บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงด้วยแรงดันอิมพัลส์มีวัตถุประสงค์เพื่อเข้าใจถึงหลักการสร้างแรงดันสูงอิมพัลส์แบบต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ ไฟฟ้าแรงสูง เพื่อศึกษาการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงด้วยแรงดันอิมพัลส์ ระบบบัสดัก

2.1 การสร้างแรงดันอิมพัลส์

แรงดันอิมพัลส์เป็นแรงดันที่มีรูปคลื่นเลียนแบบมาจากแรงดันเกินที่เกิดจากเหตุ ภายนอก คือเกี่ยวข้องกับฟ้าผ่า เรียกว่าแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าและแรงดันเกินที่เกิดขึ้นจากสาเหตุ ภายในระบบส่งจ่ายเอง คือ เกิดจากการทำงานของสวิตหรือเซอร์กิตเบรกเกอร์เมื่อมีความผิดพร่อง เกิดขึ้นในระบบเรียกว่า แรงดันอิมพัลส์สวิตชิ่ง ความมุ่งหมายของการสร้างแรงดันอิมพัลส์ขึ้นใน ห้องทดลองก็เพื่อที่จะนำไปทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนที่จะนำไปใช้งาน เพื่อที่จะดูว่าทนต่อแรงดันเกิน เหล่านี้ได้หรือไม่ ความคงทนต่อแรงดันหรือความเครียดสนามไฟฟ้าอิมพัลส์ของฉนวนมิใช่ขึ้นอยู่กับ ขนาดแรงดันสูงสุดเท่านั้น หากแต่ยังขึ้นอยู่กับการแปรของแรงดันไปตามเวลาอีกด้วย ฉะนั้น เพื่อความสะดวกต่อการเปรียบเทียบผลการทดสอบ จึงมีการกำหนดรูปคลื่นอิมพัลส์ให้เป็นมาตรฐานขึ้น โดยยึด เอารูปคลื่นที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติเป็นเกณฑ์ รูปลักษณะของคลื่นอิมพัลส์อาจกำหนดด้วย

1. ขนาดของแรงดันโดยปกติจะหมายถึงค่ายอดของรูปคลื่นแรงดันในกรณีที่มีคลื่นระลอกซ้อน ซึ่งเกิดจากออสซิลเลชันใกล้ๆ ยอดรูปคลื่นให้ถือเอาค่าเฉลี่ยจากค่ายอดรูปคลื่นระลอก
2. ขั้วของแรงดันอาจจะเป็นบวกหรือลบก็ได้เมื่อเทียบกับดิน
3. เวลาช่วงหน้าคลื่น T1หมายถึง ช่วงเวลาที่แรงดันเริ่มเพิ่มขึ้นจากศูนย์จนถึงค่ายอด
4. เวลาช่วงหลังคลื่น T2 หมายถึง ช่วงเวลาที่แรงดันเริ่มเพิ่มขึ้นจากศูนย์ผ่านค่ายอด จนกระทั่งขนาดลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่ายอด

2.2 ข้อกำหนดรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ [1-4]

ลักษณะของแรงดันอิมพัลส์ทั้งสองที่เกิดขึ้นจะมีรูปคลื่นและคาบเวลาที่เกิดขึ้น แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการกำหนดมาตรฐานรูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ทดสอบขึ้นมา คือ มาตรฐาน IEC 60-1[4]

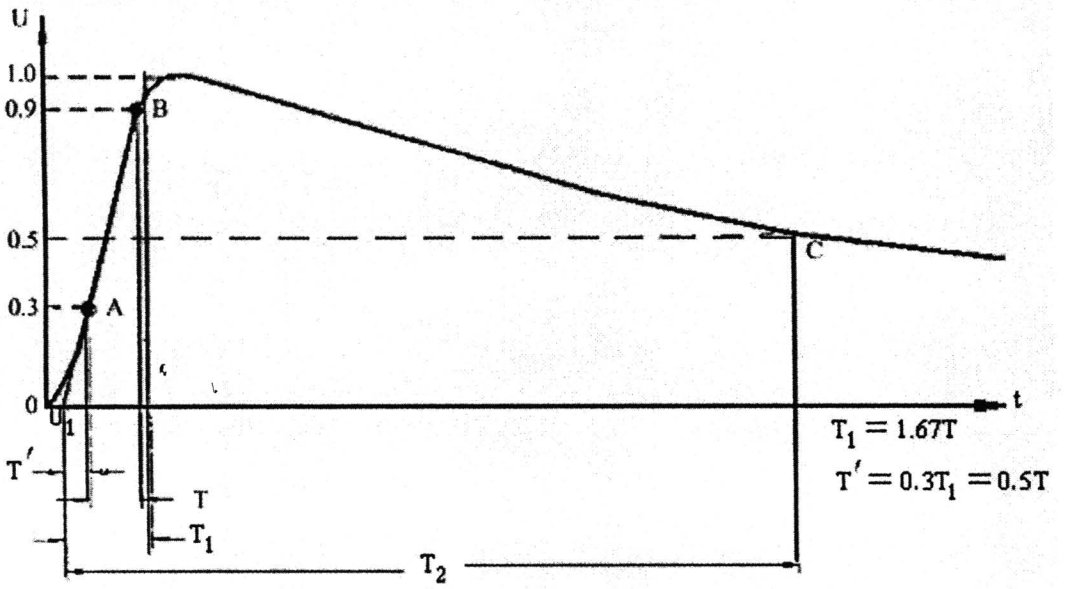
2.2.1 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าลักษณะคลื่นเต็ม (Lighting Impulse Full Wave) [4]

