



ปีการศึกษา 2532
ระบบไม้น้ำกำลังจำลอง

โดย

นาย สยาม วิทยุเมิตร 29.1245

นาย สราวุธ สุวรรณ 29.1247

นาย สิงห์กรร พรหมโยธิตี 28.1261

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ศิริวัฒน์ โนริเวชกุล

22.พ.ย.2532

027004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2532

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

ผู้จัดทำ

1. นาย สยาม ภิญโญมิตร 29.1245

2. นาย สราวุธ สุวรรณ 29.1247

3. นาย สิงห์สรร พรหมโยธี 28.1261,

อาจารย์ ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

()



027004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

สยาม วิทยุมิตร

สราวุธ สุวรรณ

สิงห์สรร พรหมโยธี

อ.ศิริวัฒน์ โพลีเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้ มักจะประสบปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในระบบ ซึ่งมีทั้งการเกิดฟอลต์ , แรงดันต่ำหรือสูงเกินไป สิ่งต่างๆ เหล่านี้ เราไม่สามารถทราบล่วงหน้าได้ ดังนั้นเราจึงต้องสร้างส่วนของระบบป้องกัน เพราะว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์เหล่านี้ขึ้นจะมีการเปิดระบบเพื่อป้องกันการเสียหายที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้การที่จะวัดค่าจริงจากระบบนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากเครื่องมือวัดนั้นมีราคาแพง และเป็นอันตรายแก่ผู้ที่จะทำการวัด ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดและปลอดภัยแก่ผู้ที่จะทำการศึกษาระบบไฟฟ้ากำลัง ปรินธิญา นิพนธ์จันท์นี้จะศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง ซึ่งจะเป็นเนื้อหาที่เกี่ยวกับการจำลองระบบไฟฟ้ากำลังลงมาโดยใช้หลักการของเปอร์ยูนิตมาแปลงค่าของระบบจริงให้ต่ำลง จนสามารถที่จะใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัด ที่หาได้ง่าย ในห้องปฏิบัติการ รวมถึงการศึกษาระบบป้องกันชนิดต่างๆ และการจำลองการเกิดเหตุการณ์ ผิดปรกติต่างๆ ของระบบไฟฟ้า ทั้งหมดจะถูกจัดทำเป็นชุดทดลอง เพื่อให้ประกอบการศึกษาในเรื่องระบบไฟฟ้ากำลังของนักศึกษาภาควิชาไฟฟ้ากำลัง

POWER SYSTEM SIMULATOR

Mr.Siam Pinyomith

Mr.Sarawoot Suwana

Mr.Singsan Phromeyotee

Mr.Siriwat Potivejkul M.Eng. Advisor

1989

Abstract

Today, because of the power system there are many problems which may occur in it, such as some faults, too low or too high of voltage. From these we can't predict before they occurs. So we have to make the protect part so that when these serious event occur there will be the opening of the protect system for protecting the damage which may occur. Yet, measuring of data from the system is hard because the measuring device cost so expensive may damager person who is measuring. There for, for more economic and service of person who will study power system. This thesis was studied about the duplicate of power system which was related to duplicating power system to the smaller size by using principle of per unit to reduce the value of the true system so less that can use the elements and the measurements which can find easily in labolatory. It was included studying various protect systems and duplicating various unusual events of power system. These was made to test sets for assisting the studying in power system for the power engineer students.

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
1	ระบบไฟฟ้ากำลัง	1
2	ทฤษฎีและหลักการ ✓	4
2.1	พารามิเตอร์ของสายส่ง	4
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสายส่ง	6
2.3	ระบบเปอร์ยูนิเต	11
2.4	ฟอลต์และสาเหตุการเกิดฟอลต์	11
2.5	ระบบป้องกัน	11
3	การคำนวณและการสร้าง	15
3.1	การคำนวณหาพารามิเตอร์ของสายส่งที่จะจำลอง	15
3.2	การจำลองสภาวะผิดปกติ	23
3.3	การออกแบบและสร้างวงจรควบคุมระบบป้องกัน	26
4	ผลการทดสอบ	29
4.1	การทดสอบหม้อแปลง	29
4.2	การทดสอบ Transmission Line	33
4.3	การทดสอบและปรับตั้ง โพรเทคทีฟ รีเลย์	38
5	สรุปและวิจารณ์	43
	ภาคผนวก	
	กิตติกรรมประกาศ	
	เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บทที่ 1

บทนำ

ระบบไฟฟ้ากำลัง เราจะจำแนกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า (Generating System) หรือโรงจักรไฟฟ้า (Power Plant) เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่จะจ่ายเข้าสู่ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) โรงจักรไฟฟ้า (Power Plant) ประกอบด้วย

- ส่วนที่ผลิตไฟฟ้า
- ลานไกไฟฟ้า (Switchyard)
- ส่วนป้องกันการเดินเครื่อง
- ส่วนควบคุมเครื่อง

สำหรับระบบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้า ของการไฟฟ้าผลิตฯ มีทั้งที่จ่ายออกในระบบ 13.9 KV , 11 KV และ 3.5 KV แล้วเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยมีลานไกไฟฟ้า เป็นส่วนที่เพิ่มแรงดัน เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้า 500 KV , 230 KV , 115 KV , และ 69 KV โดยเชื่อมสายส่งแรงสูงนี้ต่อกันเกือบทุกแหล่งผลิต ทั่วประเทศ ทำให้ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้า เป็นไปอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

2. ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) ประกอบด้วย

2.1 สายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Line) เป็นชุดของสายตัวนำสำหรับส่งพลังงานไฟฟ้า จากโรงจักรไฟฟ้า ไปยังสถานีเปลี่ยนแรงดัน ซึ่งเป็นการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้า และเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิต ต่างๆ กัน ไปยังศูนย์ กลางของโหลด (Load Center) ในกรณีที่มีแหล่งผลิตหลายแห่งอยู่ห่างกัน นอกจากนี้ยังเป็นการ เชื่อมโยงระบบไฟฟ้า (Tie Line) จากระบบหนึ่ง ไปยังอีกระบบหนึ่ง ในกรณีที่ระบบหนึ่งมีกำลังผลิตไม่เพียงพอก็สามารถรับจากอีกระบบหนึ่งได้

ประโยชน์ของการเชื่อมโยงสายส่งกำลังไฟฟ้า

- 1) สามารถถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าจากระบบหนึ่ง ไปยังอีกระบบหนึ่งทำให้ช่วยลดกำลังผลิตไฟฟ้า ในขณะที่มีการใช้ไฟฟ้าไม่มากลงได้ ซึ่งช่วยให้ประหยัดพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า
- 2) สามารถเชื่อมโยงแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า หลายๆ ชนิดถึงกันได้ซึ่งช่วยให้สามารถวางแผน การเดินเครื่องอย่างมีประสิทธิภาพ
- 3) ช่วยให้ระบบมีความมั่นคงในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สถานีเปลี่ยนแรงดัน (Substation) เป็นแหล่งที่รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งหรือจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า เพื่อถ่ายผ่านสู่ระบบจำหน่าย ประกอบด้วย

- ส่วนเปลี่ยนแรงดัน
- ส่วนตัดตอน
- ส่วนควบคุม
- ส่วนป้องกันระบบ เป็นต้น

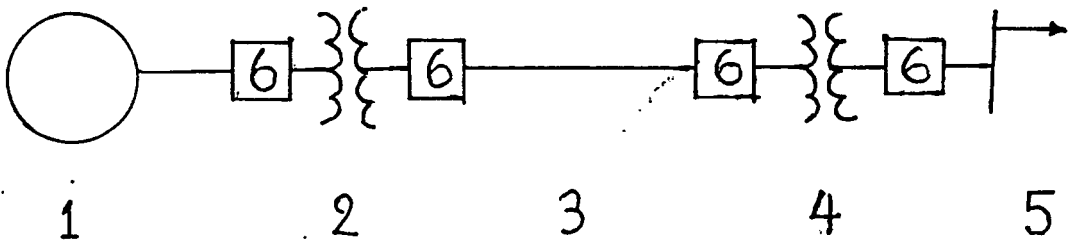
หน้าที่และจุดประสงค์ ของสถานีเปลี่ยนแรงดัน

- 1) เป็นจุดเปลี่ยนระดับ แรงดันไฟฟ้า
- 2) เป็นจุดปรับระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบให้คงที่
- 3) เป็นจุดเชื่อมระบบสายส่ง และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำหน้าที่ในการตัดตอนออกจากระบบและนำเข้าสู่ระบบ
- 4) เป็นจุดวัดปริมาณทางไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า เป็นต้น
- 5) เป็นจุดเชื่อมโยงระบบสื่อสาร โทรมาตร (Telemetry) และการป้องกันในระบบสายส่ง
- 6) เป็นตำแหน่งที่ติดตั้ง อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า อุปกรณ์ตัดตอน อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินพิกัด และอุปกรณ์อื่นๆที่จำเป็น

3 ระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า (Distribution System) ได้แก่

- สายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายจาก สถานีเปลี่ยนแรงดัน
- หม้อแปลงลดแรงดันไฟฟ้า
- สายจำหน่ายแรงดันต่ำที่จ่ายให้แก่โหลดหรือผู้ใช้ไฟฟ้า

สำหรับในระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง จะสามารถ แสดงให้เห็นในรูป ไดอะแกรม เส้นเดียว ได้ดังรูป



ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- 1) ส่วนผลิตพลังงานไฟฟ้า (Generator Station)
- 2) ส่วนเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (Step-up Transformer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ส่วนสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Line)
- 4) ส่วนลดแรงดันไฟฟ้า (Step-down Transtormer)
- 5) ส่วนของโหลด (Load)
- 6) ส่วนของระบบป้องกัน (Protection)

โดยที่เราจะจำลองส่วนต่างๆ เหล่านี้ เหล่านี้ที่หาได้ในห้องทดลองดังนี้

ส่วนผลิตพลังงานไฟฟ้า

ในระบบจริงจะเป็นโรงจักรไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่หลายๆ แต่ในระบบจำลองเราจะแทนด้วย แหล่งไฟฟ้าที่มาจากระบบในห้องทดลองโดยใช้ ขนาด 3KW, 220 Volt, 50Hz, 3-phase

ส่วนเพิ่มแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากเราเลือกค่าแรงดันไฟฟ้าที่จะป้อนให้สายส่งไฟฟ้ามีขนาด 415 Volt (เลือกตามความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้ทำสายส่ง) ดังนั้นหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้จึงออกแบบให้มีขนาดพิกัดเป็น 7.5 KVA , 220/415 Volt ต่อแบบ สตาร์-สตาร์ (Star-Star: Y-Y) ในระบบจริงจะมีขนาดพิกัดเป็น MVA และขนาดแรงดันในระดับ KV

ส่วนสายส่งกำลังไฟฟ้า

ในส่วนนี้ เราไม่สามารถหาสายส่งจริงๆ มาทำการทดลองได้ จึงต้องสร้างเป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (Resistor: R) , ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor : L) , และตัวประจุไฟฟ้า (Capacitor : C) แทนสายส่งที่มีความยาวต่างๆ กัน การหาค่า RLC นี้ค่อนข้างจะยุ่งยาก เพราะเมื่อหาค่า RLC ที่ระดับจริงได้แล้ว ต้องใช้วิธีเปอร์ยูนิต (Per-Unit) แปลงมาที่ระบบจำลอง แต่ค่า C ที่ได้ อาจจะมีค่าไม่ตรงกับค่า C ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกค่ากระแสของระบบจำลองใหม่ เพื่อให้ค่า C มีขนาดตรงกับค่า C ที่เราสามารถหาได้ ในส่วนนี้เราจะใช้คอมพิวเตอร์ ช่วยในการคำนวณ

ส่วนลดแรงดันไฟฟ้า

เป็นหม้อแปลงที่ทำหน้าที่ ลดแรงดันจากสายส่งให้มีค่าต่ำลง มาจ่ายให้กับโหลด ซึ่งเรา เลือกระดับ แรงดัน ที่จ่ายให้กับโหลดมีขนาดเท่ากับ 220 Volt ดังนั้นหม้อแปลงของส่วนนี้ จึงออกแบบให้มีขนาดพิกัด 7.5 KVA , 415/220 Volt ต่อแบบ Y-Y

ส่วนของโหลด

ในระบบจริงก็คือ ผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเราจะแทนด้วยโหลดที่หาได้ในห้องทดลอง

ส่วนของระบบป้องกัน

ได้กล่าวไว้ในปฏิญานินนธ์ เรื่องไฟฟ้ากำลังจำลองส่วนที่ 2

บทที่ ๒

ทฤษฎีและหลักการ

ก่อนที่จะจำลองระบบไฟฟ้ากำลังนั้น เราจะต้องทำความเข้าใจในเรื่องพารามิเตอร์ (Parameter) ของสายส่ง , ระบบเปอร์ยูนิต , ฟอลต์ , สาเหตุการเกิดฟอลต์ รวมไปถึงระบบป้องกันต่างๆ สำหรับในปริกฏยานิพนธ์ฉบับนี้ จะขอกล่าวหัวข้อเหล่านี้แต่เพียงคร่าวๆ เนื่องจากรายละเอียดในเรื่องพารามิเตอร์ของสายส่ง และระบบเปอร์ยูนิตได้ถูกกล่าวไว้ในปริกฏยานิพนธ์เรื่องระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง ส่วนที่ 1 และเรื่องฟอลต์ , สาเหตุการเกิดฟอลต์ รวมไปถึงระบบป้องกันต่างๆ ได้ถูกกล่าวไว้ในปริกฏยานิพนธ์เรื่องระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง ส่วนที่ 2

2.1 พารามิเตอร์ของสายส่ง

สายส่งที่ใช้ในส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าไปยัง โหลดหรือผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นระยะทางไกลๆ จะประกอบไปด้วย

- ความต้านทาน (Resistance) : R
- ความเหนี่ยวนำ (Inductance) : L
- ความนำไฟฟ้า (Conductance) : C

สำหรับการหาค่า RLC เราจะต้องทราบข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ชนิดของสายส่งไฟฟ้า การเลือกวัสดุที่ใช้ทำสายส่ง ไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการนำไฟฟ้า (Conductivity) ความสามารถในการรับแรงดึง (Mechanical Strength) , น้ำหนักสายและราคา
 - เงิน เป็นโลหะตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด แต่มีราคาแพง
 - ทองแดง เป็นโลหะตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความสามารถในการรับแรงดึงได้พอสมควร แต่มีราคาแพง
 - อลูมิเนียม เป็นโลหะตัวนำไฟฟ้าที่ดี น้ำหนักเบา ความสามารถรับแรงดึงมีขีดจำกัด ราคาถูกกว่าทองแดง

2. การจัดวางสายส่งไฟฟ้า อาจจัดวางเป็นแบบ

- 1) เฟสเดียว
- 2) สามเฟสวงจรเดี่ยว สายเดี่ยวหรือแบบบันเดิล (Bundle) หรือสามเฟสวงจรร่วม สายเดี่ยว หรือแบบบันเดิล

3. ความยาวของสายส่ง

2.1.1 ความต้านทาน

กำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง ส่วนมากเกิดจากความต้านทานของสาย
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่ง ความต้านทานของสายส่ง ที่จะกล่าวถึง หมายถึงความต้านทานกระแสล้นคือ คัดผลของ สกินเอฟเฟค (Skin Effect) อันเนื่องมาจากกระแสไหลในสายไม่เท่ากันด้วย

2.1.2 ความเหนี่ยวนำ

เมื่อมีกระแสล้นไหลในตัวนำ ทำให้เกิดฟลักซ์คล้องทั้งภายในและภายนอก ตัวนำ การเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำ นั่นคือทำให้เกิด ความเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำ การหาค่าความเหนี่ยวนำของตัวนำ จำเป็นต้องพิจารณาจาก ทั้ง ฟลักซ์ที่เกิดขึ้นภายในตัวนำ และภายนอกตัวนำ

ฟลักซ์คล้องที่เกิดขึ้นภายในตัวนำมีค่าเท่ากับ

$$\psi = (I/2) * 10^{-7} \quad (Wb-T/m) \quad (2.1)$$

โดยที่ :

I = กระแสที่ไหลภายในตัวนำ (A)

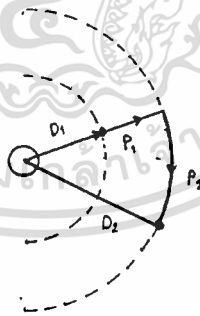
ฟลักซ์คล้องที่เกิดขึ้นภายนอกตัวนำมีค่าเท่ากับ

$$\psi = 2 * 10^{-7} * I * \ln(D_2 / D_1) \quad (Wb-T/m) \quad (2.2)$$

โดยที่ :

D₁ = ระยะห่างระหว่างจุด P₁ กับจุดศูนย์กลางของตัวนำ

D₂ = ระยะห่างระหว่างจุด P₂ กับจุดศูนย์กลางของตัวนำ



รูปที่ 2.1

ฟลักซ์รวมที่คล้องตัวนำ เส้นเดียวมีค่า เท่ากับฟลักซ์ภายในรวมกับฟลักซ์ภายนอก

$$\psi = 2 * 10^{-7} * I * \ln(D_2 / e^{-1/4} * D_1) \quad (Wb-T/m) \quad (2.3)$$

ค่าความเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ

$$L = \psi / I$$

ความเหนี่ยวนำของตัวนำเส้นเดียว มีค่าเท่ากับ

$$L = 2 * 10^{-7} * \ln(D_2 / r') \quad (H/m) \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ :

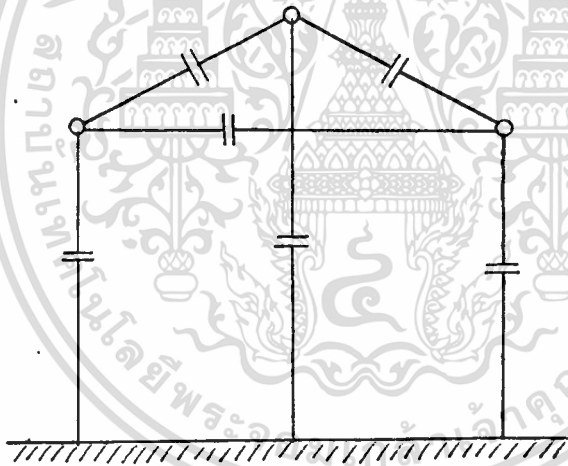
$$r' = e^{-1/4} * r$$

r = รัศมีของตัวนำ

สำหรับรายละเอียดในการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำของสายส่งเฟสเดียวและสามเฟส ได้กล่าวไว้ในปริญาณิเณฑ์ เรื่องระบบไฟฟ้ากำลังจำลองส่วนที่ 1

2.1.3 ความจุไฟฟ้า

คุณสมบัติความจุไฟฟ้าเกิดขึ้นกับสายส่ง ก็เนื่องจากความต่างศักย์ระหว่างสายส่งด้วยกันหรือระหว่างสายส่งกับดิน ความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนสายส่ง แสดงไว้ดังรูปที่ 2.2 สำหรับความจุไฟฟ้าระหว่างสายกับสาย มีค่าสูงกว่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายกับดินมาก เนื่องจากสายส่งโดยทั่วไปอยู่สูงเหนือพื้นดินมาก การคำนวณความจุไฟฟ้าของสายส่ง บางครั้งก็ไม่คำนึงถึงความจุไฟฟ้าระหว่างสายกับดินเนื่องจากมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความจุไฟฟ้าระหว่างสายกับสาย



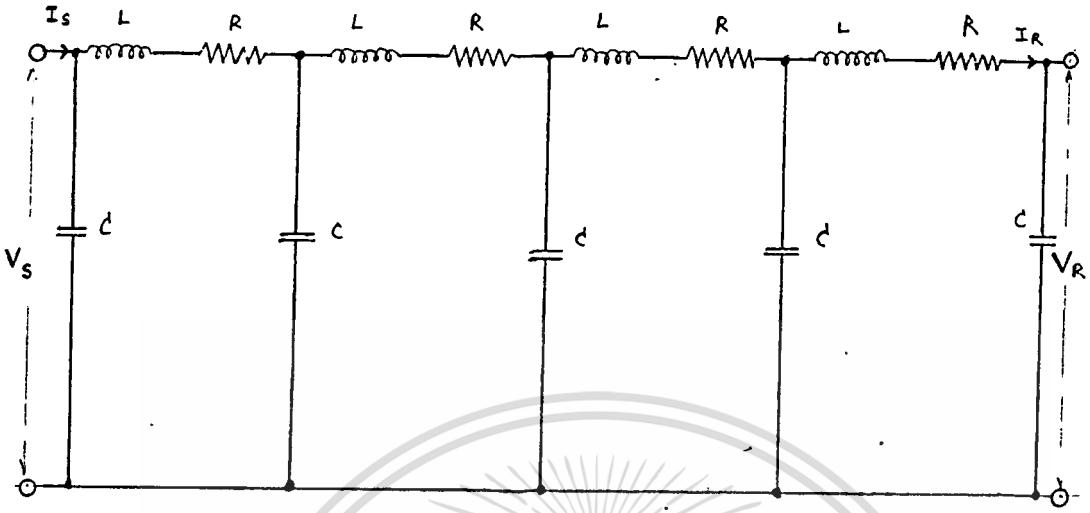
ความจุไฟฟ้าของสายส่ง จะมีผลต่อการจ่ายไฟฟ้าของระบบมาก โดยเฉพาะสายส่งยาวๆ สำหรับสายส่งขนาดยาวต่ำกว่า 80 กิโลเมตร ความจุไฟฟ้าไม่ค่อยมีผลต่อระบบมากและอาจไม่คิดก็ได้ ความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสายส่ง มีผลต่อระบบมากกับสายส่งระยะทางไกลๆ ซึ่งผลทำให้ขนาดคัทดาไฟฟ้าปลายทางสูงกว่าต้นทางได้ เมื่อเปิดวงจรที่ปลายทางสายส่งออก ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า ผลของ เฟอร์รันตี (Ferranti Effect)

รายละเอียดในการคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าของสายส่งเฟสเดียวและสามเฟส ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสายส่ง

สายส่งประกอบไปด้วย พารามิเตอร์ต่างๆ กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2

กำหนดให้

- R = ความต้านทานของสายส่งต่อระยะทางหนึ่งหน่วยต่อเฟส
- L = ความเหนี่ยวนำของสายส่งต่อระยะทางหนึ่งหน่วยต่อเฟส
- C = ความจุไฟฟ้าของสายส่งต่อระยะทางหนึ่งหน่วยต่อเฟสกับจุดสะเทิน
- z = อิมพีแดนซ์ของสายส่งต่อระยะทางหนึ่งหน่วยต่อเฟส
- y = แอดมิตแตนซ์ของสายส่งต่อระยะทางหนึ่งหน่วยต่อเฟสกับจุดสะเทิน
- l = ความยาวของสายส่ง

$$Z = zl = (R + j\omega * l * L) * l$$

$$Y = yl = (j\omega C) * l ; \omega = 2\pi f$$

V_s = แรงดันไฟฟ้าต้นทาง (Sending-end Voltage)

V_R = แรงดันไฟฟ้าปลายทาง (Receiving-end Voltage)

I_s = กระแสไฟฟ้าจากต้นทาง (Sending-end Current)

I_R = กระแสไฟฟ้าที่ปลายทาง (Receiving-end Current)

ในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า เราจำแนกสายส่งตามความยาวได้เป็น 3 ประเภท คือ

- 1) สายส่งระยะสั้น (Short Transmission Line) ความยาวต่ำกว่า

80 km

- 2) สายส่งระยะปานกลาง (Medium Length Line) ความยาวอยู่ระ

หว่าง 80 km ถึง 240 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

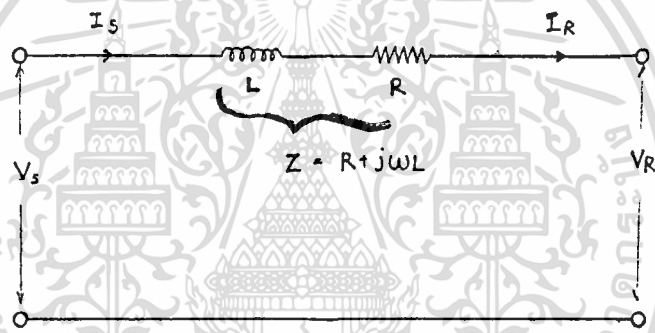
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สายส่งระยะยาว (Long Transmission Line) ความยาวมากกว่า 240 km

ในกรณีของสายส่งระยะสั้น และสายส่งระยะยาวปานกลาง เราสามารถพิจารณาพารามิเตอร์ที่กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอในสายส่ง (Uniformly Distributed) เป็นพารามิเตอร์แบบกลุ่ม (Lumped Parameter) ส่วนสายส่งระยะยาวนั้น เราจะพิจารณาพารามิเตอร์ในสายส่งเป็นแบบกระจายตามความยาวของสายส่ง (Uniformly Distributed Parameter) เท่านั้น

2.2.1 สายส่งระยะสั้น

สำหรับสายส่งระยะสั้น ผลเนื่องจากค่าความจุไฟฟ้ามีน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อไม่คิดค่าความจุไฟฟ้า จะมีแต่ค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3

