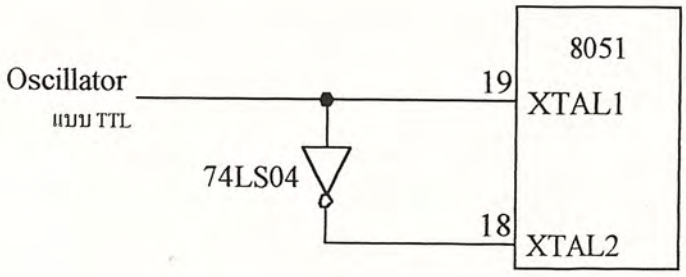
วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้คริสตอลหรือ เซรามิกรีโซเนเตอร์

รูปที่ 3.2

ทางโรงงานผู้ผลิตได้ออกแบบให้ MCS-51 ทำงานได้ในช่วงความถี่ 1~16 เมกกะเฮิรตซ์ ถ้าใช้ความถี่สูงกว่านี้หรือต่ำกว่านี้ จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าผู้ใช้ไม่ใช้คริสตอลดังกล่าวข้างต้น แต่จะใช้ TTL ออสซิลเลเตอร์ หรือ ออสซิลเลเตอร์จากแหล่งอื่นต้องทำการดัดแปลงเล็กน้อยดังรูป



การใช้ 8051 กับ ทีทีแอล ออสซิเลเตอร์

รูปที่ 3.3

การจัดวางหน่วยความจำ

ไมโครโปรเซสเซอร์ส่วนมากมีการจัดวางหน่วยความจำแบบ Von Neuman ซึ่งใช้เนื้อที่ในหน่วยความจำร่วมกัน ระหว่างข้อมูลและโปรแกรม การใช้ในลักษณะนี้ก็เป็นเหตุผลที่ดี เพราะว่าโปรแกรมมักจะถูกเก็บในแผ่นดิสก์ เมื่อใช้งานจึงโหลดลงไปในแรมของระบบแล้วรัน แต่ในกรณีของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวไม่ได้ถูกใช้งานเป็นเพียงแค่ ซีพียูในระบบคอมพิวเตอร์เหมือนกับไมโครโปรเซสเซอร์อื่นๆ แต่เป็นจุดศูนย์กลางของการควบคุมทั้งหมดในงานหนึ่งๆ การใช้หน่วยความจำจะไม่มาก โปรแกรมควบคุมถูกเก็บไว้ในรอมด้วยเหตุนี้ 8051 จึงมีการจัดวางหน่วยความจำแบบ Harward ซึ่งแยกหน่วยความจำออกมาเป็นส่วนของโปรแกรม (เก็บระหัสคำสั่งและส่วนของข้อมูล) หน่วยความจำที่ใช้เก็บรหัส (code memory) หรือใช้เก็บข้อมูล (data memory) ใช้ภายในตัวหรือขยายออกมาใช้ภายนอกชิปก์ได้ 8051 สามารถขยายหน่วยความจำที่ใช้เก็บรหัสได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ และขยายหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลได้สูงสุด 64 กิโลไบต์

หน่วยความจำภายในของ MCS-51 ประกอบด้วยหน่วยความจำรอม (8051/8052) (หรืออีพรอม ในกรณีของ 8751/8752) และหน่วยความจำแรม หน่วยความจำแรมภายในถูกนำมาใช้หลายหน้าที่ ได้แก่ ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป (ไบต์) เก็บข้อมูลในลักษณะของบิต ทำเป็นรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่พิเศษมีข้อควรจำอยู่สองประการ คือ

1.รีจีสเตอร์และอินพุต/เอาต์พุตพอร์ต ใช้การแมปในลักษณะเดียวกับหน่วยความจำ (memory-mapped) ดังนั้นการเรียกใช้งานอาจใช้การเรียกเช่นเดียวกับตำแหน่งแอดแดรสของหน่วยความจำก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานทั้งสามส่วนแยกออกเป็น

1.รีจีสเตอร์แบงก์ แรมในจำนวน 32 ไบต์ จากแอดเดรส 00H ถึง 1FH ถูกนำมาเป็นรีจีสเตอร์สำหรับใช้งาน โดยแยกออกเป็นสี่แบงก์ๆละ 8 รีจีสเตอร์ รีจีสเตอร์แต่ละแบงก์มีหมายเลขกำกับเป็นแบงก์ 0 ถึงแบงก์ 3 และรีจีสเตอร์ภายในแต่ละแบงก์จะถูกกำหนดชื่อไว้เหมือนกันหมด คือ R0-R7 ดังนั้น รีจีสเตอร์แต่ละตัวจะอ้างตำแหน่งแอดเดรสโดยใช้ชื่อ (เมื่อแบงก์ใดแบงก์หนึ่งถูกเลือกใช้) หรืออ้างเป็นตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำแรมเลยก็ได้ เช่น ถ้าต้องการอ้างถึงรีจีสเตอร์ R0 ของแบงก์ 3 ลองดูจากคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลจากรีจีสเตอร์ R0 มาไว้ยังแอคคิวมูเลเตอร์โดยสมมุติว่า แบงก์ 3 ถูกเลือกใช้งานอยู่ในขณะนี้

MOV A,R0

คำสั่งนี้จะใช้ชื่อกำหนดลงไปตรงๆ ผลที่ได้จะเป็นเช่นเดียวกับคำสั่งต่อไปนี้

MOV A,18H

สำหรับคำสั่งที่สองเป็นการอ้างตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำโดยตรง ข้อดีของแบบแรกก็คือ ไม่ต้องจำตำแหน่งแอดเดรส ส่วนข้อดีของแบบที่สองคือไม่ต้องสนใจว่าแบงก์ใดถูกเลือกใช้งานในขณะนี้

การเลือกให้รีจีสเตอร์แบงก์ใดทำงาน สามารถกำหนดโดยการเซ็ต หรือเคลียร์บิต RS0 และ RS1ใน รีจีสเตอร์ PSW และรีจีสเตอร์แบงก์ใดที่ไม่ถูกเลือกใช้งานสามารถใช้เป็นหน่วยความจำแรมแบบปกติได้ หลังจากทำการรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์รีจีสเตอร์แบงก์ 0 จะถูกเลือกใช้งาน

2.หน่วยความจำแรมที่สามารถอ้างอิงแอดเดรสแบบบิต หน่วยความจำแรมที่เหนือจาก รีจีสเตอร์แบงก์ขึ้นไป 16 ไบต์ คือตั้งแต่แอดเดรส 20H ถึง 2FH (หนึ่งตำแหน่งแอดเดรส คือ หนึ่งไบต์) สามารถอ้างตำแหน่งได้สองแบบ คือ แบบแรกอ้างแบบไบต์ คือ แอดเดรส 20H แบบที่สองอ้างแบบบิตจะได้ทั้งหมด 128 ตำแหน่ง คือ แอดเดรส 00H ถึง 7FH (8 บิต x 16 ไบต์ =128 บิต)

การอ้างแอดเดรสแบบบิตอาศัยแนวความคิดจากความคล่องตัว และประสิทธิภาพการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถเซ็ตหรือเคลียร์บิตใดบิตหนึ่ง หรือทำการแอนด์ออร์บิตใดบิตหนึ่งได้ภายในหนึ่งคำสั่ง ยิ่งไปกว่านั้นอินพุต/เอาต์พุตพอร์ตของ 8051 สามารถอ้างเป็นแอดเดรสแบบบิตได้ จึงทำให้การเขียนซอฟต์แวร์ทำได้ง่ายขึ้น การควบคุมและตรวจสอบทำได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งแอดแดรสที่กล่าวมาข้างต้นจะอ้างแบบไบต์หรือแบบบิตก็ได้แล้วแต่คำสั่งที่ใช้ เช่น ต้องการเซ็ตบิตที่ตำแหน่งแอดแดรสที่อ้างแบบบิต 67H ให้เป็น 1 คำสั่งที่ใช้จะเป็นดังนี้

SETB 67H

แต่ตำแหน่งแอดแดรสที่อ้างอิงแบบบิต 67H ก็คือบิตที่ 7 ของตำแหน่งแอดแดรสที่อ้างอิงแบบไบต์ที่ 2CH โดยการใช้คำสั่งที่ผ่านมาจะไม่มีผลกระทบต่อบิตข้างเคียงในตำแหน่งนี้ ถ้าใช้คำสั่งแบบไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วๆไปจะเขียนได้ดังนี้

```
MOV    A,2CH          ; อ่านข้อมูลทั่วไปไบต์จากแอดแดรสที่ 2CH
ORL    A,#10000000B   ; เซ็ตบิตที่ 7 ให้เป็น 1
MOV    2CH,A          ; เก็บกลับเข้าแอดแดรสที่ 2CH ตามเดิม
```

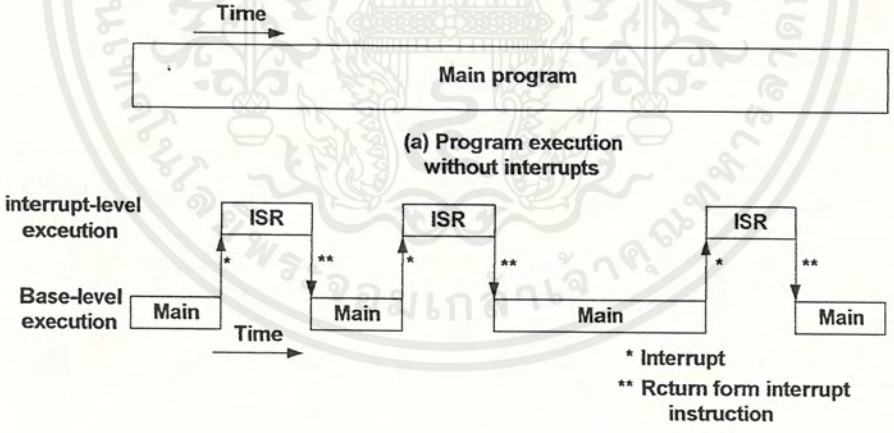
และนี่คือข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์อีกประการหนึ่ง

3.หน่วยความจำแรมที่ใช้งานทั่วไป ส่วนนี้จะอยู่เหนือบริเวณหน่วยความจำแรมที่อ้างอิงแอดแดรสแบบบิตขึ้นไป โดยเริ่มตั้งแต่แอดแดรส 30H จนกระทั่งถึง 7FH รวมทั้งสิ้น 80 ไบต์ ตำแหน่งแอดแดรสเหล่านี้ ถูกอ้างอิงได้เฉพาะแบบไบต์เท่านั้น การอ้างอิงจะใช้แบบกำหนดแอดแดรสโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การอินเตอร์รัปต์

การอินเตอร์รัปต์เกิดจากเหตุการที่เกิดขึ้นเป็นไปตามข้อกำหนดที่จัดตั้งไว้ก่อนล่วงหน้าทำให้โปรแกรมที่กำลังรันอยู่ถูกละทิ้งไว้ชั่วคราว เพื่อไปทำโปรแกรมอื่นที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์นั้นๆ เมื่อเสร็จสิ้นแล้วจึงกลับมารันโปรแกรมเดิมโปรแกรมที่ถูกกระทำเมื่อเกิดอินเตอร์รัปต์ขึ้นเรียกว่า โปรแกรมให้บริการอินเตอร์รัปต์ (interrupt service routine;ISR) ISR จะถูกกระทำก็ต่อเมื่อเกิดอินเตอร์รัปต์ขึ้น โดยทั้วไปจะเป็นการจัดการเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการอินพุต/เอาต์พุต เมื่ออินเตอร์รัปต์เกิดขึ้นโปรแกรมหลักจะถูกหยุดกระทำไว้ชั่วคราว แล้วกระโดดไปยัง ISR กระทำ ISR ISR จะถูกกระทำเสร็จสิ้นก็ต่อเมื่อทำคำสั่งกลับจากการอินเตอร์รัปต์ จากนั้นโปรแกรมหลักจะถูกกระทำต่อไป โดยทั้วไปเมื่ออ้างอิงถึงโปรแกรมหลักจะถือว่าเป็นการกระทำโปรแกรมในระดับพื้นฐาน ส่วน ISR ถือว่าเป็นการกระทำโปแกรมในระดับอินเตอร์รัปต์ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กระทำโปรแกรม เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์

ตัวอย่างของการอินเตอร์รัปต์อย่างหนึ่งที่พบโดยทั้วๆไปคือ การป้อนข้อมูลผ่านปุ่มทางของเตาอบไมโครเวฟ โปรแกรมหลักจะทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายพลังงานในรูปไมโครเวฟออกจากแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานเมื่อใช้งานในขณะที่กำลังใช้งานเพื่อทำให้อาหารสุกระบบจะต้องตอบโต้กับการป้อนข้อมูลที่ฝาปิดด้านหน้า เช่น การติดตั้ง เวลาให้สั้นหรือยาวเมื่อใช้งานเมื่อผู้ใช้กดปุ่มจะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น โปรแกรมหลักจะถูกขัดจังหวะชั่วคราว โดยจะกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมบริการเพื่ออ่านรหัสจากปุ่มและทำการปรับตั้งค่า ใหม่ตามข้อมูลที่ป้อนเข้าไปเมื่อเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้วมักจะกลับมาทำงานในโปรแกรมหลักต่อไป

ในทางปฏิบัติ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะแยกแยะข้อกำหนดในการตัดสินใจได้เพียงสองวิธีเท่านั้น คือวิธีแรกใช้คำสั่งทางซอฟต์แวร์ทำการทดสอบค่าเฟล็กต่างๆ ถ้าตรงตามข้อกำหนดก็จะกระโดดไปยังโปรแกรมที่กำหนดไว้ วิธีที่สองใช้สัญญาณทางฮาร์ดแวร์เข้ามากระตุ้นเพื่อให้กระโดดไปยังโปรแกรมที่ต้องการ เช่น การกดปุ่มดังตัวอย่างที่ยกมาข้างต้น ซึ่งก็คือการอินเตอร์รัปต์นั่นเอง ข้อแตกต่างระหว่างวิธีทั้งสองคือ การใช้เทคนิคทางซอฟต์แวร์จะต้องเสียเวลาไปส่วนหนึ่งในการคอยเฝ้าวนตรวจสอบข้อกำหนดต่างๆ อยู่ตลอดเวลาส่วนการใช้เทคนิคการอินเตอร์รัปต์จะเสียเวลาเฉพาะเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่กำหนดขึ้นเท่านั้น ฉะนั้นเวลาที่เหลือจึงใช้ไปทำงานอื่นๆได้อีก