T1/ T2 = 1.2 / 50 □sec

เวลาช่วงหน้าคลื่น T1 = 1.2 □sec ± 30 %

เวลาช่วงหางคลื่น T2 = 50 □sec ± 20 %

ค่ายอดแรงดันทดสอบ Um ± 3 %



รูปที่ 2.1 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าลักษณะเต็มคลื่น

จุด A คือ จุดที่ 30 % ของค่ายอด

จุด B คือ จุดที่ 90% ของค่ายอดขาขึ้น

จุด C คือ จุดที่ 50% ของค่ายอดขาลง

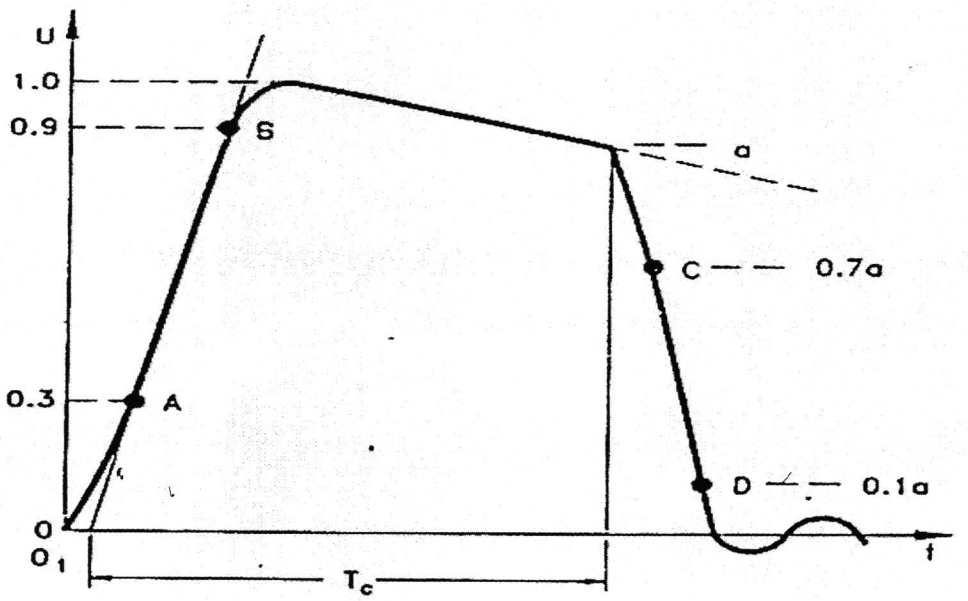
จุด O_1 คือ จุดที่เส้นตรง AB ตัดกับแกน t (จุดเริ่มต้นของรูปคลื่นอิมพัลส์)

T1 คือ เวลาช่วงหน้าคลื่น

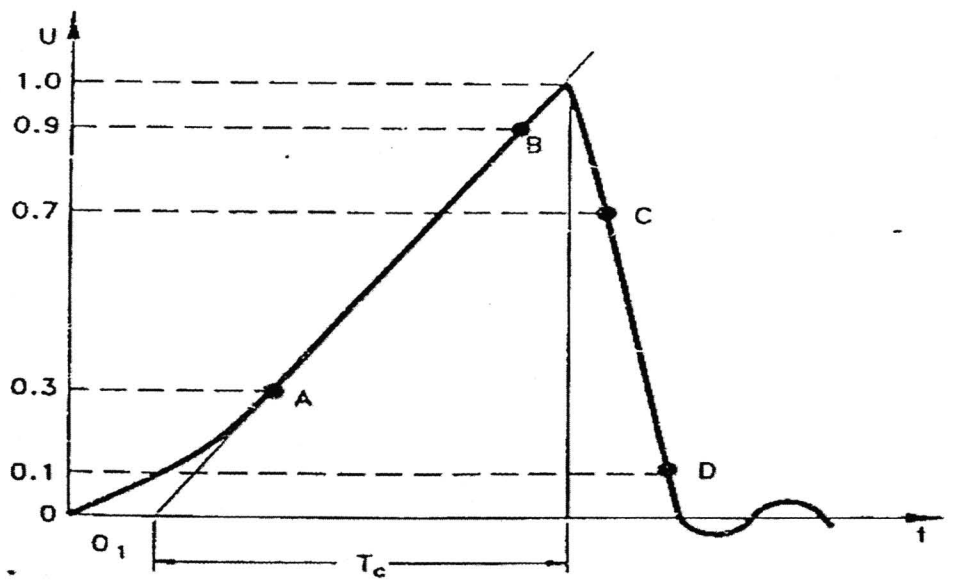
T2 คือ เวลาช่วงหลังคลื่น

2.2.2 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าลักษณะคลื่นตัด (Lightning Impulse chopped Wave) [2]

มีได้ 2 แบบ คือ ลักษณะคลื่นตัดที่หน้าคลื่นและหลังคลื่นเวลาช่วงคลื่นตัด Tc = 2 - 6 μsec (IEC) หรือ 1 - 3 μ sec (ANSI)



