การออกแบบวงจรอีเล็คทรอนิคในระบบโรงงานอุตสาหกรรม

INDUSTRIAL ELECTRONIC CIRCUIT DESIGN

นาย เรืองพจน์ ภักดุรงค์

Mr. RUANGPOJ PHAKDURONG

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ สิทธิชัย โภไคยอุดม

ASSOCIAT PROFESSOR SITTHICHAI POOKAIYAUDOM

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๒๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฟอร์มการให้คะแนนการสอบวิทยานิพนธ์

สำหรับนักศึกษาปริญญาโท

ชื่อนักศึกษา นายเรืองพจน์ ภัคคุรงค์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบวงจรอิเลคทรอนิคในระบบโรงงานอุตสาหกรรม

INDUSTRIAL ELECTRONIC CIRCUIT DESIGN.

ชื่ออาจารย์ผู้สอบสัมภาษณ์	ลายมือชื่อ	ผลการสอบ
รศ.ดร.โกศล เพ็ชรสุวรรณ		
รศ.ดร.สิทธิชัย โภไคยอุดม		
ผศ.ดร.พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ		
ดร.พัลลภ เหล่าเจริญ		
อาจารย์นิทัศน์ กฤษณจินดา		

วัน – เดือน – ปี ที่สอบ ๒๗ ต.ค. ๒๕๒๖ เวลา ๑๐.๐๐ น. (A ๓๐๕)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

009379

สารบาญ

บทคัดย่อ IV

ABSTRACT V

บทที่ ๑ บทนำ ๑

บทที่ ๒ เพาเวอร์ โซลิดสเตจ ๓ เฟส โมนิเตอร์ ๓

๒.๑ บทนำ ๓

๒.๒ แนวความคิดในการออกแบบวงจรที่ใช้ในการตรวจสอบ และคุณลักษณะต่าง ๆ ของแรงไฟในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส ๔

๒.๓ ส่วนการทำงานต่าง ๆ ในวงจรตรวจสอบ ๕

๒.๔ วงจรที่ใช้งาน ๑๒

๒.๕ รายละเอียดอุปกรณ์ ๑๓

๒.๖ ลำดับการทำงานของวงจร ๑๕

๒.๗ ผลการทดสอบวงจร ๑๗

๒.๘ แนวความคิดในการนำเอาทีจีดัล ไอ.ซี.มาใช้งานในวงจรเปรียบเทียบระดับศักดา ๑๘

๒.๙ วงจรที่ใช้งานจริง ๒๑

๒.๑๐ รายละเอียดของอุปกรณ์ ๒๒

๒.๑๑ ลำดับขั้นตอนการทำงานของวงจร ๒๓

๒.๑๒ ผลการทดสอบวงจร ๒๔

บทที่ ๓ มอเตอร์ โปรเท็คเตอร์ ๒๕

๓.๑ บทนำ ๒๕

๓.๒ การวิเคราะห์หาผลการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาไฟฟ้าเมื่อเกิดการขาดหายของกำลังไฟฟ้าในเฟสใดเฟสเฟสหนึ่ง ๒๕

๓.๓ เคอร์เรนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ ๓๒

๓.๔ การใช้คุณลักษณะการกำธรของวงจร L,C ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบขนาดกระแสของเคอร์เรนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ ๓๗

๓.๕ วงจรป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส ๓๗

๓.๖ วงจรที่ใช้งานจริง ๓๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓.๗ รายละเอียดของอุปกรณ์ ๔๐

๓.๘ การทำงานของวงจร ๔๒

๓.๙ ผลการทดลองของวงจร ๔๓

บทที่ ๔ เฟส ซีเควนซ์ โมนิเตอร์ ๔๔

๔.๑ บทนำ ๔๔

๔.๒ ฝังการทำงานของวงจร เฟส ซีเควนซ์ โมนิเตอร์ ๔๔

๔.๓ วงจรที่ใช้ในการทดลอง ๔๘

๔.๔ รายละเอียดของอุปกรณ์ ๔๙

๔.๕ ลำดับการทำงานของวงจร ๕๐

๔.๖ ผลการทำงานของวงจร ๕๐

บทที่ ๕ ไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ ๕๒

๕.๑ บทนำ ๕๒

๕.๒ หลักการและแนวความคิดในการออกแบบวงจรส่วน ไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ ๕๒

๕.๓ หลักการทำงานของวงจร ไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ และฝังการทำงานของวงจร ๕๔

๕.๔ วงจรที่ใช้งานจริง ๕๗

๕.๕ รายละเอียดของอุปกรณ์ ๖๐

๕.๖ การทำงานของวงจร ๖๔

๕.๗ ผลการทดสอบการทำงานของวงจรไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ ๖๖

บทที่ ๖ เฟส มิเตอร์ ๖๗

๖.๑ บทนำ ๖๗

๖.๒ คุณลักษณะสำคัญในการใช้งาน เฟส มิเตอร์ ๖๗

๖.๓ เทคนิคที่ใช้ใน เฟส มิเตอร์ ที่สร้างขึ้น ๖๘

๖.๔ ภาคการทำงานของเฟส มิเตอร์ ๗๖

๖.๕ วงจรที่ใช้งานจริง ๗๙

๖.๖ รายละเอียดของอุปกรณ์ ๘๒

๖.๗ การทำงานของวงจรในเฟส มิเตอร์ ๘๔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๗.๘ ผลการทดลอง ๘๗

บทที่ ๗ การพัฒนาเครื่องป้องกันอุปกรณ์ระบบไฟฟ้า ๓ เฟส และ ๑ เฟส ๘๘

๗.๑ เครื่องป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟ ๓ เฟส ๘๘

๗.๒ เครื่องป้องกันระดับศักดาในสายส่งสูงหรือต่ำกว่ากำหนด ในระบบไฟฟ้า ๑ เฟส ๙๘

๗.๓ เครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส ๑๐๒

๗.๔ เครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟฟ้า ๑ เฟส ๑๑๐

บทที่ ๘ บทสรุป ๑๑๒

กิตติกรรมประกาศ ๑๑๖

เอกสารอ้างอิง ๑๑๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงปัญหาของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบโรงงานที่มักจะประสพอยู่เสมอ จากผลการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาไฟฟ้าในสายส่ง พร้อมทั้งได้เสนอแนะแนวทางในการตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นในสายส่งทั้งทางด้านระดับศักดาไฟฟ้า และขนาดของกระแสไฟฟ้าที่อุปกรณ์ในโรงงานใช้งานอยู่ รวมถึงแนวทางป้องกันเพื่อมิให้เกิดความชำรุดเสียหายขึ้นกับอุปกรณ์นั้น ๆ โดยการออกแบบวงจรเพาเวอร์ โวลท์เตจ โมนิเตอร์ มาใช้ในการตรวจสอบระดับศักดาไฟฟ้าในสายส่ง เพื่อป้องกันการชำรุดของอุปกรณ์ที่จะเกิดขึ้นจากระดับศักดาไฟฟ้าในสายส่งสูงหรือต่ำกว่าขีดกำหนด วงจรเฟสซีเควนซ์ - โมนิเตอร์ ที่ใช้ตรวจสอบเฟสของศักดาไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ในกรณีที่การทำงานของอุปกรณ์นั้น ๆ ถูกกำหนดทิศทางจากเฟสของไฟฟ้า ๓ เฟส และวงจรป้องกันกระแสเกินขีดกำหนดที่ใช้ตรวจสอบขนาดของกระแสที่อุปกรณ์ใช้งานอยู่ โดยอาศัย เคอร์เรนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ ที่สร้างขึ้นเองในราคาถูกและมีประสิทธิภาพดี นอกเหนือจากนั้นยังได้เสนอแนวทางแก้ไขความผิดปกติอันเนื่องจากผลการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาไฟฟ้าในสายส่ง โดยการออกแบบสร้างวงจร ไลน์ โวลท์เตจ - เรกูเลเตอร์ขึ้น

โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ประเภทมอเตอร์ เมื่อกำลังไฟฟ้าในสายส่งเฟสใดเฟสหนึ่งขาดหายไป การตรวจสอบจำเป็นต้องอาศัยทั้งระดับศักดาและขนาดของกระแสเป็นตัวกำหนด การแก้ไขจึงต้องออกแบบวงจร มอเตอร์ โปรเท็คเตอร์ เข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นนี้

วงจรที่ได้ออกแบบมาทั้งหมดนี้ได้ถูกทดสอบคุณสมบัติ และประสพผลสำเร็จในการทดลองใช้งานจริงในระบบโรงงานอุตสาหกรรมทั้งในกรุงเทพฯและต่างจังหวัดมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Thise thesis has mentioned about the problems of electrical equipments which usually found in the factories and cause by the voltage deviation of transmission line. And also this thesis introduce the investigation procedure of irregularity in the transmission line as voltage deviation exceeding current , and dissapearring one phase ormore. The main ideaof thise thesis is assigned how to protect those electrical equipments from mentioned problems. Then many circuits have been designed and missterred in this thesis:

Power Voltage Monitor is designed by detecting the voltage deviation of transmission line which exceed or under the assigned limit for protection the electrical equipments.

Phase-Sequence Monitor is designed by detecting the phase sequence or the lost of any phase which apply to the electrical equipments and will be protected before the damages occur.

Line-Voltage Regulator is designed for correcting irregularity about the voltage deviation of the transmission line and apply the most stable line voltage.

Especially, motor is one of the most important electrical equipment which usually found it has been affected by irregularity of transmission line . Then Motor Protection is submitted for protecting the lost of any phase, exceeding assigned current and out of the assigned voltage range,

All circuits which submitted in this thesis has been tested and accomplish in laboratory, and also practical-use in factories which locate in Bangkok and other provinces.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๑

บทนำ

ในระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับทั้งกระแสไฟฟ้าเฟสเดียวและกระแสไฟฟ้า ๓ เฟส ในทางด้านโรงงานซึ่งเป็นตัวรับกำลังไฟฟ้ามาใช้งาน โดยทั่วไปมักประสบปัญหาความยุ่งยากอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของแหล่งจ่ายซึ่งมีขึ้นอยู่ตลอดเวลา ผลอันเนื่องมาจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้เกิดความชำรุดเสียหายของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรซึ่งพึ่งกำลังไฟฟ้านี้เป็นต้นกำเนิดกำลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบโรงงานขนาดใหญ่ ความชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นนี้ นอกจากจะยังผลให้เกิดความสูญเสียในตัวอุปกรณ์และเครื่องจักรแล้ว ยังต้องเสียผลิตผลในโรงงานอันเนื่องมาจากการหยุดงานของเครื่องจักรนั้น ๆ ตามมา

ดังนั้น จึงถือเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งยวดสำหรับระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าในโรงงานที่จะต้องมีการป้องกันและควบคุมแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามาเลี้ยงในโรงงาน มิให้เกิดความผิดพลาดเกิดขึ้นได้

ปัญหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้อาจรวบรวมได้เป็น

- การเปลี่ยนแปลงระดับศักดาที่เกิดขึ้นอย่างกระทันหันภายในสายส่งกำลังไฟฟ้าอันเนื่องมาจากฟ้าผ่า
- การเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาอย่างกระทันหัน (Fault) ที่เกิดขึ้นจากข้อชัดข้องของแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าทางด้านโรงผลิตกระแสไฟฟ้า
- การเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาไฟฟ้าที่จ่ายมายังโรงงาน ซึ่งอาจสูงหรือต่ำเกินกว่าย่านปลอดภัยในการใช้งานของอุปกรณ์ในโรงงาน
- การขาดหายของกระแสไฟฟ้าในเฟสใดเฟสหนึ่งของระบบไฟฟ้า ๓ เฟส

๑.๑ การเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาที่เกิดขึ้นอย่างกระทันหันภายในสายส่งกำลังไฟฟ้าอันเนื่องมาจากฟ้าผ่า

โดยปกติแล้วตามข้อกำหนดในการจ่ายกระแสไฟฟ้ากำลังระบบสายส่ง ในแต่ละช่วงที่สายส่งกำลังเดินผ่านเสาแต่ละช่วงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า (Lightning arrester)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อป้องกันการคายประจุของไฟฟ้าสถิตในบรรยากาศในรูปของฟ้าผ่า แต่ในบางครั้งบางกรณีอาจเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งทำให้อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าในระบบสายส่งเกิดชำรุดขัดข้อง ซึ่งส่วนใหญ่จะพบว่าสายดินที่เดินจากยอดเสาส่งลงมาเกิดขาดกลางหรือจุดต่อชำรุดในบริเวณท้องถิ่น ผลที่เกิดขึ้นตามมาเมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้นจะทำให้ระดับศักดาที่ปรากฏในสายส่งบริเวณช่วงนั้นมีค่าสูงขึ้นเกินขอบเขตปลอดภัยของอุปกรณ์ที่ต่อรับกำลังไฟฟ้าในช่วงบริเวณนั้นมาใช้งาน ยังผลให้เกิดการชำรุดเสียหายขึ้นได้

ดังนั้น เพื่อป้องกันผลของอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้จากการที่ระดับศักดาพุ่งสูงขึ้นอันเนื่องมาจากฟ้าผ่านี้ จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันศักดาที่สูงขึ้นอย่างกระทันหันนี้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะอาศัยคุณสมบัติในการเกิดศักดาเขตทะลาย (Break down) มาใช้งานในหน้าที่นี้ โดยค่าศักดาเขตทะลายของอุปกรณ์ป้องกันที่นำมาใช้ในหน้าที่นี้ จะต้องมีค่าสูงกว่าระดับศักดาใช้งานปกติที่อุปกรณ์นี้ใช้งานป้องกันอยู่ แต่จะต้องมีค่าต่ำกว่าระดับศักดาเขตปลอดภัยที่ระบบยังสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยอยู่ด้วย

๑.๒ การเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาอย่างกระทันหันที่เกิดขึ้นจากข้อขัดข้องของแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าทางด้านโรงผลิตกระแสไฟฟ้า ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแล้ว อุปกรณ์จำพวกคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ซึ่งในกรณีที่เกิดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายมาเสียงเกิดขาดไปในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ การชะงักงันช่วงนี้จะส่งผลให้ตัวคอมเพรสเซอร์เกิดโอเวอร์โหลด (Over load) อันอาจทำให้ชำรุดเสียหายได้

๑.๓ การเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาไฟฟ้าที่จ่ายมายังโรงงาน ซึ่งอาจมีค่าสูงหรือต่ำกว่าขอบเขตปลอดภัยของอุปกรณ์ในโรงงานที่ใช้งานอยู่ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาในช่วงระยะวันหนึ่ง ๆ ระดับศักดาไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจะก่อให้เกิดความผิดพลาดต่อระบบงานในโรงงานขึ้นได้เสมอ

๑.๔ การขาดหายของกระแสไฟฟ้าในเฟสใดเฟสหนึ่งของระบบไฟฟ้า ๓ เฟส ที่เกิดขึ้นในกรณีที่ภารกรรมในระบบโรงงานที่ใช้อยู่เป็นอุปกรณ์พวกมอเตอร์ (Motor) ผลที่เกิดขึ้นตามมาจะทำให้เกิดการชำรุดเสียหายขึ้นในอุปกรณ์เหล่านี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๒

เพาเวอร์ โวลท์เตจ ๓ เฟส โมนิเตอร์

(Power voltage 3 phase monitor)

๒.๑ บทนำ

จากผลการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามาในโรงงานมีการเปลี่ยนแปรไปตามอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ตามขีดขั้นความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงจ่ายไฟฟ้าอันขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องจ่ายไฟฟ้า (Generater) เมื่อมีการใช้กำลังไฟฟ้าเกินขีดกำหนดจะยังผลให้ระดับศักดาไฟฟ้าที่จ่ายตกลง หรือในกรณีที่ระดับการใช้กำลังไฟฟ้าลดลงศักดาไฟฟ้าที่จ่ายจะมีค่าสูงขึ้น การเพิ่มหรือลดลงของศักดาไฟฟ้านี้ถ้าเกินขีดกำหนดของภารกรรมในระบบที่รับกำลังไฟฟ้านั้นมาใช้งาน อาจทำให้เกิดการชำรุดเสียหายขึ้นได้ ในทางด้านโรงงานอุตสาหกรรมจึงจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบระดับศักดาไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามาเลี้ยงอุปกรณ์ในโรงงานตลอดเวลาที่ใช้งานอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส ซึ่งมีความจำเป็นจะต้องมีระดับศักดาไฟฟ้าของแรงไปทั้ง ๓ เฟส อยู่ในลักษณะสมดุลย์ (Balance) กันให้มากที่สุดเสมอ กรณีที่ศักดาไฟฟ้าในแรงไฟทั้ง ๓ เฟส เกิดการไม่สมดุลย์ (Unbalance) ขึ้น อาจทำให้เครื่องมือเครื่องใช้เกิดการชำรุดเสียหายขึ้นได้

การป้องกันการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามาเลี้ยงในระบบโรงงานจึงจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายนำ ซึ่งคุณลักษณะต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบได้แก่

- ระดับศักดาไฟฟ้าที่จ่ายเข้าว่ามีค่าสูงหรือต่ำเกินกว่าขีดกำหนดหรือไม่ ซึ่งในทางปฏิบัติจริงตามโรงงานจะยอมให้มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดเกินกว่าศักดาไฟฟ้าที่จุดทำงานปกติไม่เกิน ๒๐%
- ค่าเปอร์เซนต์ความแตกต่างของระดับศักดาไฟฟ้าในแรงไฟแต่ละเฟสของระบบไฟฟ้า ๓ เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๒ แนวความคิดในการออกแบบวงจรที่ใช้ในการตรวจสอบและคุณลักษณะต่าง ๆ ของแรงไฟในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส (Power voltage and 3 phase monitor)

แนวความคิดในการออกแบบวงจรที่ใช้ในการตรวจสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วและควบคุมให้การทำงานภารกรรมในระบบโรงงานอยู่ในขอบเขตของแรงไฟที่กำหนด ควรจะมีหลักการดังต่อไปนี้

๒.๒.๑ มีการไอโซเลท (Isolate)ระหว่างวงจรทางด้านไลน์เอซี (Line AC) กับตัววงจรด้านอุปกรณ์ตรวจสอบเพื่อป้องกันอันตรายอันอาจเกิดขึ้นต่อผู้ใช้อุปกรณ์นั้น

๒.๒.๒ มีการป้องกันวงจรในขณะทำงานอันเนื่องจากอุบัติเหตุด้านฟ้าผ่า

๒.๒.๓ วงจรที่ใช้งานควรมีสัญญาณเตือนขึ้นำ(Indicator) ซึ่งอาจเป็นสัญญาณเสียงเตือนหรือหลอดไฟแสดง เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทราบได้ถึงความผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งสาเหตุที่บ่งถึงความผิดปกตินั้น ๆ

๒.๒.๔ วงจรที่ใช้งานในการตรวจสอบระดับศักดาไฟฟ้า ควรสามารถปรับปรุงตั้งขีดกำหนดทั้งทางด้านสูงสุดและต่ำสุดของย่านระดับศักดาไฟฟ้าที่ใช้งานได้อย่างพอเพียง

๒.๒.๕ ในกรณีสำหรับระบบไฟฟ้า ๓ เฟส การตรวจสอบระดับศักดาไฟฟ้าที่จ่ายเข้าควรจะสามารถตรวจสอบได้ทั้งระบบไฟฟ้า ๓ เฟส แบบสตาร์ (Star)และแบบเดลต้า (Delta) ด้วย

๒.๒.๖ แหล่งจ่ายไฟที่ใช้เลี้ยงวงจรตรวจสอบระบบไฟฟ้า ๓ เฟส ควรมีความสามารถในการจ่ายเลี้ยงให้วงจรสามารถทำงานได้อย่างเที่ยงตรง แม้มีการขาดหายของแรงไฟไปถึง ๒ เฟส พร้อม ๆ กันก็ตาม

๒.๒.๗ มีการป้องกันระบบการทำงานของวงจรจากการรบกวนต่าง ๆ ที่อาจเกิดมีขึ้นในไลน์เอซี

๒.๒.๘ ในกรณีที่ภารกรรมที่ใช้งานอยู่ในระบบโรงงานเป็นคอมเพรสเซอร์จำเป็นจะต้องการทำงานของวงจรตรวจสอบ มีการหน่วงเวลาไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่งหลังจากที่การขาดหายหรือความผิดปกติของกระแสไฟฟ้าในระบบกลับเป็นปกติแล้ว วงจรตรวจสอบจึงจะยินยอมให้ภารกรรมในระบบโรงงานนั้นได้รับแรงไฟเป็นปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทำงานของวงจรตรวจสอบซึ่งมีขีดขั้นตอนตามที่กล่าวมาแล้วนั้น เมื่อตรวจพบถึงสาเหตุของความผิดปกติใด ๆ ขึ้น การทำงานของวงจรตรวจสอบจะต้องหยุดการจ่ายแรงไฟที่เข้าไปเลี้ยงยังระบบต่าง ๆ ในโรงงานทันที

๒.๓ ส่วนการทำงานต่าง ๆ ในวงจรตรวจสอบ (Block diagram)

จากขีดขั้นความสามารถในการทำงานของวงจรตรวจสอบตามแนวทางที่กล่าวแล้วนั้น เมื่อกล่าวถึงองค์ประกอบในส่วนการทำงานของวงจร จะเป็นไปตามรูปที่ ๒.๑ ซึ่งมีหลักการการทำงานของส่วนต่าง ๆ ในวงจรเป็นไปดังนี้ คือ

๒.๓.๑ ส่วนเปลี่ยนระดับศักดาสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (AC to DC converter)

โดยวงจรตรวจสอบจะต้องมีการดึงเอาสัญญาณจากระดับศักดาไฟฟ้าในไลน์เอซีออกมาและแปลงไปเป็นศักดาไฟฟ้าตรง (DC) ซึ่งนอกเหนือจากหน้าที่หลักในส่วนนี้แล้ว ในขั้นตอนช่วงนี้จะมีไว้เพื่อจุดประสงค์ในการ

- ไอโซเลทระหว่างวงจรทางด้านไลน์เอซีและวงจรภายในที่รับส่วนสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงออกไปใช้งาน

- ลดทอนระดับศักดาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของวงจร

จากระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากการแปลงทางด้านไลน์เอซี โดยที่สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาแปรผันตรงตามระดับศักดาไฟฟ้าทางด้านไลน์เอซีแล้วผ่านเข้าสู่สถานเปรียบเทียบระดับศักดาสัญญาณ (Voltage comparator) ต่อไป

๒.๓.๒ ส่วนเปรียบเทียบระดับศักดา (Voltage comparator)

ระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่นำเข้าสู่ส่วนการทำงานนี้ จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับระดับศักดาอ้างอิงซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นจุดกำหนดในการทำงานของวงจร โดยขั้นตอนในส่วนของการทำงานส่วนนี้มีไว้เพื่อวัตถุประสงค์ในการที่

- เปลี่ยนลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งอยู่ในลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางด้านอานาลอก (Analog) ไปเป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านดิจิตัล (Digital)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากคุณลักษณะของสัญญาณทางด้านดิจิตัลทำให้วงจรสามารถตั้งจุดกำหนดในการทำงานลักษณะเปิด (On)หรือปิด (Off) โดยให้ขึ้นอยู่กับระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่เปลี่ยนแปลงไปได้

ในส่วนการทำงานช่วงนี้จะมีลักษณะการตั้งจุดการทำงานของวงจรเป็นสองลักษณะคือ

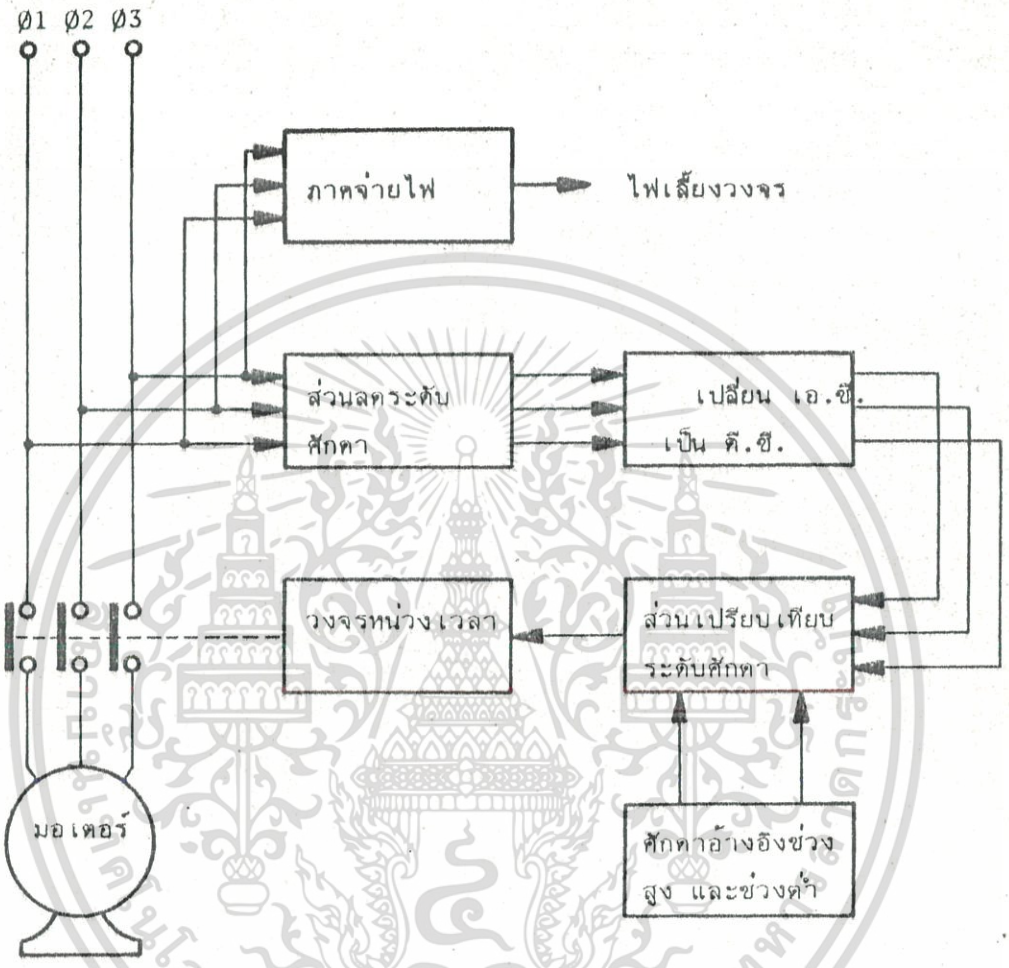
- การตั้งจุดกำหนดการทำงานของวงจรอยู่ที่ระดับศักดาจุดเดียว ซึ่งในลักษณะนี้การทำงานของวงจรจะอยู่ในรูปที่วงจรจะมีการเปลี่ยนสถานะการทำงานเปิดหรือปิดไปจากเดิมเมื่อระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงสูงเกินกว่าจุดกำหนดที่ตั้งไว้หรืออาจมีการเปลี่ยนสถานะการทำงานเปิดหรือปิดไปเมื่อระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงต่ำกว่าจุดกำหนดที่ตั้งไว้ก็ได้

- การตั้งจุดกำหนดการทำงานของวงจรอยู่ที่ระดับศักดาสองจุด โดยจุดกำหนดที่ตั้งไว้นี้จะจัดเป็นช่วงคล่อมอยู่ระหว่างระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่เข้ามาขณะปกติ ซึ่งในลักษณะนี้การทำงานของวงจรจะอยู่ในรูปที่วงจรจะมีการเปลี่ยนสถานะการทำงานเปิดหรือปิดไปจากเดิม เมื่อระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงมีการเปลี่ยนแปลงออกนอกช่วงระหว่างจุดกำหนดทั้งสองออกไป และจะมีการเปลี่ยนสถานะการทำงานปิดหรือเปิดของวงจรอีกครั้ง เมื่อระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเปลี่ยนแปลงกลับเข้ามาอยู่ในระหว่างจุดกำหนดทั้งสอง

จากการเปลี่ยนสถานะการทำงานเปิดหรือปิดของวงจาที่กล่าวมาแล้วนั้น จะถูกนำไปใช้ควบคุมในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าไปเลี้ยงภาระกรรมในระบบโรงงาน ซึ่งในส่วนหลังสุดนี้สำหรับกรณีภารกรรมที่รับกำลังไฟฟ้าไปใช้งานในระบบเป็นอุปกรณ์พวกคอมเพรสเซอร์จำเป็นจะต้องมีส่วนการทำงานชุดหน่วงเวลา (Delay time) ขึ้นอยู่ในส่วนหลังก่อนที่จะนำเอาสถานะการเปิดหรือปิดของวงจรออกไปควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งจุดประสงค์ในการทำงานของส่วนนี้จะมีไว้เพื่อป้องกันการขาดหายของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามาเลี้ยงระบบโรงงานในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายขึ้นกับคอมเพรสเซอร์ได้ โดยที่ผลของการที่กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าเกิดการขาดหายไปในช่วงระยะเวลาอันสั้นนี้ และกลับมีเป็นปกติขึ้นใหม่อีกครั้ง จะทำให้เกิดอาการช็อค (Shock) ขึ้นในการอัดความดันภายในคอมเพรสเซอร์ ภาวะนี้จะทำให้คอมเพรสเซอร์อยู่ในภาวะที่ทำงานเกินขีดภาวะ โดยส่งผลถึงความเสียหายที่ติดตามมาได้

จากผังการทำงานของการตรวจสอบระดับศักดาไฟฟ้าของแรงไฟในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



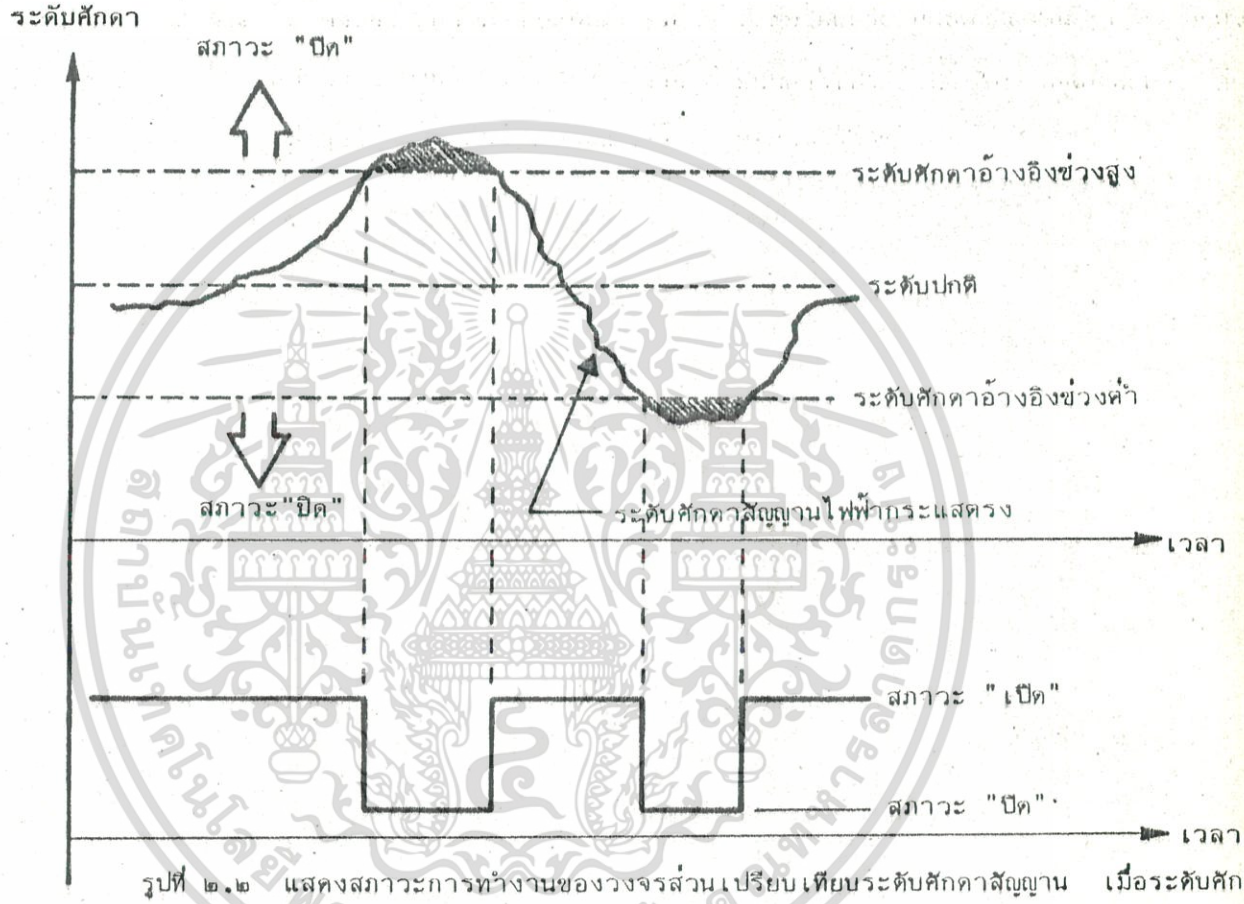
รูปที่ ๒.๑ แสดงส่วนการทำงานต่างๆ ของวงจรตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปที่ ๒.๑ เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแปรผันโดยตรงกับระดับการเปลี่ยนแปลงของศักดาไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านไลน์เอซี จากส่วนการทำงานของวงจรแปลงศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงป้อนตรงเข้าสู่ส่วนการทำงานของวงจรเปรียบเทียบระดับศักดาสัญญาณซึ่งจะเปรียบเทียบระดับศักดาไฟฟ้าของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่เข้ามากับระดับศักดาอ้างอิง (Voltage reference) ซึ่งมีอยู่สองระดับ สถานะการทำงานของวงจรส่วนเปรียบเทียบระดับศักดาสัญญาณจะขึ้นอยู่กับระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่เข้ามาเมื่อมีค่าสูงกว่าระดับศักดาอ้างอิงทางด้านสูง (High voltage reference) สถานะการทำงานของวงจรส่วนนี้จะอยู่ในตำแหน่งปิดหรือเมื่อระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงทางเข้ามีค่าต่ำกว่าระดับศักดาอ้างอิงทางด้านต่ำ (Low voltage reference) สถานะการทำงานของวงจรส่วนนี้ก็จะอยู่ในตำแหน่งปิดเช่นเดียวกัน แต่ถ้าระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงทางเข้ามีค่าอยู่ระหว่างระดับศักดาอ้างอิงทั้งสองจุดนี้ สถานะการทำงานของวงจรจึงจะอยู่ในตำแหน่งเปิด ดังรูปที่ ๒.๒

สถานะการทำงานของวงจรในส่วนเปรียบเทียบระดับศักดาสัญญาณทั้งตำแหน่งเปิดและปิดนี้ จะเป็นการชี้นำให้เห็นถึงความปกติหรือผิดปกติในระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เข้ามาภายในวงจรได้อย่างชัดแจ้ง และจากผลของสถานะในการทำงานของวงจรส่วนนี้เอง จะได้ส่งผ่านเข้าสู่ระบบควบคุมอีกทอดหนึ่ง เพื่อให้การทำงานของวงจรในส่วนหลังมีการแก้ไขระบบการทำงานภายนอกเมื่อส่วนหน้ามีการบ่งถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นมาในสถานะการทำงานในตำแหน่งปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๒.๒ แสดงสภาวะการทำงานของวงจรส่วนเปรียบเทียบระดับศักดาสัญญาน เมื่อระดับศักดาสัญญานไฟฟ้ากระแสตรงที่เข้าสู่วงจรส่วนนี้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากจุดปกติจนกระทั่งมีค่าสูงกว่าและต่ำกว่าระดับศักดาอ้างอิงของวงจรที่จัดไว้

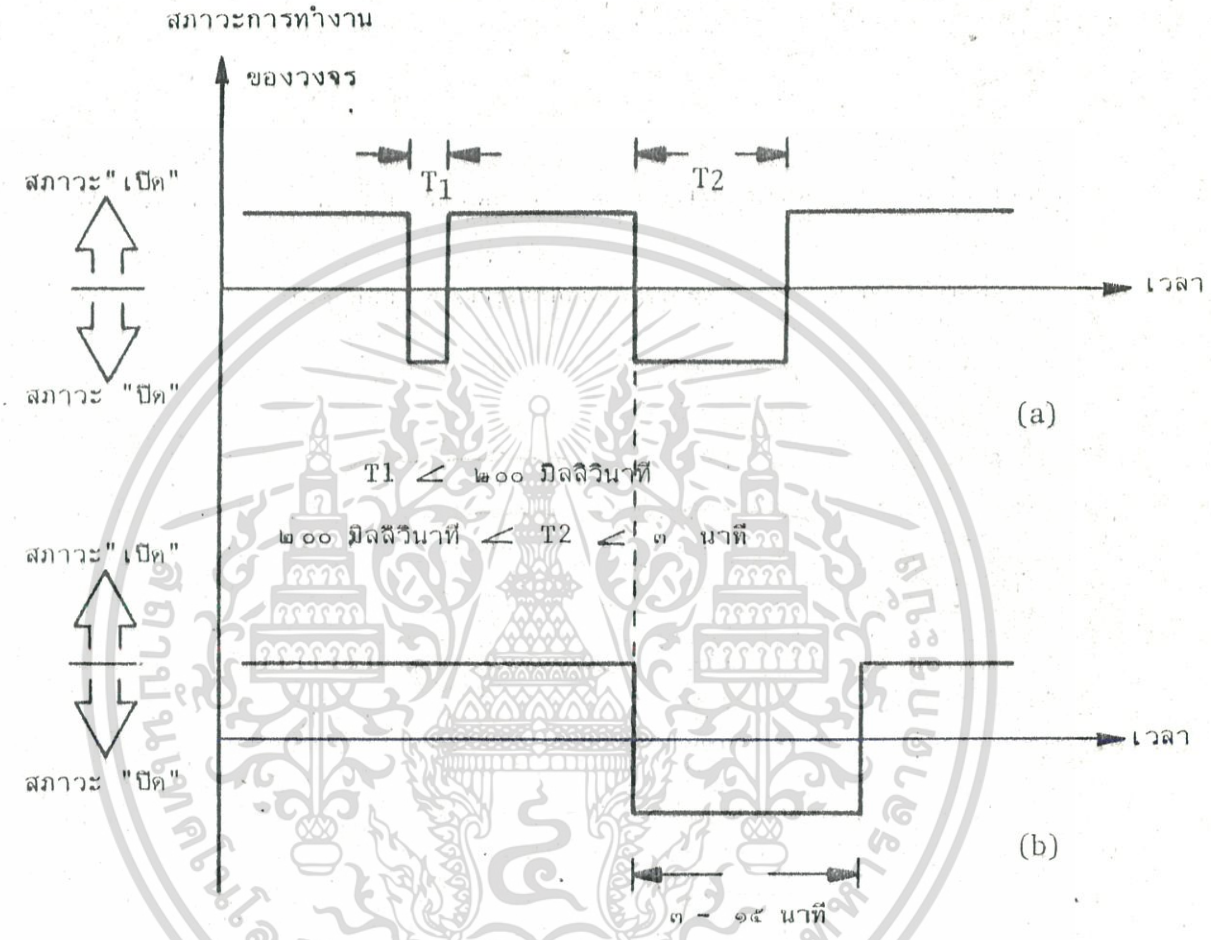
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
009379

ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้ามาเลี้ยงในระบบต่าง ๆ นั้น ระดับศักดาไฟฟ้ากระแสสลับในไลน์เอซี จะมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาในช่วงการทำงานตลอดวันหนึ่ง ๆ ซึ่งถ้าเราแบ่งสถานะของระดับศักดาสัญญาณทางออกของวงจรเปรียบเทียบระดับศักดาสัญญาณออกเป็นสถานะ "ปกติ" และ "ผิดปกติ" แล้วอาจจะเห็นได้ว่าในระบบที่รับกำลังไฟฟ้านั้นเข้ามาเป็นแหล่งต้นกำเนิดอาจจะเกิดสถานะในตำแหน่ง "ผิดปกติ" ขึ้นได้อยู่ตลอดเวลา และช่วงที่เกิดสถานะนี้ขึ้น จะมีช่วงเวลาเท่าใดนั้นก็มีโอกาสเกิดขึ้นได้อย่างอิสระ ดังรูปที่ ๒.๒

