

การทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการอัดและคายประจุของ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

Experiment and Analysis of Temperature effect on Lead-Acid Battery

พรชัย พรหุทัย¹ บุญยัง ปลั่งกลาง²

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3420, 089-521-6527 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: lava_pp10@hoimail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3420, 086-899-2996 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: pboonyang@hoimail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นบทความที่กล่าวถึงการทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดต่อช่วงอุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส โดยนำแบตเตอรี่ไปต่อกับแหล่งจ่ายเพื่อทำการอัดประจุและคายประจุในห้องๆหนึ่ง จากนั้นใช้เครื่องทำความร้อนปรับอุณหภูมิในห้องให้เป็นไปตามการทดสอบ คือตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส เก็บค่าแรงดัน กระแส โดยคอมพิวเตอร์ แสดงผลในรูปของกราฟของกระแส จากนั้นวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้รับเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของแบตเตอรี่ต่อช่วงอุณหภูมิต่างๆ การทดสอบนี้จะทดสอบกับแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) ซึ่งจากการทดสอบพบว่า เมื่ออัดประจุแบตเตอรี่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้การอัดประจุแบตเตอรี่ให้เต็มใช้เวลานานขึ้น ส่วนการคายประจุแบตเตอรี่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้ดีขึ้นเวลาที่ใช้ในการคายประจุจึงใช้เวลานาน

คำสำคัญ: การอัดประจุและคายประจุ, อุณหภูมิ, แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

Abstract

This article describes The Experiment and Analysis of Temperature effect on Charge and Discharge of Lead-Acid Battery. The study will investigate the characteristic of charge and discharge of a lead-acid battery by temperatures ranging from 25-60 degrees Celsius. The experiment is set up by using a standard battery charge-discharge system. The temperature controller is used for the battery heater. The temperature according to the experiment is controlled in the range of 25-60 °C. The charge-discharge current is controlled by a computer. The investigation is done from the obtained data to analyze and compare the relationship to various temperatures. The VRLA batteries version RT 12200 12V 20AH (20 Hr) is used for this

study. The experiment, When charge the battery. Higher temperatures result in full charge the battery takes longer. Discharge the battery. Higher temperatures cause the battery to perform better. Time spent in the discharge, it takes a long time.

Keywords: Charge and Discharge, Temperature, Lead-Acid Battery

1. บทนำ

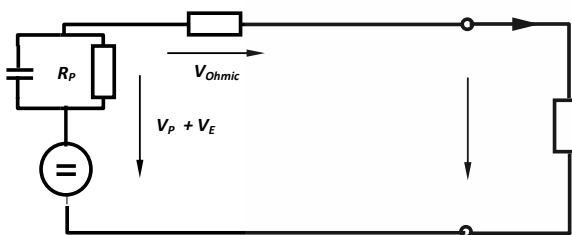
ในปัจจุบันการใช้พลังงานมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างมากและรวดเร็วแต่ในขณะที่แหล่งกำเนิดของพลังงานมีอยู่อย่างจำกัดต้องใช้ความรู้และเทคโนโลยีต่างๆเข้ามาช่วยในการจัดหาพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการ แต่ในช่วงที่การผลิตไฟฟ้าเกิดความต้องการนั้นก็ต้องมีการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรอง แบตเตอรี่จึงเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนในปัจจุบันมีการผลิตและการใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้พลังงานและมีการนำไปใช้งานในสถานที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศของแต่ละที่ซึ่งในการใช้งานแบตเตอรี่ในสถานที่ต่างๆจะต้องมีการบำรุงรักษาและใช้งานแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับสถานที่นั้นๆ

การบำรุงรักษาแบตเตอรี่จะมีมากหรือน้อย ขึ้นกับการออกแบบและลักษณะการประยุกต์ใช้งาน รวมไปถึงการทำความเข้าใจสถานะของแบตเตอรี่ไฟฟ้ขาดไฟฟ้การขึ้นแก๊สยัดให้แน่น การเติมน้ำกลั่น และการทดสอบสมรรถนะของแบตเตอรี่เป็นระยะๆ การทดสอบสมรรถนะจะประกอบไปด้วยการบันทึกความถ่วงจำเพาะอุณหภูมิของเซลล์ แรงดันของเซลล์หรือการทดสอบความจุ การวัดแรงดันและกระแสขณะทำงานประจุกสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการดูอาการผิดปกติของระบบได้

ดังนั้นอุณหภูมิในการใช้งานแบตเตอรี่จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจที่จะนำมาศึกษาและวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติต่างๆของแบตเตอรี่เพื่อศึกษาและทดสอบเกี่ยวกับการทำงานของแบตเตอรี่ที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ โดยวิเคราะห์ค่ากระแส ของแบตเตอรี่เมื่อมีการอัดและคายประจุที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

2. แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

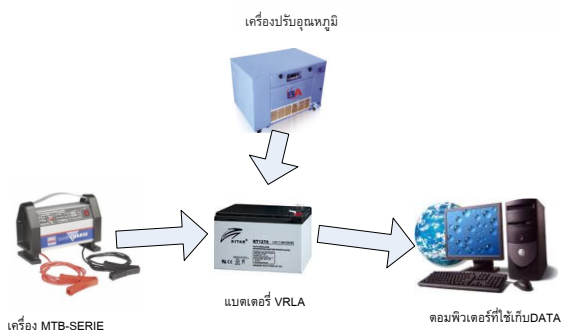
ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) ด้วยเหตุผลนานาประการ ไม่ว่าจะเป็นราคาที่ถูกกว่าและหาซื้อได้ง่ายในหลายๆ ที่ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญเป็นแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุโมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเรื่อยๆ เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน [2]