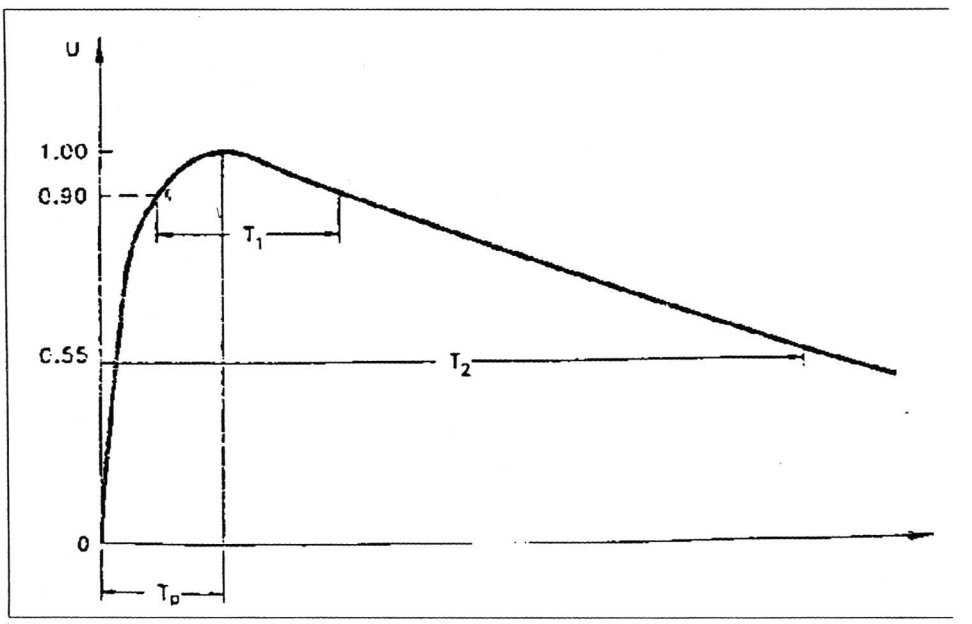
รูปที่ 2.2 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าลักษณะคลื่นตัดที่หลังคลื่น



รูปที่ 2.3 แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าลักษณะคลื่นตัดที่หน้าคลื่น

2.2.3 แรงดันอิมพัลส์สวิตชิ่ง (Switching Impulse) [1, 2]

แรงดันอิมพัลส์แบบสวิตชิ่ง ซึ่งแตกต่างไปจากแรงดันรูปคลื่นฟ้าผ่าก็คือ ช่วงหน้าคลื่น จะยาวกว่า ความหมายของเวลาช่วงหางคลื่น T2 จะมีนิยามเหมือนอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าส่วนเวลาช่วง หน้าคลื่น จะกำหนดเป็น TP ซึ่งหมายถึงช่วงเวลาที่นับจากจุดที่แรงดันเริ่มจากศูนย์จริงไปจนถึงเวลาที่ แรงดันเพิ่มขึ้นจนถึงค่ายอด รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตชิ่ง โดยทั่วไปจะมีรูปคลื่น 250/2500 □sec และกำหนดให้มีความคลาดเคลื่อนได้อยู่ในเกณฑ์ดังนี้



รูปที่ 2.4 แรงดันอิมพัลส์สวิตชิ่ง

TP = 250 μ sec ± 20 %

T2 = 2500 μ sec ± 60 %

เวลาช่วงยอดคลื่น T1 คือ ช่วงเวลาที่ 90% ของหน้าคลื่น จากรูปที่ 1 เป็นลักษณะของรูปคลื่นอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม ซึ่งลักษณะของรูปคลื่นเต็ม หมายถึงรูปคลื่นที่มีลักษณะที่ขนาดของแรงดันเพิ่มขึ้นจนถึงค่ายอด แล้วค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งค่าแรงดันเป็นศูนย์ โดยที่แรงดันรูปคลื่นเต็มนี้อาจจะเกิดเป็นรูปคลื่นตัดคือรูปคลื่นที่มีลักษณะของแรงดันลดลงอย่างกะทันหัน ซึ่งช่วงที่แรงดันลดลงอย่างกระทันหันนี้ อาจจะเกิดหลังจากที่แรงดันผ่านช่วงค่ายอดไปแล้วหรือเกิดก่อนที่แรงดันจะถึงค่ายอดก็ได้ โดยจะเรียกลักษณะของรูปคลื่นแบบนี้ว่ารูปคลื่นตัดช่วงหลังคลื่น และรูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่นตามลำดับ อย่างไรก็ตามลักษณะของรูปคลื่นตัดดังกล่าวนี้จะมีข้อกำหนดที่สำคัญคือ เวลาช่วง คลื่นตัด Tc ตามมาตรฐานโดยทั่วไปจะกำหนดเวลาช่วงคลื่นตัด Tc ให้อยู่ระหว่าง 2- 6 μ sec โดยที่สาเหตุของการเกิดคลื่นตัดนี้อาจมีสาเหตุมาจากการป้อนแรงดันรูปคลื่นเต็มเข้าไปที่ วัสดุทดสอบแล้วการฉนวน

ของวัสดุทดสอบทนต่อแรงดันที่ป้อนเข้าไปไม่ได้ จึงเกิดการสปาร์กผ่าน เกิดวาบไฟตามผิวหรือเกิดเบรกดาวน์ผ่านทะลุทำให้เกิดการลัดวงจร ณ จุดนั้น

2.3 แรงดันอิมพัลส์ทดสอบ [2, 5]

อุปกรณ์แรงสูงทุกชนิดต้องผ่านการทดสอบค่าความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์โดยที่ข้อกำหนดมาตรฐานสากล สำหรับแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า และแรงดันอิมพัลส์ สวิตชิ่ง ได้กำหนดพิกัดแรงดันทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 ระบบแรงดันสูงสุดและค่าแรงดันทดสอบ BIL (Lightning impulse withstand voltage)