จากรูปได้สมการ ดังนี้

$$I_s = I_R \tag{2.5}$$

$$V_s = V_R + Z * I_R \tag{2.6}$$

2.2.2 สายส่งระยะยาวปานกลาง

วงจรสมมูลของสายส่งระยะยาวปานกลางนี้จะประกอบไปด้วย ความต้านทาน , ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้า ที่นิยมใช้กันมาก สามารถเขียนได้ 2 แบบ คือ วงจรสมมูลแบบ π (Nominal- π) และวงจรสมมูลแบบ T (Nominal-T) วงจรสมมูลแบบ π เขียนได้ดังรูปที่ 2.4

ได้สมการดังนี้

$$V_s = [1 + (ZY/2)] * V_R + Z * I_R \tag{2.7}$$

$$I_s = [Y + (ZY^2/4)] * V_R + [1 + (ZY/2)] * I_R \tag{2.8}$$

$$I_{s1} = (Y/2) * V_s \tag{2.9}$$

$$I_{s2} = (Y/2) * V_R \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



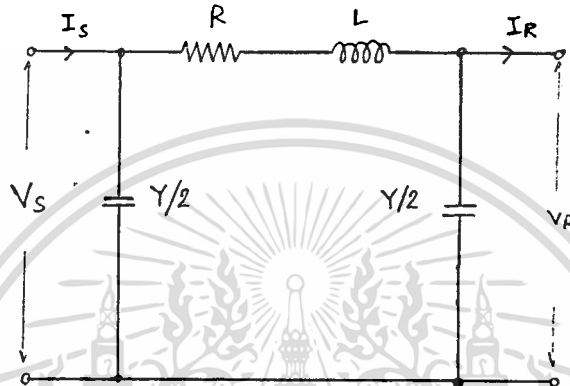
วงจรสมมูลย์แบบ T เขียนได้ดังรูปที่ 2.5

ได้สมการดังนี้

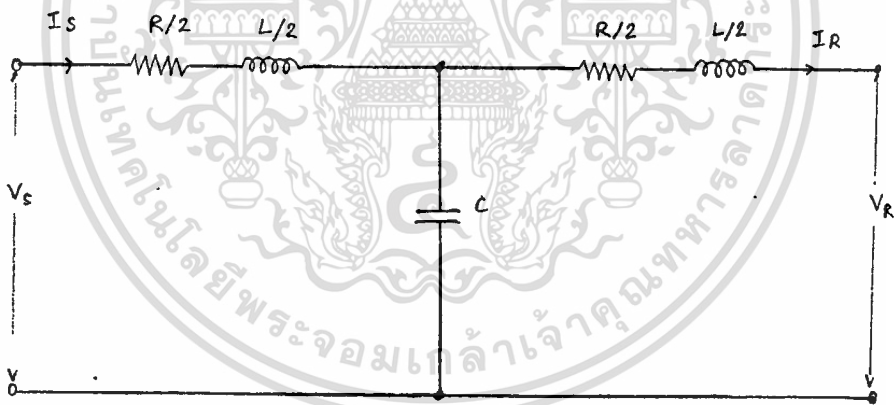
$$V_u = [1+(ZY/2)]*V_R + [Z+(Z^2*Y/4)]*I_R \quad (2.11)$$

$$I_u = Y*V_R + [1+(ZY/2)]*I_R \quad (2.12)$$

$$I_c = I_s - I_R \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.4



รูปที่ 2.5

2.2.3 สายส่งระยะยาว

ในการคำนวณค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้า ของสายส่งที่มีความยาวมาก เราจะคำนวณ ในลักษณะพารามิเตอร์แบบกระจายตามความยาว โดยใช้สมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Equation) มาช่วยในการจัดรูปแบบ เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในรูปของ ไฮเพอร์โบลิก (Hyperbolic) ได้ดังนี้

$$V_u = V_R * \cosh \gamma l + I_R * Z_c * \sinh \gamma l \quad (2.14)$$

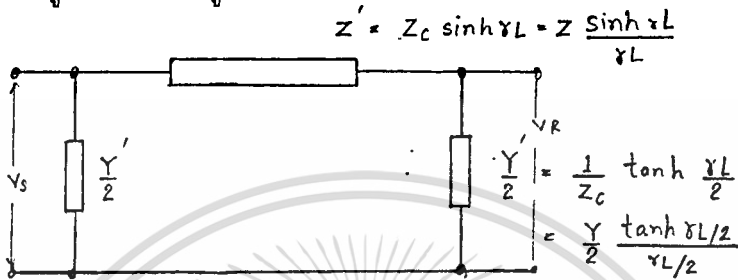
$$I_u = I_R * \cosh \gamma l + (V_R / Z_c) * \sinh \gamma l \quad (2.15)$$

โดยที่ :

$$Z_c = \sqrt{z/y}$$

$$\gamma = \sqrt{yz}$$

ซึ่งสามารถเขียนวงจรสมมูลของสายส่งระยะยาว ได้ดังนี้
วงจรสมมูลแบบ π (รูปที่ 2.6)



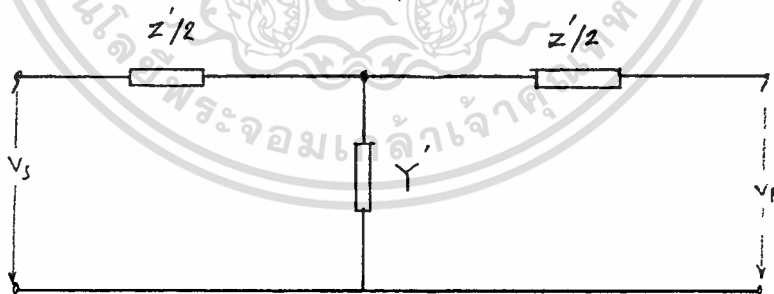
รูปที่ 2.6

โดยที่ :

$$Z' = Z * (\sinh \gamma L / \gamma L) \quad (2.16)$$

$$Y' = Y * [(\tanh(\gamma L/2) / (\gamma L/2))] \quad (2.17)$$

วงจรสมมูลแบบ T (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7

โดยที่ :

$$Z' = Z * [\tanh(\gamma L/2) / (\gamma L/2)] \quad (2.18)$$

$$Y' = Y * (\sinh \gamma L / \gamma L) \quad (2.19)$$

✓ 2.3 ระบบเปอร์เซ็นต์

ระบบเปอร์เซ็นต์ถูกนำมาใช้ในการคำนวณ และวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง 3 ทั้งนี้เนื่องจากความง่ายในการคำนวณ และไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับเรื่องหน่วยต่างๆ ค่า p.u. เป็นอัตราส่วนของปริมาณอ้างอิง ซึ่งจะมีค่าน้อยๆ ส่วนมากจะเป็นเลขทศนิยม ส่วนผลคูณของจำนวนที่เป็น p.u. สองจำนวนก็จะได้ จำนวนใหม่ที่เป็น p.u. ทั้งนี้ และข้อได้เปรียบของระบบเปอร์เซ็นต์ที่นำมาใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังก็คือ ลดปัญหาเกี่ยวกับการย้ายข้างของ กระแส , ศักดาไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลง เมื่อต้องการคำนวณหรือวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบเปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาใช้แล้วทำให้ค่าต่างๆ อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ หรือ p.u. ของค่าอ้างอิง (Reference Value) เช่น ศักดาไฟฟ้าฐาน (Base Voltage) ของระบบมีค่า 200 kV ศักดาไฟฟ้าขนาด 69 , 33 , 22 , 11 kV จะมีค่าเท่ากับ 0.345 , 0.165 , 0.11 , 0.055 p.u. ตามลำดับ

✓ 2.4 ฟอลต์และสาเหตุการเกิดฟอลต์

การเกิดฟอลต์หรือการเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทั่วไปไปนั้นเราอาจจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1) ไลน์-ทู-กราวด์ ฟอลต์ (Line-to-ground Fault)

คือการที่สายเฟสเส้นใดเส้นหนึ่งเกิดการลัดวงจรลงดิน ทั้งที่ลัดวงจรลงดินโดยตรงหรือโดยผ่านสายนิวทอรอลหรือสายกราวด์ (Overhead Ground Wire)

2) ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ (Line-to-line Fault)

คือการที่สายเฟสจำนวน 2 เส้น เกิดการลัดวงจรถึงกัน

3) ดับเบิล-ไลน์-ทู-กราวด์ ฟอลต์ (Double-line-to-ground Fault)

คือการที่สายเฟสจำนวน 2 สาย เกิดการลัดวงจรถึงกันและลงดินด้วย

4) ทรี-เฟสฟอลต์ (Three-phase Fault)

คือการที่สายเฟสทั้งสามเกิดการลัดวงจรถึงกันทั้ง 3 เฟส

2.5 ระบบป้องกัน

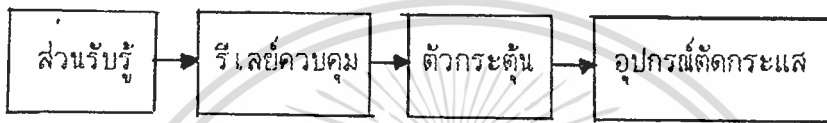
เมื่อมีสาเหตุผิดปกติเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบป้องกันจะมีหน้าที่ตัดตอนวงจรไฟฟ้าส่วนนั้นออกจากระบบ โดยใช้อุปกรณ์ที่เราเรียกว่า " สวิตช์เกียร์ " (Switch gear) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับเปิดปิดวงจรไฟฟ้า และสามารถตัดกระแสขณะมีไหลหรือฟอลต์ได้และอุปกรณ์ประกอบที่เกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวโดยตรง ซึ่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก่ ชุดควบคุม (Control Device) , ชุดเครื่องวัด (Metering Device) , ชุดเรกกูเลติง (Regulating Device) และยิ่งรวมถึงส่วนต่างๆของอุปกรณ์ดังกล่าวที่ต่อร่วมกัน , ชิ้นส่วนประกอบอื่นๆ (Accessories) , โครงห่อหุ้มอุปกรณ์ (Enclosure) และโครงยึดอุปกรณ์ (Supporting Structure)

2.5.1 ขั้นตอนการทำงานของสวิตช์เกียร์

ในการใช้สวิตช์เกียร์เพื่อป้องกันระบบ (System Protection) จำเป็นจะต้องอาศัยอุปกรณ์ต่างๆที่สำคัญของสวิตช์เกียร์ร่วมประสานงานกัน 4 ส่วน คือ



รูปที่ 2.8 แสดงขั้นตอนการทำงานของสวิตช์เกียร์

- 1) ส่วนรับรู้ (Sensing Device) ได้แก่ อินสตรูเมนต์ทรานสฟอร์มเมอร์ (Instrument Transformer) หรือ ซีที (C.T.) , ฟิท (P.T.) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นยามระวังเหตุ เมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้นในระบบก็จะส่งสัญญาณบอกเหตุมายังรีเลย์
- 2) รีเลย์ควบคุม (Control Relay) ได้แก่ รีเลย์ต่างๆ ซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณบอกเหตุจากซีที หรือฟิท โดยจะได้รับกระแสไฟฟ้าจากซีทีหรือฟิท หรือแหล่งจ่ายไฟอื่นๆ เพื่อให้พลังงาน (Energize) ขดลวดของตัวมันเอง แล้วต่อคอนแทค (Contact) ให้ทริปคอยล์ (Trip coil) หรือโคลสซิงคอยล์ (Closing coil) ของสวิตช์เกียร์ทำงาน
- 3) ตัวกระตุ้น (Actuator) ได้แก่ วงจรทริปคอยล์ , วงจรโคลสซิงคอยล์ และชุดกลไก (Mechanism) ที่ส่งความเคลื่อนไหวให้ชุดอินเตอร์รัพเตอร์ (Interrupter) ปิดเปิดวงจรได้ ซึ่งเมื่อทริปคอยล์หรือโคลสซิงคอยล์ของสวิตช์เกียร์ถูกให้พลังงาน จะไปกระตุ้นให้ชุดกลไก (Mechanism) ส่งความเคลื่อนไหวให้คอนแทคในชุดอินเตอร์รัพเตอร์ปิดเปิดวงจรได้
- 4) อุปกรณ์ตัดกระแส (Interrupter of Circuit Breaker) คือส่วนที่ทำหน้าที่ปิดเปิดคอนแทคของวงจรและดับอาร์ค ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างดังนี้
 1. คอนแทคอยู่กับที่ (Fixed contact)
 2. คอนแทคเคลื่อนที่ (Moving Contact)
 3. ห้องดับอาร์ค (Arc Chamber)
 4. ตัวกลางดับอาร์ค (Arc Extinction Media) เช่น น้ำมัน , อากาศ (ลมอัด) , แก๊ส SF₆ และสูญญากาศ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 รีเลย์ (Relay)

รีเลย์ที่ใช้ในการสั่งงานให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันระบบนั้น ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ได้แก่

1. โอเวอร์เคอเรน รีเลย์ (Overcurrent Relay) คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อเกิดกระแสเกินพิกัด เนื่องจากเกิดการลัดวงจรหรือฟอลต์ในระบบ ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้บ่อยกว่าข้อขัดข้องอื่นๆ โดยปกติโอเวอร์เคอเรน รีเลย์ แบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 แบบ ซึ่งประกอบรวมอยู่ในชุดเดียวกันคือมี

- แบบทันทีทันใด (Instantaneous) เป็นการทำงานแบบทันทีทันใด ใช้ในกรณีมีฟอลต์หรือเกิดการลัดวงจรที่มีค่ากระแสสูง (Short Circuit)

- แบบหน่วงเวลา (Time-delay) เป็นการทำงานแบบหน่วงเวลา ใช้ในกรณีเมื่อเกิดโอเวอร์โหลด หรือฟอลต์ที่มีค่ากระแสต่ำๆ หรือใช้ประสานงานร่วมกับรีเลย์ตัวอื่นๆ ในระบบป้องกัน ซึ่งมีทั้งแบบ เวลาคงที่ (Fixed Time) คือกระแสจะมีค่ามากน้อยเท่าใดก็ตาม ถ้าเกินกว่าพิกัดแล้ว โอเวอร์เคอเรนรีเลย์ จะทำงานด้วยเวลาเท่ากัน แบบเวลาผกผัน (Inverse Times) คือ ถ้ากระแสเกินกว่าพิกัดมาก ก็จะทำงานเร็วขึ้น ถ้ากระแสน้อยก็ใช้เวลานานขึ้น

2. ออโต รีโคลส รีเลย์ (Auto Reclose Relay) คือ รีเลย์ที่ใช้ในการสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับ (Reclose) วงจรเข้าไปโดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้งและเวลาที่ตั้งไว้

3. เอิร์ทฟอลต์ รีเลย์ (Earth Fault Relay) หรือ (Ground Fault Relay) คือ รีเลย์ที่จำทำงานเมื่อสายเฟสเกิดการขาดขึ้นในระบบ ลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับโอเวอร์เคอเรนรีเลย์

4. อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ (Under Voltage Relay) คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อมีระดับแรงดันลดต่ำกว่าพิกัด

5. โอเวอร์ โวลเตจ รีเลย์ (Over Voltage Relay) คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อมีระดับสูงกว่าพิกัด

6. เฟส-ซีควเन्ซ์ รีเลย์ (Phase Sequence Relay) คือ รีเลย์ที่ใช้ตรวจสอบการเรียงลำดับเฟสว่าถูกต้องหรือไม่

7. รีเลย์วัดระยะทาง (Distance Relay) คือ รีเลย์ที่ทำหน้าที่หาตำแหน่งของฟอลต์ โดยการตอบสนองต่อค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ที่รีเลย์วัดได้ นิยมใช้ในการป้องกันสายส่งไฟฟ้า

8. ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ (Differential Relay) คือ รีเลย์ที่วัดเปรียบเทียบความผิดเพี้ยนแตกต่างของปริมาณไฟฟ้า ทางด้านอินพุท (Input) และทางเอาต์พุท (Output) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือหม้อแปลง

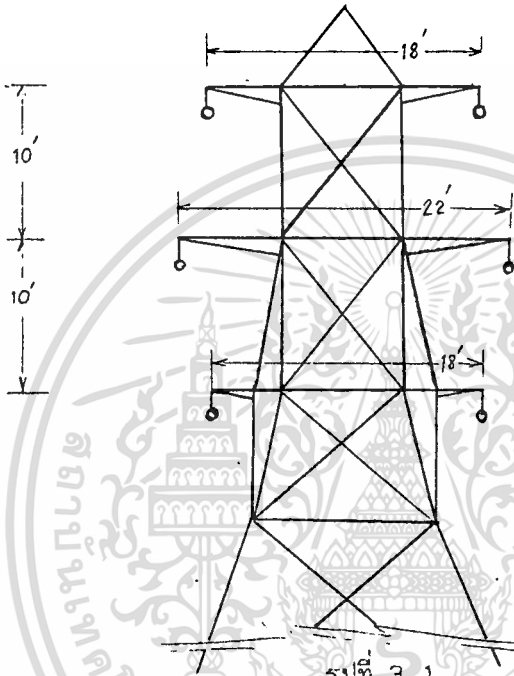


บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 การคำนวณหาพารามิเตอร์ของสายส่งที่จะจำลอง

ในปริภูมิตฤษฎีฉบับนี้ เราจะจำลองสายส่งเป็น 2 แบบ คือ สายส่งระยะยาวปานกลางแบบ π และแบบ T ซึ่งจะจำลองจากแรงดันที่ 75 kv



รูปที่ 3.1

สายส่งระยะยาวปานกลางที่จะนำมาจำลอง เป็นสายส่งสามเฟส วงจรขนาน สายเดี่ยวชนิด Tern 795,000 cmils 45/7 Aluminium/Steel 3 layers

$$GMR = .0386 \text{ ft}$$

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลาง} = 1.063 \text{ in}$$

$$\text{ความต้านทานที่ } 50 \text{ c} = 0.1302 \text{ ohm/miles}$$

จากการคำนวณ จะได้

$$R = 0.0844 \text{ ohm/km}$$

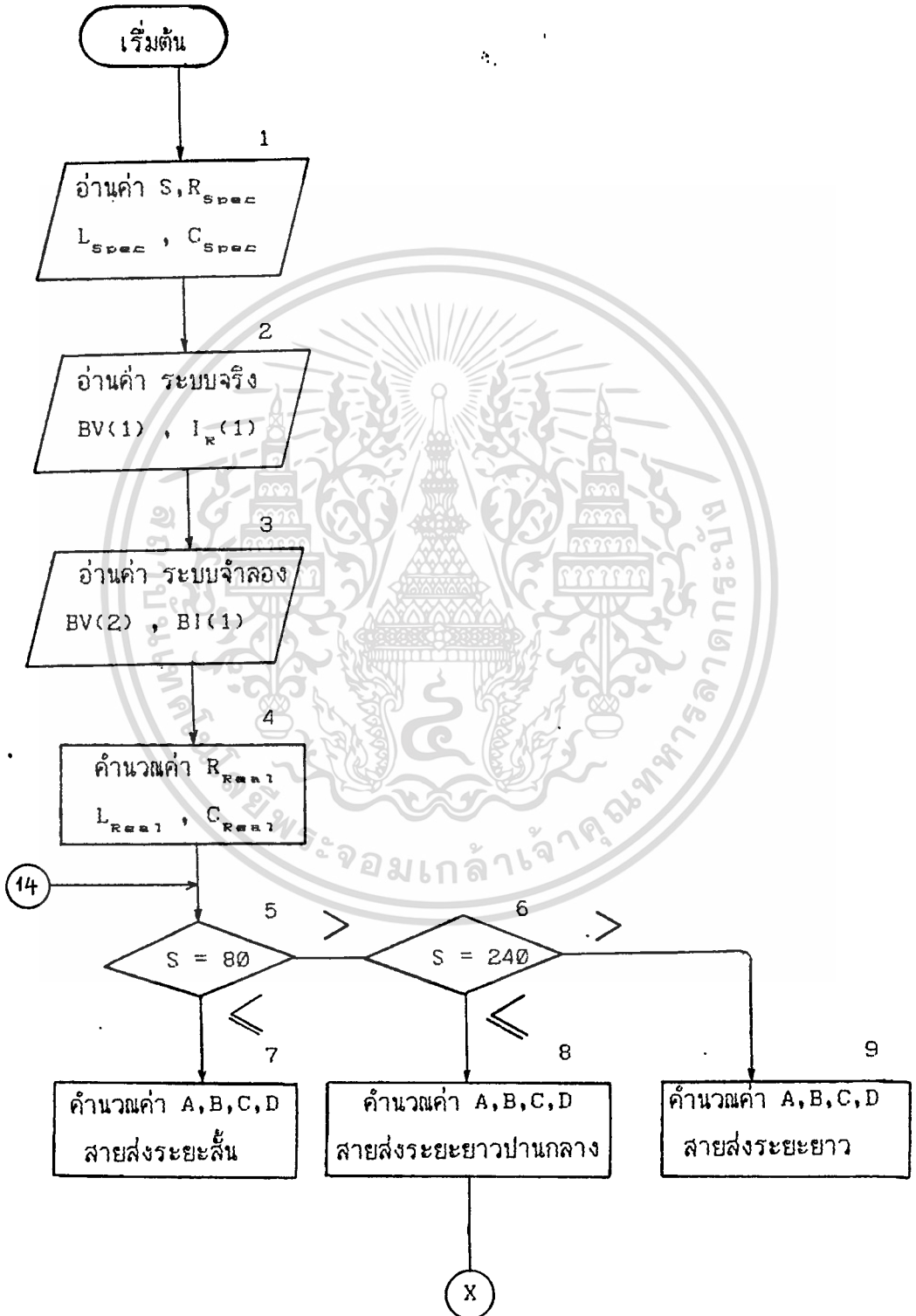
$$L = 1.22456 * 10^{-3} \text{ Henry/km}$$

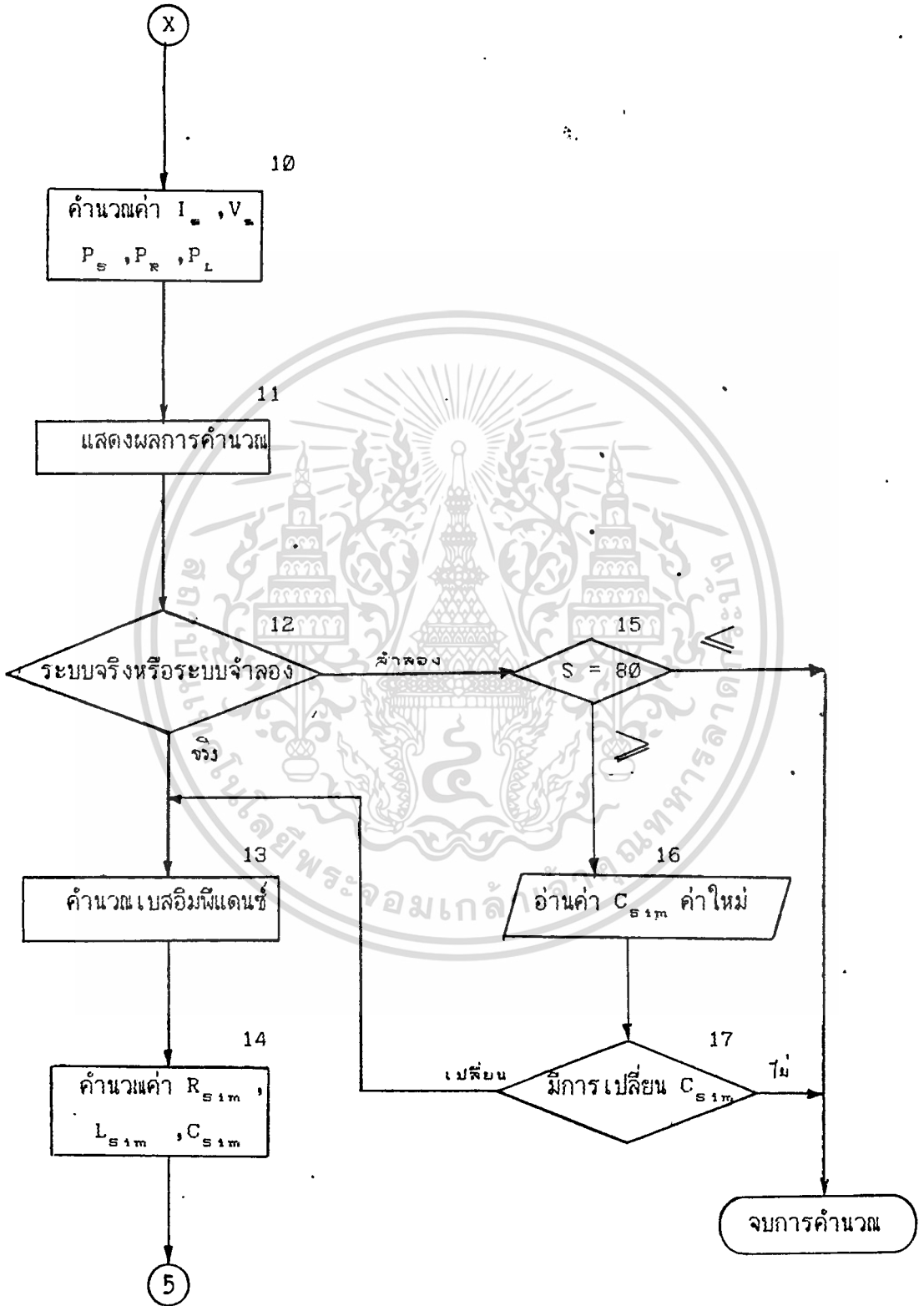
$$C = 9.40928 * 10^{-9} \text{ Farad/km}$$