รูปที่ 1 วงจรสมมูลย์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [3]

3. การดำเนินการทดสอบ

ในส่วนต่างๆของกระบวนการทดสอบแบตเตอรี่จะใช้เครื่อง Microprocessor Test for Battery (MTB-Serie) ในการทดสอบการอัดประจุและการคายประจุของแบตเตอรี่ซึ่งสามารถใช้คำสั่งให้เครื่องทำงานได้ทั้งจากตัวเครื่องเองหรือให้เครื่องทำงานตามคำสั่งผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์และเก็บข้อมูลขณะทำการทดสอบโดยใช้ Data Logger เป็นตัวบันทึกข้อมูลและแสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการทดสอบจะแบ่งเป็นการทดสอบการอัดประจุของแบตเตอรี่ (charge) และการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ (discharge) ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส โดยการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศาเซลเซียส สำหรับการปรับอุณหภูมิจะสามารถปรับได้โดยเครื่องปรับอุณหภูมิ (Temperature Controller) ที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0-800 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 การทดสอบแบตเตอรี่และเก็บข้อมูล [5],[6],[7],[8]

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและบันทึกผลก็จะนำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบมารวบรวมเพื่อนำไปวิเคราะห์และประมวลผลถึงคุณสมบัติต่างๆทั้งกระแส แรงดันและค่าความจุของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุและคายประจุแล้วผลจากการวิเคราะห์หามาว่าเป็นกราฟคุณลักษณะต่างๆทั้งกระแส แรงดันและค่าความจุของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุและคายประจุ

Seq	CPUID	DeviceNo	Charge & Disch.	Loop	Step	Instr.	CH/DIS	Step Time	Run Time	Volt(V)	Cur.(A)	AH(Ah)
0101	1-1		charge & disch.	0	1	LV	Charge	02:02:45	00:02:02:45	12.290	5.700	11.950
0102	1-2		charge & disch.	0	1	LV	Charge	00:00:00:00	00:00:00:00	12.290	5.700	11.950
0103	1-3		charge & disch.	0	1	LV	Charge	00:00:00:00	00:00:00:00	12.240	6.100	12.500
0104	1-4		discharge batte...	0	0			00:00:00:00	00:00:00:00	12.000	0.000	

รูปที่ 3 โปรแกรมการตั้งค่าทดสอบการอัดและคายประจุด้วยเครื่อง MTB

ขั้นตอนการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

3.1 การทดสอบการอัดประจุ (Charge Test)

จะทดสอบการอัดประจุด้วยค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดสอบ โดยการกำหนดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจะกำหนดค่าสูงสุดตามที่ผู้ผลิตแนะนำ ส่วนเวลาในการอัดประจุจะกำหนดขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุ การทดสอบนี้จะดูค่าแรงดันสุดท้าย กระแสไฟฟ้าและค่าความจุของแบตเตอรี่เมื่อการอัดประจุเสร็จสิ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ สำหรับขั้นตอนการทดสอบจะมีดังนี้

1. ต้องจรวจทดสอบโดยใช้สายต่อของเครื่องทดสอบต่อเข้ากับขั้วต่อของแบตเตอรี่
2. กำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามที่ผู้ผลิตแนะนำ
3. กำหนดเวลาในการอัดประจุขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุ

4. กำหนดอุณหภูมิในการทดสอบโดยจะเริ่มตั้งแต่ 25 ถึง 60 องศาเซลเซียส

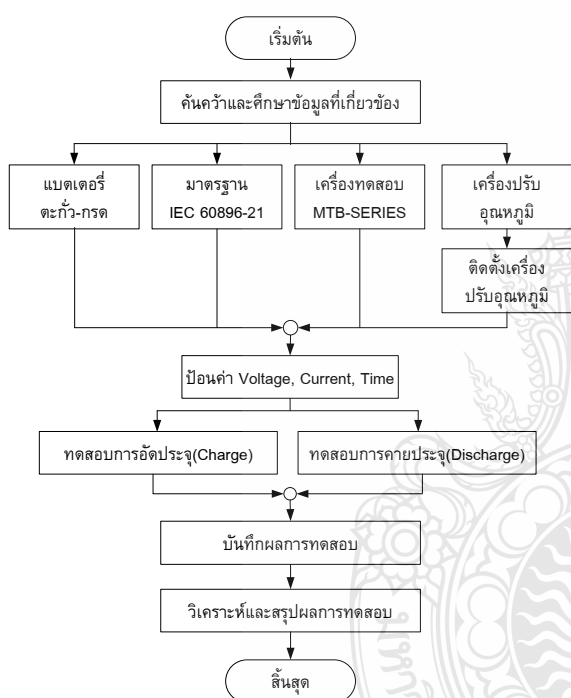
5. กำหนดเวลาในการบันทึกข้อมูล จะเก็บค่าทุกๆ 1 นาที

3.2 การทดสอบการคายประจุ (Discharge Test)

