หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำทั่วไป

1.1 บทนำ

ในช่วงระยะ 10 ปีที่ผ่านมาการพัฒนาอุตสาหกรรมไฟฟ้าแรงสูงในประเทศได้เจริญก้าวหน้ามากขึ้น และรัฐบาลมีนโยบายที่จะส่งเสริมให้โรงงานอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงขึ้นเอง เพื่อช่วยให้เศรษฐกิจของประเทศดีขึ้น ดังนั้นความต้องการในด้านเทคนิคไฟฟ้าแรงสูงจึงได้เพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงในปัจจุบันอยู่ในย่านแรงดันสูงปานกลาง คือ ระดับระบบจำหน่ายตั้งแต่ 1 กิโลโวลต์ ไปจนถึง 36 กิโลโวลต์ เช่น ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า สายเคเบิล หม้อแปลงไฟฟ้า สวิทช์ตัดตอน สวิตช์บอร์ด ตู้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง และวัสดุฉนวน เป็นต้น แต่ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าก็ได้เพิ่มมากขึ้นทุกวัน ฉะนั้นการไฟฟ้าจำเป็นต้องพัฒนาการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ทันกับความต้องการ นั่นหมายถึงต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงในระบบส่งจำหน่ายอีกเป็นจำนวนมาก เพื่อลดปริมาณการสั่งซื้อจากต่างประเทศให้เหลือน้อยที่สุด จำเป็นต้องส่งเสริมอุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงให้สามารถผลิตได้เองภายในประเทศให้มากยิ่งขึ้น

การสร้าง หรือผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเหล่านี้ จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด หรือมาตรฐาน กล่าวคือ จะต้องมีคุณลักษณะใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ในทางปฏิบัติอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ในขณะใช้งานมีโอกาสที่จะได้รับแรงดันเกิน ซึ่งอาจอยู่ในรูปแรงดันเกินสวิทชิ่ง (Switching overvoltage) หรือแรงดันเกินแบบฟ้าผ่า (lightning overvoltage) ฉะนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจได้ว่าอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้เมื่อนำไปใช้งานจะมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้ และไม่เป็นเหตุให้เกิดความผิดพร่อง (fault) ในระบบอันเนื่องมาจากความล้มเหลวของการฉนวน จึงจำเป็นต้องทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้นก่อนนำไปใช้งาน โดยเหตุที่การฉนวนของอุปกรณ์เหล่านี้จะต้องมีความคงทนต่อแรงดันเกินแบบฟ้าผ่าได้ จึงต้องทำการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ที่มีรูปคลื่นเลียนแบบมาจากแรงดันฟ้าผ่าตามธรรมชาติ การทดสอบการฉนวนขั้นพื้นฐานด้วยแรงดันอิมพัลส์ที่เรียกว่า Basic Impulse Insulation Level (BIL) ขนาดของแรงดันทดสอบอุปกรณ์ขึ้นอยู่กับระบบแรงดันที่อุปกรณ์เหล่านั้นใช้งาน ดังตัวอย่างแรงดันทดสอบที่มาตรฐานสากลไออีซี {3} กำหนดไว้ดังนี้ คือ

ตารางที่ 1.1

แรงดันทดสอบระดับการฉนวนสำหรับแรงดันระบบสูงสุดมากกว่า 1 kV แต่น้อยกว่า 52 kV

Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)		Rated power-frequency short duration withstand voltage (r.m.s.)
	List 1	List 2	
kV	kV	kV	kV
3.6	20	40	10
7.2	40	60	20
12	60	75	28
17.5	75	95	38
24	95	125	50
36	145	170	70

ตารางที่ 1.2

แรงดันทดสอบระดับการฉนวนสำหรับแรงดันระบบสูงสุดตั้งแต่ 52 kV แต่น้อยกว่า 300 kV

1	2	3	4
Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.)	Base for p.u. values $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (peak)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)	Rated power-frequency short duration withstand voltage (r.m.s.)
kV	kV	kV	kV
52	42.5	250	95
72.5	59	325	140
123	100	450	185
145	118	550	230
170	139	650	275
245	200	750	325
		850	360
		950	395
		1050	460

อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงบางประเภทมีโอกาสเกิดวาบไฟตามผิว ซึ่งอาจเกิดขึ้นเองโดยหลีกเลี่ยงไม่ได้หรือเกิดขึ้นโดยที่กำหนดให้เกิด ดังเช่นเกิดวาบไฟตามผิวที่ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า ที่บุชชิ่งของหม้อแปลง ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างอิเลคโตรดที่ใส่ป้องกันแรงดันเกิน การเกิดลักษณะนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงขึ้นที่ขดลวดของหม้อแปลง โดยเฉพาะรอบต้นๆของขดลวด ฉะนั้นการฉนวนของหม้อแปลงจะต้องทนต่อความเครียดนี้ได้ มาตรฐานจึงได้กำหนดให้อุปกรณ์ประเภทนี้ต้องทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัด (chopped impulse voltage) ด้วย เพราะตามสภาพการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงนั้นส่วนมากจะอยู่กลางแจ้ง อาจได้รับทั้งแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม และแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัด แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดนี้มีความเครียดสนามไฟฟ้า (electric field stress) สูงกว่าแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม เพราะเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอย่างรวดเร็วในขณะคลื่นตัด (chopped wave) จึงต้องทำการทดสอบด้วยคลื่นตัดเพื่อให้เกิดความมั่นใจในเรื่องการฉนวนมากยิ่งขึ้นก่อนที่จะนำไปใช้งาน การทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดมาตรฐานได้กำหนดไว้ว่าขนาดของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดจะต้องไม่น้อยกว่าขนาดของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม และเวลาช่วงคลื่นตัด (time to chopping) ต้องอยู่ระหว่าง 2 กับ 6 ไมโครวินาที จากจุดเริ่มต้นของคลื่นตัด { 2 }

การสร้างแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดทำได้โดยทำให้เกิดการตัดคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ที่สร้างจากเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (impulse voltage generator) ด้วยสปาร์กแกป (spark gap) เช่น ใช้อิเลคโตรดแบบทรงกลม (sphere gap) หรือใช้อีเลคโตรดแท่งกลมปลายมนหรือแท่งกลมปลายตัด (rod gap) แต่การทำให้เกิดคลื่นตัดโดยใช้แท่งกลมปลายมนหรือแท่งกลมปลายตัดนั้น จะใช้ได้ผลถึงค่าแรงดันระดับหนึ่ง ถ้าแรงดันสูงมากกว่านั้นจะทำให้เกิดพรีดิสชาร์จ (predischarge) ที่ปลายอีเลคโตรด เป็นเหตุให้การวัดค่าแรงดันผิดพลาดได้ หากทำให้เกิดคลื่นตัดโดยใช้อีเลคโตรดทรงกลม ขนาดของลูกทรงกลมจะต้องมีขนาดโตขึ้นเมื่อขนาดของแรงดันสูงมากขึ้น อาจจะไม่สะดวกต่อการใช้งาน ข้อเสียที่สำคัญอีกประการหนึ่งของสปาร์กแกปเหล่านี้คือ ไม่สามารถควบคุมเวลาช่วงคลื่นตัดได้แน่นอน ทำให้สร้างแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดได้ไม่ถูกต้องตามความต้องการ ในปัจจุบันนี้สปาร์กแกปที่เหมาะสมในการทำให้เกิดคลื่นตัดได้ถูกต้องแน่นอนโดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันทำได้โดยใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป (multiple chopping gap)

1.2 ปัญหาและวัตถุประสงค์

การทดสอบความคงทนของการฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าต่อแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดนั้น เป็นการทดสอบที่ไม่ทำให้เกิดแตกสลาย (nondisruptive test) มาตรฐานได้ระบุเวลาช่วงคลื่นตัดของแรงดันรูปคลื่นตัดไว้ จึงต้องหาวิธีทำให้เกิดคลื่นตัดที่มีเวลาช่วงคลื่นตัดตามที่กำหนด แต่การป้อนแรงดันอิมพัลส์แต่ละครั้งนั้น ย่อมหมายถึงการฉนวนนั้นย่อมได้รับความบอบช้ำ อันอาจเป็นเหตุให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงนั้นสั้นลงด้วย ฉะนั้นการจะลองป้อนแรงดันอิมพัลส์ให้เกิดรูปคลื่นตัดด้วยสปาร์กแกป เพื่อให้ได้เวลาช่วงคลื่นตัดได้ตามที่กำหนดนั้นย่อมทำได้ยาก ปัญหานี้อาจแก้ได้โดยใช้มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปแทนแกปชนิดแท่งกลมปลายมนธรรมดา มัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปที่กล่าวถึงนี้เริ่มใช้ในต่างประเทศเมื่อไม่กี่ปีมานี้เอง จึงนับว่าเป็นของใหม่สำหรับประเทศเรา สมควรที่จะได้ค้นคว้าศึกษาวิจัยเพื่อให้เกิดความรู้และความสามารถในการสร้างมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปขึ้นใช้เอง โดยอาศัยวัสดุและอุปกรณ์ที่พอจะหาได้ภายในประเทศ