เมื่อเราได้ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งแล้ว เราจะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน และ กระแสไฟฟ้า ของสายส่งของระบบจริง และระบบจำลองรวมทั้งการหาค่า ความต้านทาน , ความเหนี่ยวนำ และ ความจุไฟฟ้า ของระบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะสามารถเขียน Flow Chart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมได้ดังนี้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Flow Chart สามารถอธิบายการทำงานของโปรแกรมเป็นส่วนตัว ได้ดังนี้
ส่วนที่ 1 อ่านค่า

-ความยาวสาย (S)

ถ้าเป็นสายส่งระยะสั้น ไม่ต้องอ่านค่าความจุไฟฟ้า

-ความต้านทานของสายส่งต่อความยาวต่อเฟส(R_{spcc})

-ความเหนี่ยวนำของสายส่งต่อความยาวต่อเฟส(L_{spcc})

-ความจุไฟฟ้าของสายส่งต่อความยาวต่อเฟสกับจุดสะเทิน(C_{spcc})

ส่วนที่ 2 อ่านค่าของระบบจริง โดยอ้างอิงทางด้านส่ง(1 แทน ระบบจริง)

-ระดับแรงดันไฟฟ้าที่สายส่งของด้านส่งต่อเฟส(V_u) ในที่นี้ให้เป็น เบสแรงดัน
ไฟฟ้าของระบบจริง [BV(1)] และจุดเปรียบเทียบของมุม

-กระแสของโหลดในระบบ [$I_R(1)$] และ power factor(p.f.) ในรูปของ
มุมเครื่องหมาย(-) หมายถึง เป็นมุมล่าหลัง(Lagging) เมื่อเทียบกับจุดเปรียบเทียบของมุม
ถ้าเป็นมุมนำหน้า (Leading) เมื่อเทียบกับจุดเปรียบเทียบของมุม ไม่ต้องใส่เครื่องหมาย

ส่วนที่ 3 อ่านค่าของระบบจำลอง (2 แทน ระบบจำลอง)

-แรงดันไฟฟ้าที่ด้านส่งออกมาจากหม้อแปลงเพิ่มแรงดัน ให้เป็นเบสแรงดันไฟฟ้า
ของระบบจำลอง [BV(2)] และจุดเปรียบเทียบของมุม

-กระแสสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจำลองสามารถผลิตได้ ที่แปลงมายังระบบ
แรงดันที่จะป้อนให้สายส่ง ให้เป็นเบสกระแสของระบบจำลอง [BI(2)]

ส่วนที่ 4 คำนวณค่าความต้านทาน ($R_{r=1}$) ,ความเหนี่ยวนำ($L_{r=1}$) และความจุ
ไฟฟ้า($C_{r=1}$) ทั้งหมดของความยาวของสายส่ง แล้วเปลี่ยนเป็นค่าอิมพีแดนซ์ ($Z_{r=1}$) และ
แอดมิตแตนซ์($Y_{r=1}$)

$$R_{r=1} = R_{spcc} \cdot S$$

$$L_{r=1} = L_{spcc} \cdot S$$

$$C_{r=1} = C_{spcc} \cdot S$$

$$Z_{r=1} = R_{r=1} + j \omega L_{r=1}$$

$$Y_{r=1} = j \omega C_{r=1}$$

ส่วนที่ 5 และ ส่วนที่ 6 เลือกราคำนวณว่าเป็นสายส่งชนิดใด (ระยะสั้น, ระยะยาว
ปานกลาง, ระยะยาว)

ส่วนที่ 7 การคำนวณค่า A,B,C,D ของสายส่งระยะสั้น เนื่องจากไม่คิดค่าความจุไฟฟ้า
คือ Y เท่ากับ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = D = 1$$

$$B = Z$$

$$C = 0$$

ส่วนที่ 8 การคำนวณค่า A, B, C, D ของสายส่งระยะยาวปานกลาง
วงจรสมมูลย์แบบ π

$$A = D = [1 + (ZY)/2]$$

$$B = Z$$

$$C = [Y + (ZY^2)/4]$$

วงจรสมมูลย์แบบ T

$$A = D = [1 + (ZY)/2]$$

$$B = [Y + (ZY^2)/4]$$

$$C = Y$$

ส่วนที่ 9 การคำนวณค่า A, B, C, D ของสายส่งระยะยาว

ค่า A, B, C, D เหมือนกับของสายส่งระยะยาวปานกลาง แต่เปลี่ยน Z เป็น Z' และ Y เป็น Y' โดยที่

วงจรสมมูลย์แบบ π

$$Z' = Z(\sinh \gamma l / \gamma l)$$

$$Y' = Y[\tanh(\gamma l/2) / (\gamma l/2)]$$

วงจรสมมูลย์แบบ T

$$Z' = Z[\tanh(\gamma l/2) / (\gamma l/2)]$$

$$Y' = Y(\sinh \gamma l / \gamma l)$$

ส่วนที่ 10 การคำนวณค่า กระแสที่ด้านส่ง (I_s) , แรงดันที่ปลายของสายส่ง (V_r) , กำลังทางด้านส่ง (P_s) , กำลังทางด้านรับ (P_r) และ กำลังที่สูญเสียเนื่องจากสายส่ง (P_L) กระแสที่ด้านส่งที่คำนวณได้ของระบบจริง ให้เป็นเบสกระแสของระบบจริง [BI(1)]

$$I_s = (C \cdot V_s + I_r) / A$$

$$V_r = D \cdot V_s - B \cdot I_s$$

$$P_s = V_s \cdot I_s \cos \theta_s$$

$$P_r = V_r \cdot I_r \cos \theta_r$$

$$P_L = P_s - P_r$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\theta_v =$ มุมระหว่าง V_v กับ I_v

$\theta_r =$ มุมระหว่าง V_r กับ I_r

ส่วนที่ 11 แสดงผลค่าต่างๆ ที่คำนวณไว้ของแต่ละระบบออกมา ขึ้นอยู่กับว่า กำลังคำนวณอยู่ในระบบใด ก็จะแสดงผลของระบบนั้นออกมา

ส่วนที่ 12 เปรียบเทียบว่าระบบที่ทำการคำนวณอยู่นั้นเป็นระบบใด ถ้าเป็นระบบจริงก็ให้ไปส่วนที่ 13 ถ้าเป็นระบบจำลองให้ไปที่ ส่วนที่ 15

ส่วนที่ 13 คำนวณค่าเบสอิมพีแดนซ์ ของระบบจริง BZ(1) และระบบจำลอง BZ(2)
 $BZ(1) = BV(1)/BI(1)$
 $BZ(2) = BV(2)/BI(2)$

ส่วนที่ 14 การคำนวณของระบบจำลอง เริ่มจาก คำนวณค่าความต้านทาน (R_{s1m}), ความเหนี่ยวนำ (L_{s1m}) และความจุไฟฟ้า (C_{s1m}) ของระบบจำลอง แล้วเปลี่ยนเป็น ค่าอิมพีแดนซ์ (Z_{s1m}) และแอดมิตแตนซ์ (Y_{s1m})

$$R_{s1m} = R_{R_{s1m}} \cdot BZ(1)/BZ(2)$$

$$L_{s1m} = L_{L_{s1m}} \cdot BZ(1)/BZ(2)$$

$$C_{s1m} = C_{C_{s1m}} \cdot BZ(2)/BZ(1)$$

$$Z_{s1m} = R_{s1m} + j \omega L_{s1m}$$

$$Y_{s1m} = j \omega C_{s1m}$$

ส่วนที่ 15 เปรียบเทียบว่า ถ้าเป็นสายส่งระยะสั้นก็ จบการคำนวณ ถ้าเป็นสายส่งระยะยาวปานกลาง หรือระยะยาว ก็ทำต่อไปที่ ส่วนที่ 16

ส่วนที่ 16 ให้ถามว่า จะเปลี่ยนค่า C_{s1m} หรือไม่ ถ้าค่าของ C_{s1m} ไม่ตรงกับค่าที่เราสามารถจะหาได้ เราจะเปลี่ยนเบสกระแสของระบบจำลองใหม่ โดยให้มีค่าที่ทำให้มีค่าของ C_{s1m} ตรงกับที่เราสามารถหาได้ เนื่องจาก C_{s1m} ขึ้นกับ BZ(2) ซึ่ง BZ(2) นั้นขึ้นกับ BI(2) ในที่นี้เราจะสามารถเปลี่ยนค่า C_{s1m} ให้เป็นค่าที่เราสามารถหาได้ แต่ต้องทำให้ค่า BI(2) เหมาะสมกับการผลิตของกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ (R_{s1m}, L_{s1m} นั้นเราสามารถหาได้โดยที่ R_{s1m} นั้นมีค่าความต้านทานแบบปรับค่าได้ หรือไม่ก็ใช้ลวดต้านทานมาสร้างค่าที่เราต้องการส่วน L_{s1m} นั้นเราสามารถสร้างขึ้นมาได้ ตามค่าที่เราต้องการ)

ส่วนที่ 17 เปรียบเทียบว่ามีคำสั่งให้เปลี่ยน C_{s1m} หรือไม่ ถ้าไม่ ก็ให้จบการคำนวณ ถ้าเปลี่ยน ให้ไปส่วนที่ 13

ผลของการคำนวณ เมื่อใช้คอมพิวเตอร์

สายส่งระยะปานกลาง (120 km) มีระดับแรงดัน 75 kV 4.75 MVA ตั้ง
 นั้นจากข้อมูลของระบบจริงจะได้

$$BV(1) = 75 / 3 = 43.3 \text{ kV perphase}$$

$$BI(1) = (4.75 * 10^6) / 3 * 75 * 10^3 = 36.5 \text{ A}$$

ระบบจำลองที่สร้างขึ้น ได้กำหนดให้ แรงดันที่ออกมาจากหม้อแปลง เพิ่มแรงดันที่ป้อน
 ให้สายส่งมีค่า 415 V , 1.5 kVA เพราะฉะนั้นกระแสคือ 2.1 A

$$BV(2) = 415 / 3 = 240 \text{ V}$$

$$BI(2) = 2.09 \text{ A}$$

จากข้อมูลเหล่านี้ จำคำนวณค่าต่างๆ ออกมาได้ดังนี้

$$R_{real} = 10.13 \text{ ohm} \quad R_{sim} = 0.98 \text{ ohm}$$

$$L_{real} = 0.1469 \text{ Henry} \quad L_{sim} = 0.0142 \text{ Henry}$$

$$C_{real} = 0.1129 * 10^{-5} \text{ Farad} \quad C_{sim} = 0.116 * 10^{-4} \text{ Farad}$$

เนื่องจากเราไม่สามารถหาค่าความจุไฟฟ้าที่มีขนาดเท่ากับที่คำนวณได้ (11.6 uF)

เราจึงต้องเปลี่ยนค่า C_{sim} เป็น 12 uF

เมื่อเปลี่ยนค่า C_{sim} เป็น 12 uF ค่า Base กระแสของระบบจริงจะต้อง

$$\text{เปลี่ยนไปด้วยเป็น } (4.54 * 10^6) / 3 * 75 * 10^3 = 35 \text{ A}$$

และค่าต่างๆจะเป็นดังนี้

$$R_{real} = 10.13 \text{ ohm} \quad R_{sim} = 0.95 \text{ ohm}$$

$$L_{real} = 0.1469 \text{ Henry} \quad L_{sim} = 0.0138 \text{ Henry}$$

$$C_{real} = 0.1129 * 10^{-5} \text{ Farad} \quad C_{sim} = 0.1200 * 10^{-4} \text{ Farad}$$

LENGTH OF TRANSMISSION LINE = 120.0 KM.

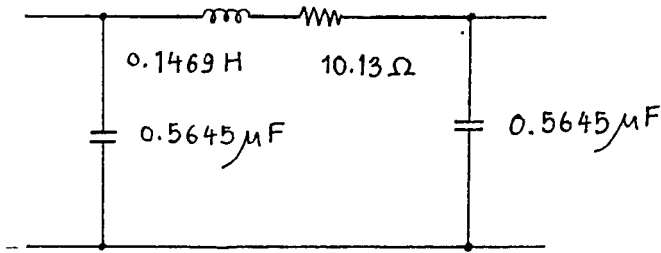
REAL SYSTEM			SIMULATION SYSTEM			
R(OHM)	L(HENRY)	C(FARAD)	R(OHM)	L(HENRY)	C(FARAD)	
10.13	0.1469	0.1129E-05	0.95	0.0138	0.1200E-04	
PJ-NETWORK (ALL VALUE PER PHASE)						
VS		0.4330E+05	241.437		< 0.0>	VOLT
IS		0.3495E+02	2.071		< 0.0>	APP
IC		0.7660E+01	0.455		< 90.0>	APP
ICB		0.7559E+01	0.448		< 87.9>	APP
IL		0.3578E+02	2.120		< -12.4>	APP
IA		0.3767E+02	2.244		< -23.7>	APP
VR		0.4262E+05	237.641		< -2.1>	VCLT
LOSS		0.1297E+05	4.284			WATT
PF		0.93			< -21.7>	
.....						
TEE-NETWORK (ALL VALUE PER PHASE)						
VS		0.4330E+05	241.437		< 0.0>	VOLT
IS		0.3495E+02	2.071		< 0.0>	APP
IC		0.1530E+02	0.907		< 98.9>	APP
IA		0.3767E+02	2.245		< -23.6>	APP
VR		0.4262E+05	237.656		< -2.1>	VCLT
LOSS		0.1345E+05	4.445			WATT
PF		0.93			< -21.8>	

TRANSMISSION LINE BASE

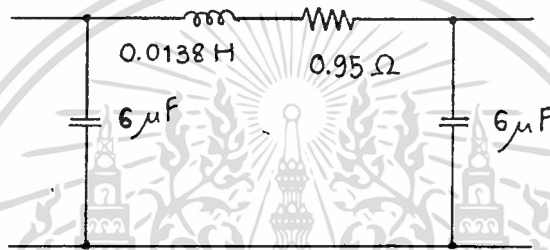
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.4540E+07 1300.000 VA-
 0.7500E+05 418.162 VOLT

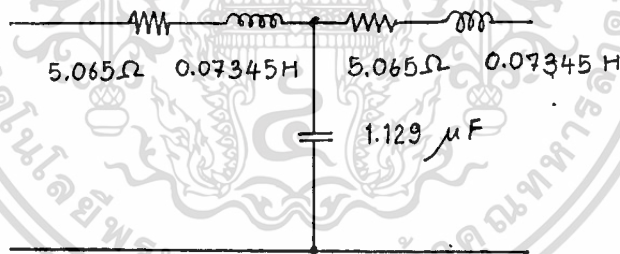
ซึ่งจะได้วงจรสมมูลย์ ดังนี้



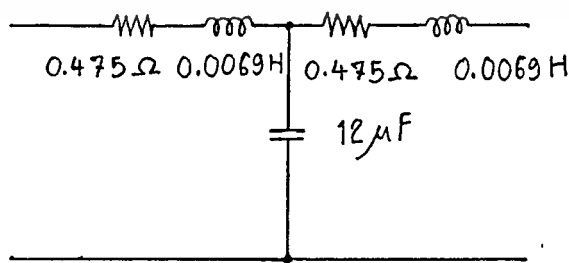
ระบบจริง แบบ II



ระบบจำลอง แบบ II



ระบบจริง แบบ T



ระบบจำลอง แบบ T

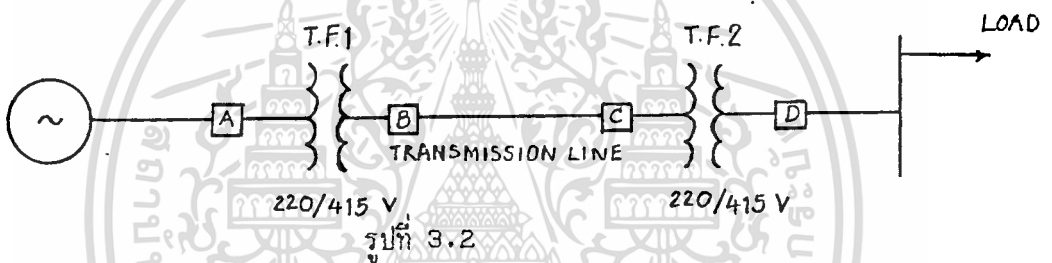
3.2 การจำลองสภาวะผิดปกติ

เราจะจำลองสภาวะผิดปกติทั้งหมด 5 ประเภท ซึ่งได้แก่

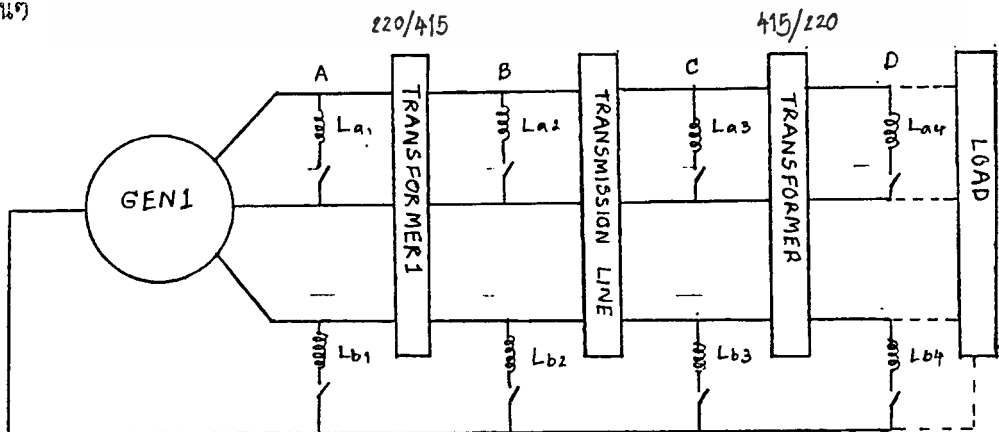
- 1) การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร
- 2) การเกิดกระแสเกิน
- 3) การเกิดแรงดันสูงเกินและการเกิดแรงดันต่ำเกินไป
- 4) การเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน
- 5) การเรียงเฟสผิด

3.2.1 การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร

ก่อนอื่นขอให้พิจารณาไดอะแกรมเส้นเตี้ยของระบบไฟฟ้าจำลองที่สร้างขึ้นมา ดังรูป



จากรูป จะเห็นตำแหน่ง A, B, C และ D เป็นตำแหน่งที่เราจะทำการจำลองการเกิดไฟฟ้าลัดวงจรขึ้นมา ในการจำลองนี้เนื่องจากมีข้อจำกัดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ ทำให้เราไม่สามารถทำการลัดวงจรจริงๆ ขึ้นมาได้ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) มาทำการจำกัดกระแสลัดวงจรที่สร้างขึ้นมาให้ได้ตามที่ต้องการ สำหรับสาขาที่เราใช้ตัวเหนี่ยวนำในกรณีนี้ แทนที่จะใช้ ตัวต้านทานก็เพราะ ตัวเหนี่ยวนำมีการสูญเสีย (Loss) น้อย และสามารถ สร้างให้ได้ค่าต่างๆ ตามที่เราต้องการ ได้ง่ายกว่าค่าอิมพีแดนซ์ชนิดอื่นๆ



รูปที่ 3.3

สำหรับในที่นี้ เราจะกำหนดให้เกิดกระแสลัดวงจรเฉพาะในกรณีไร้ภาระ (No Load) ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการจำกัดค่ากระแสลัดวงจรให้ได้ตามต้องการ ซึ่งเราจะพิจารณา จากที่ตำแหน่ง A ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีกระแสลัดวงจรที่มีค่ามากที่สุด เราจะกำหนดให้เป็น 9 แอมป์ ส่วนที่ตำแหน่ง B เนื่องจากต้องผ่านหม้อแปลงตัวที่ 1 ทำให้กระแส 9 แอมป์ จะลดเหลือ เพียง 4.77 แอมป์ (จาก $V_1/V_2 = I_2/I_1$; $220/415 = I_2/9$; $I_2 = 4.77$) จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่า แต่ละตำแหน่งของ A,B,C และ D นั้น เราต้องการค่าความเหนี่ยวนำ 2 ค่า คือ เพื่อสร้าง ไลน์-ทูปอสต์ (L_{a1}) (L_{b1})

ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำของที่ตำแหน่ง A เราจะหาได้จาก

กรณี ไลน์-ทูปอสต์

$$V_L = 220$$

$$I_{sc} = 9$$

จาก $V_L = I_{sc} * X_{La1}$

$$220 = 9 * X_{La1}$$

$$X_{La1} = 24.44$$

จาก $X_L = 2 * \pi * f * L$

$$24.44 = 2 * \pi * 50 * L_{a1}$$

$$L_{a1} = 77.81 \text{ มิลลิเฮนรี่ ()}$$

กรณี ไลน์-ทูปกราวน์ ฟอสต์

$$V_{FN} = 127$$

$$I_{sc} = 9$$

โวลต์ (V) : ไลน์-ทูป-ไลน์ โวลเตจ
แอมป์ (A) กระแสลัดวงจรที่เราต้องการ

โอห์ม
มิลลิเฮนรี่ ()
โวลเตจ
A

ในทำนองเดียวกัน จะได้ว่า

$$X_{Lb1} = 14.11 \text{ โอห์ม}$$

$$L_{b1} = 44.92 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

ที่ตำแหน่ง B

กรณี ไลน์-ทูป-ไลท์ ฟอสต์

$$X_{La2} = 87.00 \text{ โอห์ม}$$

$$L_{a2} = 276.94 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

กรณี ไลน์-ทูป-ไลน์ ฟอสต์

$$X_{Lb2} = 50.31 \text{ โอห์ม}$$

$$L_{b2} = 160.14 \text{ มิลลิเฮนรี}$$

ส่วนตำแหน่ง C นั้น จะเห็นได้ว่า มีโวลเตจและกระแสเท่ากับตำแหน่ง B

$$\text{ดังนั้น เราจะให้ค่า } L_{a3} = L_{a2} = 276.94 \text{ มิลลิเฮนรี}$$

$$\text{และ } L_{b3} = L_{b2} = 160.14 \text{ มิลลิเฮนรี}$$

ในทำนองเดียวกัน ที่ตำแหน่ง D ก็จะมีเหมือนกับตำแหน่ง A คือ

$$L_{a4} = L_{a1} = 77.81 \text{ มิลลิเฮนรี}$$

$$L_{b4} = L_{b1} = 44.92 \text{ มิลลิเฮนรี}$$

จากที่กล่าวมาอาจมีข้อโต้แย้งที่ว่า เมื่อเราคิดค่ากระแสลัดวงจรเท่ากันทั้งหมด 4 ตำแหน่งแล้ว รีเลย์ที่ใช้ตัดกระแสลัดวงจร อาจเกิดการ ทำงานที่ผิดพลาด โดยตัดกระแสพร้อมกันหมดไม่ว่าเราจะทำการทดลองกระแสลัดวงจรที่จุดใดก็ตาม ซึ่งในความเห็นจริงแล้ว จะไม่เป็นเช่นนั้น ทั้งนี้เพราะสาเหตุ 2 ประการคือ

ประการแรก เนื่องจาก ค่าอิมพีแดนซ์ ของหม้อแปลงและสายส่งในระบบทำให้เกิดค่าโวลเตจจทรอป (Voltage Drop) ขึ้น ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้ลดลงไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีการเกิดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่ง B เอาท์พุทโวลเตจ (Output Voltage) ของหม้อแปลงอาจจะเหลือเพียง 410 โวลต์ แทนที่จะเป็น 415 โวลต์ ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้ มีค่าไม่ถึง 4.77 แอมป์ ตามที่ได้คำนวณไว้ และจะมีผลให้กระแสทางด้านอินพุทของหม้อแปลงมีค่าไม่ถึง 9 แอมป์ด้วย ดังนั้นรีเลย์ ที่ตำแหน่ง A จะไม่ทำงาน ส่วนที่ตำแหน่งอื่นๆก็เช่นเดียวกัน

ประการที่สอง ในการใช้งานของโอเวอร์เคอเรนทรีเลย์นั้น เราจะต้องมีการโคออดิเนชัน (Coordination) ของรีเลย์แต่ละตำแหน่งให้สัมพันธ์กันได้ด้วย ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในเรื่องของ โอเวอร์เคอเรนทรีเลย์ต่อไป

3.2.2 การเกิดกระแสเกิน

ในการจำลองการเกิดกระแสเกินนั้น เราจะใช้การต่อโหลดขนานเข้าไปกับโหลดในสถานะปกติ ซึ่งจะทำให้กระแสไหลในระบบเพิ่มขึ้น

3.2.3 การเกิดแรงดันสูงเกินและต่ำเกิน

การเกิดสภาวะผิดปกติเช่นนี้ กราสามารถจำลองได้โดยการปรับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(ปรับที่กระแสฟิลด์) โดยตรงให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