แหล่งกำเนิดการอินเตอร์รัปต์ของ MCS-51

MCS-51 ยอมให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ได้ทั้งหมด 5 แหล่งด้วยกัน 3 แหล่งจะมาจากภายในตัว MCS-51 เอง ได้แก่ การอินเตอร์รัปต์ที่เกิดจากไทเมอร์แฟล็ก 0 ไทเมอร์แฟล็ก1 และพอร์ตอนุกรม (RI หรือTI) การอินเตอร์รัปต์อีก 2 แหล่งเกิดจากภายนอกตัว MCS-51 โดยมีสัญญาณจากภายนอกมากระตุ้นที่ขา INT0 และ INT1 การอินเตอร์รัปต์ทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยโปรแกรมผ่านทางอินเตอร์รัปต์อีนาเบิลรีจิสเตอร์ (IE) อินเตอร์รัปต์ไพออริตี้รีจิสเตอร์ (IP) และรีจิสเตอร์ควบคุมไทเมอร์(TCON) ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

รายละเอียดของ (IE) และ (IP) จะเป็นดังนี้

	7	6	5	4	3	2	1	0	Bit
IE	EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EXO	

ตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต	สัญลักษณ์	รายละเอียด
7	EA	บิตแสดงการยอมให้มีการอินเตอร์รัปต์ เมื่อเซ็ตให้เป็น 1 แสดงว่าต้องการให้มีการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้นและเคลียร์ให้เป็น 0เมื่อไม่ต้องการให้มีการอินเตอร์รัปต์
6	-	ไม่ใช้งาน
5	ES2	สงวนไว้ใช้งานภายหน้า
4	ES	ยอมให้มีการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากพอร์ตอนุกรมเซ็ตให้เป็น1เมื่อต้องการให้มีการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมเกิดขึ้นและเคลียร์เป็น 0 เมื่อ ไม่ต้องการให้มีการอินเตอร์รัปต์
3	ET	ยอมให้มีการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากไทเมอร์ 1เกิดโอเวอร์โฟลว์เซ็ตให้เป็น 1 เมื่อต้องการให้มีการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1และเคลียร์เป็น 0 เมื่อ ไม่ต้องการให้มีการ อินเตอร์รัปต์
2	EX1	ยอมให้มีการอินเตอร์รัปต์จากภายนอกผ่านขา INT1โดยเซ็ตเป็น 1 เมื่อต้องการให้ อินเตอร์รัปต์และเคลียร์เป็น 0 เมื่อไม่ต้องการให้มีการอินเตอร์รัปต์
1	ET0	ยอมให้มีการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากไทเมอร์เกิดโอเวอร์โฟล ข้อกำหนดเป็นเช่นเดียวกับET1
0	EX0	ยอมให้มีการอินเตอร์รัปต์จากภายนอกผ่านขา INT0โดยมีข้อกำหนดเช่นเดียวกับ EX1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์นี้สามารถอ้างอิงแบบบิตแอดเดรสได้จาก IE.0 ถึง IE.7

	7	6	5	4	3	2	1	0	Bit
IP	-	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PXO	

ตารางที่ 4.3

บิต	สัญลักษณ์	รายละเอียด
7	-	ไม่ใช้งาน
6	-	ไม่ใช้งาน
5	PT2	สงวนไว้ใช้งานภายหน้า
4	PS	ลำดับของความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรม
3	PT1	ลำดับของความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์
2	PX1	ลำดับของความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์จากภายนอก INT1
1	PT0	ลำดับของความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 0
0	PX0	ลำดับของความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์จากภายนอก INT0

ลำดับความสำคัญอาจเป็น 1 ซึ่งหมายถึงสูงสุด หรืออาจเป็น 0 ซึ่งหมายถึงต่ำสุดก็ได้ ขณะเดียวกันรีจีสเตอร์ IP สามารถอ้างอิงเป็นแบบแอดแดรสบิตได้เช่นเดียวกัน คือ IP.0 ถึง IP.7 การอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขา INT0 และ INT1 จะใช้รีจีสเตอร์ TCON เข้ามาช่วยกำหนดรูปแบบของสัญญาณที่จะเข้ามากระตุ้น (IE0,IE1) เช่น การกำหนดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจาก INT0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ให้เกิดอินเตอร์รัปต์ที่ INT0 เซ็ตบิต EX0 ในรีจีสเตอร์ IE ให้เป็น 1
- ให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ที่บริเวณใดของสัญญาณที่เข้ามากระตุ้น
- ที่ระดับสัญญาณต่ำเป็น 0 เคลียร์ IT0 ในรีจีสเตอร์ TCON ให้เป็น 0
- ที่บริเวณขอบของสัญญาณ เซ็ต IT0 ในรีจีสเตอร์ TCON ให้เป็น 1
- IE0 ในรีจีสเตอร์ TCON จะถูกเซ็ตเป็น 1 เมื่อตรวจพบขอบสัญญาณขาลง ที่ขา INT0 (SET BY HARDWARE)

ในกรณีที่เลือกให้เกิดอินเตอร์รัปต์ที่ระดับสัญญาณต่ำ (low level) จะต้องทำให้สัญญาณนี้กลับเป็นระดับสัญญาณสูงก่อนที่จะทำคำสั่ง RETI มิฉะนั้นจะเกิดการอินเตอร์รัปต์ซ้อนขึ้นตลอดไป จนกว่าสัญญาณจะกลับเป็นระดับสัญญาณสูง (high level)

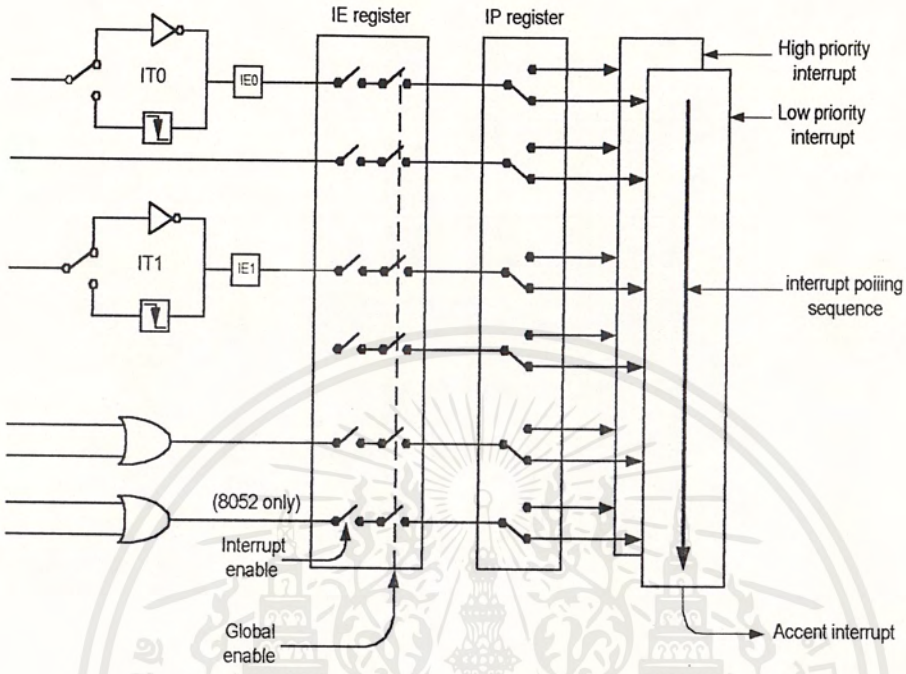
ตำแหน่งของการอินเตอร์รัปต์ ตำแหน่งแอดแดรสที่โปรแกรมเรียก (call) เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์จะถูกกำหนดไว้แน่นอน ดังนี้

การอินเตอร์รัปต์ที่เกิดจาก	ตำแหน่งแอดแดรส
IE 0	0003H
TF 0	000BH
IE 1	0013H
TF 1	001BH
Serial	0023H

ลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ ในกรณีที่เกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นพร้อมกัน และมีการกำหนดความสำคัญไว้เป็น 1 เหมือนกัน (หมายถึงผู้ใช้กำหนดลำดับความสำคัญไว้เท่ากัน) 8051 จะเข้าจัดลำดับความสำคัญใหม่เรียงกันไว้ดังนี้

1. IE 0(สูงสุด)
2. TF 0
3. IE 1
4. TF 1
5. Serial (ต่ำสุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 โครงสร้างจะเป็นดังแสดงไว้ในรูป

แต่ถ้าต้องการให้ลำดับสูงสุดก็ทำได้โดยเซ็ตบิต PS ใน IP รีจีสเตอร์ให้เป็น 1 เพียงบิตเดียวนอกจากนั้นให้เป็น 0 หมด ก็จะได้ผลตามต้องการ เมื่อทำการรีเซ็ต 8051 ค่าที่อยู่ภายในรีจีสเตอร์ต่างๆ จะเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์	ค่าฐานสิบหก
PC	0000
DPTR	0000
A	00
B	00
SP	07
PSW	00
P0-3	FF
IP	XXX0000 ฐานสอง
IE	0XX0000 ฐานสอง
TCON	00
TMOD	00
TH 0	00
TL 0	00
TH 1	00
SCON	00
SBUF	XX
PCON	0XXXXXXX ฐานสอง

หน่วยความจำแรมที่มีข้อมูลบรรจุอยู่จะไม่เปลี่ยนแปลง รีจีสเตอร์แบงก์จะถูกเลือกเป็นแบงก์ 0 และทุกบิตในรีจีสเตอร์ PSW จะถูกเคลียร์เป็น 0 ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

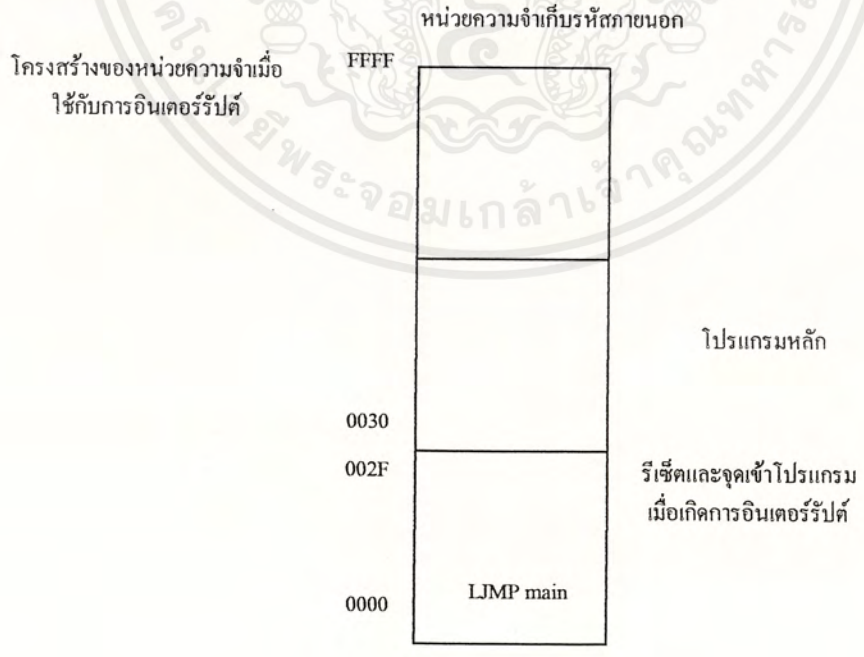
การเขียนโปรแกรมโดยการใช้การอินเตอร์รัปต์

จากตัวอย่างที่ผ่านมาไม่ได้ใช้การอินเตอร์รัปต์มาใช้งาน แต่ใช้การวนรอบเพื่อทดสอบแฟล็กโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ (TF 0 หรือ TF1) หรือ แฟล็กการรับและส่ง (T 1 หรือ R 2) ของพอร์ดอนุกรม ปัญหาจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ ซีพียู ต้องใช้เวลาอย่างมากมายไปกับการรอคอย จนกระทั่งไม่สามารถตอบโต้กับเหตุการณ์อื่นๆที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานี้

ตัวอย่างต่อไปนี้จะเป็นการใช้อินเตอร์รัปต์ โปรแกรมแต่ละโปรแกรมจะเริ่มที่แอดแดรสเริ่มต้น 0000H โดยถือว่าโปรแกรมจะรันหลังจากทำการรีเซ็ต องค์ประกอบของโปรแกรมที่มีการอินเตอร์รัปต์จะเป็นดังนี้

```
        ORG 0000H           ; เมื่อรีเซ็ตจะเริ่มรันทันที
        LJMP MAIN           ; กระโดดข้ามตำแหน่งการเกิดอินเตอร์รัปต์
          :
          :
          :
        ORG0030H            ;
MAIN :    :                 ;โปรแกรมหลักกระโดดมารันต่อที่นี่ 0
          :
```

คำสั่งแรกเป็นการกระโดดอย่างไม่มีเงื่อนไขมายังแอดแดรส 0030H เพื่อข้ามตำแหน่งเริ่มต้นของการอินเตอร์รัปต์ต่างๆ ดังรูป 4.5



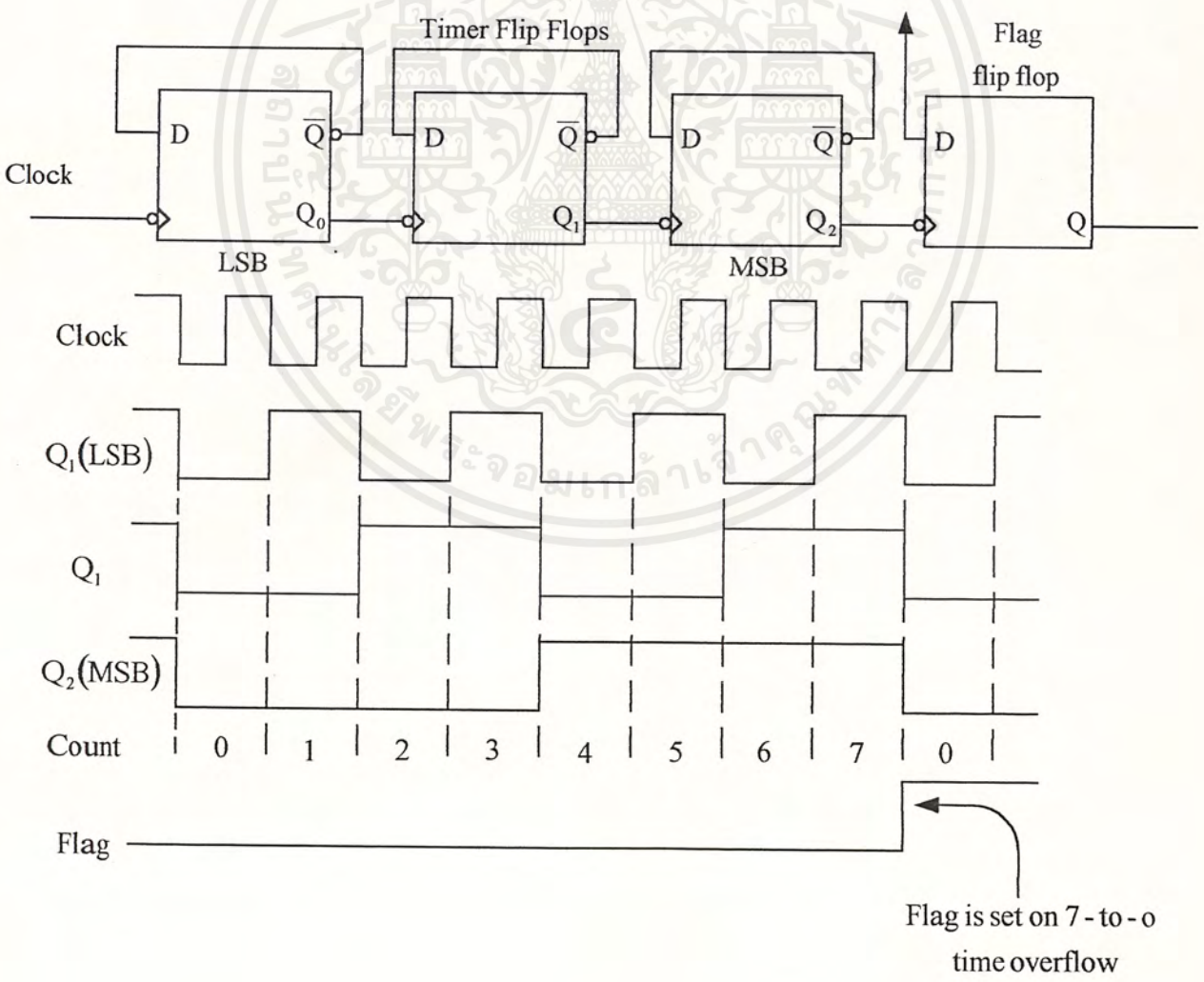
รูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ไทเมอร์ และ เคาน์เตอร์