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ผลิตได้ภายในประเทศ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น มีขนาดแรงดันสูงสุดไม่เกิน 72.5 กิโลโวลต์ ฉะนั้นการศึกษาวิจัยสร้างมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปในที่นี้จึงเลือกจากขนาดแรงดันทดสอบ BIL ของแรงดันระบบนี้เป็นเกณฑ์ จากตารางที่ 1.1 และ 1.2 จะเห็นได้ว่าจะทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ไม่เกิน 325 กิโลโวลต์ และด้วยเหตุผลในแง่วิศวกรรม จึงสร้างมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปขนาด 400 กิโลโวลต์ ประจวบกับในปี พ.ศ.2524 รัฐบาลประเทศสวิตเซอร์แลนด์ได้ช่วยเหลืออุปกรณ์ชุดใหม่ ให้กับห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูงของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อุปกรณ์ชุดใหม่นี้ จะรวมถึงเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขนาด 400 กิโลโวลต์ด้วย จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งในการสร้างมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกปขนาด 400 กิโลโวลต์ ซึ่งจะใช้ได้พอดีกับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ชุดนี้ ทำให้การทดลองเกี่ยวกับระบบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดสะดวกยิ่งขึ้น

1.3 ประวัติการวิจัยสร้างมัลติเปิลซ็อบปิ้งแกป

จากการที่พบปัญหาในเรื่องการควบคุมเวลาช่วงคลื่นตัดให้ได้ตามความต้องการ ปัญหาในเรื่องการเกิดพรีดิสชาร์จเมื่อใช้สปาร์กแกปทรงแหลม ปัญหาเรื่องเนื้อที่ในการใช้สปาร์กแกปแบบ

ทรงกลม เมื่อขนาดของแรงดันสูงมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงได้มีผู้พยายามคิดค้นวิธีต่างๆ ที่จะแก้ปัญหา ในปี ค.ศ.1968 T.M. Parnell {4} ได้พยายามใช้แกปชนิดที่มีตัวช่วยกระตุ้นที่แกปเมื่อเวลาต้องการให้เกิดการสปาร์คระหว่างแกปใหญ่ ซึ่งหมายถึงจะช่วยควบคุมเวลาช่วงคลื่นตัดได้พอสมควร แต่ยังมีขีดจำกัดในเรื่องระดับแรงดันยังไม่สูงมากนัก ต่อมาในปี ค.ศ.1972 A. Rodewald {5} ได้คิดค้นระบบการกระตุ้นอย่างใหม่ขึ้นมาโดยใช้แกปย่อยๆ หลายตัวมาต่ออนุกรมกันและแกปตัวล่างจะมีตัวกระตุ้นอยู่ด้วย เพื่อรับสัญญาณกระตุ้น นอกจากนี้แกปแต่ละตัวจะต่อร่วมอยู่กับคะแปซิเตอร์และความต้านทาน เพื่อช่วยควบคุมการกระจายของแรงดันของทุกแกปให้สม่ำเสมอ การกระตุ้นจะเริ่มจากแกปล่างได้รับสัญญาณกระตุ้นเข้ามา ทำให้เกิดการสปาร์กแกปคู่ล่างก่อน แล้วแกปถัดไปจะถูกกระตุ้นให้เกิดการสปาร์กด้วยวงจรของตัวมันเอง หลักการอันนี้สามารถนำไปใช้เป็นสปาร์กแกปที่แรงดันแบบต่างๆ ได้ เช่น แรงดันไฟตรง แรงดันไฟสลับ แรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่ง และแรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่า เป็นต้น นอกจากนี้ยังไม่จำกัดเกี่ยวกับขนาดของแรงดันเพราะว่าถ้าแรงดันสูงมากๆ ก็สามารถออกแบบส่วนประกอบของระบบการกระตุ้นชนิดนี้ให้ทนกับขนาดของแรงดันได้ จากหลักการที่กล่าวมาในปีเดียวกันนี้ K. Feser ได้ร่วมกับ A. Rodewald {6} ทำการสร้างมัลติเปิลช็อบปิ้งแกปสำหรับแรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่าและแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่งขึ้นมามีขนาดถึง 3.6×10^6 โวลต์ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาต่างๆ ในเรื่องการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดได้อย่างดี นอกจากนี้ในการสร้างครั้งนี้ยังได้ออกแบบใช้คะแปซิเตอร์และความต้านทาน เป็นส่วนช่วยในการควบคุมการกระจายแรงดันของแกปแต่ละตัวให้สามารถเป็นภาคแรงสูงของโวลเตจดิไวเดอร์ และออกแบบภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์ให้ใช้กับภาคแรงสูงนี้ได้ ทำให้สามารถทำหน้าที่เป็นโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดคะแปซิเตอร์แบบมีความต้านทานหน่วงค่าต่ำกระจายอยู่ในภาคแรงสูง (Low damped capacitive voltage divider) และคะแปซิเตอร์ส่วนนี้ยังสามารถทำเป็นโหลดของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ได้ ฉะนั้นภายในตัวเดียวกันของมัลติเปิลช็อบปิ้งแกปจึงสามารถทำหน้าที่หลักๆ ได้สามอย่างดังที่กล่าวมาแล้ว จากประโยชน์อันนี้ต่อมาในปี ค.ศ.1973 Haefely {7} ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตอุปกรณ์ทดสอบแรงดันสูงที่มีชื่อเสียงของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ได้ทำมัลติเปิลช็อบปิ้งแกปขึ้นมาขายในเชิงการค้า โดยสามารถทำได้ทุกขนาดของแรงดันตามความต้องการของลูกค้าที่สั่ง