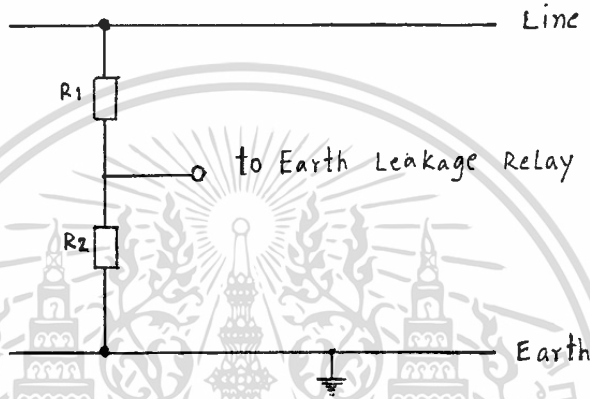
3.2.4 การเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน

การเกิดสภาวะรั่วไหลลงดิน คือ การที่เกิดกระแสบางส่วน ซึ่งมักจะมีค่าน้อยๆ รั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลลงเอิร์ธ (Earth) ของระบบ

ซึ่งในการจำลอง เราจะใช้ค่าความต้านทาน (R_1 และ R_2) ไปต่อระหว่างสายเฟสใดเฟสหนึ่งกับเอิร์ธของระบบ (ดูรูปที่ 3.4) โดย R_1 จะมีความต้านทานมาก เพื่อจำกัดกระแสให้ไหลน้อยๆ ตามต้องการ ส่วน R_2 จะมีค่าน้อยๆทำหน้าที่เป็นตัวดีไวเดอร์ (Divider) นำสัญญาณเข้าสู่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของ เอิร์ธ ลีคเกจ รีเลย์ ต่อไป



รูปที่ 3.4

3.2.5 การเรียงเฟสผิด

การเรียงเฟสผิดนี้ เราสามารถจำลองได้ง่ายมาก คือ เพียงแต่ต่อสายเฟส 3 สายให้สลับกัน [ไม่เรียงตามเฟสซีควเอนซ์ (Phase Sequence)] เท่านั้น

3.3 การออกแบบและสร้างวงจรควบคุมระบบป้องกัน

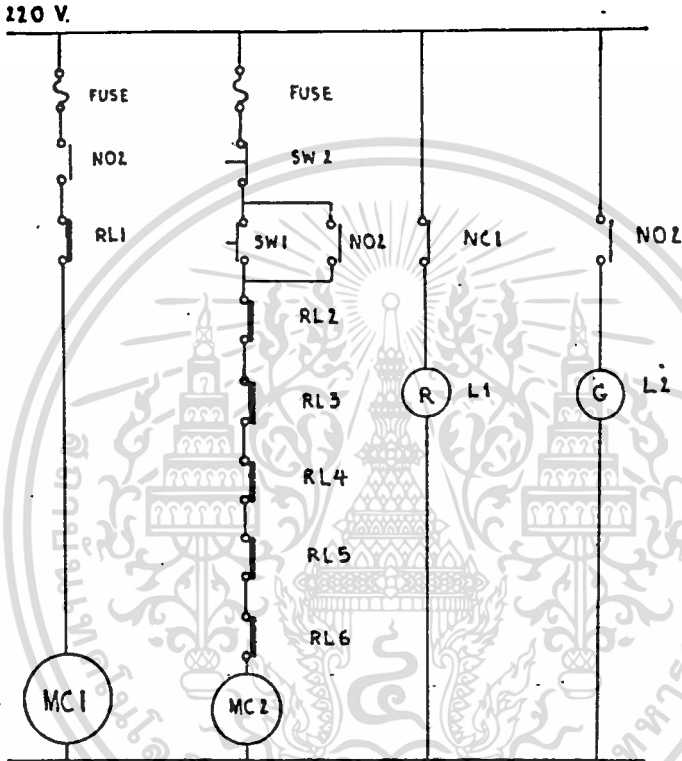
(สำหรับวงจรระบบป้องกันต่างๆ จะไม่ขอก้าวในที่นี้ เนื่องจากได้ถูกกล่าวไว้ในปริศญาในหน้า ฉบับที่ 2 แล้ว) ในวงจรควบคุมระบบป้องกัน เราจะใช้การสั่งงานของรีเลย์ป้องกันต่างๆ ไปยังแมกเนติก คอนแทกเตอร์ (Magnetic contactor) ซึ่งเราจะใช้ทำงานแทน เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เพราะค่ากระแสลัดวงจรที่เราสร้างขึ้นมานั้นมีค่าไม่สูงนัก

รีเลย์ที่เราทำการออกแบบและสร้างขึ้นมามี 5 ประเภท คือ

- 1) โอเวอร์เคอเรนท รีเลย์
- 2) ออโต รีโกลซึ่ง รีเลย์
- 3) โอเวอร์ แอน อันเตอร์ โวลเตจ รีเลย์
- 4) เอิร์ธ ลีคเกจ รีเลย์
- 5) เฟส ซีควเอนซ์ รีเลย์

โดยเราจะนำรีเลย์เหล่านี้ มาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น สวิตช์-

กดติด-ปล่อยดับ (Push Botton Swith) , หลอดไฟ (Pilot Lamp) , แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic Contagtor) , ฟิวส์ (Fuse) เป็นต้น เพื่อประกอบกันขึ้นมาเป็นระบบป้องกันที่สมบูรณ์ ดังมีวงจรถูกแสดงไว้ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5

- MC1 : Main Magnetic Contactor
- MC2 : Auxiliary Magnetic Contactor
- PL1 : Pilot Lamp Color Red
- PL2 : Pilot Lamp Color Green
- RL1 : Over Current Relay
- RL2 : Short Circuit Relay
- RL3 : Auto Reclosing Relay
- RL4 : Under And Over Voltage Relay
- RL5 : Phase Sequence Relay
- RL6 : Earth Leakage Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรระบบป้องกันวงจรนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ เมน แมกเนติก คอนแทกเตอร์ (Main Magnetic Contactor) ซึ่งจะทำหน้าที่แทนเซอร์กิต เบรกเกอร์ โดยเราจะแบ่งการต่อตามลักษณะการทำงานเป็น 2 ลักษณะ คือ

1) แมกเนติกเมื่อทริบแล้วสามารถปิดกลับเองได้ ซึ่งการทำงานลักษณะนี้เราจะใช้ในกรณีการทริบเนื่องจากโอเวอร์เคาเรนท์ รีเลย์เพียงอย่างเดียว

2) แมกเนติกเมื่อทริบแล้วจะเปิดวงจรค้างเลย ถ้าต้องการให้วงจรปิดกลับจะต้องใช้คนเป็นผู้กระทำ ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้เราจะใช้ในกรณีการทริบเนื่องจาก เซอร์กิตรีเลย์, ออโตรีโคลสซึ่งรีเลย์, อันเดอร์แอนโอเวอร์โวลเตจรีเลย์ , เฟลซีเคานรีเลย์ และ เอิร์ธ ลิกเกจ รีเลย์

สำหรับขั้นตอนการทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้คือ

-การเปิดระบบ(หลอดไฟสีเขียวจะติด)

โดยการกดสวิทช์ SW1 ซึ่งจะทำให้มีไฟมาเลี้ยงคอยล์ของ MC2 และ NO2 จะปิดวงจรลง ทำให้ไฟไหลผ่านคอยล์ของ MC1 ซึ่งคอนแทคของ MC1 นี้จะมีวงจรทางไฟฟ้ากำลังของระบบต่ออยู่

-การปิดระบบ (หลอดไฟสีแดงจะติด)

จะเกิดขึ้นได้ใน 2 กรณี คือ

กรณีแรก เมื่อเราจะต้องปิดระบบเอง สามารถทำได้โดยการกดสวิทช์ SW2 ซึ่งจะทำให้ไฟมาเลี้ยงคอยล์ของ MC2 หายไป NO2 จะกลับมาเปิดวงจรออกตามเดิม ทำให้ไม่มีไฟมาเลี้ยงคอยล์ของ MC1 จึงเกิดการทริบวงจรไฟฟ้ากำลังของระบบออก

กรณีที่สอง เมื่อเกิดการผิดปกติขึ้นในระบบ รีเลย์ต่างๆก็ทำงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าเป็นการผิดปกติชนิดใด เมื่อรีเลย์ทำงานคอนแทคของรีเลย์เหล่านี้ซึ่งเป็นแบบนอมอลลีโคลส ก็จะทำการเปิดวงจรออก ทำให้ไม่มีไฟมาเลี้ยงคอยล์ของ MC2 เช่นเดียวกันกับในกรณีแรก

บทที่ 4

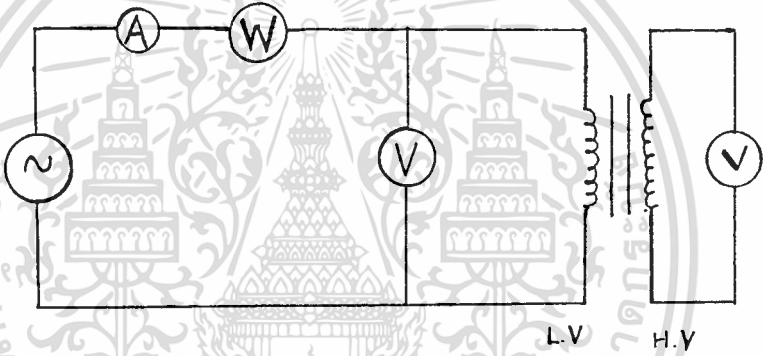
ผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบหม้อแปลง

การทดสอบหม้อแปลงเป็นส่วนสำคัญในการหา พารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงซึ่ง ทำให้หาวงจรสมมุติของหม้อแปลงทั้งตัวได้ โดยหาค่าต่างๆ ทางด้านใดก็ได้ ซึ่งจากวงจรสมมุติ นี้ทำให้เราหาประสิทธิภาพ , เรกกูเลชันของหม้อแปลง และค่าอื่นๆอีกตามต้องการโดยแบ่ง เป็น 2 ตอน

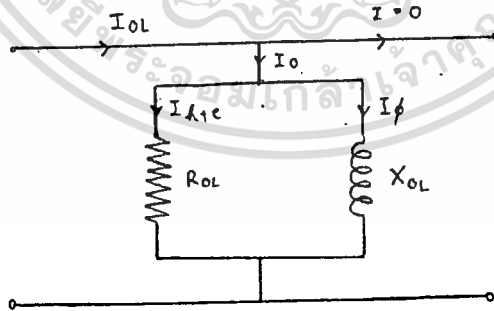
1) Open Circuit Or No Load Test

เพื่อหาส่วนสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss) ค่า R_o , X_o ได้โดยมักจะทำให้การ เปิดวงจรทางด้านแรงดันสูงและวัดทางด้านแรงดันต่ำ



รูปที่ 4.1

แล้วปรับแรงดันให้สูงเท่ากับพิกัดทางด้านแรงดันต่ำ วัดค่า จะได้ V_{o1} , W_{o1} และ I_{o1}



รูปที่ 4.2

หาค่า R_{o1} และ X_{o1}

จาก $W_{o1} = \sqrt{3} V_{o1} * I_{o1} * \cos\theta_{o1}$

$\cos\theta_{o1} = W_{o1} / (\sqrt{3} * V_{o1} * I_{o1})$

$I_{h+s} = I_{o1} * \cos\theta_{o1}$

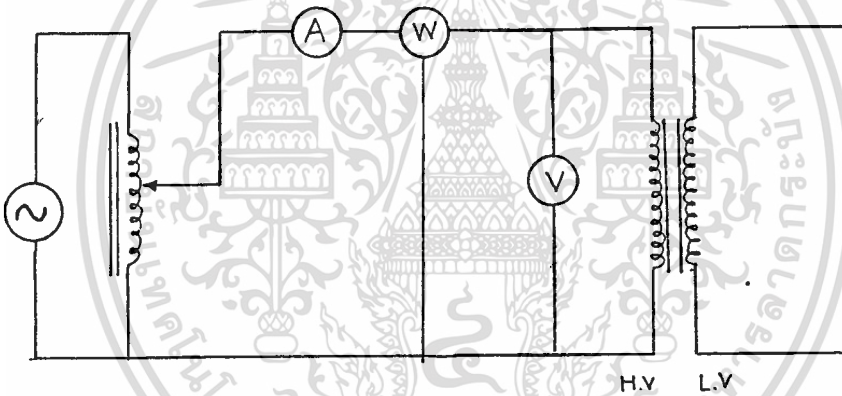
$I = I_{o1} * \sin\theta_{o1}$

$R_{o1} = V_{o1} / I_{h+s}$

$X_{o1} = V_{o1} / I$

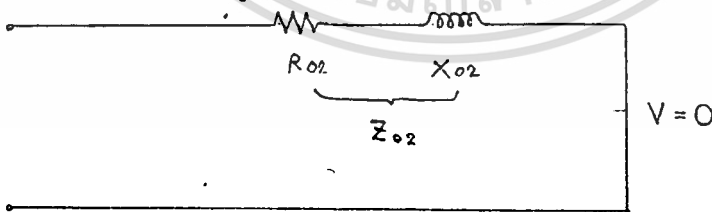
2) Short Circuit Or Impedance Test

เพื่อหาส่วนสูญเสียในขดลวดทองแดง (Cu Loss) ค่า Leakage Reactance (X_{o1} และ X_{o2}) ความต้านทานสมมูลย์ (R_{o1} หรือ R_{o2}) และค่า เรกจูแลชั่น โดยมักจะทำการลัดวงจรทางด้าน LV และวัดทางด้าน HV ดังรูป



รูปที่ 4.3

และปรับกระแสทางด้าน HV ให้สูงเท่ากับพิกัด วัดค่า I_{sc} , W_{sc} และ V_{sc}



รูปที่ 4.4

$$R_{o2} = W_{sc} / (I_{sc})^2$$

$$Z_{o2} = V_{sc} / I_{sc}$$

$$X_{o2} = (Z_{o2})^2 - (R_{o2})^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบหม้อแปลง

TR	การทดสอบวงจรเปิด				TR	การทดสอบลัดวงจร			
	N	W_{OL}	V_{OL}	I_{OL}		N	W_{O2}	V_{O2}	I_{O2}
1	161	38	220	0.533	1	161	78	11	4.46
2	161	38	220	0.573	2	161	78	10	4.52

การทดลองลัดวงจร มาหาค่า X_{O2} และ R_{O2}

หม้อแปลงตัวที่ 1 : $W_{OL} = 38$ วัตต์, $V_{OL} = 220$ โวลต์, $I_{OL} = 0.533$ แอมป์

$$\cos \theta_{OL} = \frac{W_{OL}}{\sqrt{3} V_{OL} * I_{OL}}$$

$$= 0.1871$$

ดังนั้น

$$\sin \theta_{OL} = 0.98234$$

$$I_{hfe} = I_{OL} * \cos \theta_{OL}$$

$$= 0.0997 \text{ แอมป์}$$

$$I_{\phi} = I_{OL} * \sin \theta_{OL}$$

$$= 0.5236 \text{ แอมป์}$$

$$R_{OL} = \frac{V_{OL}}{I_{hfe}}$$

$$= 2206.62 \text{ โอห์ม}$$

$$X_{OL} = \frac{V_{OL}}{I_{\phi}}$$

$$= 420.168 \text{ โอห์ม}$$

ในทำนองเดียวกัน

หม้อแปลงตัวที่ 2 : $W_{OL} = 38$ วัตต์, $V_{OL} = 220$ โวลต์, $I_{OL} = 0.5733$ แอมป์

$$R_{OL} = 2205.51 \text{ โอห์ม}$$

$$X_{OL} = 389.725 \text{ โอห์ม}$$

หาค่า R_{O2} , X_{O2}

หม้อแปลงตัวที่ 1 : $W_{O2} = 78$ วัตต์, $V_{O2} = 11$ โวลต์, $I_{O2} = 4.46$ แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 R_{o2} &= W_{sc} / 3 * I_{sc}^2 \\
 &= 1.307 \text{ โอห์ม} \\
 Z_{o2} &= V_{sc} / I_{sc} \\
 &= 1.424 \text{ โอห์ม} \\
 X_{o2} &= \sqrt{Z_{o2}^2 - R_{o2}^2} \\
 &= 0.565 \text{ โอห์ม} \\
 \text{แต่ } R'_{o2} &= a^2 * R_{o2} \quad (a = 220/415) \\
 &= 0.3673 \text{ โอห์ม} \\
 X'_{o2} &= a^2 * X_{o2} \\
 &= 0.15878 \text{ โอห์ม}
 \end{aligned}$$

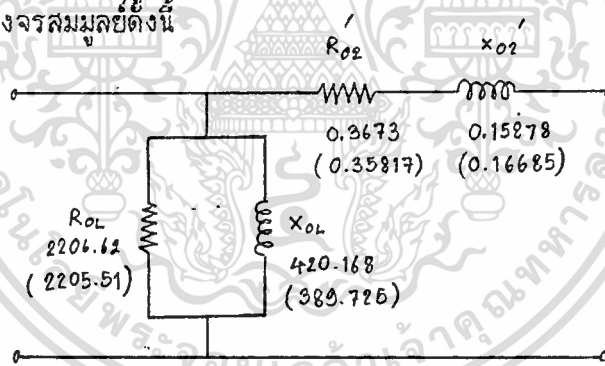
ในการทำงานเดียวกัน

หม้อแปลงตัวที่ 2 : $W_{sc} = 78$ วัตต์, $V_{sc} = 10$ โวลต์, $I_{sc} = 4.516$ แอมป์

$$R'_{o2} = 0.35817 \text{ โอห์ม}$$

$$X'_{o2} = 0.16685 \text{ โอห์ม}$$

ซึ่งจะได้วงจรสมมูลดังนี้



รูปที่ 4.5

หมายเหตุ ตัวเลขนอกวงเล็บคือ ค่าของหม้อแปลงตัวที่ 1
ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่าของหม้อแปลงตัวที่ 2

ประสิทธิภาพของหม้อแปลง

$$\text{ประสิทธิภาพ} = 1 - \text{Loss/Input}$$

$$\begin{aligned}
 \text{หม้อแปลงตัวที่ 1 : Loss} &= \text{Cu Loss} + \text{Core Loss} \\
 &= 116 \text{ วัตต์}
 \end{aligned}$$

$$\text{ที่ p.f. เป็น 1 : ประสิทธิภาพ} = 1 - \text{Loss/Input}$$

= 96.46 %

ที่ p.f. เป็น 0.8:ประสิทธิภาพ = 1 - Loss/Inputx0.8 = 95.57 %

หม้อแปลงตัวที่ 2 : Loss = 116 วัตต์

ที่ p.f. เป็น 1 : ประสิทธิภาพ = 95.46 %
ที่ p.f. เป็น 0.8:ประสิทธิภาพ = 95.57 %

เรีกูเลชันของหม้อแปลง

% เรีกูเลชัน = (E2 - V2) * 100/E2
V2 = E2 - I2 (R02 + jX02)

เมื่อ E2 คือแรงเคลื่อนขมะไม่มีโหลด
V2 คือแรงเคลื่อนขณะจ่ายไฟเต็มที

หม้อแปลงตัวที่ 1 : ที่ p.f. เป็น 1:

V2 = 415 - 4.46(1.307 + j0.565) = 409.1785 โวลต์

% เรีกูเลชัน = 1.403 %

ที่ p.f. เป็น 0.8:

% เรีกูเลชัน = 1.488 %

หม้อแปลงตัวที่ 2 : ที่ p.f. เป็น 1 : % เรีกูเลชัน = 1.385 %

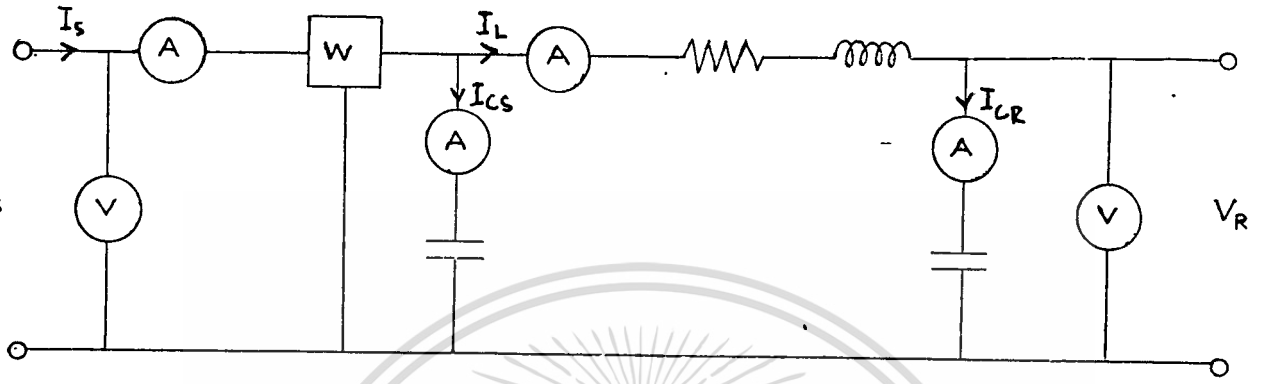
ที่ p.f. เป็น 0.8: % เรีกูเลชัน = 1.497 %

4.2 การทดสอบ Transmission Line .

การทดสอบ Transmission Line เป็นส่วนสำคัญในการหาคุณสมบัติของ Transmission Line ในระบบจำลอง

4.2.1 ทดสอบ Transmission Line แบบ π

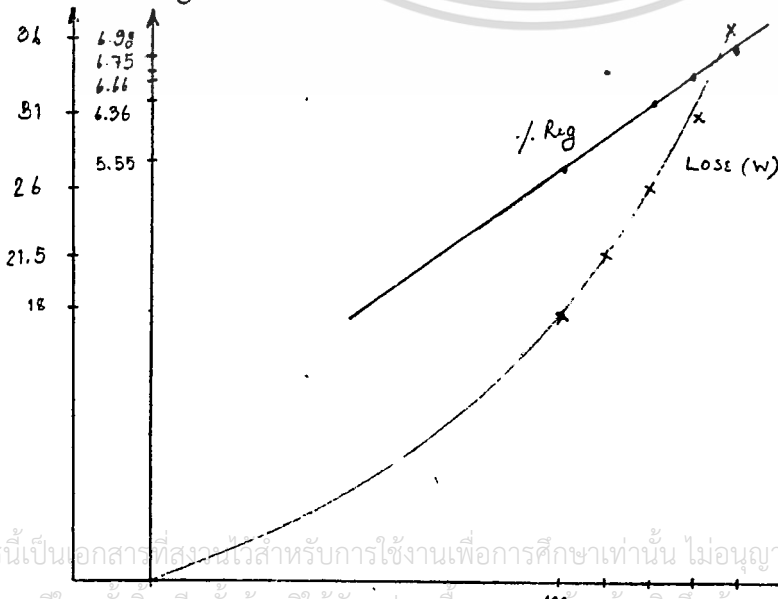
-NOLOAD TEST



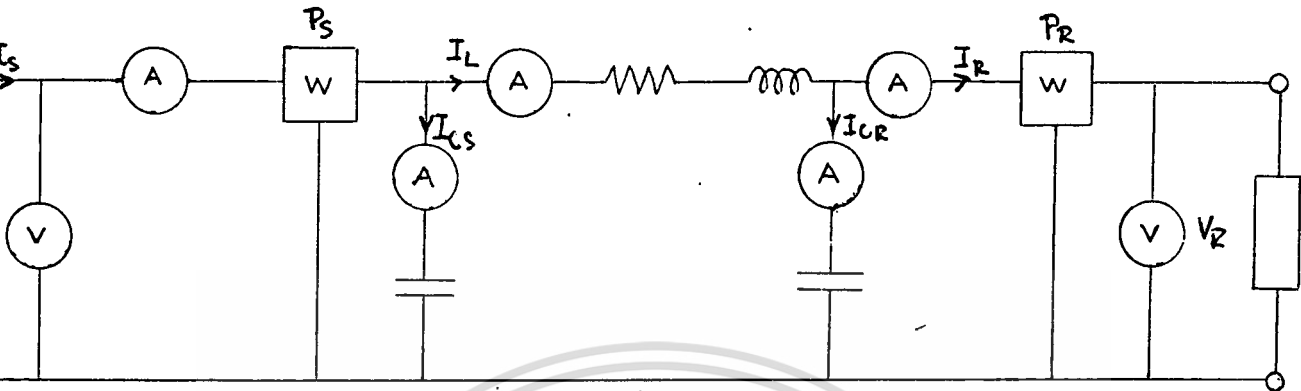
All Value Per Phase

VS	IS	I_{CS}	I_L	I_{CR}	V_R	LOSS
180	0.715	0.365	0.35	0.35	170	18
200	0.79	0.407	0.39	0.39	186.5	21.5
220	0.865	0.445	0.435	0.435	206	26
240	0.95	0.485	0.48	0.48	224	31
260	1.25	0.575	0.52	0.52	242	36