การทดสอบการคายประจุจะทำการทดสอบต่อจากการอัดประจุ โดยจะทดสอบด้วยค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดสอบ โดยการกำหนดค่าแรงดันสุดท้ายและกระแสไฟฟ้าคงที่ที่จะกำหนดตามมาตรฐาน IEC 60896-21 ส่วนเวลาในการคายประจุจะกำหนดขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าและอัตราการคายประจุต่อเวลาที่ผู้ผลิตกำหนด การ

ทดสอบนี้จะดูค่าแรงดันสุดท้าย กระแสไฟฟ้าและค่าความจุของแบตเตอรี่เมื่อการคายประจุเสร็จสิ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบสำหรับขั้นตอนการทดสอบจะมีดังนี้

1. ตรวจสอบการทดสอบโดยใช้สายต่อของเครื่องทดสอบต่อเข้ากับขั้วต่อของแบตเตอรี่
2. กำหนดค่าแรงดันสุดท้ายและกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC
3. กำหนดเวลาในการคายประจุขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าอัตราการคายประจุต่อเวลา
4. กำหนดอุณหภูมิในการทดสอบโดยจะเริ่มตั้งแต่ 25 ถึง 60 องศาเซลเซียส
5. กำหนดเวลาในการบันทึกข้อมูล จะเก็บค่าทุกๆ 1 นาที



รูปที่ 4 สรุปขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบตเตอรี่

4. ผลการดำเนินการทดสอบ

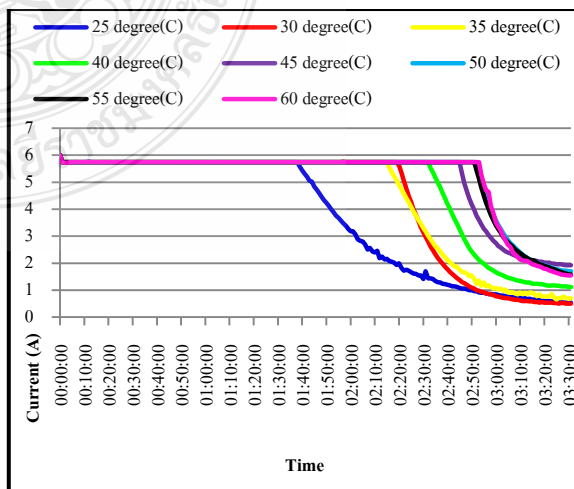
ผลของความสัมพันธ์ของแบตเตอรี่ต่อช่วงอุณหภูมิต่างๆ ที่ได้ทำการทดสอบกับแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) 1 ลูก โดยจะนำเสนอในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่เปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส ดังนี้

4.1 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุ

แบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20Hr) ทดสอบการอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้า 14.8 V กระแสไฟฟ้า 6 A และเวลาในการอัดประจุเท่ากับ 4 ชั่วโมง บันทึกค่าดังตารางที่ 1 และแสดงผลกราฟที่ได้ดังรูปที่ 5

Time	Current (A)/Temperature							
	25	30	35	40	45	50	55	60
12.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
12.10	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
12.20	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
12.30	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
12.40	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
12.50	5.74	5.74	5.74	5.72	5.74	5.74	5.74	5.74
01.00	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
01.10	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
01.20	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
01.30	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
01.40	4.46	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
01.50	3.38	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
02.00	2.56	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
02.10	2.02	5.74	5.22	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
02.20	2.00	5.62	4.90	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
02.23	1.42	3.14	3.30	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
02.30	1.44	2.62	2.90	5.54	5.74	5.74	5.74	5.74
02.40	1.14	1.52	1.88	3.62	5.74	5.74	5.74	5.74
02.47	1.06	1.30	1.68	3.06	5.32	5.74	5.74	5.74
02.50	0.96	1.00	1.24	2.22	3.76	5.74	5.44	5.74
02.57	0.92	0.98	1.36	2.12	3.60	5.24	5.12	5.74
03.00	0.90	0.94	1.16	2.04	3.44	4.96	4.80	5.28
03.10	0.78	0.70	1.02	1.50	2.44	2.98	2.86	2.84
03.20	0.72	0.64	0.88	1.38	2.28	2.56	2.50	2.30
03.30	0.62	0.54	0.84	1.22	2.06	1.98	1.96	0.28

ตารางที่ 1 ตารางเวลาบันทึกค่ากระแสขณะอัดประจุที่อุณหภูมิ 25-60 C

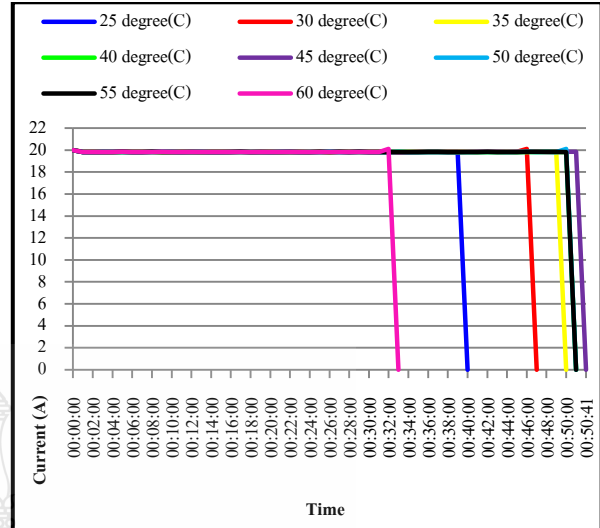


รูปที่ 5 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200

จากกราฟรูปที่ 5 พบว่า เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุจนเต็ม เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น หลังจากนั้นกระแสที่ใช้อัดประจุก็จะค่อย ๆ ลดลงเรื่อยๆ จนเป็นศูนย์ โดยอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส การอัดประจุจนเต็มใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง และเวลาจะนานขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนกระทั่งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส การอัดประจุจนเต็มใช้เวลาประมาณเกือบ 3 ชั่วโมง ดังนั้นการอัดประจุโดยการป้อนกระแสคงที่ อุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่เต็มเร็วที่สุดคือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