ไทเมอร์ คือ การต่ออนุกรมกันของฟลิปฟลอปซึ่งทำหน้าที่หารสอง โดยสัญญาณนาฬิกาจากแหล่งกำเนิดป้อนเป็นอินพุตของฟลิปฟลอปตัวแรก ฟลิปฟลอปตัวแรกจะทำหน้าที่หารสัญญาณนาฬิกาด้วยสองเอาต์พุตที่ได้จากฟลิปฟลอปตัวแรก จะถูกป้อนเป็นสัญญาณอินพุตของฟลิปฟลอปตัวที่สอง ฟลิปฟลอปตัวที่สองจะทำการหารสอง และป้อนเอาต์พุตไปยังตัวที่สามเป็นเช่นนี้เรื่อยๆไป ดังนั้นถ้ามี ฟลิปฟลอป n ตัว สัญญาณนาฬิกาจากแหล่งกำเนิดก็จะถูกหารด้วย 2 เอาต์พุตของ ฟลิปฟลอปตัวสุดท้าย จะถูกป้อนเข้าเป็นอินพุตของฟลิปฟลอปอีกตัวหนึ่งเรียกฟลิปฟลอปตัวนี้ว่า โอเวอร์โฟลว์ฟลิปฟลอปหรือ โอเวอร์โฟลว์แฟล็ก ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ หรือกระตุ้นให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ก็ได้ ลองดูจากตัวอย่างง่ายๆ ของไทเมอร์ขนาด 3 บิต

รูปที่ 5.1 ไทเมอร์ขนาด 3 บิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนผังของเวลา รูปที่ 5.1 แฟล็กจะเปลี่ยนสภาวะจากลอจิก 0 เป็นลอจิก 1 เมื่อสัญญาณนาฬิกา (clock) ผ่านไป 8 พัลส์ (2^3 =8) ดั้งนั้นไทเมอร์ฟลิปฟลอปจึงถือเสมือนว่า นับ (count) จำนวนพัลส์ของสัญญาณนาฬิกา ไทเมอร์ขนาด 16 บิต จะนับจาก 0000H จนถึง FFFFH และแฟล็กโอเวอร์โฟลว์เซ็ตเมื่อการนับเปลี่ยนจาก FFFFH เป็น 0000H

การควบคุมไทเมอร์

8051 มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตสองตัวคือ T0 และ T1 เคาน์เตอร์จะถูกแบ่งเป็นรีจีสเตอร์ 8 บิตสองตัว TH0 และ TL0 และรีจีสเตอร์ T1 ซึ่งมีขนาด 16 บิตก็เช่นกันจะประกอบด้วยรีจีสเตอร์ขนาด 8 บิตสองตัวคือ TH1 และ TL1 ดังตาราง 5.2

8 Bit	8 Bit
T0	TH 0 TL0

ตารางที่ 5.2

การควบคุมการทำงานจะสั่งผ่านรีจีสเตอร์ TCON (timer control special function register) และ TMOD (timer mode control special function register) โดยมีรายละเอียดดังนี้

รีจีสเตอร์ TCON

7	6	5	4	3	2	1	0	Bit
TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IL1	IE0	IT0	

ตารางที่ 5.3

TF1 หมายถึงโอเวอร์โฟลว์แฟล็กของไทเมอร์ 1 มีค่าเป็น 1 เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์ขึ้น (หมายถึงนับจนครบค่าสูงสุดคือทุกบิตในไทเมอร์ 1 เป็น 1ทั้งหมด แล้ววนรอบกลับมาเป็น 0 ทั้งหมดใหม่อีกครั้งหนึ่ง) TF1 จะถูกเคลียร์เป็น 0 เมื่อโปรเซสเซอร์กลับจากการทำงานในโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ (interupt service routine) หรือใช้ซอฟต์แวร์สั่งการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TR1 หมายถึงบิตที่ใช้บังคับให้ไทเมอร์ 1 ทำงานหรือหยุดทำงาน ถ้า TR1 เป็นลอจิก 1 ไทเมอร์จะทำงาน ถ้าลอจิก 0 ไทเมอร์ 1 หยุดทำงาน (หยุดทำงาน หมายถึง หยุดนับพัลส์ แต่ไม่ใช่รีเซ็ตค่าในไทเมอร์ 1 ให้เป็น 0000 ใหม่)

TF0 หมายถึงโอเวอร์โฟลว์แฟล็กของไทเมอร์ 0 (การทำงานต่างๆเป็นเช่นเดียวกับ TF1)

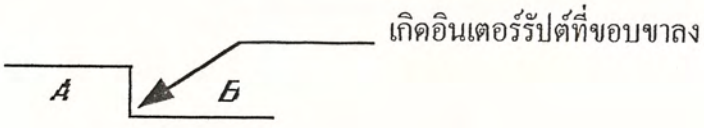
TR0 หมายถึง บิตที่ใช้บังคับให้ไทเมอร์ 0 ทำงาน หรือหยุดการทำงานเช่นเดียวกับ TR1

IE1 หมายถึง การยอมให้อินเตอร์รัปต์จากภายนอก โดยผ่านทางพอร์ต 3 ขา 3.3 (INT1) บิตนี้ถูกเซ็ตเป็น 1 เมื่อสัญญาณภายนอกเข้ามากระตุ้นที่ขา 3.3 โดยทำการอินเตอร์รัปต์ เมื่อสัญญาณเปลี่ยนสภาวะจากลอจิก 1 มาเป็นลอจิก 0 (ขอบลบของพัลส์) ตำแหน่งเริ่มต้นของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์อยู่ที่แอดแดรส 0013H เมื่อทำคำสั่ง (Reture RETI from interupt) IE1 ถูกเคลียร์โดยอัตโนมัติ จะเห็นได้ว่าบิตนี้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องใดๆ กับไทเมอร์/เคาน์เตอร์

IT1 หมายถึงการควบคุมสัญญาณที่เข้ามากระตุ้นที่ขา 3.3 ของพอร์ต 3 ว่าให้เป็นการกระตุ้นแบบใดจึงจะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น ถ้า IT1 = 0 เป็นการกระตุ้นโดยลอจิก 0 (สัญญาณเป็น 0)

ข้อแตกต่างที่น่าจดจำก็คือ

ถ้า IT = 1

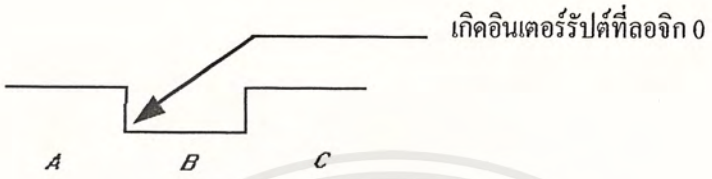


รูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นแล้วไปกระทำโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์จนเสร็จสิ้น สมมุติกลับมาที่เวลา B ซึ่งสัญญาณยังเป็นลอจิก 0 อยู่ ในลักษณะนี้จะไม่เกิดอะไรขึ้น แต่ถ้าให้ IT= 0 ซึ่งเป็นการกระตุ้นที่ลอจิก 0

ถ้า IT = 0



รูปที่ 5.5

เมื่อกลับมาจากการทำโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ที่ตำแหน่ง B ไมโครโปรเซสเซอร์จะพบเป็นลอจิก 0 ผลที่ได้ก็คืออินเตอร์รัปต์ขึ้นอีกครั้งหนึ่งในประเด็นนี้จะทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ซ้ำซ้อนขึ้นโดยไม่ต้องการเราต้องระวัง วิธีการแก้ไขคือ ก่อนที่จะกระทำคำสั่ง RETI ให้ตรวจสอบก่อนว่าสัญญาณกลับมาเป็นลอจิก 1 หรือยัง ถ้าเป็น ลอจิก 1 แล้ว (หลังจากตำแหน่ง C) จึงค่อยกระทำคำสั่ง RETI

IE0 หมายถึงการยอมให้อินเตอร์รัปต์จากภายนอก โดยผ่านทางพอร์ต 3 ขา 3.2 (INT0) การอินเตอร์รัปต์ที่ขานี้ สัญญาณต้องเป็นการกระตุ้นแบบขอบลงหรือสามารถโปรแกรมได้เช่นเดียวกับ IE1 ตำแหน่งแอดเดรสเริ่มต้นของโปรแกรมบริการ อินเตอร์รัปต์อยู่ที่แอดเดรส 0003H

IT0 หมายถึงการควบคุมสัญญาณที่เข้ามาอินเตอร์รัปต์ IE0 เช่นเดียวกับ IT1

รีจีสเตอร์ TMOD

Gate	C/T	M1	M0	Gate	C/T	M1	M0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6

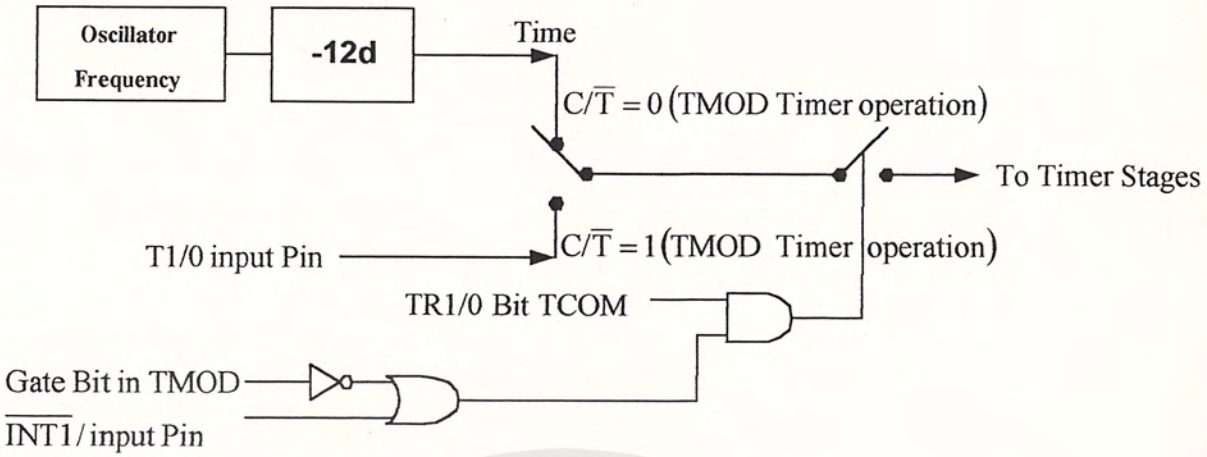
บิต	สัญลักษณ์	รายละเอียด
7/3	**gate**	การอีนาเบิลออร์เกตเพื่อควบคุมไทเมอร์ 1 หรือ 0 ทำงานหรือหยุดทำงาน ถ้าเป็นลอจิก 1 ไทเมอร์จะทำงานถ้า TR 1/0 ใน TCON รีจีสเตอร์ ถูกเซ็ตเป็น 1และสัญญาณที่ต่ออยู่กับขา INT 1/0 เป็นลอจิก1
6/2	**C/T**	ถ้าเป็นลอจิก 1 เป็นการเลือกให้ไทเมอร์ 1 หรือ 0 ทำงานในลักษณะของ เคาน์เตอร์ทำการนับพัลส์จากภายนอกที่ป้อนเข้ามาโดยผ่านทางขา 3.5 (T1) หรือ 3.4 (T0) ถ้าเป็นลอจิก 0เป็นการเลือกให้ไทเมอร์ 1หรือ 0 ทำงานในลักษณะของไทเมอร์ โดยการนับพัลส์ที่ได้จากภายในตัว 8051
5/1	**M1**	บิตที่ใช้ควบคุมให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทำงานในโหมดใด บิตที่ 1
4/0	**M0**	ใช้ควบคุมให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทำงานในโหมดใด บิตที่ 0 โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 7.5 ต่อไปนี้

M1	M0	โหมด
0	0	0
0	1	1
1	0	2
1	1	3

ตารางที่ 5.7

การควบคุมไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ทำงานเป็นไทเมอร์หรือเคาน์เตอร์มีโครงสร้างภายในเป็นดังรูปที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แผนของการผังควบคุมไทเมอร์/เคาน์เตอร์

จากรูปที่ 5.8 เมื่อเลือกให้ C/T เป็น 1 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ จะทำงานในโหมดของไทเมอร์ โดยการรับสัญญาณพัลส์จากภายในตัวที่ได้จากการหารความถี่จากคริสตอลด้วย 12 เมื่อเลือกให้ C/T เป็น 1 ไทเมอร์เคาน์เตอร์จะทำงานในโหมดของเคาน์เตอร์สวิตซ์ จะต่อเข้ากับสัญญาณพัลส์จากภายนอกที่ป้อนเข้ามาทางอินพุต T1/0 โดยมีสวิตซ์อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่ต่อสัญญาณที่เลือกแล้วไปยังส่วนของ Timer stage จะเห็นว่าสัญญาณที่ควบคุมแอนด์เกตซึ่งต้องเซ็ตเป็น 1 ก็คือ TR1/0 ในรีจีสเตอร์ TCON ถ้าเป็น 0 แอนด์เกตจะไม่ยอมให้สัญญาณจากออร์เกตผ่านไปได้เลย การที่แอนด์เกตจะเป็นลอจิก 1 เพื่อบังคับให้สวิตซ์อยู่ในสภาวะปิด เอาต์พุตของออร์เกตจะต้องเป็น 1 ด้วย ในกรณีนี้คงทำความเข้าใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

