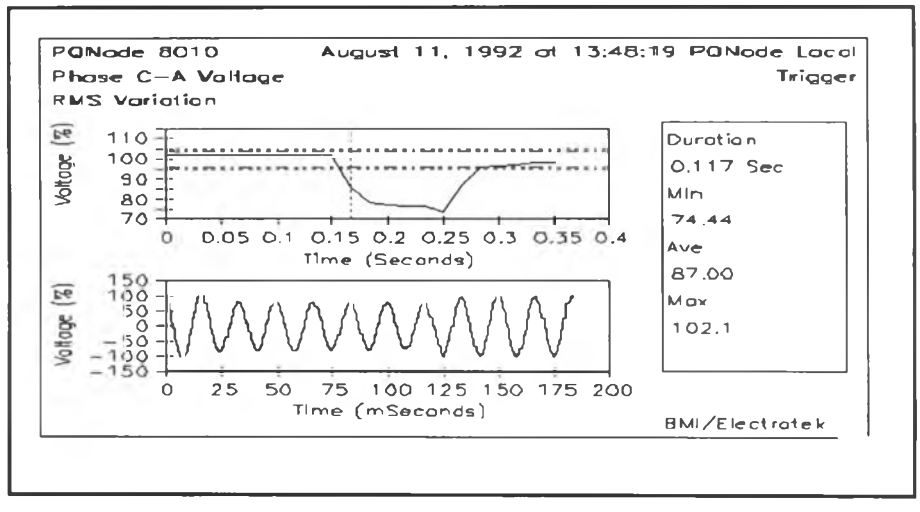
บทที่ 3

แรงดันตกชั่วขณะ

3.1 นิยามของแรงดันตกชั่วขณะ (Definition of voltage sag)



รูปที่ 3.1แรงดันตกชั่วขณะ

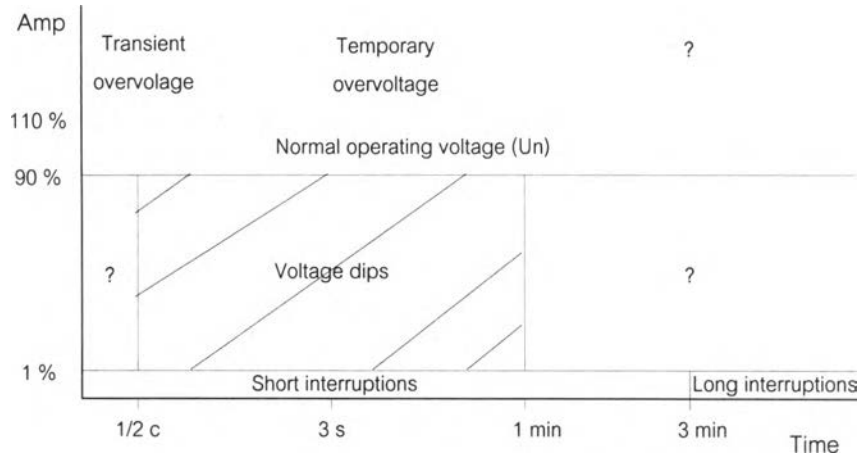
แรงดันตกชั่วขณะ จากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้วว่า เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับแรงดัน ชนิดที่มีช่วงเวลาสั้น (short-duration-disturbance) ได้มีผู้พยายามที่จะนิยามความหมายของแรงดันตกชั่วขณะอยู่หลายแบบ ทั้งนี้โดยขึ้นอยู่กับปรัชญาและแนวความคิดพื้นฐานของแต่ละประเทศ แต่ที่ได้รับการยอมรับกันที่ค่อนข้างกว้างขวางก็คือนิยามของแรงดันตกชั่วขณะ ตามมาตรฐานของยุโรป (prEN50160-1993)และนิยามตามมาตรฐานของอเมริกา (IEEE std.1159-1995)