System Highest Voltage (kV)						Impulse Test Voltage (kV) (Full Wave)					
IEC	BS	AS	VDE	CSA	ANSI (insulation) (Class)	IEC 1.2*50	BS 1.2*50	AS 1.2*50	VDE 1.2*50	CSA 1.2*40	ANSI 1.2*50
			1.15						20		
				1.3	1.2A 1.2					45	30 45
				2.75	2.5A 2.5					60	45 60
3.6	3.6	3.6	3.6			45	45	50	45		
				5.5	5.0A 5.0					75	60 75
7.2	7.2	7.2				60	60	75			
				9.52	8.7A 8.7					95	75 95
12	12	12	12			75	75	95	75		
				15.5	15A 15					110	95 110
17.5	17.5	(17.5)			18	95	95	110			125
24	24	24	24	25.8	25	125	125	150	125	150	150
36	36	36	36	38	34.5	170	170	200	170	200	200
52	52	(52)	52	48.3	46	250	250	250	250	250	250
					60						300
72.5	72.5	72.5	72.5	72.5	69	325	325	350	325	350	350
100	100	(100)		100	92	450 (380)	450 (380)	450 (380)(450)		450	450

ตารางที่ 2.1 ระบบแรงดันสูงสุดและค่าแรงดันทดสอบ BIL (Lightning impulse withstand voltage) (ต่อ)

System Highest Voltage (kV)						Impulse Test Voltage (kV) (Full Wave)					
IEC	BS	AS	VDE	CSA	ANSI (insulation)	IEC 1.2*50	BS 1.2*50	AS 1.2*50	VDE 1.2*50	CSA 1.2*40	ANSI 1.2*50
123	123	123	123	123	115	550 (450)	550 (450)	550 (450)(550)	550 (450)	550	550
145	145	145		145	138	650	650	650		650	650
						(550)	(550)	(550)(650)			
System Highest Voltage (kV)						Impulse Test Voltage (kV) (Full Wave)					
IEC	BS	AS	VDE	CSA	ANSI (insulation) (Class)	IEC 1.2*50	BS 1.2*50	AS 1.2*50	VDE 1.2*50	CSA 1.2*40	ANSI 1.2*50
170	170	170	170	170	161	750 (650)	750 (650)	750 (650)(750)	750 (650)	750	750
					180						825
					196						900
					215						975
245	245	245	245	245	230	1050 (900)	1050 (900)	(900) (825)	1050 (900)	1050	1050
					260						1175
300	300	300		300	287	(1050)	(1050)	(1175) (1050)		1300	1300
					315						1425
			(330)		345				(1175)		1550
	362	362		362			(1175)	(3000) (1175)		1425	
					375						1675
					400						1800
420	420	(420)	(420)	420	430	1425	(1425)	(1150) (1425)	(1425)	1150	1925
					460						2050
		525		525	490			(1800) (1675)		1800	2175
					520						2300
					545					2300	2425

2.4 ขนาดแรงดันทดสอบ

ขนาดแรงดันทดสอบขึ้นอยู่กับระดับฉนวน(Insulation level) นั่นคือขึ้นอยู่กับระบบ แรงดันที่จะนำเอาอุปกรณ์หรือวัสดุนั้นๆไปใช้งาน แต่ละประเทศอาจจะกำหนดมาตรฐานการทดสอบของตนเอง อย่างไรก็ตามอาจใช้มาตรฐานสากล IEC (International standard) ซึ่งเป็นที่ยอมรับของนานา ประเทศ เป็นค่าอ้างอิงหรือตกลงกันระหว่างประเทศ IEC Pub1.71-1993: Insulation Co-ordination ได้กำหนดระดับแรงดันทดสอบตามช่วงระบบแรงดันสูงสุด (highest voltage) Um ช่วงแรกดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการฉนวนระดับ 1kV < Um < 52kV

Highest voltage for equipment U_m kV_{rms}	Rated lightning impulse withstand Voltage kV_{peak}		Rated power-frequency short Duration withstand voltage kV_{rms} 2N) 3N)
	List 1 3N)	List 2 2N)	
3.6	20	40	1
7.2	40	60	0
12.0	60	75	2
17.5	75	95	0
24.0	95	125	2
36.0	145	170	8

1) ถ้าระบบแรงดันใช้งานไม่ตรงกับ Um ที่ระบุในตาราง ให้เลือกที่ Um ค่าสูงกว่า เช่น ระบบ 115 kV ก็ต้องดูที่ระดับ Um = 123 kV

2) ค่าแรงดันทดสอบของแต่ละระดับ Um มีหลายค่า จะเลือกค่าทดสอบใด ขึ้นอยู่กับระบบ ต่อลงดิน ว่าเป็น solidly grounded ค่าแรงดันทดสอบจะต่ำสุดเป็น reduced insulation ถ้าไม่ต่อลง ดิน (ungrounded) จะทดสอบด้วยแรงดันสูงสุดเรียกว่า full insulation ส่วนค่าอื่นระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุด จะพิจารณาจากค่าโอห์มของอิมพีแดนซ์ ที่ต่อนิวตรอนลงดิน และอัตราเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น ในการใช้งานระบบแรงดันกระแสสลับซึ่งบางครั้งก็มีบ้างที่เป็นแรงดันกระแสตรงและแรงดันเกินประเภท ต่างๆ เช่น แรงดันเกินเนื่องจากการเสิร์จสวิตชิ่งและแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่า ดังนั้นจึงจะต้องมีการจัด ประสานสัมพันธ์การฉนวนขึ้น เพื่อจุดประสงค์