แนวทางการใช้งาน LCD module

ปัจจุบัน LCD เป็นที่นิยมกันอย่างมาก สำหรับการแสดงผลในเครื่องมือ เครื่องใช้ต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากความเหมาะสมด้วยประการทั้งปวง ทั้งในด้านการกินกระแสต่ำสามารถแสดงผลเป็นตัวอักษร ตัวเลข หรือแสดงเป็นกราฟฟิก(Graphic)ได้ (เฉพาะรุ่น) จะติดปัญหาก็คือในด้านวงจร ซึ่งมีระบบการทำงานที่ซับซ้อนและหาอุปกรณ์ได้ค่อนข้างยาก แต่ขณะนี้ผู้ผลิต LCD จะทำรุ่นที่เป็น LCD module ออกมาก็คือเป็นmoduleที่มีตัว LCD และวงจรควบคุมมาให้พร้อม เรียกว่า LCM ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถต่อเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ (microprocessor)ได้ง่ายและสำหรับการเขียนโปรแกรม รวมทั้งมีการจำหน่ายกันอย่างกว้างขวาง และมีราคาที่เหมาะสม ทำให้ผู้ใช้งานด้านไมโครโปรเซสเซอร์หันมาใช้แผงแสดงด้วย LCD module กันมากขึ้น

LCD module มีอยู่มากมายหลายรุ่น และมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ แบบดอทเมตริกซ์ (dot matrix)และกราฟฟิก โดยแบบดอทเมตริกซ์จะแสดงผลเป็นตัวอักษรขนาด 5x8 dot และมีตัวอักษรและบรรทัดแตกต่างกันไปในแต่ละรุ่น ส่วนแบบกราฟฟิกจะสามารถแสดงผลในแบบบิตแมพ (bitmap) คือสร้างภาพใดๆก็ได้ตามต้องการ แนวทางในการใช้งานของทั้ง2แบบจะมีลักษณะใกล้เคียง การใช้งานโดยทั่วไปมักจะใช้แบบดอทเมตริกซ์มากกว่า เนื่องจากมีราคาถูก และเพียงพอต่องานส่วนใหญ่ ดังนั้นจะกล่าวถึงการใช้งานกับดอทเมตริกซ์เท่านั้น คุณสมบัติของดอทเมตริกซ์ LCD module สามารถสรุปเป็นข้อๆได้ดังนี้

1.มีให้เลือกหลายรุ่นตามการใช้งาน โดยมีจำนวนตัวอักษรและบรรทัดแตกต่างไป

2.ตัวอักษรแสดงด้วยดอทเมตริกซ์ขนาด 5x8 dot

3.สามารถต่อเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้ 2 ลักษณะ คือแบบเมมโมรีแมพ (memmory map)(20-pin LCD bus)และแบบต่อผ่าน 8255 พอร์ต(port)(26-pin 8255 bus) โดยกรณี 26-pin 8255 bus จะใช้แผ่น PCB (DMCAD) เป็นตัวอะเดปเตอร์ (adepter)ทำให้เป็น 8255 bus อีกที

4.การใช้งานง่ายและสะดวก ระบบไมโครโปรเซสเซอร์เพียงส่งข้อมูลให้กับ LCD moudule เท่านั้น ข้อความก็จะปรากฏบนแผงแสดง และจะคงค้างไว้ตลอด ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาหลักของระบบไมโครโปรเซสเซอร์

5.มีคำสั่งพิเศษสำหรับอำนวยความสะดวกมากมาย เช่น clear display, home cursor, on off cursor, blink character และอื่นๆอีก

6.สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษและตัวเลขได้ 160 ตัว และสัญญลักษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิเศษอีก 32 ตัว รวมทั้งกำหนดอักษรที่ออกแบบเองได้อีก 8 ตัว

7.กินกระแสน้อย และมีน้ำหนักเบา รวมทั้งทำงานได้ด้วยไฟเลี้ยงระดับ 5 โวลต์เท่านั้น

ขาสัญญาณของ LCD module

ขา	สัญญลักษณ์	ระดับ	หน้าที่
1	V_{ss}		0 V. GND
2	V_{cc}		+ 5 V.power supply
3	V_{ee}		+ V for liquid cystral drive
4	RS	H/L	register select H: data input L: instruction input
5	R/W	H/L	H: data read L: data write
6	E	H	Ebable signal (LH)
7	DB 0	H/L	Data but bit 0
8	DB 1	H/L	Data but bit 1
9	DB 2	H/L	Data but bit 2
10	DB 3	H/L	Data but bit 3
11	DB 4	H/L	Data but bit 4
12	DB 5	H/L	Data but bit 5
13	DB 6	H/L	Data but bit 6
14	DB 7	H/L	Data but bit 7

ตารางที่ 6.1 แสดงขาสัญญาณของ LCD module

การต่อเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์

LCD module จะต่อเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้ 2 ลักษณะคือ แบบเมมโมรีแมพโดยผ่าน LCD bus ขนาด 20 pin และแบบ I/O port โดยผ่าน 8255 bus ขนาด 26 pin โดยแต่ละแบบจะมีหลักการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อแบบเมมโมรีแมพ

1. สามารถต่อเข้ากับชิพ (chip) เบอร์ ทั่วๆไปได้เช่น 8051 หรือ Z80 โดยจะทำให้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์มองเห็น LCD module ในลักษณะของหน่วยความจำ(memory)ได้ทันที
2. ผู้ใช้สามารถเขียนและอ่านข้อมูลจาก LCD module ได้ ทำให้มองเสมือนว่าเป็นเมโมรีบัฟเฟอร์(memory buffer)ไปในตัว
3. เนื่องจากสามรถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงทำให้สามารถตรวจสอบแฟลก(flag)ความพร้อมขณะในที่ LCD module กำลังทำงานได้
4. ใช้ได้กับบอร์ด(board)ที่มี LCD bus มาให้พร้อมเท่านั้น
5. ทำให้กินพื้นที่ของหน่วยความจำไปส่วนหนึ่ง และจะต้องมีรหัสการเข้า(decode) ละเอียดพอควร
6. การจัดขาสัญญาณจะต้องเป็นไปตามชิพของแต่ละเบอร์

การต่อแบบ I/O port

1. สามารถต่อเข้ากับ I/O port ใดๆก็ได้ โดยใช้สัญญาณจำนวน 11 เส้น และใช้โปรแกรมเป็นตัวสร้างสัญญาณขึ้นมาให้ตรงกับข้อกำหนดของ LCD module
2. ผู้ใช้จะเขียนข้อมูลให้ LCD module ได้อย่างเดียว ซึ่งผู้ใช้ควรจะกำหนดหน่วยความจำส่วนหนึ่งให้เป็นเสมือนบัฟเฟอร์ให้กับ LCD module อีกที
3. เนื่องจากไม่สามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงต้องใช้การหน่วงเวลาของระบบไมโครโปรเซสเซอร์เอง เพื่อรอให้ LCD module กระทำขบวนการต่างๆ
4. ใช้ได้กับบอร์ดทั่วๆไปที่มีพอร์ต
5. ไม่เปลืองส่วนของหน่วยความจำในการใช้งาน
6. การจัดขาสัญญาณกระทำได้อย่างอิสระ

ชุดควบคุมคำสั่งและแสดงข้อความ

การเขียนหรืออ่านข้อมูลกับ LCD module ก็คือการกำหนดคุณสมบัติต่างๆในการใช้งาน LCD ตามชุดคำสั่งควบคุม และรวมถึงการเขียนข้อมูลที่เป็นข้อความ เพื่อให้ปรากฏบนแผงแสดงด้วย โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSTRUCTIION	RS	R/W	DATA BIT								E X E TIME (μS)
			7	6	5	4	3	2	1	0	
CREAR DISPLAY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1640
CURSOR AT HOME	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	1640
ENTRY MODE SET	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	40
DISPLAY ON/OFF	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	40
DISPLAT SHIFT	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	40
FUNCTION SET	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	40
SET CGRAM ADD.	0	0	0	1	CGRAM ADDRESS						40
SET DDRAM ADD.	0	0	1	DDRAM ADDRESS							40
BUSY.ADD READ	0	1	BF	ADRESS							40
CGRAM.DDRAM WR	1	0	WRITE DATA								40
CGRAM.DDRAM RD	1	1	READ DATA								40

ตารางที่ 6.2 แสดงรายละเอียดของชุดคำสั่ง

ความเข้าใจพื้นฐาน

1. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD module แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือคำสั่งควบคุม(instruction)และข้อมูล(data) โดยจะกำหนดด้วยสัญญาณ RS คือถ้า RS จะหมายถึงส่งกำลังควบคุมหรืออ่านค่าแฟลกสภาพการทำงานของ LCD module และถ้า RS =1จะหมายถึงการเขียนหรืออ่านข้อมูลกับ LCD module

2. หลักการในการเขียนข้อมูลให้ LCD moduleนี้ คือ เมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้วตัว LCD module จะต้องใช้เวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่ง(ตามค่า execute time ในตาราง)ซึ่งระบบไมโครโปรเซสเซอร์สามารถตรวจสอบได้จากบิวซี่แฟลก(busy flag : BF)และถ้าเรียบร้อยแล้ว จึงจะสามารถเขียนข้อมูลอันต่อไปได้ ในการที่การต่อวงจรเป็นแบบอินพุต/เอาต์พุตพอร์ตคือไม่สามารถอ่านข้อมูลย้อนกลับได้ ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะต้องหน่วงเวลาแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD moduleนี้ สามารถทำได้แบบ 8 บิตและ 4 บิต โดยกรณี 4 บิต จะใช้สายส่งสัญาณเพียง 4 เส้นคือ DB4-DB7 (ใช้สำหรับระบบไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 4 บิต หรือเพื่อการประหยัดสาย) การเขียนข้อมูลจะกระทำเหมือนกับ 8 บิต เพียงแต่ให้เขียน 2 ครั้งคือ DB4-DB7 ก่อนแล้วตามด้วย DB0-DB3 และจะต้องกำหนดคุณสมบัติตามค่า DL ในชุดคำสั่ง(function set)ด้วย

4. DDRAM (display data RAM) คือหน่วยความจำภายในตัว LCD module ที่เป็นบัฟเฟอร์ของข้อมูล โดยการเขียนรหัสแอสกี(ASCII)ใดๆลงไปในหน่วยความจำนี้ ก็จะปรากฏเป็นตัวอักษรที่แผงแสดงทันที

5. CGRAM (character generator RAM) คือหน่วยความจำภายในตัว LCD module สำหรับเก็บภาพตัวอักษรที่ผู้ใช้สามารถสร้างได้เอง(8 ตัว) โดยจะอ้างแอดเดรส(address)ได้ทั้งหมด 64 ไบต์(byte) คือ 8 ตัวอักษร คูณกับ 8 row

รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง

1.clear display

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

สำหรับการ clear display โดยจะทำการเขียนตัวอักษรสเปซ (space) ลงใน DDRAM แอดเดรสทั้งหมดให้เป็น 0 พร้อมทั้งเคอร์เซอร์(cursor)จะกลับไปที่ตำแหน่งบนสุดของจอภาพ

2.cursor at home

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	*

สำหรับการกำหนดค่า DDRAM แอดเดรสให้เป็น 0 พร้อมทั้งเคอร์เซอร์จะไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายบนสุดบนจอภาย โดยที่ข้อมูลใน DDRAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3.entry mode set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	I/D	S

I/D = 0 กำหนดทิศทางของเคอร์เซอร์ และ DDRAM ให้เป็นแบบลดทีละ 1 (decrement)

I/D = 1 กำหนดทิศทางของเคอร์เซอร์ และ DDRAM ให้เป็นแบบเพิ่มทีละ 1 (increment)

S = 0 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัวเคอร์เซอร์จะถูกเลื่อนไปทิศทางตามค่า I/D

S = 1 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กับที่ และตัวอักษรจะถูกดันไปทิศทางตามค่า I/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดค่า I/D และ Sนี้ ให้กำหนดก่อนการเขียนข้อมูลใน DDRAM และเมื่อกำหนดแล้วจะต้องไม่ใช้คำสั่ง clear display อีก

4.display on/off

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

D = 0 กำหนดให้ off display

D = 1 กำหนดให้ on display

C = 0 กำหนดให้ off เคอร์เซอร์

C = 1 กำหนดให้ on เคอร์เซอร์ โดยเคอร์เซอร์จะเป็นเส้นขีดใต้ตัวอักษร

B = 0 กำหนดให้ไม่มีการกระพริบที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์

B = 1 กำหนดให้มีการกระพริบที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์(กระพริบเป็นรูปสี่เหลี่ยม)

5. display shift

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

S/C = 0 กำหนดให้เลื่อนเคอร์เซอร์ตามทิศทาง R/L ไป 1 ตำแหน่ง

S/C = 1 กำหนดให้เลื่อนข้อความบนแผงแสดงตามทิศทาง R/L ไป 1 columm (เลื่อนทุกบรรทัด)

R/L = 0 กำหนดให้มีทิศทางไปทางซ้าย

R/L = 0 กำหนดให้มีทิศทางไปทางขวา

6. function set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*

DL = กำหนดให้มีการติดต่อกับ LCD module เป็นแบบ 4 บิต

DL = กำหนดให้มีการติดต่อกับ LCD module เป็นแบบ 8 บิตจะสังเกตเห็นว่า การกำหนดค่า DL นี้ สามารถกระทำได้ที่ DB4-DB7 ซึ่งถ้ามีการกำหนดให้เป็นแบบ 4 บิตตั้งแต่แรก หลังจากจ่ายไฟเลี้ยงก็จะทำให้ LCD moduleมีการรับข้อมูลแบบ 4 บิต

N = 0 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/8 ดิวตี้(duty) และ1/11 ดิวตี้

D = 1 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/16 ดิวตี้

F = 0 กำหนดให้เป็นตัวอักษรแบบ 5X7 dots

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F = 1 กำหนดให้เป็นตัวอักษรแบบ 5X10 dots(กรณีที่ LCD moduleเป็นแบบ 5X7 dots อยู่แล้วก็จะไม่มีผลอะไร)

7. set CGRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	CGRAM ADDRESS					

สำหรับการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้ว การอ่านและการเขียนข้อมูลที่ต่อจากนี้จะเป็นตามแอดเดรสที่กำหนดทันที