มัลติเปิลช็อบปิ้งแกปยังไม่มีใช้ในประเทศไทยขณะนี้ การทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดยังใช้อิเลคโตรดแท่งกลมปลายแหลมเป็นสปาร์กแกป ซึ่งมักจะมีปัญหาในการสร้างแรงดันรูปคลื่นตัดที่มีเวลาช่วงคลื่นตัดให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ผู้วิจัยเห็นว่ามัลติเปิลช็อบปิ้งแกปจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการ

ทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดในบ้านเรา และหวังว่าการวิจัยนี้จะเป็นพื้นฐานในการทำเรื่องนี้ที่ขนาดแรงดันสูงขึ้นต่อไป

1.4 แรงดันอิมพัลส์ (Impulse Voltage)

แรงดันอิมพัลส์ (Impulse Voltage) คือ แรงดันทรานเซี้ยนแบบไม่ใช่รายคาบ (Aperiodic transient) ที่เจาะจงป้อนให้อุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อการทดสอบการฉนวน มีลักษณะรูปคลื่นที่ค่าแรงดันเพิ่มอย่างรวดเร็ว เมื่อถึงค่ายอดแล้วจะลดค่าลงสู่ศูนย์ด้วยอัตราส่วนที่ช้ากว่าตอนเพิ่มรูปร่างแรงดันอิมพัลส์ โดยทั่วไปแทนได้ด้วยผลบวกของเอกซ์โปเนนเชียล 2 เทอม คือ

$$U(t) = A\{\exp.(-\alpha t) - \exp.(-\beta t)\} \qquad .....(1.1)$$

เมื่อ $U(t)$ = แรงดันอิมพัลส์ในเทอมเวลา t

A = ค่ากำหนดขนาดแรงดัน

α, β = ค่าคงที่เวลาของรูปคลื่น

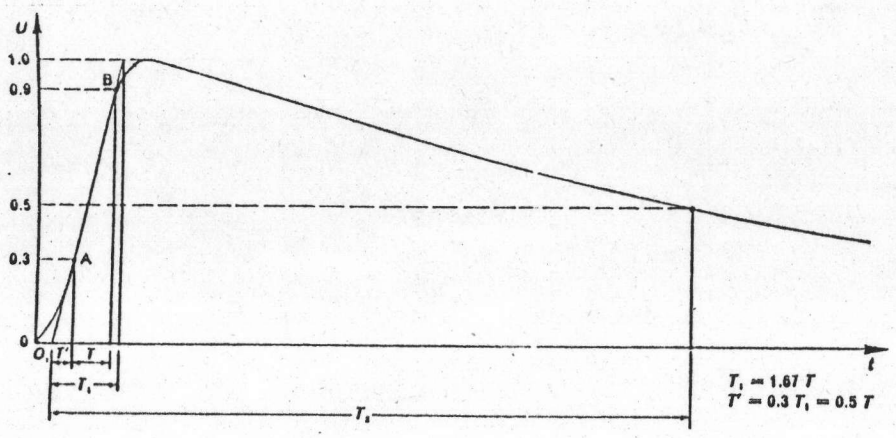
แรงดันอิมพัลส์อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่า (Lightning impulse) และแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่ง (Switching impulse) แรงดันทั้งสองแบบมีข้อแตกต่างพื้นฐานที่เวลาช่วงหน้าคลื่น กล่าวคือ แรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่ามีเวลาช่วงหน้าคลื่นตั้งแต่น้อยกว่าหนึ่งไมโครวินาทีถึงหลายไมโครวินาที แต่แรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่งจะมีเวลาช่วงหน้าคลื่นตั้งแต่หลายสิบถึงหลายพันไมโครวินาที ลักษณะแรงดันทั้งสองอาจแยกได้อีกลักษณะหนึ่ง โดยการพิจารณาช่วงเวลาทั้งหมด คือ แรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่งจะมีช่วงเวลาทั้งหมดยาวนานกว่าแรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่า

<u>การกำหนดแรงดันอิมพัลส์</u>

แรงดันอิมพัลส์กำหนดได้ด้วยชนิดขั้วของแรงดัน (ขั้วบวกหรือขั้วลบ) ค่ายอด (peak value) เวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 และเวลาช่วงหางคลื่น T_2 นอกจากนี้การใช้แรงดันอิมพัลส์ยังต้องระบุด้วยว่าเป็นรูปคลื่นเต็มหรือรูปคลื่นตัด ถ้าเป็นรูปคลื่นตัดต้องกำหนดเวลาช่วงคลื่นตัด T_c ด้วย

แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นเต็ม

แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นเต็ม คือ แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าที่ไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดของรูปคลื่นถูกรบกวนเนื่องจากเกิดดีสชาร์จทำลาย (disruptive discharge) ดังรูป 1.1