ในกรณีที่เกิดสถานะ "ผิดปกติ" ขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสำหรับภารกรรมในระบบโรงงาน สถานะความผิดปกติที่ช่วงระยะเวลาที่น้อยกว่า ๒๐๐ มิลลิเซคกันด์ (ms) ยังไม่ก่อให้เกิดผลใด ๆ ขึ้นได้ในระบบ ดังนั้น จึงอาจถือได้ว่าสถานะผิดปกติที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาที่น้อยกว่า ๒๐๐ มิลลิเซคกันด์นี้สามารถตัดทิ้งได้ โดยไม่ต้องส่งที่บ่งชี้ถึงความผิดปกตินี้ไปยังวงจรในระบบควบคุมส่วนหลัง การกำจัดสถานะในช่วงเวลาที่กล่าวนี้ทั้งอาจทำได้ในวงจรตั้งแต่ส่วนการทำงานหน้าสุด คือ ส่วนแปลงระดับศักดาของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปจนถึงวงจรส่วนหลังสุด คือ ส่วนหน่วงเวลาสัญญาณ และในกรณีที่เกิดสถานะผิดปกติขึ้นในเวลาเพียงชั่วครู่ ซึ่งมีค่ามากกว่า ๒๐๐ มิลลิเซคกันด์ ขึ้นไปแล้วกลับเข้าไปอยู่ในสถานะปกติดังเดิมอีกครั้ง สำหรับในกรณีเช่นนี้ถ้าภารกรรมในระบบโรงงานที่ใช้อยู่เป็นอุปกรณ์พวกคอมเพรสเซอร์ เราจำเป็นต้องมีการหน่วงเวลาสถานะความผิดปกติเพียงชั่วครู่นี้ออกไปอีกจนพอเพียงที่จะไม่ทำให้คอมเพรสเซอร์เกิดสภาวะช็อคขึ้นได้ ซึ่งในระบบโรงงานช่วงเวลาที่ขยายออกไปนี้อาจมีระยะตั้งแต่ ๓ นาทีไปจนถึง ๑๕ นาที ดังรูปที่ ๒.๓ ซึ่งการขยายช่วงเวลานี้ออกไปจะต้องกระทำในวงจรส่วนที่ทำหน้าที่หน่วงเวลาสัญญาณทางด้านหลัง

จากระบบการทำงานของวงจรขั้นพื้นฐานตามที่กล่าวมานี้ จะเห็นได้ว่าขั้นตอนในส่วนการทำงานของวงจรเปรียบเทียบระดับศักดาสัญญาณ นับได้ว่ามีความสำคัญต่อการทำงานมาก โดยหน้าที่สำคัญจะเป็นตัวเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณตามเชิงเส้น (Analog signal) ไปเป็นลักษณะของสัญญาณในเชิงตรรกะ (Digital signal) ซึ่งคุณลักษณะและการจัดวงจรในส่วนการทำงานของตัวเปรียบเทียบระดับศักดาสัญญาณ จะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไปในบทหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



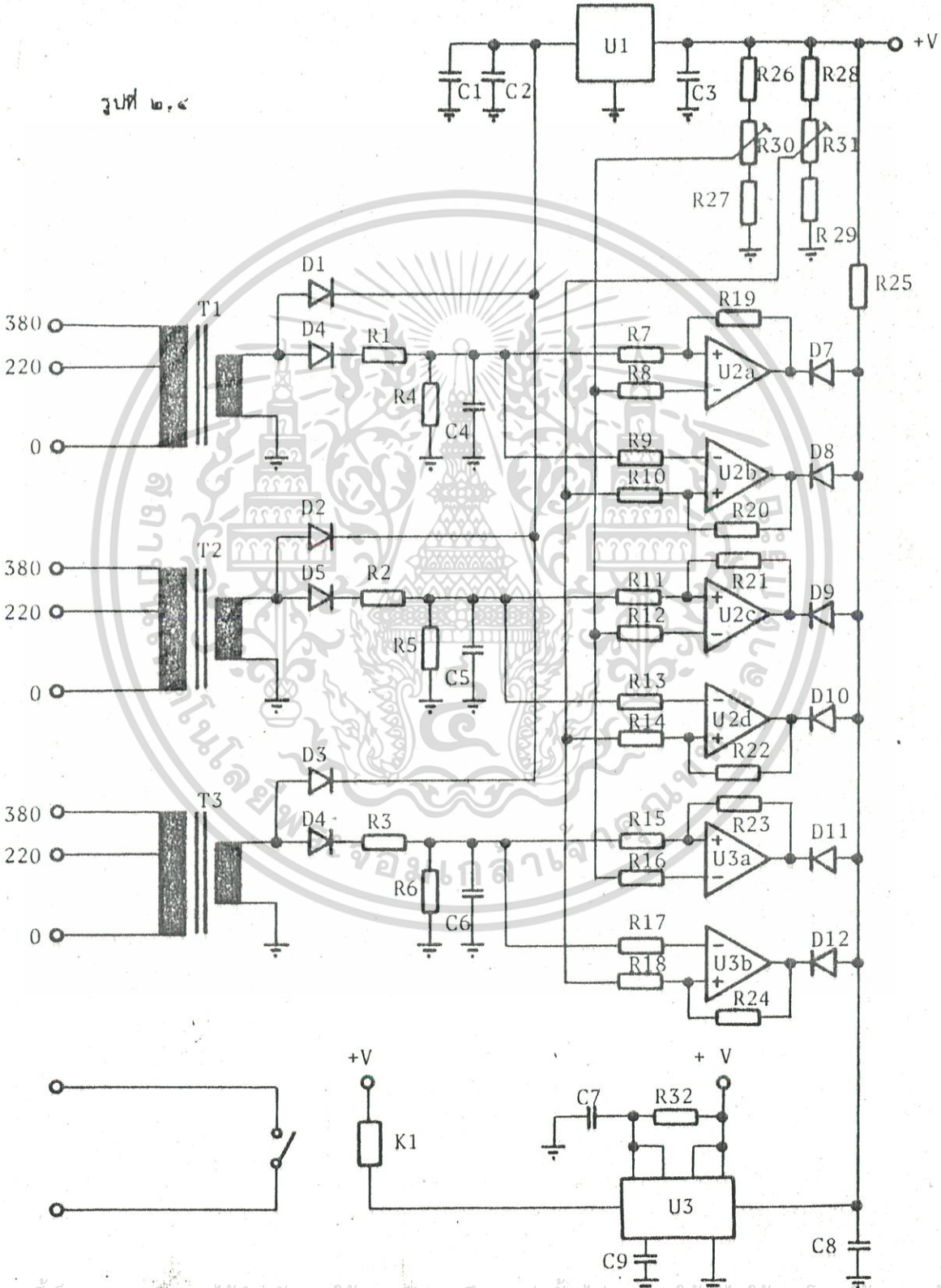
รูปที่ ๒.๓ (a) แสดงสภาวะทดแทนของระดับศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นใน สายส่ง เอ.ซี.

รูปที่ ๒.๓ (b) แสดงสภาวะของระดับศักดาไฟฟ้าที่จะส่งผลไปให้ในระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๔ วงจรที่ใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ ๒.๔

รูปที่ ๒.๔



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๔ รายละเอียดอุปกรณ์

รูปที่ ๒.๔

T1,T2,T3	voltage transformer	pri. 0,220,380 volts
		sec. 18 volts
D1 - D3	rectify diode	100 volts,1 amps
D4 - D12	signal diode	1N4148
R1 - R3	resistor 1/4 watts	20 K ohms
R4 - R6	resistor 1/4 watts	18 K ohms
R7 - R18	resistor 1/4 watts	10 K ohms
R19- R24	resistor 1/4 watts	5 K ohms
R25	resistor 1/4 watts	10 K ohms
R26	resistor 1/4 watts	15 K ohms
R27	resistor 1/4 watts	12 K ohms
R28	resistor 1/4 watts	10 K ohms
R29	resistor 1/4 watts	2 K ohms
R30- R31	resistor variable	2 K ohms
R32	resistor 1/4 watts	1 M ohms
C1	electro.capacitor	1000 MF,35 V.
C2	cer.capacitor	0.1 MF.,50 V.
C3	cer.capacitor	0.1 MF.,50 V.
C4 - C6	electro.capacitor	47 MF.,16 V.
C7	electro.capacitor	47 MF.,16 V.
C8	cer.capacitor	0.1 MF.,50 v.
C9	cer.capacitor	0.01 MF.,50 v.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

U1	voltage regulator	LM78L12
U2	quad op-amp	1/4 LM324
U3	quad op-amp	1/4 LM324
U4	timer	LM555
K1	relay 12 V,3 A.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๖ ลำดับการทำงานของวงจร

ไดโอด D_1, D_2, D_3 จะทำหน้าที่เป็นวงจรเรคติไฟแบบครึ่งช่วงคลื่น (Half wave rectifier) โดยมี C_1, C_2 เป็นวงจรกรองความถี่ป้อนให้กับ U_1 ซึ่งเป็นไอ.ซี. เรกกูเลททำการเปลี่ยนแรงดันให้เป็นไฟตรงขนาด ๑๒ โวลท์เลี้ยงวงจรทั้งหมด ความต้านทาน R_{30} และ R_{31} จะใช้เป็นตัวปรับศักดาเปรียบเทียบเพื่อเป็นตัวกำหนดความสูงต่ำของระดับศักดาในสายส่ง ในที่นี้จะขออธิบายเฉพาะเพียงเฟสเดียวเท่านั้น

ในสภาวะปกติ ไดโอด D_4 ความต้านทาน R_1, R_4 และตัวเก็บประจุ C_4 จะทำหน้าที่เปลี่ยนศักดาไฟสลับที่ถูกทรานสฟอร์เมอร์ T_1 ลดขนาดศักดาลงมาแล้วให้เป็นระดับศักดาตรง ผลที่ได้จะป้อนไปยังวงจรเปรียบเทียบซึ่งประกอบไปด้วยความต้านทาน R_7, R_8, R_9 และออปแอมป์ (Op-Amp) U_{2a} ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบทางด้านไฟต่ำกับความต้านทาน R_9, R_{10}, R_{20} และออปแอมป์ U_{2b} ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบทางด้านไฟสูง ถ้าระดับศักดาของสายส่งถูกต้องแล้ว ระดับศักดาเปรียบเทียบที่ป้อนเข้าทางด้านขาลบของออปแอมป์ U_{2a} จะต่ำกว่าระดับศักดาที่ได้จากวงจรเปลี่ยนศักดาไฟสลับให้เป็นศักดาไฟตรง ทำให้ที่จุดสัญญาณออกของออปแอมป์ U_{2a} มีสถานะทางลอจิกเป็น ๑ ยังผลให้ แอล.อี.ดี. D_7 ถูกไบอัสแบบกลับทาง (Reverse bias) และขณะเดียวกันระดับศักดาเปรียบเทียบที่ป้อนเข้าที่ขาบวกของออปแอมป์ U_{2b} จะมีค่าสูงกว่าระดับศักดาที่ได้จากวงจรเปลี่ยนศักดาไฟสลับให้เป็นศักดาไฟตรง ทำให้ที่จุดสัญญาณออกของออปแอมป์ U_{2b} มีสถานะทางลอจิกเป็น ๑ เช่นกัน ยังผลให้ แอล.อี.ดี. D_8 ถูกไบอัสกลับทางเช่นเดียวกัน ถ้าทุกเฟสมีลักษณะเช่นเดียวกันทั้งหมดแล้ว ที่จุดสัญญาณเข้าของ U_3 ซึ่งเป็นวงจรโมโนสเตเบิล (Mono stable) จะมีสัญญาณทางลอจิกเป็น ๑ ทำให้ที่จุดสัญญาณออกมีสถานะทางลอจิกเป็น ๐ ทำให้รีเลย์ K_1 ปิดหน้าสัมผัส ยังผลให้มีไฟสลับ ๒๒๐ โวลท์ไปเลี้ยง แม็คเนติค เบรคเกอร์ (Magnetic breaker) แม็คเนติค เบรคเกอร์ จะปิดหน้าสัมผัสจ่ายไฟให้ระบบทันที

เมื่อไฟจากสายส่งมีขนาดสูงขึ้น จะทำให้ระดับศักดาไฟตรงที่ได้จากวงจรเปลี่ยนระดับศักดาไฟสลับให้เป็นไฟตรงมีขนาดสูงขึ้นตามไปด้วย แต่จะช้ากว่าการเปลี่ยนแปลงทางด้านสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ประมาณ ๒๐๐ มิลลิเซกั่น ตามที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น เมื่อระดับศักดาไฟตรงนี้มีค่ามากขึ้นจนเลยค่าศักดาเปรียบเทียบที่ขาบวกของออปแอมป์ U_{2b} แล้วจะทำให้ที่จุดสัญญาณออกของ U_{2b} เปลี่ยนสถานะทางลอจิกเป็น ๐ ทันที ทำให้ แอล.อี.ดี. D_8 ถูกไบอัส แบบถูกทางจึงดับสว่างขึ้น ขณะเดียวกันวงจรโมโนสเตเบิลจะถูกกระตุ้นให้ทำงานจึงให้สถานะทางลอจิกที่จุดสัญญาณออกเป็น ๑ รีเลย์ K_1 จึงเปิดหน้าสัมผัส ยังผลให้ แม็กเนติค เบรคเกอร์ เปิดหน้าสัมผัสด้วย ระบบจะถูกตัดไฟออกจากสายส่งทันที ต่อมาเมื่อระดับศักดาของไฟสลับในสายส่งกลับเข้าสู่สภาวะปกติ วงจรเปรียบเทียบ U_{2b} ก็จะกลับเข้าสู่สภาวะปกติ ที่จุดสัญญาณเข้าของวงจรโมโนสเตเบิลก็จะมีสถานะทางลอจิกกลับเป็น ๑ เหมือนเดิม แต่วงจรโมโนสเตเบิลจะทำการหน่วงเวลาไปประมาณ ๓ - ๕ วินาที ตามที่ปรับตั้งไว้ก่อน เมื่อครบตามเวลาที่ตั้งไว้แล้วสถานะทางลอจิกทางด้านสัญญาณออกจะเปลี่ยนเป็น ๐ ทำให้รีเลย์ K_1 ปิดหน้าสัมผัสจ่ายไฟ ๒๒๐ โวลท์ ให้กับแม็คเนติค เบรคเกอร์ ทันที

เมื่อไฟจากสายส่งมีขนาดต่ำลงกว่าปกติ จะทำให้ระดับศักดาไฟตรงที่ได้จากวงจรเปลี่ยนระดับศักดาไฟสลับให้เป็นไฟตรงมีขนาดลดลง แต่ช้ากว่าทางด้านสายส่ง ๒๐๐ มิลลิเซกั่น เมื่อศักดานี้ลดขนาดจนต่ำกว่าศักดาเปรียบเทียบที่ขาลบของออปแอมป์ U_{2a} แล้ว จะทำให้ที่จุดสัญญาณออกของ U_{2a} เปลี่ยนสถานะทางลอจิกเป็น ๐ ทันที ทำให้ แอล.อี.ดี. D_7 ถูกไบอัสแบบถูกทางจึงดับสว่างขึ้น และการทำงานต่อไปจะซ้ำกับในกรณีที่ไฟในสายส่งมีขนาดสูงกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๗ ผลการทดสอบวงจรในรูปที่ ๒.๔

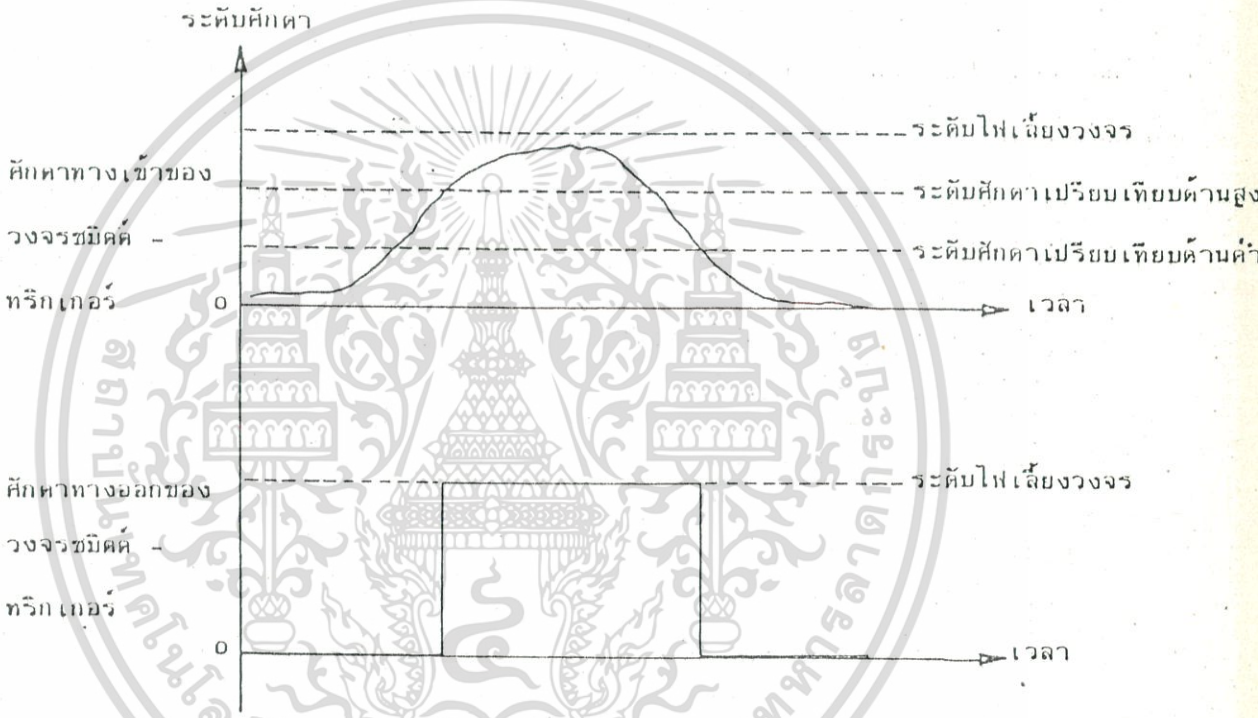
จากผลการทดสอบวงจรของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น จะสามารถกำหนดคุณสมบัติของเครื่องได้ดังนี้

ลักษณะการต่อเครื่องเข้ากับระบบ	สามารถต่อเครื่องเข้ากับระบบได้ทั้งแบบสตาร์ และแบบเดลตา (220 V.AC. และ 380 V.AC.)
ขีดกำหนดของระดับศักดาไฟสลับของสายส่งทางด้านสูง	สามารถปรับได้จาก 220 V.AC. ไปจนถึง 240 V.AC. (สำหรับการต่อเครื่องเข้าระบบในแบบสตาร์) หรือจาก 380 V.AC. ถึง 415 V.AC. (สำหรับการต่อเครื่องเข้ากับระบบในแบบเดลตา)
ขีดกำหนดของระดับศักดาไฟสลับของสายส่งทางด้านต่ำ	สามารถปรับได้จาก 220 V.AC. ไปจนถึง 200 V.AC. (สำหรับการต่อเครื่องเข้ากับระบบในแบบสตาร์) หรือจาก 380 V.AC. ถึง 345 V.AC. (สำหรับการต่อเครื่องเข้ากับระบบในแบบเดลตา)
ช่วงเวลาหน่วงก่อนการตัดไฟออกจากระบบหลังเกิดสภาวะผิดปกติ	ประมาณ 200 m sec.
ช่วงเวลาหน่วงก่อนการต่อไฟเข้าระบบหลังเกิดสภาวะผิดปกติ	ประมาณ 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๘ แนวความคิดในการนำเอาดิจิตัล ไอ.ซี.มาใช้งานในวงจรเปรียบเทียบระดับศักดา

นอกเหนือไปจากการนำเอาไอ.ซี.ประเภท ลิเนียร์มาใช้งานในวงจรเปรียบเทียบระดับศักดาตามรูปที่ ๒.๔ แล้ว เรายังสามารถออกแบบเอาไอ.ซี.ทางด้านดิจิตัลมาใช้งานในวงจรได้ โดยอาศัยหลักการทำงานของวงจรชมิตต์ ทริกเกอร์ (Schmitt trigger)ซึ่งจะมีระดับศักดาทางเข้าที่เปลี่ยนค่าสภาวะของเอาต์พุตทางออกอยู่สองระดับดังรูปที่ ๒.๕

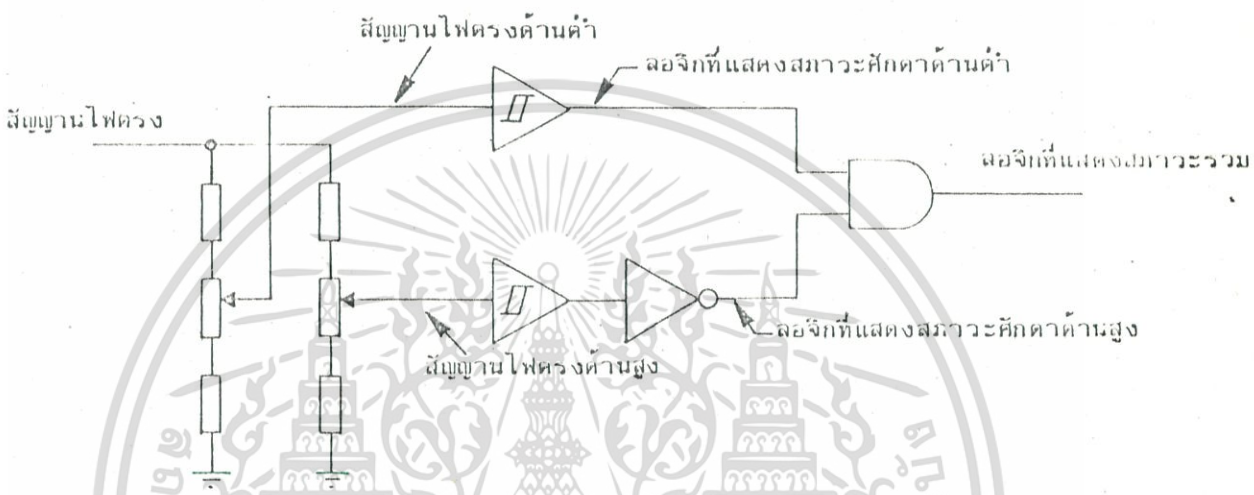


รูปที่ ๒.๕ ผังเวลาแสดงการทำงานของวงจร ชมิตต์ ทริกเกอร์

ด้วยผลการทำงานในลักษณะนี้ของวงจรชมิตต์ ทริกเกอร์ เราสามารถสร้างวงจรเปรียบเทียบระดับศักดาทางด้านสูงและทางด้านต่ำ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยระดับศักดาอ้างอิงจากภายนอก จะอาศัยแต่เพียงระดับศักดาเปรียบเทียบภายในวงจรชมิตต์ ทริกเกอร์เอง ลักษณะการจัดวงจรโดยอาศัยการทำงานของวงจรชมิตต์ ทริกเกอร์อย่างง่าย ๆ แสดงได้ดังรูปที่ ๒.๖ โดยสัญญาณไฟตรงที่ได้รับมาจากศักดาไฟสลับในส่วนหน้า จะถูกแยกออกเป็นสองทาง โดยการจัดระดับศักดาของสัญญาณไฟตรงส่วนที่จะเข้าสู่วงจรชมิตต์ ทริกเกอร์ที่ชี้บ่งสภาวะของศักดาด้านต่ำ ให้มีค่าใกล้เคียงกับระดับศักดาเปรียบเทียบด้านต่ำของวงจรชมิตต์ ทริกเกอร์ และส่วนของสัญญาณไฟตรงที่จะสู่วงจรชมิตต์ ทริกเกอร์ที่บ่งชี้สภาวะของศักดาด้านสูงให้มีค่าใกล้เคียงกับระดับศักดาเปรียบเทียบด้านสูงของวงจรชมิตต์ ทริกเกอร์เอง

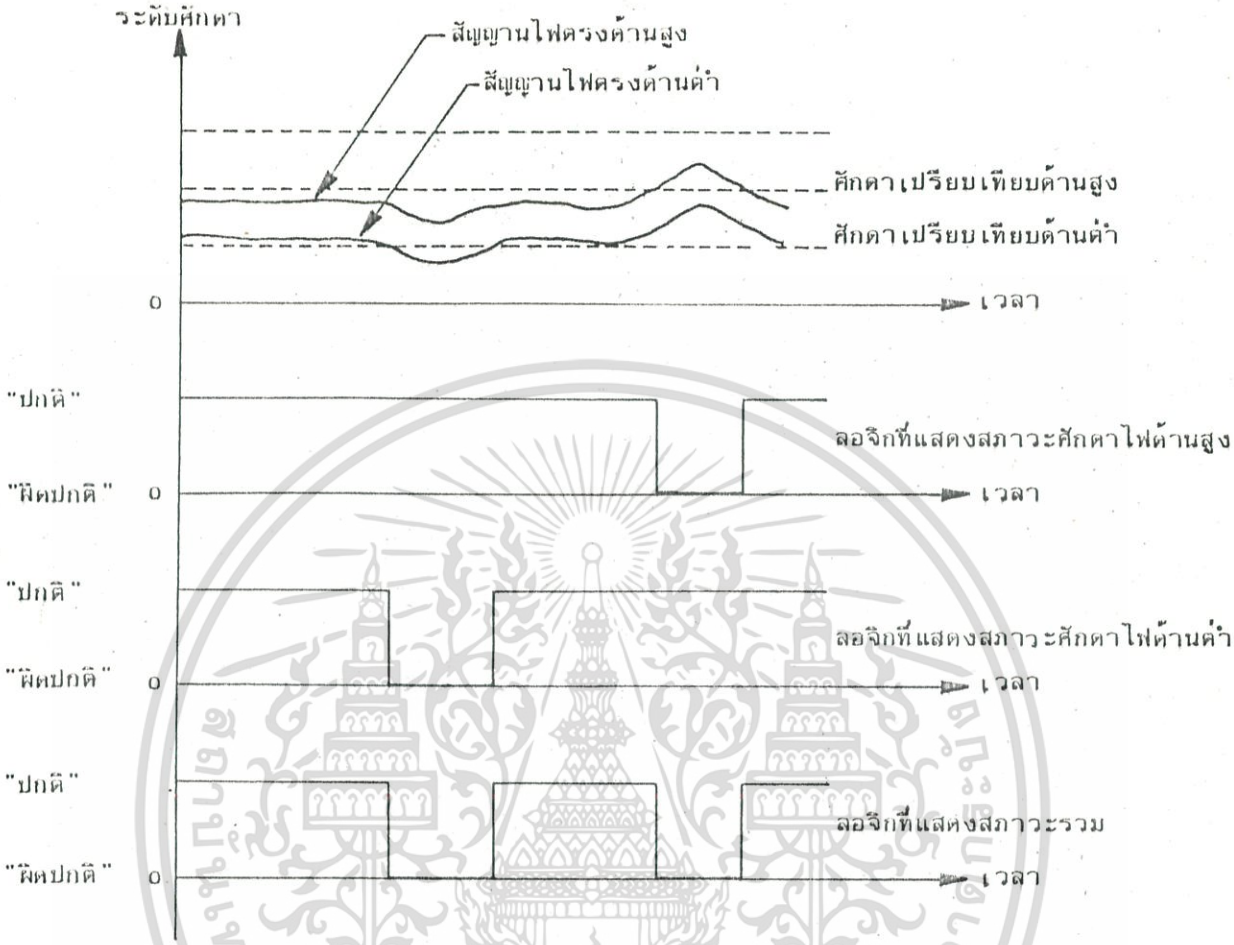
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเมื่อสัญญาณไฟตรงที่มาจากไฟสลับมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นหรือต่ำลง เราจะได้สภาวะของสัญญาณทางด้านลอจิกเป็น ๐ ส่งออกไปควบคุมวงจรส่วนหลังได้ ดังรูปที่ ๒.๗



รูปที่ ๒.๖ วงจรเปรียบเทียบระดับศักดาที่อาศัยการทำงานของวงจรชมิดต์ ทริกเกอร์ ในการแสดงสภาวะของศักดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

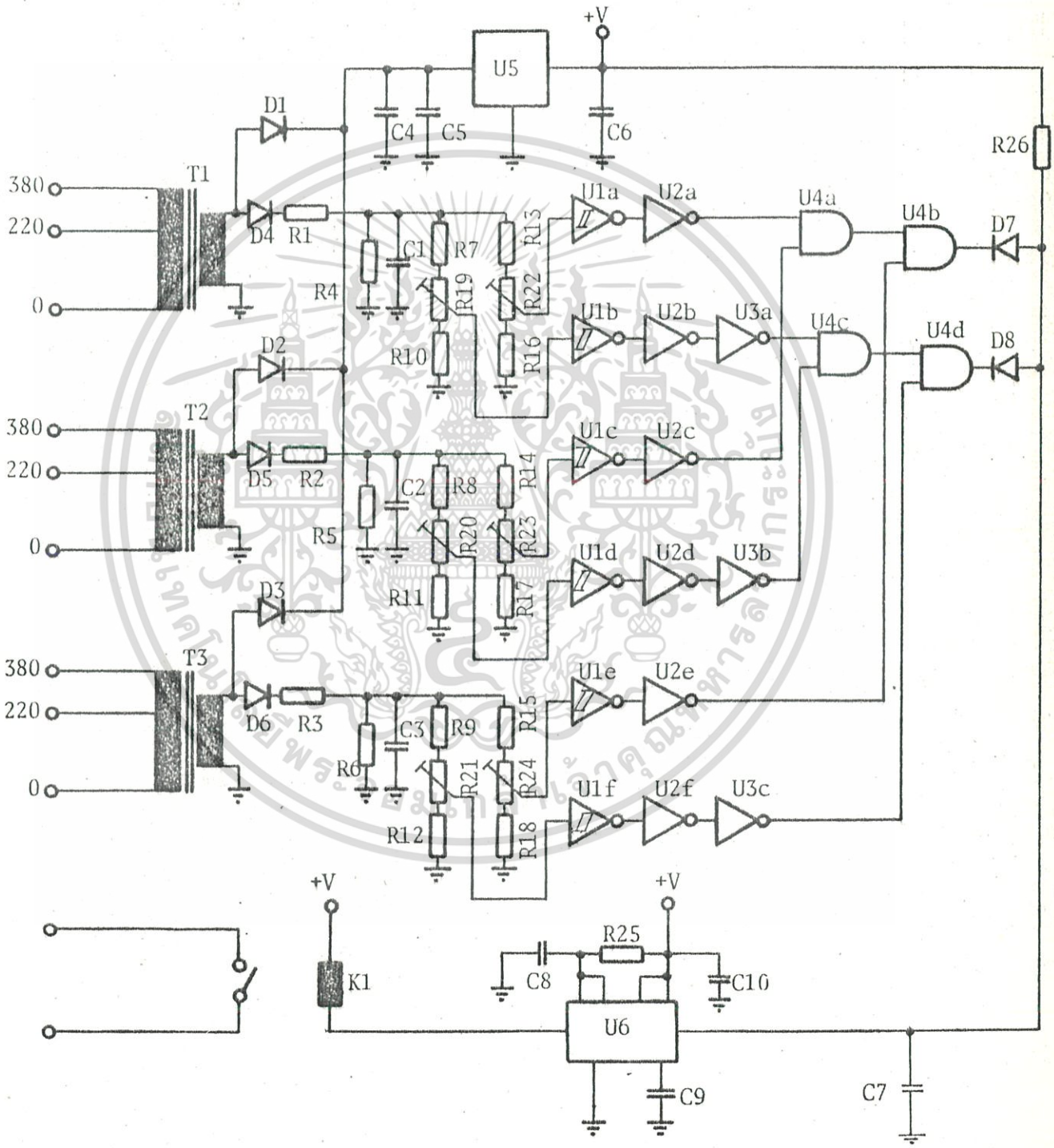


รูปที่ ๒ .๗ ผังเวลาแสดงการทำงานของส่วนเปรียบเทียบระดับศักดาโดยอาศัยการทำงาน
ของวงจรชมิดต์ ทริกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๙ วงจรที่ใช้งานจริง

รูปที่ ๒.๙



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๑๐ รายละเอียดของอุปกรณ์

T1,T2,T3	transformer			
			pri.	220,380 V.AC.
			sec.	18 V.AC.
R1-R6	resistor	1/4 watt		4.7 K ohms
R7-R9,R16-R18	resistor	1/4 watt		4 K ohms
R10-R15	resistor	1/4 watt		6 K ohms
R19-R24	variable resistor			2 K ohms
R25	resistor	1/4 watt		1 M ohms
R26	resistor	1/4 watt		4.7 K ohms
C1-C3,C6,C8	electro.capacitor			47 MF.
C4	electro.capacitor			1000 MF.
C5,C7,C10	ceramic capacitor			0.01 MF.
C9	ceramic capacitor			0.05 MF.
D1-D3	rectifier diode			1N4001
D4-D8	signal diode			1N4148
U1	hex schmitt trigger			MM74C14
U2,U3	hex inverter			MM74C04
U4	quad 2 input AND gate			MM74C08
U5	fixed regulater			LM340T-12
U6	timer			LM555
K1	relay 12V.DC.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๑๑ ลำดับขั้นตอนการทำงานของวงจรในรูปที่ ๒.๔

ศักดาไฟสลับที่ถูกลดขนาดลงจากทรานสฟอร์มเมอร์ T1,T2,T4 จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไฟตรง โดยอาศัยการทำงานของไดโอด D1,D2 และ D3 ร่วมกับ C4,C5 จากนั้นจึงผ่านวงจรเร็กกูเลเตอร์U5 เพื่อรักษาศักดาไฟตรงที่จะจ่ายไปเลี้ยงวงจรให้มีค่าคงที่

ส่วนหนึ่งของศักดาไฟสลับจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณไฟตรง โดยผ่าน D4,D5,D6 และ R1 ถึง R6 ร่วมกับ C1 ถึง C3 จากนั้นจึงผ่านการปรับขนาดของสัญญาณไฟตรง เพื่อสร้างสัญญาณไฟตรงด้านต่ำเมื่อผ่านการปรับขนาดจาก R19,R20 และ R21และสำหรับสัญญาณไฟตรงด้านสูงเมื่อผ่านการปรับขนาดจาก R22,R23 และ R24 สัญญาณไฟตรงทั้งสองทางจะแยกกันเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบระดับศักดา ซึ่งอาศัยการทำงานของไอ.ซี.ชมิตต์ ทริกเกอร์ U1 ร่วมกับ U2 และ U3

ในกรณีสัญญาณไฟตรงที่มาจากศักดาไฟสลับมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นหรือต่ำลงเกินกว่าขีดกำหนดในเฟสใดเฟสหนึ่ง สัญญาณลอจิกทางออกของ U2 และ U3 จะมีค่าเป็น o U4 จะทำหน้าที่รวมสภาวะลอจิกที่ผิดปกตินี้ส่งไปให้แก่ U6 ทำการควบคุมรีเลย์ K1 ตัดไฟออกจากระบบ นอกเหนือไปจากนั้นในกรณีที่สภาวะความผิดปกตินี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นกว่าสามนาที U6 จะทำหน้าที่หน่วงเวลาการตัดไฟออกจากระบบนี้ให้ยืดออกไปจนครบสามนาที เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ในระบบเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในช่วงสั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๔๒ ผลการทดสอบวงจรในรูปที่ ๒.๘

จากผลการทดสอบวงจรของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น จะสามารถกำหนดคุณสมบัติของเครื่องได้ดังนี้

ลักษณะการต่อเครื่องเข้ากับระบบ	สามารถต่อเครื่องเข้ากับระบบได้ทั้งแบบสตาร์และแบบเดลตา (220 V.AC. และ 380 V.AC.)
ขีดกำหนดของระดับศักดาไฟสลับของสายส่งทางด้านสูง	สามารถปรับได้จาก 220 V.AC. ไปจนถึง 240 V.AC. (สำหรับการต่อเครื่องเข้าระบบในแบบสตาร์) หรือจาก 380 V.AC. ถึง 415 V.AC. (สำหรับการต่อเครื่องเข้ากับระบบในแบบเดลตา)
ขีดกำหนดของระดับศักดาไฟสลับของสายส่งทางด้านต่ำ	สามารถปรับได้จาก 220 V.AC. ไปจนถึง 200 V.AC. (สำหรับการต่อเครื่องเข้ากับระบบในแบบสตาร์) หรือจาก 380 V.AC. ถึง 345 V.AC. (สำหรับการต่อเครื่องเข้ากับระบบในแบบเดลตา)
ช่วงเวลาหน่วงก่อนการตัดไฟออกจากระบบหลังเกิดสภาวะผิดปกติ	ประมาณ 200 m sec.
ช่วงเวลาหน่วงก่อนการต่อไฟเข้าระบบหลังเกิดสภาวะผิดปกติ	ประมาณ 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๓

มอเตอร์ โปรเท็คเตอร์ (Motor protector)

๓.๑ บทนำ

ในกรณีที่ภาระกรรมในระบบโรงงานเป็นอุปกรณ์พวกมอเตอร์ เมื่อมีการขาดหายของแรงไฟในกระแสไฟฟ้าเฟสใดเฟสหนึ่งที่จ่ายเข้า อันเนื่องมาจากสาเหตุใดก็ตาม จะเกิดศักดาเหนี่ยวนำกลับ จากผลการหมุนโรเตอร์ (Rotor) ภายในมอเตอร์ตัดผ่านขดลวดในชุดที่รับกระแสไฟฟ้าจากเฟสนั้นจ่ายศักดาทดแทนขึ้น ผลที่เกิดขึ้นนี้จะเหมือนกันกับในสายที่ต่อเข้ามอเตอร์ในเฟสที่ขาดหายไป ได้รับศักดาไฟฟ้าทดแทนจากตัวมอเตอร์ขึ้นเอง ดังนั้น ในตัววงจรตรวจสอบระดับศักดาไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ป้องกันมอเตอร์สำหรับในกรณีแรงไฟของระบบไฟฟ้า ๓ เฟส เกิดการขาดหายไปจึงไม่สามารถใช้งานได้ผลอย่างพอเพียง และจะยังผลที่เกิดขึ้นตามมาคือ การชำรุดของมอเตอร์

ดังนั้น ในการใช้วงจรตรวจสอบเฉพาะผลการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาไฟฟ้ามาใช้ในการป้องกันมอเตอร์ จึงไม่เป็นการเพียงพอในการใช้งาน จำเป็นต้องอาศัยคุณลักษณะอื่นของการเปลี่ยนแปลงทางด้านไฟฟ้ามาใช้งานควบคู่ด้วยเสมอ

๓.๒ การวิเคราะห์หาผลการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาไฟฟ้าเมื่อเกิดการขาดหายของกำลังไฟฟ้าในเฟสใดเฟสหนึ่ง

เนื่องจากระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส ของแต่ละท้องถิ่นอาจจะมีจำนวนสายส่ง ๓ หรือ ๔ สาย โดยในจำนวนสายนี้จะมี ๓ สายหลักทำหน้าที่เป็นสายส่งกำลังไฟฟ้าในแต่ละเฟส และอาจจะมีสายอีกสายหนึ่งทำหน้าที่เป็นสายกลาง (neutral) และในกรณีเดียวกัน ภาระกรรมที่ใช้งานก็จะมีการเดินวงจรภายในออกเป็น ๒ แบบ คือ

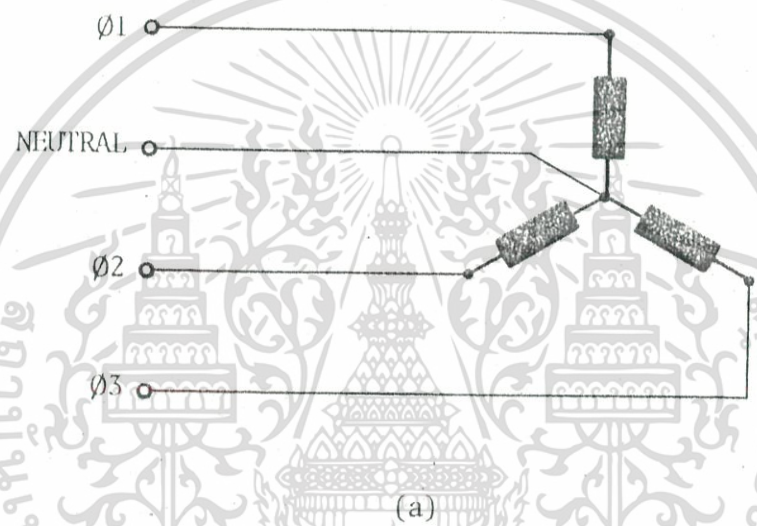
๓.๒.๑ แบบสตาร์ (Star)