4.2 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะคายประจุ

แบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) ทดสอบการคายประจุที่อัตราการคายประจุต่อเวลาเป็นชั่วโมง (C rate) เท่ากับ C_1 แรงดันไฟฟ้า 9.6 V กระแสไฟฟ้า 20 A และเวลาในการคายประจุเท่ากับ 1.5 ชั่วโมง บันทึกค่าดังตารางที่ 2 และแสดงผลกราฟที่ได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200

จากกราฟรูปที่ 6 พบว่า การคายประจุที่กระแสคงที่เวลาที่ใช้ในการคายประจุจะเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นเวลาที่ใช้ในการคายประจุจะลดลงเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส การคายประจุจนหมดใช้เวลาประมาณ 40 นาที และเวลาจะนานขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนกระทั่งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส การคายประจุจนหมดใช้เวลาประมาณ 50 นาที หลังจากนั้นอุณหภูมิที่สูง 45 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้คายประจุลดลง ซึ่งอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส การคายประจุจนหมดใช้เวลาประมาณ 32 นาที ดังนั้นอุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่คายประจุได้ดีที่สุดคืออุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส

5. สรุปผลการดำเนินการทดสอบ

จากการทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) จากกราฟพบว่า ในการทดสอบอัดประจุให้แบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุจนเต็ม เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น หลังจากนั้นกระแสที่ใช้อัดประจุก็จะค่อย ๆ ลดลงเรื่อยๆ จนเป็นศูนย์ เนื่องจากในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการคายประจุด้วยตัวเองของแบตเตอรี่จะสูงขึ้นเป็นสองเท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจึงนานขึ้น ดังนั้นการอัดประจุโดยการป้อนกระแสคงที่อุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่เต็มเร็วที่สุดคือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนในการทดสอบการคายประจุที่กระแสคงที่เวลาที่ใช้ในการคายประจุจะเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เนื่องจากในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น ปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่ก็จะเกิดเร็วขึ้น ทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้ดีขึ้น การคายประจุจึงใช้เวลานาน แต่หลังจากอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียสขึ้นไป ความร้อนที่มากเกินไปมีผลให้แบตเตอรี่เสื่อมประสิทธิภาพเร็ว เป็นผล

Time	Current (A)/Temperature							
	25	30	35	40	45	50	55	60
12.00	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
12.10	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
12.20	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
12.30	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
12.32	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	20.1
12.33	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	0.0
12.34	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12.36	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12.38	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12.39	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12.40	0.0	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12.42		19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12.44		19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12.46		20.1	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12.47		0.0	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12.48			19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12.49			19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12.50			0.0	19.8	19.8	20.1	19.8	
12.51				0.0	19.8	0.0	0.0	
12.52					0.0			

ตารางที่ 2 ตารางเวลาบันทึกค่ากระแสขณะคายประจุที่อุณหภูมิ 25-

ให้การคายประจุของแบตเตอรี่เร็วขึ้น ดังนั้นระดับอุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่คายประจุได้ดีที่สุดคืออุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส

จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิมีผลต่อการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ โดยในการอัดประจุ เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนการคายประจุ อุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้ดีขึ้น การคายประจุจึงใช้เวลานาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] อนันต์ ชีระเสถียร, สมชาติ ฝากาบล “การทดสอบและศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด” วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี พ.ศ.2553
- [2] หลักสูตรการอบรมเทคนิคการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผู้สอน ผู้เรียน นักเรียนและนักศึกษา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- [3] ชัชวาล คงสมบูรณ์ “การศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับพลังงานทดแทน” วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี พ.ศ.2551
- [4] R. Jones “Charge control option for valve regulated lead acid batteries” TDI POWER August 17, 2004
- [5] <http://www.tradepar.co.uk/> รูปภาพเครื่อง MTB
- [6] <http://www.ritarpower.com/> รูปภาพแบตเตอรี่
- [7] <http://www.branddirectory.com/> รูปภาพเครื่องปรับอุณหภูมิ
- [8] <http://www.rmutphysics.com/> รูปภาพคอมพิวเตอร์



นายพรชัย พรหุทัย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี มีความสนใจงานวิจัยเรื่องของพลังงานทดแทนและการพัฒนาเทคโนโลยี



การจัดลำดับความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทาง โดยใช้กำหนดการเชิงเส้น

Optimal Coordination of Directional Over-Current Relays Using Linear Programming

ศุภวัชร นิยมพันธุ์, ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์ และ นิमित ชมนาวัง
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
E-mail: Supawatchara_@hotmail.com, Thanatchai@gmail.com, sut.mems@gmail.com

