บทที่ 5

การทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์

เป้าหมายหลักของการออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์คือ การสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 μs และ 4/10 μs เพื่อใช้ทดสอบกับดักเสิร์จ ดังนั้นเพื่อตรวจสอบผลของออกแบบ และการประกอบสร้างเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ว่าได้ผลตามที่ตั้งเป้าไว้หรือไม่ จึงต้องมีการทดสอบ โดยใช้มาตรฐาน IEC 60-1[3] เป็นเกณฑ์ตัดสินพิจารณาคุณภาพของผลงานเพื่อการวิเคราะห์และประเมินผล ซึ่งมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

1) การทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 μs
2) การทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 4/10 μs
3) การทดลองใช้งานจริง

5.1 การทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 μs

การทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ในการสร้างรูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 μs ที่ระดับพิกัด 75 kA เพื่อใช้ทดสอบหาค่าแรงดันค้างเหลือ (Residual voltage test) ของกับดักเสิร์จที่ออกแบบสร้างขึ้น ซึ่งเป็นหัวข้อหนึ่งของการทดสอบการออกแบบ (Type Test) โดยมาตรฐานกำหนดว่าจะทดสอบกับดักเสิร์จตัวอย่างเป็นจำนวน 3 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างจะทดสอบที่ขนาดกระแส 0.5, 1 และ 2 เท่าของกระแสพิกัดกับดักเสิร์จ โดยทิ้งระยะเวลาในการทดสอบเพื่อรอจนกับดักเสิร์จเย็นตัว เนื่องจากการทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์ขนาดกระแสอิมพัลส์ 75 kA เป็นขนาดกระแสที่เกินจากพิกัดอุปกรณ์วัดกระแสมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ ที่มีขนาดกระแสพิกัด 50 kA ดังนั้นเพื่อให้สามารถทดสอบได้ถึง 75 kA จะทำการวัดโดยใช้โรกอปสกี้คอยล์ชนิด RC integrator ที่ออกแบบสร้างขึ้น

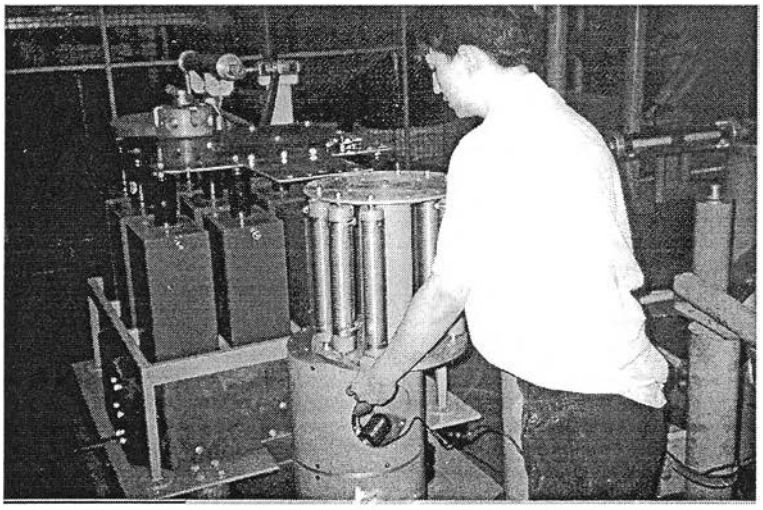
การทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์เพื่อดูถึงขนาดกระแสอิมพัลส์ที่สร้างได้ และเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 8/20 μs ตามความสัมพันธ์ที่ได้ในบทที่ 3 และเพื่อให้การทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 μs ตรงกับสภาวะที่เครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์จะนำไปใช้งานจริง จะมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1) จัดเตรียมวงจรทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ที่ติดตั้งองค์ประกอบความต้านทานสำหรับรูปคลื่น 8/20 μs แล้วดังรูปที่ 5.1 (a) และในส่วนของวงจรวัดจะใช้โรกอปสกี้คอยล์ชนิด RC integrator ที่ออกแบบสร้างขึ้นติดตั้งดังรูปที่ 5.1 (b) ในช่วงที่ขนาดกระแสอิมพัลส์ไม่เกิน 40