๓.๒.๒ แบบเดลต้า (Delta)

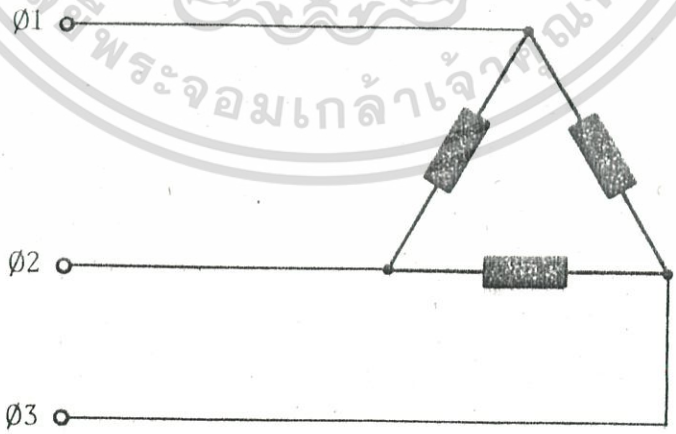
ดังรูปที่ ๓.๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ๓.๑ วงจรไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส
๓.๑ (a) แบบสตาร์ (Star)
๓.๑ (b) แบบเดลต้า (Delta)



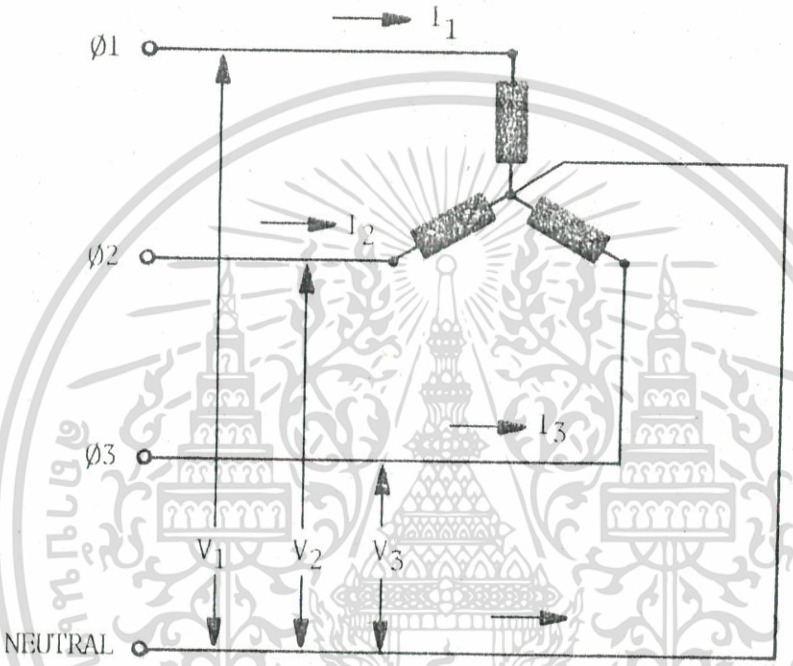
(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓.๒.๑ แบบสตาร์



รูปที่ ๓.๒
แสดงกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ๓ เฟสที่จ่ายเข้าสู่ภาระกรรมซึ่งต่อเป็นวงจรแบบสตาร์

ค่าศักดาไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างสายในแต่ละเฟสเมื่อเทียบกับสายกลาง สามารถเขียนอยู่ในรูปของเวคเตอร์ได้ดังรูป ๓.๒

ในสถานะปกติ เมื่อภาระกรรมในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส อยู่ในสถานะสมดุล ทั้ง ๓ เฟส แล้วค่าศักดาไฟฟ้าในแต่ละเฟส V_1, V_2 และ V_3 จะมีค่าเท่ากันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส I_1, I_2 และ I_3 จะเท่ากันด้วย พร้อมกันนี้ค่ากระแสไฟฟ้าในสายกลางจะมีค่าเป็นศูนย์

แต่เมื่อแรงไฟฟ้าในสายของเฟสใดเฟสหนึ่งเกิดการขาดหายไป ผลที่เกิดขึ้นคือมอเตอร์จะสร้างศักดาย้อนกลับ (Back E .M.F.) ขึ้นทดแทนศักดาไฟฟ้าที่เกิดขาดหายไปในเฟสนั้น ๆ ขึ้นแทน ดังนั้น ค่าศักดาย้อนกลับที่ถูกสร้างขึ้นโดยมอเตอร์นี้จะทดแทนได้กับศักดาที่จ่ายเข้าในสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ๓.๓ แสดงค่าเวคเตอร์ของศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในมอเตอร์ระบบไฟ ๓ เฟส เมื่ออยู่ในสถานะสมดุล ปกติ โดยกำหนดค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$V_1 = V_2 = V_3$$

$$I_1 = I_2 = I_3; \quad I_N = 0$$

รูปที่ ๓.๔ แสดงค่าเวคเตอร์ของศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในมอเตอร์ระบบไฟฟ้า ๓ เฟส เมื่ออยู่ในสถานะที่แรงไฟในเฟส ๓ ขาดหายไป โดยกำหนดค่าได้ดังนี้

$$V_1 = V_2 = V_3$$

$$I_1 = I_2 = I_N; \quad I_3 = 0$$

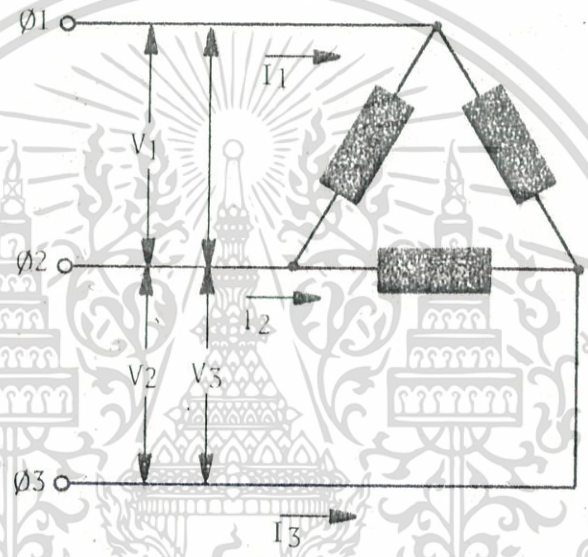
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติทุกประการ โดยคุณลักษณะทางด้านแรงไฟฟ้าที่วงจรตรวจสอบทำการตรวจสอบได้จะมีค่าศักดาไฟฟ้าเท่าเดิมและเฟสคงเดิมด้วย แต่ค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสที่ยังคงปกติอยู่นั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมเพื่อทดแทนกับกำลังงานที่สูญเสียไปในการใช้สร้างศักดาย้อนกลับขึ้นในเฟสที่เกิดการขาดหายไป และในขณะเดียวกันค่ากระแสในสายกลางจะมีค่าสูงขึ้น ดังรูป ๓.๔

ในการขาดหายของแรงไฟในเฟสใดเฟสหนึ่งไป ผลของกระแสที่ไหลผ่านขดลวดมอเตอร์ในชุดที่รับแรงไฟของสองเฟสที่ยังคงเป็นปกติอยู่จะสูงขึ้นจนขดลวดเกิดความร้อนสูงขึ้นอันเป็นสาเหตุการชำรุดของมอเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓.๒.๒ แบบเดลต้า



รูปที่ ๓.๕ แสดงกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส ที่จ่ายเข้าสู่ภาระกรรมซึ่งต่อเป็นวงจรแบบ เดลต้า

ในขณะปกติเมื่ออยู่ในสถานะ สมดุล สำหรับระบบไฟฟ้า ๓ เฟส ซึ่งภาระกรรมเป็นมอเตอร์ต่ออยู่ในแบบเดลต้าโดยไม่มีสายกลาง เราสามารถเขียนคุณลักษณะของศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของเวคเตอร์ได้ ดังรูป ๓.๖

แต่ในกรณีที่เกิดการขาดหายไปของแรงไฟในเฟสใดก็ตามผลที่ตามมาคือ มอเตอร์จะสร้างศักดาย้อนกลับขึ้นทดแทนดังได้กล่าวแล้วนั้น แต่เนื่องจากศักดาไฟฟ้าที่จ่ายเข้าในมอเตอร์ที่ต่อวงจรแบบเดลต้าทั้ง ๓ ชุดเกิดขึ้น จากการเปรียบเทียบระหว่างศักดาไฟฟ้าของเฟสต่อเฟส ดังนั้นผลการสร้างศักดาย้อนกลับขึ้นในมอเตอร์แบบเดลต้าจึงมีการสร้างศักดาย้อนกลับขึ้นพร้อมกัน ๒ ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการขาดหายของแรงไฟไปเพียงเฟสใดเฟสหนึ่ง ดังรูป ๓.๗

รูปที่ ๓.๖ แสดงค่าเวคเตอร์ของศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์ระบบไฟ ๓ เฟส ที่ต่อแบบ เดลต้า เมื่ออยู่ในลักษณะสมดุล ปกติจะสามารถกำหนดค่าได้เป็น

$$V_1 = V_2 = V_3 \text{ , } I_1 = I_2 = I_3$$

back e.m.f. back e.m.f.

รูปที่ ๓.๗ แสดงค่าเวคเตอร์ของศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์ระบบไฟ ๓ เฟส ที่ต่อแบบ เดลต้า เมื่ออยู่ในลักษณะ แรงไฟเกิดหายไปในเฟสที่ ๓ ซึ่งสามารถกำหนดค่าได้เป็น

$$I_3 = 0$$

และ $V_2 = V_3$ = back e.m.f.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะในการต่อใช้งานของภาระกรรมที่เป็นมอเตอร์ในทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่า เมื่อประสิทธิภาพในการใช้งานของมอเตอร์มีค่าคงที่ ซึ่งในทางปฏิบัติจริงแล้ว ไม่อาจสามารถทำได้ถึง ๑๐๐% ดังนั้น ผลของศักดาย้อนกลับซึ่งมอเตอร์สร้างขึ้นทดแทนศักดาไฟฟ้าจริงจากต้นกำเนิดที่ขาดหายไป โดยผลการลดลงของระดับศักดาไฟฟ้าในการต่อแบบเดลต้าจะมีค่าลดลงมากกว่าในการต่อมอเตอร์แบบสตาร์

ดังนั้น ในวงจรซึ่งทำหน้าที่ป้องกันแรงไฟฟ้าจ่ายเข้าไปเลี้ยงมอเตอร์โดยอาศัยการตรวจสอบระดับการเปลี่ยนแปลงของศักดาไฟฟ้านั้น จะสามารถทำงานได้ผลดีพอเฉพาะเมื่อต่อมอเตอร์ในแบบเดลต้าเท่านั้น ส่วนการต่อมอเตอร์ในแบบสตาร์จะไม่สามารถหวังผลได้เลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานสูง

จากผลของศักดาย้อนกลับที่สร้างขึ้นจากมอเตอร์เพื่อทดแทนแรงไฟที่ขาดหายไปในเฟสใดเฟสหนึ่งสำหรับการต่อมอเตอร์แบบสตาร์ ดังได้กล่าวมาแล้วนั้น จึงจำเป็นจะต้องหาวิธีตรวจสอบคุณลักษณะของแรงไฟใหม่ เพื่อที่จะให้วงจรป้องกันสามารถทราบได้ว่าเกิดภาวะขาดหายของแรงไฟที่จ่ายเข้ามาในเฟสใดเฟสหนึ่งแล้ว

จากค่าเวคเตอร์ของแรงไฟระบบไฟฟ้า ๓ เฟสที่จ่ายเข้าเลี้ยงมอเตอร์จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการขาดหายของแรงไฟในเฟสใดเฟสหนึ่งแล้ว ขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายกลางจะมีค่าสูงขึ้นทันที ในกรณีนี้ถ้าเราตรวจสอบเอาการเปลี่ยนแปลงของขนาดกระแสในสายกลางนี้มาเป็นตัวบ่งชี้ถึงสถานะความปกติหรือผิดปกติของแรงไฟที่จ่ายเข้ามาเลี้ยงมอเตอร์ได้ทั้ง ๓ เฟส

การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของขนาดกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายกลางในมอเตอร์ที่มีขนาดความต้องการกระแสสูง จำเป็นต้องอาศัยเคอร์เรนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ (Current transformer) ที่ใช้จึงควรจะอาศัยสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายตัวนำมาใช้เหนี่ยวนำให้เกิดศักดาไฟฟ้าทางด้านขดทุติยภูมิของทรานสฟอร์มเมอร์

๓.๓ เคอร์เรนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์

ในการใช้งานของเคอร์เรนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบค่าของกระแสที่ไหลผ่านในสายตัวนำนั้น สิ่งที่จำเป็นต้องคำนึงถึงเป็นองค์ประกอบด้วยคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

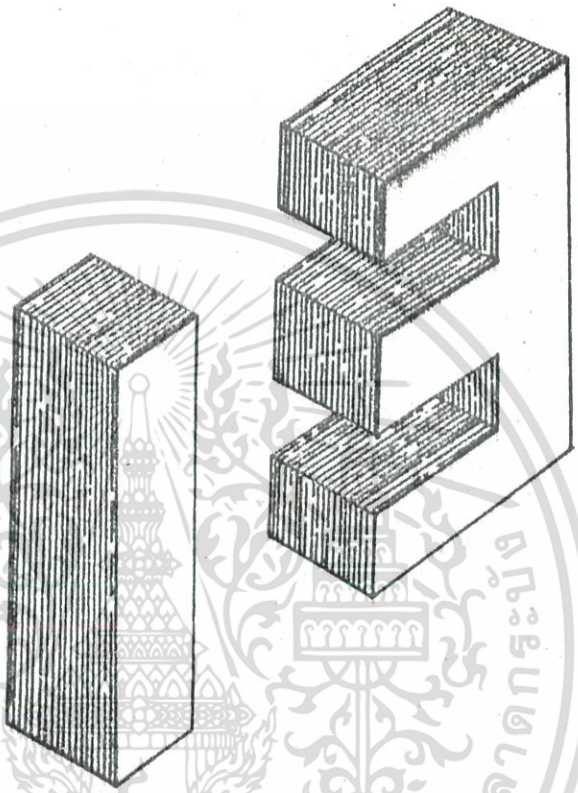
- โครงสร้างของแกนทรานสฟอร์มเมอร์ที่จะนำมาใช้งาน ควรให้ความสะดวกในการสอดสายตัวนำที่ต้องการตรวจสอบค่าของขนาดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายตัวนำผ่านแกนได้อย่างสะดวก

- ลักษณะแกนที่ใช้งานควรมีราคาถูก และสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาดทั่ว ๆ ไป

- มีความไวในการตรวจสอบต่อขนาดของกระแสที่ไหลผ่านในสายตัวนำสูง

จากข้อมูลที่ได้กำหนดดังกล่าวแล้ว จะเห็นได้ว่าแกนเหล็กในลักษณะโครงสร้างแบบ E-I จะเป็นโครงสร้างที่มีราคาถูกและสามารถหาได้ง่ายในการใช้งาน และในกรณีที่ขดลวดทุติยภูมิถูกพันอยู่ร่วมข้างด้านใดด้านหนึ่งของแกน E-I จะยังคงเหลือช่องว่างเพื่อสอดสายตัวนำที่ต้องการทำการตรวจสอบขนาดของกระแสที่ไหลผ่านได้ ดังรูปที่ ๓.๘ และ ๓.๙

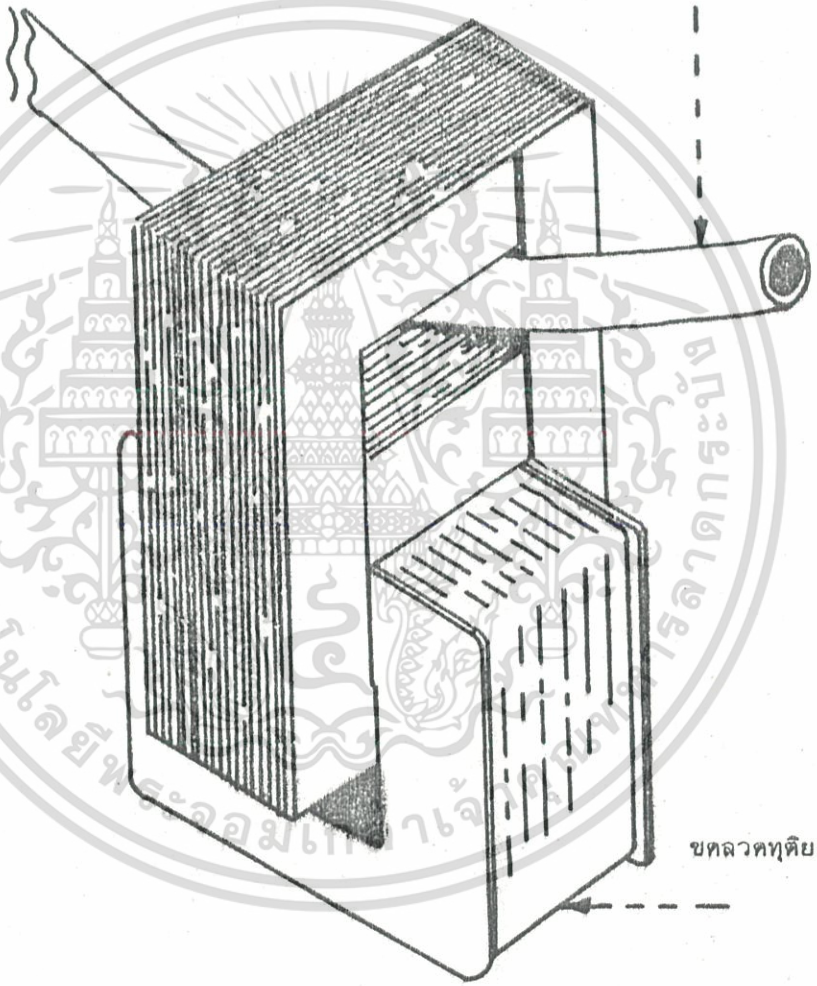
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.๘ แกนเหล็กซึ่งมีโครงสร้างแบบ E-I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

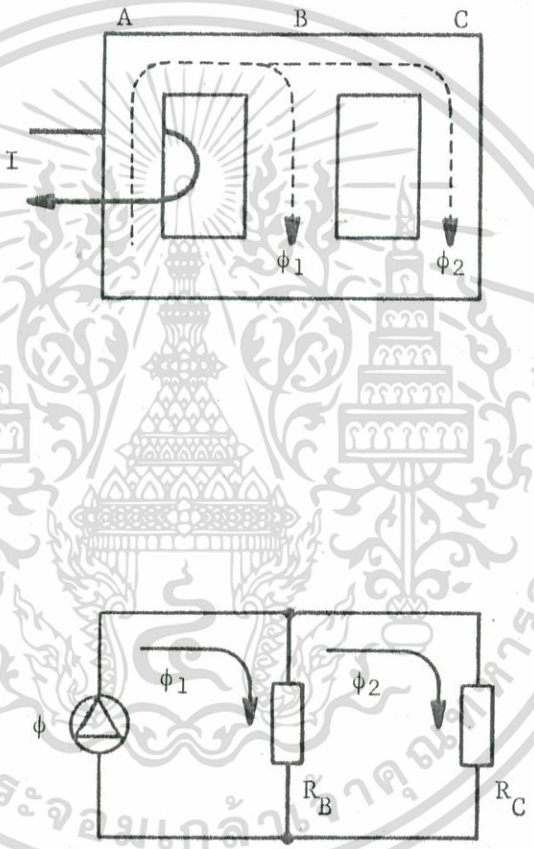
สายฉวดตัวนำที่ต้องการตรวจสอบขนาดของกระแสที่ไหลผ่าน



รูปที่ ๓.๙ Current transformer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งานของทรานสฟอร์มเมอร์ซึ่งมีแกนเป็นโครงสร้างตัวแบบที่กล่าวแล้วนั้น จะยังคงมีปัญหาอยู่ในเรื่องของความไวในการตรวจสอบต่อขนาดของกระแสที่ไหลผ่านในสายตัวนำซึ่งคล้องผ่านแกน เนื่องจากผลการสูญเสียของสนามแม่เหล็กภายในแกน ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของวงจรสมมูลย์ได้ ดังรูป ๓.๑๐



รูปที่ ๓.๑๐ แสดงวงจรสมมูลย์ของการสูญเสียของสนามแม่เหล็กภายในแกน

เนื่องจากขดลวดทุติยภูมิพันอยู่โดยรอบแกน C ดังนั้น ผลของสนามแม่เหล็กใช้งานจะส่งผลให้เฉพาะในพื้นที่หน้าตัดส่วนแกน C เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓.๔ การใช้คุณลักษณะการกำธร (Resonance) ของวงจร L, C ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบขนาดกระแสของเคอร์เรนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์

จากผลการสูญเสียภายในแกนทรานสฟอร์มเมอร์ดังได้กล่าวแล้ว ค่าศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นทางด้านขดลวดทุติยภูมิของทรานสฟอร์มเมอร์จะมีค่าต่ำไม่พอเพียงต่อการใช้งานได้จริง

ดังนั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบสัญญาณที่ขึ้นกับขนาดของกระแสในสายตัวนำ จึงจำเป็นต้องอาศัยคุณลักษณะของการกำธร มาใช้งาน เพื่อชดเชยความสูญเสียของศักดาสัญญาณที่ชักนำเข้ามาในขดทุติยภูมิของตัวทรานสฟอร์มเมอร์

ในการใช้งานจริงของเคอร์เรนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ ในแบบโครงสร้างที่กล่าวแล้วนั้น ในวงจรจริงจึงมีตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor) ต่อขนานกับขดลวดทุติยภูมิของทรานสฟอร์มเมอร์เป็นวงจรเรโซแนนซ์ อยู่ ซึ่งจากผลของการกำธรของขดลวดทุติยภูมิกับตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ต่อขนานกันอยู่นี้ จะทำให้การชักนำของศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทางด้านขดลวดทุติยภูมินี้มีค่าสูงสุดที่ความถี่เพียงความถี่เดียว ซึ่งในการใช้งานจริงนี้มีความถี่ในการกำธรของเคอร์เรนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ จะถูกจัดให้สอดคล้องกับความถี่ที่ใช้งานอยู่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่จ่ายมา โดยความถี่ที่ใช้งานจริงอยู่นี้จะมีค่าคงที่อยู่ที่ ๕๐ เฮิรทซ์

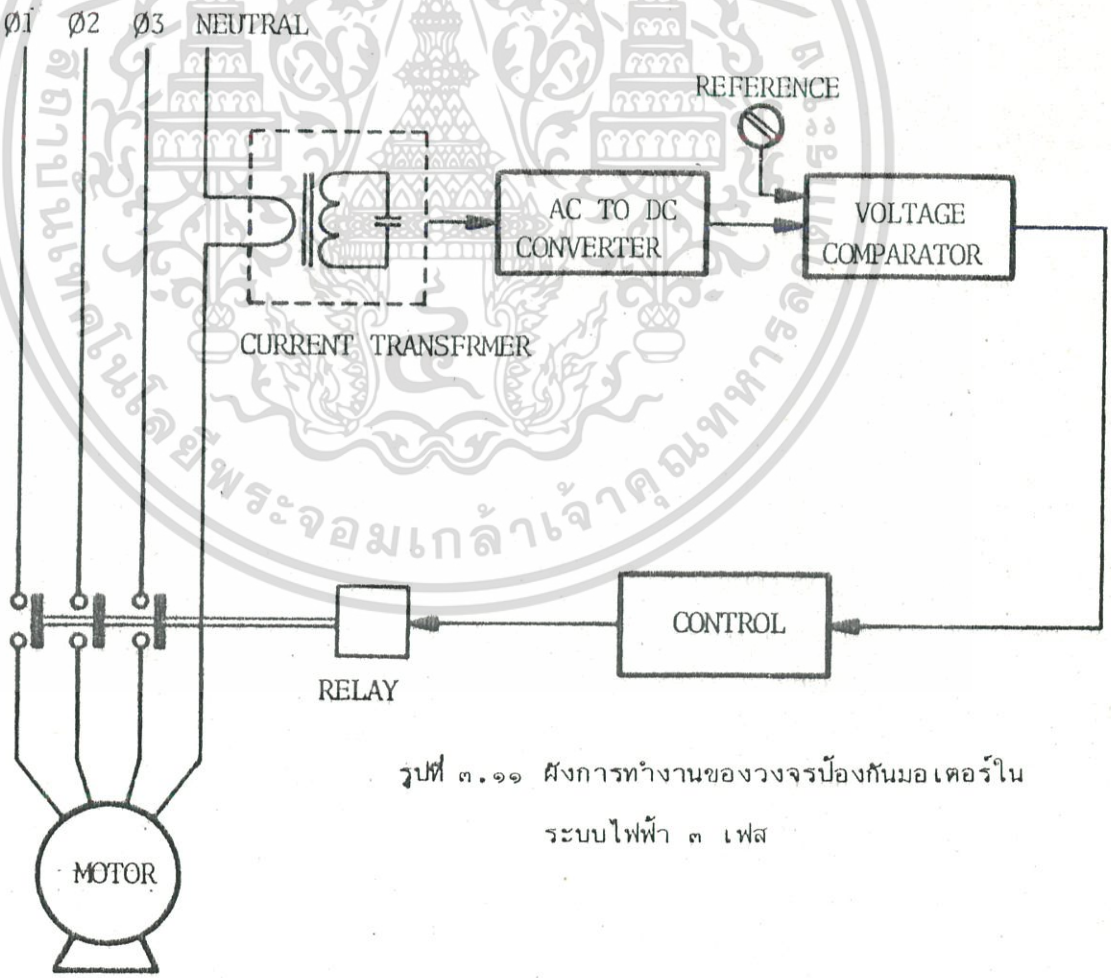
๓.๕ วงจรป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส

จากผลการทำงานของวงจรตรวจสอบระดับการเปลี่ยนแปลงของศักดาไฟฟ้าที่ได้กล่าวถึงในบทที่แล้วนั้น จะเห็นได้ว่าการตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าเพียงการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาไฟฟ้าไม่สามารถนำมาใช้งานในการป้องกันมอเตอร์ได้อย่างพอเพียง จำเป็นต้องอาศัยการตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าด้านการเปลี่ยนแปลงของขนาดกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์อีกด้วย ซึ่งคุณลักษณะที่ตรวจสอบได้ทางด้านกระแสไฟฟ้านี้อาศัยเคอร์เรนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ เป็นองค์ประกอบสำคัญ

ดังนั้น ในการใช้งานจริงเมื่อมีการใช้เคอร์เรนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ เพื่อเปลี่ยนระดับของกระแสที่ไหลผ่านในสายตัวนำมาเป็นการเปลี่ยนของระดับศักดาสัญญาณได้แล้ว ระดับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงของขนาดที่ผ่านในสายตัวนำ จะถูกส่งเข้าสู่ส่วนการทำงานของวงจรเปลี่ยนระดับศักดาสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นระดับศักดาสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (AC to DC Converter) ระดับศักดาสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้นี้จึงถูกนำเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบระดับศักดาสัญญาณซึ่งถูกตั้งระดับศักดาอ้างอิงที่เหมาะสมไว้ ผลสุดท้ายที่ได้หลังส่วนการทำงานนี้ จะได้สัญญาณในเชิงตรรกะ (Logic) ที่ทำให้ทราบได้ว่าขนาดของกระแสที่ไหลผ่านสายตัวนำสายกลางที่ถูกตรวจสอบมีขนาดสูงจนเกินจุดผิดปกติขึ้นหรือไม่ ซึ่งในกรณีที่มีขนาดกระแสที่ไหลผ่านในสายกลางมากผิดปกติขึ้น สัญญาณในเชิงตรรกะที่ได้จะถูกนำ ใช้ป้องกันการชำรุดของมอเตอร์ โดยการหยุดการทำงานของมอเตอร์นั้นลง ซึ่งส่วนการทำงานของวงจรป้องกันมอเตอร์ทั้งหมดที่กล่าวมานี้อาจเขียนได้เป็นภาคการทำงานของวงจร ดังรูป ๓.๑๑

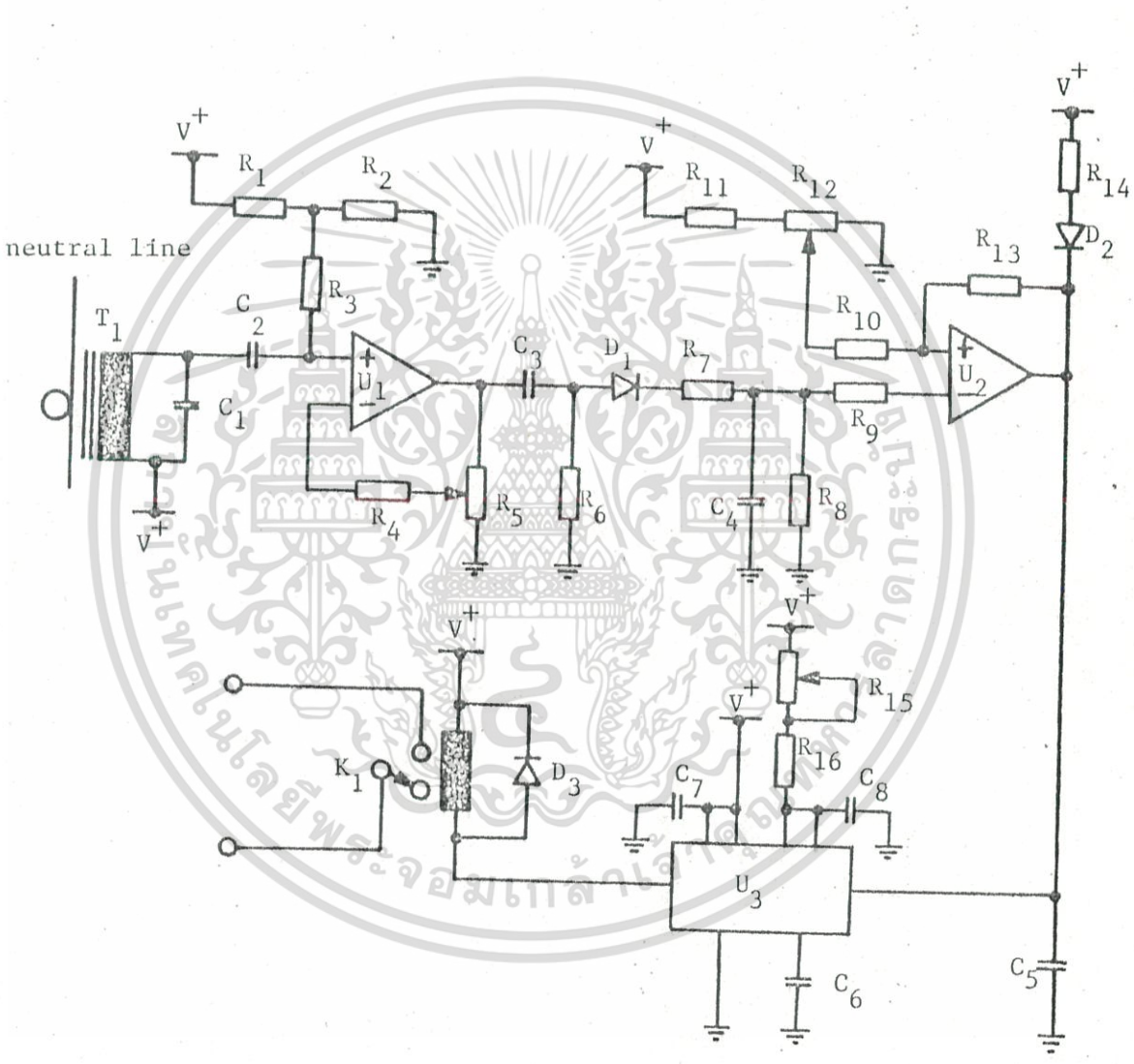


รูปที่ ๓.๑๑ ผังการทำงานของวงจรป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓.๖ วงจรที่ใช้งานจริง

จากผังการทำงานของวงจรป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส สามารถจัดวงจรการทำงานได้ดังรูปที่ ๓.๑๒



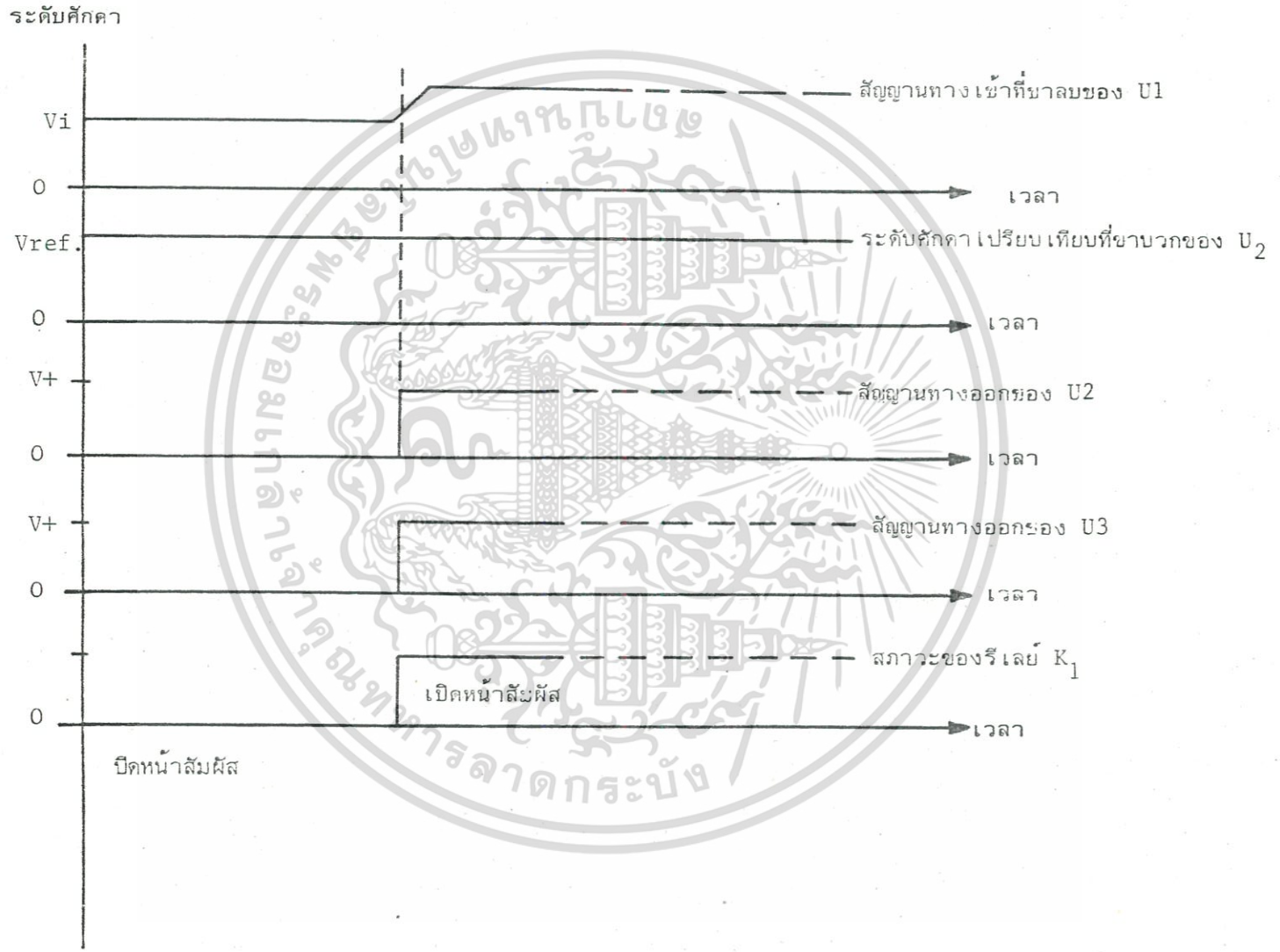
รูปที่ ๓.๑๒ แสดงวงจรป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓.๗ รายละเอียดของอุปกรณ์

T1	current transformer 5000 turns		
C1	electro.capacitor	0.47	MF.
C2	electro.capacitor	10	MF.
C3	electro.capacitor	10	MF.
C4	electro.capacitor	47	MF.
C5	ceramic capacitor	0.1	MF.
C6	ceramic capacitor	0.01	MF.
C7	ceramic capacitor	0.01	MF.
C8	electro.capacitor	47	MF.
R1	resistor 1/4 watt	68	K ohms
R2	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R3	resistor 1/4 watt	27	K ohms
R4	resistor 1/4 watt	1	K ohms
R5	variable resistor	3	K ohms
R6	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R7	resistor 1/4 watt	1	K ohms
R8	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R9	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R10	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R11	resistor 1/4 watt	1	K ohms
R12	variable resistor	3	K ohms
R13	resistor 1/4 watt	5	M ohms
R14	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R15	variable resistor	1	M ohms
R16	resistor 1/4 watt	1	M ohms
U1,U2	Op-amp	1/4 LM324	
U3	timer	LM555	
D1-D2	signal diode	1N4148	
D3	rectifier diode	1N4001	
K1	relay 12 V.DC.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.๑๓ แสดงแผนผังเวลาของวงจรป้องกันมอเตอร์

๓.๔ ลำดับการทำงานของวงจร

เคอเรนท์ ทรานสฟอร์เมอร์ จะทำให้เกิดสัญญาณไฟสลับความถี่ ๕๐ เฮิทซ์ ขึ้น โดยมี C_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรกำธร สัญญาณที่ได้จะถูกขยายให้มีขนาดสูงขึ้นด้วยออปแอมป์ U_1 ต่อจากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นศักดาไฟตรงโดย D_1, R_7, R_8 และ C_4 ผลที่ได้จะถูกป้อนเข้าที่ขาลบของออปแอมป์ U_2 ซึ่งต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบระดับศักดา โดยมีศักดาเปรียบเทียบป้อนเข้าที่ขาบวก

ในสภาวะปกติระดับศักดาจากส่วนเปลี่ยนระดับศักดาไฟสลับให้เป็นศักดาไฟตรงจะต่ำกว่าศักดาเปรียบเทียบ ทำให้สถานะทางลอจิกของออปแอมป์ U_2 เป็น ๑ ทำให้วงจรโมโนสเตเบิล (U_3) มีสถานะทางลอจิกเป็น ๐ ทำให้รีเลย์ K_1 ปิดหน้าสัมผัส ยังผลให้มีไฟ ๒๒๐ โวลท์ไปเลี้ยงแม็คเนติค เบรคเกอร์

ในกรณีที่เกิดไฟเฟสใดเฟสหนึ่งหายไปจะทำให้ไฟในสายนิวตรอนมากขึ้น ยังผลให้สัญญาณไฟสลับที่ได้จาก เคอเรนท์ ทรานสฟอร์เมอร์ มีค่าสูงขึ้น ส่วนเปลี่ยนศักดาจากไฟสลับเป็นไฟตรงให้สัญญาณไฟตรงออกมามีขนาดสูงขึ้นจนสูงกว่าระดับศักดาที่ใช้เปรียบเทียบ ทำให้จุดสัญญาณออกของวงจรเปรียบเทียบมีสถานะทางลอจิกเป็น ๐ แอล.อี.ดี. D_2 จะดับสว่างขึ้น ทำให้วงจรโมโนสเตเบิลทำงาน รีเลย์จะเปิดหน้าสัมผัสทันที

โดยทั่วไปวงจรนี้จะใช้ร่วมกับวงจรเพาเวอร์ โวลท์เตจ ๓ เฟสโมนิเตอร์ เพื่อทำให้การป้องกันทำได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓.๙ ผลการทดลองของวงจรในส่วนนี้

จากการสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นมาใช้งาน ปรากฏผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ และจะสังเกตเห็นได้ว่า ถ้านำวงจรส่วนนี้ไปใช้งานโดยไม่มีส่วนอื่นมาประกอบแล้ว เมื่อวงจรตัดไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์แล้ว ศักดาไฟสลับที่ได้จาก เคอเรนท์ ทรานสฟอร์เมอร์จะเป็น ๐ ทำให้ระดับศักดาที่ได้จากส่วนเปลี่ยนศักดาจากไฟสลับให้เป็นไฟตรงเป็น ๐ ไปด้วย วงจรเปรียบเทียบระดับศักดาจะให้ศักดาทางด้านสัญญาณออกมีสถานะทางลอจิกเป็น ๑ เหมือนกับกรณีสภาวะปกติ ดังนั้นหลังจากวงจรโมโนสเตเบิลทำการหน่วงเวลาเรียบร้อยแล้ว สถานะทางลอจิกที่จุดสัญญาณออกจะกลับเป็น ๐ อีกทำให้รีเลย์ K_1 ปิดหน้าสัมผัสอีกครั้ง มอเตอร์เริ่มหมุนก็จะเกิดกระแสไหลในสายนิวทรอนมากทำให้วงจรตัดไฟที่จ่ายให้มอเตอร์อีก ซึ่งจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ทำให้หน้าสัมผัสรวมทั้งมอเตอร์เกิดเสียหายได้

ในที่นี้เราสามารถกำหนดคุณสมบัติของวงจรที่สร้างขึ้นได้ดังต่อไปนี้

— เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของสายที่สามารถคล้องผ่านแกนเคอเร็นท์ ทรานสฟอร์มเมอร์	๗	มิลลิเมตร
— ความผิดพลาดของศักดาชักนำทางด้านขดทุติยภูมิอันเนื่องจากตำแหน่งสายที่คล้องผ่าน	๕	เปอร์เซนต์
— ค่ากระแสต่ำสุดที่วงจรกำหนดได้	๕๐๐	มิลลิแอมแปร์
— ค่ากระแสสูงสุดที่วงจรกำหนดได้	๑๐	แอมแปร์
— ช่วงการหน่วงเวลาก่อนการต่อไฟเข้าสู่ระบบหลังจากเกิดความผิดปกติ	สามารถปรับได้จาก ๓ ถึง ๕	นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๔

เฟส ซีเควนซ์ โมนิเตอร์

(Phase sequence monitor)

๔.๑ บทนำ

ในทางด้านเครื่องกลระบบโรงงานซึ่งมีต้นกำเนิดกำลังมาจากมอเตอร์ ๓ เฟส บางกรณีมีความจำเป็นต้องกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้ไปได้ในทิศทางเดียว

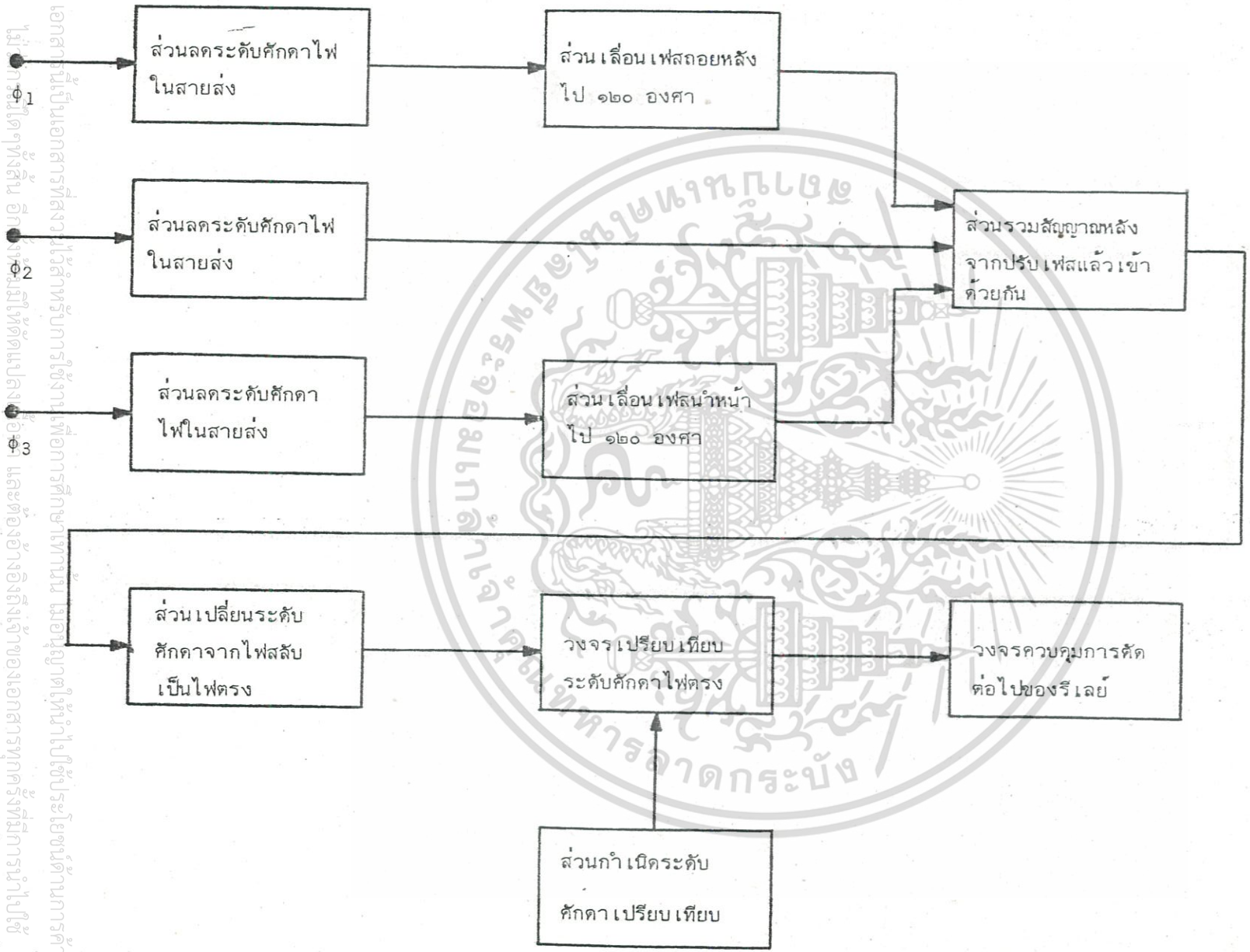
ปัญหาจึงเกิดขึ้นในกรณีที่มีการสลับสายแต่ละเฟสของระบบไฟฟ้า ๓ เฟส ที่จ่ายเข้าไปเลี้ยงมอเตอร์ อันอาจเกิดขึ้นได้ทั้งในและนอกระบบของตัวโรงงาน ผลที่เกิดตามขึ้นมา คือ มอเตอร์ ๓ เฟส จะหมุนกลับมาจากทิศทางเดิมที่กำหนดไว้แต่แรก ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับระบบทางกลในโรงงานนั้น ๆ ได้

ดังนั้น เพื่อขจัดปัญหานี้จึงจำเป็นต้องมีวงจรป้องกัน ซึ่งจะทำหน้าที่จัดลำดับของแรงไฟในแต่ละเฟสที่จ่ายเข้าในโรงงานให้ถูกต้องกับข้อกำหนดในโรงงานทางกล และในกรณีที่ลำดับของแรงไฟแต่ละเฟสที่จ่ายเข้ามีความผิดพลาดไป ส่วนวงจรป้องกันจะต้องทำการตัดวงจรการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่จะจ่ายเข้าสู่ระบบโรงงานทันที

๔.๒ ผังการทำงานของส่วนวงจร เฟส ซีเควนซ์ โมนิเตอร์

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่า ลักษณะเฟสของระบบไฟ ๓ เฟส นั้นจะมีเฟสเรียงตามลำดับกันต่างกันอยู่ ๑๒๐ องศาเสมอ นั่นก็คือเฟสที่หนึ่งนำหน้าเฟสที่สองไป ๑๒๐ องศา และขณะเดียวกันเฟสที่สามจะตามหลังเฟสที่สองอยู่ ๑๒๐ องศา เช่นเดียวกัน โดยอาศัยคุณสมบัติดังกล่าวแล้วสามารถออกแบบผังการทำงานของวงจรเฟส ซีเควนซ์ โมนิเตอร์ ดังรูปที่ ๔.๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

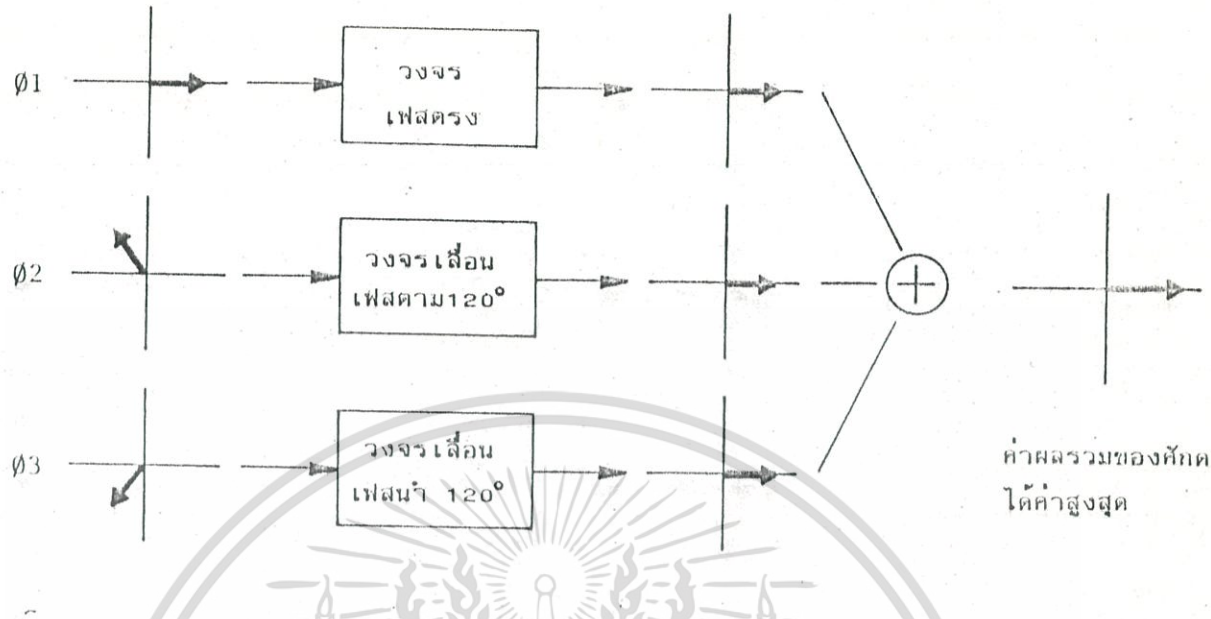


รูปที่ ๔.๑ แสดงผังการทำงานของวงจรเฟส ซีเควนซ์ โมนิเตอร์

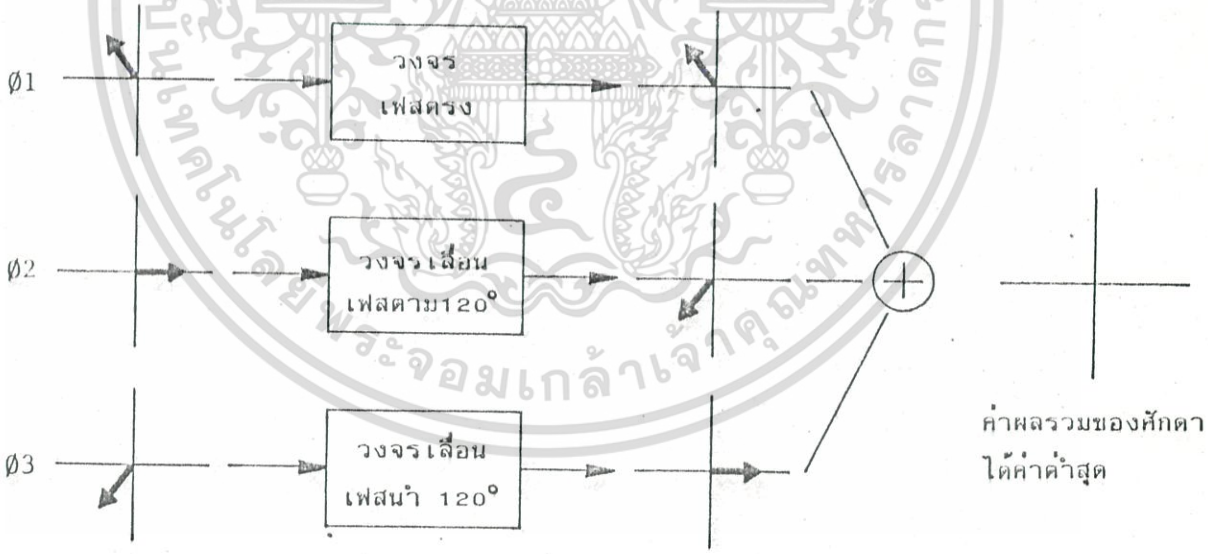
จากรูปที่ ๔.๑ ระดับศักดาจากการส่งจะถูกลดขนาดลง และใช้เฟสที่สองเป็นเฟสเปรียบเทียบ เฟสที่หนึ่งซึ่งมีเฟสนำหน้าเฟสที่สองอยู่ ๑๒๐ องศา จะถูกเลื่อนเฟสถอยหลังมา ๑๒๐ องศา ดังนั้น ผลที่ได้จากส่วนเลื่อนเฟสถอยหลังไป ๑๒๐ องศา คือสัญญาณที่มีเฟสอันเดียวกับสัญญาณที่ได้จากเฟสที่สอง ส่วนเฟสที่สามหลังจากถูกลดขนาดลงแล้วจะถูกเลื่อนเฟสนำหน้าไป ๑๒๐ องศา เพื่อให้มีเฟสอันเดียวกับเฟสที่สองเช่นกัน จากนั้นสัญญาณที่มีเฟสอันเดียวกันทั้ง ๓ เฟส จะถูกรวมกันด้วยวงจรรวมสัญญาณ เท่าที่กล่าวมาแล้วนี้จะพบว่า สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณจะมีขนาดสูงที่สุดต่อเมื่อเฟสเรียงกันตามนี้เท่านั้น ถ้ามีการเรียงเฟสผิดไปจากนี้แล้วผลที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณจะมีขนาดต่ำกว่ากรณีนี้ทั้งสิ้น ดังรูปที่ ๔.๒

สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณจะถูกเปลี่ยนให้เป็นระดับศักดาไฟตรงค่าหนึ่ง โดยวงจรเปลี่ยนศักดาไฟสลับให้เป็นไฟตรง ผลที่ได้จากส่วนนี้จะถูกป้อนเข้ายังวงจรเปรียบเทียบศักดาสัญญาณโดยตั้งศักดาที่ใช้ในการเปรียบเทียบไว้ค่าหนึ่ง ซึ่งวงจรนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อระดับศักดาที่ได้จากส่วนเปลี่ยนศักดาไฟสลับให้เป็นไฟตรง ได้มาจากการเรียงลำดับเฟสได้ถูกต้องเท่านั้น ถ้าเรียงลำดับเฟสไม่ถูกต้องระดับศักดาที่ได้จากส่วนเปลี่ยนศักดาไฟสลับให้เป็นไฟตรงจะไม่มีผลทำให้วงจรเปรียบเทียบระดับศักดาทำงานได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๔.๒ (a) เมื่อศักดาไฟสามเฟสต่อเรียงเฟสเข้าสู่วงจรถูกต้อง

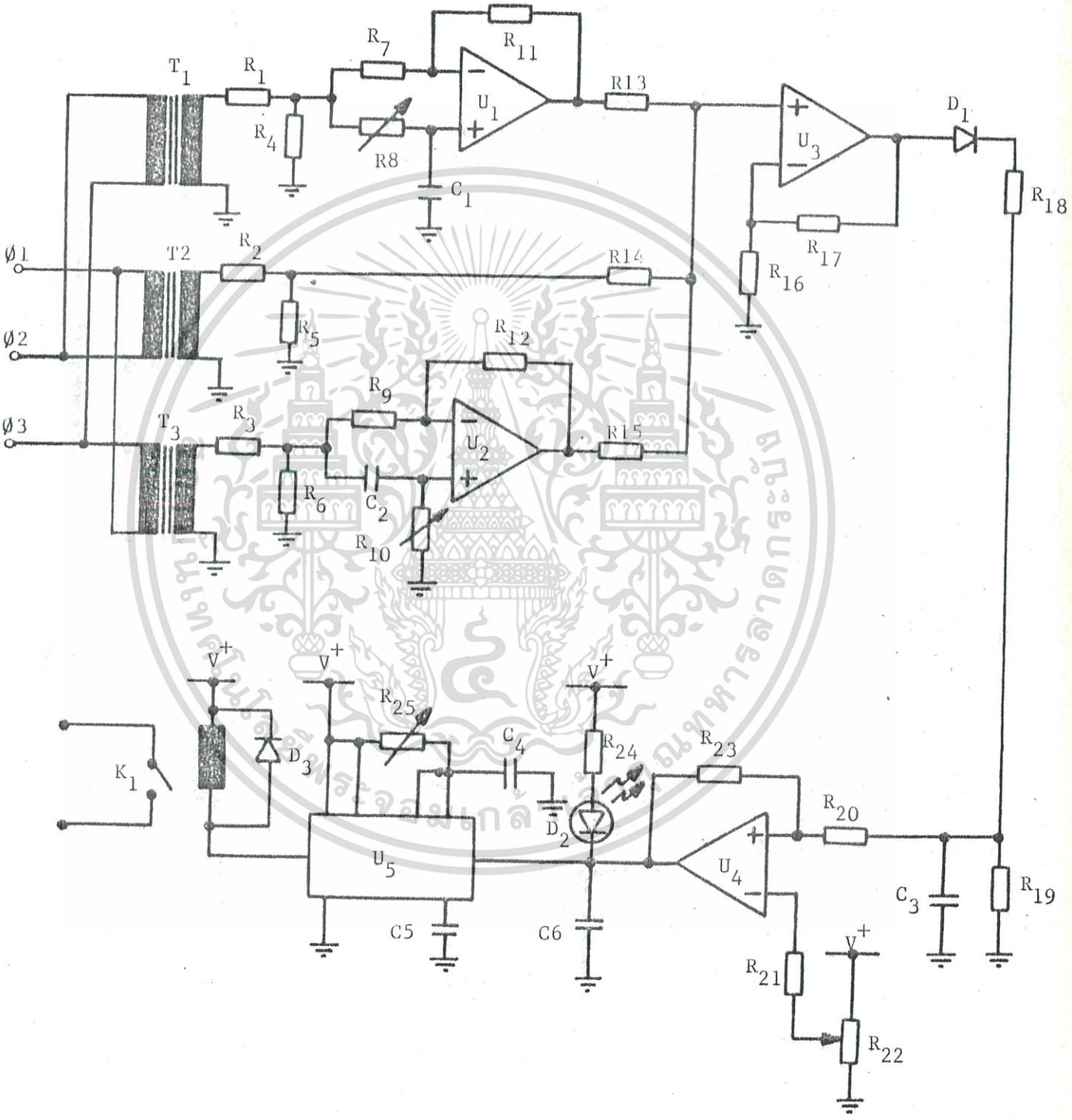


รูปที่ ๔.๒ (b) เมื่อศักดาไฟสามเฟสต่อเรียงเข้าสู่วงจรผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๔.๓ วงจรที่ใช้ในการทดลอง

วงจรที่ใช้ในการทดลองเป็นดังรูปที่ ๔.๒



รูปที่ ๔.๓ แสดงวงจร เฟส ซีเควนซ์ โมนิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๔.๔ รายละเอียดของอุปกรณ์

T1,T2,T3	transformer	pri.	380V.AC.
		sec.	18 V.AC.
R1	resistor 1/4 watt	15	K ohms
R2	resistor 1/4 watt	15	K ohms
R3	resistor 1/4 watt	15	K ohms
R4	resistor 1/4 watt	3	K ohms
R5	resistor 1/4 watt	3	K ohms
R6	resistor 1/4 watt	3	K ohms
R7	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R8	variable resistor	1	K ohms
R9	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R10	variable resistor	1	K ohms
R11	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R12	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R13	resistor 1/4 watt	100	K ohms
R14	resistor 1/4 watt	100	K ohms
R15	resistor 1/4 watt	100	K ohms
R16	resistor 1/4 watt	100	K ohms
R17	resistor 1/4 watt	100	K ohms
R18	resistor 1/4 watt	1	K ohms
R19	resistor 1/4 watt	100	K ohms
R20	resistor 1/4 watt	1	K ohms
R21	resistor 1/4 watt	1	K ohms
R22	variable resistor	1	K ohms
R23	resistor 1/4 watt	5	M ohms
R24	resistor 1/4 watt	1.5	K ohms
R25	variable resistor	5	M ohms
C1	electro.capacitor	1	MF.
C2	electro.capacitor	1	MF.
C3	electro.capacitor	47	MF.
C4	electro.capacitor	47	MF.
C5	ceramic capacitor	0.1	MF.
C6	electro.capacitor	1	MF.
D1	signal diode	1N4148	
D2	L.E.D.		
D3	rectifier diode	1N4001	
U1,U2,U3,U4	Op-amp	LM324	
U5	timer	LM555	
K1	relay 1 contact, 12 V.DC.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๔.๕ ลำดับการทำงานของวงจร

เมื่อต่อเฟสเข้าตามที่ระบุไว้ในวงจรแล้ว สัญญาณที่ได้จากเฟสหนึ่งจะถูกวงจรเลื่อนเฟสถอยหลังที่ประกอบด้วย R_7, R_{11}, R_8, C_1 และออปแอมป์ U_1 ทำการเลื่อนเฟสถอยหลังไป ๑๒๐ องศา $\phi = 2\tan^{-1}(1/2\ \pi f R_3 C_1)$ สัญญาณที่ได้จากเฟสสองจะถูกนำมาเป็นเฟสที่ใช้เปรียบเทียบ สัญญาณที่ได้จากเฟสที่สามจะถูกวงจรเลื่อนเฟสนำหน้าที่ประกอบด้วย R_9, R_{12}, R_{10}, C_2 และออปแอมป์ U_2 ทำการเลื่อนเฟสนำหน้าไป ๑๒๐ องศา $\phi^o = -2\tan^{-1}(2\pi f\ R_{10} C_2)$ สัญญาณที่ได้หลังจากนี้จะถูกนำมารวมกันด้วยวงจรรวมสัญญาณที่ประกอบด้วย R_{13}, R_{14}, R_{15}, R_{16}, R_{17} และออปแอมป์ U_3 ผลที่ได้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นศักดาไฟตรงด้วยวงจรเปลี่ยนศักดาไฟผลับให้เป็นศักดาไฟตรงที่ประกอบด้วย D_1, R_{18}, R_{19} และ C_3 จากนั้นที่ขาบวกจะมากกว่าศักดาที่ใช้เปรียบเทียบที่ขาลบ ทำให้ที่จุดสัญญาณออกของ U_4 มีสถานะทางลอจิกเป็น ๑ ยังผลให้วงจรไมโนสเตเบิล (U_5) ให้สถานะทางลอจิกที่จุดสัญญาณออกเป็น ๐ ทำให้รีเลย์ K_1 ปิดหน้าสัมผัส

ในกรณีที่ต่อเฟสผิดไปจากนี้ ผลที่ได้จากการรวมสัญญาณทั้งสามเฟสเข้าด้วยกันจะมีขนาดต่ำลงทำให้ระบบศักดาไฟตรงที่ได้จากส่วนเปลี่ยนศักดาไฟสลับให้เป็นไฟตรงมีค่าต่ำกว่าระดับศักดาไฟฟ้าเปรียบเทียบทั้งสิ้น ยังผลให้สถานะทางลอจิกของออปแอมป์ U_4 เป็น ๐ เสมอ ด้วยเหตุนี้ U_5 จะให้สถานะทางลอจิกที่จุดสัญญาณออกเป็น ๑ ตลอดเวลาทำให้รีเลย์ K_1 เปิดหน้าสัมผัสอยู่ตลอดเช่นกัน

๔.๖ ผลการทำงานของวงจร

จากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมาและทำการทดสอบผลปรากฏว่าเป็นไปตามทฤษฎีที่ออกแบบไว้ นั่นคือ รีเลย์ K_1 จะทำการจ่ายไฟไปเลี้ยง แม็ค เนติค เบรคเกอร์ ให้ปิดหน้าสัมผัสจ่ายไฟให้ระบบก็ต่อเมื่อ เฟสที่ต่อเข้าวงจรเป็นดังที่กล่าวไว้แล้วเท่านั้น ถ้าต่อเฟสผิดไปจากนี้วงจรจะไม่ทำให้รีเลย์ K_1 ปิดหน้าสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบเราสามารถกำหนดคุณสมบัติของเครื่องที่สร้างขึ้นได้ดังนี้คือ

— ลักษณะการต่อเครื่องเข้ากับระบบ — ระบบไฟสามเฟสแบบเดลตา ๓๘๐ โวลท์

— ช่วงความถี่ที่เครื่องสามารถทำงานได้ — ๔๐ เฮิทซ์ ถึง ๖๐ เฮิทซ์

— ช่วงเวลาที่หน่วงก่อนการต่อไฟเข้าระบบหลังการเกิดสภาวะผิดปกติ — สามารถปรับได้ตั้งแต่ ๓ นาที ถึง ๕ นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๕

ไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์

(Line voltage regulator)

๕.๑ บทนำ

จากการทำงานของวงจรตรวจสอบระดับศักดาไฟฟ้า วงจรป้องกันมอเตอร์ และวงจรตรวจสอบลำดับของเฟสของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ๓ เฟส ที่ได้กล่าวถึงในบทที่ผ่านมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าการทำงานของวงจรส่วนตรวจสอบและป้องกันในระบบนั้นจะทำการตัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่จะเข้ามาเลี้ยงอุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงาน เมื่อพบถึงสาเหตุของความผิดปกติในกรณีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยนัยสำคัญในการทำงานของวงจรอยู่ที่การหยุดการทำงานต่าง ๆ ในระบบทั้งหมด เมื่อตรวจพบถึงสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้น โดยมิได้แก้ไขถึงสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้น

ดังนั้น ในส่วนต่อไปของบทนี้จะได้กล่าวถึงหลักการการทำงานของวงจรไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการควบคุมรักษาให้ระดับศักดาไฟฟ้าที่จ่ายเข้าในระบบการทำงานคงที่อยู่ตลอด แม้ขนาดการใช้ภาระกรรมในระบบหรือระดับศักดาไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม ซึ่งการทำงานของวงจรในส่วนนี้จะเป็นการแก้ไขถึงสาเหตุซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในระบบขึ้น โดยทำงานเป็นส่วนควบคุมโดยตรง

๕.๒ หลักการและแนวความคิดในการออกแบบวงจรส่วนไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์

สิ่งสำคัญที่จำเป็นต้องคำนึงถึงในการออกแบบระบบการทำงานของวงจรไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์นั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ดังนี้ คือ

๕.๒.๑ รูปร่างลักษณะของศักดาไฟฟ้าทางออก (Output waveform)

๕.๒.๒ ช่วงระยะเวลาในการให้ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาที่มีเข้ามา (response time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๕.๒.๓ การรักษาระดับศักดาไฟฟ้าทางออกให้คงที่อยู่ตลอดการทำงาน (voltage regulation)

๕.๒.๔ ช่วงกว้างในการทำงาน (Dynamic range) สูงพอ

๕.๒.๑ รูปร่างลักษณะของศักดาไฟฟ้าทางออก

สำหรับรูปลักษณะของศักดาไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้ามาเลี้ยงภายในโรงงานจะเป็น รูปไซน์เวฟ (Sine wave) ทั้งนี้เพื่อป้องกันผลต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นมาจากค่าอิมพิแดนซ์ (Impedance) ที่เกิดขึ้นภายในสายส่งกำลังหรืออันเนื่องมาจากผลของภาระกรรมในลักษณะของรีแอ็คตีฟ โหลด (Reactive load) ซึ่งจากผลต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนี้ สำหรับรูปลักษณะของศักดาในแบบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ไซน์ เวฟแล้ว นอกจากจะมีผลทำให้ขนาดของศักดาเปลี่ยนแปลงยังจะส่งผลให้รูปลักษณะของศักดาผิดเพี้ยนไปจากเดิม และในขณะเดียวยังอาจทำให้เกิดทรานเซี้ยนท์ (Transient) ขึ้นรบกวนการทำงานของวงจรในระบบข้างเคียงขึ้นได้

แต่สำหรับศักดาไฟฟ้าในรูปลักษณะแบบไซน์เวฟ จะมีผลที่เกิดขึ้นเพียงค่าขนาดของศักดาถูกลดทอนหรือเปลี่ยนแปลงไปเท่านั้น หรือเกิดความแตกต่างระหว่างเฟสของศักดาและภระแสในระบบเท่านั้น

ดังนั้น จึงมีความจำเป็นสำหรับการทำงานของส่วนวงจรไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ที่จะให้ได้ระดับศักดาทางออกซึ่งถูกควบคุมให้คงที่จะยังคงมีรูปลักษณะแบบไซน์ เวฟ เหมือนศักดาไฟฟ้าในระบบจ่ายกำลังต้นกำเนิดที่เข้ามา

๕.๒.๒ ช่วงระยะเวลาในการให้ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับศักดาที่มีเข้ามา

จากการทำงานของวงจรไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ จะทำหน้าที่แก้ไขความผิดพลาดของระดับศักดาไฟฟ้าที่คลาดเคลื่อนไปจากจุดกำหนดในการทำงานเดิม เพื่อให้ระดับศักดาไฟฟ้าทางด้านทางออกมีค่าคงที่อยู่เสมอ ซึ่งจากขั้นตอนในการทำงานของวงจรเพื่อใช้ในการแก้ไขความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ จำเป็นต้องอาศัยช่วงระยะเวลาช่วงหนึ่ง จากจุดที่ระดับศักดาเลื่อนไปจนกลับมาหยุดอยู่ที่จุดกำหนดจุดเดิมซึ่งช่วงระยะเวลานี้ปกติควรมีค่าต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๔.๒.๓ การรักษาระดับศักดาไฟฟ้าทางด้านทางออกให้คงที่อยู่ตลอดการทำงาน

คุณสมบัติในการทำงานด้านนี้ของวงจรไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ สามารถคิดได้เป็นค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนของระดับศักดาไฟฟ้าทางด้านทางออกของวงจรซึ่งผิดพลาดไปจากจุดกำหนดที่ตั้งไว้อันอาจเนื่องมาจากสาเหตุของระดับศักดาไฟฟ้าจากแหล่งต้นกำเนิดภายนอกผิดพลาดไปเอง หรืออาจเกิดจากสาเหตุของภาระกรรมที่ใช้งานมีค่าเปลี่ยนแปลง โดยปกติแล้วค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ควรจะมีค่าต่ำสุด

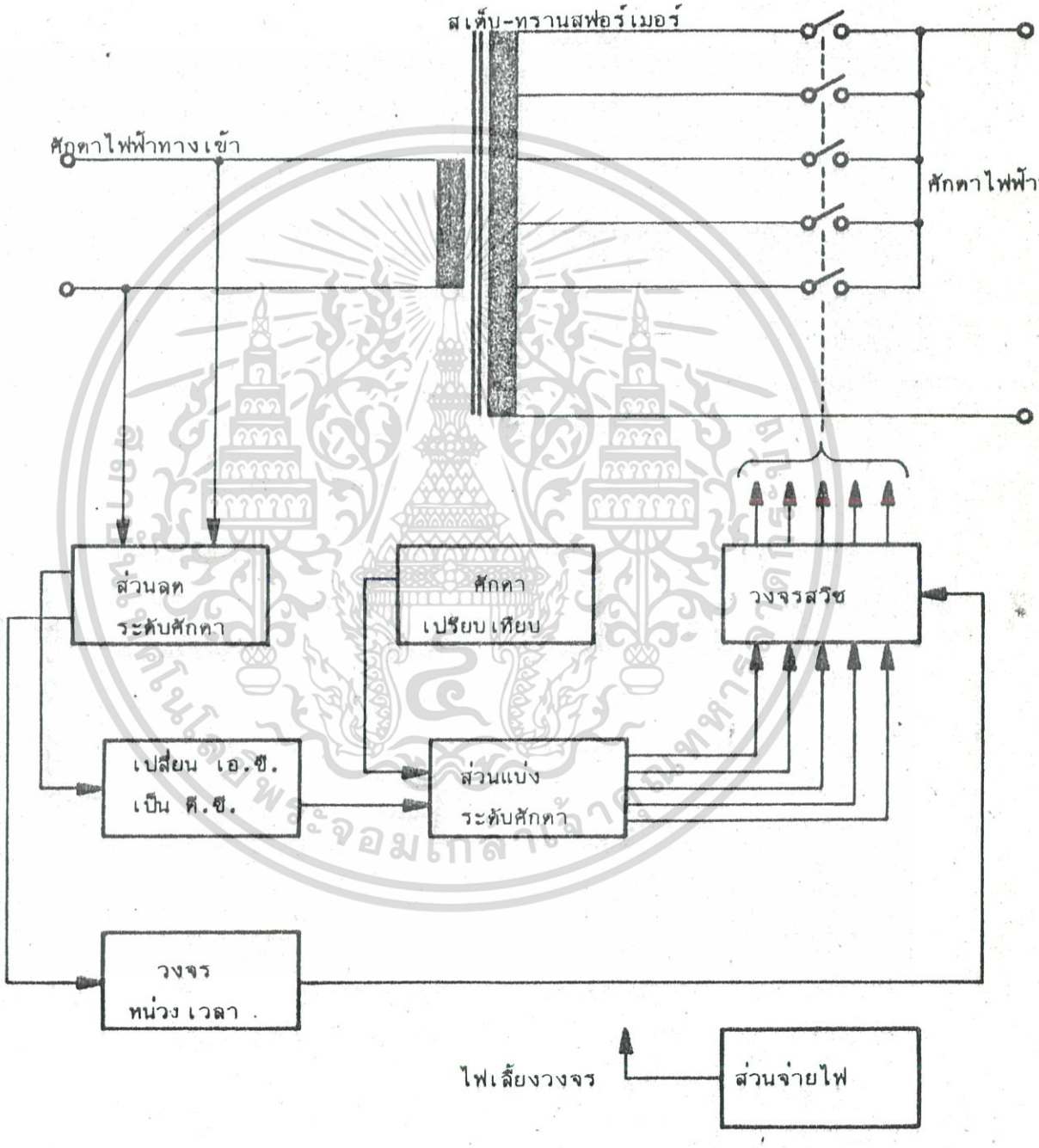
๔.๒.๔ มีช่วงกว้างในการทำงานของวงจรสูงพอ

โดยการทำงานในหน้าที่ควบคุมรักษาให้ระดับศักดาไฟฟ้าทางด้านทางออกของวงจรมีค่าคงที่ตลอดแม้ระดับศักดาไฟฟ้าจากต้นกำเนิดที่จ่ายเข้ามีช่วงกว้างในการเปลี่ยนแปลงสูงก็ตาม การทำงานของไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ จะยังคงรักษาระดับศักดาให้มีค่าคงที่อยู่ได้เสมอ

๔.๓ หลักการทำงานของวงจรไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ที่สร้าง

จากคุณสมบัติที่สำคัญบางประการดังได้กล่าวแล้ว ส่วนวงจรไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ ที่ได้สร้างขึ้น จึงอาศัยโครงสร้างของทรานสฟอร์เมอร์เป็นหลักใหญ่ในการทำงาน ซึ่งสามารถแสดงส่วนประกอบโครงสร้างอย่างง่าย ๆ ได้ ดังรูปที่ ๔.๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๔.๑ ผังการทำงานของวงจรไลท์โวลท์เตจเรกูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

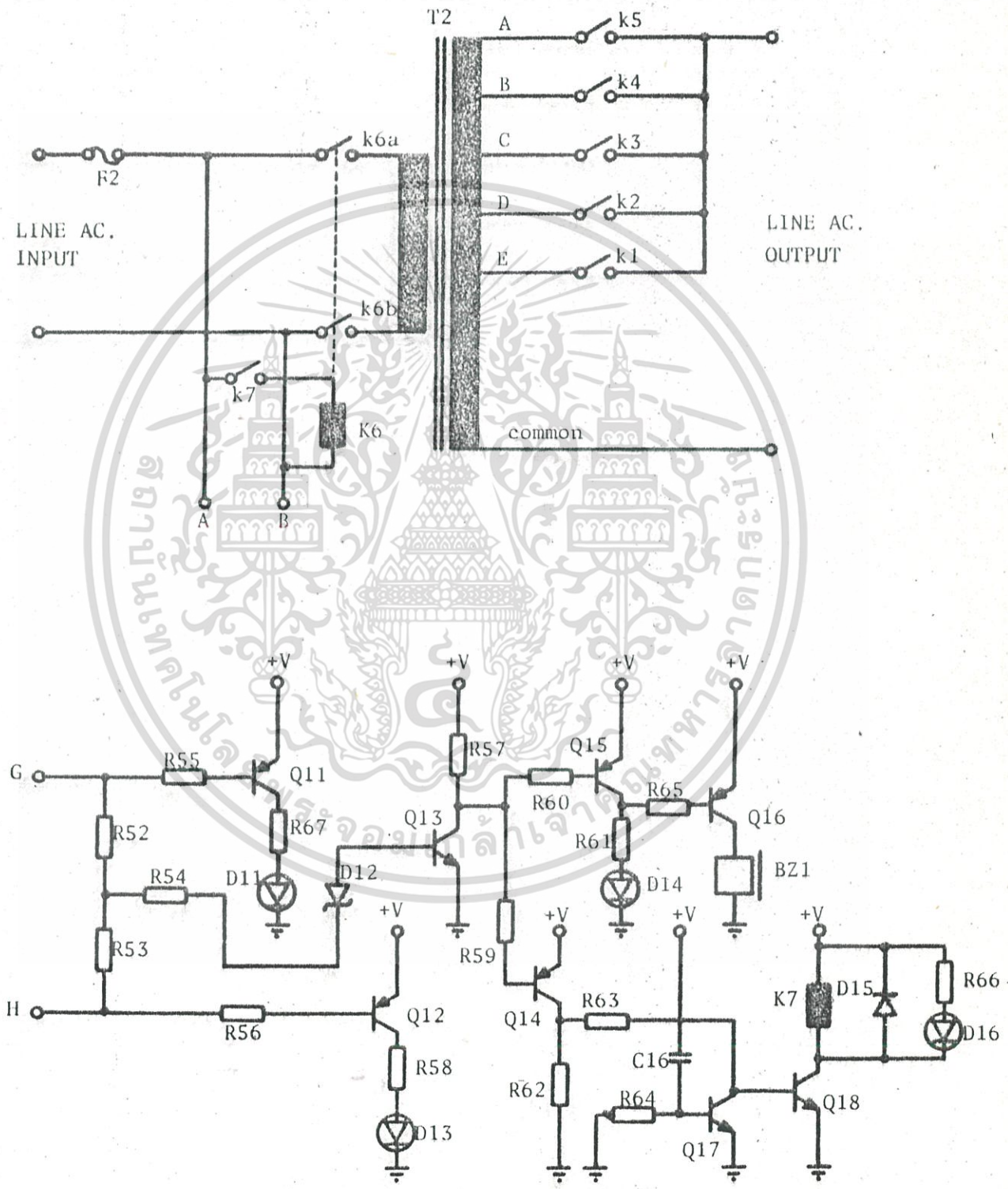
จากผังการทำงานในรูปที่ ๕.๑ ศักดาที่จ่ายเข้ามาทางด้านชุดปฐมภูมิจะชักนำให้เกิดศักดาทางด้านชุดทุติยภูมิ ซึ่งแบ่งออกเป็นระดับศักดาที่ต่างกันตามจุดแท็บของทรานสฟอร์มเมอร์ ศักดาที่ชุดต่าง ๆ ทางด้านขดทุติยภูมินี้ จะถูกเลือกออกไปใช้งานโดยอาศัยการตัดต่อจากชุดสวิชตัวใดตัวหนึ่งที่จะเลือกค่าระดับศักดาทางด้านชุดทุติยภูมิให้เป็นสัดส่วนผกผันกับศักดาที่จ่ายเข้าทางด้านชุดปฐมภูมิ เพื่อให้ผลของศักดาที่ผ่านชุดสวิชออกไปมีค่าคงที่เสมอ ไม่ว่าศักดาที่เข้าสู่ทรานสฟอร์มเมอร์จะเปลี่ยนไปอย่างไรก็ตาม