บทคัดย่อ

รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทาง เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง ทำหน้าที่ในการป้องกันความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น โหลดเกิน แรงดันเกิน การลัดวงจร เป็นต้น ซึ่งการป้องกันความผิดปกติเหล่านี้ ต้องอาศัยการจัดลำดับความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทางอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าและเพื่อให้เกิดความเชื่อถือได้ในระบบ โดยรีเลย์แต่ละตัวจะมีการปรับตั้งค่าจำนวนเท่าของเวลาการทำงาน (Time dial setting: TDS) เพื่อให้รีเลย์สามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะที่เกิดความผิดปกติต่าง ๆ ซึ่งการปรับตั้งค่าจำนวนเท่าของเวลาการทำงาน ในที่นี้ใช้กำหนดการเชิงเส้น ซึ่งเป็นเครื่องมือของโปรแกรมแมทแลปมาช่วยในการหาค่าจำนวนเท่าของเวลาการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทางแต่ละตัวที่อยู่ในระบบไฟฟ้ากำลัง ทำให้ทราบว่า รีเลย์แต่ละตัวนั้นมีหน้าที่เป็นรีเลย์หลักหรือรีเลย์สำรองในการป้องกันความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง รวมถึงทราบค่าของเวลาในการทำงานร่วมกันของรีเลย์ในระบบได้ นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการเกิดความผิดปกติไปโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าและสามารถที่จะนำไฟฟ้าไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในประเทศได้

คำสำคัญ: รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทาง, รีเลย์หลัก, รีเลย์สำรอง, กำหนดการเชิงเส้น

Abstract

Directional over-current relay is an important protective device in power system. It is used to protect electric power apparatus in power system when a fault or an overload occurs. The relays are configured by adjusting time dial setting (TDS) of function properly in normal and fault conditions. The TDS adjustment is performed by using linear programming. For test, a 6-bus test power system is situated. The results illustrated that linear programming is simple and can be used for solving optimal coordination of directional over-current relays.

Keywords: Directional over-current relay, primary relay, backup relay, linear programming

1. บทนำ

ในระบบไฟฟ้ากำลัง ประกอบด้วย 3 ระบบ คือ ระบบผลิต ระบบส่งจ่ายและระบบจำหน่าย ซึ่งทั้ง 3 ระบบนี้มีความสำคัญทุกระบบเนื่องจาก ระบบผลิตนั้นเป็นแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าซึ่งผลิตมาจากทรัพยากรธรรมชาติเช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หินน้ำมัน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เช่น แสงอาทิตย์ น้ำ ลม เป็นต้น จากนั้นจะส่งไปยังระบบส่งจ่ายผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูงไปยังสถานีไฟฟ้าย่อยที่อยู่ในแต่ละภูมิภาคนั้นๆ และส่งต่อผ่านระบบจำหน่ายไปยังกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อใช้ประโยชน์ในการดำเนินชีวิตและประกอบกิจการต่างๆ ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในระบบจำหน่าย ซึ่งมีสาเหตุปัจจัยหลายอย่างเช่น มนุษย์ สัตว์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ ปรากฏการณ์ธรรมชาติ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อเกิดการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังได้ ดังนั้นในระบบไฟฟ้ากำลังจึงต้องมีระบบป้องกันความผิดปกติเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น อีกทั้งเพื่อให้ระบบมีความเชื่อถือได้ในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันและป้องกันการดับของไฟฟ้าเป็นบริเวณกว้าง อันเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีระบบป้องกันที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งอาศัยการจัดลำดับความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทาง[1] ทั้งหมดที่อยู่ในระบบ โดยการปรับตั้งค่าจำนวนเท่าของเวลาการทำงาน [2] ของรีเลย์แต่ละตัว เพื่อที่จะสามารถกำจัดความผิดปกติที่นอกจากระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีการจัดลำดับความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทางที่มีประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน

2. พื้นฐานการทำงานร่วมกันของรีเลย์

รูปแบบสายบ่อนแบบรัศมีที่แสดงในรูปที่ 1 [3-5] เมื่อกำหนดตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติที่จุด F รีเลย์ R_B จะทำหน้าที่เป็นรีเลย์หลักในการป้องกันความผิดปกติที่เกิดขึ้น ถ้ารีเลย์ R_B ไม่ทำงานหรือเกิดความผิดพลาดในการทำงาน รีเลย์ R_A จะทำหน้าที่เป็นรีเลย์สำรองในการป้องกันความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบแทนรีเลย์ R_B หรือ

สามารถอธิบายการทำงานได้ว่า เมื่อมีความผิดพลาดเกิดขึ้น รีเลย์ทั้งสองตัวจะตรวจพบสัญญาณความผิดพลาดที่เกิดขึ้นพร้อมกัน แต่เนื่องจากรีเลย์ R_B อยู่ใกล้กับตำแหน่งของ F จึงทำหน้าที่เป็นรีเลย์หลัก ซึ่งจะใช้เวลาในการกำจัดความผิดพลาดที่รวดเร็วกว่า ส่วนรีเลย์ R_A อยู่ไกลจากตำแหน่ง F จึงทำหน้าที่เป็นรีเลย์สำรองโดยมีการตั้งเวลาแบบหน่วงเวลาในการทำงาน เพื่อให้รีเลย์มีลำดับการทำงานร่วมกันอย่างถูกต้องและเหมาะสมในการป้องกันความผิดพลาดในระบบ