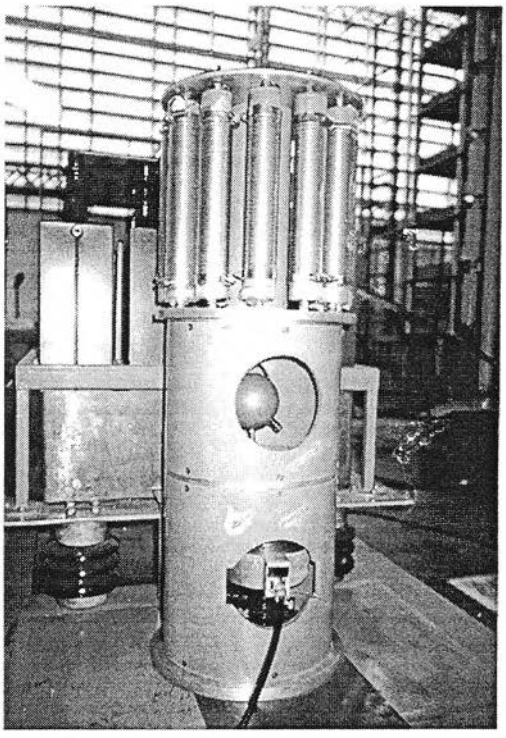
kA จะมีการติดตั้งตัววัดกระแสมาตรฐาน เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับโรกอปสกี้คอยล์ชนิด RC integrator สำหรับวงจรทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.1 (c)

2) ทำการป้อนแรงดันอัดประจุซึ่งสัมพันธ์กับกระแสที่ต้องการตามสมการ (3.5) โดยจะทำการสร้างกระแสทดสอบที่ขนาดกระแส 10 kA, 20 kA, 30 kA, 40kA, 50 kA, 60 kA, 72 kA และ 75 kA ทั้งขั้วบวกและขั้วลบ ทำการทดสอบสร้างค่าละ 3 ครั้ง

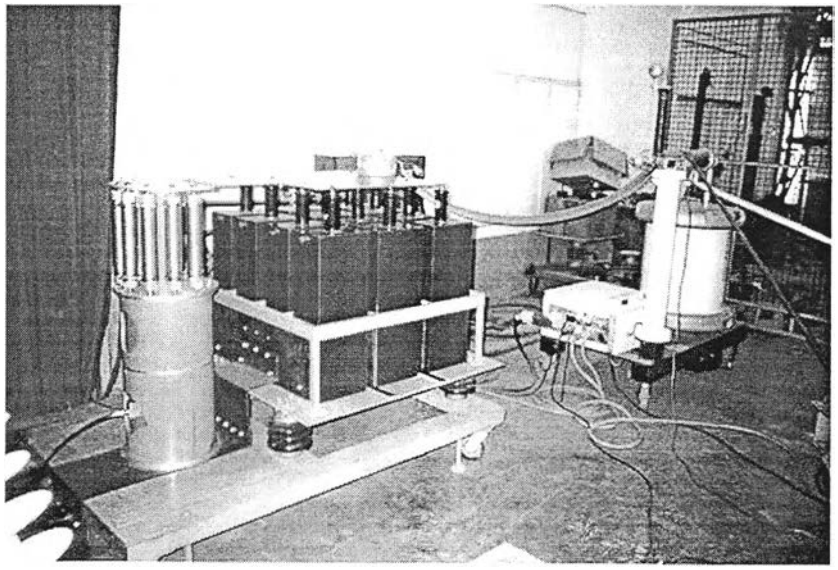
3) นำค่าแรงดันอัดประจุ และขนาดกระแสอิมพัลส์ที่ได้ไปพล็อตหาความสัมพันธ์ โดยให้แกนตั้งเป็นขนาดกระแสอิมพัลส์ และแกนนอนเป็นแรงดันอัดประจุ จะได้ค่าความชันสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 μs



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 5.1 (a) การติดตั้งองค์ประกอบความต้านทานรูปคลื่น 8/20 μs
(b) การวัดกระแสอิมพัลส์
(c) วงจรเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์