การทำงานของส่วนชุดสวิชที่กล่าวไปแล้วนี้ จะถูกควบคุมจากวงจรส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ทางด้านหน้า อันประกอบไปด้วย ส่วนลดระดับศักดาที่จ่ายเข้า วงจรจะทำการลดขนาดศักดาลงจนเหมาะสมกับการทำงานของอุปกรณ์ในวงจรถัดไปคือ ส่วนเปลี่ยนศักดาไฟสลับเป็นไฟตรง ศักดาไฟตรงที่ได้จากส่วนวงจรนี้ จะส่งไปเปรียบเทียบกับระดับศักดาที่ส่งเข้ามาจากส่วนศักดาเปรียบเทียบ ส่วนการทำงานของวงจรแบ่งระดับศักดาเมื่อได้รับสัญญาณจากส่วนศักดาเปรียบเทียบ และส่วนเปลี่ยนศักดาไฟสลับเป็นไฟตรงแล้ว จะทำการบ่งชี้ได้ว่า ศักดาไฟตรงที่ผ่านวงจรส่วนต่าง ๆ เข้ามาจากทางด้านศักดาที่จ่ายเข้าไปยังชุดปฐมภูมิในขณะนั้น ๆ มีค่าสูงหรือต่ำเพียงไร จากนั้นจึงส่งสัญญาณลอจิกเข้าไปควบคุมวงจรสวิชทางด้านหลัง เพื่อทำการเปลี่ยนแท็บของทรานสฟอร์มเมอร์ แก้ไขให้ระดับศักดาทางออกมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนสูงขึ้นหรือต่ำลงตามศักดาทางเข้า

ในขณะเดียวกันการทำงานของวงจรสวิช ที่ทำหน้าที่ตัดต่อศักดาทางออกนั้น จำเป็นจะต้องมีการควบคุมจังหวะการปิดเปิดของสวิชแต่ละตัวด้วย เพื่อให้ตรงกับจังหวะที่ศักดาไฟสลับที่เข้ามามีเฟสเป็น ๐ พอดี อันจะเป็นการป้องกันการชำรุดของชุดสวิช อันเนื่องมาจากการปิดเปิดหน้าสัมผัสของสวิชในขณะที่ศักดาไฟฟ้ามีค่าสูง

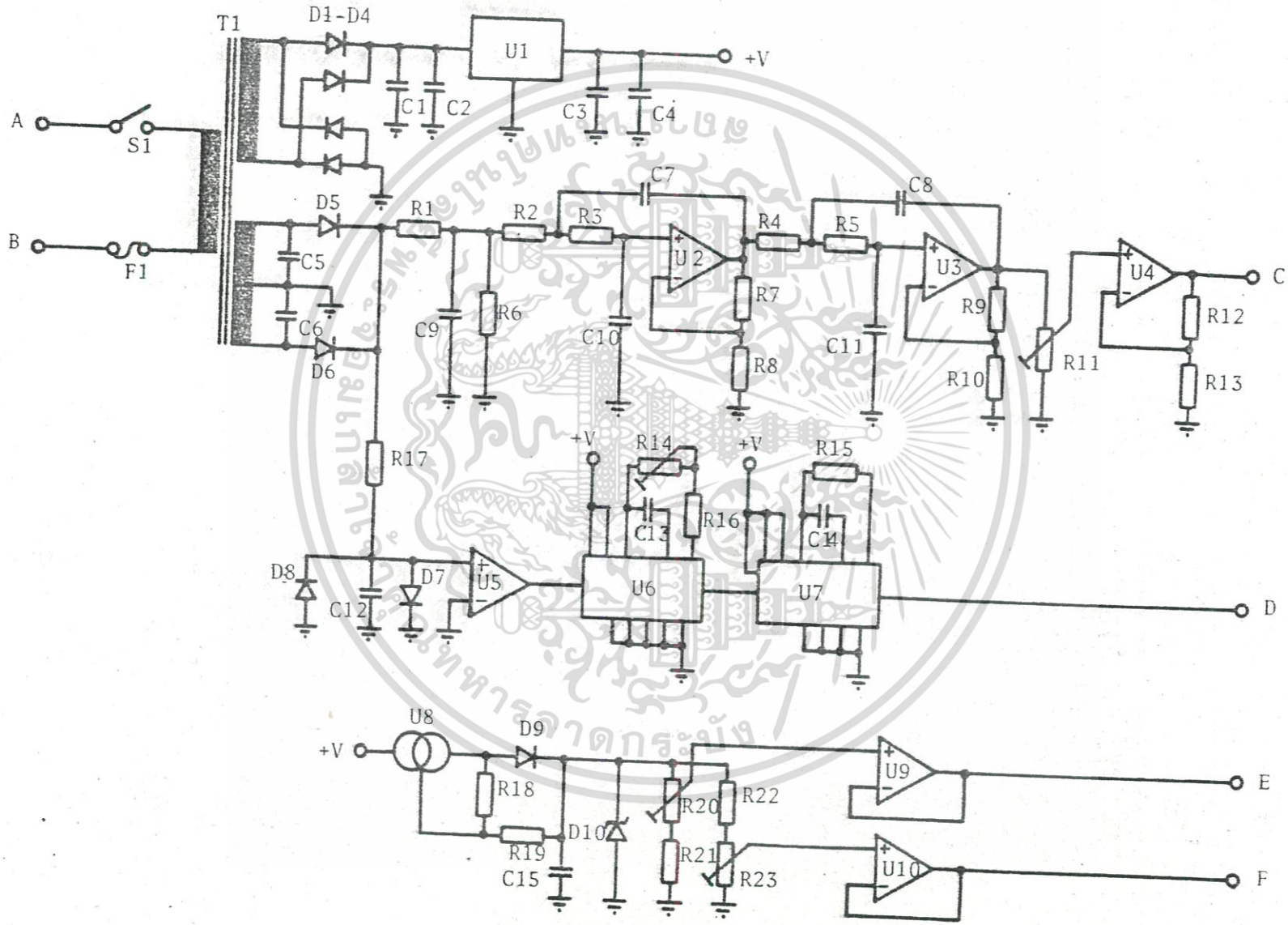
จากโครงสร้างการทำงานดังได้กล่าวแล้วนี้ วงจรของส่วน ไลน์ โวลท์เตจ เรกูเรเตอร์ จะเป็นไปตามรูปที่ ๕.๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



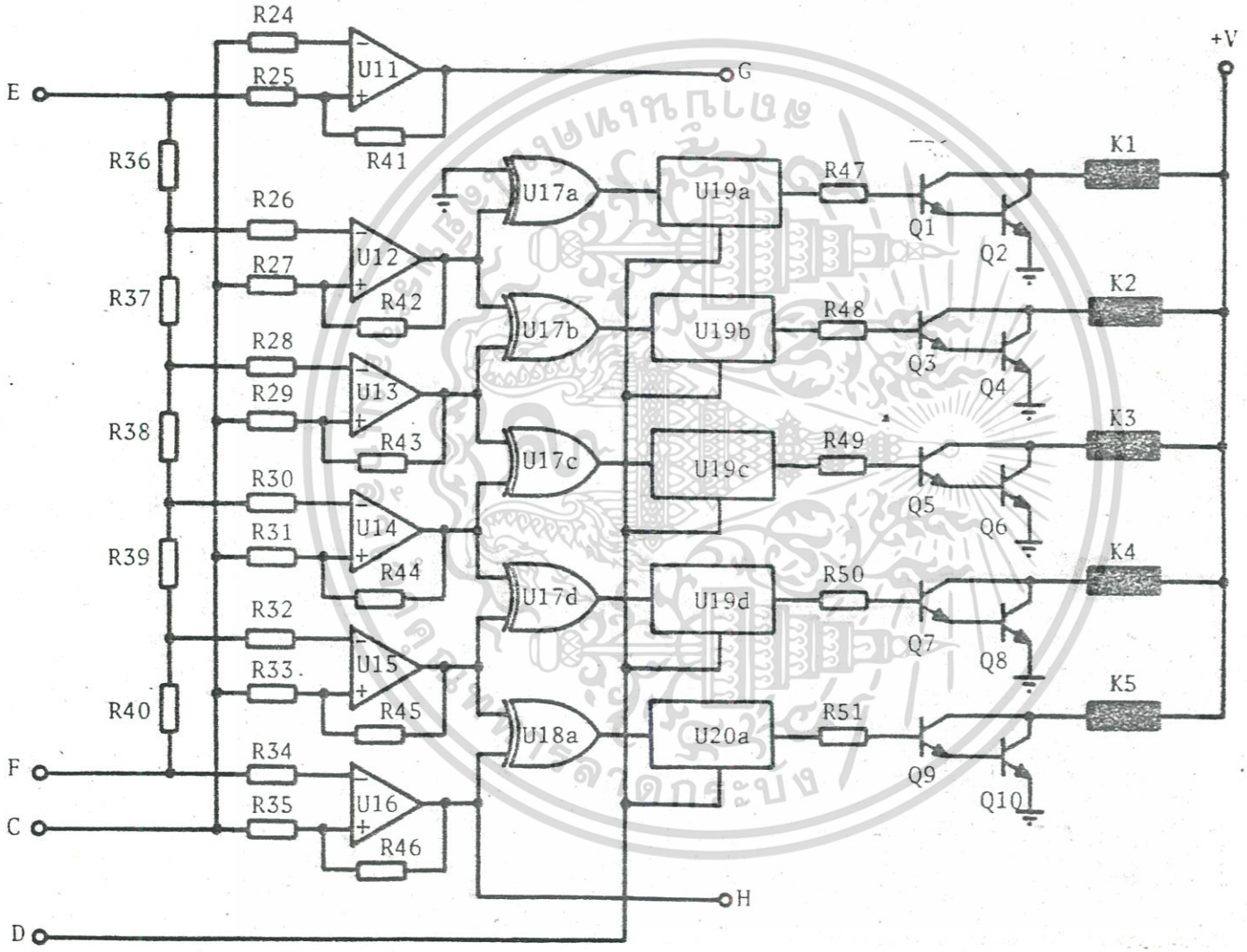
รูปที่ ๕.๒ (a) แสดงวงจรส่วนที่หนึ่งของไลท์โวลท์เตจเรกูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๔.๒ (b) แสดงวงจรส่วนที่สองของไลท์โวลท์เตจเรกูเลเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ ๔.๒ (c) แสดงวงจรส่วนที่สามของไลท์โวลท์เตจเรกูเลเตอร์

รูปที่ ๔.๒ (a)

T2	transformer			pri.	220V.AC.
		sec.	A to common		240V.AC.
			B to common		230V.AC.
			C to common		220V.AC.
			D to common		210V.AC.
			E to common		200V.AC.
K6	magnetic switch				
K7	relay 12 V.DC. ,5A.				
R52	resistor 1/4 watt			100	ohms
R53	resistor 1/4 watt			100	ohms
R54	resistor 1/4 watt			100	ohms
R55	resistor 1/4 watt			1	K ohms
R56	resistor 1/4 watt			1	K ohms
R57	resistor 1/4 watt			4.7	K ohms
R58	resistor 1/4 watt			560	ohms
R59	resistor 1/4 watt			1	K ohms
R60	resistor 1/4 watt			1	K ohms
R61	resistor 1/4 watt			560	ohms
R62	resistor 1/4 watt			4.7	K ohms
R63	resistor 1/4 watt			1	K ohms
R64	resistor 1/4 watt			1	K ohms
R65	resistor 1/4 watt			1	K ohms
R66	resistor 1/4 watt			560	ohms
R67	resistor 1/4 watt			560	ohms
C16	electro.capacitor			1	MF.
Q11	PNP transistor			2N2907	
Q12	PNP transistor			2N2907	
Q13	NPN transistor			2N2222	
Q14	PNP transistor			2N2907	
Q15	PNP transistor			2N2907	
Q16	PNP transistor			2N2907	
Q17	NPN transistor			2N2222	
Q18	NPN transistor			2N2222	
D11	L.E.D.				
D12	zener diode			6.5 V.	
D13	L.E.D.				
D14	L.E.D.				
D15	rectifier diode			1N4001	
D16	L.E.D.				
BZ1	buzzer 12V.DC.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของอุปกรณ์

รูปที่ ๔.๒ (b)

T1	transformer	pri. 220 V.AC. sec. 18 V.AC. 9-0-9 V.AC.		
SW1	power on/off switch			
F1	fuse 500 mA.			
R1	resistor	1/4 watt	20	K ohms
R2	resistor	1/4 watt	20	K ohms
R3	resistor	1/4 watt	12	K ohms
R4	resistor	1/4 watt	9.1	K ohms
R5	resistor	1/4 watt	30	K ohms
R6	resistor	1/4 watt	18	K ohms
R7	resistor	1/4 watt	16	K ohms
R8	resistor	1/4 watt	16	K ohms
R9	resistor	1/4 watt	75	K ohms
R10	resistor	1/4 watt	75	K ohms
R11	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R12	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R13	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R14	resistor	1/4 watt	1	M ohms
R15	resistor	1/4 watt	1	M ohms
R16	resistor	1/4 watt	500	K ohms
R17	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R18	resistor	1/4 watt	1	K ohms
R19	resistor	1/4 watt	1	K ohms
R20	variable resistor		10	K ohms
R21	resistor	1/4 watt	2.2	K ohms
R22	resistor	1/4 watt	2.2	K ohms
R23	variable resistor		10	K ohms
C1	electro.capacitor		1000	MF.
C2	mylar capacitor		0.1	MF.
C3	electro.capacitor		100	MF.
C4	mylar capacitor		0.1	MF.
C5	electro.capacitor		47	MF.
C6	electro.capacitor		47	MF.
C7	electro.capacitor		1	MF.
C8	electro.capacitor		1	MF.
C9	electro.capacitor		10	MF.
C10	electro.capacitor		1	MF.
C11	electro.capacitor		1	MF.
C12	ceramic capacitor		0.001	MF.
C13	electro.capacitor		47	MF.
C14	electro.capacitor		47	MF.
C15	electro.capacitor		100	MF.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

U1	fixed regulator	LM340T-12
U2-U5	Op-amp	1/4 LM324
U9-U10	Op-amp	1/4 LM324
U6,U7	monostable multivibrator	CD4047
U8	constant current source	LM334
D1	rectifier diode	1N4001
D2	rectifier diode	1N4001
D3	rectifier diode	1N4001
D4	rectifier diode	1N4001
D5	rectifier diode	1N4001
D6	rectifier diode	1N4001
D7	signal diode	1N4148
D8	signal diode	1N4148
D9	signal diode	1N4148
D10	zener diode 6.5 V.	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของอุปกรณ์

รูปที่ ๔.๒ (c)

R24	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R25	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R26	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R27	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R28	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R29	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R30	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R31	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R32	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R33	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R34	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R35	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R36	resistor	1/4 watt	20	K ohms
R37	resistor	1/4 watt	20	K ohms
R38	resistor	1/4 watt	20	K ohms
R39	resistor	1/4 watt	20	K ohms
R40	resistor	1/4 watt	20	K ohms
R41	resistor	1/4 watt	47	M ohms
R42	resistor	1/4 watt	47	M ohms
R43	resistor	1/4 watt	47	M ohms
R44	resistor	1/4 watt	47	M ohms
R45	resistor	1/4 watt	47	M ohms
R46	resistor	1/4 watt	47	M ohms
R47	resistor	1/4 watt	1	K ohms
R48	resistor	1/4 watt	1	K ohms
R49	resistor	1/4 watt	1	K ohms
R50	resistor	1/4 watt	1	K ohms
R51	resistor	1/4 watt	1	K ohms

Q1	NPN transistor	2N2222
Q2	NPN transistor	C458
Q3	NPN transistor	2N2222
Q4	NPN transistor	C458
Q5	NPN transistor	2N2222
Q6	NPN transistor	C458
Q7	NPN transistor	2N2222
Q8	NPN transistor	C458
Q9	NPN transistor	2N2222

U11-U16	Op-amp	1/4 LM324
U17-U18	Exclusive OR gate	CD4070
U19-U20	flip-flop	CD4027

K1-K5 relay 12V.DC. contact rating 10 amps.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๔.๖ การทำงานของวงจร

ศักดาไฟสลับที่ได้จากทรานสฟอร์มเมอร์ T1 จะถูกแยกออกผ่านไดโอดเร็คติฟาย D1 ถึง D4 และ C1,C2 เพื่อเปลี่ยนศักดาไฟสลับไปเป็นไฟตรง ผ่านไอ.ซี. เร็กกูเลเตอร์ U1 จ่ายไปเลี้ยงวงจรส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง

ในขณะเดียวกันศักดาไฟสลับอีกส่วนหนึ่ง จะถูกเปลี่ยนไปเป็นศักดาไฟตรงโดยอาศัย D5,D6 และ R1,R6 และ C9 โดยมีออปแอมป์ U2,U3 ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ ชนิดที่ยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า ๑๐ เฮิทซ์ผ่านได้เท่านั้น วงจรกรองความถี่ต่ำส่วนนี้จะทำหน้าที่กรองความถี่สัญญาณไฟสลับที่ปนมากับสัญญาณไฟตรงออกให้หมด ออปแอมป์ U4 จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟตรงให้มีค่าเหมาะสม เพื่อส่งเข้าสู่วงจรส่วนต่อไป

ส่วนของ R20 และ R23 พร้อมกับ U9 และ U10 จะสร้างศักดาเปรียบเทียบทั้งทางด้านสูงและทางด้านต่ำ จากแรงไฟอ้างอิงที่ได้จากการทำงานของ U8 และ D10

สัญญาณไฟตรงและศักดาเปรียบเทียบทั้งทางด้านสูงและต่ำจะถูกส่งเข้าสู่ส่วนเปรียบเทียบระดับศักดา ซึ่งประกอบด้วย U11 ถึง U16 สำหรับวงจรในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณไฟตรงที่ได้มาจากศักดาไฟสลับ กับระดับศักดาเปรียบเทียบที่ได้ตั้งไว้ วงจรเปรียบเทียบจะให้สัญญาณทางด้านลอจิกออกเป็น 1 เมื่อสัญญาณไฟตรงที่ป้อนเข้าขาบวกมีค่าสูงกว่าศักดาเปรียบเทียบที่ป้อนเข้าขาลบ

ในที่นี้สมมติว่า U14,U15 และ U16 มีสัญญาณลอจิกทางออกเป็น 1 ส่วน U13 และ U14 ให้สัญญาณลอจิกออกเป็น o เอ็กซ์คลูซีฟ ออร์ U17 และ U18 จะทำการเลือกสถานะลอจิก 1 ออกมาเพียงตัวเดียว โดยในที่นี้ U17c เท่านั้นที่จะปรากฏสัญญาณลอจิก 1 ออก และส่งเข้าสู่ฟลิป-ฟลอปเพื่อเก็บสภาวะทางลอจิกนี้ไว้ส่งไปควบคุมชุดสวิช

การเก็บสภาวะทางลอจิกของฟลิป-ฟลอป จำเป็นจะต้องรอสัญญาณหน่วงเวลาที่ถูกสร้างขึ้นจากการเปลี่ยนรูปคลื่นของสัญญาณศักดาไฟสลับจากทรานสฟอร์มเมอร์ T1 ไปเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม และจัดช่วงเวลาที่หน่วงให้เหมาะสมได้จากการทำงานของ U6 และ U7 สัญญาณหน่วงเวลานี้จะเป็นตัวควบคุมจังหวะการเก็บสภาวะลอจิกของฟลิป-ฟลอป เพื่อส่งให้กับชุดสวิช K1 ถึง K5 ซึ่งถูกควบคุมอีกทอดหนึ่งจากทรานซิสเตอร์ Q1 ถึง Q10 เพื่อให้การทำงานของสวิชที่ใช้ตัดต่อศักดาทางออกให้ทำงานตรงกับจังหวะเฟส o ของศักดาไฟสลับ ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกเหนือไปจากนั้น วงจรเปรียบเทียบระดับศักดาจะมีส่วนที่ทำหน้าที่ตักจับสัญญาณไฟตรงที่มาจากศักดาไฟสลับทางเข้าในขณะนั้น ว่ามีค่าศักดาไฟสลับสูงหรือต่ำเกินกำหนดหรือไม่ โดยอาศัยการทำงานของ U11 และU16 ซึ่งจะส่งสภาวะลอจิก 0 ไปให้กับวงจรเตือนและป้องกัน อันประกอบไปด้วย Q11 ถึง Q18 ให้ทำการตัดศักดาไฟสลับที่จ่ายเข้าออก โดยอาศัยรีเลย์ K6 และ K7 พร้อมทั้งส่งสัญญาณเสียงเตือนและ D11 และD13 จะติดสว่างเพื่อแสดงสภาวะความผิดปกติว่าเกิดมาจากสาเหตุของค่าศักดาไฟสลับสูงหรือต่ำเกินจุดกำหนดไปพร้อม ๆ กันด้วย อันจะเป็นการป้องกันอันตรายหรือความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวงจรและโหลดที่รับศักดาไฟสลับทางออกนี้ไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๕.๗ ผลการทดสอบการทำงานของวงจร ไลน์โวลท์เดจ เร็กกูเลเตอร์

จากผลการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบสามารถกำหนดคุณสมบัติของเครื่องได้ดังนี้คือ

ศักดาไฟสลับทางเข้า	190	V.AC.	ถึง	250	V.AC.
ศักดาไฟสลับทางออก	220	V.AC.	±	5 V.AC.	
ผลการตอบสนองต่อเวลา *	20	m sec.			
ความสามารถในการจ่ายกำลัง	2	KVA.			
วงจรป้องกันจะทำงานเมื่อศักดาไฟสลับทางเข้าต่ำกว่า				190	V.AC.
หรือศักดาไฟสลับทางเข้ามีค่าสูงกว่า				250	V.AC.

*หมายเหตุ ผลการตอบสนองต่อเวลา กำหนดได้จากช่วงนับตั้งแต่ศักดาไฟสลับทางเข้าเกิดการเปลี่ยนแปลง ไปจนกระทั่งเครื่องไลน์โวลท์เดจ เร็กกูเลเตอร์ทำการเปลี่ยนแท็ปของทรานส-ฟอร์มเมอร์ เพื่อให้ศักดาไฟสลับทางออกกลับมามีค่าคงเดิมตามที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๖

เฟส มิเตอร์ (Phase meter)

๖.๑ บทนำ

ในการวิเคราะห์คุณลักษณะการทำงานของระบบวงจรทางด้านอิเล็คทรอนิคส์ (Electronics) ผลตอบสนองทางด้านความถี่ของวงจรจะสามารถบอกถึงขีดจำกัดในการทำงานของวงจรได้เป็นอย่างดี ซึ่งผลตอบสนองต่อความถี่ที่เกิดขึ้นจากคุณลักษณะในวงจรทางด้านอิเล็คทรอนิคส์นี้ โดยทั่วไปจะพิจารณาถึงสิ่งสำคัญอยู่สองประการคือ อัตราการขยายหรืออัตราการลดทอนสัญญาณที่ผ่านเข้ามาในวงจร เมื่อสัญญาณมีความถี่เปลี่ยนแปลงไปหนึ่ง และผลการเปลี่ยนแปลงของเฟส (Phase) ของสัญญาณทางด้านทางออกของวงจร เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณทางเข้าเมื่อความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปอีกหนึ่ง

ดังนั้น ในการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติในการตอบสนองทางด้านเฟสของวงจรจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีเครื่องมือในการวัดค่าเฟสของสัญญาณที่จุดสองจุดขึ้นมา เพื่อใช้ในการด้านนี้ ซึ่งเป็นผลทำให้เฟสมิเตอร์ถูกจัดเข้าอยู่ในกลุ่มของเครื่องมือวัดที่ใช้งานในทางด้านการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าด้วย

๖.๒ คุณลักษณะสำคัญในการใช้งานเฟส มิเตอร์

เนื่องจากคุณสมบัติในการตอบสนองต่อความถี่ของสัญญาณในทางด้านเฟสจะสามารถบอกถึงความเพี้ยนที่จะเกิดขึ้นในวงจร เมื่อสัญญาณที่ป้อนเข้าในวงจรมีความถี่หลาย ๆ ความถี่รวมกัน เข้ามาในวงจรพร้อมกัน และผลตอบสนองต่อความถี่ของสัญญาณในทางด้านเฟสมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนจะมีผลกระทำให้รูปสัญญาณทางด้านทางออกมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผลของความเพี้ยนที่เกิดขึ้นต่อสัญญาณรวมหลายความถี่นี้จะเป็นคุณลักษณะด้านหนึ่งที่ทำให้เกิดข้อจำกัดในการทำงานของวงจรให้เกิดผลดีได้เพียงช่วงใดช่วงหนึ่งเท่านั้น

จากความสำคัญนี้เอง เฟสมิเตอร์ที่ใช้งานเพื่อหาผลในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรจึงจำเป็นต้องมีลักษณะคุณสมบัติที่ดีเด่นในข้อต่าง ๆ เหล่านี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๖.๒.๑ มีความเที่ยงตรงแม่นยำสูงในการวัดเฟสของสัญญาณที่ต้องการเปรียบเทียบกับเฟสของสัญญาณมาตรฐานที่กำหนด

๖.๒.๒ ช่วงกว้างในการทำงานของเฟสมิเตอร์ทางด้านความถี่ของสัญญาณที่จะทำการวัดจะต้องมากกว่าวงจรในระบบที่จะทำการวัด

๖.๒.๓ สามารถทำการวัดสัญญาณที่มีขนาด (Amplitude) ต่าง ๆ ได้ ตั้งแต่ขนาดของสัญญาณซึ่งต่ำสุดในวงจรไปจนถึงสัญญาณที่มีขนาดสูงที่สุดในระบบหรือวงจรที่จะทำการวัด

๖.๒.๔ มีความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่แทรกซ้อนเข้ามากับสัญญาณที่จะทำการวัดทิ้งได้ เพื่อให้สามารถทำการวัดได้ผลแม่นยำยิ่งขึ้นในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ กัน

๖.๒.๕ มีความสามารถในการวัดเฟสของสัญญาณได้ สำหรับรูปร่าง (Waveform) ของสัญญาณทุกลักษณะ

๖.๓ <u>เทคนิคที่ใช้ในเฟส มิเตอร์ที่สร้างขึ้น</u>

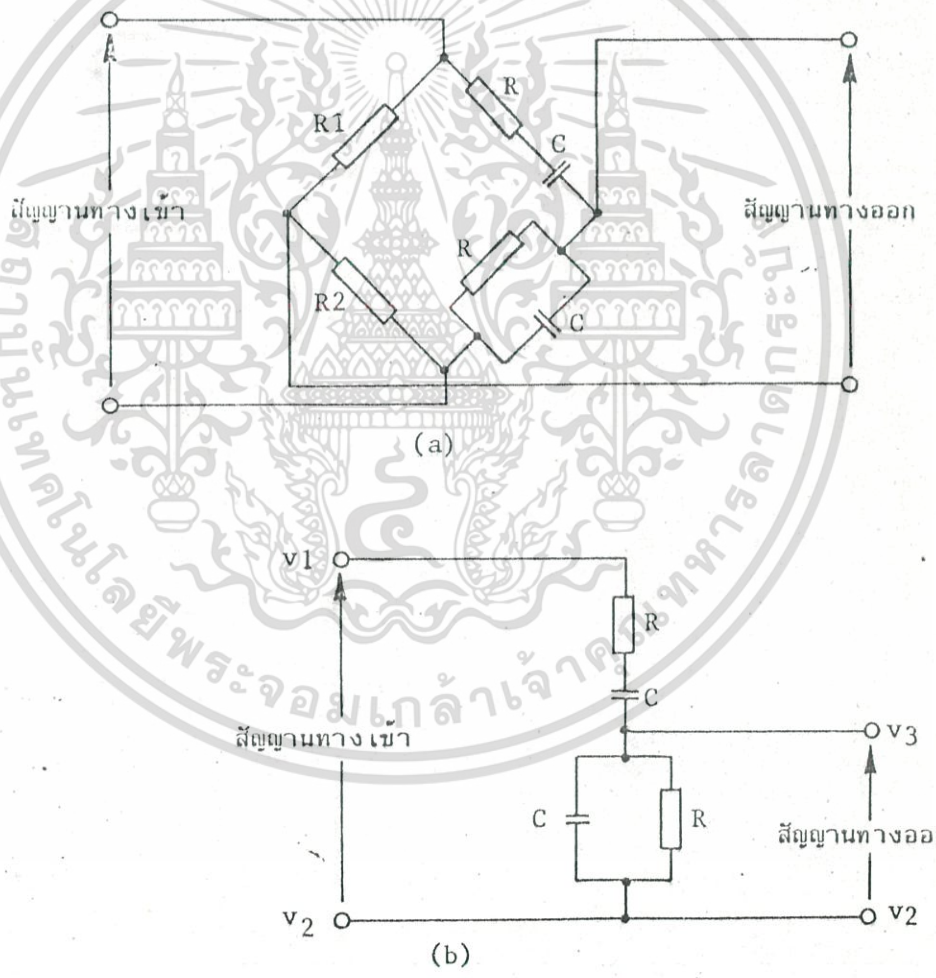
เนื่องจากผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งโดยทั่วไปส่วนใหญ่แล้วสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจะเป็นกลุ่มของสัญญาณซึ่งมีช่วงกว้างของความถี่กว้างมาก เมื่อเกิดผสมรวมกับสัญญาณแท้จริงที่ต้องการวัดค่าเฟสแล้ว มีผลทำให้ค่าเฟสที่วัดได้มีค่าผิดพลาดออกไปจากเดิมเมื่อยังไม่มีสัญญาณรบกวนเข้ามารวมด้วย ดังนั้น ในบางกรณีจึงมีความจำเป็นจะต้องกำจัดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นได้ทิ้งไป

ซึ่งในวงจรของเฟส มิเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ จึงมีส่วนวงจรนอทช์ ฟิลเตอร์ (Notch filter) ประกอบอยู่ในภาคส่วนหน้าของวงจรด้วย เพื่อทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะความถี่ของสัญญาณที่ต้องการจะทำการวัดเท่านั้นผ่านเข้าสู่ส่วนเปรียบเทียบเฟสในทางด้านหลังของวงจรต่อไป และเนื่องจากการที่เฟสมิเตอร์ที่สร้างจำเป็นจะต้องมีช่วงความถี่ที่จะทำการวัดได้กว้างพอ ดังนั้นส่วนของฟิลเตอร์ทางด้านส่วนหน้าจึงจำเป็นต้องสามารถปรับความถี่จะทำการกรองผ่านได้และในขณะเดียวกันยังจะต้องสามารถปรับเปลี่ยนแปลงอัตราลดทอนของสัญญาณนอกช่วงความถี่ที่ทำงานกับสัญญาณที่วงจรทำการกรองผ่านได้ รวมถึงช่วงกว้างของความถี่ของสัญญาณที่วงจรจะทำการกรองผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ด้วย

จากลักษณะที่กล่าวแล้วนี้ ในวงจรเฟส มิเตอร์ เฉพาะส่วนฟิลเตอร์ด้านหน้าจึงได้อาศัยเทคนิคของวงจรเวน-บริดจ์ (Wien-bridge) มาใช้ในส่วนของฟิลเตอร์นี้ ทั้งนี้เพื่อให้คุณลักษณะในการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ในการกรองสัญญาณสามารถกระทำได้โดยง่าย โดยการประยุกต์เอาเฉพาะส่วนที่ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ (Resonance) มาใช้งานเพียงด้านเดียว ดังรูปที่ ๖.๑



รูปที่ ๖.๑ (a) วงจรเวน-บริดจ์เต็มรูป

(b) ส่วนเรโซแนนซ์ในวงจรเวน-บริดจ์ที่ถูกดึงมาใช้ในวงจรฟิลเตอร์ส่วนหน้าของเฟสมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำส่วนเรโซแนนซ์ในวงจรเวน-บริดจ์ มาใช้งานสามารถอธิบายโดยอาศัยสมการทางด้านคณิตศาสตร์ได้ จากรูปที่ ๖.๑ (b) เมื่อกำหนดให้ระดับศักดาของสัญญาณที่จุดบนเป็น v_1; ระดับศักดาของสัญญาณที่จุดล่างเป็น v_2 และระดับศักดาที่จุดกลางระหว่างตัวความต้านทาน R กับตัวเก็บประจุ C ที่ต่อกันในลักษณะอนุกรมทางด้านบนและขนานทางด้านล่างเป็น v_3 ค่าอิมพิแดนซ์รวมของวงจรส่วนเรโซแนนซ์ทั้งหมดจะมีค่าเป็น

$$Z = R + \frac{1}{SC} + \frac{R}{1+SZ} \qquad \text{สมการที่ ๖.๑}$$

เมื่อ Z เป็นค่าเวลาคงตัว ซึ่ง

$$Z = RC$$

และ S เป็นค่าซึ่งแปรผันตามความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่วงจรโดยมีค่าเป็น

$$S = j\omega$$

เราสามารถรวมเทอมของค่าอิมพิแดนซ์รวมในวงจรเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาได้เป็น

$$Z = \frac{1 + 3SZ + S^2Z^2}{SC} \qquad \text{สมการที่ ๖.๒}$$

ดังนั้น เราสามารถหาค่ากระแสที่ไหลผ่านวงจรส่วนนี้ได้โดย

$$i = \frac{(v_1 - v_2)\, SC\, (1 + SZ)}{1 + 3SZ + S^2Z^2} \qquad \text{สมการที่ ๖.๓}$$

และเราสามารถหาค่าความต่างศักดาระหว่างศักดาของสัญญาณที่จุดกลางและปลายล่างสุดของวงเรโซแนนซ์ ซึ่งเป็นค่าความต่างศักดาของระดับสัญญาณที่คล่อมระหว่างวงจรขนานของตัวความต้านทาน R และตัวเก็บประจุ C ได้จาก

$$v_3 - v_2 = \frac{\{(v_1 - v_2)SC(1+SZ)\}}{1+3SZ+S^2Z^2} \left\{ \frac{R}{(1+SZ)} \right\} \qquad \text{สมการที่ ๖.๔}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ ๖.๕ เราสามารถจัดให้อยู่ในรูปที่ง่ายต่อการพิจารณาได้เป็น

$$v_3 - v_2 = \frac{(v_1-v_2)SZ}{1+3SZ+S^2Z^2} \qquad \text{สมการที่ ๖.๕}$$

ซึ่งผลของค่าความต่างศักดาที่คล่อมวงจรขนาน R และ C นี้ ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างศักดาของสัญญาณทั้งสามในวงจรเป็น

$$v_3(1+3SZ+S^2Z^2) = v_1(SZ)+v_2(1+2SZ+S^2Z^2) \qquad \text{สมการที่ ๖.๖}$$

จากสมการที่ ๖.๖ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของระดับศักดาที่จุดต่าง ๆ ในวงจรนี้ ถ้าเราสมมุติให้วงจรนี้มีสัญญาณที่ป้อนเข้ามาเป็น v_i ซึ่งถือได้ว่าเป็นสัญญาณค่า ใด ๆ ก็ได้ และกำหนดให้

$$v_1 = -2v_i + \beta v_3 \qquad \text{สมการที่ ๖.๗}$$

และ $$v_2 = v_i \qquad \text{สมการที่ ๖.๘}$$

เมื่อ β เป็นค่าตัวเลขคงตัวที่สมมุติขึ้น

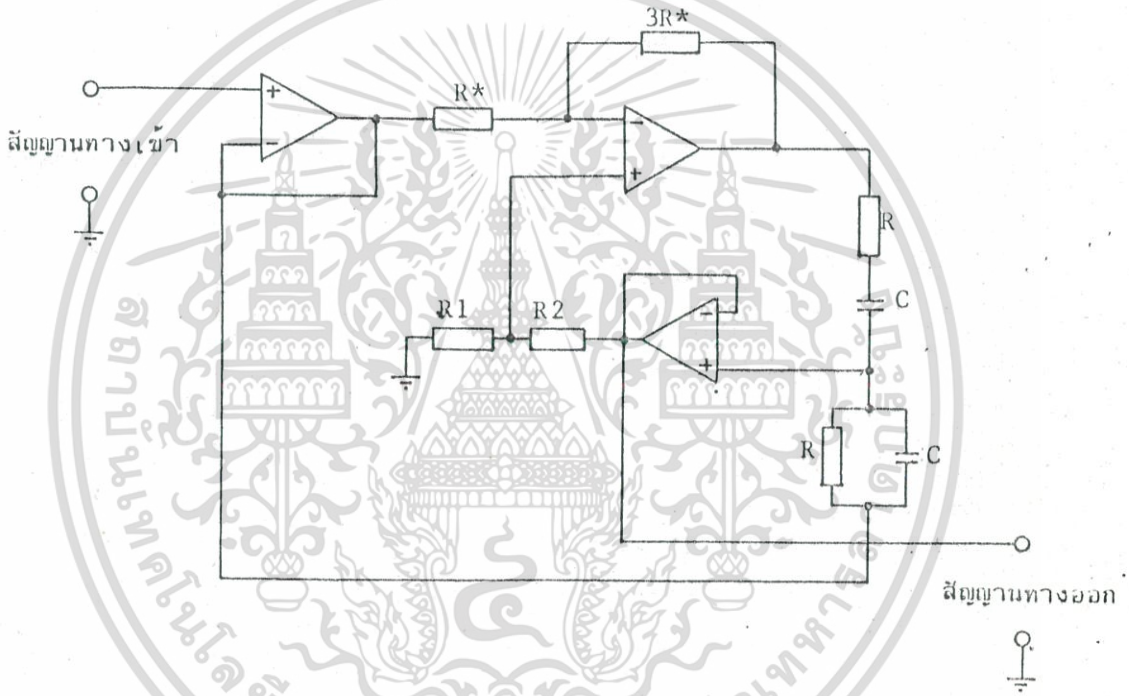
จะเห็นได้ว่าจากสมการที่ ๖.๖ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของระดับศักดาสัญญาณ v_1, v_2 และ v_3 เมื่อแทนค่าด้วยสมการที่ ๖.๗ และ ๖.๘ เราจะได้ความสัมพันธ์ของระดับศักดาสัญญาณทางเข้าที่กำหนด v_i กับระดับศักดาของสัญญาณ v_3 ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นสัญญาณทางออกของวงจรส่วนเรโซแนนซ์เวน-บริดจ์นี้ได้ว่า

$$\frac{v_3}{v_i} = \frac{(1 + S^2Z^2)}{\{1+SZ(3-\beta)+S^2Z^2\}} \qquad \text{สมการที่ ๖.๙}$$

จากอัตราส่วนของสัญญาณทางออก v_3 ต่อสัญญาณทางเข้า v_i ที่แสดงในสมการที่ ๖.๙ นั้น จะแสดงให้เห็นผลตอบสนองของวงจรเวน-บริดจ์ และเมื่อค่า β ถูกกำหนดให้เป็น ๓ แล้ว จะเห็นได้ว่าวงจรสามารถเกิดจุดเรโซแนนซ์ขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมกับวงจรเวน-บริดจ์นี้ ทำให้เราสามารถสร้างวงจรนอทช์ ฟิลเตอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติดีเด่นขึ้นมาได้อย่างง่าย ๆ ดังรูปที่ ๖.๒