รูปที่ 1 ระบบสายป้อนแบบรีเลย์

3. ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด

3.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ปัญหาการจัดลำดับความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทางนี้ จะพิจารณาเฉพาะในส่วนของรีเลย์หลักเท่านั้น เนื่องจากเป็นรีเลย์ที่มีหน้าที่ป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าเป็นอันดับแรก โดยรีเลย์ที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด จะเรียกว่า รีเลย์ใกล้ความผิดพลาด ส่วนรีเลย์ที่อยู่ไกลจากตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดนั้นจะเรียกว่า รีเลย์ไกลความผิดพลาด เมื่อพิจารณาเฉพาะรีเลย์หลัก จะได้สมการของฟังก์ชันวัตถุประสงค์[6] ดังสมการ (1)

$$\text{Minimize } OBJ = \sum_{i=1}^{N_{cl}} T_{pr_cl_in}^i + \sum_{j=1}^{N_{far}} T_{pri_far_bus}^j \quad (1)$$

เมื่อ N_{cl} คือ จำนวนของรีเลย์ที่อยู่ใกล้ตำแหน่งความผิดพลาด

N_{far} คือ จำนวนของรีเลย์ที่อยู่ไกลตำแหน่งความผิดพลาด

$T_{pr_cl_in}^i$ คือ เวลาการทำงานของรีเลย์ที่อยู่ใกล้ความผิดพลาด

$T_{pri_far_bus}^j$ คือ เวลาการทำงานของรีเลย์ที่อยู่ไกลความผิดพลาด

3.2 เงื่อนไขของปัญหา

กำหนดขอบเขตของปัญหา[6] ดังนี้

$$1. TDS_{min}^i \leq TDS^i \leq TDS_{max}^i$$

เมื่อ $TDS_{min}^i = 0.05, TDS_{max}^i = 1.1$ และ i เป็นจำนวนของรีเลย์ที่อยู่ใกล้ตำแหน่งความผิดพลาด ซึ่งเริ่มต้นจาก 1 จนถึง N_{cl}

$$2. PS_{min}^i \leq PS^i \leq PS_{max}^i$$

เมื่อ $PS_{min}^i = 1.25, PS_{max}^i = 1.5$

$$3. T_{primary} \text{ มีค่าอยู่ระหว่าง } 0.05 \text{ ถึง } 1.00$$

$$4. T_{backup} - T_{primary} - CTI \geq 0$$

เมื่อ T_{backup} คือ เวลาการทำงานของรีเลย์ที่ทำหน้าที่เป็นรีเลย์สำรอง T_{pri} คือ เวลาการทำงานของรีเลย์ที่ทำหน้าที่เป็นรีเลย์หลัก CTI คือ เวลาการจัดความสัมพันธ์ของรีเลย์ มีค่าเท่ากับ 0.3 วินาที

3.3. กำหนดการเชิงเส้น

วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรทุกตัวเป็นแบบเชิงเส้น หรืออาจไม่มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น แต่ต้องทำการปรับค่าของตัวแปรโดยมีข้อจำกัดจำนวนมาก เพื่อให้เป็นแบบเชิงเส้น โดยกระทำภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ เพื่อเลือกทางเลือกที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ได้แก่ การหาค่าสูงสุด (maximize) หรือค่าต่ำสุด (minimize)

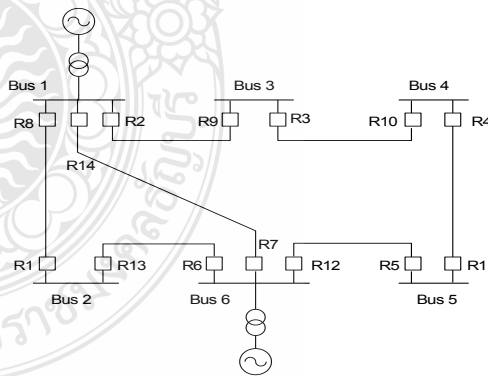
โครงสร้างของกำหนดการเชิงเส้นประกอบด้วย

1. ตัวแปรที่ต้องตัดสินใจ (Decision variable) คือ สิ่งที่ต้องการหาผลลัพธ์
2. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) คือ จะต้องมีการวัตถุประสงค์เดียว ซึ่งอยู่ในรูปของเป้าหมายการหาค่าสูงสุด (maximize) หรือค่าต่ำสุด (minimize)
3. เงื่อนไขบังคับ (Constraints) คือ สมการหรืออสมการที่แสดงถึงขีดจำกัดในด้านความต้องการ หรือเงื่อนไขต่างๆ ของปัญหา
4. ข้อจำกัด (Restriction) คือ จะมีค่าตัวแปรที่ต้องตัดสินใจทุกตัวที่มีค่าไม่ติดลบ