5.2 การทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 4/10 μs

การทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ในการสร้างรูปคลื่นมาตรฐาน 4/10 μs ที่ระดับพิกัด 75 kA รูปคลื่นมาตรฐานดังกล่าวใช้เพื่อการทดสอบกับดักเสิร์จที่ออกแบบสร้างขึ้นในสภาวะใช้งาน (Operating – duty test) ซึ่งเป็นหัวข้อหนึ่งในการทดสอบการออกแบบ (Type Test) โดยมาตรฐานได้กำหนดว่าจะทดสอบกับดักเสิร์จตัวอย่างเป็นจำนวน 3 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างใช้ขนาดกระแสทดสอบที่สัมพันธ์กับขนาดกระแสพิกัดของกับดักเสิร์จดังตารางที่ 1.1 การทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์ขนาดกระแสอิมพัลส์ 75 kA เป็นขนาดกระแสที่เกินจากพิกัดอุปกรณ์วัดกระแสมาตรฐานในห้องปฏิบัติการที่มีขนาดกระแสพิกัด 50 kA ดังนั้นเพื่อให้สามารถทดสอบได้ถึง 75 kA จึงใช้โรกอปสกี้คอยล์ชนิด RC integrator ที่ออกแบบสร้างขึ้นเป็นอุปกรณ์วัดกระแสอิมพัลส์

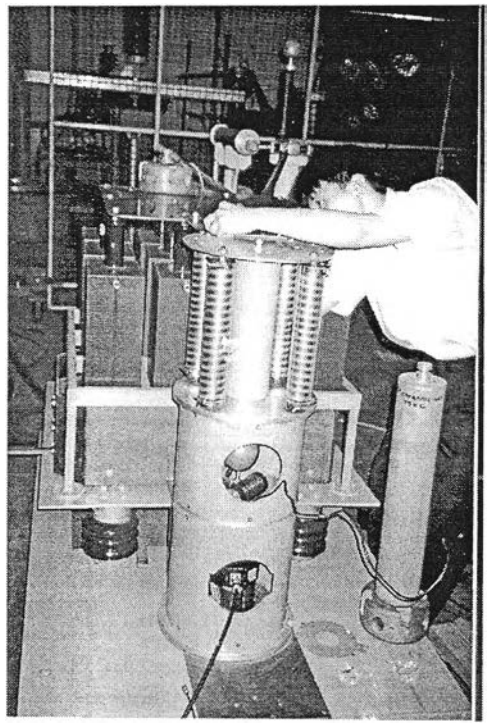
การทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 4/10 μs เพื่อดูถึงขนาดกระแสอิมพัลส์ รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์สำหรับรูปคลื่น 4/10 μs ตามความสัมพันธ์ที่ได้ในบทที่ 3 และเพื่อให้การทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 4/10 μs ตรงกับสภาวะที่เครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์จะนำไปใช้งานจริง มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1) ทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์และหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ 4/10 μs ตามความสัมพันธ์ที่ได้ในบทที่ 3 โดยจัดเตรียมวงจรทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ที่ติดตั้งองค์ประกอบความต้านทานสำหรับรูปคลื่น 4/10 μs ประกอบขึ้นดังรูปที่ 5.2 และส่วนของ

วงจรวัดก็จะใช้โรกอปสกี้คอยล์ชนิด RC integrator ที่ออกแบบสร้างขึ้นติดตั้งดังรูปที่ 5.1 (b) ในช่วงที่ขนาดกระแสไม่เกิน 20 kA จะมีการติดตั้งตัววัดกระแสมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ด้วย

2) ทำการป้อนแรงดันอัดประจุซึ่งสัมพันธ์กับกระแสที่ต้องการตามสมการที่ (3.5) โดยจะทำการสร้างกระแสทดสอบที่ขนาดกระแสตั้งแต่ 10 kA จนถึง 75 kA ทั้งขั้วบวกและขั้วลบ ทดสอบสร้างค่าละ 3 ครั้ง

3) นำค่าแรงดันอัดประจุ และขนาดกระแสอิมพัลส์ที่ได้ไปพล็อตหาความสัมพันธ์ โดยให้แกนตั้งเป็นขนาดกระแสอิมพัลส์ และแกนนอนเป็นแรงดันอัดประจุ จะได้ค่าความชันสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 4/10 μs