8. set DDRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	DDRAM ADDRESS						

สำหรับการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้ว การอ่านและเขียนข้อมูลที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตามแอดเดรสที่กำหนดทันที ตำแหน่งของแอดเดรสของแต่ละรุ่นจะมีความแตกต่างกันบ้าง เพราะจำนวนต่อบรรทัดไม่เท่ากัน

9. busy flag and address read

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	ADDRESS						

สำหรับการอ่านค่าบิวตี้แฟลก ซึ่งบอกถึงความพร้อมของ LCD moduleในการรับข้อมูล ถ้า BF =0 หมายถึงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลต่อไปได้ แต่ถ้า BF =1 หมายถึงว่ายังไม่พร้อม นอกจากนี้ยังเป็นการอ่านค่าแอดเดรสของ CGRAMหรือDDRAMอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ่านข้อมูลและการเขียนข้อมูลกับ DDRAM/CGRAM

1. write data to DDRAM or CGRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	DATA							

สำหรับการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ DDRAMหรือCGRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้วแอดเดรสจะถูกเพิ่มหรือลดโดยอัตโนมัติ ตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง entry mode set และการเขียนจะเป็น DDRAMหรือCGRAMก็ขึ้นอยู่กับก่อนว่าคำสั่งหน้านี้ มีการกำหนดแอดเดรสที่ใด

2. read data form DDRAM or CGRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	DATA							

สำหรับการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ DDRAMหรือCGRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้วแอดเดรสจะถูกเพิ่มหรือลดโดยอัตโนมัติ ตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง entry mode set และการเขียนจะเป็น DDRAMหรือCGRAMก็ขึ้นอยู่กับก่อนว่าคำสั่งหน้านี้ มีการกำหนดแอดเดรสที่ใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การคำนวณการสร้าง

ส่วนของวงจร Voltage Zero-Crossing Detector ซึ่งเป็นตัวเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) ทำให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าฮีสทีรีซิสประมาณ 100 มิลลิโวลต์ (mV)

ซึ่งหาได้จากการคำนวณจากสูตร

$$V_{UT} = \frac{R_3}{R_1 + R_3}(+V_{sat})$$
$$= \frac{100}{12K + 100}(+5)$$
$$= 41mV$$

และ

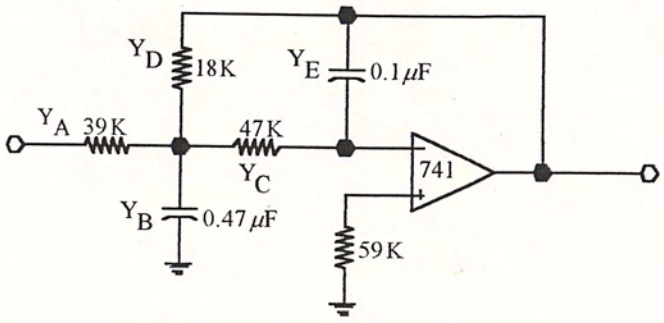
$$V_{LT} = \frac{R_7}{R_6 + R_7}(-V_{sat})$$
$$= \frac{100}{12K + 100}(-5)$$
$$= -41mV$$

ดังนั้นจะได้

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} = 41 - (-41) = 82mV$$

หาค่าความถี่คัดออฟ,ค่าเกนและค่า Q ของวงจรผ่านความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1

เปรียบเทียบกับวงจรในรูป 7.1และสมการที่2.4 จะได้ว่า

$$Y_A = \frac{1}{39K} = 25.64\times10^{-6}$$

$$Y_C = \frac{1}{49K} = 21.28\times10^{-6}$$

$$Y_D = \frac{1}{10K} = 100\times10^{-6}$$

$$Y_E = 0.1\times10^{-6}\,S$$

$$Y_B = 0.47\times10^{-6}\,S$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.4 จะได้

$$T_V = \frac{-(25.64\times21.28)}{0.1s(25.64+21.28+100+0.47s)+21.328\times100}$$

$$= \frac{-545.6}{0.047s^2+14.69s+2128}$$

$$= \frac{-11609}{s^2+312.5s+45276.6}$$

เทียบสมการที่คิดได้กับสมการที่2.3 จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_p = 212.78$$

$$f_p = \frac{\omega_p}{2\pi} = 33.87 \text{ Hz}$$

$$K = \frac{11609}{45276.6} = 0.256$$

$$Q = \frac{312.5}{212.78} = 1.47$$

ในการคำนวณหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ โดยการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นค่าของมุมของความต่างเฟสแล้วนำไปหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ และเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าไปเป็นระดับเลขจำนวนเต็ม ซึ่งค่าทศนิยมที่เกินจุดห้าให้ปัดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ค่าความต่างเฟส (องศา)	ค่าเพาเวอร์ แฟกเตอร์
4.096	90	0
4.092	89.912	0.0015
4.088	89.824	0.0031
4.084	89.736	0.0046
4.080	89.648	0.0061
4.076	89.561	0.0077
4.068	89.385	0.0107
4.064	89.297	0.0123
4.060	89.209	0.0138
4.056	89.121	0.0153
4.052	89.033	0.0169
4.048	88.945	0.0184
4.044	88.857	0.0199
4.040	88.770	0.0215
4.036	88.682	0.0230
4.032	88.594	0.0245
4.028	88.506	0.0261
4.024	88.418	0.0276
4.020	88.330	0.0291
4.016	88.242	0.0307
4.012	88.154	0.0322
4.008	88.066	0.0337
4.004	87.979	0.0353
4.000	87.891	0.0368
3.996	87.803	0.0383
3.992	87.715	0.0399
3.988	87.627	0.0414
3.984	87.539	0.0429
3.980	87.451	0.0445

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.976	87.363	0.0460
3.972	87.275	0.0475
3.968	87.188	0.0491
3.964	87.100	0.0506
3.960	87.012	0.0521
3.956	86.924	0.0537
3.952	86.836	0.0552
3.948	86.748	0.0567
3.944	86.660	0.0583
9.940	86.572	0.05598
3.936	86.484	0.0613
3.932	86.396	0.0629
3.928	86.309	0.0644
3.924	86.221	0.0659
3.920	86.133	0.0674
3.916	86.045	0.0690
3.912	85.957	0.0705
3.908	85.869	0.0720
3.904	85.781	0.0736
3.900	85.693	0.0751
3.896	85.605	0.0766
3.892	85.518	0.0782
3.888	85.430	0.0797
3.884	85.342	0.0812
3.880	85.254	0.0827
3.876	85.166	0.0843
3.872	85.078	0.0858
3.868	84.990	0.0873
3.864	84.902	0.0889
3.860	84.814	0.0904
3.856	84.727	0.0919

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.852	84.639	0.0934
3.848	84.551	0.0950
3.844	84.863	0.0965
3.840	84.375	0.0980
3.836	84.287	0.0995
3.832	84.199	0.1011
3.828	84.111	0.1026
3.824	84.023	0.1041
3.820	83.936	0.1056
3.816	83.848	0.1072
3.812	83.760	0.1087
3.808	83.672	0.1102
3.804	83.584	0.1117
3.800	83.496	0.1133
3.796	83.408	0.1148
3.792	83.320	0.1163
3.788	83.232	0.1178
3.784	83.145	0.1194
3.780	83.059	0.1209
3.776	82.969	0.1224
3.772	82.881	0.1239
3.768	82.793	0.1255
3.764	82.705	0.1270
3.760	82.617	0.1285
3.756	82.529	0.1300
3.752	82.441	0.1315
3.748	82.354	0.1331
3.744	82.266	0.1346
3.740	82.178	0.1361
3.736	82.090	0.1376
3.732	82.002	0.1391

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.728	81.914	0.1407
3.724	81.826	0.1422
3.720	81.738	0.1437
3.716	81.650	0.1452
3.712	81.563	0.1467
3.708	81.475	0.1482
3.704	81.387	0.1498
3.700	81.299	0.1513
3.696	81.211	0.1528
3.692	81.123	0.1543
3.688	81.035	0.1558
3.684	80.947	0.1573
3.680	80.859	0.1589
3.676	80.771	0.1604
3.672	80.684	0.1619
3.668	80.596	0.1634
3.664	80.508	0.1649
3.660	80.420	0.1664
3.656	80.332	0.1679
3.652	80.244	0.1695
3.648	80.156	0.1710
3.644	80.068	0.1725
3.640	79.980	0.1740
3.636	79.893	0.1755
3.632	79.805	0.1770
3.628	79.717	0.1785
3.624	79.629	0.1800
3.620	79.541	0.1815
3.616	79.453	0.1830
3.612	79.365	0.1845
3.608	79.277	0.1861

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.604	79.189	0.1876
3.600	79.102	0.1891
3.596	79.014	0.1906
3.592	78.926	0.1921
3.588	78.838	0.1936
3.584	78.750	0.1951
3.580	78.662	0.1966
3.576	78.574	0.1981
3.572	78.486	0.1996
3.568	78.398	0.2011
3.564	78.311	0.2026
3.560	78.223	0.2041
3.556	78.135	0.2056
3.552	78.047	0.2071
3.548	77.959	0.2086
3.544	77.871	0.2101
3.540	77.783	0.2116
3.536	77.695	0.2131
3.532	77.607	0.2146
3.528	77.520	0.2161
3.524	77.432	0.2176
3.520	77.344	0.2191
3.516	77.256	0.2206
3.512	77.168	0.2221
3.508	77.080	0.2236
3.504	76.992	0.2251
3.500	76.904	0.2266
3.496	76.816	0.2281
3.492	76.729	0.2296
3.488	76.641	0.2311
3.484	76.553	0.2326

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.480	76.465	0.2340
3.476	76.377	0.2355
3.472	76.289	0.2370
3.468	76.201	0.2385
3.464	76.113	0.2400
3.460	76.025	0.2415
3.456	75.938	0.2430
3.452	75.850	0.2445
3.448	75.762	0.2460
3.444	75.674	0.2474
3.440	75.586	0.2489
3.436	75.498	0.2504
3.432	75.410	0.2519
3.428	75.322	0.2534
3.424	75.234	0.2549
3.420	75.146	0.2563
3.416	75.059	0.2578
3.412	74.971	0.2593
3.408	74.883	0.2608
3.404	74.795	0.2623
3.400	74.707	0.2638
3.396	74.619	0.2652
3.392	74.531	0.2667
3.388	74.443	0.2682
3.384	74.355	0.2697
3.380	74.268	0.2711
3.376	74.180	0.2726
3.372	74.092	0.2741
3.368	74.004	0.2756
3.364	43.916	0.2771
3.360	73.828	0.2785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.356	73.740	0.2800
3.352	73.652	0.2815
3.348	73.564	0.2829
3.344	73.477	0.2844
3.340	73.389	0.2859
3.336	73.301	0.2873
3.332	73.213	0.2888
3.328	73.125	0.2903
3.324	73.037	0.2918
3.320	72.949	0.2932
3.316	72.861	0.2947
3.312	72.773	0.2962
3.308	72.686	0.2976
3.304	72.598	0.2991
3.300	72.510	0.3005
3.296	72.422	0.3020
3.292	72.334	0.3035
3.288	72.246	0.3049
3.284	72.158	0.3064
3.280	72.070	0.3078
3.276	71.982	0.3093
3.272	71.895	0.3108
3.268	71.807	0.3122
3.264	71.719	0.3137
3.260	71.630	0.3151
3.256	71.543	0.3166
3.252	71.455	0.3180
3.248	71.367	0.3195
3.244	71.279	0.3210
3.240	71.191	0.3224
3.236	71.104	0.3239

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.232	71.016	0.3253
3.228	70.928	0.3268
3.224	70.840	0.3282
3.220	70.752	0.3297
3.216	70.664	0.3311
3.212	70.576	0.3326
3.208	70.488	0.3340
3.204	70.400	0.3354
3.200	70.313	0.3369
3.196	70.225	0.3383
3.192	70.137	0.3398
3.188	70.049	0.3412
3.184	69.961	0.3427
3.180	69.873	0.3441
3.176	69.785	0.3455
3.172	69.697	0.3470
3.168	69.609	0.3484
3.164	69.521	0.3499
3.160	69.434	0.3513
3.156	69.346	0.3527
3.152	69.258	0.3542
3.148	69.170	0.3556
3.144	69.082	0.3570
3.140	68.994	0.3585
3.136	68.906	0.3599
3.132	68.818	0.3613
3.128	68.730	0.3628
3.124	68.643	0.3642
3.120	68.555	0.3656
3.116	68.467	0.3670
3.112	68.379	0.3685

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.108	68.291	0.3699
3.104	68.203	0.3713
3.100	68.115	0.3727
3.096	68.027	0.3742
3.092	67.939	0.3756
3.088	67.852	0.3770
3.084	67.764	0.3784
3.080	67.676	0.3798
3.076	67.588	0.3813
3.072	67.500	0.3827
3.068	67.412	0.3841
3.064	67.320	0.3855
3.060	67.236	0.3869
3.056	67.148	0.3883
3.052	67.061	0.3898
3.048	66.973	0.3911
3.044	66.885	0.3926
3.040	66.797	0.3940
3.036	66.709	0.3954
3.032	66.621	0.3968
3.028	66.533	0.3982
3.024	66.445	0.3996
3.020	66.357	0.4010
3.016	66.270	0.4024
3.012	66.182	0.4038
3.008	66.094	0.4052
3.004	66.006	0.4066
3.000	65.918	0.4080
2.996	65.830	0.4094
2.992	65.742	0.4108
2.988	65.654	0.4122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.984	65.566	0.4136
2.980	65.479	0.4150
2.976	65.391	0.4164
2.972	65.303	0.4178
2.968	65.215	0.4192
2.964	65.127	0.4206
2.960	65.039	0.4220
2.956	64.951	0.4234
2.952	64.863	0.4248
2.948	64.775	0.4262
2.944	64.688	0.4276
2.940	64.600	0.4289
2.936	64.512	0.4303
2.932	64.424	0.4317
2.928	64.336	0.4331
2.924	64.248	0.4345
2.920	64.160	0.4359
2.916	64.027	0.4372
2.912	63.984	0.4386
2.908	63.896	0.4400
2.904	63.809	0.4414
2.900	63.721	0.4427
2.896	63.633	0.4441
2.892	63.545	0.4455
2.888	63.457	0.4469
2.884	63.369	0.4482
2.880	63.281	0.4469
2.876	63.193	0.4510
2.872	63.105	0.4523
2.868	63.018	0.4537
2.864	62.930	0.4551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.860	62.842	0.4564
2.856	62.754	0.4578
2.852	62.666	0.4592
2.848	62.578	0.4605
2.844	62.490	0.4619
2.840	62.402	0.4633
2.836	62.314	0.4646
2.832	62.227	0.4660
2.828	62.139	0.4673
2.824	62.051	0.4687
2.820	61.963	0.4700
2.816	61.875	0.4714
2.812	61.787	0.4727
2.808	61.699	0.4741
2.804	61.611	0.4755
2.800	61.523	0.4768
2.796	61.436	0.4781
2.792	61.348	0.4795
2.788	61.260	0.4808
2.784	61.172	0.4822
2.780	61.084	0.4835
2.776	60.996	0.4847
2.772	60.908	0.4862
2.768	60.820	0.4876
2.764	60.732	0.4889
2.760	60.645	0.4902
2.756	60.557	0.4916
2.752	60.469	0.4929
2.748	60.381	0.4942
2.744	60.293	0.4956
2.740	60.205	0.4969