มาตรฐานของยุโรป ได้ให้คำนิยามไว้ดังนี้

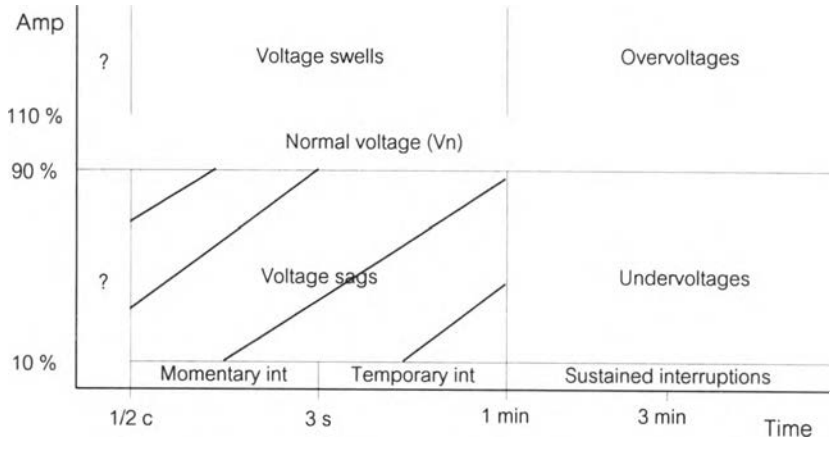
แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Dip) คือ การลดลงอย่างทันทีทันใดของแรงดันของแหล่งจ่าย โดยที่การลดลงจะอยู่ในช่วง 90% ถึง 1% ของแรงดันที่ระบุ และมีช่วงเวลาการเกิดอยู่ในช่วง10 ms ถึง 1นาที

มาตรฐานของอเมริกา ได้ให้คำนิยามไว้ดังนี้

แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag) คือ การลดลงของแรงดัน ในช่วงเวลา 0.5 ไซเคิลถึง 1นาที ด้วยค่าแรงดันระหว่าง 10% ถึง 90% ของแรงดันปกติ



รูปที่ 3.2 **นิยามของความผิดปกติไฟฟ้าตามมาตรฐาน** prEN50160-1993

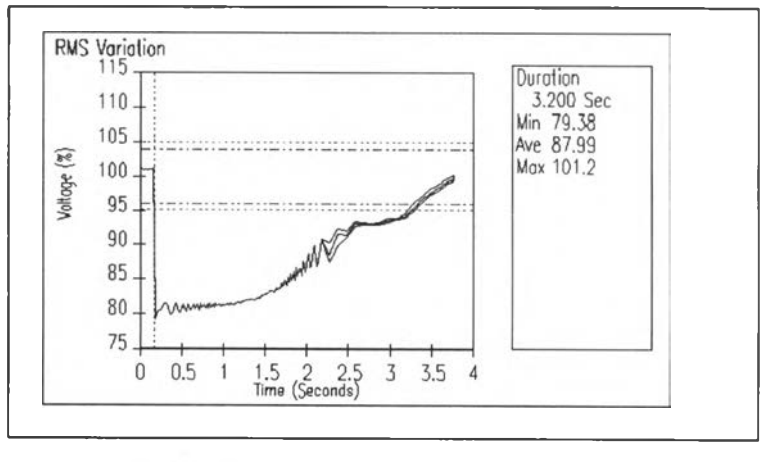


รูปที่ 3.3 **นิยามของความผิดปกติไฟฟ้าตามมาตรฐาน** IEEE std.1159-1995

จากการให้ความหมายของแรงดันตกชั่วขณะดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเป็นการลดลงของขนาดแรงดันประสิทธิภาพ (rms.) โดยปกติมีสาเหตุมาจากความผิดพร่อง(Fault) ที่เกิดขึ้นที่จุดต่างๆในระบบไฟฟ้า ปัญหาทางด้านแรงดันตกชั่วขณะเป็นปัญหาทางด้านคุณภาพไฟฟ้าที่มีผลต่อผู้ใช้งานประเภทโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากในปัจจุบันอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีใช้ภายในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อุปกรณ์ควบคุมกระบวนการผลิต อุปกรณ์ควบคุมแบบโลจิก (Programmable Control equipment) อุปกรณ์ปรับความเร็วมอเตอร์ (Adjustable Speed Drive)หุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์ ล้วนมีความไวต่อความผิดปกติชนิดนี้มากขึ้น หรือแม้แต่อุปกรณ์จำพวก รีเลย์ และคอนแทกเตอร์ในอุปกรณ์เริ่มเดินมอเตอร์ (Motor Starter) ก็อาจทำงานผิดพลาดได้หากประสบปัญหาทางด้านแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งอาจทำให้กระบวนการผลิตเกิดความเสียหายได้