รูปที่ 5.2 การติดตั้งองค์ประกอบความต้านทานรูปคลื่น 4/10 μs

5.2 การทดลองใช้งานจริง

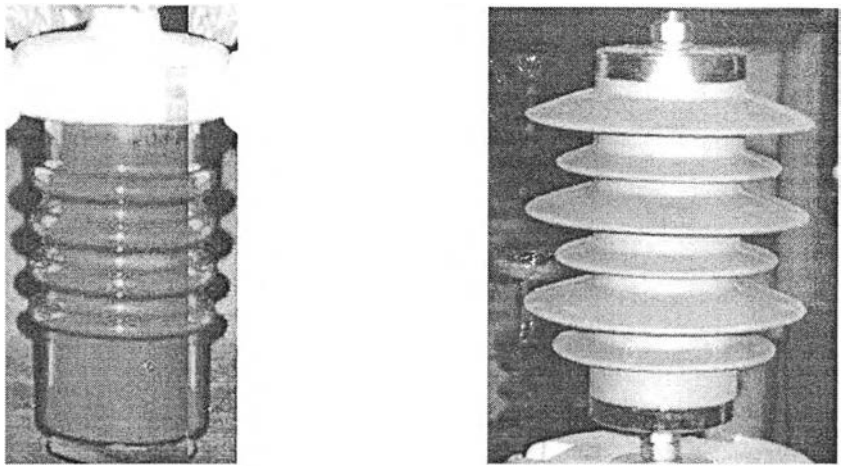
ตามมาตรฐาน IEC Publ. No. 99-1 [16] สำหรับกับดักเสิร์จชนิดมีแกปได้แก่ Silicon Carbide และ IEC Publ. No. 99-4 [1] สำหรับกับดักเสิร์จชนิดไม่มีแกปได้แก่ Zinc Oxide ได้กำหนดให้มีการทดสอบคุณสมบัติของกับดักเสิร์จ แบ่งได้เป็นการทดสอบการออกแบบ (Design test or type test), การทดสอบประจำ (Routine test) และการทดสอบเพื่อการตรวจรับ (Acceptance test) การทดสอบการออกแบบนับว่าเป็นการทดสอบที่มีความสำคัญมากโดยจะแบ่งการทดสอบกับดักเสิร์จออกเป็นการทดสอบย่อยหลายอย่าง

ตามมาตรฐาน IEC Publ. No. 99-1 [16] การทดสอบกับดักเสิร์จชนิดมีแกปกำหนดให้ใช้กระแสอิมพัลส์ในการทดสอบ โดยกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 8/20 μs จะใช้ในการทดสอบแรงดันค้างเหลือ (Residual voltage test) และการทดสอบแรงดันค้างเหลือเนื่องมาจากกระแสฟ้าผ่าที่สภาวะใช้งาน (Lightning impulse operating duty test) สำหรับกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 4/10 μs จะใช้ในการทดสอบความคงทนต่อกระแสอิมพัลส์ (Current impulse withstand) ซึ่งก่อนการทดสอบดังกล่าว จะต้องมีการทดสอบหาค่าแรงดันสปาร์กผ่านของกับดักเสิร์จ (Standard lightning-voltage impulse spark over test) ด้วยแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่น 1.2/50 μs

ตามมาตรฐาน IEC Publ. No. 99-4 [1] การทดสอบกับดักเสิร์จชนิดไม่มีแกปกำหนดให้ใช้กระแสอิมพัลส์ในการทดสอบ โดยกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 8/20 μs จะใช้ในการทดสอบแรงดันค้างเหลือ (Residual voltage test) ในส่วนของการทดสอบแรงดันค้างเหลือเนื่องมาจากกระแสฟ้าผ่า (Lightning impulse operating duty test) สำหรับกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 4/10 μs จะใช้ในการทดสอบความคงทนต่อกระแสอิมพัลส์ที่สภาวะใช้งาน (High current impulse operating duty test) เพื่อดูถึงความคงทนอยู่ได้ของกับดักเสิร์จต่อกระแสอิมพัลส์ความชันสูง ซึ่งกับดักเสิร์จสามารถเย็นตัวลงได้โดยไม่เกิดผลกระทบทางความร้อน (Thermal runaway) โดยก่อนการทดสอบจะต้องหาค่าแรงดันสปาร์กผ่านของกับดักเสิร์จ (Lightning impulse voltage test) เช่นกัน โดยใช้แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่น 1.2/50 μs