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.736	60.117	0.4982
2.732	60.029	0.5000
2.728	59.941	0.5009
2.724	59.854	0.5022
2.720	59.766	0.5035
2.716	59.678	0.5049
2.712	59.590	0.5092
2.708	59.502	0.5075
2.704	59.414	0.5088
2.700	59.326	0.5102
2.696	59.238	0.5115
2.692	59.150	0.5128
2.688	59.063	0.5141
2.684	58.975	0.5154
2.680	58.889	0.5167
2.676	58.799	0.5180
2.672	58.711	0.5194
2.668	58.623	0.5207
2.664	58.535	0.5220
2.660	58.447	0.5233
2.656	58.359	0.5246
2.652	58.271	0.5259
2.648	58.184	0.5272
2.644	58.096	0.5285
2.640	58.004	0.5298
2.636	57.920	0.5311
2.632	57.832	0.5324
2.628	57.744	0.5337
2.624	57.656	0.5350
2.620	57.568	0.5363
2.616	57.480	0.5376

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.612	57.393	0.5389
2.608	57.305	0.5402
2.604	57.217	0.5415
2.600	57.129	0.5428
2.596	56.041	0.5440
2.592	56.953	0.5453
2.588	56.865	0.5466
2.584	56.777	0.5479
2.580	56.689	0.5492
2.576	56.602	0.5505
2.572	56.514	0.5517
2.568	56.426	0.5530
2.564	56.338	0.5543
2.560	56.250	0.5556
2.556	56.162	0.5568
2.552	56.074	0.5581
2.548	55.986	0.5594
2.544	55.898	0.5607
2.540	55.811	0.5619
2.536	55.723	0.5632
2.532	55.635	0.5645
2.528	55.547	0.6657
2.524	55.459	0.6670
2.520	55.371	0.5683
2.516	55.283	0.5695
2.512	55.195	0.5708
2.508	55.107	0.5720
2.504	55.020	0.5733
2.500	54.932	0.5746
2.496	54.844	0.5758
2.492	54.756	0.5771

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.488	54.668	0.5783
2.484	54.580	0.5796
2.480	54.492	0.5808
2.476	54.404	0.5821
2.472	54.316	0.5833
2.468	54.229	0.5846
2.464	54.141	0.5858
2.460	54.053	0.5870
2.456	53.965	0.5883
2.452	53.877	0.5895
2.448	53.789	0.5908
2.444	53.701	0.5920
2.440	53.613	0.5932
2.436	53.525	0.5945
2.432	53.438	0.5957
2.428	53.350	0.5969
2.424	53.262	0.5982
2.420	53.174	0.5994
2.416	53.086	0.6006
2.412	52.998	0.6018
2.408	52.910	0.6031
2.404	52.822	0.6043
2.400	52.734	0.6055
2.396	52.646	0.6067
2.392	52.559	0.6079
2.388	52.471	0.6090
2.384	52.383	0.6104
2.380	52.295	0.6116
2.376	52.209	0.6128
2.372	52.119	0.5140
2.368	52.031	0.6152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.364	51.943	0.6164
2.360	51.855	0.6176
2.356	51.768	0.6189
2.352	51.680	0.6201
2.348	51.592	0.6213
2.344	51.504	0.6225
2.340	51.416	0.6237
2.336	51.328	0.6249
2.332	51.240	0.6261
2.328	51.152	0.6273
2.324	51.064	0.6284
2.320	50.977	0.6296
2.316	50.889	0.6308
2.312	50.801	0.6320
2.308	50.713	0.6332
2.304	50.625	0.6344
2.300	50.537	0.6356
2.296	50.449	0.6368
2.292	50.361	0.6379
2.286	50.273	0.6391
2.284	50.186	0.6403
2.280	50.098	0.6415
2.276	50.010	0.6427
2.272	49.922	0.6438
2.268	49.834	0.6450
2.264	49.746	0.6462
2.260	49.658	0.6473
2.256	49.570	0.6485
2.252	49.482	0.6497
2.248	49.395	0.6508
2.244	49.307	0.6520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.240	49.219	0.6532
2.236	49.131	0.6543
2.232	49.043	0.6555
2.228	48.955	0.6567
2.224	48.867	0.6578
2.220	48.779	0.6590
2.216	48.691	0.6601
2.212	48.604	0.6613
2.208	48.516	0.6624
2.204	48.428	0.6636
2.200	48.340	0.6647
2.196	48.252	0.6659
2.192	48.164	0.6670
2.188	48.076	0.6681
2.184	47.988	0.6693
2.180	47.900	0.6704
2.176	47.813	0.6716
2.172	47.725	0.6727
2.168	47.637	0.6737
2.164	47.549	0.6750
2.160	47.461	0.6761
2.156	47.373	0.6772
2.152	47.285	0.6784
2.148	47.197	0.6795
2.144	47.109	0.6806
2.140	47.021	0.6817
2.136	46.934	0.6828
2.132	46.846	0.6840
2.128	46.758	0.6851
2.124	46.670	0.6862
2.120	46.582	0.6873

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.116	46.494	0.6884
2.112	46.406	0.6895
2.108	46.318	0.6907
2.104	46.230	0.6918
2.100	46.143	0.6929
2.096	46.055	0.6940
2.092	45.967	0.6951
2.088	45.879	0.6962
2.084	45.791	0.6972
2.080	45.703	0.6984
2.076	45.615	0.6995
2.072	45.527	0.7006
2.068	45.439	0.7017
2.064	45.352	0.7028
2.060	45.246	0.7038
2.056	45.176	0.7049
2.052	45.088	0.7060
2.048	45.000	0.7071
2.044	44.912	0.7082
2.040	44.824	0.7093
2.036	44.736	0.7104
2.032	44.648	0.7114
2.028	44.561	0.7125
2.024	44.473	0.7136
2.020	44.385	0.7147
2.016	44.297	0.7157
2.012	44.209	0.7168
2.008	44.121	0.7179
2.004	44.033	0.7189
2.000	43.945	0.7200
1.996	43.857	0.7211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.992	43.770	0.7221
1.988	43.682	0.7132
1.984	43.594	0.7142
1.980	43.506	0.7053
1.976	43.418	0.7264
1.972	43.330	0.7274
1.968	43.242	0.7285
1.964	43.154	0.7295
1.960	43.066	0.7306
.1956	42.979	0.7316
1.952	42.891	0.7327
1.948	42.803	0.3737
1.944	42.715	0.7347
1.940	42.627	0.7358
1.936	42.539	0.7368
1.932	42.451	0.7379
1.928	42.363	0.7389
1.924	42.275	0.7399
1.920	42.188	0.7410
1.916	42.100	0.7420
1.912	42.012	0.7430
1.908	41.924	0.7440
1.904	41.836	0.7451
1.900	41.748	0.7461
1.896	41.660	0.7471
1.892	41.572	0.7481
1.888	41.484	0.7491
1.884	41.396	0.7502
1.880	41.309	0.7512
1.876	41.221	0.7522
1.872	41.133	0.7532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.868	41.045	0.7542
1.864	40.957	0.7552
1.860	40.869	0.7562
1.856	40.781	0.7572
1.852	40.693	0.7582
1.848	40.605	0.7592
1.844	40.518	0.7602
1.840	40.430	0.7612
1.836	40.342	0.7622
1.832	40.254	0.7532
1.828	40.166	0.7642
1.824	40.078	0.7652
1.820	39.990	0.7662
1.816	39.902	0.7671
1.812	39.814	0.7681
1.808	39.727	0.7691
1.804	39.639	0.7700
1.800	39.551	0.7711
1.796	39.463	0.7720
1.792	39.375	0.7730
1.788	39.287	0.7740
1.784	39.199	0.7750
1.780	39.111	0.7760
1.776	39.023	0.7769
1.772	38.936	0.7779
1.768	38.848	0.7788
1.764	38.760	0.7798
1.760	38.672	0.7807
1.756	38.584	0.7817
1.752	38.496	0.7829
1.748	38.408	0.7836

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.744	38.320	0.7846
1.740	38.232	0.7855
1.736	38.145	0.7865
1.732	38.057	0.7874
1.728	37.969	0.7883
1.724	37.881	0.7893
1.720	37.793	0.7902
1.716	37.705	0.7912
1.712	37.617	0.7921
1.708	37.529	0.7930
1.704	37.441	0.7940
1.700	37.354	0.7949
1.696	37.266	0.7958
1.692	37.178	0.7968
1.688	37.090	0.7977
1.684	37.002	0.7986
1.680	36.914	0.7995
1.676	36.826	0.8004
1.672	36.738	0.8014
1.668	36.650	0.8023
1.664	36.563	0.8032
1.660	36.475	0.8041
1.656	36.387	0.8050
1.652	36.299	0.8059
1.648	36.211	0.8068
1.644	36.123	0.8078
1.640	36.035	0.8087
1.636	35.947	0.8096
1.632	35.859	0.8105
1.628	35.771	0.8114
1.624	35.684	0.8123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.620	35.596	0.8131
1.616	35.508	0.8140
1.612	35.420	0.8149
1.608	35.332	0.8158
1.604	35.244	0.8167
1.600	35.156	0.8176
1.596	35.068	0.8185
1.692	34.986	0.8193
1.588	34.893	0.8202
1.584	34.805	0.8211
1.580	34.717	0.8220
1.576	34.629	0.8228
1.572	34.541	0.8237
1.568	34.453	0.8246
1.564	34.365	0.8255
1.560	34.277	0.8263
1.556	34.189	0.8272
1.552	34.102	0.8280
1.548	34.014	0.8289
1.544	33.926	0.8298
1.540	33.838	0.8306
1.536	33.750	0.8315
1.532	33.662	0.8323
1.528	33.574	0.8332
1.524	33.486	0.8340
1.520	33.398	0.8349
1.516	33.311	0.8357
1.512	33.223	0.8365
1.508	33.135	0.8374
1.504	33.047	0.8382
1.500	32.959	0.8391

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.496	32.871	0.8399
1.492	32.783	0.8407
1.488	32.695	0.8416
1.484	32.607	0.8424
1.480	32.520	0.8432
1.476	32.432	0.8440
1.472	32.234	0.8449
1.468	32.256	0.8457
1.464	32.168	0.8465
1.460	32.080	0.8473
1.456	31.992	0.8481
1.452	31.904	0.8489
1.448	31.816	0.8497
1.444	31.729	0.8505
1.440	31.641	0.8514
1.436	31.553	0.8522
1.432	31.465	0.8530
1.428	31.377	0.8538
1.424	31.289	0.8546
1.420	31.201	0.8554
1.416	31.113	0.8561
1.412	31.025	0.8569
1.408	30.936	0.8577
1.404	30.850	0.8585
1.400	30.762	0.8593
1.396	30.674	0.8601
1.392	30.586	0.8609
1.388	30.498	0.8616
1.384	30.410	0.8624
1.380	30.322	0.8632
1.376	30.234	0.8640

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.372	30.146	0.8647
1.368	30.059	0.8655
1.364	29.971	0.8661
1.360	29.883	0.8670
1.356	29.795	0.8678
1.352	29.707	0.8686
1.348	29.619	0.8693
1.344	29.531	0.8701
1.340	29.443	0.8708
1.336	29.355	0.8716
1.332	29.268	0.8723
1.328	29.180	0.8731
1.324	29.092	0.8738
1.320	29.004	0.8746
1.316	28.916	0.8753
1.312	28.828	0.8761
1.308	28.740	0.8768
1.304	28.652	0.8775
1.300	28.564	0.8783
1.296	28.477	0.8790
1.292	28.389	0.8797
1.288	28.301	0.8805
1.284	28.213	0.8812
1.280	28.125	0.8819
1.276	28.037	0.8826
1.272	27.949	0.8834
1.268	27.861	0.8841
1.264	27.773	0.8848
1.260	27.686	0.8855
1.256	27.598	0.8862
1.252	27.510	0.8869

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.248	27.422	0.8876
1.244	27.334	0.8883
1.240	27.246	0.8890
1.236	27.158	0.8897
1.232	27.070	0.8904
1.228	26.982	0.8911
1.224	26.895	0.8918
1.220	26.807	0.8925
1.216	26.719	0.8932
1.212	26.631	0.8939
1.208	26.543	0.8946
1.204	26.455	0.8952
1.200	26.367	0.8960
1.196	26.279	0.8966
1.192	26.191	0.8973
1.188	26.104	0.8980
1.184	26.016	0.8987
1.180	25.928	0.8993
1.176	25.840	0.9000
1.172	25.752	0.9007
1.168	25.664	0.9013
1.164	25.576	0.9020
1.160	25.488	0.9027
1.156	25.400	0.9033
1.152	25.313	0.9040
1.148	25.225	0.9046
1.144	25.137	0.9053
1.140	25.048	0.9059
1.136	24.961	0.9066
1.132	24.873	0.9072
1.128	24.758	0.9079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.124	24.697	0.9085
1.120	24.609	0.9092
1.116	24.521	0.9098
1.112	24.434	0.9104
1.108	24.346	0.9111
1.104	24.258	0.9117
1.100	24.170	0.9123
1.096	24.082	0.9130
1.092	23.994	0.9136
1.088	23.906	0.9142
1.084	23.818	0.9148
1.080	23.730	0.9154
1.076	23.642	0.9161
1.072	23.555	0.9167
1.068	23.467	0.9173
1.064	23.379	0.9179
1.060	23.291	0.9185
1.056	23.203	0.9191
1.052	23.115	0.9197
1.048	23.027	0.9203
1.044	22.939	0.9209
1.040	22.851	0.9215
1.036	22.746	0.9221
1.032	22.676	0.9227
1.028	22.588	0.9233
1.024	22.500	0.9239
1.020	22.412	0.9245
1.016	22.324	0.9250
1.012	22.236	0.9256
1.008	22.148	0.9262
1.004	22.061	0.9268