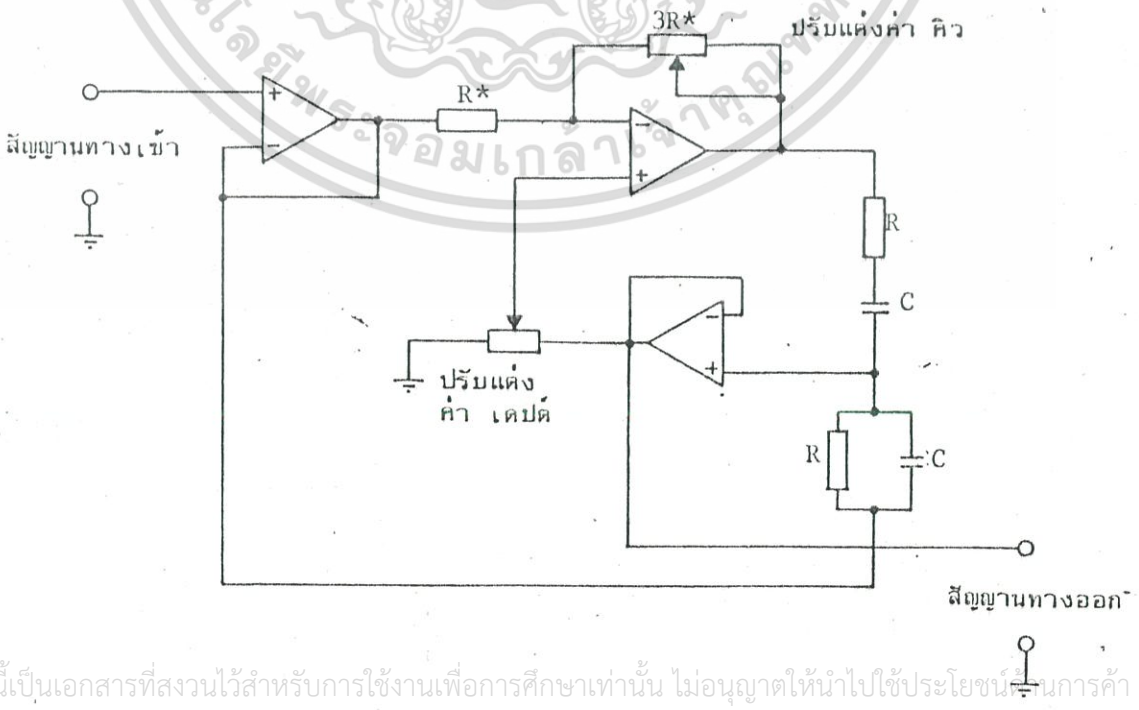


รูปที่ ๖.๒ วงจรนอทช์ ฟิลเตอร์อย่างง่ายที่อาศัยการทำงานของวงจรเวน-บริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการนำเอาวงจรเวน-บริดจ์มาใช้งานส่วนของนอทช์ ฟิลเตอร์นี้จะเห็นได้ว่าแตกต่างจากนอทช์ ฟิลเตอร์โดยทั่วไปซึ่งมักจะใช้วงจรทวิน-ที (Twin-T) มาใช้ ซึ่งมีข้อกำหนดสำหรับความสัมพันธ์ของตัวความต้านทานและตัวเก็บประจุที่ใช้งานถึงอย่างละสามตัวและความสัมพันธ์นี้จะอยู่ในรูปอัตราส่วนซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน มีผลทำให้การปรับความถี่ของวงจรฟิลเตอร์ที่ใช้แบบทวิน-ที มีความยุ่งยาก และทำให้สมบูรณ์ได้ลำบาก แต่ในวงจรฟิลเตอร์ที่ใช้แบบเวน-บริดจ์ซึ่งสร้างขึ้นนี้จะมีความสัมพันธ์ของตัวความต้านทานหรือตัวเก็บประจุเพียงสองเท่านั้น และความสัมพันธ์ระหว่างนี้จะมีค่าเท่ากันซึ่งทำให้ผลในการปรับความถี่ของวงจรฟิลเตอร์แบบนี้ทำได้สดวกและง่าย ในขณะเดียวจากวงจรที่สร้างขึ้นโดยข้อกำหนดในสมการที่กล่าวแล้วนั้นยังสามารถควบคุมและปรับแต่งค่า "เดปต์" (Depth) และค่า "คิว" (Q) ของวงจรนอทช์ ฟิลเตอร์ได้อย่างสะดวกโดยการใช้อุปกรณ์ที่น้อยชิ้น ดังนั้น ส่วนวงจรนอทช์ ฟิลเตอร์ ที่สร้างขึ้นนี้จึงสามารถปรับได้ทั้งความถี่ที่ต้องการกรอง ช่วงกว้างความถี่ของสัญญาณและค่าอัตราการลดทอนของระดับที่ต้องการและไม่ต้องการอย่างเป็นอิสระต่อกันได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ ๖.๓

รูปที่ ๖.๓ วงจรนอทช์ ฟิลเตอร์ที่สามารถปรับแต่งค่า "เดปต์"และค่า "คิว" ได้

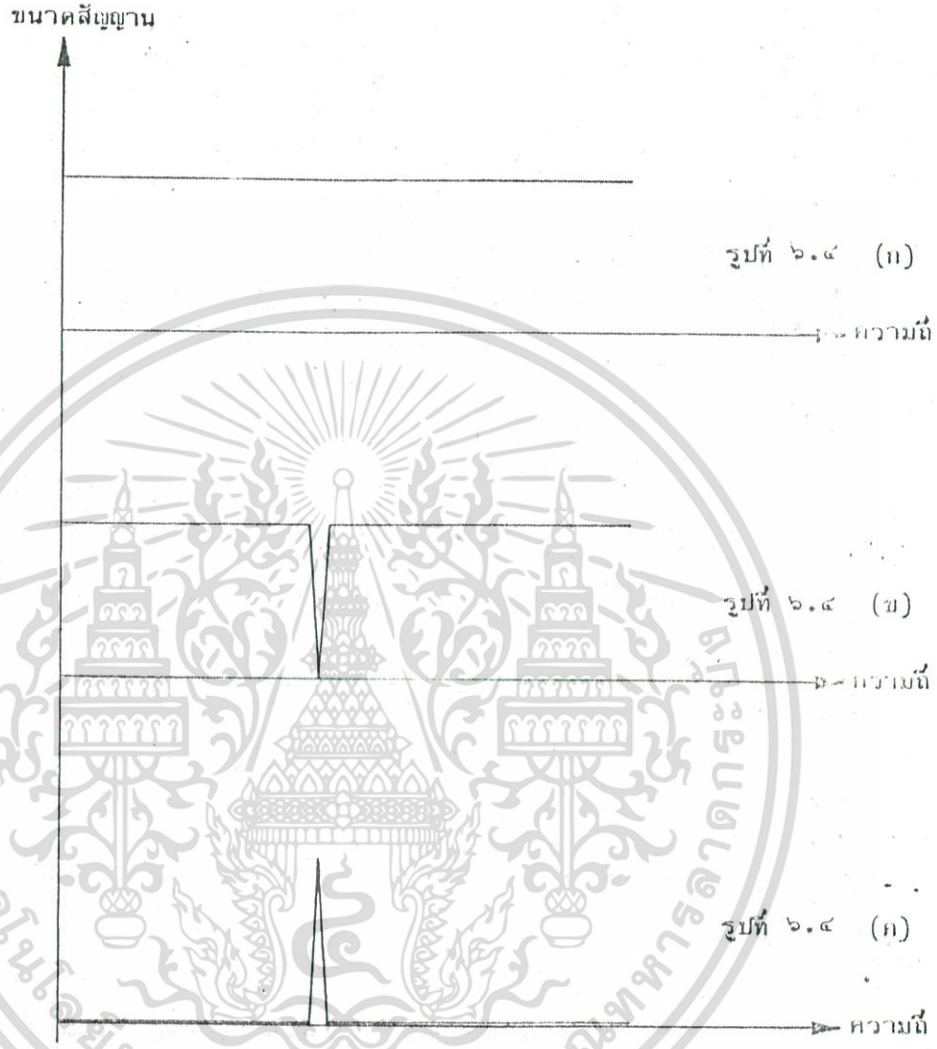


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้องการจริงในการใช้งานในส่วนฟิลเตอร์ด้านหน้าของเฟสมิเตอร์ เพื่อต้องการกรองเอาเฉพาะช่วงความถี่หรือความถี่ของสัญญาณที่ต้องการวัดผ่านเข้าไปในส่วนวงจรวัดเฟสทางด้านหลังเท่านั้น ซึ่งจากที่กล่าวมาแล้วในตอนต้นนั้น เป็นวงจรฟิลเตอร์แบบนอทช์ ฟิลเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่ที่ตรงกันข้ามกับความต้องการของเครื่อง กล่าวคือ จากความต้องการให้เฉพาะสัญญาณช่วงความถี่ที่ต้องการผ่านจะกลับเป็นว่า วงจรนอทช์ ฟิลเตอร์ จะกรองเอาสัญญาณช่วงความถี่ที่ต้องการทิ้งไป

ดังนั้น ในเครื่องเฟสมิเตอร์ที่สร้างขึ้นจึงได้เอาสัญญาณที่ผ่านออกจากวงจรนอทช์ ฟิลเตอร์ ไปลบออกจากสัญญาณทั้งหมดที่ป้อนเข้ามายังวงจรนอทช์ ฟิลเตอร์อีกครั้งหนึ่ง โดยอาศัยวงจรขยายผลต่างของสัญญาณ (Different amplifier) ซึ่งสเปคตรัม (Spectrum) ของสัญญาณสุดท้ายที่ได้ออกจากวงจรขยายผลต่างของสัญญาณจะได้จากสเปคตรัมของสัญญาณที่ป้อนเข้าทั้งหมด และหักออกด้วยกลุ่มสเปคตรัมของสัญญาณที่ปราศจากความถี่หรือกลุ่มความถี่ของสัญญาณที่ต้องการทำการวัด ดังแสดงในรูปที่ ๖.๔ ผลที่ได้สุดท้ายหลังวงจรขยายผลต่างจึงเป็นเฉพาะกลุ่มของสัญญาณที่ต้องการทำการวัดจริง ๆ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๖.๔ แสดงถึงสเปคตรัมของสัญญาณที่ผ่านเข้ามาในส่วนของฟิลเตอร์ด้านหน้าเฟสมิเตอร์

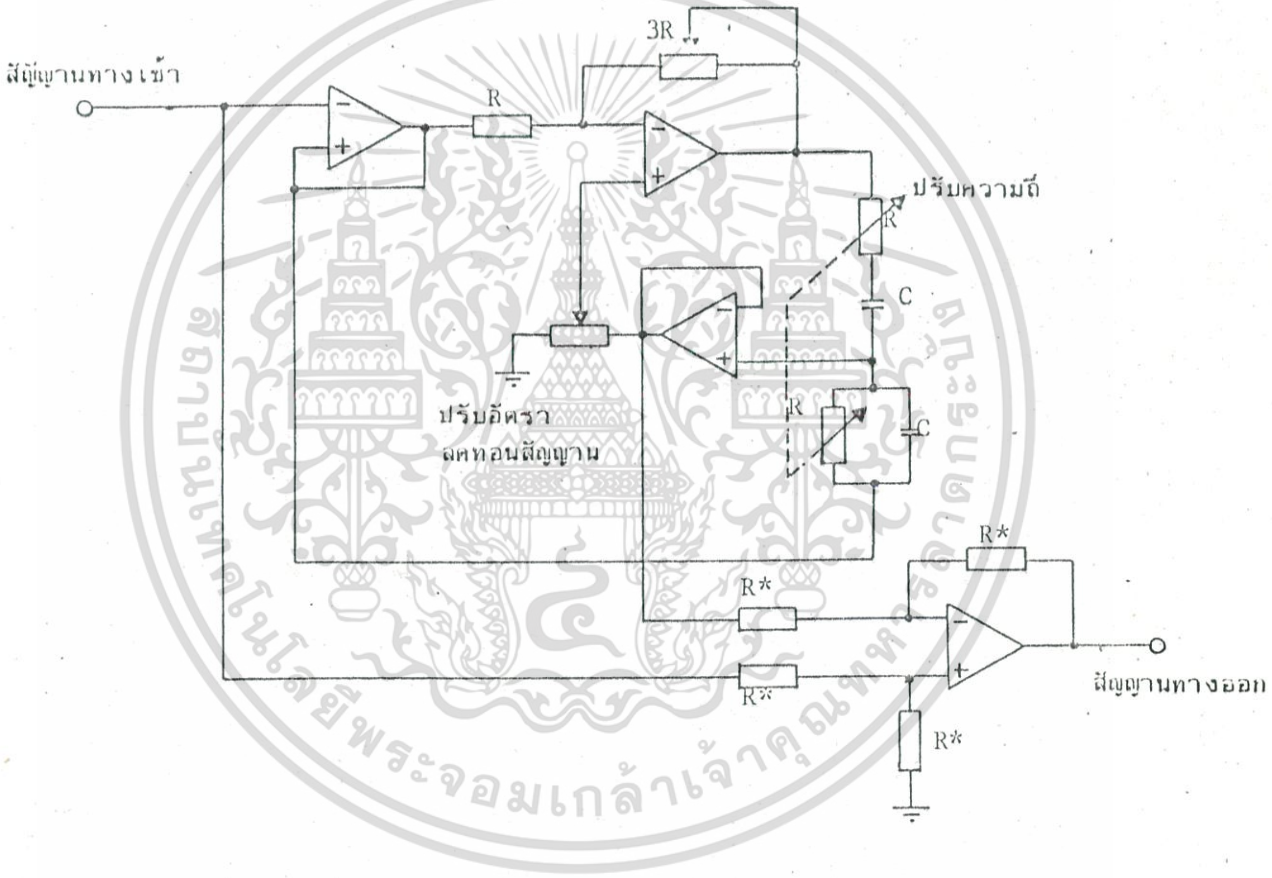
รูปที่ ๖.๔ (ก) เป็นสเปคตรัมของสัญญาณที่ผ่านเข้ามาในวงจรทั้งหมด

รูปที่ ๖.๔ (ข) เป็นสเปคตรัมของสัญญาณที่ออกจากวงจรนอทช์ ฟิลเตอร์

รูปที่ ๖.๔ (ค) เป็นสเปคตรัมของสัญญาณที่ได้หลังจากมีการหักล้างกันของสัญญาณที่เข้าทั้งหมดกับสัญญาณที่ผ่านวงจรนอทช์ ฟิลเตอร์หลังวงจรขยายผลต่างสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการทั้งหมดที่กล่าวแล้วนั้น วงจรฟิลเตอร์ในทางด้านส่วนหน้าของเฟสมิเตอร์ที่สร้างขึ้นจะมีลักษณะวงจรดังรูปที่ ๖.๕

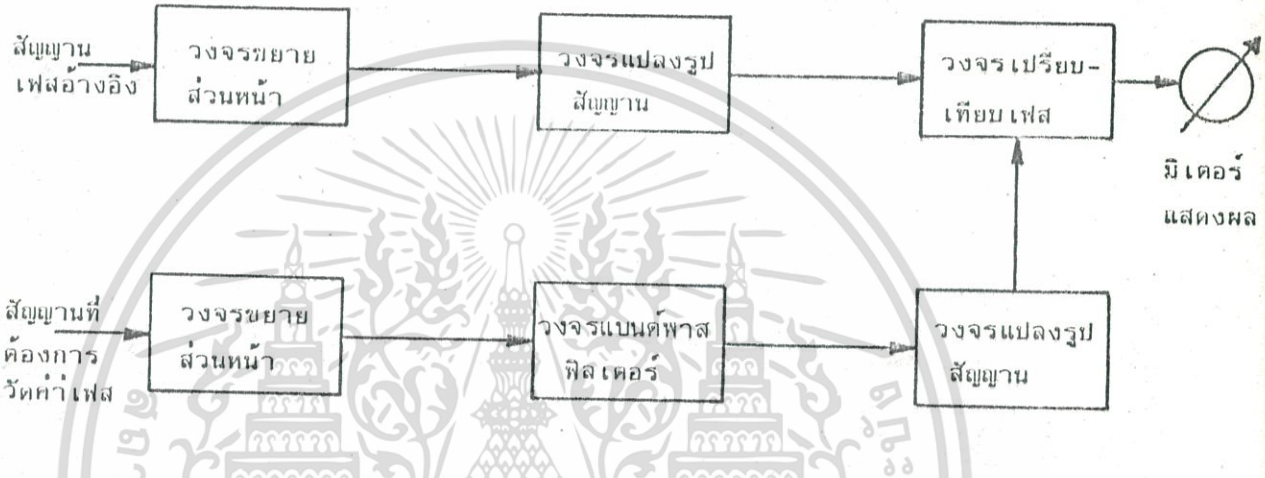


รูปที่ ๖.๕ วงจรฟิลเตอร์ที่ใช้งานจริงในเครื่องเฟสมิเตอร์ที่สร้างขึ้น

๖.๔ ภาคการทำงานของเฟสมิเตอร์

ภาคการทำงานของเฟสมิเตอร์ที่สร้างขึ้น จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ ๖.๖ ซึ่งในส่วนภาคการทำงานที่ได้แสดงไว้นี้จะมีทางเข้าของสัญญาณสองทางด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



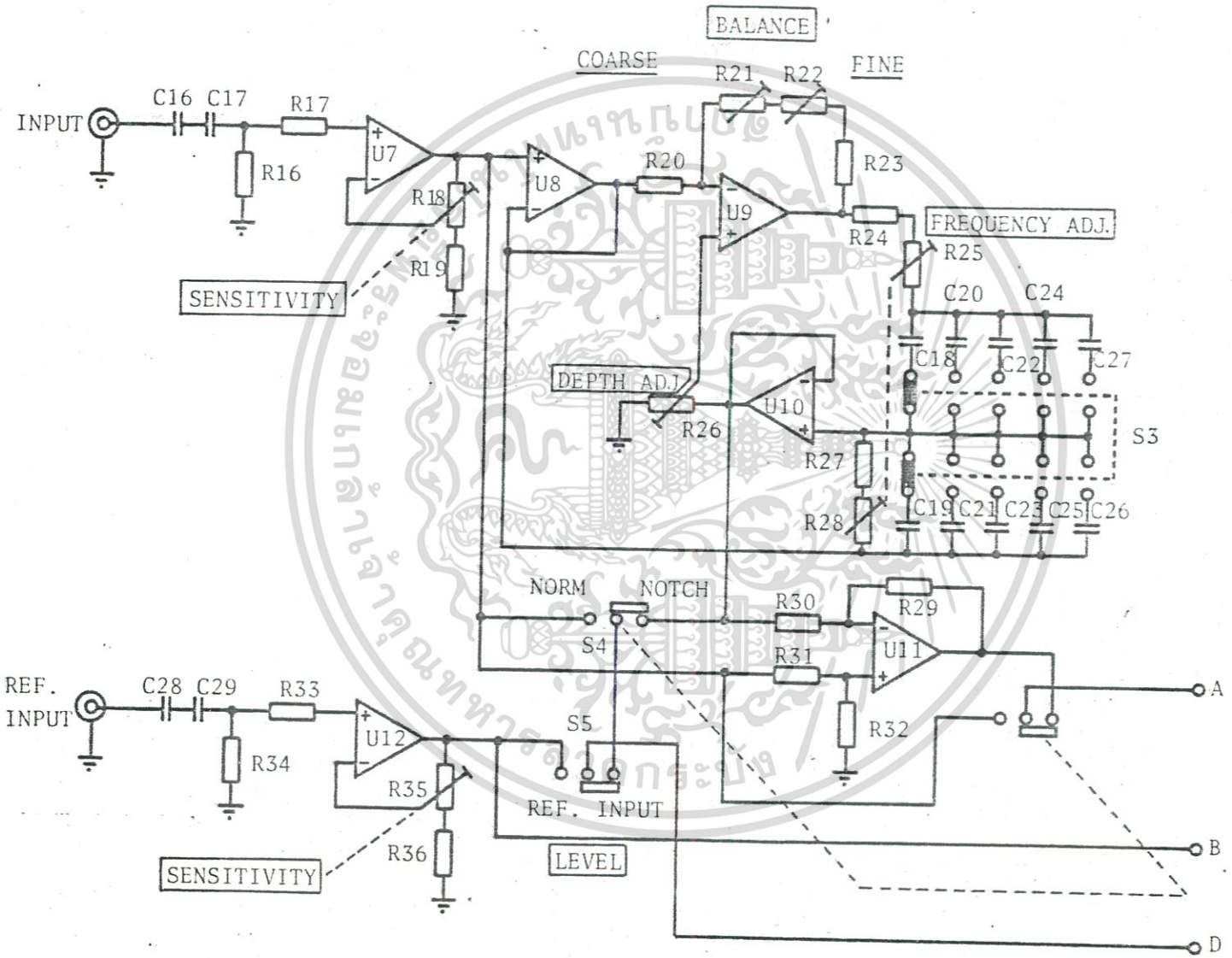
รูปที่ ๖.๖ ภาคการทำงานของวงจรเฟสมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

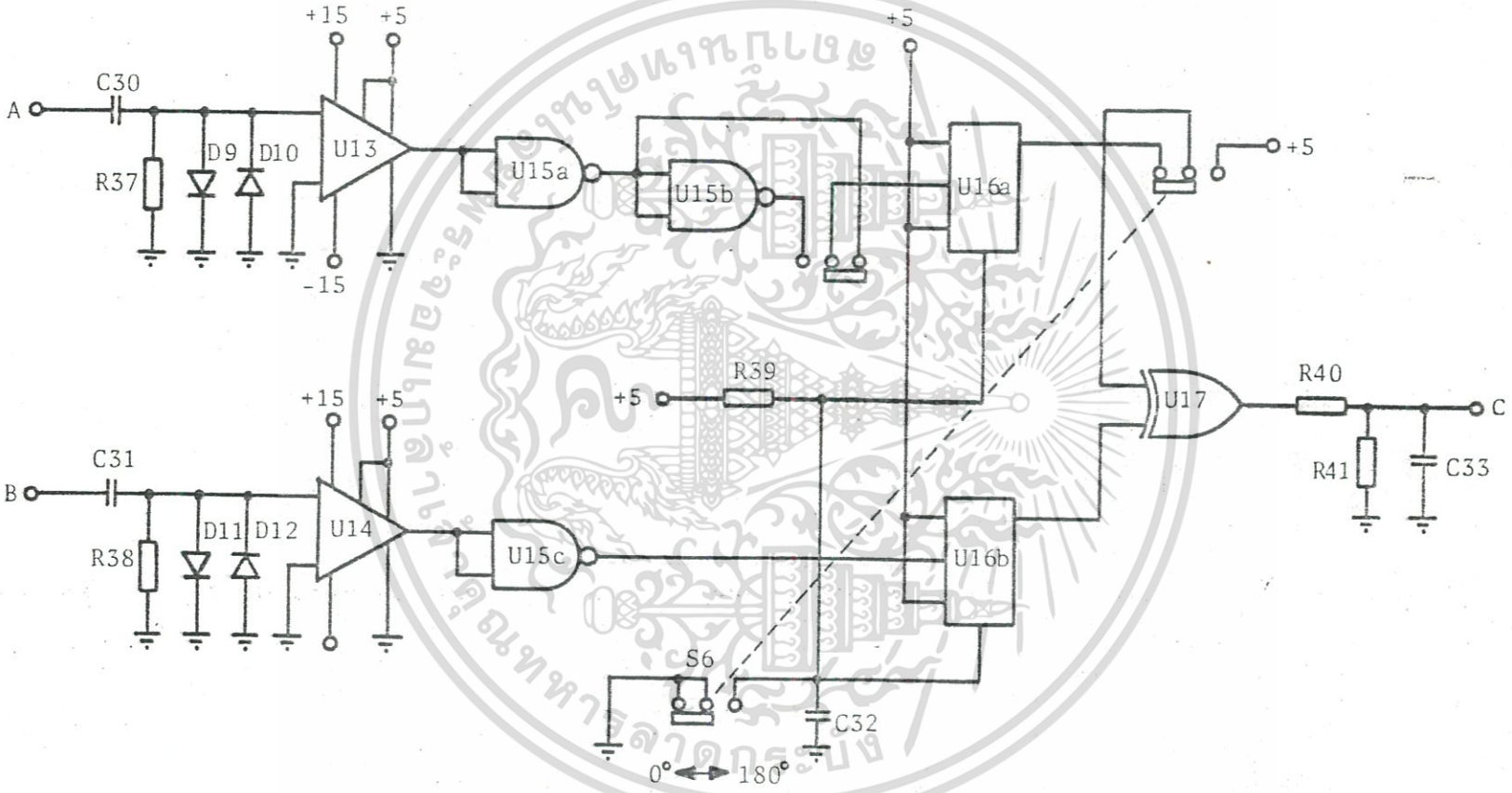
ทางเข้าของสัญญาณที่ต้องการทำการวัดค่าเฟสหนึ่ง และทางเข้าของสัญญาณซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสอ้างอิงอีกหนึ่ง โดยสัญญาณที่ผ่านเข้าทางด้านที่ต้องการวัดค่าเฟสจะผ่านส่วนลดทอนขนาดของสัญญาณและส่วนขยายสัญญาณเพื่อผลในการวัดที่ขนาดต่าง ๆ ได้ แม้จะเป็นสัญญาณขนาดต่ำมาก ๆ ไปจนถึงขนาดของสัญญาณระดับสูงก็ตาม จากนั้นสัญญาณที่ต้องการทำการวัดค่าเฟสนี้จะผ่านเข้าสู่ส่วนฟิลเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่คัดเลือกเอาเฉพาะสัญญาณที่ต้องการจริง ๆ เท่านั้น โดยคัดเอาสัญญาณรบกวนส่วนที่ไม่ต้องการออก ซึ่งส่วนฟิลเตอร์ส่วนนี้จะสามารถปรับช่วงความถี่หรือความถี่ใดความถี่หนึ่งที่ต้องการให้ผ่านไปยังส่วนแปลงรูปร่างของสัญญาณต่อไป ทั้งนี้เพื่อลดความผิดพลาดในการวัดค่าเฟสอันอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่สอดแทรกเข้ามาได้ สัญญาณที่ต้องการจริงที่ผ่านส่วนฟิลเตอร์เข้ามายังแปลงรูปร่างสัญญาณ ทั้งนี้เพื่อลดผลความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในการวัดสัญญาณหลาย ๆ รูปแบบ (Waveform) ซึ่งสัญญาณที่ได้หลังส่วนแปลงรูปร่างสัญญาณจะได้ออกเป็นสัญญาณรูปเหลี่ยม (Square wave) แล้วจึงส่งเข้าสู่ส่วนเปรียบเทียบเฟสสัญญาณในส่วนหลังต่อไป

ส่วนทางเข้าของสัญญาณซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเฟสอ้างอิงเปรียบเทียบนั้นจะผ่านส่วนลดทอนขนาดสัญญาณ และส่วนขยายสัญญาณเพื่อวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับที่ผ่านเข้ามาในส่วนของสัญญาณที่ต้องการวัดเฟส จากนั้นจึงส่งสัญญาณซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสอ้างอิงเข้าสู่ส่วนแปลงรูปร่างสัญญาณแล้วจึงป้อนเข้าส่วนเปรียบเทียบเฟส ส่วนเปรียบเทียบเฟสจะทำการเปรียบเทียบระหว่างเฟสของสัญญาณที่ต้องการวัดจริงกับเฟสของสัญญาณอ้างอิง ซึ่งผลที่ได้หลังส่วนเปรียบเทียบเฟสจะเป็นระดับศักดาไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งแปรผันตรงกับค่าความแตกต่างระหว่างเฟสของสัญญาณที่ทำการวัดกับเฟสของสัญญาณอ้างอิง

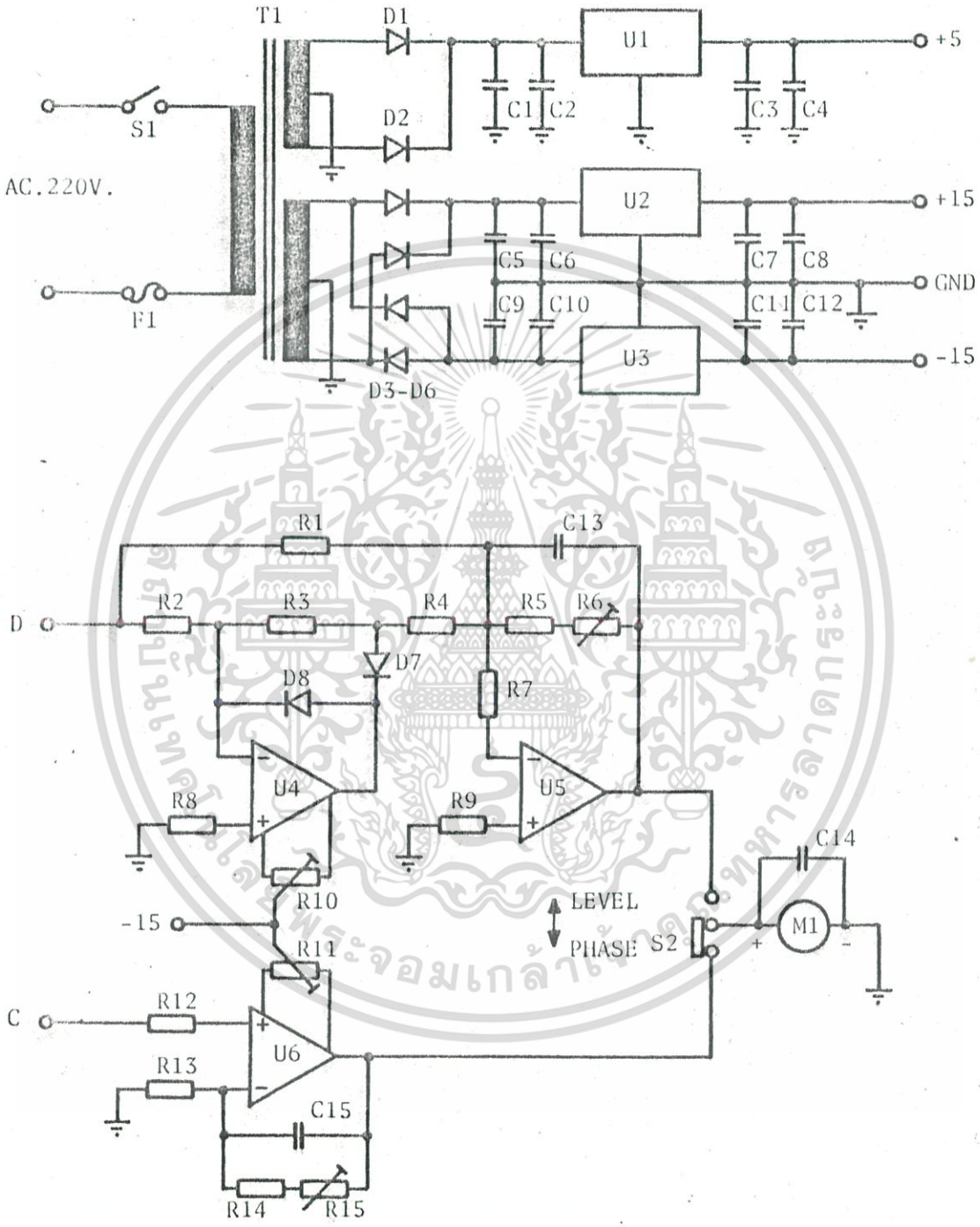
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๖.๗(a) วงจรส่วนหน้าและส่วนฟิลเตอร์สัญญาน



รูปที่ ๖.๗(b) วงจรส่วนเปรียบเทียบเฟสของสัญญาน



รูปที่ ๖.๗ (c) วงจรส่วนภาคจ่ายไฟและส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T1	transformer	pri.	220	V.AC.	
		sec.	7.5-0-7.5	V.AC.	
			15-0-15	V.AC.	
R1	resistor 1/4 watt			20	K ohms
R2	resistor 1/4 watt			20	K ohms
R3	resistor 1/4 watt			20	K ohms
R4	resistor 1/4 watt			10	K ohms
R5	resistor 1/4 watt			8.2	K ohms
R6	variable resistor			20	K ohms
R7	resistor 1/4 watt			1.5	K ohms
R8	resistor 1/4 watt			15	K ohms
R9	resistor 1/4 watt			7.5	K ohms
R10	variable resistor			10	K ohms
R11	variable resistor			10	K ohms
R12	resistor 1/4 watt				
R13	resistor 1/4 watt			10	K ohms
R14	resistor 1/4 watt			4.7	K ohms
R15	variable resistor			10	K ohms
R16	resistor 1/4 watt			100	K ohms
R17	resistor 1/4 watt			4.7	K ohms
R18	variable resistor			47	K ohms
R19	resistor 1/4 watt			4.7	K ohms
R20	resistor 1/4 watt			10	K ohms
R21	variable resistor			10	K ohms
R22	variable resistor			100	ohms
R23	resistor 1/4 watt			25	K ohms
R24	resistor 1/4 watt				
R25&R28	variable resistor				
R26	variable resistor			10	K ohms
R27	resistor 1/4 watt				
R29 - R32	resistor 1/4 watt			10	K ohms
R33	resistor 1/4 watt			4.7	K ohms
R34	resistor 1/4 watt			100	K ohms
R35	variable resistor			47	K ohms
R36	resistor 1/4 watt			4.7	K ohms
R37	resistor 1/4 watt			10	K ohms
R38	resistor 1/4 watt			10	K ohms
R39	resistor 1/4 watt			2.7	K ohms
R40	resistor 1/4 watt			10	K ohms
R41	resistor 1/4 watt			10	K ohms
C1	electro.capacitor			2000	MF
C2	ceramic capacitor			0.1	MF
C3	ceramic capacitor			0.1	MF
C4	electro.capacitor			100	MF
C5	electro.capacitor			1000	MF
C6	ceramic capacitor			0.1	MF
C7	ceramic capacitor			0.1	MF
C8	electro.capacitor			47	MF
C9	electro.capacitor			1000	MF
C10	ceramic capacitor			0.1	MF
C11	ceramic capacitor			0.1	MF
C12	electro.capacitor			47	MF
C13	electro.capacitor			10	MF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C14	ceramic capacitor	0.1	MF
C15	ceramic capacitor	0.1	MF
C16	tantalum capacitor	4.7	MF
C17	tantalum capacitor	4.7	MF
C18,C19	poly.capacitor		
C20,C21	poly.capacitor		
C22,C23	poly.capacitor		
C24,C25	poly.capacitor		
C26,C27	poly.capacitor		
C28	tantalum capacitor	4.7	MF
C29	tantalum capacitor	4.7	MF
C30	tantalum capacitor	1	MF
C31	tantalum capacitor	1	MF
C32	ceramic capacitor	0.01	MF
C33	tantalum capacitor	10	MF
D1-D6	rectifier diode	1N4001	
D7-D12	signal diode	1N4148	
F1	fuse 250 mA.		
S1	power on/off switch		
S2	DPDT. switch x1		
S3	5 sets of dependent switch		
S4	DPDT. switch x2		
S5	DPDT. switch x1		
S6	DPDT. switch x2		
M1	DC. voltmeter 0-5 V.DC.		
U1	fixed regulator	LM340T-5	
U2	fixed regulator	LM340T-15	
U3	fixed regulator	LM320T-15	
U4-U12	Op-amp	LF351	
U13,U14	comparator	LM316	
U15	quad 2 input NAND gate	7400	
U16	dual JK flip-flop	7473	
U17	quad 2 input Exclusive OR gate	7486	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๖.๗ การทำงานของวงจรในเฟสมิเตอร์

วงจรในการทำงานของเฟสมิเตอร์ได้แสดงไว้อย่างละเอียดในรูปที่ ๖.๗ ซึ่งสามารถอธิบายหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจรได้เป็นขั้นตอนดังนี้

๖.๗.๑ ส่วนลดทอนขนาดสัญญาณทางเข้า สัญญาณทางเข้าที่ป้อนเข้าสู่เฟสมิเตอร์แบ่งเป็นสองทางด้วยกัน ด้านหนึ่งเป็นสัญญาณที่ต้องการทำการวัดเฟสและอีกด้านหนึ่งเป็นสัญญาณเฟสอ้างอิงเปรียบเทียบ ในทางด้านของสัญญาณที่ต้องการวัดค่าเฟสจะผ่านสวิช S_3 และ S_4 ตัดต่อการทำงานของวงจรในส่วนนี้ และ S_5, S_6 จะตัดต่อการทำงานส่วนเดียวกัน สำหรับสัญญาณที่ถือเป็นเฟสอ้างอิงเปรียบเทียบ ในการทำงานของวงจรส่วนนี้จะมี C_3 ทำหน้าที่ชดเชยความผิดพลาดทางด้านเฟสที่เกิดขึ้นในการวัดภายนอกเครื่อง สำหรับทางด้านสัญญาณเฟสที่วัด และ C_9 สำหรับชดเชยความผิดพลาดอันเดียวกันนี้สำหรับทางด้านสัญญาณเฟสอ้างอิง โดยการทำงานของสวิช S_4 และ S_6 สัญญาณที่ป้อนเข้ามาภายในเครื่องจะถูกลดทอนขนาดลง ๑๐ เท่า ก่อนผ่านเข้าสู่ส่วนขยายสัญญาณต่อไป

๖.๗.๒ ส่วนขยายสัญญาณ ในเส้นทางของสัญญาณทั้งสองที่ผ่านส่วนลดทอนขนาดเข้ามา จะเข้าสู่ส่วนขยายสัญญาณของแต่ละด้าน โดยที่ IC_1 และ IC_6 ซึ่งเป็นโอเปอร์เรชั่นแนลแอมปลิฟายเออร์ ทำงานในหน้าที่นี้อยู่ โดย IC_1 จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณสำหรับส่วนที่ต้องการวัดค่าเฟส และ IC_6 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณในส่วนที่เป็นเฟสอ้างอิง โดยส่วนขยายสัญญาณทั้งสองนี้จะถูกตั้งให้มีอัตราการขยายสัญญาณขึ้น ๔ เท่าตัว ก่อนที่จะผ่านให้สัญญาณทั้งสองนี้เข้าไป ส่วนการทำงานในภาคหลังต่อไป

๖.๗.๓ ส่วนฟิลเตอร์ เฉพาะในทางด้านเส้นทางของสัญญาณที่ทำการวัดค่าเฟส จะมีส่วนฟิลเตอร์ทำหน้าที่เลือกเอาเฉพาะสัญญาณที่ต้องการวัด โดยกำจัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการทิ้งไปได้ ส่วนฟิลเตอร์นี้จะอาศัยการทำงานของ IC_2, IC_3 และ IC_4 ซึ่งเป็นโอเปอร์เรชั่นแนลแอมปลิฟายเออร์ทั้ง ๓ ตัว ส่วนการทำงานชุดฟิลเตอร์นี้สามารถทำการปรับความถี่ของสัญญาณที่ต้องการทำการวัดได้ โดยการค่า VR_4 และ VR_5 ซึ่งเป็นตัวความต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้สองตัวร่วมแกนหมุนเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อทำการเลือกความถี่ของสัญญาณที่ต้องการ ทั้งยังสามารถปรับค่า คิว โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาศัย VR_3 และค่าเดปท์ โดยอาศัย VR_1 และ VR_2 ซึ่ง VR_1 จะเป็นการปรับละเอียด (Fine adjust) ส่วน VR_2 จะเป็นตัวปรับหยาบ (Caurse adjust) ซึ่งผลของการปรับค่าดิวจะมีผลให้วงจรฟิลเตอร์เปลี่ยนแปลงช่วงกว้างความถี่ (Bandwidth) ของกลุ่มสัญญาณที่จะผ่านเข้ามาทำการวัด ส่วนผลในการปรับค่าเดปท์จะมีผลทำให้อัตราการลดทอนขนาดของสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยรายละเอียดการทำงานของวงจรในส่วนนี้ได้กล่าวผ่านมาแล้วในบทที่ ๖.๓

ในส่วนของเส้นทางผ่านของสัญญาณที่ต้องการวัดค่าเฟสนี้อาจต่อตรงโดยไม่ผ่านส่วนฟิลเตอร์ก็ได้ โดยอาศัยการทำงานของสวิช S_7

๖.๗.๔ ส่วนแปลงรูปร่างของสัญญาณ สัญญาณที่ผ่านเข้ามาทั้งสองเส้นทางจะผ่านส่วนวงจรแปลงรูปร่างสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณรูปเหลี่ยมขึ้นทางด้านหลัง ในการทำงานของวงจรส่วนนี้จะอาศัย IC_9 และ IC_{10} ทำงานในลักษณะซีโร ครอสซิ่ง ดีเท็คเตอร์ (Zero crossing detector) โดย IC_9 จะทำหน้าที่แปลงรูปร่างของสัญญาณในเส้นทางของสัญญาณที่ต้องการทำการวัดค่าเฟส ส่วน IC_{10} จะทำหน้าที่เดียวกันนี้ในเส้นทางของสัญญาณอ้างอิง จากนั้นสัญญาณทั้งสองซึ่งถูกจัดลักษณะให้เป็นสัญญาณรูปเหลี่ยมจะผ่านเข้าสู่ IC_{11} ซึ่งเป็นส่วนกลับเฟสสัญญาณ (Phase inverter) เพื่อให้ผลการวัดเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณทั้งสองสามารถแสดงผลได้ตั้งแต่ ๐ องศา จนถึง ๓๖๐ องศา โดยอาศัยสวิช S_1 ส่วนสุดท้ายในวงจรแปลงรูปร่างสัญญาณจะมี IC_{12} ซึ่งเป็นฟลิปฟล็อป (Flip-Flop) จัดรูปของสัญญาณรูปเหลี่ยมนี้จะเป็นสัญญาณรูปเหลี่ยมที่สมมาตร (Square-wave) จากนั้น สัญญาณทั้งสองซึ่งถูกแปลงให้อยู่ในรูปที่สมมาตรนี้จะผ่านเข้าสู่วงจรส่วนเปรียบเทียบเฟสสัญญาณต่อไป