ดังนั้นเพื่อเป็นการพิสูจน์ให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ที่ออกแบบสร้างขึ้นสามารถใช้งานได้จริง จึงใช้เครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ที่สร้างขึ้นทดสอบหาค่าแรงดันค้างเหลือของกับดักเสิร์จด้วยรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ 8/20 μs โดยก่อนการทดสอบจะหาค่าแรงดันสปาร์กผ่านของกับดักเสิร์จโดยใช้แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่น 1.2/50 μs

การทดสอบหาค่าแรงดันค้างเหลือของกับดักเสิร์จ จะทดสอบกับดักเสิร์จ 2 ชนิดได้แก่ กับดักเสิร์จชนิดมีแกปได้แก่ Silicon Carbide ขนาด 5kV 10 kA ดังรูปที่ 5.3 (a) และกับดักเสิร์จชนิดไม่มีแกปได้แก่ Zinc Oxide ขนาด 5kV 10 kA ดังรูปที่ 5.3 (b)



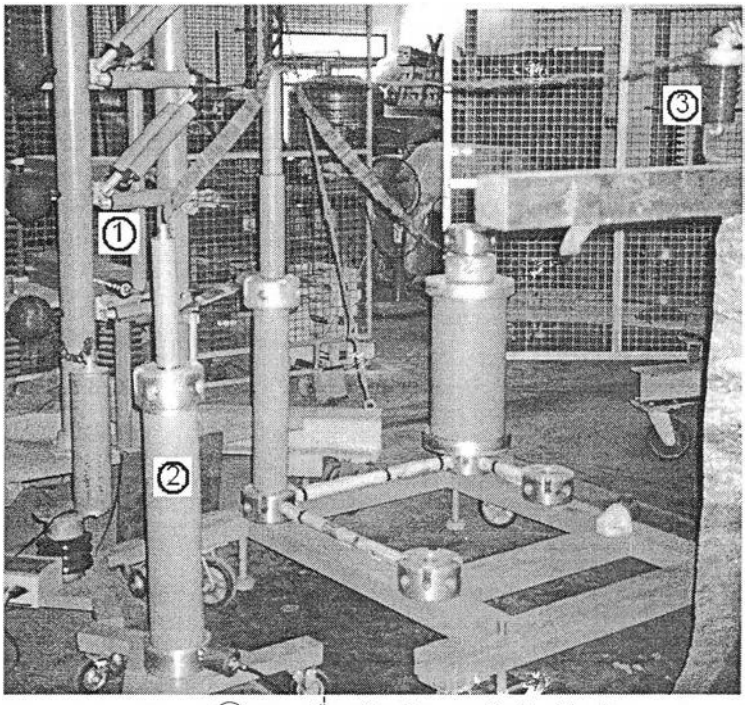
(a) (b)

รูปที่ 5.3 (a) กับดักเสิร์จชนิดมีแกป และ (b) กับดักเสิร์จชนิดไม่มีแกป

การทดสอบหาค่าแรงดันค้างเหลือของกับดักเสิร์จพิกัดกระแส 10 kA มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1) ทดสอบหาค่าแรงดันสปาร์กผ่าน (Sparkover voltage) ของกับดักเสิร์จโดยใช้เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ดังรูปที่ 5.4 (a) กับดักเสิร์จชนิดมีแกป Silicon Carbide และ 5.4 (b) กับดักเสิร์จชนิดไม่มีแกป Zinc Oxide เพื่อหาค่าแรงดันสปาร์กผ่านและเป็นการตรวจสอบดูว่าแรงดันสปาร์กผ่านจะไม่เกิน 50 kV ที่เป็นแรงดันพิกัดของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์