1. จัดให้เหมาะสมกับคุณสมบัติการฉนวนของฉนวน เพื่อที่จะสามารถทนแรงดันที่คาดว่าจะต้องเกิดขึ้นในระบบ

2. เพื่อที่จะลดค่าแรงดันเกินที่อาจจะเกิดขึ้น

3. เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการประสานสัมพันธ์ของฉนวนแบบต่างๆ

การแบ่งชนิดของฉนวน (Type of insulation) ออกเป็นกลุ่มจะแบ่งตามลักษณะ ความสำคัญของการฉนวนในระบบไฟฟ้ากำลัง ยกตัวอย่าง เช่น การฉนวนระหว่างแรงดันเฟสกับดิน หรือการฉนวนแรงดันระหว่างเฟสต่อเฟส หรือการฉนวนของช่องว่างอากาศ ในกรณีนี้จะแบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 ได้แก่ Isolating clearances, fuse holders, between networks

กลุ่มที่ 2 ได้แก่ insulators, bushings, switching devices(apart from isolating gaps), power transformers, instrument transformers, cables และอื่นๆ

กลุ่มที่ 3 ได้แก่ prefabricated switchgear with individual items of gear assigned to insulation group 2 (i.e. consideration of enlargement effects)

กลุ่มที่ 4 ได้แก่ neutral-point insulation

กลุ่มที่ 5 ได้แก่ insulation of rotating machines

สำหรับการแบ่งประเภทของการฉนวน (insulation class) จะขึ้นอยู่กับลักษณะ พฤติกรรมของจุดนิวตรอนกับความเสี่ยงของการเกิดแรงดันเกินโดยกำหนดให้ NE คือ effectively earthed, N คือ not effectively earthed และSE คือ effectively earthed and not prone to over voltages ซึ่ง การแบ่งชนิดและประเภทของฉนวนนั้นจะสอดคล้องกับระดับการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2

2.5 การเลือกขนาดแรงดันทดสอบ [6]

การทดสอบแรงสูงนอกจากจะเลือกมาตรฐานใดเป็นเกณฑ์อ้างอิงแล้วยังต้องพิจารณา เลือกระดับแรงดันทดสอบด้วย เช่น แรงดันทดสอบตามมาตรฐาน IEC ดังแสดงในตารางที่ 2 การ เลือกระดับแรงดันทดสอบก่อนอื่นจะต้องทราบว่าวัสดุหรืออุปกรณ์ที่จะนำมาทดสอบนั้น จะนำไปติดตั้ง ใช้งานกับแรงดันเท่าใดซึ่งหมายถึงแรงดันระบบ คือแรงดันระหว่างเฟส (line to line voltage)

โดยทั่วไปแรงดันระบบใช้งานจะต่ำกว่าแรงดันระบบสูงสุดที่กำหนดไว้ในคอลัมน์แรก Um นั่นคือแรงดันใช้งานจะเปลี่ยนแปลงไปเท่าใดด้วยเหตุใดก็ตามจะต้องไม่เกินค่าแรงดันสูงสุด (highest voltage) ที่มาตรฐานกำหนด ฉะนั้นจะต้องเลือกแรงดันทดสอบตามระดับแรงดันระบบสูงสุด Um

2.6 ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเกิน

แรงดันไฟฟ้าเกินทั้งที่เกิดจากการปรากฏการณ์ฟ้าผ่า หรือจากการเปิด – ปิดวงจรไฟฟ้า ก็ทำให้เกิดผลกระทบในลักษณะเดียวกัน คือ ทำให้เกิดการรบกวนขึ้นแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ในระบบ และอาจทำให้เกิดการทำงานผิดพลาดได้ หรือ อาจทำให้เกิดการเสื่อมภาพ เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จนอาจทำให้ทั้งระบบหยุดการทำงาน ดั้งนี้

1. การเกิดการรบกวนขึ้นในระบบ ทำให้ระบบทำงานผิดพลาด ถึงแม้ว่าจะไม่เกิดความเสียหายทางกายภาพให้เห็น แต่รบกวนที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นสาเหตุทำให้ระดับสัญญาณทางลอจิก (Logic) หรือ อนาลอก (Analog) ของระบบเสียหาย และอาจทำให้ข้อมูลสูญหาย ข้อมูลต่างๆ และซอฟต์แวร์ผิดพลาด อาจเกิดการล็อคของระบบขึ้นได้ เป็นต้น

2. การเสื่อมภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องตระหนักและได้รับพิจารณาเป็นอย่างมาก เนื่องจากในระยะยาว อุปกรณ์เหล่านี้จะสามารถรับแรงดันไฟฟ้าเกินได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ทำให้ผู้ใช้งานไม่ทราบว่า มีการเสื่อมขององค์ประกอบภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้สั้นลง

3. เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ ได้แก่ องค์ประกอบภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แผงวงจรไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า และ I / O การ์ดได้

4. เกิดการหยุดทำงานของระบบ จากการที่ระบบถูกรบกวน ทำให้เกิดการผิดพลาดในการทำงานขึ้นหรือ เกิดการเสื่อมภาพขององค์ประกอบภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบภายในอุปกรณ์เหล่านี้ นำไปสู่การหยุดทำงานของระบบ