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.000	21.973	0.9274
0.996	21.885	0.9279
0.992	21.797	0.9285
0.988	21.709	0.9291
0.984	21.621	0.9296
0.980	21.533	0.9302
0.976	21.445	0.9308
0.972	21.357	0.9313
0.968	21.270	0.9319
0.964	21.182	0.9324
0.960	21.094	0.9330
0.956	21.006	0.9335
0.952	20.918	0.9341
0.948	20.830	0.9346
0.944	20.742	0.9352
0.940	20.654	0.9357
0.936	20.566	0.9363
0.932	20.479	0.9368
0.928	20.391	0.9373
0.924	20.303	0.9379
0.920	20.215	0.9384
0.916	20.127	0.9389
0.912	20.039	0.9395
0.908	19.951	0.9400
0.904	19.863	0.9405
0.900	19.775	0.9410
0.896	19.688	0.9415
0.892	19.600	0.9421
0.888	19.512	0.9426
0.884	19.424	0.9431
0.880	19.336	0.9436

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.876	19.248	0.9441
0.872	19.160	0.9446
0.868	19.072	0.9451
0.864	18.984	0.9456
0.860	18.896	0.9461
0.856	18.809	0.9466
0.852	18.721	0.9471
0.848	18.633	0.9476
0.844	18.545	0.9481
0.840	18.457	0.9486
0.836	18.369	0.9490
0.832	18.281	0.9495
0.828	18.193	0.9500
0.824	18.105	0.9505
0.820	18.018	0.9510
0.816	17.930	0.9515
0.812	17.842	0.9519
0.808	17.754	0.9524
0.804	17.666	0.9528
0.800	17.578	0.9533
0.796	17.490	0.9538
0.792	17.402	0.9542
0.788	17.314	0.9547
0.784	17.227	0.9551
0.780	17.139	0.9556
0.776	17.051	0.9560
0.772	16.963	0.9565
0.768	16.875	0.9569
0.764	16.787	0.9574
0.760	16.699	0.9578
0.756	16.611	0.9583

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.752	16.523	0.9587
0.748	16.436	0.9591
0.744	16.348	0.9596
0.740	16.260	0.9600
0.736	16.172	0.9604
0.732	16.084	0.9609
0.728	15.996	0.9613
0.724	15.908	0.9617
0.720	15.820	0.9621
0.716	15.732	0.9625
0.712	15.645	0.9630
0.708	15.557	0.9634
0.704	15.469	0.9638
0.700	15.381	0.9642
0.696	15.293	0.9646
0.692	15.205	0.9650
0.688	15.117	0.9654
0.684	15.029	0.9658
0.680	14.941	0.9662
0.676	14.854	0.9666
0.672	14.766	0.9670
0.668	14.673	0.9674
0.664	14.590	0.9678
0.660	14.502	0.9681
0.656	14.414	0.9685
0.652	14.326	0.9689
0.648	14.238	0.9693
0.644	14.150	0.9697
0.640	14.063	0.9700
0.636	13.975	0.9704
0.632	13.887	0.9708

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.628	13.799	0.9711
0.624	13.711	0.9715
0.620	13.623	0.9719
0.616	13.535	0.9722
0.612	13.447	0.9726
0.608	13.359	0.9729
0.604	13.271	0.9733
0.600	13.184	0.9736
0.596	13.096	0.9740
0.592	13.008	0.9743
0.588	12.920	0.9747
0.584	12.832	0.9750
0.580	12.744	0.9754
0.576	12.650	0.9757
0.572	12.568	0.9760
0.568	12.480	0.9764
0.564	12.393	0.9767
0.560	12.305	0.9770
0.556	12.217	0.9774
0.552	12.129	0.9777
0.548	12.041	0.9780
0.544	11.953	0.9783
0.540	11.865	0.9786
0.536	11.777	0.9789
0.532	11.689	0.9793
0.528	11.602	0.9796
0.524	11.514	0.9799
0.520	11.426	0.9802
0.516	11.338	0.9805
0.512	11.250	0.9808
0.508	11.162	0.9811

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.504	11.074	0.9814
0.500	10.986	0.9818
0.496	10.898	0.9820
0.492	10.811	0.9823
0.488	10.723	0.9825
0.484	10.635	0.9828
0.480	10.547	0.9831
0.476	10.459	0.9834
0.472	10.371	0.9837
0.468	10.283	0.9839
0.464	10.195	0.9842
0.460	10.107	0.9845
0.456	10.020	0.9847
0.452	9.932	0.9850
0.448	9.844	0.9853
0.444	9.756	0.9855
0.440	9.668	0.9858
0.436	9.580	0.9861
0.432	9.492	0.9863
0.428	9.404	0.9866
0.424	9.316	0.9868
0.420	9.229	0.9871
0.416	9.141	0.9873
0.412	9.053	0.9875
0.408	8.965	0.9878
0.404	8.877	0.9880
0.400	8.789	0.9883
0.396	8.701	0.9885
0.392	8.613	0.9887
0.388	8.525	0.9890
0.384	8.438	0.9892

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.380	8.350	0.9894
0.376	8.262	0.9896
0.372	8.174	0.9898
0.368	8.086	0.9901
0.364	7.998	0.9903
0.360	7.910	0.9905
0.356	7.822	0.9907
0.352	7.734	0.9909
0.348	7.646	0.9911
0.344	7.559	0.9913
0.340	7.471	0.9915
0.336	7.383	0.9917
0.332	7.295	0.9919
0.328	7.207	0.9921
0.324	7.119	0.9923
0.320	7.031	0.9925
0.316	6.943	0.9927
0.312	6.855	0.9929
0.308	6.768	0.9930
0.304	6.680	0.9932
0.300	6.592	0.9934
0.296	6.504	0.9936
0.292	6.416	0.9937
0.288	6.328	0.9939
0.284	6.240	0.9941
0.280	6.152	0.9942
0.276	6.064	0.9944
0.272	5.977	0.9946
0.268	5.889	0.9947
0.264	5.801	0.9949
0.260	5.713	0.9950

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.256	5.625	0.9952
0.252	5.537	0.9953
0.248	5.449	0.9955
0.244	5.361	0.9956
0.240	5.273	0.9958
0.236	5.186	0.9959
0.232	5.098	0.9960
0.228	5.010	0.9961
0.224	4.922	0.9963
0.220	4.834	0.9964
0.216	4.746	0.9966
0.212	4.658	0.9967
0.208	4.570	0.9968
0.204	4.482	0.9969
0.200	4.395	0.9971
0.196	4.307	0.9972
0.192	4.219	0.9973
0.188	4.131	0.9974
0.184	4.043	0.9975
0.180	3.955	0.9976
0.176	3.867	0.9977
0.172	3.779	0.9978
0.168	3.691	0.9979
0.164	3.604	0.9980
0.160	3.516	0.9981
0.156	3.428	0.9982
0.152	3.340	0.9983
0.148	3.253	0.9984
0.144	3.164	0.9985
0.140	3.076	0.9986
0.136	2.988	0.9986

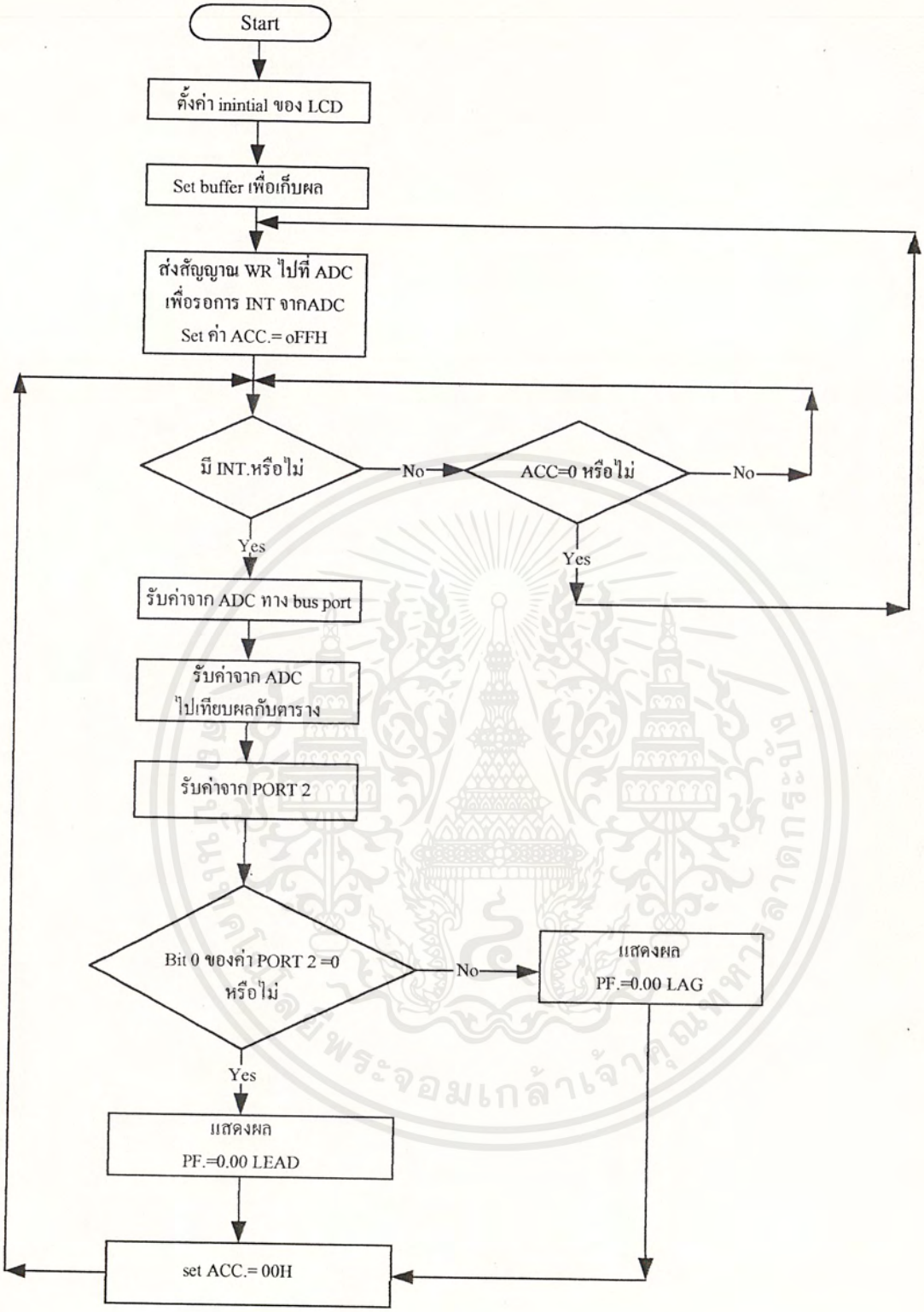
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.132	2.900	0.9987
0.128	2.812	0.9988
0.124	2.725	0.9989
0.120	2.637	0.9989
0.116	2.549	0.9990
0.112	2.461	0.9991
0.108	2.373	0.9991
0.104	2.285	0.9992
0.100	2.197	0.9993
0.096	2.109	0.9993
0.092	2.021	0.9994
0.088	1.934	0.9994
0.084	1.846	0.9995
0.080	1.758	0.9995
0.076	1.670	0.9996
0.072	1.582	0.9996
0.068	1.494	0.9997
0.064	1.406	0.9997
0.060	1.318	0.9997
0.056	1.230	0.9998
0.052	1.143	0.9998
0.048	1.055	0.9998
0.044	0.967	0.9999
0.040	0.879	0.9999
0.036	0.791	0.9999
0.032	0.703	0.9999
0.028	0.615	0.9999
0.024	0.257	0.9999
0.020	0.439	1.0000
0.016	0.352	1.0000
0.012	0.264	1.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.008	0.176	1.0000
0.004	0.088	1.0000
0.000	0.000	1.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การทดลองและผลการทดลอง

ผลการทดลอง

การทดลองการวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ โดยเครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบดิจิตอลที่เราสร้างขึ้น มีค่าต่างๆดังต่อไปนี้

ตารางที่ 8.1 ตารางผลการทดลองวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ โดยเครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบดิจิตอล

เครื่องใช้ไฟฟ้าที่วัด	ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่วัดได้
โคมไฟ	1.00 PF. Unity
พัดลมจากคอมพิวเตอร์	0.63 PF. Lag
พัดลมเบอร์ 1	0.99 PF. Lead
พัดลมเบอร์ 2	1.00 PF. Unity
พัดลมเบอร์ 3	0.99 PF. Leg

เนื่องจากไม่สามารถตรวจสอบค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์กับเครื่องวัดอื่นๆ ที่เป็นมาตรฐาน จึงไม่สามารถบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ทำการสร้างขึ้นมาได้ แต่ค่าที่วัดได้จากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆมีค่าใกล้เคียงกับโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

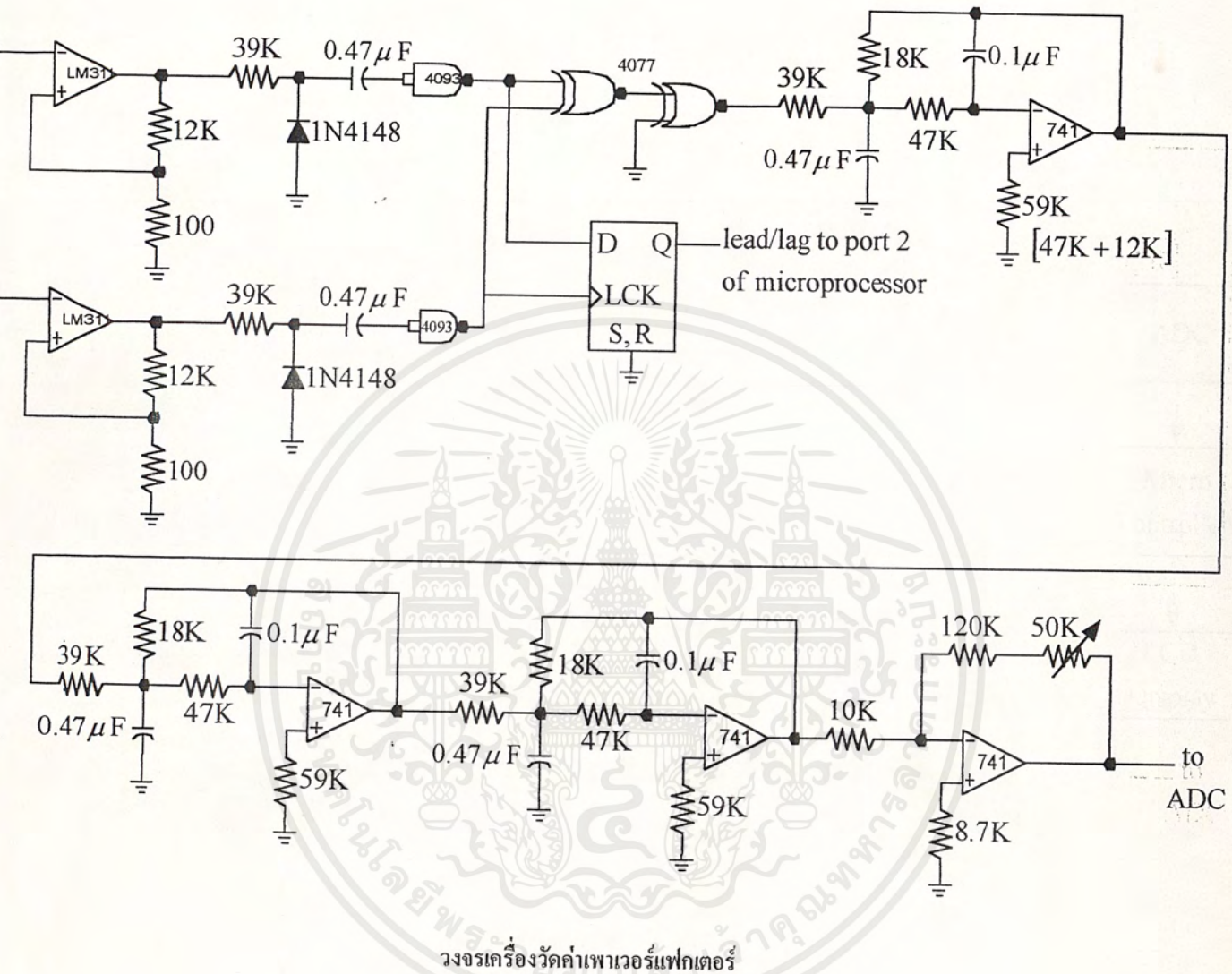
บทวิจารณ์และบทสรุป

เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ได้เป็นเครื่องวัดที่ออกแบบอย่างง่ายๆราคาอุปกรณ์ที่นำมาต่อประกอบราคา เหมาะสมกับการใช้งานได้ผลง่ายที่ได้จากเครื่องมือวัดมีความถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงกับความเป็นจริงโดยจะมีค่าผิดพลาดไปบ้างก็อาจจะเนื่องจากการคำนวณหรือการคัดแปลงค่าต่างๆ ภายในวงจร โดยที่วงจรนี้ออกแบบโดยไม่ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูด (Amplitude)ของสัญญาณที่เข้ามา แต่จะเทียบการเลื่อนห่างของเฟสที่แตกต่างกันเพียงอย่างเดียว