4. การวิเคราะห์และระบบทดสอบ

4.1 กระแสไฟฟ้าลัดวงจรของรีเลย์หลักและรีเลย์สำรอง

การหาค่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของระบบ จะใช้โปรแกรม Power World Simulator โดยระบบที่พิจารณาเป็นระบบทดสอบขนาด 6 บัส ซึ่งประกอบด้วยสายส่งจำนวน 7 เส้น หม้อแปลง 2 ตัว รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทาง 14 ตัว แสดงดังรูปที่ 2 [6] กำหนดข้อมูลของสายส่ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง กระแสไฟฟ้าลัดวงจรของรีเลย์หลักและรีเลย์สำรอง ดังตารางที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ [6]



รูปที่ 2 ระบบทดสอบขนาด 6 บัส

ตารางที่ 1 ข้อมูลของสายส่ง

สายส่ง	R (pu)	X (pu)	V (kv)
1	0.0018	0.0222	150
2	0.0018	0.0222	150
3	0.0018	0.02	150
4	0.0022	0.02	150
5	0.0022	0.02	150
6	0.0018	0.02	150
7	0.0022	0.0222	150

ตารางที่ 2 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	R (pu)	X (pu)	V (kv)
	0.000001	0.1	10

ตารางที่ 3 ข้อมูลของหม้อแปลง

หม้อแปลง	R (pu)	X (pu)
	0.000001	0.026666

ตารางที่ 4 ข้อมูลกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของรีเลย์หลักและรีเลย์สำรอง

บัสที่ ลัดวงจร	รีเลย์ หลัก	รีเลย์ สำรอง	กระแสลัดวงจร ด้านปฐมภูมิ	กระแสลัดวงจร ด้านทุติยภูมิ
1	8	7	4,961.63	1,520.90
	8	9	4,961.63	410.83
	2	1	5,362.16	804.88
	2	7	5,362.16	1,528.07
	14	1	4,232.59	794.10
2	13	8	2,490.68	2,490.68
	13	8	2,490.68	2,490.68
3	3	2	3,334.45	3,334.45
	9	10	1,443.65	1,443.65
4	4	3	2,234.28	2,234.28
	10	11	2,334.62	2,334.62
5	5	4	1,352.84	1,352.84
	11	12	3,480.70	3,480.70
6	6	5	4,964.96	411.35
	6	14	4,964.96	1,522.84
	12	13	5,364.96	805.53
	12	14	5,364.96	1,529.3
	7	5	4,232.58	407.23
	7	13	4,232.58	794.09

4.2 กระแสไฟฟ้าในสภาวะปกติ

พิจารณาในสภาวะที่ระบบมีการจ่ายโหลด กำหนดโหลดที่บัส 2 มีขนาด 30 MW 10 MVAR โหลดที่บัส 3 มีขนาด 40 MW 15 MVAR, โหลดที่บัส 4 มีขนาด 25 MW 10 MVAR, โหลดที่บัส 5 มีขนาด 10 MW 8 MVAR และโหลดที่บัส 6 มีขนาด 20 MW 5 MVAR ซึ่งได้ค่ากระแสไฟฟ้าของระบบดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 กระแสไฟฟ้าในสภาวะจ่ายโหลด

รีเลย์	กระแสโหลด	รีเลย์	กระแสโหลด
1	132.69	8	132.69
2	220.51	9	220.51
3	54.62	10	54.62
4	52.1	11	52.1
5	101.79	12	101.79
6	26.1	13	26.1
7	145.08	14	145.08

จากนั้น เลือกอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส โดยพิจารณาจากการยอมให้เกิดสภาวะโหลดเกินได้ไม่เกิน 150% จะได้ค่าดังตารางที่ 6 เมื่อเลือกค่าอัตราส่วนหม้อแปลงกระแสของรีเลย์แต่ละตัวแล้ว สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) และสมการเงื่อนไขได้ แสดงค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 7 และตารางที่ 8

ตารางที่ 6 อัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส

รีเลย์	อัตราส่วน หม้อแปลง	รีเลย์	อัตราส่วน หม้อแปลง
1	200:5	8	200:5
2	400:5	9	400:5
3	100:5	10	100:5
4	100:5	11	100:5
5	150:5	12	150:5
6	50:5	13	50:5
7	250:5	14	250:5

ตารางที่ 7 ค่าคงที่ aⁱ, bⁱ, cⁱ และ dⁱ

รีเลย์	ใกล้จุดลัดวงจร		รีเลย์	ไกลจุดลัดวงจร	
	a ⁱ	b ⁱ		c ⁱ	d ⁱ
1	67.06	3.32	8	63.19	3.32
2	67.02	2.76	9	5.35	2.76
3	166.72	2.73	10	73.08	2.73
4	111.71	2.61	11	117.70	2.61
5	45.05	3.39	12	116.94	3.39
6	496.48	2.61	13	82.95	2.61
7	84.65	2.90	14	31.31	2.90
8	124.04	3.32	1	20.79	3.32
9	18.05	2.76	2	42.03	2.76
10	116.72	2.73	3	112.66	2.73
11	174.03	2.61	4	68.50	2.61
12	178.81	3.39	5	14.23	3.39
13	249.06	2.61	6	272.05	2.61
14	84.65	2.90	7	31.31	2.90