2.7 แรงดันฟ้าเกินเป็นสาเหตุของความเสียหายได้อย่างไร

วงจรไฟฟ้าที่ได้รับแรงดันไฟฟ้าเกินทรานเซียนท์ หรือเสิร์จ จะได้รับความเสียหายทางกายภาพ คือ ทำให้เกิดความร้อนสูง และทำให้เกิดฉนวนเกิดความเสียหาย ความเสียหายทั้งสองลักษณะนี้เป็นเหตุให้เกิดการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจากการทำงานในการจ่ายกำลังไฟฟ้าจะต้องเป็นไปตามลำดับของอุปกรณ์เหล่านั้น นอกจากนี้ในระหว่างการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินทรานเซียนท์ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไปตามสายตัวนำภายในวงจร หรืออาจจะเป็นพวกลายปริ้น ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ถ้าความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่ามากพอ ก็จะทำให้สายตัวนำละลายหรือไหม้ได้ การเสื่อมของอุปกรณ์ก็เกิดขึ้นตามมาสำหรับความร้อนที่เกิดนี้ก็ยังคงมีสะสมอยู่ และอาจทำลายองค์ประกอบภายในอุปกรณ์ ทำให้ระบบเกิดความเสียหายหรือทำงานล้มเหลว เช่น จุดร่วมที่ต่อกับฟิวส์, ลายบนแผ่นปริ้น, อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เป็นต้น นอกจากความเสียหายทางกายภาพตามที่กล่าวมา ยังมีความเสียหายอีกหลายแบบหนึ่ง คือ ความเสียหายอันเนื่องจากการทำงานที่ไม่ถูกต้อง โดยในสภาวะปกติ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ต่อร่วมกัน 2 ตัว และต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า อุปกรณ์ทั้งสองนี้จะไม่ทำงานในเวลาเดียวกัน แต่เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินทรานเซี้ยนท์ขึ้นในแหล่งจ่ายไฟฟ้า อุปกรณ์เหล่านี้จะได้รับแรงดันไฟฟ้าเกินไปด้วย ทำให้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำถูกทริกในเวลาที่ผิดได้ และอาจทำให้เกิดการลัดวงจรที่แหล่งจ่าย เกิดผลเสียหาย

2.8 การป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินด้วยชุดกับดักเสิร์จ

ช่องทางเข้าของระบบที่แรงดันไฟฟ้าสามารถเข้ามารบกวน มีดั้งนี้

1. สายอากาศของวิทยุ, โทรทัศน์ , ไมโรเวฟ และระบบเรดาร์

สำหรับในระบบโทรคมนาคม (Telecommunication) ที่ใช้อุปกรณ์สื่อสารต่างๆ มักจะติดตั้งอุปกรณ์สายอากาศของระบบบนชั้นหลังคา หรือบนเสาสูงๆ จากนั้นก็เดินสายป้อนสัญญาณเข้ามาสู่อุปกรณ์โทรคมนาคมในอาคาร อุปกรณ์สายอากาศเหล่านี้มีโอกาสสูงที่จะถูกฟ้าผ่าทั้งตรงหรือโดยอ้อม กระแสฟ้าผ่าจะพยายามหาเส้นทางลงสู้ดิน โดยทั่วไปก็จะผ่านสายป้อนที่เชื่อมระหว่างสายอากาศกับเครื่องรับ ส่ง สัญญาณ เข้ามาทำความเสียหายให้กับอุปกรณ์โทรคมนาคม

2. ระบบลงดิน (Grounding System)

การเข้ามาของแรงดันไฟฟ้าเกินทรานเซียนท์โดยผ่านสายดินของระบบหรืออุปกรณ์เกิดขึ้นได้ในกรณีที่มีการต่อลงดินหลายจุด และเมื่อเกิดฟ้าผ่า ก่อให้เกิดศักย์ไฟฟ้าที่จุดลงดินจุดหนึ่งสูงกว่าอีกจุดหนึ่ง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนขึ้นจากระบบดินจุดหนึ่ง

3. ท่อน้ำและท่อแก๊ส

ทั้งท่อน้ำและแก๊ส เป็นทางเข้าของแรงดันไฟฟ้าเกินได้อีกทางหนึ่ง ถ้าท่อเหล่านี้อยู่ใกล้กับสายส่งสัญญาณหรือสายส่งกำลังไฟฟ้า ก็อาจเกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ภายในระบบหรืออุปกรณ์ทำให้เกิดความเสียหายเช่นกัน

2.9 การทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

การฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงอาจจะเป็นก๊าซของเหลว ของแข็ง กรณีที่มีที่ว่างมากพอก็มักใช้อากาศเป็นฉนวน เช่น ระบบสายส่งไฟฟ้ากำลังแบบสายขึงอากาศ ถ้าต้องการให้มีปริมาตรน้อย หรือมีที่ว่างจำกัดก็อาจเป็นการฉนวนด้วยฉนวนแข็ง หรือฉนวนเหลว หรือก๊าซอัด หรือฉนวนผสมระหว่างฉนวนเหล่านี้ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า เคเบิล และ GIS เป็นต้น ทุกกรณีฉนวนที่ใช้ในการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจะต้องเป็นฉนวนที่มีคุณสมบัติทางฉนวนที่ดีในสภาพการเปลี่ยนแปลงที่กว้าง ฉนวนที่ประกอบเป็นอุปกณ์ไฟฟ้าแรงสูงแล้วอาจจะมีปัญหายุ่งยากที่จะทดสอบคุณภาพของฉนวน จึงต้องเลือกวิธีทดสอบที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อทดสอบแล้วจะไม่ทำลายการฉนวนต้องออกแบบให้ทนต่อแรงดันเบรคดาวน์ได้สูง เพื่อให้ทนต่อแรงดันเกินที่อาจจะเกิดขึ้นมีค่าสูงกว่างแรงดันใช้งานได้หลาย ๆ เท่า พลังสูญเปล่า ไดอิเลคตริกต้องมีค่าต่ำ ความต้านทานการฉนวนต้องมีค่าสูงเพื่อมิให้เกิดเบรกดาวน์อันเนื่องจากความร้อน การฉนวนควรปราศจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนภายใน อันเป็นต้นเหตุให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง เนื่องจากฉนวนเสื่อมสภาพเร็ว การฉนวนต้องไม่เป็นต้นเหตุให้เกิดความผิดพร่อง ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายหรือทำให้การส่งจ่ายพลังไฟฟ้าต้องหยุดชะงัก เพื่อให้เกิดความมั่นใจและแน่ใจว่าวัสดุฉนวนนั้นมีคุณสมบัติตามที่ต้องการจำเป็นต้องทำการทดสอบก่อน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