รูป 1.1 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นเต็ม

เวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 (Front time)

เวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 ของแรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่า คือ 1.67 ของช่วงเวลา T ระหว่างจุดที่อิมพัลส์มีค่า 30 และ 90 เปอร์เซนต์ ของค่ายอด คือ จุด A และ B ดังในรูป 1.1 และ 1.2 ถ้ารูปคลื่นมีสัญญาณแกว่งซ้อนอยู่ด้วยให้ลากเส้นโค้งเฉลี่ยสัญญาณแกว่งเสียก่อนแล้วจึงค่อยหาจุด A และจุด B

จุดเริ่มต้นเสมือน O_1 (Virtual origin)

จุดเริ่มต้นเสมือน O_1 ของแรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่า คือ จุดซึ่งคิดเป็นเวลาห่างจากจุด A ในรูป 1.1 และ 1.2 ไปข้างหน้าเท่ากับ 0.3 T_1 หรือคือ จุดตัดของแกนเวลากับเส้นตรงที่ลากผ่านจุด A และ B สำหรับรูปคลื่นแรงดันที่บันทึกโดยแกนเวลากว้างอย่างเชิงเส้น

เวลาช่วงหางคลื่น T_2 (Time to half value)

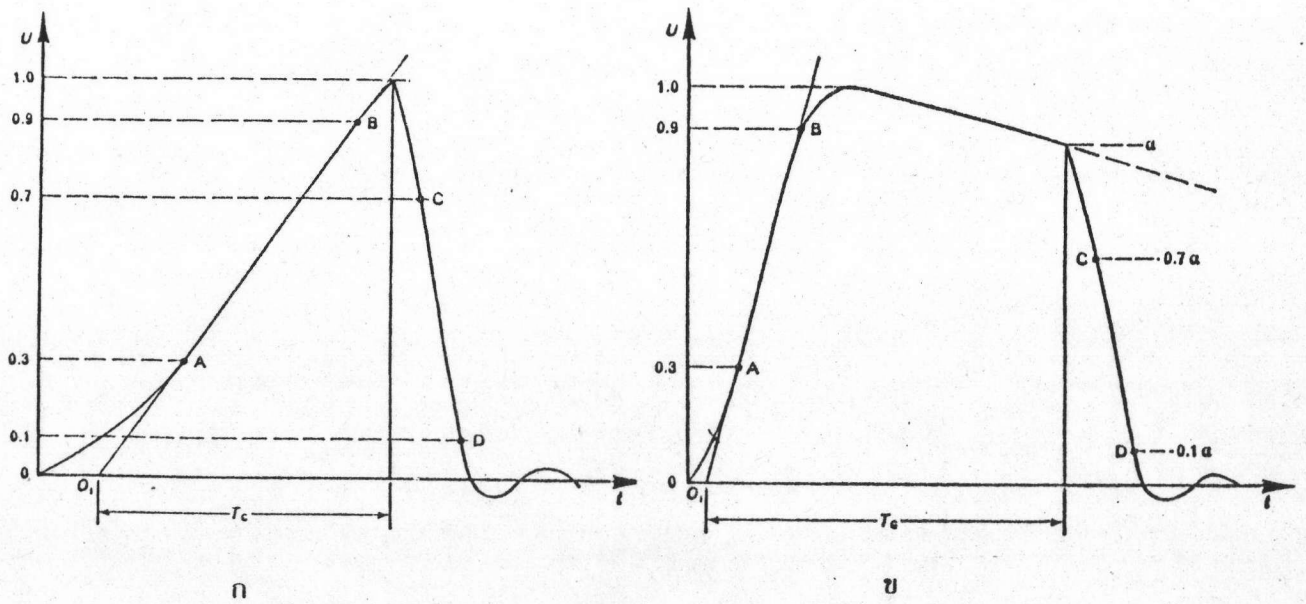
เวลาช่วงหางคลื่น T_2 ของแรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่า คือ ช่วงเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นเสมือน O_1 และจุดที่แรงดันลดค่าลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่ายอดทางตอนหางของหางคลื่น (ดังรูป 1.1)

แรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่ารูปคลื่นเต็มมาตรฐาน (Standard lightning impulse)

แรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่ารูปคลื่นเต็มมาตรฐาน คือ แรงดันอิมพัลส์ที่มีเวลา T_1/T_2 เป็น 1.2/50 ไมโครวินาที ซึ่งเป็นรูปคลื่นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ทั่วๆ ไปตามกำหนดมาตรฐานสากลไออีซี {8}

แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นตัด

แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นตัด คือ แรงดันอิมพัลส์แบบฟ้าผ่าที่รูปคลื่นเกิดดีสชาร์จทำลาย ทำให้แรงดันตกลงสู่ค่าศูนย์อย่างรวดเร็ว การตัดของแรงดันอาจเกิดที่หน้าคลื่น ค่ายอด หรือส่วนหางของคลื่นก็ได้ ดูรูป 1.2