ตารางที่ 8 ค่าคงที่ eⁱ, fⁱ, gⁱ และ hⁱ

รีเลย์	รีเลย์สำรอง		รีเลย์	รีเลย์หลัก	
	e ⁱ	f ⁱ		g ⁱ	h ⁱ
1	20.12	3.32	2	67.03	2.76
1	19.85	3.32	14	84.65	2.90
1	7.83	3.32	2	42.03	2.76
2	41.68	2.76	3	166.72	2.73
2	28.16	2.76	3	112.66	2.73
3	111.71	2.73	4	111.71	2.61
3	68.50	2.73	4	68.50	2.61
4	67.64	2.61	5	45.09	3.39
4	21.36	2.61	5	14.24	3.39
5	13.57	3.39	7	84.65	2.90
5	13.71	3.39	6	496.50	2.61
6	268.24	2.61	1	67.06	3.32
6	83.16	2.61	1	20.79	3.32
7	30.42	2.90	8	124.04	3.32
7	30.56	2.90	2	67.03	2.76
7	11.89	2.90	2	42.03	2.76
8	62.27	3.32	13	249.07	2.61
8	20.74	3.32	13	82.96	2.61
9	5.14	2.76	8	124.04	3.32
9	5.09	2.76	14	84.65	2.90
10	72.18	2.73	9	18.05	2.76
10	21.42	2.73	9	5.35	2.76
11	116.73	2.61	10	116.73	2.73
11	73.09	2.61	10	73.09	2.73
12	116.02	3.39	11	174.04	2.61
12	78.47	3.39	11	117.70	2.61
13	80.55	2.61	12	178.83	3.39
13	79.41	2.61	7	84.65	2.90
13	35.17	2.61	12	116.96	3.39
14	30.46	2.90	6	496.50	2.61
14	30.59	2.90	12	178.83	3.39
14	13.36	2.90	12	116.96	2.90

4.3 ผลลัพธ์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

หาค่าของเวลาในการจัดลำดับความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทาง และหาค่าจำนวนเท่าของเวลาการทำงานของรีเลย์ทุกตัว โดยใช้วิธีกำหนดการเชิงเส้น [7-8] จะได้ผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าจำนวนเท่าของเวลาการทำงานของรีเลย์

รีเลย์	จำนวนเท่าของเวลาการทำงาน	รีเลย์	จำนวนเท่าของเวลาการทำงาน
1	0.3223	8	0.5320
2	0.4833	9	0.0777
3	0.5918	10	0.4102
4	0.4428	11	0.5746
5	0.2311	12	0.6216
6	0.8019	13	0.6716
7	0.4378	14	0.4419

จะได้ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าเท่ากับ 30.0752 วินาที

5.สรุป

ปัญหาการจัดลำดับความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทางในระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อป้องกันความผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้านี้ ได้นำวิธีกำหนดการเชิงเส้นซึ่งเป็นเครื่องมือของโปรแกรมแมทแลปมาใช้ในการแก้ปัญหา โดยพิจารณาระบบทดสอบขนาด 6 บัส เพื่อหาค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โดยมีความต้องการหาค่าเวลาที่น้อยที่สุดในการทำงานร่วมกันของรีเลย์ ซึ่งจากการแก้ปัญหา จะได้ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าเท่ากับ 30.0752 วินาทีและหาค่าจำนวนเท่าของเวลาการทำงาน สำหรับการปรับตั้งของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทางทุกตัวในระบบไฟฟ้ากำลัง จากการนำวิธีกำหนดการเชิงเส้นมาแก้ปัญหาในเรื่องนี้ เนื่องจากวิธีกำหนดการเชิงเส้นเป็นวิธีการอย่างง่ายและไม่ซับซ้อนในการแก้ปัญหา เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาแบบเชิงเส้น จึงได้นำวิธีการนี้มาใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งเป็นวิธีการที่ดีวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kawahara K., Sasaki H., and Sugihara H., "An application of rule based system to the coordination of directional overcurrent relays". Developments in power system protection, Sixth International Conference on(Conf. Publ.No 434),1997,Page:58-61.
- [2] Aggarwai C.,Mangalvedekar H.A., and Chaudhari H.B., "Effect of fault location on optimal coordination of directional Overcurrent relay". Tencon 2008-2009 IEEE Region 10 conference, pp.1-5.
- [3] Bedekar P.P., Bhide S.R., and Kale V.S.,"Optimum Coordination of Overcurrent Relays in Distribution System Using Dual Simplex Method", Emerging Trends in Engineering and Technology ICETET), 2009 2nd International

Conference on. , pp.555-559.

- [4] Bedekar P.P., Bhide S.R., and Kale V.S.," Optimum Coordination of Overcurrent relays in distribution system using genetic algorithm",Powersystems,2009.ICPS'09. International conference on.Page.1-6
- [5] Bedekar P.P., Bhide S.R., and Kale V.S.," Optimum Time Coordination of Overcurrent Relays in Distribution System Using Big-M (Penalty) Method",WSEAS transactions on Power systems. Issue 11, Volume 4, November 2009.
- [6] Thangaraj R., Pant M., and Deep K., "Optimal Coordination of Overcurrent Relays using Modified Differential Evolution Algorithms", Engineering Applications of Artificial Intelligence, Elsevier Science, Vol. 23 (5), pp. 820 – 829, 2010.
- [7] The MathWorks Inc., Optimization Toolbox, CD-ROM Manual,2004.
- [8] Chattopadhyay B., Sachdev M.S., and Sidhu T.S., "An on-line relay coordination algorithm for adaptive protection using linear programming technique" ,Power Delivery,IEEE Transactions on Vol. 11, Issue 1, pp. 165 - 173, 1996.