นำไปใช้งาน การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุฉนวนและอุปกรณ์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 1 คือ การทดสอบแบบแตกสลาย เป็นการหาความคงทนสูงสุดของฉนวน แบบที่สอบเป็นการทดสอบความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดันไฟฟ้า แบบแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำเป็นเวลานาน 1 นาที หรือทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์แบบรูปคลื่นฟ้าผ่า หรือแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตซิ่ง อันเป็นการเลียนแบบแรงดันเกินที่อาจจะเกิดขึ้นในระยะสั้น แบบที่สามเป็นการทดสอบความทนทาน ซึ่งทดสอบด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำ ขนาดแรงดันทดสอบเท่ากับแรงดันสูงสุดของระบบใช้งาน เป็นการทดสอบคุณภาพและอายุการใช้งานของการฉนวนด้วย การทดสอบแบบที่สามนี้จัดเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย เช่น วัดความต้านทานแบบกระแสตรง วัดค่าเปอร์มิตติวิตี้ แฟคเตอร์ พลังงานสูญเปล่า วัดดิสชาร์จบางส่วน การทดสอบเหล่านี้อาจทำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในช่วงที่ต้องการได้โดยควบคุมอุณหภูมิในเตาอบ ซึ่งจะช่วยให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของฉนวนมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ อันจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่การออกแบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม

2.9.1 ศัพท์การทดสอบ

1. แรงดันทดสอบแตกสลาย (disruptive test voltage) หมายถึง แรงดันทดสอบที่ทำให้ไดอิเลคตริกเสียสภาพการฉนวนอันเนื่องจากความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันที่ป้อนทดสอบ เมื่อเกิดดีสชาร์จแตกสลายจะทำให้แรงดันระหว่างอิเลคโตรดจะลดต่ำลงเป็นศูนย์หรือเกือบศูนย์ และมีกระแสไหลผ่านเพิ่มขึ้นมากมาย การเกิดดีสชาร์จแตกสลายอาจอยู่ในลักษณะดังต่อไปนี้

a) **วาบไฟตามผิว (flashover)** เป็นการเกิดดิสชาร์จบนผิวฉนวนแข็งที่ล้อมรอบด้วยฉนวนก๊าซหรือฉนวนเหลว จะทำให้เสียสภาพการฉนวนชั่ววูบ

b) **สปาร์คผ่าน (sparkover)** เป็นการเกิดเบรคดาวน์ผ่านฉนวนก๊าซหรือแนวนเหลวที่คั่นระหว่างอิเลคโตรด ทำให้เสียสภาพการฉนวนชั่วครู่

c) **เจาะผ่าน (puncture)** เป็นการเกิดเบรคดาวน์ผ่านฉนวนแข็ง ทำให้เสียสภาพการฉนวนอย่างถาวร

2. แรงดันเบรคดาวน์ 50% (50% breakdown voltage) หมายถึง ค่าแรงดันอิมพัลส์ที่จะทำให้เกิดเบรคดาวน์หรือดีสชาร์จแตกสลายผ่านฉนวนมีจำนวนครั้งเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนครั้งทั้งหมดที่ป้อนแรงดันให้กับตัวอย่างทดสอบ

3. แรงดันทดสอบที่ฉนวนทนอยู่ได้ (withstand test voltage) หมายถึง แรงดันทดสอบที่กำหนดใช้ทดสอบความคงทนอยู่ได้ของฉนวนที่สภาวะกำหนด ซึ่งวัสดุหรืออุปกรณ์จะต้องทนต่อแรงดันทดสอบนี้ได้ คือ หลังจากทดสอบแล้วตัวอย่างทดสอบนั้นจะไม่เกิดร่องรอยแตกสลายใด ๆ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ - 3 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 246181
เลขเรียกหนังสือ

การทดสอบความคงทนอยู่ได้ประกอบด้วย ความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงาน ใช้เวลาในการป้อนแรงดันที่แรงดันทดสอบนาน 1 นาที และความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดันอิมพัลส์ (คงทนต่อแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า เรียกว่า BIL คงทนต่อแรงดันอิมพัลส์สวิตซึ่งเรียกว่า SIL)

1. การฉนวนภายนอก (external insulation) และการฉนวนภายใน (internal insulation) การฉนวนภายนอก คือ ฉนวนอากาศกับฉนวนแข็งของอุปกรณ์ที่รับสภาวะบรรยากาศ นั่นคือ ฉนวนจะต้องทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าและผลของสภาพดินฟ้าอากาศ เช่น ความชื้น และสิ่งเปรอะเปื้อนทั้งหลาย เป็นต้น ส่วนการฉนวนภายใน ซึ่งประกอบด้วยฉนวนแข็งกับฉนวนเหลวหรือก๊าซ ฉนวนภายในจะอยู่ในถังในสิ่งห่อหุ้มมิให้รับสัมผัสกับสภาวะบรรยากาศ