ก ข

รูป 1.2 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นตัด

ก. แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น

ข. แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ารูปคลื่นตัดที่หางคลื่น

ขณะที่คลื่นตัด (Instant of chopping)

ขณะที่คลื่นตัด คือ ขณะที่เริ่มเกิดความไม่ต่อเนื่องขึ้นในรูปคลื่นนั้น

แรงดันขณะที่คลื่นตัด (Voltage at the instant of chopping)

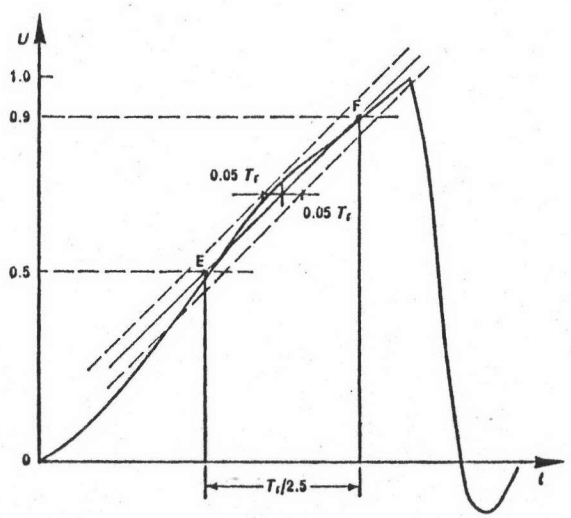
แรงดันขณะที่คลื่นตัด คือ แรงดันในขณะเกิดความไม่ต่อเนื่องขึ้นในรูปคลื่นนั้น

เวลาช่วงคลื่นตัด T_c (Time to chopping)

เวลาช่วงคลื่นตัด T_c คือ ช่วงเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นเสมือน กับขณะที่คลื่นตัด (ดูรูป 1.2)

อิมพัลส์คลื่นตัดหน้าคลื่นเพิ่มอย่างเชิงเส้น (Linearly rising front chopped impulse)

อิมพัลส์รูปคลื่นตัดหน้าคลื่นเพิ่มอย่างเชิงเส้น คือ แรงดันที่มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยความชัน (Steepness) คงที่โดยประมาณจนถึงขณะที่คลื่นตัด เส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดที่จะนิยามอิมพัลส์แบบนี้ คือ เส้นที่ลากผ่านจุด 50 และ 90 เปอร์เซนต์ ของค่าแรงดันขณะที่คลื่นตัด คือ จุด E และ F ในรูป 1.3

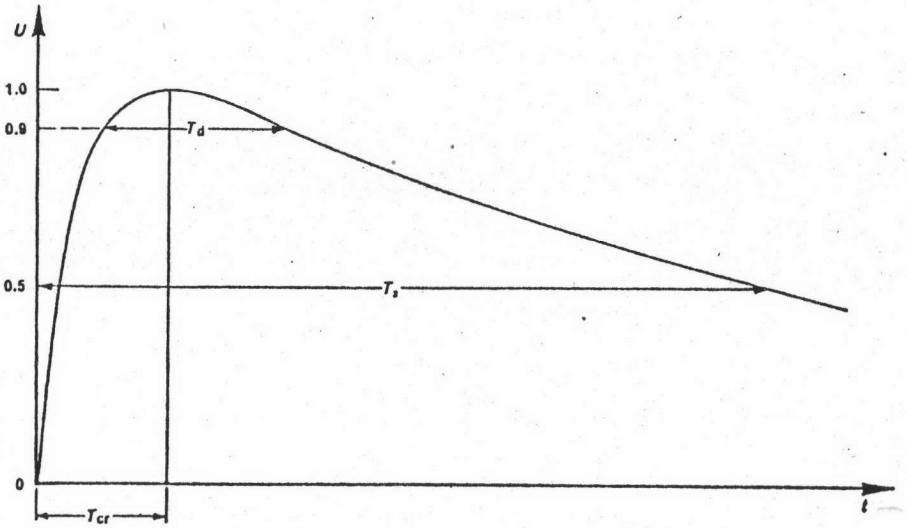


รูป 1.3 แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดหน้าคลื่นเพิ่มอย่างเชิงเส้น

แรงดันอิมพัลส์ที่จะเรียกได้ว่าหน้าคลื่นเพิ่มอย่างเชิงเส้นโดยประมาณ คือ เมื่อหน้าคลื่นตั้งแต่จุด 50 เปอร์เซนต์ขึ้นไปจนถึงขณะที่คลื่นตัด อยู่ในระหว่างเส้นตรงสองเส้นที่ห่างออกไปจากเส้นตรง EF ด้วยเวลา ± 0.05 T_r ทั้งหมดตลอดช่วง เมื่อ T_r คือ rise time มีค่าระหว่างจุด E และ F คูณด้วย 2.5

แรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่งรูปคลื่นเต็ม (Full switching impulse)

แรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่งรูปคลื่นเต็ม คือ แรงดันอิมพัลส์สวิทชิ่งที่ไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดของรูปคลื่นถูกรบกวนเนื่องจากเกิดดีสชาร์จทำลาย ดังรูป 1.4



รูป 1.4 แรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่งรูปคลื่นเต็ม

เวลาถึงค่ายอดของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่ง T_{cr} (Time to crest value of a switching impulse)

เวลาถึงค่ายอดของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่ง คือ ช่วงเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นจริง และจุดที่แรงดันเพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าสูงสุด (ดูรูป 1.4)

เวลาช่วงหางคลื่น T_2 ของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่ง (Time to half value of a switching impulse)

เวลาช่วงหางคลื่น T_2 ของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่ง คือ ช่วงเวลาระหว่างจุดเริ่มและจุดที่แรงดันลดค่าลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่ายอดทางตอนหางของหางคลื่น (ดูรูป 1.4)

เวลาเหนือ 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่ง T_d (Time above 90 percent of a switching impulse)

เวลาเหนือ 90 เปอร์เซนต์ของแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่ง T_d คือ ช่วงเวลาในระหว่างแรงดันอิมพัลส์เกิน 90 เปอร์เซนต์ ในขณะแรงดันเพิ่มขึ้นและแรงดันอิมพัลส์เกิน 90 เปอร์เซนต์ ในขณะ

แรงดันลดลง (ดูรูป 1.4)

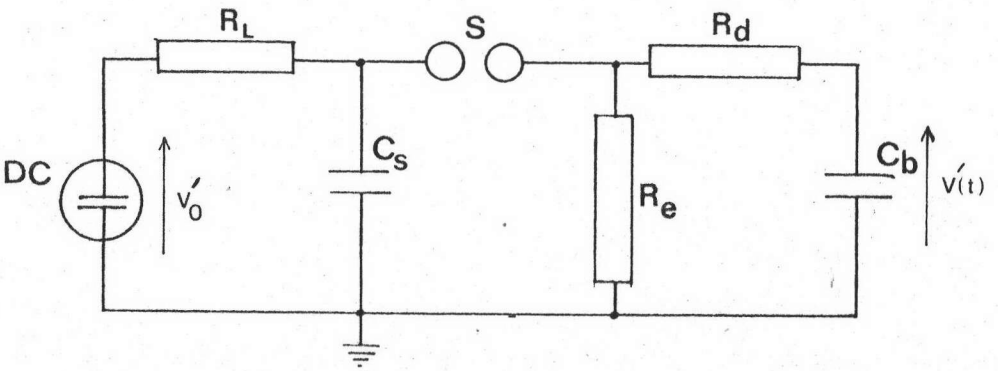
<u>แรงดันอิมพัลส์สวิทชิ่งรูปคลื่นเต็มมาตรฐาน</u> (Standard switching impulse)

แรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่งรูปคลื่นเต็มมาตรฐาน คือ แรงดันอิมพัลส์ที่มีเวลา T_{cr}/T_2 เป็น 250/2500 ไมโครวินาที ซึ่งเป็นรูปคลื่นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิ่งตามกำหนดมาตรฐานสากลของไออีซี {8}

<u>หมายเหตุ</u> การทำให้เกิดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดทำเฉพาะแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าเท่านั้น

1.5 วงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse generator circuit)

วงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ประกอบด้วยอิมพัลส์คะแปซิเตอร์ C_s, ความต้านทานจำกัดกระแส R_L, ความต้านทานหน่วง R_d, ความต้านทานดีสชาร์จ R_e, โหลดคะแปซิเตอร์ C_b และสปาร์กแกป S วงจรพื้นฐานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ {10} แสดงในรูป 1.5