Loss (w) % Reg

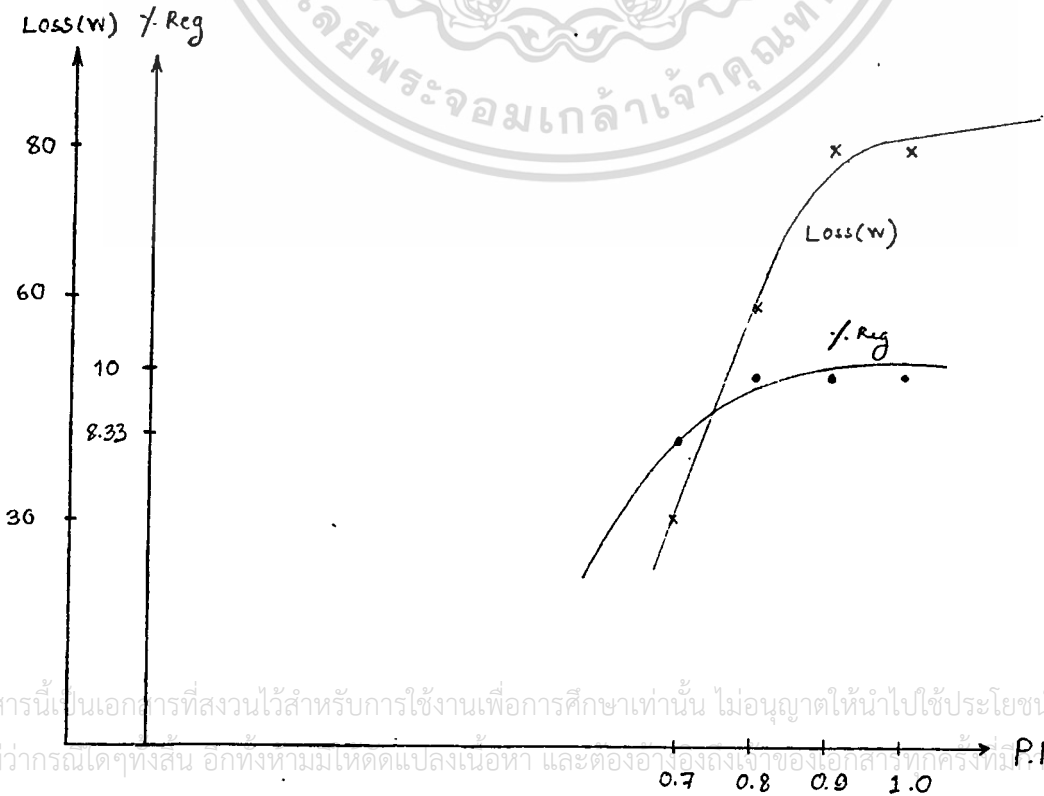


-WITH LOAD TEST



All Value Per Phase

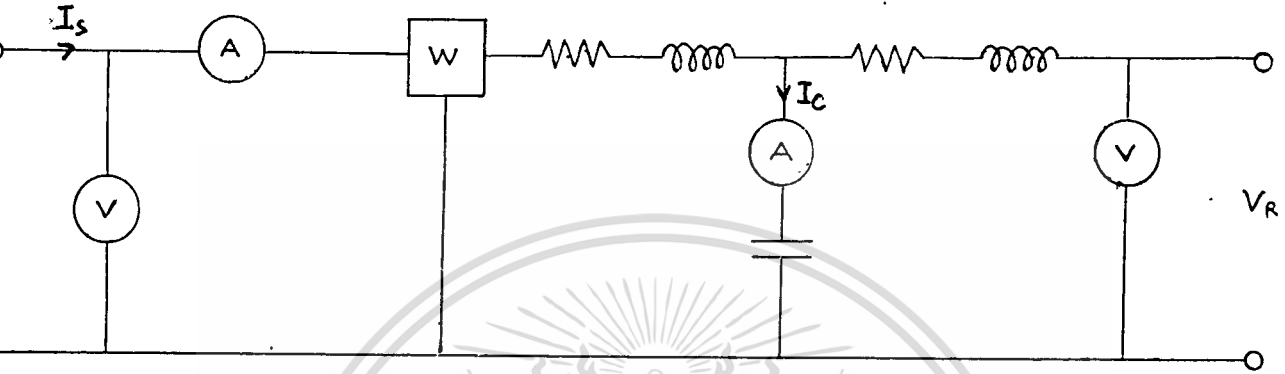
PF	1	0.9 (lagging)	0.8 (lagging)	0.7 (lagging)
V_s	240	240	240	240
I_s	2.1	2.1	2.1	2.1
I_{CS}	0.46	0.47	0.47	0.465
I_L	2	2	1.9	1.85
I_{CR}	0.46	0.475	0.47	0.47
V_R	220	216	216	216
LOSS	30	60	80	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้ง P.F. นำไปใช้

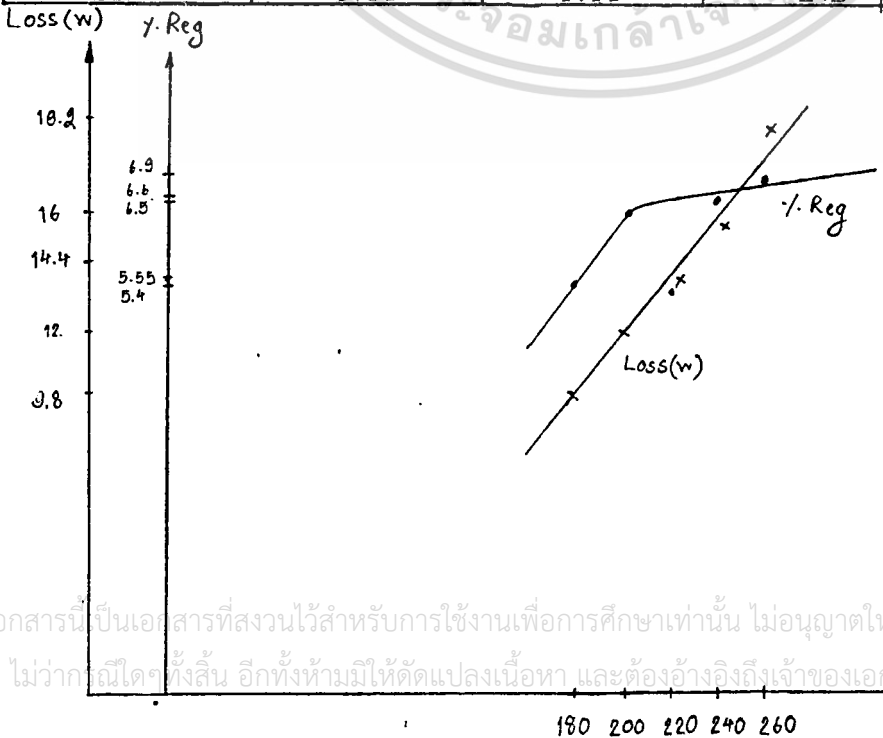
4.2.2 ทดสอบ Transmission Line แบบ T

-NOLOAD TEST



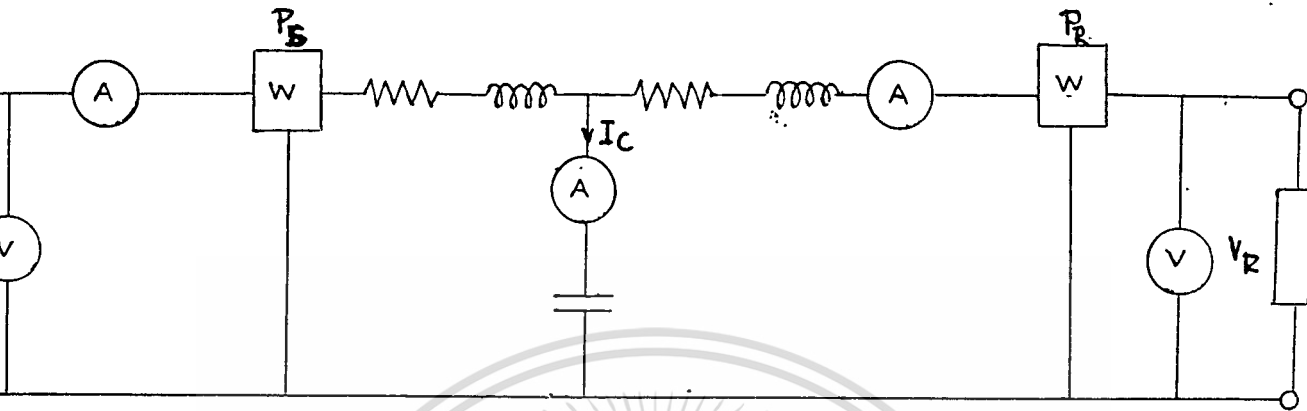
All Value Per Phase

V_s	I_s	I_c	V_R	LOSS
180	0.71	0.71	170	9.8
200	0.79	0.79	187	12
220	0.87	0.87	208	14.4
240	0.95	0.95	224	16
260	1.03	1.03	242	19.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุก V_s (v) ที่มีการนำไปใช้

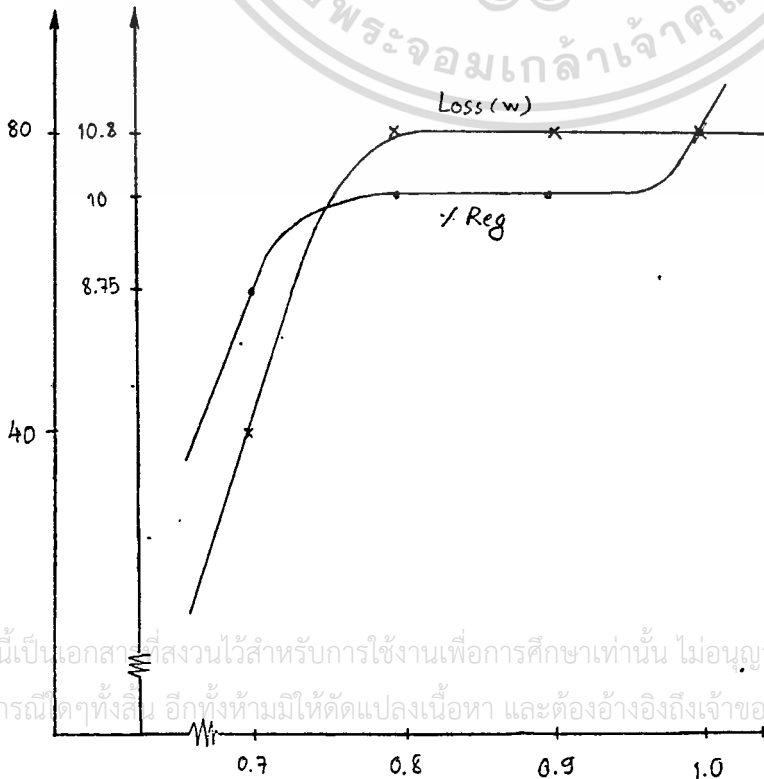
-WITH LOAD TEST



All Value Per Phase

PF	1	0.9 (lagging)	0.8 (lagging)	0.7 (lagging)
V_s	240	240	240	240
I_s	2.2	2.1	2.0	2.0
I_c	0.95	0.96	0.9	0.93
V_R	219	216	216	214
I_R	2.2	1.9	1.9	1.9
LOSS	40	80	80	80

Loss (w) /-Reg



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบและปรับตั้งโปรแกรม รีเลย์

4.3.1 โอเวอร์เคอเรนทรี รีเลย์

โอเวอร์เคอเรนทรี รีเลย์ จะทำการติดตั้งไว้ที่ 4 จุด (ในรูปของระบบ) คือ จุด A, B, C, D การปรับค่าต่าง ๆ ที่จุดต่าง ๆ จะต่างกัน

การปรับตั้งเวลา

ในการใช้งานโอเวอร์เคอเรนทรี รีเลย์นั้น เราต้องทำการปรับค่าต่าง ๆ ที่สำคัญทั้งหมด 5 ค่า ด้วยกัน

1) ค่ากระแสเกิน

คือการกำหนดไว้ว่า ถ้ากระแสที่ไหลอยู่ในระบบมีค่ามากกว่านี้แล้วโอเวอร์เคอเรนทรีรีเลย์ จะเริ่มทำงานในลักษณะ อินเวอร์ส ไทม์ทริป ซึ่งเราสามารถทำได้โดยการปรับที่ VR3 (ในส่วนที่ 3) ซึ่งเป็นตัวตั้งระดับโวลเตจที่จะไปเปรียบเทียบกับสัญญาณจาก CT

จากการทดลองวัดกระแสที่ไหลปกติใน Transmission line ของระบบจำลองนี้ ที่จุด A และ D กระแสไหล 3.9 A ที่จุด B และ C กระแสไหล 2.08 A เมื่อผ่าน CT และแปลงมาเป็นโวลเตจที่ VR3 แล้วจะได้ที่จุด A และ D ปรับโวลเตจที่ VR3 เท่ากับ 4.9 V และที่จุด B และ C เท่ากับ 4.5 V

หมายเหตุ CT ที่จุด A และ D ใช้ 640/5 ที่จุด B และ C ใช้ 320/5

2) ค่ากระแสลัดวงจร

จะเหมือนกันกับในกรณีกระแสเกิน แต่จะทำการปรับที่ VR1 (ในส่วนที่ 3)

จากการจำลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรของระบบจำลองนี้ที่จุด A และ D วัดกระแสลัดวงจรได้เท่ากับ 9 A และที่จุด B และ C วัดกระแสลัดวงจรได้ 4.77 A จากค่ากระแสดังกล่าวเมื่อผ่าน CT แล้วแปลงเป็น โวลเตจ จะปรับตั้งค่าโวลเตจที่ VR1 ของจุด A และ D เท่ากับ 11.4 V และที่จุด B และ C เท่ากับ 10.4 V

3) ค่าการหน่วงเวลาและการทริปในกรณีกระแสเกิน

การเกิดกระแสเกินจะมีอันตรายน้อยกว่ากระแสลัดวงจร และในบางครั้งอาจหายไปตัวเอง (เช่นไหลเกินชั่วขณะ) ในการปรับเวลาหน่วงของวงจรนี้เราจะทำได้ 2 วิธี คือ อาจปรับที่ VR2 หรือ VR5 (ในส่วนที่ 4) ก็ได้ แต่เรามักจะปรับ VR2 ในตอนเริ่มระบบครั้งแรกเท่านั้น ในกรณีปกติ เราจะทำการปรับที่ VR5 ซึ่งเป็นวงจร RC โดยตรง (VR5 เป็นส่วนช่วยทำให้เกิดลักษณะเป็นอินเวอร์ส ไทม์)

ในระบบจำลองนี้ จะทำการปรับเวลาหน่วงของแต่ละจุดให้แตกต่างกัน เพื่อความสะดวกในการศึกษาโดยจะให้จุด D หน่วงเวลาน้อยที่สุด จุด C, B, A หน่วงเวลามากขึ้นตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ VR5 ที่จุดต่าง ๆ เป็นดังนี้

จุด	ค่า VR5
A	308 K
B	237 K
C	193 K
D	159 K

ส่วนค่า VR2 จะทำการปรับให้คงที่เท่ากันทุกจุด คือที่ค่า โวลเตจคร่อม VR2 = 10 V

4) ค่าการหน่วงเวลาทริปในกรณีกระแสลัดวงจร

เวลาหน่วงในส่วนนี้จะน้อยมาก เพราะใช้ในการจัดโคออร์ดิเนชั่นของระบบเท่านั้น เราทำการปรับที่ VR4 (ในส่วนที่ 7)

ในระบบจำลองนี้ค่าเวลาหน่วงในส่วนนี้ที่จุดต่าง ๆ จะต่างกันโดยให้ที่จุด D เร็วที่สุด จุด C,B,A จะช้าลงตามลำดับ ดังตาราง

จุด	เวลาหน่วงในการทริป (s)
A	2
B	1.5
C	1
D	0.5

5) ค่าหน่วงเวลาปิดกลับ

โดยปกติในระบบไฟฟ้าจริง ค่าเวลาอันนี้จะมีค่าไม่เท่ากันทุกครั้ง โดยครั้งแรกจะมีค่าน้อยที่สุด และค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้นตามจำนวนครั้งที่ทำการทริป แต่ในวงจรจำลองนี้ เราจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เวลาเท่ากันทุกครั้ง โดยใช้การปรับที่ VR6 (ในส่วนที่ 5) ให้หน่วยเวลาปิดกลับเท่ากับ .20 s

ตารางการทดลองหาค่าหน่วยเวลาในการทรีปในกรณีกระแสเกิน

ที่จุด A,D

I/PA (A) (กระแสในระบบ)	VR3 (V) (ผ่านเรกติไฟเออร์)	เวลาห่าง t (sec);ปรับค่า VR5	
		ที่จุด A (308 K)	ที่จุด B (159 K)
4.5	6	13.8	6.7
5	6.5	10.2	5.2
5.5	7	8.4	4.2
6.5	8.26	6.2	2.5
8	10	4	1.5

ที่จุด B,C

I/P A (A) (กระแสในระบบ)	VR3 (V) (ผ่านเรกติไฟเออร์)	เวลาห่าง t (sec); ปรับค่า VR5	
		จุด B (237 k)	จุด C (195 k)
2.39	5.17	11.2	9.1
2.65	5.79	9.1	7.2
2.92	6.32	6.9	5.6
3.45	7.47	4.3	3.4
4.25	9.41	2.7	2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ออโตรีโคลสซึ่ง รีเลย์

ในการใช้งานออโตรีโคลสซึ่ง รีเลย์ นั้น เราต้องทำการปรับตั้งค่าที่สำคัญทั้งหมด

2 ค่า คือ

1) ค่าระยะห่างของเวลาในการทริปแต่ละครั้งที่ยอมรับได้หรือไม่

เพราะถ้าเราไม่มีการตั้งระยะเวลาอันนี้ ออโตรีโคลสซึ่งรีเลย์จะนับจำนวนครั้งของการทริปค้างไว้เสมอ ไม่ว่าจะระยะเวลาในการทริปแต่ละครั้งจะห่างกันเพียงใดก็ตาม ในวงจรมัน เราสามารถปรับค่าได้จากค่าของ VR1 [ในส่วนของ(1)]

ในระบบจำลองนี้ เรากำหนดค่าระยะห่างของเวลาในการทริปแต่ละครั้งที่ยอมรับได้เท่ากับ 5 นาที

2) จำนวนครั้งในการทริป

โดยปกติมักตั้งให้มีค่าเป็น 3 ครั้ง แต่ถ้าเราต้องการเปลี่ยนก็สามารถทำได้จากการดึงเอาสัญญาณเอาพุทของไอซี 7493 (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) [ในส่วนของ(3)] มาใช้ ซึ่งเปลี่ยนได้ตั้งแต่ 1-15 ครั้ง

สำหรับในวงจรมันเป็นการต่อแบบทริป 3 ครั้ง

ออโต รีโคลสซึ่ง จะติดตั้งควบคู่ไปกับ โอเวอร์เคอเรนทร์ีเลย์ คือที่จุด A,B,C,D เพราะจะใช้จำนวนครั้งในการทริปของโอเวอร์ เคอร์เรนทร์ีเลย์

4.3.3 โอเวอร์ อันเตอร์ โวลเตจ รีเลย์

การปรับตั้งค่าต่างๆ ในโอเวอร์ อันเตอร์ โวลเตจ รีเลย์ มีอยู่ 2 ค่า คือ

1) ชุดโอเวอร์ โวลเตจ

คือ จุดที่มีค่าโวลเตจสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ ในที่นี้จะต้องปรับที่ค่า VR1,VR3 และ VR5 [ในส่วนของ(3)]

2) ชุดอันเตอร์ โวลเตจ

คือ จุดที่มีค่าโวลเตจต่ำสุด ที่ระบบสามารถยอมรับได้ ในที่นี้จะต้องปรับที่ค่า VR2, VR3, VR6

ในระบบจำลองนี้ จะทำการติดตั้งโอเวอร์ อันเตอร์โวลเตจรีเลย์ 2 จุด คือที่จุด A และที่จุด D โวลเตจปกติในระบบจำลองนี้ที่จุด A เท่ากับ 127 V (LINE TO GROUND) และจุด D เท่ากับประมาณ 124 V (เนื่องจากมีโวลเตจจลรอปในสายส่ง) เราจะทำการปรับค่าโวลเตจที่รีเลย์จะยอมรับได้ที่ + 10% และ -10% เพราะฉะนั้นจะปรับค่า VR1,VR3,VR5 ที่จุด A เท่ากับ 5.49 V จุด D เท่ากับ 5.37 V และปรับ VR2,VR4,VR6 ที่จุด A เท่ากับ 5.18 V จุด D เท่ากับ 4.39 V ตามลำดับ

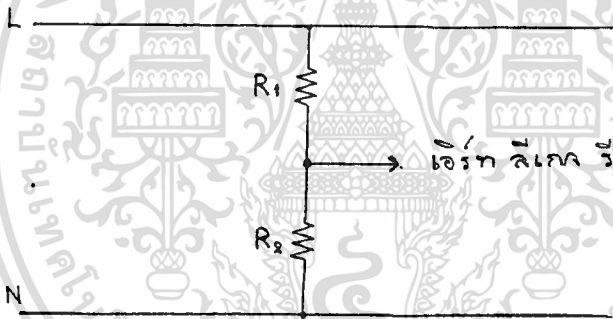
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการหน่วงเวลาในการปิดกลับของโอเวอร์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ เราสามารถปรับได้ที่ VR7 ในระบบจำลองนี้กำหนดเวลาในการหน่วงเวลาปิดกลับไว้ 20 วินาที

4.3.4 เอิร์ท ลีเกจ รีเลย์

การนำเอาเอิร์ท ลีเกจ รีเลย์ไปใช้งานนั้นมีค่าที่เราต้องทำการปรับเพียงค่าเดียวคือ สัญญาณอ้างอิงในการเปรียบเทียบขนาดกระแสที่รั่วไหลในวงจรว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ เพราะปกติกระแสที่รั่วไหลจะมีค่าน้อยมาก ไม่มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ทางไฟฟ้าเท่าใดนัก แต่จะมีอันตรายกับผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้นมากกว่า ดังนั้น ในการตั้งสัญญาณอ้างอิงนี้เราจะต้องคำนึงถึงระดับอันตรายต่อมนุษย์เป็นสำคัญ (โดยปกติควรอยู่ประมาณ 5-30 มิลลิแอมป์) ในการปรับตั้งนั้นเราสามารถทำได้โดยการปรับที่ VR1 [ในหน้าที่(3)]

ในระบบจำลองนี้ จะติดตั้งเอิร์ท ลีเกจ รีเลย์ที่จุด D เพียงจุดเดียว เรากำหนดให้เกิดกระแสรั่วลงดิน 5 มิลลิแอมป์ โดยใช้ความต้านทานมาต่อคร่อม LINE กับ GROUND ในลักษณะ DIVIDER กัน ให้ได้โวลเตจนำไปใช้ในเอิร์ท ลีเกจ รีเลย์ เท่ากับ 5 V ดังรูป



$$R_1 = 23.8 \text{ k } 1 \text{ W}$$

$$R_2 = 1 \text{ k } 1 \text{ W}$$

ทำการปรับตั้งโวลเตจที่ VR1 เท่ากับ 5 V

4.3.5 เฟลชีเควนซ์รีเลย์

ในการใช้งานของเฟลชีเควนซ์รีเลย์นั้น ปกติจะใช้ตามจุดที่มีการต่อเชื่อมกันของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเฉพาะตามโหนดที่มีความสำคัญมาก ๆ รีเลย์ชนิดนี้สามารถนำไปใช้งานได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องมีการปรับค่าอะไรก่อนทั้งสิ้น

ในระบบจำลองนี้จะทำการติดตั้งเฟลชีเควนซ์รีเลย์ จะทำงานเท่านั้น แต่ถ้าไฟหายไป 1 หรือ 2 หรือ 3 เฟส เฟลชีเควนซ์รีเลย์ก็จะทำงานเหมือนกัน

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

ปริญญาโทฉบับนี้ ได้กล่าวถึงการจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งในระบบจริงจะมี ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆ สูงมากจนไม่สามารถที่จะทำการวัดค่าและศึกษาการทำงานของ ระบบได้อย่างละเอียดถี่ถ้วน ดังนั้น ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษา เพื่อที่จะแปลงค่าพารามิเตอร์รวมทั้งระบบป้องกันต่างๆ ให้อยู่ในค่าที่สามารถทำการวัดและจัดหามาได้จากนั้นก็เข้ามา ประกอบกันเป็นระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

สำหรับในทางปฏิบัติจริงๆ นั้น ทางผู้จัดทำได้นำค่าต่างๆ ที่ได้มาจากการคำนวณมา ทำเป็นอุปกรณ์ เช่น หม้อแปลง step-up , step-down , พารามิเตอร์ในสายส่ง (RLC) , วงจรระบบป้องกัน รวมไปถึงการจำลองการเกิดเหตุการณ์โฟลต์ต่างๆ แล้วนำมาประกอบ เป็นระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง ซึ่งการทำงานค่อนข้างประสบปัญหายุ่งยาก เนื่องจากระบบต้องการความละเอียด แต่อุปกรณ์บางอย่างที่ทำการจัดหามาไม่ค่อยละเอียด เช่น ตัวต้านทาน ปรับค่าได้ อุปกรณ์วัดต่างๆ นอกจากนี้อุปกรณ์บางอย่างเสียหายได้ง่าย และไวต่อ สัญญาณรบกวน