การฉนวนของวัสดุและอุปกรณ์จะทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะและสภาพของฉนวนกำหนดด้วย

a) ระยะรั่ว (leakage distance or creepage distance) หมายถึง ระยะที่สั้นที่สุดระหว่างอิเลคโตรดหรือโลหะประกอบติดลูกถ้วยฉนวน โดยวัดไปตามผิวฉนวนภายนอก

b) ระยะอาร์ค (arcing distance) หมายถึง ระยะตามแนวที่เกิดอาร์คหรือ สปาร์คผ่าน นั่นคือ ระยะที่สั้นที่สุดที่วัดระหว่างอิเลคโตรดหรือโลหะที่ประกอบติดลูกถ้วย โดยวัดผ่านไปในอากาศหรือฉนวนก๊าซหรือฉนวนเหลวที่ล้อมรอบฉนวนแข็ง ในสภาพแห้งระยะอาร์คจะยาวกว่าในสภาพเปียกหรือสภาพเปื้อน

c) สภาพแห้ง (dry conditions) หมายถึง ตัวอย่างที่ทดสอบอยู่ในสภาพแห้งและสะอาด โดยมีเงื่อนไขเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

d) สภาพเปียก (wet conditons) หมายถึง ตัวอย่างทดสอบที่เลียนแบบสภาวะการใช้งานในสภาพเปียกฝน เพื่อทดสอบผลกระทบจากฝนตกธรรมชาติที่มีต่อการฉนวนภายนอก ลักษณะน้ำฝนจำลองกำหนดด้วยความต้านทานจำเพาะอัตราการตก แนวและทิศทางการตกของฝนที่ผิวฉนวนภายนอก

2. สภาวะบรรยากาศมาตรฐาน (standard reference atmosphere) สภาวะบรรยากาศมาตรฐานหมายถึง ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิและความชื้นที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน เพื่อสะดวกแก่การเปรียบเทียบค่าผลที่ได้จากการทดสอบการฉนวนภายนอกในบรรยากาศ ซึ่งแต่ละมาตรฐานจะกำหนดไว้

2.10 การทดสอบเคเบิลแรงสูง

เคเบิลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งในระบบจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้แน่ใจว่าเคเบิลมีความคงทนอยู่ได้ต่อสภาวะต่าง ๆ ซึ่งมีการทดสอบที่สำคัญทางไฟฟ้า คือ

- วัดแฟคเตอร์พลังงานสูญเปล่าไดอิเลคตริก tanδ การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าความถี่พลังงาน ทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ (BIL) วัดดีสชาร์จบางส่วน (PD)

- ตัวอย่างเคเบิลแรงสูงที่จะใช้ทดสอบต่างดังกล่าวโดยทั่วไปจะใช้ความยาวตั้งแต่ 5 เมตร ถึง 10 เมตร โดยมีการเตรียมปลายสายเคเบิลเป็นพอเศษเพื่อกันมิให้เกิดความไฟตามผิวที่ปลายสายเคเบิล ในทางภาคปฏิบัติจึงมักใช้หัวเข้าสายเคเบิล (cable termination)

1) การหาค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเปล่าไดอิเลคตริก tanδ วัดได้ด้วย Schering bridge ที่แรงดันต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.5 จนถึง 2.5 เท่าของแรงดันที่กำหนดของเคเบิล (แรงดันเฟสของเคเบิล)

2) การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้านั้นทดสอบด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงานแรงดันกระแสตรง และแรงดันอิมพัลส์ การทดสอบประจำในโรงงานมักจะทดสอบด้วยแรงดันกระแสสลับขนาด 2.5 เท่าของแรงดันที่กำหนด เป็นเวลานาน 5-10 นาที การทดสอบเฉพาะแบบจะทดสอบความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดันไฟฟ้าตามมาตรฐานกำหนด (เช่น IEC Publ. 71) ทั้งแรงดันกระแสสลับและแรงดันอิมพัลส์ ถ้าเคเบิลที่วางและติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้วอาจทดสอบด้วยแรงดันกระแสสลับหรือแรงดันกระแสตรง ถ้าทดสอบด้วยแรงดันกระแสตรงแรงดันทดสอบเท่ากับ 4 เท่าของแรงดันระบบเป็นเวลานาน 15 นาที

3) การวัดดีสชาร์จบางส่วน (PD) โดยวัด PD อยู่ในเทอมของแรงดันทดสอบด้วยเครื่องตรวจวัดดีสชาร์จบางส่วนที่ความถี่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 40 kHz ถึง 400 kHz

2.11 อุปกรณ์ทดสอบแรงสูง

ในห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูงโดยทั่วไปจะมีอุปกรณ์ทดสอบวัสดุฉนวนและอุปกรณ์ทั้ง 3 ประการ คือ การทดสอบแบบแตกสลาย การทดสอบความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดัน และ การทดสอบแบบไม่ทำลาย อุปกรณ์หลักได้แก่

1. หม้อแปลงทดสอบแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงาน
2. อุปกรณ์สร้างแรงดันสูงกระแสตรง
3. เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
4. อุปกรณ์สร้างแรงดันสูงความถี่สูง
5. อุปกรณ์สร้างกระแสอิมพัลส์
6. อุปกรณ์วัดแรงดันและกระแสสูง
7. อุปกรณ์วัดดิสชาร์จบางส่วน PD , tanδ , คาปาซิแตนซ์