รูป 1.5 วงจรพื้นฐานเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

V'_0 - แรงดันอัดประจุกระแสตรง

C_s - อิมพัลส์คะแปซิเตอร์

R_d - ความต้านทานหน่วง

C_b - โหลดคะแปซิเตอร์

$V'(t)$ - แรงดันอัมพัลส์ที่สร้างขึ้น

R_L - ความต้านทานจำกัดกระแส

R_e - ความต้านทานดีสชาร์จ

S - สปาร์กแกป

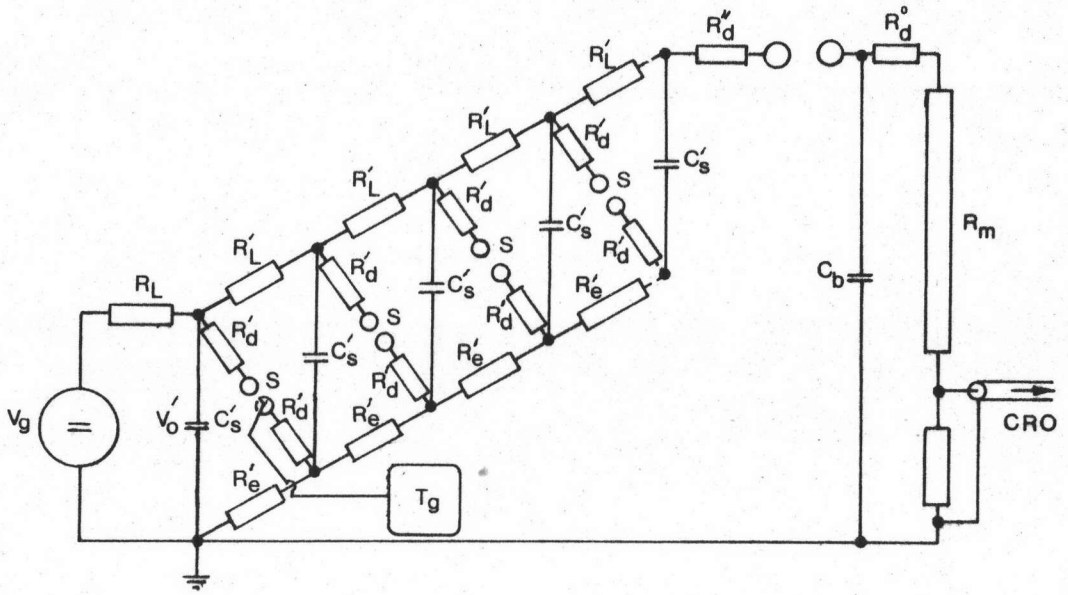
แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าเกิดจากการอัดประจุให้กับอิมพัลส์คะแปซิเตอร์ C_s แล้วให้คายประจุให้กับวงจร R-C โดยใช้สปาร์กแกปเป็นสวิทช์ของวงจร แรงดันอิมพัลส์จะสูงหรือต่ำขึ้นกับระยะแกป S นี้ ความต้านทานจำกัดกระแส R_L มีหน้าที่จำกัดไม่ให้กระแสที่อัดประจุให้กับ C_s สูงเกินไป ความต้านทานหน่วง R_d เป็นตัวกำหนดการคายประจุในช่วงแรกจึงใช้เป็นตัวปรับเวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 ของแรงดันอิมพัลส์ ส่วนความต้านทานดีสชาร์จ R_e เป็นตัวควบคุมการคายประจุในช่วงหลังจึงใช้เป็นตัวปรับเวลาช่วงหางคลื่น T_2 ของแรงดันอิมพัลส์ ส่วนโหลดคะแปซิเตอร์ C_b เป็นผลรวมของสเตรคะแปซิแตนซ์ทั้งหลายในวงจรกับค่าคะแปซิแตนซ์ที่ต่อเข้าไปเพื่อเป็นโหลดของการจัดแรงดันอิมพัลส์ และจะมีผลกับการควบคุมเวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 ด้วย เมื่อต้องการสร้างแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μs ในทางปฏิบัติอาจหาค่าองค์ประกอบของวงจรได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้ {10} คือ

$$T_1 = 2.96\, R_d \frac{C_b \cdot C_s}{C_b + C_s}$$

$$T_2 = 0.73\, R_e (C_b + C_s) \qquad .....(1.2)$$

C_s ควรจะ $\geq 10\ C_b$

โดยทั่วไปแรงดันอัดประจุ V_o' จะอยู่ในช่วง 100-200 กิโลโวลต์ นั่นคือ แรงดันอิมพัลส์ที่ได้จากวงจรขั้นพื้นฐานชั้นเดียวจะสามารถสร้างแรงดันได้ไม่เกิน 200 กิโลโวลต์ ในกรณีต้องการแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าขนาดสูงๆ ต้องใช้เป็นแบบหลายชั้นโดยอัดประจุให้อิมพัลส์คะแปซิเตอร์แบบต่อขนานกัน เมื่อเวลาจะให้คายประจุออกคะแปซิเตอร์เหล่านี้จะต่อกันแบบอันดับด้วยสปาร์กแกป {10} ดังวงจรที่แสดงในรูป 1.6



รูป 1.6 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบหลายชั้น

V_g – แรงดันอัดประจุกระแสตรง

V'_o – แรงดันอัดประจุต่อชั้น

R_L – ความต้านทานจำกัดกระแส

C'_s – อิมพัลส์คะแปซิเตอร์ต่อชั้น

R'_d – ความต้านทานหน่วงภายในต่อชั้น

R'_L – ความต้านทานจำกัดกระแสต่อชั้น

R'_e – ความต้านทานดีสชาร์จต่อชั้น

S – สปาร์กแกป

C_b – โหลดคะแปซิเตอร์

R''_d – ความต้านทานหน่วงภายนอก

R°_d – ความต้านทานหน่วงของโวลเตจดิไวเดอร์

R_m – โวลเตจดิไวเดอร์

T_g – ทริกเกอร์