๖.๗.๕ ส่วนเปรียบเทียบเฟสสัญญาณ สัญญาณที่ผ่านออกจากวงจรแปลงรูปร่างสัญญาณออกมาทั้งสองเส้นทางคือ ในเส้นทางของสัญญาณที่ต้องการทำการวัดค่าเฟสและสัญญาณที่ทำหน้าที่เฟสอ้างอิง ซึ่งถูกจัดให้มีรูปร่างเป็นลักษณะสแควร์ เวฟ (Square wave) จะผ่านส่วนเปรียบเทียบเฟสซึ่งอาศัยการทำงานของ IC_{13} ซึ่งเป็นวงจรเอ็กซ์คลูซีพ ออร์ เกท (Exclusive or gate) ในวงจรทางด้านโลจิก สัญญาณทางด้านทางออกของส่วนเปรียบเทียบเฟสจะได้เป็นสัญญาณรูปเหลี่ยมซึ่งมีช่วงกว้างของสัญญาณ (Pulse width) แปรไปตามค่าความต่างเฟสของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบกันทางด้านทางเข้าของวงจรส่วนนี้ สัญญาณทางด้านทางออกของวงจรส่วนนี้ซึ่งเป็นพัลซ์ (Pulse) จะป้อนเข้าสู่ส่วนฟิลเตอร์ด้านหลังต่อไป

๖.๗.๖ ส่วนแสดงผลของสัญญาณ สัญญาณรูปฟัลซ์ที่ได้จากส่วนเปรียบเทียบซึ่งจะมีช่วงกว้างของสัญญาณแปรผันไปตามค่าความต่างเฟสของสัญญาณที่นำเข้ามาวัด และสัญญาณเฟสอ้างอิงนี้ เมื่อผ่านส่วนฟิลเตอร์ซึ่งจัดวงจรเป็นแบบโลว์พาส ฟิลเตอร์ (Lowpass filter) จะได้เป็นสัญญาณดีซี ซึ่งแปรผันไปตามค่าความต่างเฟสของสัญญาณด้วย โดยในวงจรส่วนฟิลเตอร์นี้อาศัยการทำงานของโอเปอร์เรชั่นแนล แอมปลิฟายเออร์สองตัวคือ IC_{14} และ IC_{15} จัดวงจรแอ็คทีฟฟิลเตอร์ ให้ทำงานเป็นโลว์พาสฟิลเตอร์ จากนั้นสัญญาณดีซีที่ได้หลังโลว์พาส ฟิลเตอร์จึงจะผ่านเข้าสู่มิเตอร์เพื่อแสดงผลของค่าเฟสที่วัดได้เมื่อเทียบกับสัญญาณเฟสอ้างอิง

ในขณะเดียวกันสัญญาณที่ผ่านเข้ามาในทั้งสองเส้นทางจะสามารถอ่านค่าโวลท์เตจของสัญญาณที่ต้องการ โดยมีวงจรส่วนคอนเวอร์เตอร์ (Converter) แปลงลักษณะของแรงไฟสัญญาณเอซีไปเป็นสัญญาณดีซี แล้วผ่านเข้ามิเตอร์เพื่อแสดงค่าขนาดของสัญญาณที่ผ่านนำสู่เฟสมิเตอร์ได้ ซึ่งวงจรส่วนคอนเวอร์เตอร์นี้อาศัยการทำงานของโอเปอร์เรชั่นแนล แอมปลิฟายเออร์สองตัว คือ IC_7 และ IC_8 มิเตอร์ที่ใช้งานในเครื่องเฟสมิเตอร์นี้จะใช้งานในการแสดงผลของขนาดสัญญาณและเฟสของสัญญาณโดยอาศัยสวิช S_8 ทำหน้าที่เลือกทางด้านหน้าปัดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๖.๔ ผลการทดลอง

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น สามารถกำหนดคุณสมบัติของเครื่องได้ดังนี้คือ

— ช่วงความถี่ที่ใช้งานได้	10 Hz.	-	100 KHz.
— ขนาดศักดาทางเข้าของสัญญานเฟสอ้างอิง	100 mV.	-	1 V.
— ขนาดศักดาทางเข้าของสัญญานที่ต้องการวัดค่าเฟส	10 mV.	-	1 V.
— ค่าความต้านทานทางเข้าของวงจรทั้งที่จุดสัญญานทางเข้าและจุดสัญญานเฟสอ้างอิง	ประมาณ 100 K ohms		
— ค่าความแตกต่างของเฟสที่เครื่องสามารถวัดได้	0	-	180
	180	-	360
— ความเที่ยงตรงในการวัด	± 7° สูงสุด		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๗

การพัฒนาเครื่องป้องกันอุปกรณ์ระบบไฟสาม เฟสและหนึ่ง เฟส

โดยอาศัยหลักการต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทก่อน ๆ มาทำการพัฒนาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายต่าง ๆ ที่จะ เกิดขึ้นกับ เครื่องใช้ที่ใช้กับระบบไฟสาม เฟสและหนึ่ง เฟสซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ตามแต่ต้องการ จะแบ่งการกล่าวถึง เป็นส่วน ๆ ดังนี้

๗.๑ เครื่องป้องกันมอ เตอร์ในระบบไฟสาม เฟส

จากที่กล่าวใน เรื่อง เครื่องป้องกันมอ เตอร์ จะ เห็นได้ว่าในกรณีที่ไฟ เฟสใด เฟสหนึ่งหรือสอง เฟส เกิดขาดหายไป ผู้ใช้จะไม่สามารถทราบได้ในทันทีว่ามีการขาดหายไปใน เฟสใด ดังนั้น เพื่อแก้ข้อ เสียข้อนี้จึงได้นำ เอาส่วน เพา เวอร์ ๓ เฟส โวลท์ เตจ โมนิ เตอร์ เข้ามาช่วย เพื่อ เป็นตัวบอสภาวะของไฟแต่ละ เฟสและในขณะ เดียวกันจะใช้ เป็นส่วนที่ช่วยตรวจสอบระดับศักดาของไฟในสายส่งแต่ละ เฟสด้วย ถ้าระดับศักดาของไฟ เฟสใด เฟสหนึ่ง เกิดต่ำกว่าหรือสูงกว่าปกติมากกว่าช่วงที่กำหนดไว้แล้ว เครื่องจะทำการตัดไฟออกจากระบบทันที ดังนั้น ระบบการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ ๗.๑

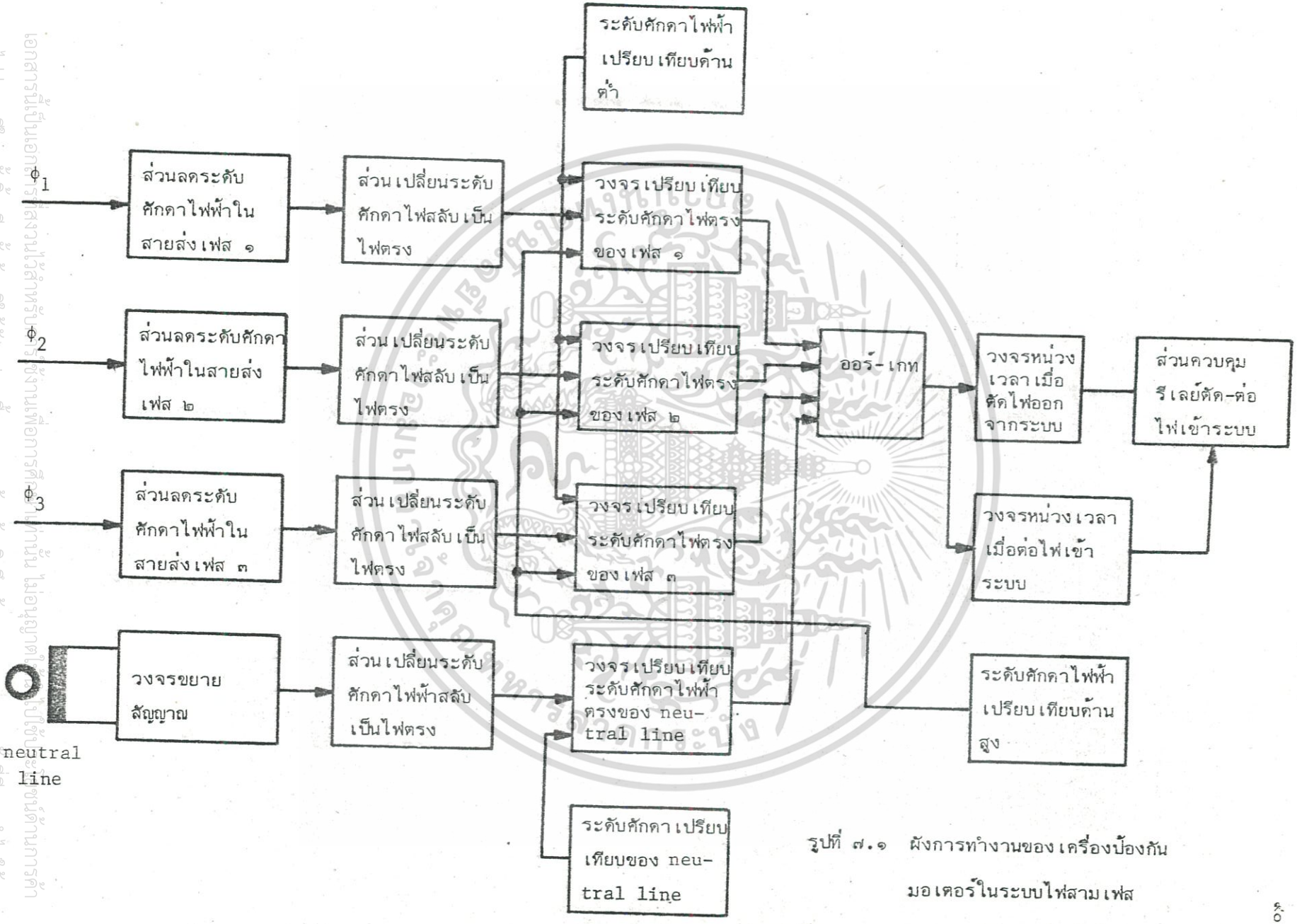
ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ ๗.๑ นั้น จะมีส่วน เพิ่ม เติมจากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทแรก ๆ คือ ส่วนหน่วง เวลาตัดไฟออกจากระบบ ในส่วนนี้จะช่วยหน่วง เวลาไว้ประมาณ ๓-๑๐ วินาที หลังจาก เกิด เหตุผิดปกติขึ้นในสายส่ง เฟสใด เฟสหนึ่งแล้วจึงตัดไฟออกจากระบบ ในกรณีที่ เหตุผิดพลาดที่ เกิดอยู่นั้นมีสภาวะต่อ เนื่อง แต่ถ้าภายใน ๓-๑๐ วินาทีนี้ เหตุผิดปกติที่ เกิดขึ้นนี้กลับ เข้าสู่สภาวะปกติแล้ว เครื่องป้องกันมอ เตอร์ในระบบไฟสาม เฟสนี้จะไม่ตัดไฟออกจากระบบ ส่วนที่นำมา เพิ่มนี้จะช่วยตรวจสอบสภาวะของทราน เซี้ยนท์ที่ เกิดขึ้นในกรณีของมอ เตอร์แล้วไม่จำ เป็นที่จะต้องหยุดการทำงาน เพราะในบางกรณีที่มอ เตอร์กำลังขับโหลดที่มีขนาดใหญ่อยู่การปิด เปิดมอ เตอร์บ่อย ๆ ทำให้ เปลืองไฟและอาจ เกิดการ เสียหายได้ วงจรส่วนนี้แสดง ในรูปที่ ๗.๒ และแผนผังของ เวลา เป็นดังรูปที่ ๗.๓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

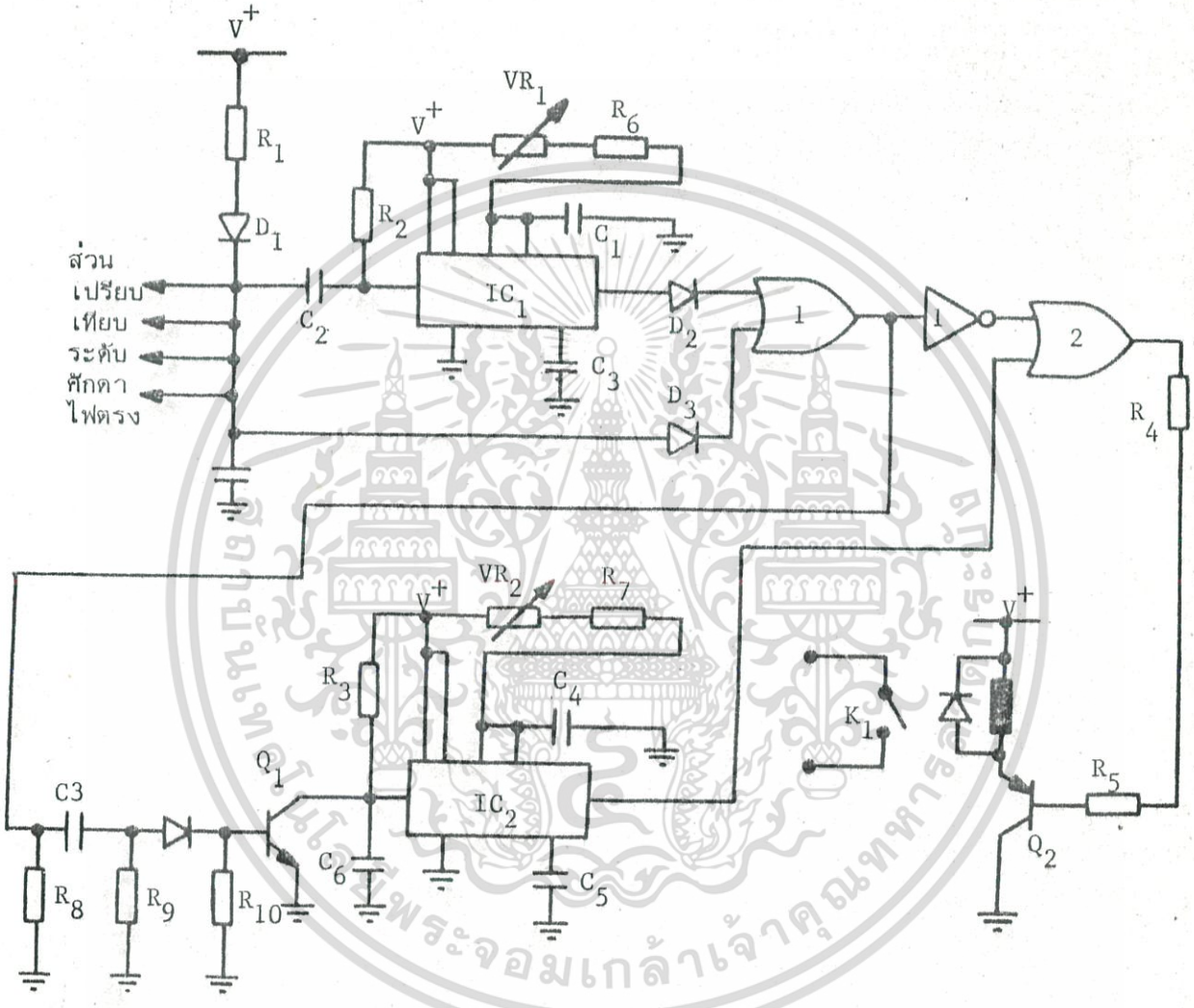
เมื่อพิจารณารูปที่ ๗.๓ ขณะที่เกิดสภาวะของทรานเซ้ียนท์ จุดสัญญาณออกของวงจรเปรียบเทียบในส่วนของเพาเวอร์ ๓ เฟส โวลท์เตจ โมนิเตอร์จะเปลี่ยนสถานะทางลอจิกจาก ๑ เป็น ๐ ทันที ยังผลให้ ไอ.ซี. ๑ ซึ่งต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิลแบบทริกทางด้านริมลบ ทำงานโดยมีช่วงเวลาปรับตั้งได้ตั้งแต่ ๓ ถึง ๑๐ วินาที ด้วยเหตุนี้จะทำให้จุดสัญญาณออกของออเกทตัวที่ ๑ ยังคงเป็นลอจิก ๑ อยู่ ภายในช่วงเวลานี้ถ้าสภาวะของทรานเซ้ียนท์ที่เกิดขึ้นนี้หมดไปแล้ว จุดสัญญาณออกของวงจรเปรียบเทียบจะมีสถานะทางลอจิกกลับเป็น ๑ อีกครั้ง ทำให้จุดสัญญาณออกของออเกทตัวที่ ๑ ยังคงมีเป็นลอจิก ๑ ตามเดิม แต่ถ้าผ่านช่วงเวลา ๓ ถึง ๑๐ วินาทีนี้ จุดสัญญาณออกของวงจรเปรียบเทียบยังคงเป็นลอจิก ๐ อยู่คงเดิมแล้วที่จุดสัญญาณออกของออเกทตัวที่ ๑ จะเปลี่ยนสถานะทางลอจิกเป็น ๐ ทันที เป็นผลบังคับให้รีเลย์ทำการตัดไฟออกจากระบบ

ส่วน ไอ.ซี. ๒ เป็นวงจรโมโนสเตเบิลแบบทริกทางด้านริมลบ มีหน้าที่หน่วงเวลาการต่อไปเข้าระบบเพื่อป้องกันสภาวะทรานเซ้ียนท์ ในขณะที่มีการส่งไฟมาเพื่อให้ระดับศักดาในสายส่งมีสภาวะคงที่เสียก่อน วงจรที่ใช้งานสำหรับเครื่องป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟสามเฟสจะเป็นดังรูปที่ ๗.๔ และ ๗.๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

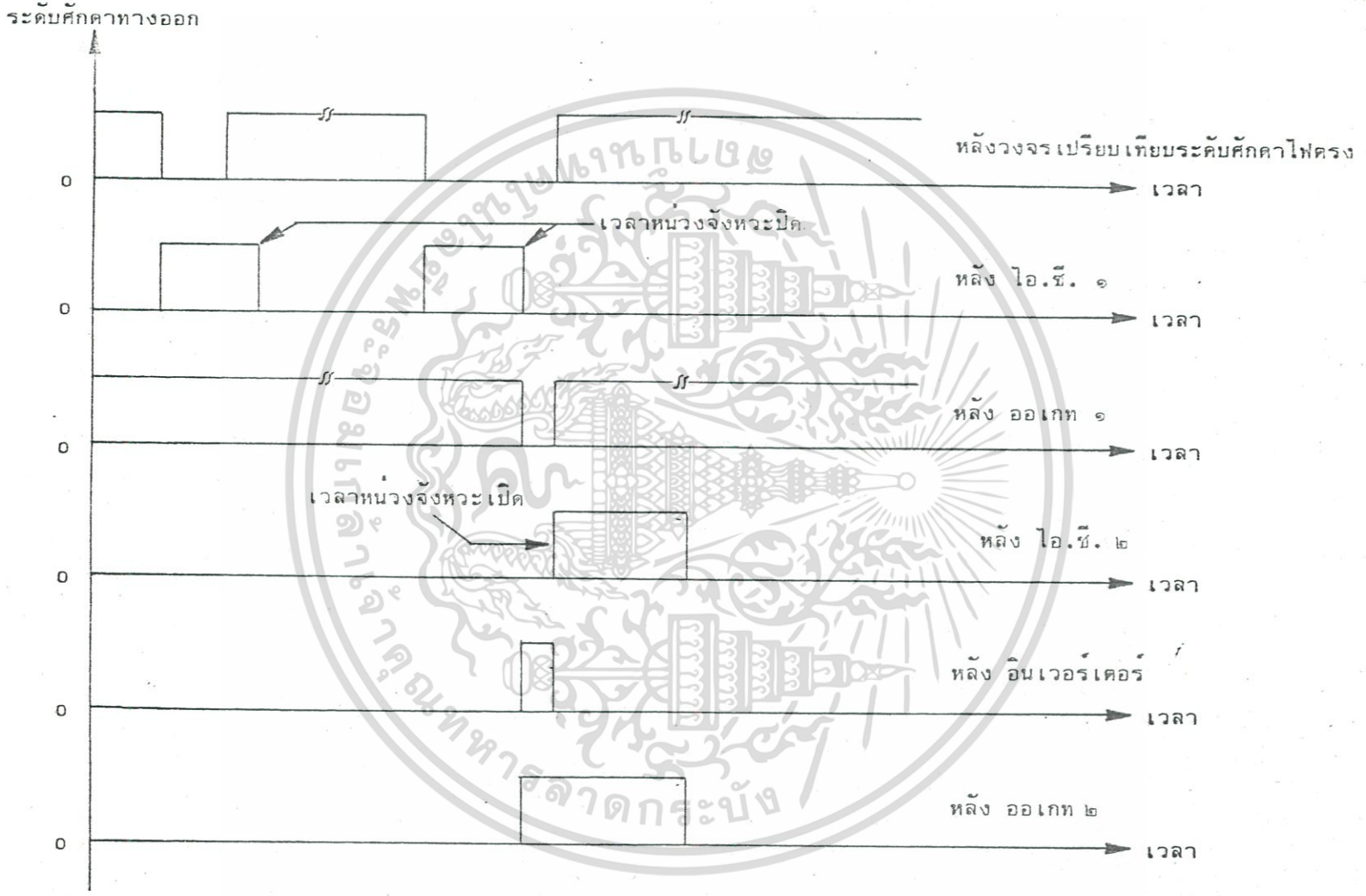


รูปที่ ๗.๑ ผังการทำงานของเครื่องป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟสามเฟส



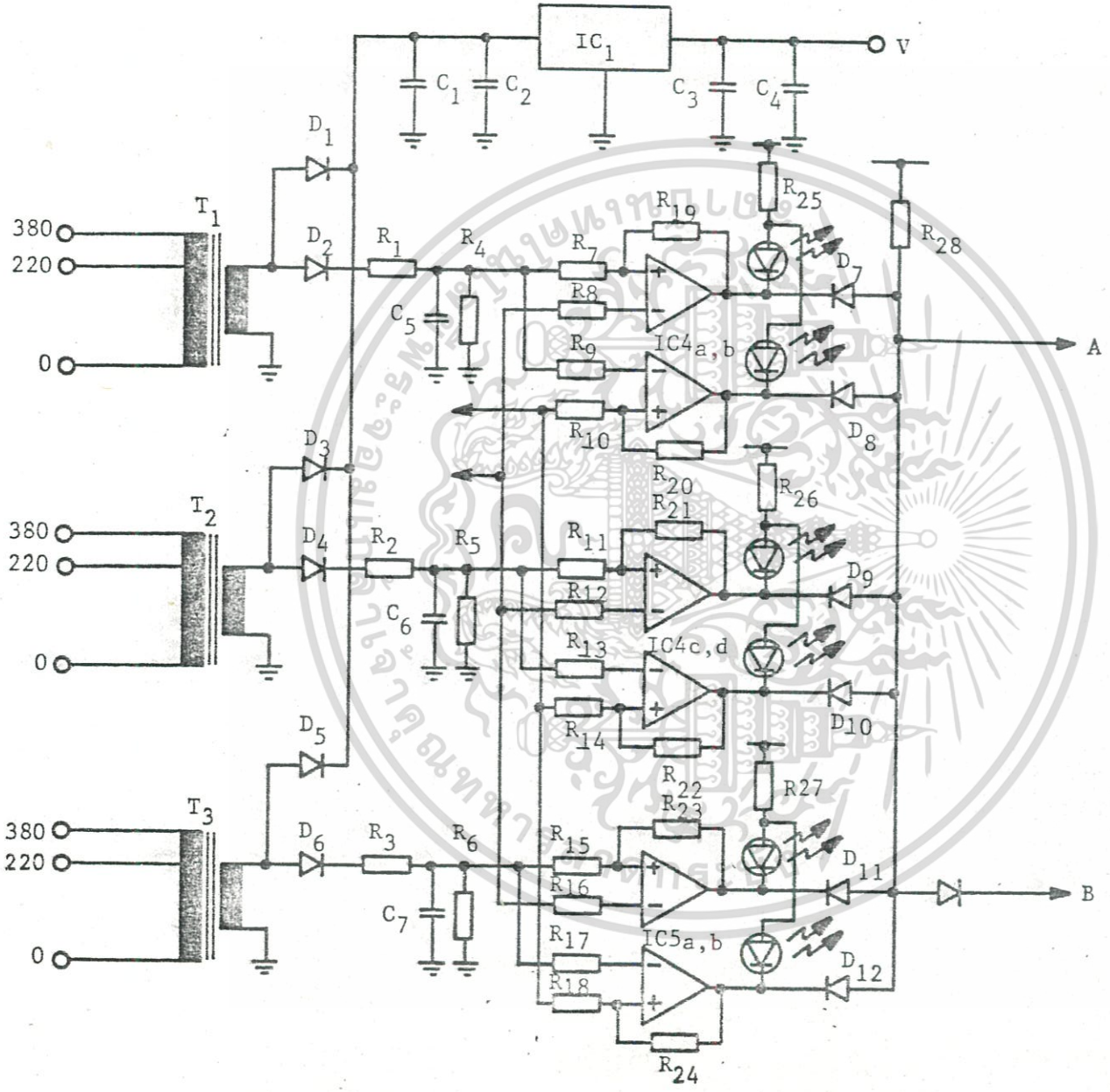
รูปที่ ๗.๒ แสดงวงจรหน่วงเวลาเมื่อทำการตัดหรือต่อไฟในสายส่งเข้าระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

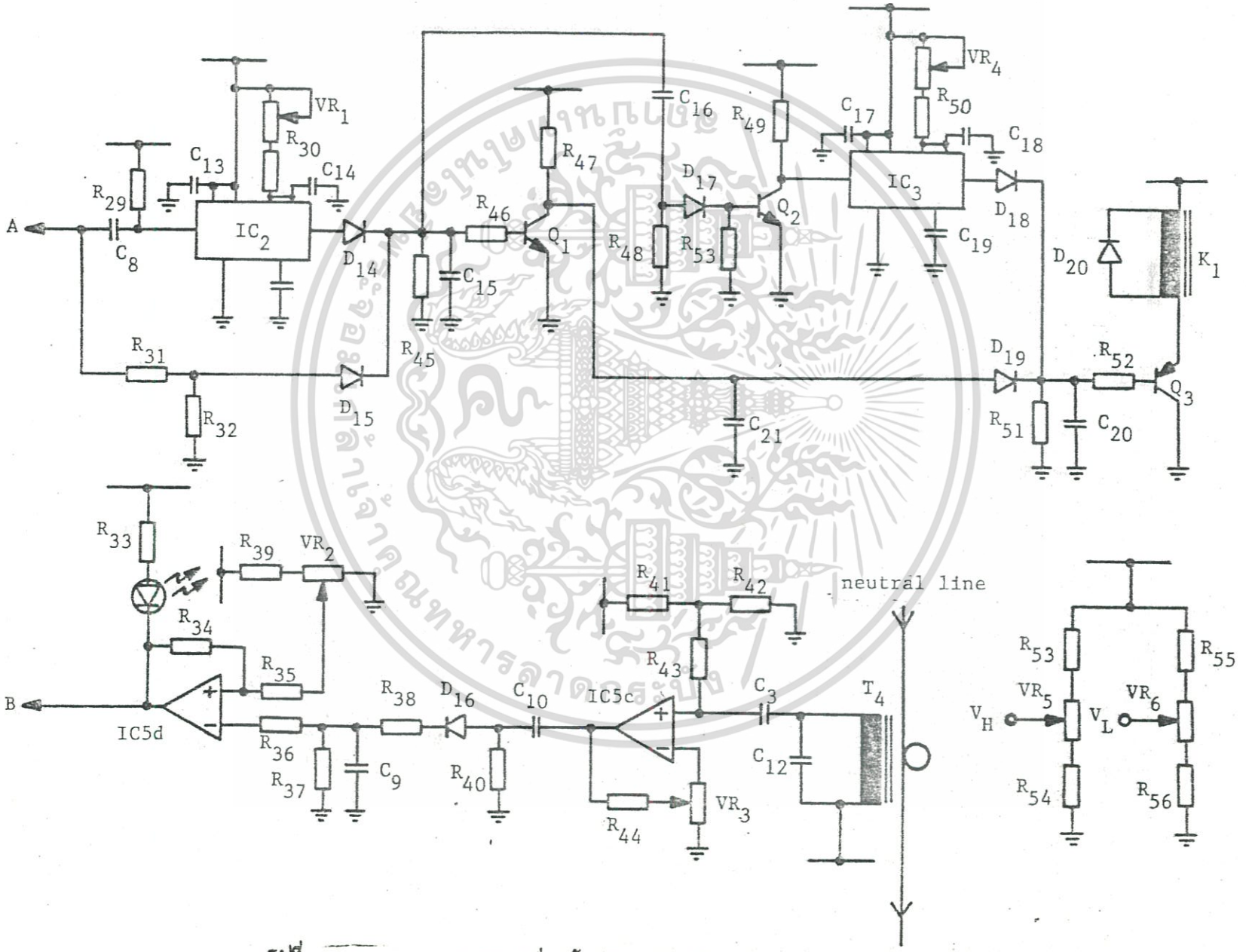


รูปที่ ๗.๓ รูปสัญญาณแสดงการทำงานของส่วนหน่วงเวลาเมื่อทำการตัดหรือต่อไฟเข้าระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๗.๔ แสดงวงจรเครื่องป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟสามเฟส



รูปที่ ๗.๕ แสดงวงจรเครื่องป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟสามเฟส

T1,T2,T3	voltage transformer	pri. 220,380 V. sec. 18 V.
T4	current transformer	
D1	rectifier diode	#1N4001
D2	signal diode	#1N4148
D3	rectifier diode	#1N4001
D4	signal diode	#1N4148
D5	rectifier diode	#1N4001
D6	signal diode	#1N4148
D7	signal diode	#1N4148
D8	signal diode	#1N4148
D9	signal diode	#1N4148
D10	signal diode	#1N4148
D11	signal diode	#1N4148
D12	signal diode	#1N4148
D13	signal diode	#1N4148
D14	signal diode	#1N4148
D15	signal diode	#1N4148
D16	signal diode	#1N4148
D17	signal diode	#1N4148
D18	signal diode	#1N4148
D19	signal diode	#1N4148
D20	rectifier diode	#1N4001
C1	electro.capacitor	1000 MF.,50 V.
C2	mylar capacitor	0.1 MF.,50 V.
C4	mylar capacitor	0.1 MF.,50 V.
C3	electro.capacitor	100 MF.,25 V.
C5	electro.capacitor	47 MF.,25 V.
C6	electro.capacitor	47 MF.,25 V.
C7	electro.capacitor	47 MF.,25 V.
C8	electro.capacitor	47 MF.,25 V.
C9	electro.capacitor	47 MF.,25 V.
C10	electro.capacitor	10 MF.,25 V.
C11	electro.capacitor	10 MF.,25 V.
C12	ceramic	0.47 MF.,50 V.
C13	ceramic	0.02 MF.,50 V.
C14	electro.capacitor	10 MF.,25 V.
C15	ceramic	0.01 MF.,50 V.
C16	electro.capacitor	2.2 MF.,25 V.
C17	ceramic	0.02 MF.,50 V.
C18	electro.capacitor	47 MF.,25 V.
C19	ceramic	0.02 MF.,50 V.
C20	electro.capacitor	3.3 MF.,25 V.
C21	ceramic	0.02 MF.,50 V.
C22	ceramic	0.02 MF.,50 V.
R1	resistor 1/4 watt	20 Kohms
R2	resistor 1/4 watt	20 Kohms
R3	resistor 1/4 watt	20 Kohms
R4	resistor 1/4 watt	18 Kohms
R5	resistor 1/4 watt	18 Kohms
R6	resistor 1/4 watt	18 Kohms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R7	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R8	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R9	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R10	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R11	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R12	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R13	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R14	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R15	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R16	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R17	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R18	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R19	resistor	1/4 watt	4.7	M ohms
R20	resistor	1/4 watt	4.7	M ohms
R21	resistor	1/4 watt	4.7	M ohms
R22	resistor	1/4 watt	4.7	M ohms
R23	resistor	1/4 watt	4.7	M ohms
R24	resistor	1/4 watt	4.7	M ohms
R25	resistor	1/4 watt	1.5	K ohms
R26	resistor	1/4 watt	1.5	K ohms
R27	resistor	1/4 watt	1.5	K ohms
R28	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R29	resistor	1/4 watt	100	K ohms
R30	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R31	resistor	1/4 watt	100	K ohms
R32	resistor	1/4 watt	100	K ohms
R33	resistor	1/4 watt	1.5	K ohms
R34	resistor	1/4 watt	4.7	M ohms
R35	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R36	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R37	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R38	resistor	1/4 watt	1	K ohms
R39	resistor	1/4 watt	1	K ohms
R40	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R41	resistor	1/4 watt	68	K ohms
R42	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R43	resistor	1/4 watt	27	K ohms
R44	resistor	1/4 watt	1	K ohms
R45	resistor	1/4 watt	100	K ohms
R46	resistor	1/4 watt	4.7	K ohms
R47	resistor	1/4 watt	4.7	K ohms
R48	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R49	resistor	1/4 watt	4.7	K ohms
R50	resistor	1/4 watt	1	M ohms
R51	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R52	resistor	1/4 watt	4.7	K ohms
R53	resistor	1/4 watt	12	K ohms
R54	resistor	1/4 watt	10	K ohms
R55	resistor	1/4 watt	15	K ohms
R56	resistor	1/4 watt	8.2	K ohms
VR1	variable resistor(type B)		1	M ohms
VR2	variable resistor(type B)		3	K ohms
VR3	variable resistor(type B)		3	K ohms
VR4	variable resistor(type B)		1	M ohms
VR5	variable resistor(type B)		2	K ohms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

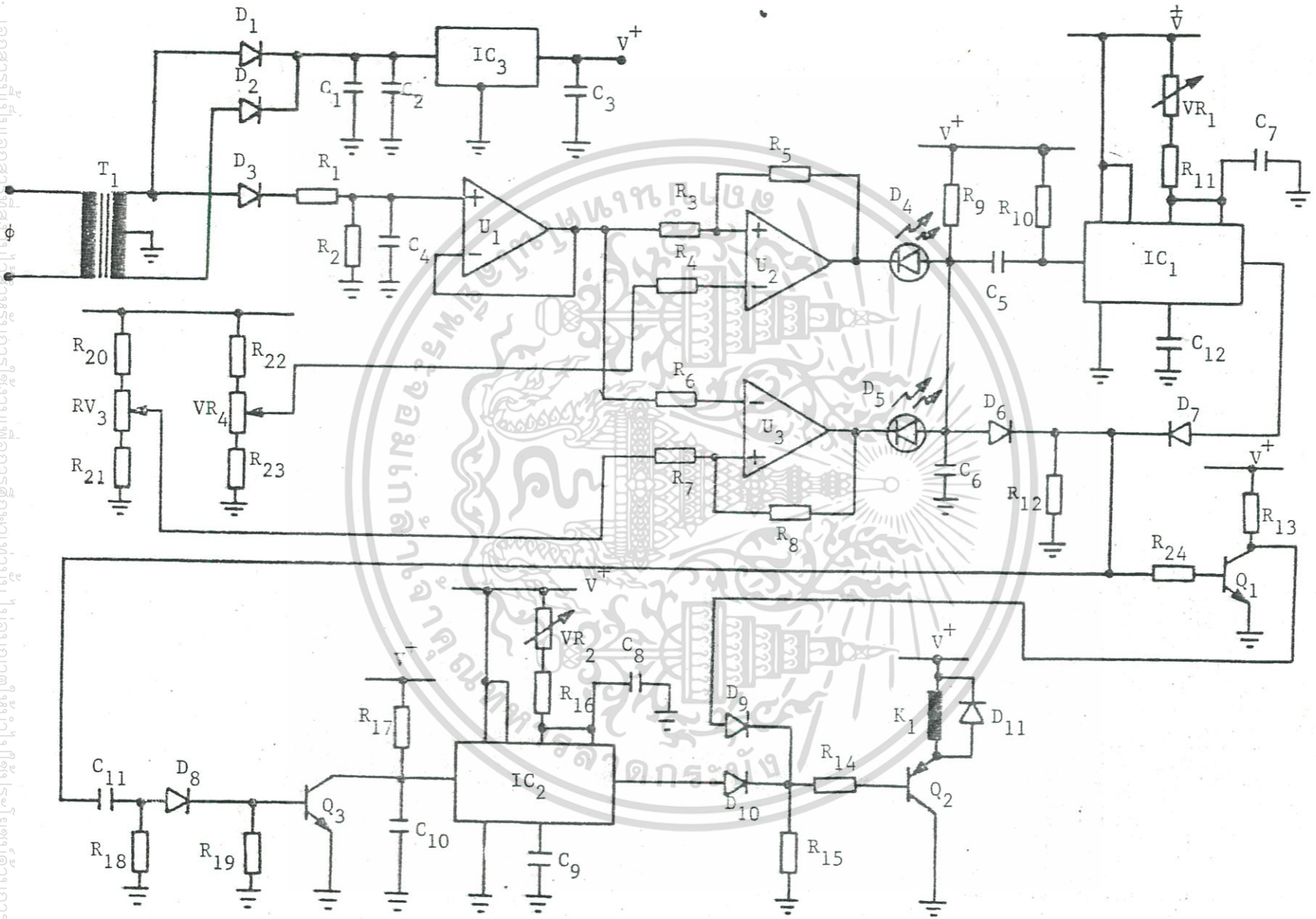
VR6	variable resistor(type B)	2 K ohms
Q1	NPN transistor	#2SC458
Q2	NPN transistor	#2SC458
Q3	PNP transistor	#2N2907
IC1	fixed regulator	#LM340-12
IC2	timer	#LM555
IC3	timer	#LM555
IC4	Op-amp	#LM324
IC5	Op-amp	#LM324
K1	relay 1 contact, 12 V.DC.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๗.๒ <u>เครื่องป้องกันระดับศักดาในสายส่งสูงหรือต่ำกว่ากำหนดในระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส</u>

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ส่วนมากมักจะใช้กับไฟฟ้าเฟียงเฟสเดียวเท่านั้น จึงไม่จำเป็นที่จะต้องนำเอาเครื่องเพาเวอร์ ๓ เฟส โวลท์เตจ โมนิเตอร์ มาใช้งานเฟียงเฟสเดียวทำให้สิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ ดังนั้น ในส่วนนี้จะทำการตัดเอามาเฟียงส่วนเดียว ดังวงจรในรูปที่ ๗.๖ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีหลักการและวงจรเหมือนกับของเครื่อง เพาเวอร์ ๓ เฟส โวลท์เตจ โมนิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗.๖ แสดงเครื่องป้องกันระดับศักดาในสายส่งสูงหรือต่ำกว่ากำหนดในระบบไฟ ๑ เฟส

รายละเอียดของอุปกรณ์

T1	voltage transformer	pri.	220 V.AC.
		sec.	12 V.AC.
R1	resistor 1/4 watt	20	K ohms
R2	resistor 1/4 watt	18	K ohms
R3	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R4	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R5	resistor 1/4 watt	4.7	M ohms
R6	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R7	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R8	resistor 1/4 watt	4.7	M ohms
R9	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R10	resistor 1/4 watt	100	K ohms
R11	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R12	resistor 1/4 watt	100	K ohms
R13	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R14	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R15	resistor 1/4 watt	100	K ohms
R16	resistor 1/4 watt	1	M ohms
R17	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R18	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R19	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
C1	electro.capacitor	1000	MF.
C2	mylar capacitor	0.1	MF.
C3	mylar capacitor	0.1	MF.
C4	electro.capacitor	47	MF.
C5	electro.capacitor	1	MF.
C6	mylar capacitor	0.01	MF.
C7	electro.capacitor	10	MF.
C8	electro.capacitor	47	MF.
C9	mylar capacitor	0.01	MF.
C10	electro.capacitor	1	MF.
C11	electro.capacitor	1	MF.
C12	mylar capacitor	0.01	MF.
D1	rectifier diode	1N4001	
D2	rectifier diode	1N4001	
D3	signal diode	1N4148	
D4	L.E.D.		
D5	L.E.D.		
D6	signal diode	1N4148	
D7	signal diode	1N4148	
D8	signal diode	1N4148	
D9	signal diode	1N4148	
D10	signal diode	1N4148	
D11	rectifier diode	1N4001	
Q1	NPN transistor	2SC458	
Q2	PNP transistor	2N2907	
Q3	NPN transistor	2SC458	