2) ติดตั้งองค์ประกอบความต้านทานสำหรับรูปคลื่น 8/20 μs เข้ากับเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ หลังจากนั้นจึงนำกับดักเสิร์จตัวอย่างต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์เพื่อทดสอบหาค่าแรงดันค้างเหลือดังวงจรทดสอบในรูปที่ 5.5 ทำการป้อนกระแสอิมพัลส์ 8/20 μs ที่ขนาดกระแสอย่างน้อย 0.5, 1 และ 2 เท่ากระแสพิกัดของกับดักเสิร์จเพื่อนำค่าที่ได้มาพล็อตหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันค้างเหลือและกระแสที่ไหลผ่าน (Residual-voltage/discharge current curve) สำหรับการวัด จะใช้โรกอปสกี้คอยล์ชนิด RC integrator วัดกระแสอิมพัลส์ที่ไหลผ่านกับดักเสิร์จ และ อิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์วัดแรงดันค้างเหลือที่เกิดขึ้น

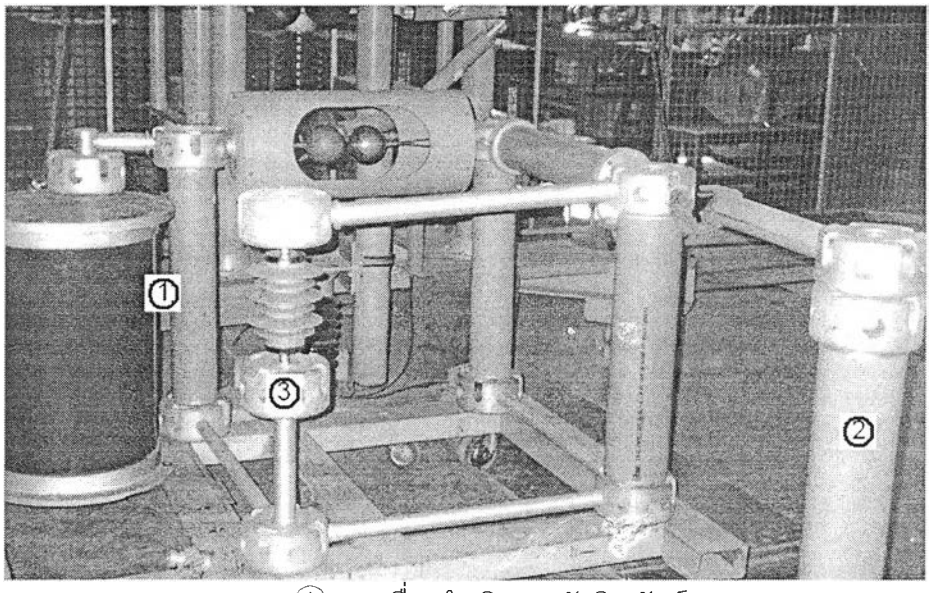


① = เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

② = อิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์

③ = กับดักเสิร์จ

(a)



① = เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

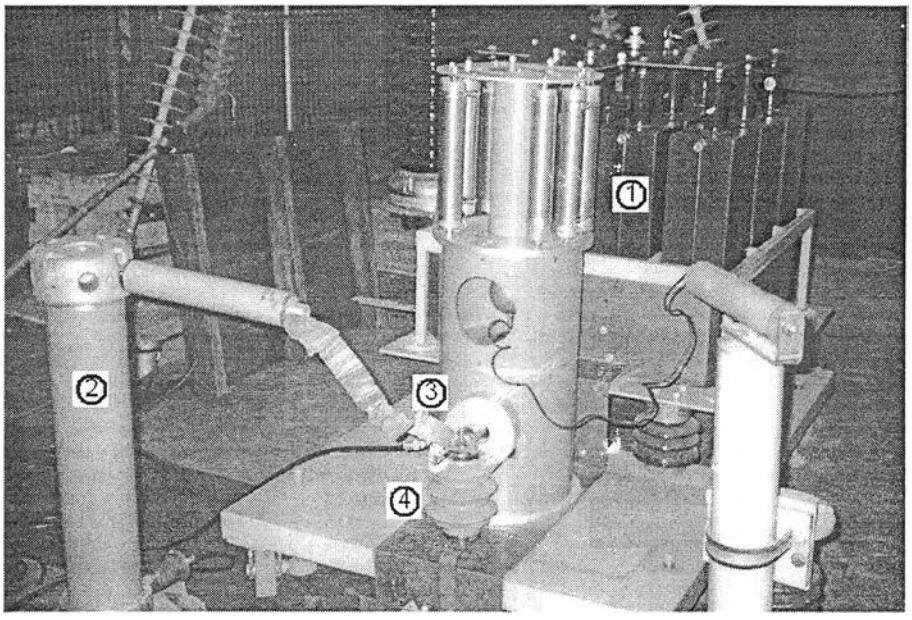
② = อิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์