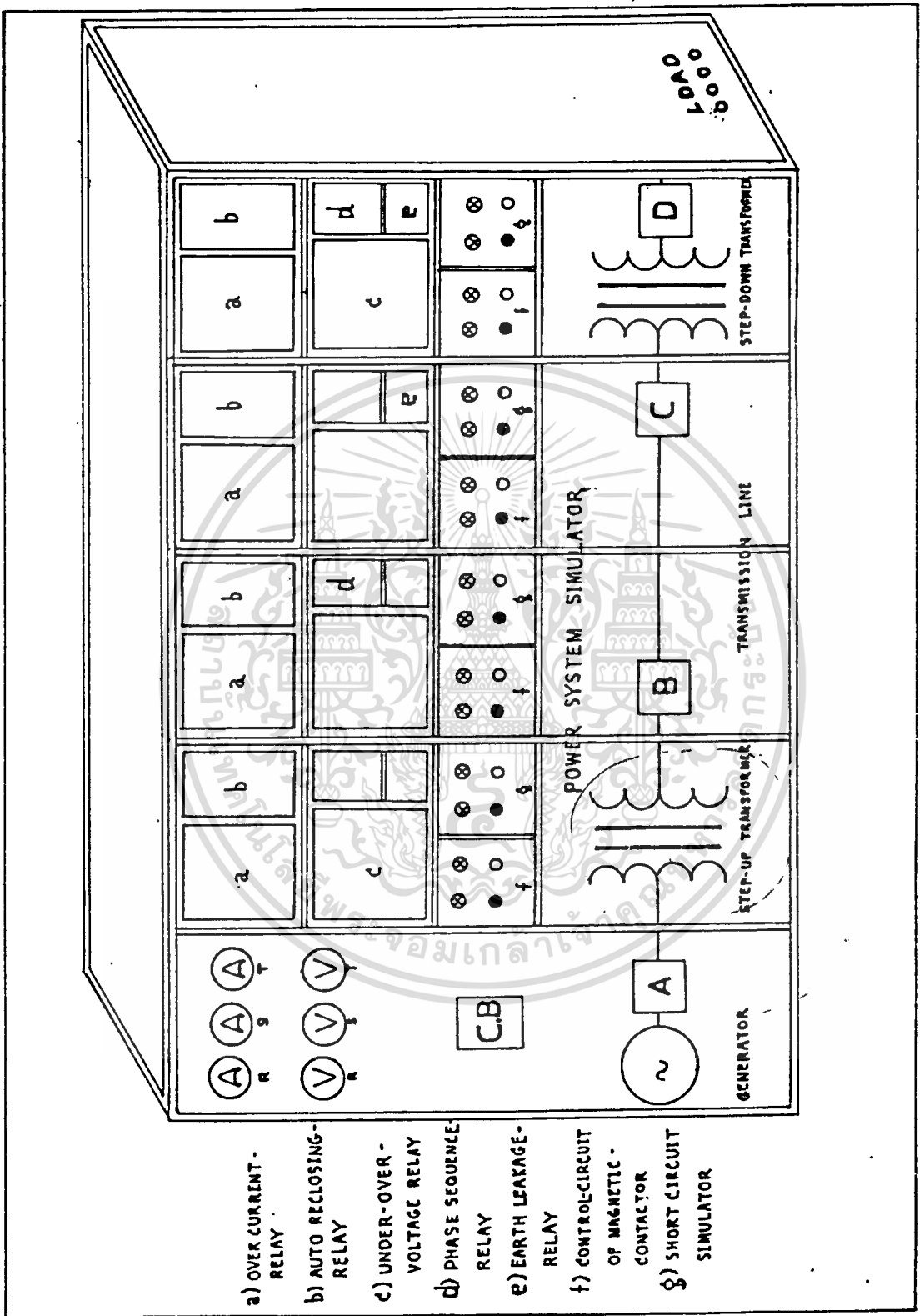
นอกจากนี้ผู้จัดทำจะทำการศึกษา และประกอบอุปกรณ์แล้ว ยังได้จัดทำอุปกรณ์ การทดลองเพื่อเป็นประโยชน์แก่นักศึกษารุ่นต่อไปที่จะทำการศึกษาระบบไฟฟ้ากำลัง

ภาคผนวก

ในบทนี้ จะประกอบด้วยการนำเอาวงจรต่างๆที่เป็นส่วนประกอบในรีเลย์มาอธิบายโดย
สังเขป และ ข้อมูลของไอซี ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชุดทดลองระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical characteristics of bare aluminum conductors steel-reinforced (ACSR)†

Code word	Aluminum area, cmil	Stranding Al/St	Layers of aluminum	Outside diameter, in	Resistance			GMR E_p , ft	Reactance per conductor 1-ft spacing, 60 Hz	
					Dc, 20°C, $\Omega/1,000$ ft	Ac, 60 Hz			Inductive X_a , Ω/mi	Capacitive X_c , M Ω -mi
						20°C, Ω/mi	50°C, Ω/mi			
Waxwing	266,800	18/1	2	0.609	0.0646	0.3488	0.3831	0.476	0.1090	
Partridge	266,800	26/7	2	0.642	0.0640	0.3452	0.3702	0.465	0.1074	
Ostrich	300,000	26/7	2	0.680	0.0569	0.3070	0.3372	0.458	0.1057	
Merlin	336,400	18/1	2	0.684	0.0512	0.2767	0.3037	0.462	0.1055	
Linnnet	336,400	26/7	2	0.721	0.0507	0.2737	0.3006	0.451	0.1040	
Oriole	336,400	30/7	2	0.741	0.0504	0.2719	0.2987	0.445	0.1032	
Chickadee	397,500	18/1	2	0.743	0.0433	0.2342	0.2572	0.452	0.1031	
Ibis	397,500	26/7	2	0.783	0.0430	0.2323	0.2551	0.441	0.1015	
Tellian	477,000	18/1	2	0.814	0.0361	0.1957	0.2148	0.441	0.1004	
Flicker	477,000	24/7	2	0.846	0.0359	0.1943	0.2134	0.432	0.0992	
Hawk	477,000	26/7	2	0.858	0.0357	0.1931	0.2120	0.430	0.0988	
Hen	477,000	30/7	2	0.883	0.0355	0.1919	0.2107	0.424	0.0980	
Oprey	556,500	18/1	2	0.879	0.0309	0.1670	0.1843	0.432	0.0981	
Parakeet	556,500	24/7	2	0.914	0.0308	0.1669	0.1832	0.423	0.0969	
Dove	556,500	26/7	2	0.927	0.0307	0.1663	0.1826	0.420	0.0965	
Rook	636,000	24/7	2	0.977	0.0269	0.1461	0.1603	0.415	0.0950	
Grobnak	636,000	26/7	2	0.990	0.0268	0.1454	0.1596	0.412	0.0946	
Drake	795,000	26/7	2	1.108	0.0215	0.1172	0.1284	0.399	0.0912	
Tern	795,000	45/7	3	1.063	0.0217	0.1188	0.1302	0.400	0.0925	
Rail	954,000	45/7	3	1.165	0.0181	0.0997	0.1092	0.395	0.0897	
Cardinal	954,000	54/7	3	1.196	0.0180	0.0988	0.1082	0.390	0.0890	
Ortolan	1,033,500	45/7	3	1.213	0.0167	0.0924	0.1011	0.402	0.0885	
Bluejay	1,113,000	45/7	3	1.259	0.0155	0.0861	0.0941	0.386	0.0874	
Finch	1,113,000	54/19	3	1.293	0.0155	0.0856	0.0937	0.380	0.0866	
Bittern	1,272,000	45/7	3	1.345	0.0136	0.0762	0.0832	0.378	0.0855	
Phoebe†	1,272,000	54/19	3	1.382	0.0135	0.0751	0.0821	0.372	0.0847	
Bobolink	1,431,000	45/7	3	1.427	0.0121	0.0684	0.0740	0.371	0.0837	
Plover	1,431,000	54/19	3	1.465	0.0120	0.0673	0.0735	0.365	0.0829	
Lapwing	1,590,000	45/7	3	1.502	0.0109	0.0623	0.0678	0.364	0.0822	
Falcon	1,590,000	54/19	3	1.545	0.0108	0.0612	0.0667	0.358	0.0814	
Bluebird	2,156,000	84/19	4	1.762	0.0080	0.0476	0.0515	0.344	0.0776	

† Most used multilayer sizes.

‡ Data, by permission, from Aluminum Association, "Aluminum Electrical Conductor Handbook," New York, September 1971.

```

*****
HIGH VOLTAGE TRANSLATION LINE
1. SHOT LINE      : S < 80      KM.
2. MEDIUM LINE   : 80 < S < 240  KM.
   2.1 NOMINAL PI
   2.2 NORMINAL TEE
3. LONG LINE     : S > 240      KM.
   3.1 EQUIVALENT PI
   3.2 EQUIVALENT TEE
*****

DIMENSION S(50) ,BV(50) ,BI(50) ,PVA(50) ,EZ(50) ,CSIM(50)

REAL LSPEC ,LSIM

COMPLEX GM ,GL ,YP , ZP , YT , ZT

*****
RSPEC = 0.0844
LSPEC = 1.22456E-3
CSPEC = 9.40928E-9
READ(5,10) N,M
READ(5,20) (S(I), I = 1, N)
READ(5,30) (CSIM(I), I=1,M)
READ(5,40) GEN, V, PF, K
READ(5,50) TRVA1, TRE11, TRE12
READ(5,50) TRVA2, TPE21, TRE22
10 FORMAT(2I2)
20 FORMAT(6F3.0)
30 FORMAT(11E6.1)
40 FORMAT(F5.1,F3.0,F2.1,I1)
50 FORMAT(F5.1,2F3.0)
A1 = TRE11/TRE12
A2 = TRE21/TRE22
*****
CALCULATE BASE ON ANY SIDE OF SYSTEM
*****

SELECT BASE ON GENERATION SIDE

EVAG = GEN / 3.0
BVG = V / 1.732051
EZC = EVG ** 2 / EVAG
EIG = EVAG / BVG

BASE ON TRANSMISSION LINE SIDE

EVATRL = EVAG
EVTRL = BVG / A1
EZTRL = BVTRL ** 2 / EVATRL
EITRL = EVATRL / EVTRL

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BASE ON LOAD SIDE

BVALD = BVATRL
BVLD = BVTRL / A2
BZLD = BVLD ** 2 / BVALD
BILD = EVALD / PVLD

TRANSMISSION LINE SIMULATION

BVA(2) = BVATRL
BV(2) = BVTRL
BZ(2) = BZTRL
EI(2) = BITRL
WRITE(6,45)

45 FORMAT(1H1,//////T31,'LSAI 795MCM ACSR'/1H0,T21,
@'795000 CMILS',T41,'54/7 ALUMINIUM/STEEL',T71,'3 LAYERS'//
WRITE(6,46)

46 FORMAT(1H0,T25,'OUTSIDE DIAMETER',T53,'1.0930 INCHES'//1H0,T2
@'GMR(DS)',T53,'0.0368 FEET'//1H0,T25,'R-AC AT 50.C 50 CYCL
@T53,'0.1358 OHM/MILE'//////)
WRITE(6,47)

47 FORMAT(1H0,T89,'R-SPEC = 0.1358 OHM/MILE'/1H0,
@T100,'= 0.0844 OHM/KILOMETER'//1H0,T89,
@'L-SPEC = 1.22456E-6 HENRY/METER' / 1H0,T100,
@'= 1.22456E-3 HENRY/KILOMETER',//1H0,T89,
@'C-SPEC = 9.40928E-12 FARAD/METER'/1H0,T100,
@'= 9.40928E-9 FARAD/KILOMETER')
WRITE(6,48) GEN,V,PF

48 FORMAT(1H0,//////T31,'GENERATION SET'/1H0,T50,F6.1,' VA.'/
@1H0,T51,F5.1,' VOLT'/1H0,T53,F3.1,' PF. LAG')
DO 999 I=1,N
DO 888 J=1,M
WRITE(6,60) S(I)

60 FORMAT(1H1,T42,'LENGTH OF TRANSMISSION LINE =',F6.1,' KM.'//
@1H0,T27,'REAL SYSTEM',T77,'SIMULATION SYSTEM'//)
LSIM = LSPEC * CSPEC * S(I) ** 2 / CSIM (J)
RSIM = RSPEC * CSPEC * S(I) ** 2 / CSIM (J)
VREAL = 625.0 * S(I)
VAREAL = VREAL ** 2 * CSPEC * S(I) / ((CSIM (J) * BZ(2))
XL = 2.0 * 3.14159 * 50.0 * LSIM
YC = 2.0 * 3.14159 * 50.0 * CSIM (J)
RPU = RSIM / BZ (2)
XPU = XL / BZ (2)
YPU = YC * BZ (2)
BVA(1) = VAREAL / 3.0
BV(1) = VREAL / 1.732051
BZ(1) = VREAL ** 2 / VAREAL
EI(1) = VAREAL / (1.732051 * VREAL)
PHI = ACOS(PF)
IF (K.EQ.0) PHI = -PHI
IF (S(I).LE.80.0) GO TO 111
IF (S(I).LE.240.0) GO TO 222

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
YSPEC = 2.0 * 3.14159 * 50.0 * CSPEC
XSPEC = 2.0 * 3.14159 * 50.0 * LSPEC
GM = SQRT(CMPLX(0.0,YSPEC) * CMPLX(RSPEC,XSPEC))
GL = GM * CMPLX(S(I), 0.0)
```

3.1 EQUIVALENT PI NETWORK

```
YP=CMPLX(0.0,2.0*YPU)*CMPLX(COSH(REAL(GL))*COS(AIMAG(GL))-1.0,
*SINH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL)))/(GL*CMPLX(SINH(REAL(GL))*
*COS(AIMAG(GL)),COSH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL))))
ZP=CMPLX(RPU,XPU)*CMPLX(SINH(REAL(GL))*COS(AIMAG(GL)),
*COSH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL)))/GL
CALL RLC(YP,ZP,BZ)
CALL VAIPI(YP,ZP,BV,BI,BVA,PHI)
```

3.2 EQUIVALENT TEE NETWORK

```
YT = CMPLX(0.0,YPU)*CMPLX(SINH(REAL(GL))*COS(AIMAG(GL)),
*COSH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL)))/GL
ZT = CMPLX(RPU,XPU)*CMPLX(2.0,0.0)*CMPLX(COSH(REAL(GL))*
*COS(AIMAG(GL))-1.0,SINH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL)))/(GL*CMPLX(SINH
*(REAL(GL))*COS(AIMAG(GL)),COSH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL))))
CALL RLC(YT,ZT,BZ)
CALL VAITEE(YT,ZT,BV,BI,BVA,PHI)
GO TO 777
```

2. MEDIUM TRANSMISSION LINE

2.1 NOMINAL PI NETWORK

2.2 NOMINAL TEE NETWORK

```
222 YP = CMPLX(0.0,YPU)
ZP = CMPLX(RPU,XPU)
CALL RLC(YP,ZP,BZ)
CALL VAIPI(YP,ZP,BV,BI,BVA,PHI)
CALL VAITEE(YP,ZP,BV,BI,BVA,PHI)
GO TO 777
```

1. SHORT TRANSMISSION LINE

```
111 YP = CMPLX(0.0,0.0)
ZP = CMPLX(RPU,XPU)
CALL RLC(YP,ZP,BZ)
CALL VAIPI(YP,ZP,BV,BI,BVA,PHI)
YP = CMPLX(0.0,YPU)
ZP = CMPLX(RPU,XPU)
CALL RLC(YP,ZP,BZ)
CALL VAIPI(YP,ZP,BV,BI,BVA,PHI)
777 WRITE(6,100)
WRITE(6,110) BVA(1) * 3.0, BVA(2) * 3.0
WRITE(6,120) BV(1) * 1.732051, BV(2) * 1.732051
100 FORMAT(1H0,T64,'TRANSMISSION LINE BASE')
```

```
110 FORMAT(1H0,T45,E15.4,T83,F15.3,T120,'VA.')
```

```
120 FORMAT(1H0,T45,E15.4,T83,F15.3,T120,'VOLT')
```

```
888 CONTINUE
```

```
999 CONTINUE
```

```
STOP
```

ไม่ทราบชื่อของโปรแกรมที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ทราบชื่อของโปรแกรมที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```

*****
*****
SUBPROGRAM CALCULATE PARAMETER R L C
SUBROUTINE RLC(Y,Z,BZ)
COMPLEX YR(10), ZR(10), Y, Z
REAL R(10), L(10), C(10), BZ(50)
DO 10 I=1,2
ZR(I) = Z * CMPLX(BZ(I),0.0)
YR(I) = Y / CMPLX(BZ(I),0.0)
R(I) = REAL(ZR(I))
L(I) = AIMAG(ZR(I)) / (2.0 * 3.14159 * 50.0)
C(I) = CABS(YR(I)) / (2.0 * 3.14159 * 50.0)
10 CONTINUE
WRITE(6,20)
WRITE(6,30) R(1),L(1),C(1),R(2),L(2),C(2)
RETURN
20 FORMAT(1H0,T27,'R(OHM)',T38,'L(HENLY)',T51,'C(FARAT)',T77,
'R(OHM)',T88,'L(HENLY)',T101,'C(FARAT)')
30 FORMAT(1H0,T26,F6.2,T38,F7.4,T49,E11.4,T76,F6.2,T88,F7.4,
T99,E11.4)
END

```

```

SUBPROGRAM CALCULATE V & I BY PI-NETWORK
SUBROUTINE VAUPI(Y,Z,BV,BI,EVA,PHI)
COMPLEX A,B,C,D,VSU,ISU,IRU,ICRU,ICSU,Y,Z,VRU,PU(10),ILU
REAL VS(10),IS(10),ICS(10),ICR(10),IR(10),VR(10),LOSS(10),BV(50),
#EI(50),EVA(50),LOSSPU,PAG(10),IL(10)
A = CMPLX(1.0,0.0) + Y * Z / CMPLX(2.0,0.0)
B = Z
C = Y * (CMPLX(1.0,0.0) + A) / CMPLX(2.0,0.0)
D=A
VSU=CMPLX(1.0,0.0)
ISU=CMPLX(COS(PHI),SIN(PHI))
VRU=D*VSU-B*ISU
IRU=A*ISU-C*VSU
ICRU=VRU*Y/CMPLX(2.0,0.0)
ICSU=VSU*Y/CMPLX(2.0,0.0)
ILU=IRU+ICRU
LOSSPU=CABS(IRU+ICRU)**2*REAL(Z)
PU(1)=VSU
PU(2)=ISU
PU(3)=ICSU
PU(4)=ICRU
PU(5)=ILU
PU(6)=IRU
PU(7)=VRU
DO 50 I=1,7
IF (REAL(PU(I)).NE.0.0) GO TO 40
IF (AIMAG(PU(I))) 20,10,30
10 PAG(I)=0.0
GO TO 50
20 PAG(I)=-90.0
GO TO 50
30 PAG(I)=90.0--
GO TO 50

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

40 PAG(I)=ATAN(AIMAG(PU(I))/REAL(PU(I)))*180.0/3.14159
   IF (REAL(PU(I)).GT.0.0) GO TO 50
   PAG(I)=PAG(I)+180.0
   IF (PAG(I).GT.180.0) PAG(I)=PAG(I)-360.0
50 CONTINUE
   PHIR= -(PAG(7)-PAG(6))*3.14159/180.0
   PFR=COS(PHIR)
   PHIR=PHIR*180.0/3.14159
   DO 60 I=1,2
   VR(I)=CABS(VRU)*EV(I)
   IR(I)=CABS(IRU)*EI(I)
   ICS(I)=CABS(ICSU)*EI(I)
   ICR(I)=CABS(ICRU)*EI(I)
   IL(I)=CABS(ILU)*EI(I)
   IS(I)=CABS(ISU)*EI(I)
   VS(I)=CABS(VSU)*EV(I)
   LOSS(I)=LOSSPU*BVA(I)
60 CONTINUE
   WRITE(6,70)
   WRITE(6,80) (VS(I),I=1,2),PAG(1)
   WRITE(6,90) (IS(I),I=1,2),PAG(2)
   WRITE(6,100) (ICS(I),I=1,2),PAG(3)
   WRITE(6,110) (ICR(I),I=1,2),PAG(4)
   WRITE(6,120) (IL(I),I=1,2),PAG(5)
   WRITE(6,130) (IR(I),I=1,2),PAG(6)
   WRITE(6,140) (VR(I),I=1,2),PAG(7)
   WRITE(6,150) (LOSS(I),I=1,2)
   WRITE(6,160) PFR,PHIR
   RETURN
70 FORMAT(1H0,T5,'PI-NETWORK',5X,'(ALL VALUE PER PHASE)')
80 FORMAT(1H ,T27,'VS',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<',F6.1,'>',
#T120,'VOLT')
90 FORMAT(1H ,T27,'IS',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<',F6.1,'>',
#T120,'AMP')
100 FORMAT(1H ,T27,'ICS',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<',F6.1,'>',
#T120,'AMP')
110 FORMAT(1H ,T27,'ICR',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<',F6.1,'>',
#T120,'AMP')
120 FORMAT(1H ,T27,'IL',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<',F6.1,'>',
#T120,'AMP')
130 FORMAT(1H ,T27,'IR',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<',F6.1,'>',
#T120,'AMP')
140 FORMAT(1H ,T27,'VR',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<',F6.1,'>',
#T120,'VCLT')
150 FORMAT(1H ,T27,'LOSS',T45,E15.4,T72,F15.3,T120,'WATT')
160 FORMAT(1H ,T27,'PF',T45,F15.2,T100,'<',F6.1,'>'///1H0,132('*'))
END

```

SUBPROGRAM CALCULATE V & I BY TEE-NETWORK

SUEROUTINE VAITEE(Y,Z,EV,BI,BVA,PHI)

COMPLEX A,B,C,D,VRU,ISU,ICU,IRU,PU(10),Y,Z,VSU

REAL VS(10),IS(10),IC(10),IR(10),VR(10),LOSS(10),BV(50),

#BI(50),BVA(50),LOSSPU,PAG(10)

A = CMPLX(1.0,0.0) + Y * Z / CMPLX(2.0,0.0)

E = Z*(CMPLX(1.0,0.0)+A)/CMPLX(2.0,0.0)

C = Y

D=A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

VSU=CMPLX(1.0,0.0)
ISU=CMPLX(COS(PHI),SIN(PHI))
VRU=D*VSU-B*ISU
IRU=A*ISU-C*VSU
ICU=ISU-IRU
LOSSPU=(CABS(ISU)**2+CABS(IRU)**2)*REAL(Z)/2.0
PU(1)=VSU
PU(2)=ISU
PU(3)=ICU
PU(4)=IRU
PU(5)=VRU
DO 50 I=1,5
IF (REAL(PU(I)).NE.0.0) GO TO 40
IF (AIMAG(PU(I))) 20,10,30
10 PAG(1)=0.0
GO TO 50
20 PAG(1)=-90.0
GO TO 50
30 PAG(1)=90.0
GO TO 50
40 PAG(1)=ATAN(AIMAG(PU(I))/REAL(PU(I)))*180./3.14159
IF (REAL(PU(I)).GT.0.0) GO TO 50
PAG(1)=PAG(1)+180.0
IF (PAG(1).GT.180.0) PAG(1)=PAG(1)-360.0
50 CONTINUE
PHIR= -(PAG(5)-PAG(4))*3.14159/180.0
PFR=COS(PHIR)
PHIR=PHIR*180.0/3.14159
DO 60 I=1,2
VR(I)=CABS(VRU)*BV(I)
IR(I)=CABS(IRU)*BI(I)
IC(I)=CABS(ICU)*EI(I)
IS(I)=CABS(ISU)*SI(I)
VS(I)=CABS(VSU)*BV(I)
LOSS(I)=LOSSPU*BVA(I)
60 CONTINUE
WRITE(6,70)
WRITE(6,80) (VS(I),I=1,2),PAG(1)
WRITE(6,90) (IS(I),I=1,2),PAG(2)
WRITE(6,100) (IC(I),I=1,2),PAG(3)
WRITE(6,110) (IR(I),I=1,2),PAG(4)
WRITE(6,120) (VR(I),I=1,2),PAG(5)
WRITE(6,130) (LOSS(I),I=1,2)
WRITE(6,140) PFR,PHIR
RETURN
70 FORMAT(1H0,T5,'TEE-NETWRK',5X,'(ALL VALUE PER PHASE)')
80 FORMAT(1H ,T27,'VS',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<','F6.1','>',
#T120,'VOLT')
90 FORMAT(1H ,T27,'IS',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<','F6.1','>',
#T120,'AMP')
100 FORMAT(1H ,T27,'IC',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<','F6.1','>',
#T120,'AMP')
110 FORMAT(1H ,T27,'IR',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<','F6.1','>',
#T120,'AMP')
120 FORMAT(1H ,T27,'VR',T45,E15.4,T72,F15.3,T100,'<','F6.1','>',
#T120,'VOLT')