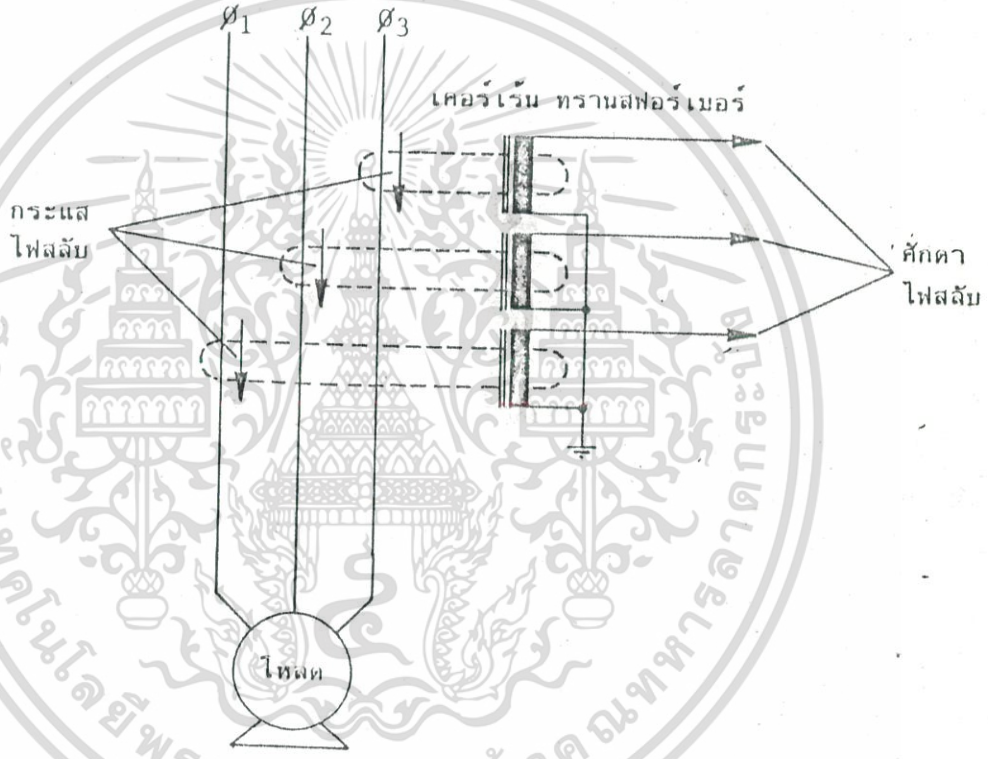
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K1	relay 1 contact, 12 V.DC.	
U1,U2,U3	Op-amp	1/4 LM324
IC1	timer	LM555
IC2	timer	LM555
IC3	fixed regulator	LM340-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๗.๓ เครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟสามเฟส

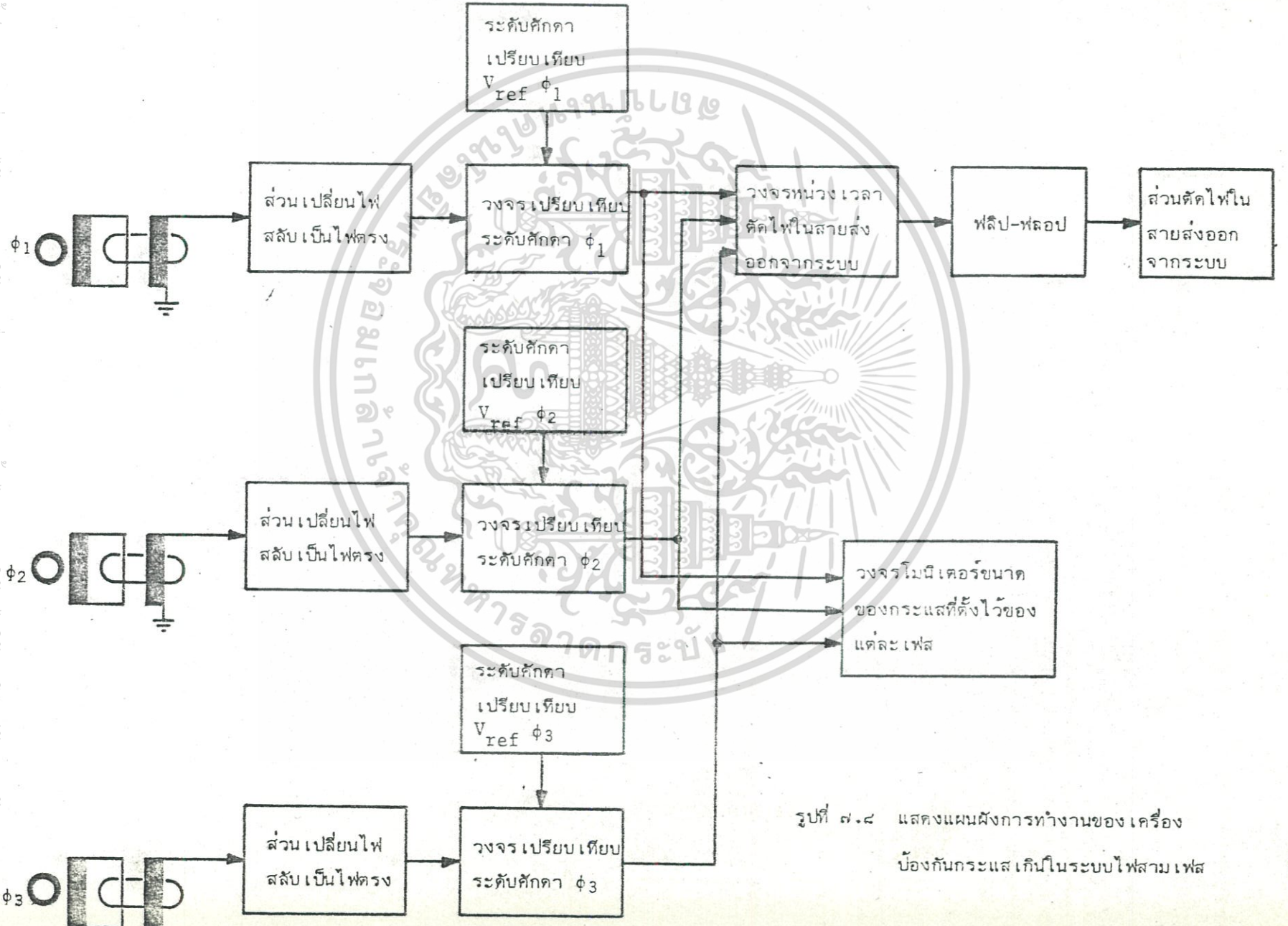
ในบางกรณีในระบบไฟสามเฟสต้องมีการกำหนดกระแสที่จ่ายให้โหลดแต่ละเฟสไว้ค่าหนึ่ง ดังนั้น ส่วนนี้จะอาศัยหลักการของ เคอร์เร้น ทรานสฟอร์เมอร์ ที่ได้กล่าวมาแล้วมาประยุกต์ใช้งาน โดยนำไปต่อกับ เคอร์เร้น ทรานสฟอร์เมอร์ ที่มีขนาดใหญ่กว่าดังรูปที่ ๗.๗



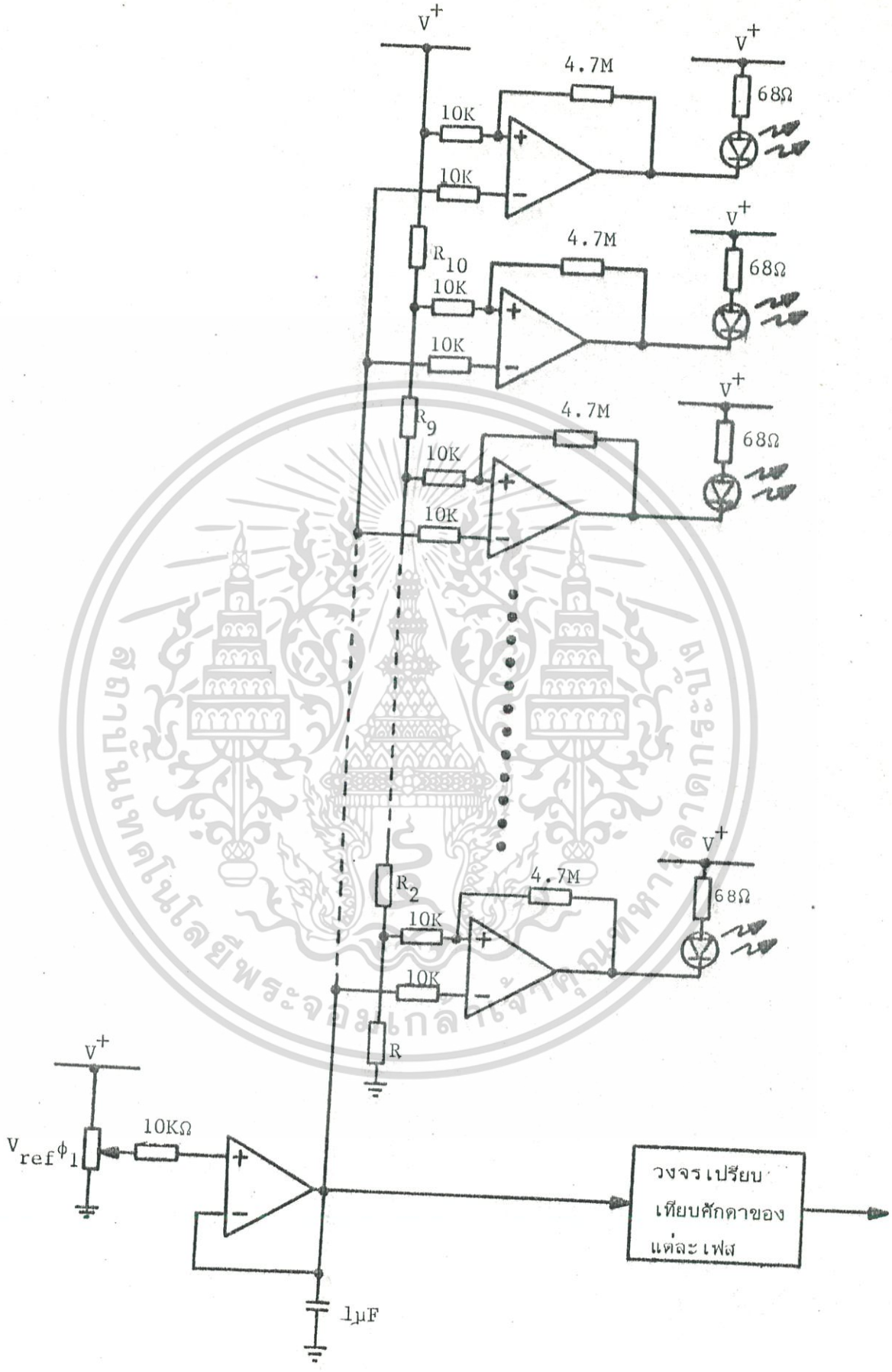
รูปที่ ๗.๗ แสดงวิธีการต่อ เคอร์เร้น ทรานสฟอร์เมอร์ เข้าด้วยกัน

โดยทั่วไป เคอร์เร้น ทรานสฟอร์เมอร์ ตัวใหญ่ดังรูปที่ ๗.๗ จะมีหลายขนาดในที่นี้จะใช้ เคอร์เร้น ทรานสฟอร์เมอร์ ที่มีขดลวดที่ทำการลัดวงจรแล้วให้กระแสออกมาไม่เกิน ๕ แอมแปร์ ซึ่งมีขนาดพอดีกับ เคอร์เร้น ทรานสฟอร์เมอร์ ตัวเล็ก ระบบการทำงานของเครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟสามเฟสแสดงไว้ดังรูปที่ ๗.๘

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗.๔ แสดงแผนผังการทำงานของเครื่อง
ป้องกันกระแสเกินในระบบไฟสามเฟส



รูปที่ ๗.๙ แสดงส่วนโมนิเตอร์กระแสที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ๗.๘ แผนผังการทำงานจะมีลักษณะคล้ายกับวงจรที่กล่าวผ่านมาแล้วในบทก่อน แต่ในเครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟสามเฟสนี้จะมีระดับศักดาไฟฟ้าเปรียบเทียบถึงสามค่า ทั้งนี้โดยอาศัยการอนุมานเอาว่า การใช้ไฟของแต่ละเฟสนั้นส่วนมากแล้วมักจะไม่เท่ากัน ดังนั้น จึงแยกแหล่งกำเนิดระดับศักดาเปรียบเทียบแต่ละเฟสออกจากกันเพื่อสะดวกต่อการปรับตั้ง อีกส่วนหนึ่ง ที่เพิ่มเข้ามาคือ วงจรฟลิปฟลอป (Flip flop) ซึ่งจะช่วยในการรักษาสถานะของเครื่องให้คงสถานะในการตัดไฟออกจากระบบอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เนื่องจากว่าในกรณีของเครื่องป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟสามเฟสนั้น เมื่อไฟในสายส่งกลับเข้าสู่สภาวะปกติแล้ว เครื่องจะทำการต่อไฟเข้าระบบเองโดยอัตโนมัติได้ โดยไม่เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่ แต่ในกรณีของเครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดแล้ว เครื่องจะตัดไฟออกจากระบบเมื่อระบบมีการใช้ไฟเกินกว่ากำหนดที่ตั้งไว้ แสดงว่าอาจเกิดการลัดวงจรหรืออุปกรณ์ชิ้นใดชิ้นหนึ่งเกิดชำรุดเสียหายขึ้นได้ จึงควรที่ผู้ใช้จะทำการตรวจสอบดูก่อนเมื่อได้แก้ไขเรียบร้อยแล้วผู้ใช้ต้องมาทำการเซ็ทเครื่องป้องกันกระแสนี้ให้เริ่มทำงานใหม่

วงจรโมนิเตอร์กระแสของแต่ละเฟส จะทำหน้าที่แสดงค่าของกระแสที่ปรับตั้งไว้ได้อย่างหยาบ ๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงค่าของกระแสที่กำหนดไว้ โดยนัยนี้จึงเอาค่าระดับศักดาเปรียบเทียบของแต่ละเฟส ($V_{ref}\ \phi_1$ หรือ $V_{ref}\ \phi_2$ หรือ $V_{ref}\ \phi_3$) มาเป็นตัวระบุค่ากระแสที่กำหนด โดยนำมาผ่านเข้าวงจรเปรียบเทียบที่ต่อกันอยู่ดังรูปที่ ๗.๙ ค่า V_{ref} จะถูกป้อนเป็นสัญญาณเข้าวงจรเปรียบเทียบระดับศักดาทั้ง ๑๐ วงจร โดยที่แต่ละวงจรมีศักดาเปรียบเทียบต่างกันอยู่เท่ากับ $V^+/10$ เสมอ (เมื่อ V^+ เป็นค่าศักดาที่เลี้ยงวงจร) ถ้าให้เคอร์เรน ทรานสฟอร์เมอร์ ตัวใหญ่มีขนาด ๑๐๐ แอมแปร์

ดังนั้น โดยการเปรียบเทียบ

$$V^+ = 100 \text{ แอมแปร์}$$

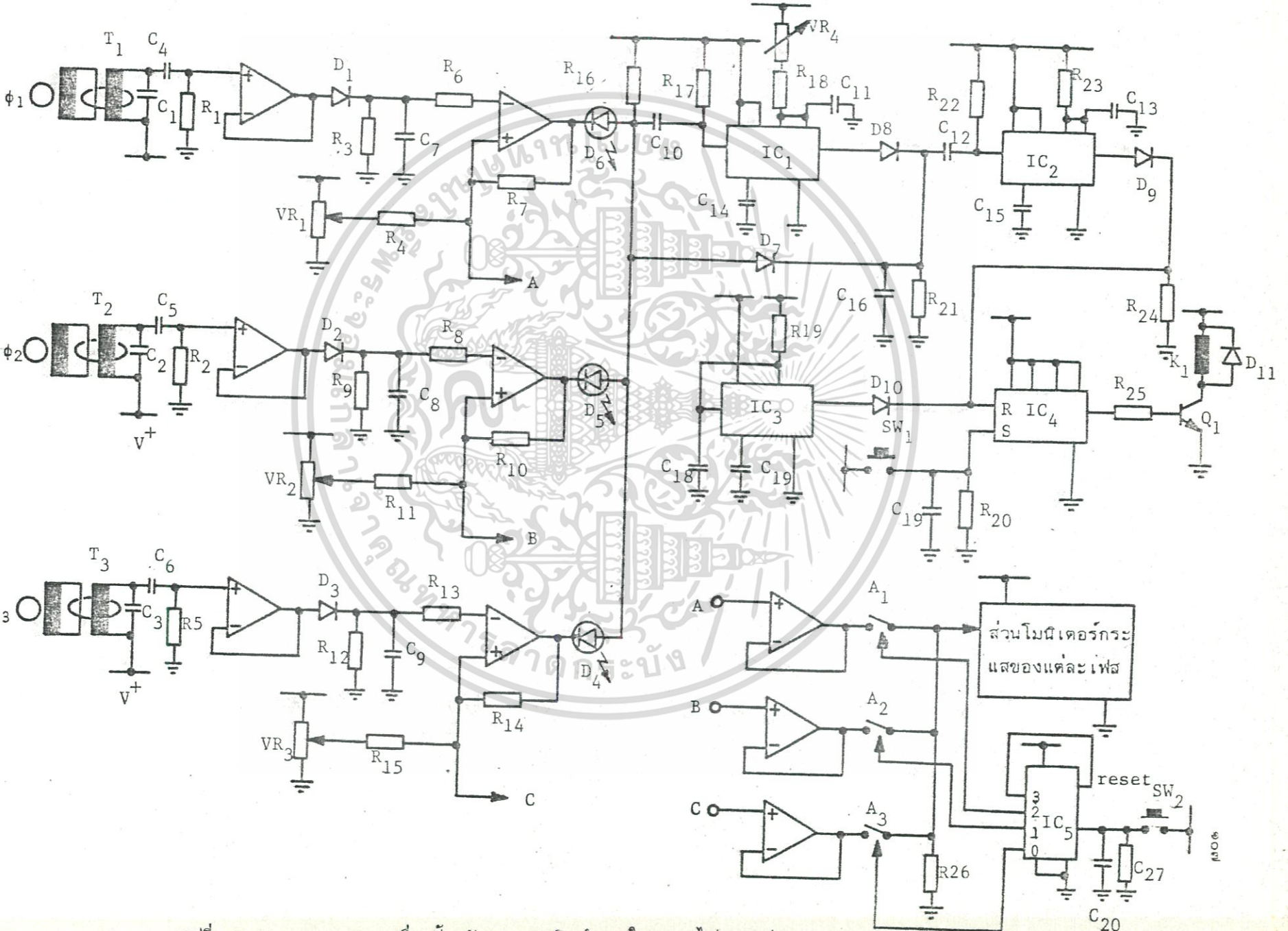
$$\therefore \frac{V^+}{10} = 10 \text{ แอมแปร์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้น ถ้าขณะนี้ใช้กระแสไฟอยู่ ๘๒ แอมแปร์ วงจรเปรียบเทียบหมายเลข ๑ ถึง เลข ๔ จะทำงานให้สถานะทางลอจิกที่จุดสัญญาณออกเป็น ๑ เมื่อผ่านเอ็กกลูซีพ-ออร์ เกท แล้ว จะเห็นได้ว่าจะมีเฉพาะ แอล.อี.ดี. (L.E.D.) ดวงที่ ๔ เท่านั้นที่ติดสว่าง นั่นก็หมายความว่า ขณะนี้ได้ทำการปรับตั้งค่ากระแสเอาไว้อยู่ในช่วง ๘๐ ถึง ๙๐ แอมแปร์นั่นเอง

วงจรเครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟสามเฟสแสดงไว้ดังรูปที่ ๑.๑๐ เมื่อมีเฟสใดเฟสหนึ่งใช้ไฟเกินกำหนดแล้ว จุดสัญญาณออกของวงจรเปรียบเทียบจะให้สถานะทางลอจิกจาก ๑ เป็น ๐ ทันที ผลอันนี้จะไปกระตุ้น ไอ.ซี. ๑ ซึ่งเป็นวงจรโมโนสเตเบิลแบบทริกด้วยริมด้านลบทำงาน ช่วงเวลาที่ ไอ.ซี. ๑ ทำงานจะเป็นช่วงหน่วงเวลาตัดไฟออกจากระบบ หลังจากเกิดเหตุผิดปกติ ถ้าในช่วงที่ ไอ.ซี ๑ ทำงาน เหตุผิดพลาดกลับเข้าสภาวะปกติ วงจรก็จะทำงานต่อไปเป็นปกติไม่มีการตัดไฟออกจากระบบ แต่ถ้าหลังจาก ไอ.ซี. ๑ หยุดทำงานแล้ว เหตุผิดพลาดยังไม่กลับเข้าสู่สภาวะปกติ (นั่นคือค่ากระแสของเฟสนั้นยังคงเกินค่ากำหนดไว้อยู่ตลอดเวลา) ไอ.ซี. ๒ ซึ่งเป็นวงจรโมโนสเตเบิลแบบทริกริมด้านลบเช่นเดียวกันจะให้สัญญาณลูกคลื่นออกไปทำการรีเซ็ท ฟลิป ฟลอป (ไอ.ซี. ๔) ทำการบังคับให้รีเลย์หยุดทำงาน ไอ.ซี.๓ จะทำหน้าที่หน่วงเวลาในตอนที่จ่ายไฟเลี้ยงเข้าวงจรครั้งแรก เพื่อให้วงจาแต่ละส่วนเข้าสู่สภาวะคงตัวเสียก่อน ไอ.ซี. ๕ เป็นวงจรถอดรหัสซึ่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟควบคุมให้อนาล็อกสวิชต่อ $V_{ref}\ \phi_1$, $V_{ref}\ \phi_2$ หรือ $V_{ref}\ \phi_3$ เข้ายังส่วนโมนิเตอร์ค่ากระแสของแต่ละเฟส โดยที่เมื่อทำการกดสวิช S.W. 1 ทำครั้งสถานะทางลอจิก ๑ จะเคลื่อนจากขาหนึ่งไปยังอีกขาหนึ่งเสมอ อันจะทำให้สามารถเลือกการโมนิเตอร์ค่ากระแสเฟสใดเฟสหนึ่งก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


T1
C4
C1
R1
φ1
D1
R6
R3
C7
R7
VR1
R4
A
R16
D6
C10
VR4
R17
R18
C11
IC1
D8
R22
C12
IC2
R23
C13
D9
C15
C14
D7
T2
C5
C2
R2
φ2
V+
D2
R8
R9
C8
R10
VR2
R11
B
D5
R19
C16
R21
R24
K1
D11
D10
IC3
IC4
R
S
R25
Q1
SW1
C18
C19
C19
R20
T3
C6
C3
R5
φ3
V+
D3
R13
R12
C9
R14
VR3
R15
C
D4
A
A1
B
A2
C
A3
ส่วนโมนิเตอร์กระแสของแต่ละเฟส
reset
SW2
IC5
3
2
1
0
R26
C27
C20

T1	current transformer		
T2	current transformer		
T3	current transformer		
R1	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R2	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R3	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R4	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R5	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R6	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R7	resistor 1/4 watt	4.7	M ohms
R8	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R9	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R10	resistor 1/4 watt	4.7	M ohms
R11	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R12	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R13	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R14	resistor 1/4 watt	4.7	M ohms
R15	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R16	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R17	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R18	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R19	resistor 1/4 watt	4.7	M ohms
R20	resistor 1/4 watt	1	K ohms
R21	resistor 1/4 watt	1	K ohms
R22	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R23	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R24	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R25	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R26	resistor 1/4 watt	1	K ohms
R27	resistor 1/4 watt	1	K ohms
VR1	variable resistor	10	K ohms
VR2	variable resistor	10	K ohms
VR3	variable resistor	10	K ohms
VR4	variable resistor	1	M ohms
D1	signal diode	1N4148	
D2	signal diode	1N4148	
D3	signal diode	1N4148	
D4	L.E.D.		
D5	L.E.D.		
D6	L.E.D.		
D7	signal diode	1N4148	
D8	signal diode	1N4148	
D9	signal diode	1N4148	
D10	signal diode	1N4148	
D11	rectifier diode	1N4001	
Q1	NPN transistor	2SC458	
IC1	timer	LM555	
IC2	timer	LM555	

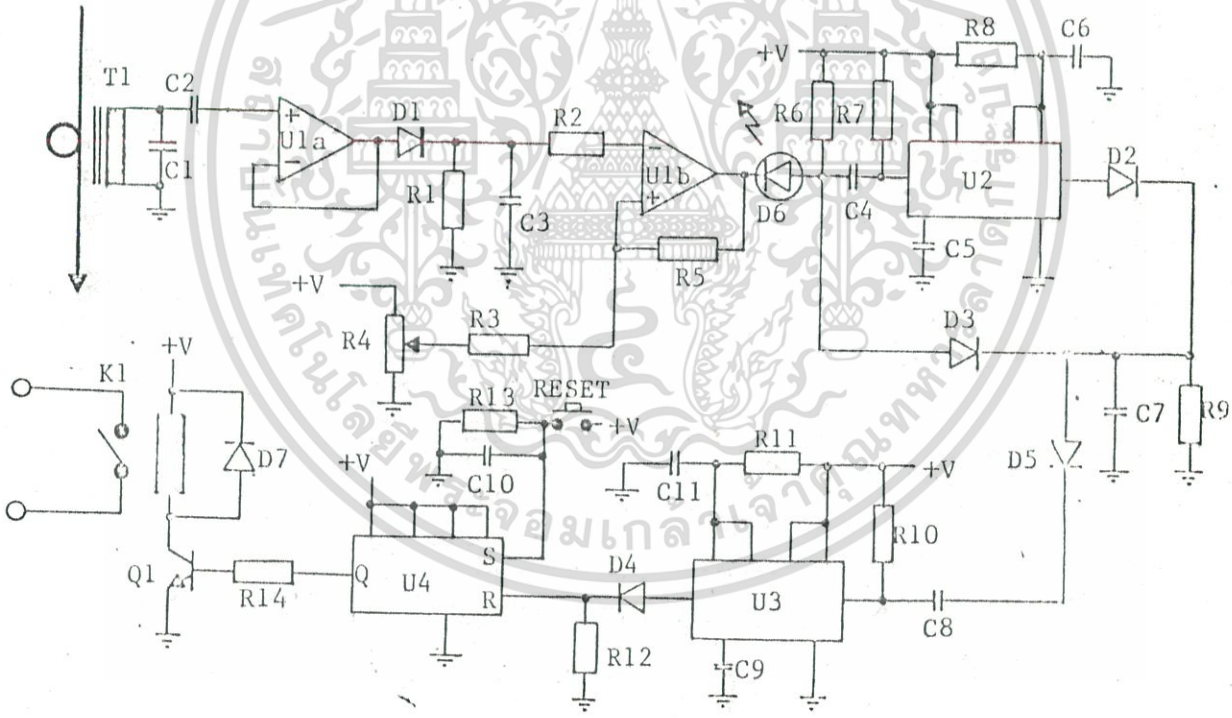
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IC3	timer	LM555
IC4	flip-flop	CD4027
IC5	counter	CD4017
IC6	Op-amp	LM324
IC7	Op-amp	LM324
A1,A2,A3	analog switch	CD4066
SW1,SW2	toggle switch	
K1	relay 1 contact, 12 V.DC.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๗.๔ เครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟหนึ่งเฟส

เช่นเดียวกันกับในกรณีเครื่องป้องกันระดับศักดาไฟฟ้าสูงหรือต่ำกว่ากำหนด เครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟหนึ่งเฟสเพียงแต่ตัดส่วนเปรียบเทียบเฟสสองและเฟสสามและตัด I.C. 5 ของเครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดออกไปก็สามารถนำมาใช้งานได้ทันที เครื่องที่สร้างขึ้นมาใช้งานเป็นดังรูปที่ ๗.๑๑



รูปที่ ๗.๑๑ แสดงเครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟเฟสเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T1	current transformer		
R1	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R2	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R3	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R4	variable resistor	10	K ohms
R5	resistor 1/4 watt	4.7	M ohms
R6	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R7	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R8	resistor 1/4 watt	1	M ohms
R9	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R10	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R11	resistor 1/4 watt	4.7	K ohms
R12	resistor 1/4 watt	10	K ohms
R13	resistor 1/4 watt	1	K ohms
R14	resistor 1/4 watt	10	K ohms
C1	mylar capacitor	0.47	MF.
C2	electro.capacitor	1	MF.
C3	electro.capacitor	47	MF.
C4	ceramic capacitor	0.1	MF.
C5	ceramic capacitor	0.05	MF.
C6	electro.capacitor	47	MF.
C7	ceramic capacitor	0.01	MF.
C8	ceramic capacitor	0.1	MF.
C9	ceramic capacitor	0.05	MF.
C10	ceramic capacitor	0.01	MF.
C11	ceramic capacitor	0.05	MF.
D1-D5	signal diode	1N4148	
D6	L.E.D.		
D7	rectifier diode	1N4001	
U1	Op-amp	LM324	
U2-U3	timer	LM555	
U4	flip-flop	CD4027	
Q1	NPN transistor	2N2222	
K1	relay 12 V.DC.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๘

บทสรุป

จากที่ได้กล่าวมาตั้งแต่แรกจนถึงบทที่ ๗ พอนำมาสรุปถึงรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ในแต่ละบทได้ดังนี้

บทที่ ๑ เป็นการกล่าวถึงข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบไฟสามเฟส อันอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่

บทที่ ๒ เป็นการกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนา เครื่องเพาเวอร์ โวลท์เตจ ๓ เฟส โมนิเตอร์ เพื่อนำไปใช้เป็นตัวยืนสภาวะของระดับศักดาไฟในสายแต่ละเฟส ว่าสูงหรือต่ำกว่าปกติ โดยกำหนดช่วงสูงหรือต่ำกว่าสภาวะปกติของระดับศักดาในสายส่งไว้เป็น ± ๒๐ เปอร์เซนต์ โดยคุณลักษณะของเครื่องที่ได้ออกแบบไว้ ถ้าระดับศักดาในสายส่งมีค่าสูงหรือต่ำกว่ากำหนดแล้ว เครื่องเพาเวอร์ โวลท์เตจ ๓ เฟส โมนิเตอร์ จะทำการตัดไฟออกจากระบบทันที และจะทำการต่อไฟกลับเข้าสู่ระบบใหม่ เมื่อระดับศักดาในสายส่งกลับเข้าสู่สภาวะปกติ โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องไปทำการยุ่งเกี่ยวกับเครื่องอีก หลังจากทำการปรับตั้งเครื่องเรียบร้อยแล้ว

บทที่ ๓ เป็นการกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาเครื่องมอเตอร์ โปรเท็คเตอร์ เพื่อนำไปใช้ป้องกันความเสียหายอันจะเกิดขึ้นกับมอเตอร์ เมื่อระดับศักดาในสายส่งขาดหายไปเฟสใดเฟสหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วเครื่องมอเตอร์ โปรเท็คเตอร์ ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ที่อาศัยหลักการตรวจสอบการขาดหายไปของค่าศักดาเฟสใดเฟสหนึ่งมักจะใช้ไม่ได้ผลกับมอเตอร์ที่ต่อเป็นแบบสตาร์ เนื่องมาจากผลของค่าศักดาย้อนกลับที่มอเตอร์สร้างขึ้น แต่เครื่องมอเตอร์ โปรเท็คเตอร์ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมานี้ ได้อาศัยหลักการตรวจสอบขนาดของกระแสในสายกลางที่เปลี่ยนแปลงไปจึงสามารถป้องกันมอเตอร์แบบสตาร์ได้อย่างแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๔ เป็นการกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนา เครื่อง เฟส ซีเควนซ์ โมนิเตอร์ เพื่อทำการตรวจสอบลำดับเฟสที่แต่ละ เฟสของระบบไฟฟ้า ๓ เฟส อันจะช่วยกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ที่ได้รับการออกแบบลักษณะการหมุนไว้แล้ว ถ้าเกิดหมุนผิดทาง อาจจะทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เสียหายได้ เครื่อง เฟส ซีเควนซ์ โมนิเตอร์ จะต่อไฟเข้าระบบก็ต่อเมื่อเฟสที่ต่อเข้ากับเครื่อง เรียงตามลำดับได้ถูกต้องแล้วเท่านั้น ถ้ามีการจัดเรียงลำดับ เฟสไม่ถูกต้อง เครื่องจะไม่ต่อไฟเข้าระบบ เป็นอันขาด

บทที่ ๕ เป็นการกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนา เครื่อง ไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ เพื่อช่วยรักษาระดับศักดาที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้คงที่อยู่ตลอดเวลา โดยเครื่องนี้จะทำหน้าที่ชดเชยระดับศักดาที่เปลี่ยนแปลงไป ให้มีค่าพอที่ระบบจะทำงานได้ตลอดเวลา จะเห็นได้ว่า เครื่องไลน์ โวลท์เตจ เรกูเลเตอร์ จะช่วยให้ระบบยังสามารถทำงานอยู่ได้ ซึ่งผิดกับอุปกรณ์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ ๒, ๓, ๔ ซึ่งจะทำการตัดไฟออกจากระบบทำให้ระบบหยุดทำงานทันที

บทที่ ๖ เป็นการกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาเครื่อง เฟสมิเตอร์ เพื่อช่วยวิเคราะห์คุณลักษณะ การทำงานของระบบวงจรทางด้านอิเล็คทรอนิคส์ เกี่ยวกับด้านการตอบสนองความถี่ของวงจร ซึ่งจะสามารถบอกถึงขีดจำกัดในการทำงานของวงจรได้เป็นอย่างดี เครื่อง เฟสมิเตอร์จะใช้วัดผลการเปลี่ยนแปลงของ เฟสของสัญญาณทางออก เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณทาง เข้าของวงจร เมื่อความถี่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

บทที่ ๗ เป็นการนำเอาหลักการต่าง ๆ ในบทที่ ๒, ๓, ๔ มาพัฒนาให้ดีขึ้น เพื่อสร้างอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ตรงกับความต้องการมากกว่าเดิม โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็นส่วน ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องป้องกันมอเตอร์ในระบบไฟสามเฟส ในหัวข้อของบทที่ ๓ นั้น เป็นการออกแบบเครื่องป้องกันมอเตอร์ที่ใช้กับมอเตอร์ที่ต่อแบบสตาร์ แต่ในกรณีของมอเตอร์ที่เป็นแบบ เดลต้า จะใช้ไม่ได้ผล เนื่องจากมอเตอร์แบบเดลต้าไม่ใช้สายกลาง เมื่อประยุกต์หลักการของบทที่ ๒ เข้ากับบทที่ ๓ ก็จะได้เครื่องป้องกันอันตรายอันจะเกิดกับมอเตอร์ ในกรณีที่ไฟในสายส่งเฟสใดเฟสหนึ่งขาดหายไป หรือสูงหรือต่ำกว่าสภาวะปกติ ทั้งในกรณีที่มอเตอร์เป็นแบบสตาร์และเดลต้า

- เครื่องป้องกันระดับศักดาสูงหรือต่ำกว่ากำหนดในระบบไฟ ๑ เฟส โดยทั่ว ๆ ไปอุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้านมักจะใช้กับไฟเฟียงเฟสเดียว ถ้าจะนำเครื่องป้องกันระบบสามเฟสมาใช้ ก็จะสิ้นเปลืองไปโดยเปล่าประโยชน์ จึงได้อาศัยหลักการ ของบทที่ ๒ มาทำการแบ่งออก แล้วนำมาใช้แค่เฟสเดียวเท่านั้น

- เครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟสามเฟส โดยอาศัยหลักการของเคอเรนท์ ทรานสฟอร์เมอร์ ในบทที่ ๓ มาประยุกต์ใช้งาน ก็สามารถสร้างเครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟสามเฟส นำมาใช้ป้องกันกระแสไหลเข้าสู่ระบบมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ได้ เครื่องนี้จะทำการตัดการจ่ายไฟเข้าสู่ระบบทันทีที่กระแสไหลเข้าสู่ระบบมากเกินไป อันอาจมีสาเหตุเกิดจากการลัดวงจร หรือมีอุปกรณ์ชำรุดเกิดขึ้น

- เครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟ ๑ เฟส สำหรับเครื่องนี้ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้กับระบบไฟเฟสเดียว โดยมีคุณสมบัติทางเทคนิคเหมือนกับเครื่องป้องกันกระแสเกินกำหนดในระบบไฟสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้สรุปมาดังข้างต้น พร้อมทั้งได้ออกแบบทดสอบและผลิตออกใช้ พบว่าผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ หลักการต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น พอเป็นแนวทางให้นำมาประยุกต์ใช้กับไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อช่วยให้อุปกรณ์ต่าง ๆ มีขนาดเล็กลงได้ และทำงานได้ถูกต้องแม่นยำฉับไวมากขึ้น ขณะเดียวกันก็สามารถรวมแต่ละเครื่องเข้าด้วยกัน แล้วใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมได้ทั้งหมด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ที่เสร็จสิ้นลงฉบับนี้ จะไม่สามารถกำเนิดขึ้นได้เลยถ้าปราศจาก ท่านรอง - ศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย โภไคยอุดม คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษา ท่านได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และหลักการที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างมากในชีวิตนี้ ทั้งทางด้านการศึกษาและการงาน

และข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมทั้งพี่น้องของข้าพเจ้าที่ได้เปิดทางชีวิตในด้านการศึกษาให้แก่ข้าพเจ้า ทำให้ข้าพเจ้ามายืนหยัดอยู่ได้ในปัจจุบัน

นอกเหนือไปจากนี้ที่จะลืมเสียไม่ได้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณ อรนุช คลอศิริโรจน์ และคุณ พนม เพชรจตุพร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการพิมพ์ และรวบรวมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเป็นรูปเล่มลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1 Frederick T.Morse "Power Plant Engineering" Affiliated East-West Press,PVT.LTD. 1974 pp.36-62

2 Dale R.Patrick & Stephen W. Fardo "Industrial Electrical systems" Howard W.Sams & Co.,Inc. 1977 pp.44-62, pp.65-87

3 Dale R.Patrick & Stephen W.Fardo "Industrial Electronic Systems" Howard W.Sams & Co.,Inc. 1977 pp.23-27

4 Bryan Norris "Digital Integrated Circuits and Operational-Amplifier and Optoelectronic Circuit Design" McGraw-Hill Book Company 1976 pp.35-42

5 D.E.Johnson and J.R,Johnson and H,P.Moore "A Handbook of Active - Filters" Prentice-Hall,Inc. 1976 pp.166-168 ,pp.173-174

6 M.Shan Griffith "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants" Chapter 4. The Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc. 1976 pp.73-124

7 Harold C.Miles "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants" Chapter 8. The Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc. 1976 pp.274-282

8 C.R.Heising "IEEE Recommended Practice for Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems" The Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc. 1980 pp.42-55

9 "TTL Data Book" National Semiconductor Co. 1976

10 "Linear Data Book" National Semiconductor Co. 1978

11 Don Lancaster "CMOS Cookbook" Howard W.Sams & Co.,Inc, 1977 pp.42-47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12 Don Lancaster "TTL Cookbook" Howard W.Sams & Co.,Inc. 1977 pp.11-37

13 Walter G.Jung "IC Timer" Howard W.Sams & Co.,Inc. 1977 pp.26-32

14 Walter G.Jung "IC Op-Amp" Howard W Sams & Co.,Inc. 1977 pp.192-194,pp.218-225

15 Henry W.Ott "Noise Reduction Techniques in Electronic System" John Wiley & Sons, 1976 pp.173-197

16 Eugene R.Hnatex "Application of Linear Integrated Circuits" John Willey & Sons, 1975 pp.238-279

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้