③ = กับดักเสิร์จ

(b)

รูปที่ 5.4 (a) วงจรทดสอบหาแรงดันสปาร์กผ่านของกับดักเสิร์จชนิดมีแกป

(b) วงจรทดสอบหาแรงดันสปาร์กผ่านของกับดักเสิร์จชนิดไม่มีแกป



① = เครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์

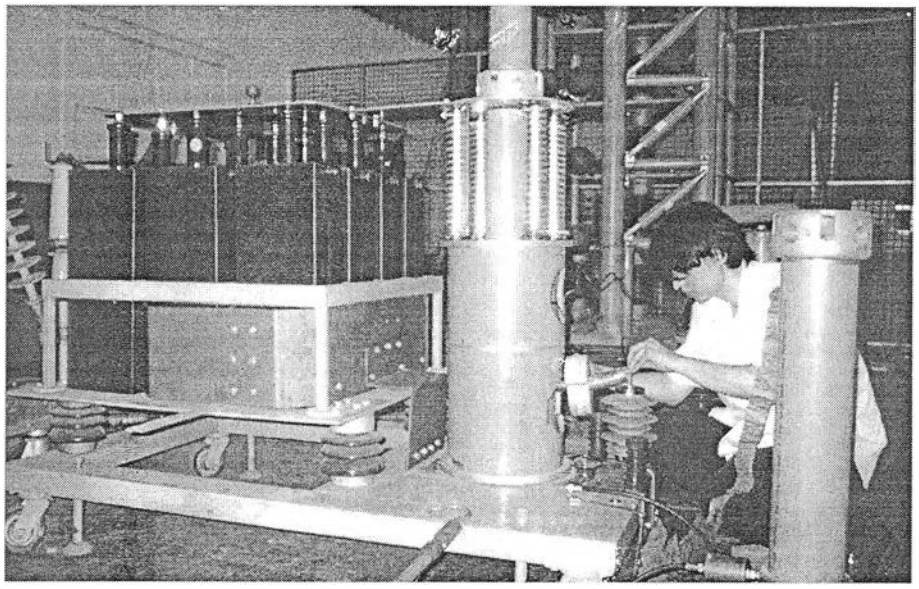
② = อิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์

③ = โรกอปสกี้คอยล์ชนิด RC integrator

④ = กับดักเสิร์จ

รูปที่ 5.5 วงจรทดสอบหาแรงดันค้างเหลือของกับดักเสิร์จ

3) การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบเพื่อแสดงว่า เครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ที่สร้างขึ้นสามารถสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 4/10 μs ผ่านกับดักเสิร์จตัวอย่างได้สูงสุดถึง 65 kA จาก 100 kA ตามที่มีการกำหนดไว้ในมาตรฐาน [1],[16] โดยติดตั้งกับดักเสิร์จตัวอย่างชนิดไม่มีแกปและองค์ประกอบความต้านทานสำหรับรูปคลื่น 4/10 μs เข้ากับเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ ดังวงจรทดสอบในรูปที่ 5.6 ทำการป้อนกระแสอิมพัลส์ 4/10 μs ผ่านกับดักเสิร์จตัวอย่างจนได้ขนาดกระแส 65 kA ในส่วนของการวัดจะใช้โรกอปสกี้คอยล์ชนิด RC integrator วัดกระแสอิมพัลส์ที่ไหลผ่านกับดักเสิร์จ และอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์วัดแรงดันตกคร่อมกับดักเสิร์จ



รูปที่ 5.6 วงจรทดสอบความคงทนต่อกระแสอิมพัลส์ของกับดักเสิร์จ