```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

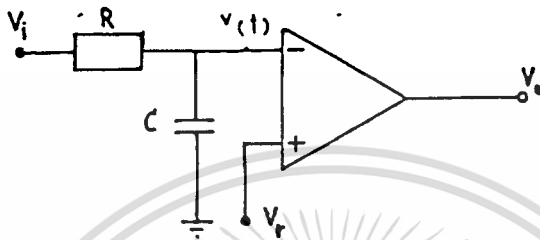
```
130 FORMAT(1H ,T27,'LOSS',T45,E15.4,T72,F15.3,T120,'WATT')
140 FORMAT(1H ,T27,'PF',T45,F15.2,T100,'<',F6.1,'>'//1H0,132('*'))
END
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรไมโครเมอร์ชนิดต่างๆ

- วงจรหน่วงเวลา (R-C)



$$t = - \ln[(V_{out} - V_r) / (V_i - V_r)] * R * C \quad \text{sec}$$

- วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์ (Monostable Multivibrator)

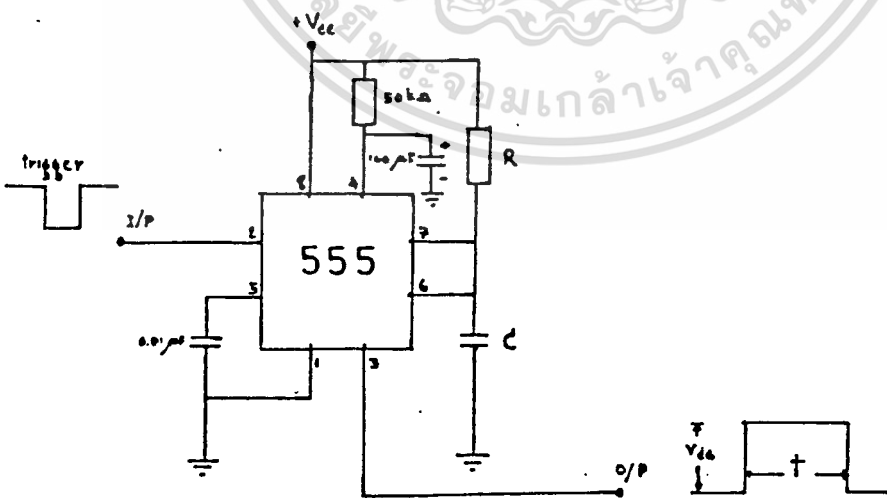
คือวงจรชนิดหนึ่ง ซึ่งจะให้อาการคงที่แน่นอนอันหนึ่ง และอาการที่เปลี่ยนแปลงได้

อาการหนึ่ง (Transitory Or Quasi-Stable State) มันจะคงอาการคงที่ (Stable)

จนกว่าจะมีสัญญาณทริกเกอร์ (Trigger) เข้ามาเปลี่ยนให้อยู่ในอีกอาการหนึ่ง ระยะเวลาของ

อาการนี้ถูกควบคุมโดยการประจุที่คาปาซิเตอร์ พอสิ้นสุดระยะเวลาที่ เอาท์พุทจะกลับไปสู่สภาวะ

อาการตัวเอง ในกรณีนี้ เราจะใช้ไอซีไมโครเมอร์ 555 เป็นตัวสร้างอาการนี้ ดังรูป

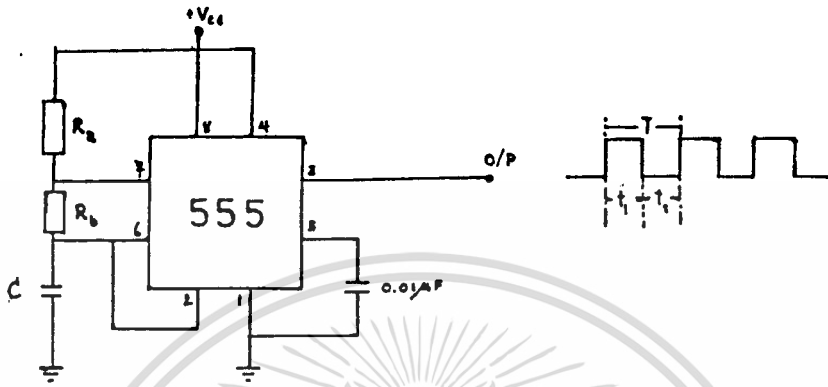


รูปแสดง วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์

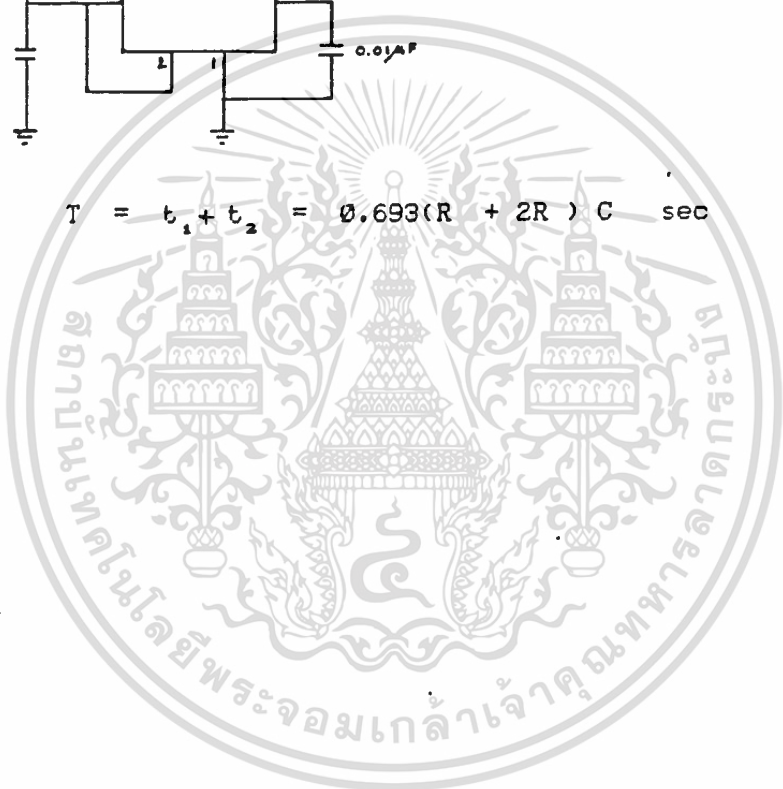
- วงจรอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator)

คือวงจรที่ไม่มีสภาวะคงที่แน่นอน แต่มีอยู่ 2 สภาวะที่จะเปลี่ยนกลับไปกลับมา ดัง

รูป

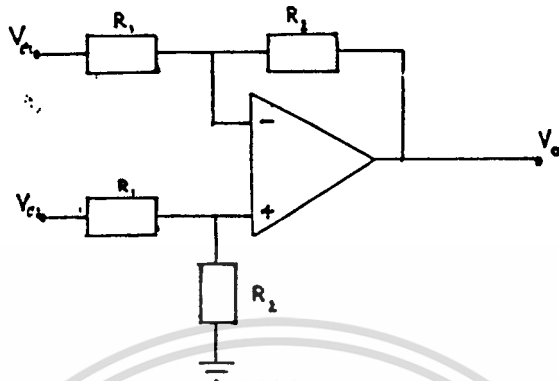


$$T = t_1 + t_2 = 0.693(R + 2R)C \text{ sec}$$



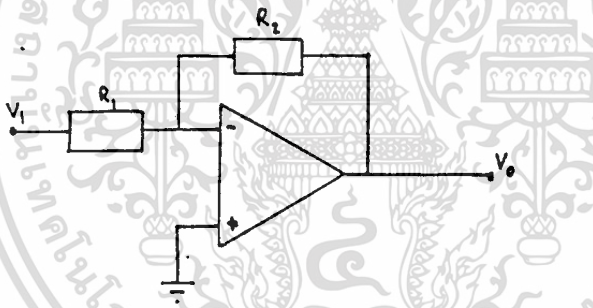
วงจร OP-AMP ชนิดต่าง ๆ

- วงจรลบ



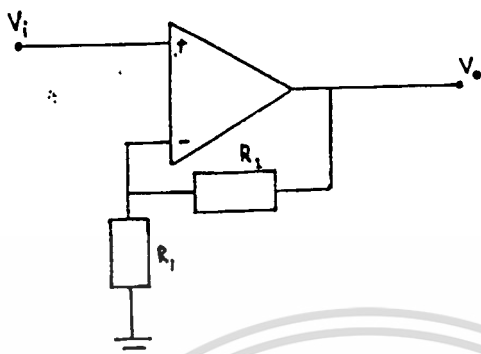
$$V_o = (R_2/R_1) * (V_{s1} - V_{s2})$$

- วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Feedback Amplifier)



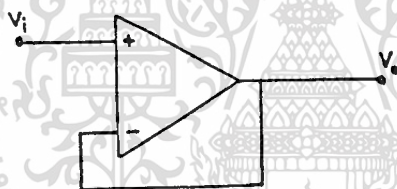
$$V_o = -(R_2/R_1) * V_i$$

- วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Feedback Amplifier)



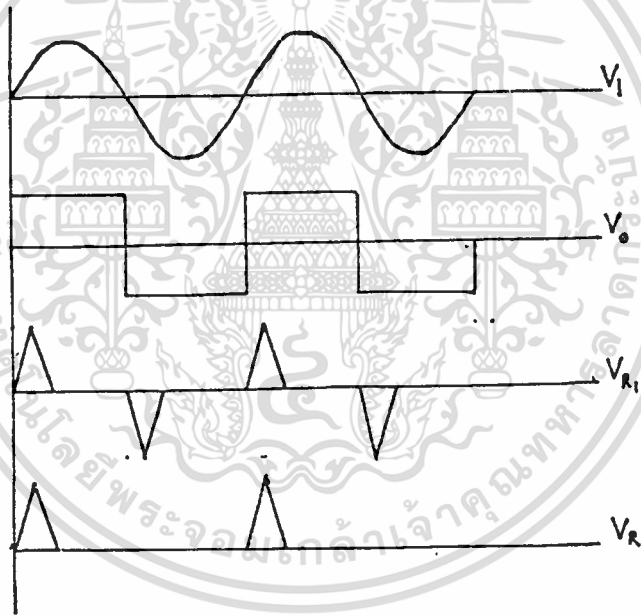
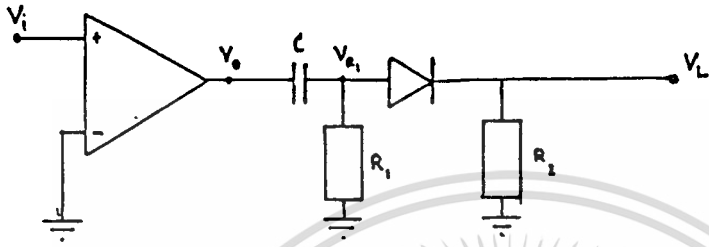
$$V_o = [(R_1 + R_2)/R_2] * V_i$$

- วงจรตามแรงดัน (Voltage Follower Or Buffer)



$$V_o = V_i$$

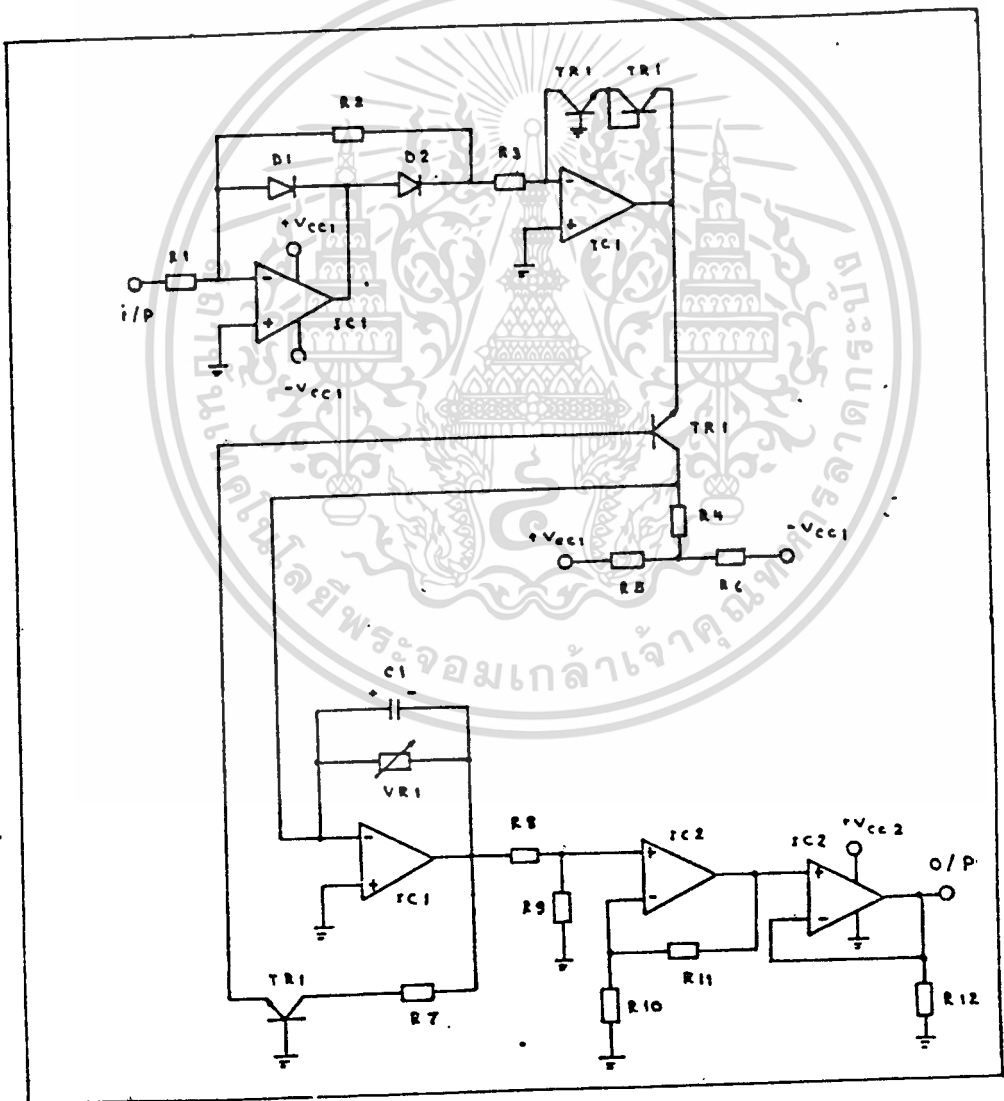
- วงจร Zero Crossing Detector



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเรกติไฟเออร์

ประกอบด้วยวงจรเรกติไฟเออร์แบบ True RMS (คือให้ค่า DC Output Voltage ออกมาเท่ากับค่า Peak ของ AC Input Voltage) และวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส เพื่อช่วยปรับขนาดของสัญญาณให้เหมาะสม แต่วงจรนี้จะมีข้อเสียคือ จะมีเวลาหน่วงระหว่าง Input กับ Output เนื่องจาก C ในวงจรเรกติไฟเออร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

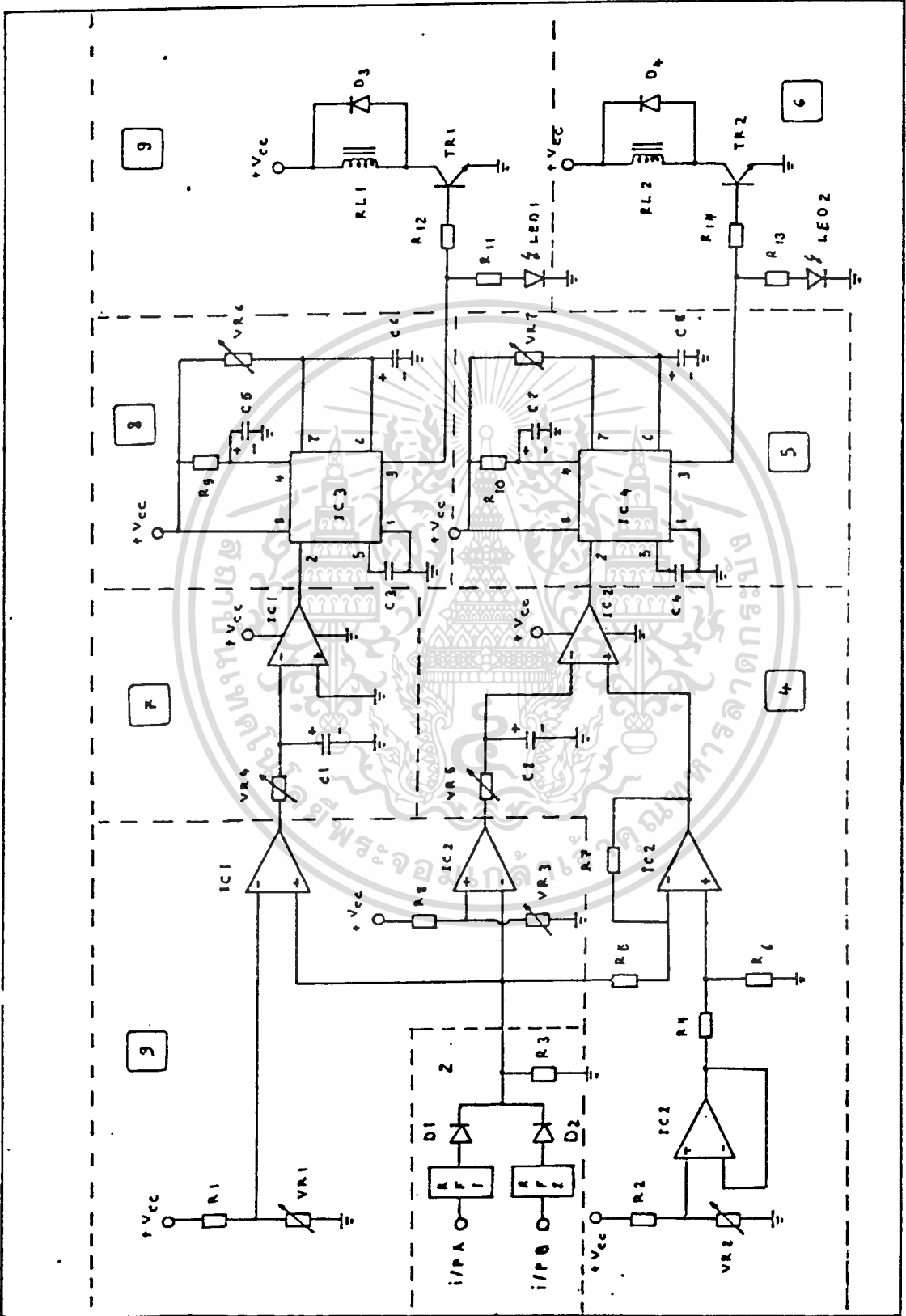
ตาราง แสดงอุปกรณ์ของวงจรเรกติไฟเออร์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1	Variable Resistor 0.25 W	10 K Ω	1
R1, R2, R7	Carbon Resistor 0.25 W	100 K Ω	3
R3	Carbon Resistor 0.25 W	50 K Ω	1
R4	Carbon Resistor 0.25 W	390 K Ω	1
R5, R6, R8, R10	Carbon Resistor 0.25 W	1 K Ω	4
C1	Electrolytic Capacitor 16 V	4.7 μ F	1
D1, D2	Signal Diode	1N 4148	2
TR1	Transistor Package	MC 3346	1
IC1, IC2	IC	LM 324 N	2

หมายเหตุ

- R9, R10 Carbon Resistor 0.25 W ค่าขึ้นอยู่กับอัตราขยายที่ต้องการ
- R12 Wire Wound Resistor 10 W ค่าขึ้นอยู่กับโวลเตจที่ต้องการ
- +V_{cc1} : + 5 V
- V_{cc1} : - 5 V
- +V_{cc2} : + 12 V
- I/P : ไฟฟ้ากระแสสลับจากอินสทรูเมนต์ทรานส์ฟอร์มเมอร์
- O/P : ไฟฟ้ากระแสตรงที่จะนำไปเข้าวงจรอิเล็กทรอนิกส์

วงจรไอเวอร์ เคอร์เรนทร์ีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงรายการอุปกรณ์ของ ไอเวอร์ เคอเรนทรี ซีลีย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1, VR2, VR3	Variable Resistor 0.25 W	10 K Ω	3
VR4, VR5	Variable Resistor 0.25 W	470 K Ω	2
VR6, VR7	Variable Resistor 0.25 W	50 K Ω	2
R1	carbon Resistor 0.25 W	2 K Ω	1
R2, R8, R11, R13	Carbon Resistor 0.25 W	1 K Ω	4
R3, R4, R5, R6, R7	Carbon Resistor 0.25 W	10 K Ω	7
R9, R10	Carbon Resistor 0.25 W	50 K Ω	2
C1, C2, C5, C6, C7, C8	Electrolytic Capacitor 16 V	1000 μ F	6
C3, C4	Dipmica 50 V	0.01 μ F	2
D1, D2	Signal Diode	1N 4148	2
D3, D4	Rectifier Diode	1N 4001	2
LED1, LED2	LED Color Red	-	2
TR1, TR2	Transistor ; NPN	BC 337	2
IC1, IC2	IC	LM 324N	2
IC3, IC4	IC	555	2
RL1, RL2	Relay 12 V, 3 A	-	2
RF1, RF2	Rectrifier Circuit		2

หมายเหตุ +V_{cc} : +12 V

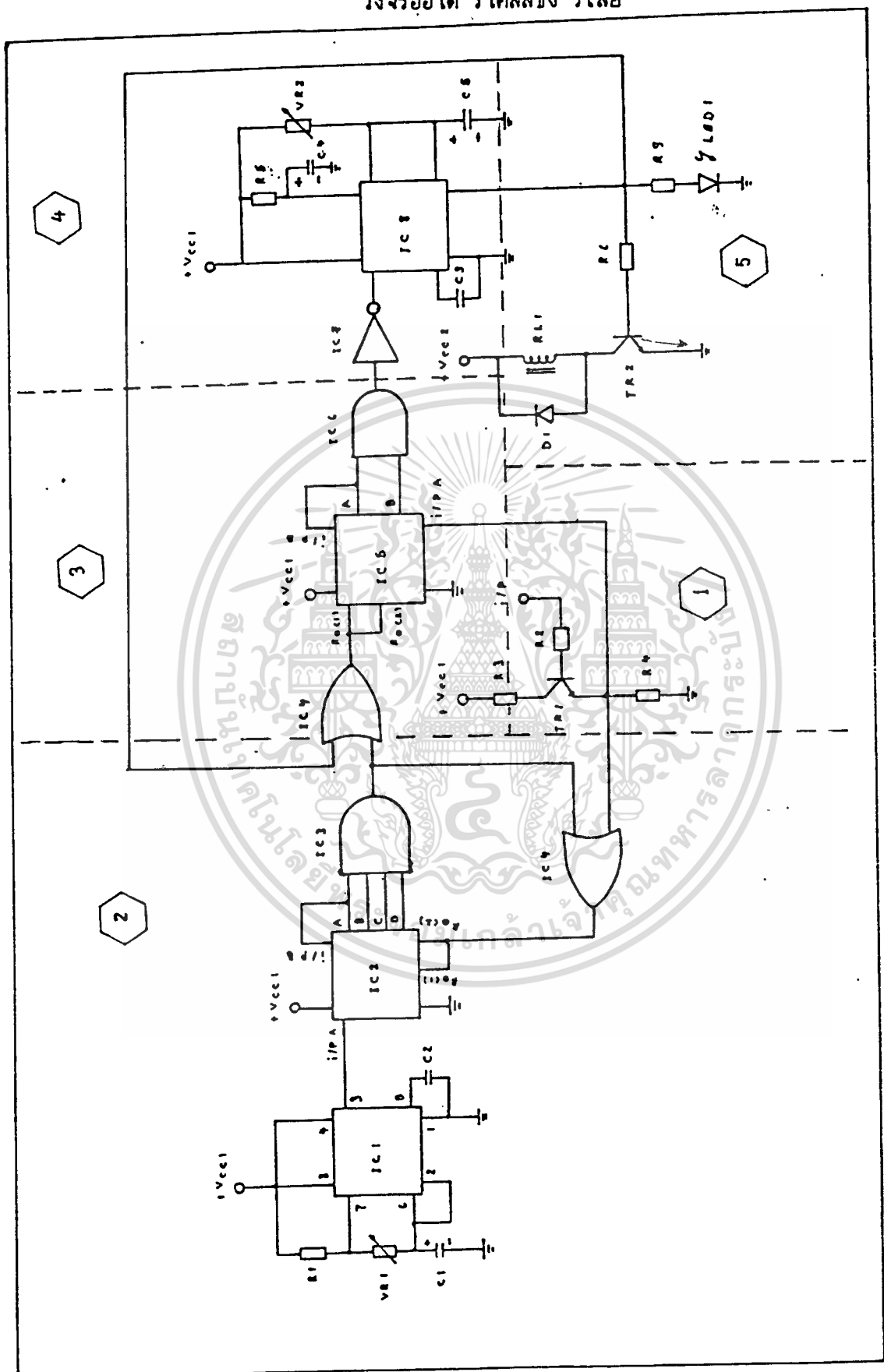
I/P A : จากขั้วที่ ของ โลင်း-ทึ-โลင်း ฟอลต์

I/P B : จากขั้วที่ ของ โลင်း-ทึ-กราวน์ ฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรออต รีโคลลิ่ง รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงรายการอุปกรณ์ของ ออโต รีโกลซึ่ง รีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1	Variable Resistor 0.25 W	50 K Ω	1
VR2	Variable Resistor 0.25 W	470 K Ω	1
R1, R5	Carbon Resistor 0.25 W	50 K Ω	2
R2	Carbon Resistor 0.25 W	5 K Ω	1
R3	Carbon Resistor 0.25 W	1 K Ω	1
R4, R7	Carbon Resistor 0.25 W	270 Ω	2
R6	Carbon Resistor 0.25 W	2 K Ω	1
C1, C4, C5	Electrolytic Capacitor 16 V	100 μ F	3
C2, C3	Dipmica 50 V	0.01 μ F	2
D1	Rectifier Diode	1N 4001	1
LED1	LED Color Red	-	1
TR1, TR2	Transistor ; NPN	BC 337	2
IC1, IC8	IC	555	2
IC2, IC5	IC	7493	2
IC3	IC	7421	1
IC4	IC	7432	1
IC6	IC	7408	1
IC7	IC	7414	1
RL1	Relay 12 V, 3 A	-	1

หมายเหตุ

$+V_{cc1}$: + 5 V

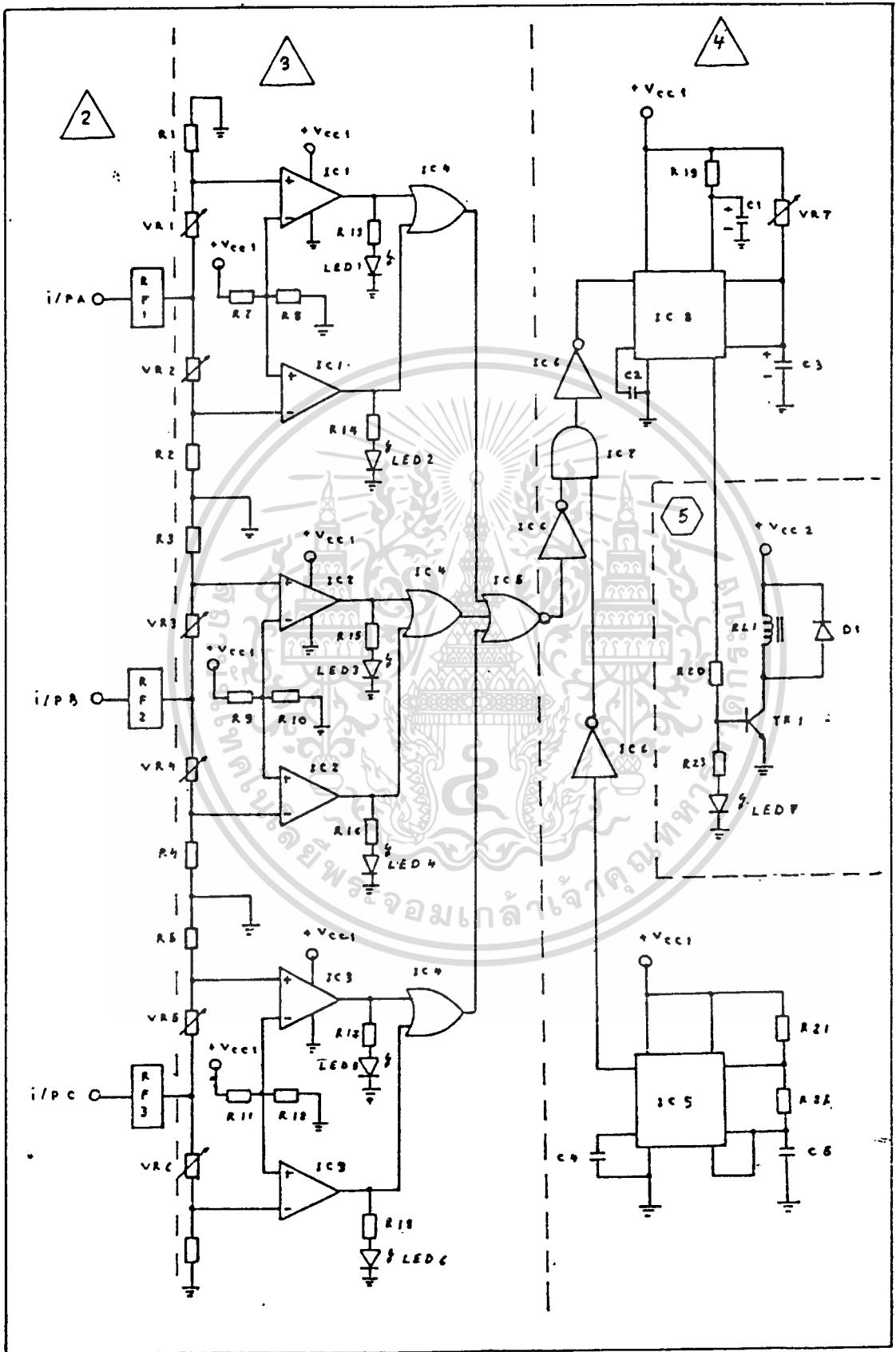
$+V_{cc2}$: + 12 V

I/P : จากขา 3 ของ IC 555 ของ Over Current Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรโอเวอร์แอนด์อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงอุปกรณ์ของวงจรไอเวอร์และอินเตอร์โวลเตจ รีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1-VR6	Variable Resistor 0.25 W	10 K Ω	6
VR7	Variable Resistor 0.25 W	100 K Ω	1
R1-R6	Carbon Resistor 0.25 W	5 K Ω	6
R7, R9, R11	Carbon Resistor 0.25 W	3 K Ω	3
R8, R10, R12	Carbon Resistor 0.25 W	2 K Ω	3
R13-R18	Carbon Resistor 0.25 W	560 Ω	6
R19	Carbon Resistor 0.25 W	50 K Ω	1
R20	Carbon Resistor 0.25 W	4 K Ω	1
R21	Carbon Resistor 0.25 W	6.8 M Ω	1
R22	Carbon Resistor 0.25 W	20 Ω	1
R23	carbon Resistor 0.25 W	1 K Ω	1
C1	Electrolytic Capacitor 16 V	100 μ F	1
C2, C4	Dipmica 50 V	0.01 μ F	2
C3	Electrolytic Capacitor 16 V	470 μ F	1
C5	Dipmica 50 V	0.1 μ F	1
D1	REctifier Diode	1N 4001	1
LED1, LED3, LED5	LED Color Green	-	3
LED2, LED4, LED6, LED7	LED Color Red	-	4
TR1	Transistor ; NPN	BC 337	1
IC1-IC3	IC	LM 324 N	3
IC4	IC	7432	1
IC5	IC	7427	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ)

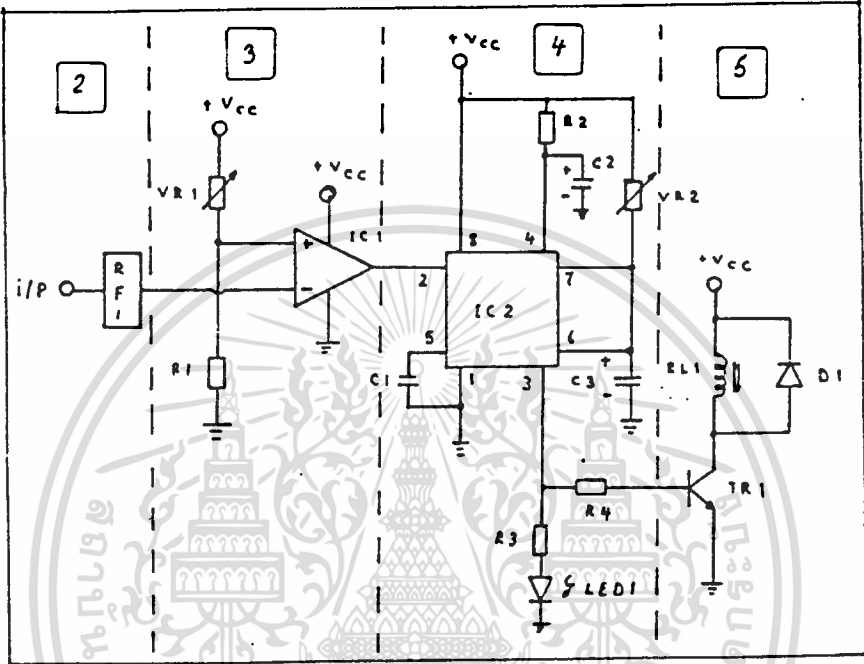
หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
IC6	IC	7414	1
IC7	IC	7408	1
IC8, IC9	IC	555	2
RL1	Relay 12 V, 3 A	-	1
RF1, RF2, RF3	Rectifier Circuit	-	3

หมายเหตุ

+V_{cc1} : + 5 V
+V_{cc2} : + 12 V
I/P A : จากพื้ เฟส A
I/P B : จากพื้ เฟส B
I/P C : จากพื้ เฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเอ็รธ ลิกเกจ รัลเย็



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงอุปกรณ์ของเอิร์ธ ลิกเกจ รีเลย์

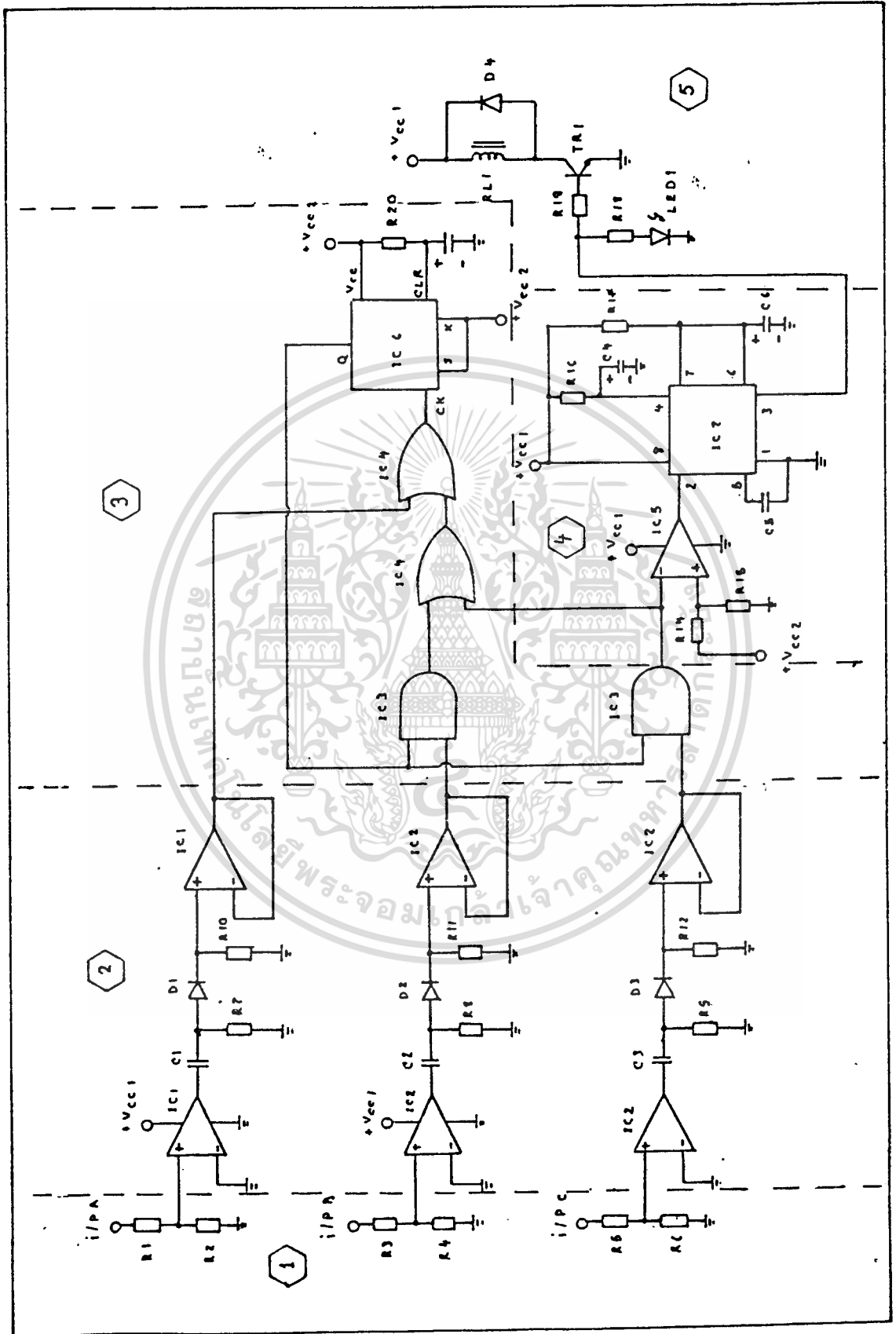
หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1	Variable Resistor 0.25 W	10 K Ω	1
VR2	variable Resistor 0.25 W	50 K Ω	1
R1	Carbon Resistor 0.25 W	4 K Ω	1
R2	Carbon Resistor 0.25 W	50 K Ω	1
R3	Carbon Resistor 0.25 W	1 K Ω	1
R4	Carbon Resistor 0.25 W	10 K Ω	1
C1	Dipmics 50 V	0.01 μ F	1
C2, C3	Electrolytic 16 V	100 μ F	2
D1	Rectifier Diode	1N 4001	1
LED1	LED Color Red	-	1
TR1	Transistor ; NPN	BC 337	1
IC1	IC	LM 324 N	1
IC2	IC	555	1
RL1	Relay 12 V, 3 A	-	1
RF1	Rectifier Circuit	-	1

หมายเหตุ

+V_{cc} : +12 V

I/P : จากเอิร์ธ ลิกเกจ ฟลลต์

วงจรเฟส ชิควอร์รี่ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงอุปกรณ์ของเพลส ซีเควนซ์ รีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
R1, R3, R5, R14, R16 R17	Carbon Resistor 0.25 W	50 K Ω	6
R2, R4, R6	Carbon Resistor 0.25 W	560 Ω	3
R7, R8, R9, R19	Carbon Resistor 0.25 W	10 K Ω	4
R10, R11, R12	Carbon Resistor 0.25 W	20 K Ω	3
R18	Carbon Resistor 0.25 W	1 K Ω	1
R15	Carbon Resistor 0.25 W	5 K Ω	1
C1, C2, C3, C5	Dipmica 50 V	0.01 μ F	4
C4, C6	Electrolytic 16 V	100 μ F	2
C7	Electrolytic 16 V	4.7 μ F	1
D1, D2, D3, D4	Rectifier Diode	1N 4001	4
LED2	LED Color Red	-	1
TR1	Transistor ; NPN	BC 337	1
IC1, IC2, IC5	IC	LM 324 N	3
IC3	IC	7408	1
IC4	IC	7432	1
IC6	IC	7473	1
IC7	IC	555	1
RL1	Relay 12 V, 3 A	-	1

หมายเหตุ +V_{cc1} : + 12 V

+V_{cca} : + 5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของไอซีที่ใช้ในวิทยุภาครับส่ง

5408 / 7408 Quadruple 2-Input Positive-AND Gate

Electrical Characteristics SN54LS08 SN74LS08						
absolute maximum ratings over operating free-air temperature range						
Supply voltage V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C		
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C		
Input current I _{CCP}	5.5V	Storage temperature range		-65°C to 150°C		
recommended operating conditions						
		SN54LS08	SN74LS08		UNIT	
		MIN	NOM	MAX		
Supply voltage V _{CC}		4.5	5	5.5	5.25	V
Input clamp current I _{CM}			800		-800	mA
Low-level output current I _{OL}			4		8	mA
Operating free-air temperature T _a		-55	0	75	70	°C
electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range						
PARAMETER	TEST CONDITIONS 1	MIN	TYP 3	MAX	UNIT	
V _{IH}	High-level input voltage		2		V	
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V	
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -10 mA		-1.5	V	
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IH} = 2V	2.7	3.4	V	
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OL} = 8 mA, V _{IH} = 2V		0.25	0.4	V
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7V			0.1	mA
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2.7V		20	μA	
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IL} = 0.8V		-8.4	mA	
I _{OS}	Short-circuit output current I _o	V _{CC} = MAX	54LS Family	-20	-100	mA
			74LS Family	-20	-100	mA
I _{CCP}	Supply current	V _{CC} = MAX	Total, outputs high	2.4	4.8	mA
I _{CCL}	Supply current	V _{CC} = MAX	Total, outputs low	4.4	8.8	mA