เนื่องจากวงจรซีโร่ครอสซิงดีเทกเตอร์นั้นมีค่าแรงดันไฟฟ้าฮิสทิรีซิสที่ทำให้มีค่าความผิดพลาดของการวัดเนื่องจากวงจรทั้ง 2 วงจรนั้นอาจมีค่าแรงดันไฟฟ้าฮิสทิรีซิสไม่เท่ากันซึ่งอาจเป็นค่าของความต้านทานหรือการที่ไอซีที่ใช้มีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกัน

ถ้ามีข้อผิดพลาดประการใดทางคณะผู้จัดทำต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรเครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

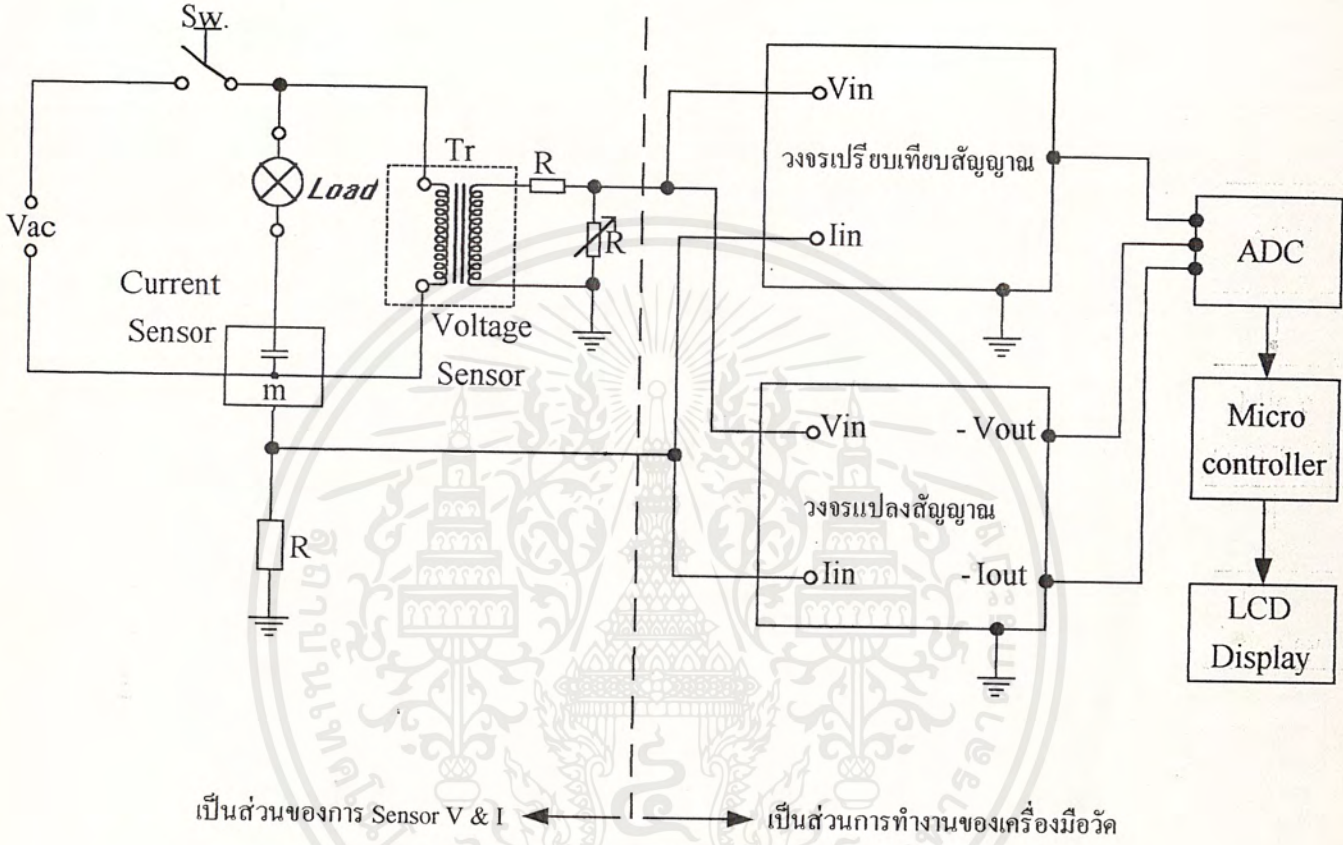
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทเพิ่มเติมเกี่ยวกับการแก้ power factor

ส่วนของการแก้ Power factor ประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ

1.ส่วนของการ Sensor สัญญาณแรงดันและกระแส

2.ส่วนของการทำงานของเครื่องมือวัด



รูปแสดงการทำงานของการแก้ Power factor

ปัญหาที่เกิดขึ้น

คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลดมีค่าน้อยมาก เมื่อผ่าน Current Sensor จึงทำให้ผลของการแก้ Power factor ผิดพลาด เนื่องจากกระแสที่เราได้มีค่าน้อยมาก เมื่อนำไปขยายจึงทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าเพี้ยน ไม่สามารถที่จะทำการแก้ Power factor ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดง ค่าตัวคูณที่ใช้ในการปรับปรุงค่า PF(Power Factor) โดยใช้ตัว C

PF	ตัวประกอบกำลัง																				
ที่ต้องการ	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1..369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732
0.51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1..088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308	1.335	1.416	1.559
0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.093	1.124	1.156	1.190	1.227	1.268	1.316	1.376	1.519
0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0..834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.963	0.996	1.024	1.054	1.085	1.117	1.151	1.188	1.229	1.277	1.337	1.480
0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191	1.239	1.299	1.442
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405
0.59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.113	1.166	1.226	1.369
0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.793	0.821	0.849	0.877	0.907	0.938	0.970	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333
0.61	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.706	0..732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.299
0.62	0.512	0.542	0.568	0..594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.726	0.754	0.782	0.810	0..840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266
0.63	0.483	0.509	0.535	0..561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0..721	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.987	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.474	0.503	0.529	0.555	0.581	0..608	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.806	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.066	1.201
0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.968	1.026	1.169
0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0935	0.995	1.136
0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108
0.68	0.328	0.354	0.380	0.405	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	1.078
0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020
0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.567	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0..514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855
0.77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.685	0.829
0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.599	0.659	0.802
0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776
0.80	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0..424	0.458	0.499	0.547	0.609	0.750
0.81		0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82			0.000	0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0..272	0.303	0..335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698
0.83				0.000	0..026	0.052	0.078	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0..246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0..529	0.672
0.84					0.000	0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0..503	0.646
0.85						0.000	0.027	0.053	0.080	0.108	0.138	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86							0.000	0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.593
0.87								0.000	0.027	0.055	0.083	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0..316	0.364	0.424	0.567
0.88									0.000	0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89										0.000	0.028	0.056	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.251	0.309	0.369	0.512
0.90											0.000	0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484
0.91												0.000	0.030	0.061	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92													0.000	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93														0.000	0.032	0.068	0.103	0.144	0.192	0.252	0.395
0.94															0.000	0.034	0.071	0.112	0.160	0.220	0.363
0.95																0.000	0.037	0.079	0.126	0.186	0..329
0.96																	0.000	0.041	0.089	0.149	0.292
0.97																		0.000	0.048	0.108	0.251
0.98																			0.000	0.050	0.203
0.99																				0.000	0.143
																					0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง

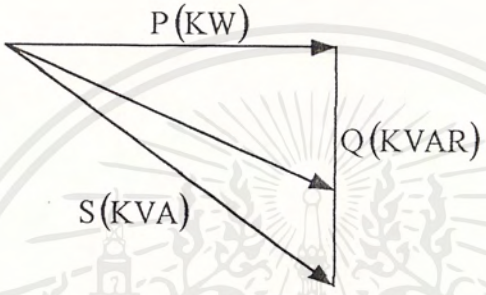
จงหาค่า KVAR ที่ใช้ในการปรับปรุงค่า PF ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงค่า PF ไปสู่ค่า 0.9 โดยสมมุติให้ PF รวมของกลุ่มโหลดหนึ่งมีค่า KW = 120 และ PF = 0.8

วิธีทำ

จากตาราง โหลด 120 KW ค่า PF เดิมมีค่าเท่ากับ 0.8 เมื่อต้องการปรับค่า PF ไปสู่ค่า 0.9 จะได้เท่ากับ 0.266

$\therefore$ ค่า KVAR ของ C = 120 KW $\times$ 0.266

= 32 KVAR



การปรับปรุงค่า PF

$$\cos\theta = \text{PF} = \frac{\text{KW}}{\text{KVA}}$$

$$\tan\theta = \frac{\text{KVAR}}{\text{KW}}$$

$$\sin\theta = \frac{\text{KVAR}}{\text{KVA}}$$

เนื่องจากค่า KW จะมีค่าคงที่ ส่วนค่า KVA และ KVAR นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลง ดั้งนั้น สามารถหาค่า

$$\text{KVAR} = \text{KW} \times \tan\theta$$

ดังนั้น KVAR ก่อนการปรับปรุง $\text{PF} = \text{KW} \times \tan\theta_1$

KVAR หลังการปรับปรุง $\text{PF} = \text{KW} \times \tan\theta_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\therefore$ ค่า KVAR ของ $C = KW(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$

หรือ KVAR ของ $C = KW(\Delta \tan\theta)$

เช่น สมมุติว่า ให้หาค่า KVAR ที่ใช้ในการปรับค่า PF ในกรณีที่ต้องการปรับค่า PF ไปสู่ค่า 0.9 FFโดย สมมุติให้ค่า PFรวมของกลุ่มโหลดหนึ่งมีค่า PF= 0.8

$$PF = 0.8 \quad = \theta_1 = \cos^{-1} 0.8 = 36.87$$
$$PF = 0.9 \quad = \theta_2 = \cos^{-1} 0.9 = 25.84$$

$\therefore$ ค่า KVAR ของ

$$\begin{aligned} C &= KW(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \\ &= KW(\tan 36.87 - \tan 25.84) \\ &= KW(0.266) \end{aligned}$$

หรือ แก้ PF จาก 0.6 $\longrightarrow$ 0.95 จงหาค่า KVAR ของ C

$$\theta_1 = \cos^{-1} 0.6 = 53.13$$
$$\theta_2 = \cos^{-1} 0.95 = 18.19$$

$\therefore$ ค่า KVAR ของ

$$\begin{aligned} C &= KW(\tan 53.13 - \tan 18.19) \\ &= KW(1.004) \end{aligned}$$

* ซึ่งค่า C ที่จะใช้แก้ power factor นี้จะเลือกได้จากตัวคูณในตาราง นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนจาก ท่านอาจารย์ วิริยะ กองรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการจัดทำ

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาคเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ติชม รวมทั้งให้กำลังใจกับคณะผู้จัดทำตลอดมา

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนนักศึกษาที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือ คอยให้กำลังใจและแนวคิดตลอดเวลาในการทำโครงงานนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิง

[1] ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ ,ทฤษฎีวงจรอิเลคทรอนิกส์ , สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ กรุงเทพฯ

[2] ธเนส ศิริไตรวัฒนาพร , การวัดและเครื่องมือวัด ตอน เพาเวอร์แฟกเตอร์มอเตอร์ เซมิคอนดักเตอร์อิเลคทรอนิกส์ , 2536 , ฉบับที่ 130 , หน้า 74 - 76

[3] เศกสิทธิ์ คำชมภู , สุดยอดวัตต์มิเตอร์ ตอน 1 การทำงานของวงจร เซมิคอนดักเตอร์อิเลคทรอนิกส์ , 2537 ,ฉบับที่ 135 , หน้า 52 – 57

[4] เศกสิทธิ์ คำชมภู , สุดยอดวัตต์มิเตอร์ ตอนจบ การสร้างและการใช้งาน เซมิคอนดักเตอร์อิเลคทรอนิกส์ , 2537 ,ฉบับที่ 136 , หน้า 36 – 45

[5] พิพัฒน์ เลาหสงคราม , ไมโครคอนโทรลเลอร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[6] SILA RESEARCH CO,LTD , " **User' s manual Dot Matrix LCD Module** "

[7] Coighin,Robert F, and Driscoll , Frederick F , "**Operational Amplifier and Linear Integrated Circuits** ", Prentice – Hall Inc , Englewood Cliffs , **N.J.**

[8] Barna,Arpad and Porat,Dan I," **Operational Amplifier**", John Wiley & Sons Inc, New York 1989

[9] T.K.M Babu and Wong , Tak Wing ,1989 , "**Novel low-cost Electronic Power Factor Meter** " International Journal of Electronic , 1989 ,Vol.67 , No.I , pp 147- 151

[10] Irvine,Robert G ," **Operational Amplifier Characteristics and Applications** " Prentice – Hall Inc, Englewood Cliffs , N.J, 1987

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้