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = 5V	Average per gate (50% duty cycle)	0.85		mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5V, T _a = 25°C, C _L = 15pF, R _L = 2kΩ		8	15	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output			10	20	ns
Pin Assignment (Top View)						
positive logic: Y = AB						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5414/7414 Hex Schmitt-Trigger Inverter

Electrical Characteristics SN54LS14, SN74LS14								
absolute maximum ratings over operating free-air temperature range								
Supply voltage V_{CC}	TV	Operating free-air temperature range	SN54LS14	-55°C to 125°C				
Input voltage	TV	Storage temperature range	SN74LS14	0°C to 150°C				
recommended operating conditions								
	SN54LS14		SN74LS14		UNIT			
	MIN	MAX	MIN	MAX				
Supply voltage V_{CC}	4.5	5.5	4.75	5.25	V			
High-level output current I_{OH}		-400		-400	mA			
Low-level output current I_{OL}		0		0	mA			
Operating free-air temperature T_A	-55	125	0	70	°C			
electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range								
PARAMETER	TEST CONDITIONS †			MIN	TYP ‡	MAX	UNIT	
V_{T+}	Positive-going threshold voltage	$V_{CC} = 5V$			1.4	1.6	1.9	V
V_{T-}	Negative-going threshold voltage	$V_{CC} = 5V$			0.5	0.8	1	V
	Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$)	$V_{CC} = 5V$			0.4	0.6		V
V_I	Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}, I_I = -10 \text{ mA}$					-1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}, V_I = V_{T-} \text{ min.}, I_{OH} = \text{MAX.}$			2.7	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}, V_I = V_{T+} \text{ max.}, I_{OL} = 6 \text{ mA}$			0.25	0.4		V
I_{T+}	Input current at positive-going threshold	$V_{CC} = 5V, V_I = V_{T+}$				0.10		mA
I_{T-}	Input current at negative-going threshold	$V_{CC} = 5V, V_I = V_{T-}$				-0.10		mA
I_I	Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX.}, V_I = 7V$				0.1		mA
I_{IH}	High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}, V_I = 2.7V$				20		µA
I_{IL}	Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}, V_I = 0.4V$				-0.6		mA
I_{OS}	Short-circuit output current †	$V_{CC} = \text{MAX.}$				-20		mA
I_{CC}	Supply current	Total, output high	$V_{CC} = \text{MAX.}$			0.6	16	mA
		Total, output low				12	21	
		Average per gate	$V_{CC} = 5V, 50\% \text{ duty cycle}$			1.72		
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	$V_{CC} = 5V, T_A = 25^\circ\text{C.}$			15	22		ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output	$C_L = 15 \text{ pF}, R_L = 2 \text{ k}\Omega$			15	22		ns
Pin Assignment (Top View)								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5421/7421, Dual 4-Input Positive-AND Gate

Electrical Characteristics, SN54LS21, SN74LS21									
absolute maximum ratings over operating free-air temperature range									
Supply voltage VCC	7V	Operating free-air temperature range	MIN	-55°C	MAX	+75°C			
Input voltage	7V	Storage temperature range	MIN	-65°C	MAX	+150°C			
Temperature voltage	5.5V								
recommended operating conditions									
	SN54LS21			SN74LS21			UNIT		
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX			
Supply voltage VCC	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V		
High-level output current I _{OH}			-400			-400	mA		
Low-level output current I _{OL}			4			4	mA		
Operating free-air temperature T _a	-55		+75	0		+75	°C		
electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range									
PARAMETER	TEST CONDITIONS †			MIN	TYP ‡	MAX	UNIT		
V _{IH}	High-level input voltage				2			V	
V _{IL}	Low-level input voltage						0.8	V	
V _I	Input clamp voltage	VCC = MIN, I _I = -18 mA					-1.5	V	
V _{OH}	High-level output voltage	VCC = MIN, V _{IH} = 7V, I _{OH} = MAX			2.7	3.4		V	
V _{OL}	Low-level output voltage	VCC = MIN, V _{IL} = V _{IL max} , I _{OL} = 4mA			0.25	0.4		V	
I _I	Input current at maximum input voltage	VCC = MAX, V _I = 7V					0.1	mA	
I _{IH}	High-level input current	VCC = MAX, V _{IH} = 2.7V					20	µA	
I _{IL}	Low-level input current	VCC = MAX, V _{IL} = 0.4V					-0.4	mA	
I _{OS}	Short circuit output current †	VCC = MAX			-20		-100	mA	
I _{CCH}	Supply current	VCC = MAX			Total, outputs high		1.2	2.4	mA
I _{CCL}	Supply current	VCC = MAX			Total, outputs low		2.2	4.4	mA
I _{CC}	Supply current	VCC = 5V			Average per gate (50% duty cycle)		0.85		mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	VCC = 5V, T _a = 25°C, C _L = 15pF, R _L = 2kΩ					0	15	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output	VCC = 5V, T _a = 25°C, C _L = 15pF, R _L = 2kΩ					10	20	ns
Pin Assignments (Top View)									
①				②					
positive logic : Y = ABCD									
NC - No internal connection									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5427/7427 Triple 3-Input Positive-NOR Gate

Electrical Characteristics SN54LS27/SN74LS27						
absolute maximum ratings over operating free-air temperature range						
Supply voltage VCC	TV	Operating power	SN54LS	-55°C to 125°C		
Input voltage	TV	temperature range	SN74LS	0°C to 175°C		
Input/output current	5.5V	Storage temperature range		-65°C to 150°C		
recommended operating conditions						
			SN54LS27	SN74LS27		
			MIN	TYP	MAX	
Supply voltage VCC			4.5	5	5.5	
High-level output current IOH					-400	
Low-level output current IOL					4	
Operating free-air temperature Ta			-55	175	0	
					0	
					0	
electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range						
PARAMETER		TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage			2		V
V _{OL}	Low-level output voltage				0.4	V
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} - MIN, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} - MIN, V _{IL} = V _{IL} max, I _{OH} = MAX	2.7	3.4		V
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} - MIN, V _{OH} = 2 V, I _{OL} = 4 mA		0.25	0.4	V
I _I	Input current at maximum output voltage	V _{CC} - MAX, V _I = 7 V			0.1	mA
I _{IH}	High-level input current	Data inputs, V _{CC} - MAX, V _{OH} = 2.7 V			20	µA
I _{IL}	Low-level input current	Data inputs, V _{CC} - MAX, V _{OL} = 0.4 V			-0.4	mA
I _{OS}	Short-circuit output current †	V _{CC} - MAX	74LS Family -20		-100	mA
I _{CC} H	Supply current	V _{CC} - MAX	74LS Family -20		100	mA
I _{CC} L	Supply current	V _{CC} - MAX	Total, outputs high		2.0	4
I _{CC}	Supply current	V _{CC} - 5 V	Total, outputs low		3.4	6.8
I _{CC}	Supply current	V _{CC} - 5 V	Average per gate (50% duty cycle)		0.9	mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		18	15	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output	C _L = 15 pF, R _L = 2kΩ		10	15	ns

Pin Assignment (Top View)

positive logic:
Y = A + B + C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5432/7432 Quadruple 2-Input Positive-OR Gate

Electrical Characteristics SN54LS32/SN74LS32					
absolute maximum ratings over operating free-air temperature range					
Supply voltage, VCC	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS32	-55°C to 125°C	
Input voltage	7V		SN74LS32	0°C to 70°C	
		Storage temperature range		-65°C to 150°C	
recommended operating conditions					
		SN54LS32		SN74LS32	
		MIN	NOM	MIN	MAX
Supply voltage, VCC		4.5	5	4.75	5
High-level output current, IOH			-0.00		-0.00
Low-level output current, IOL			-1		0
Operating free-air temperature, TA		-55	125	0	70
					°C
electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range					
PARAMETER	TEST CONDITIONS 1	MIN	TYP 2	MAX	UNIT
V _{IH}	High-level input voltage		2		V
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -18 mA		-1.5	V
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, I _{OH} = MAX	2.7	3.4	V
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IL} = V _{IL} max, I _{OL} = 8 mA		0.25	0.4
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 3V		0.1	mA
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2.7V		20	μA
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IL} = 0.4V		-0.8	mA
I _{OS}	Short-circuit output current ³	V _{CC} = MAX		-20	-100
				SALS Family	
I _{CC1}	Supply current	V _{CC} = MAX		3.1	6.2
				Total, outputs high	
I _{CC2}	Supply current	V _{CC} = MAX		4.9	9.0
				Total, outputs low	
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = 5V		1.0	mA
				Average per gate (50% duty cycle)	
PHL _M	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 15pF, R _L = 75Ω		14	22
PWL _M	Propagation delay time, high-to-low-level output			16	22
					ns
Pin Assignment (Top View)					
positive logic: Y = A + B					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณในความกรุณาของ อาจารย์ ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา) ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำตลอดจนแนวทางปฏิบัติ ที่เป็นประโยชน์ต่อคณะผู้จัดทำ ซึ่งส่งผลให้การทำวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาไฟฟ้ากำลังทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจในงานวิจัยครั้งนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. William D. Stevenson, Jr: "Element of Power System Analysis"
4th Edition, 2nd printing 1983.
2. Reference Book "Electrical transmission and Distribution"
3. Electrical Power Transfer System.
4. B.L. Thereja, "A Text Book of Electrical Technology"
9th Edition, Nirej Prehashan.
5. T.S. MADHAVA RAO , "Power System Protection ; Static Relay"
McGRAW-HILL , 705 p. , 1979
6. ศูนย์ฝึกอบรมการไฟฟ้าภูมิภาค , "คู่มืออบรมหลักสูตรสวิตช์เกียร์" , 2523
7. สมเกียรติ ฝิโลประการ , "วิศวกรรมการส่งและจ่ายไฟฟ้า",
บริษัทสำนักพิมพ์ ไทยวัฒนาพานิช จำกัด , 212 หน้า , 2526
8. สันติ อัครวิงค์ธร , "รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง"
สมาคมศูนย์วิชาการไทย-ออสเตรเลีย , 189 หน้า , 2526