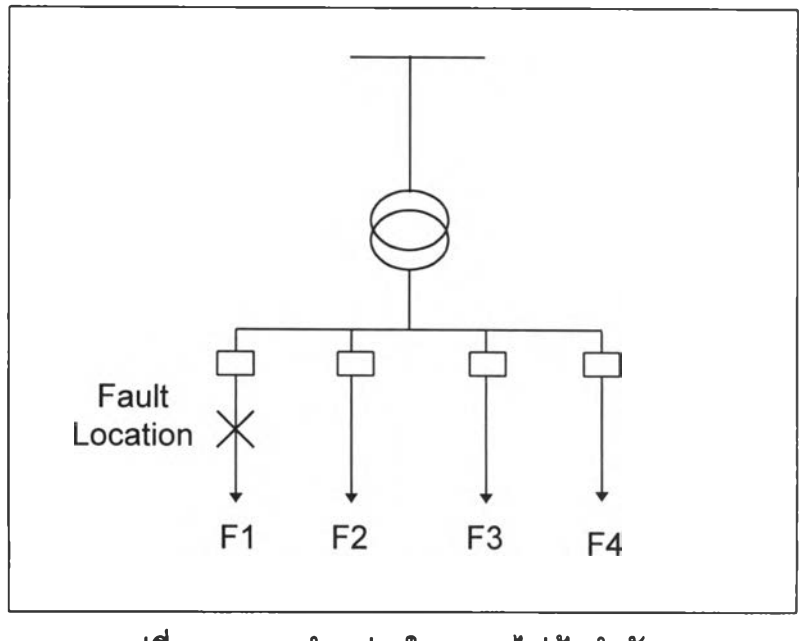
3.2 สาเหตุของการเกิดและผลกระทบของแรงดันตกชั่วขณะ

แรงดันตกชั่วขณะมีสาเหตุของการเกิดหลักๆ มาจากสภาพความผิดพร่อง(Fault) ในระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ การเริ่มเดินมอเตอร์ที่มีขนาดกำลังมากๆ ก็อาจเป็นสาเหตุของการเกิดความผิดปกติชนิดนี้ได้ โดยทั่วไปแล้วการเริ่มเดินมอเตอร์จะทำให้เกิดสภาวะของแรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดของแรงดันไม่ลดลงมากนัก จึงมักก่อให้เกิดปัญหากับระบบไฟฟ้าน้อยกว่าแบบแรก



รูปที่ 3.4 **ผลของแรงดันตกชั่วขณะ อันเนื่องมาจากการเริ่มเดินมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่**

ผลของความผิดพร่องที่ก่อให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า จะก่อให้เกิดความผิดปกติจนกระทั่งความผิดพร่องได้รับการขจัดโดยอุปกรณ์ป้องกัน(Protection Device) ซึ่งมักมีใช้กันในกลุ่มผู้ใช้งานประเภทโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างเช่น ฟิวส์ หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ แต่ถ้าเป็นอุปกรณ์ป้องกันจำพวก รีโคลสเซอร์ สภาวะความผิดปกตินี้ก็มีโอกาสเกิดขึ้นได้หลายครั้งขึ้นกับจำนวนรอบของการทำงาน และระยะเวลาของการเกิดความผิดพร่อง ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า(Distribution System)และในระบบส่ง(Transmission System) จากรูปที่ 3.5 เป็นการแสดงแบบจำลองรูปแบบของระบบจำหน่ายที่มีสายป้อน (Feeder) ต่อคร่อมที่บัส เมื่อเกิดความผิดพร่องที่สายป้อน F_1 จะทำให้เกิดสภาพไฟฟ้าดับ (Interruption) ของระบบไฟฟ้าบนสายป้อน F_1 แต่ผลที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้งานของสายป้อนอื่น คือ F_2 , F_3 และ F_4ซึ่งเป็นสายป้อน ที่ขนานอยู่กับ สายป้อน F_1 ก็คือปัญหาของแรงดันตกชั่วขณะ ในขณะเกิดความผิดพร่อง ด้วยผลของรีโคลสเซอร์ ณ สถานีเปลี่ยนระดับแรงดัน อาจยังผลให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะได้มากกว่า 1 ครั้ง ตามจังหวะการทำงานของ รีโคลสเซอร์ ประเภทของความผิดพร่องหลัก หรือที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าคือความผิดพร่องแบบ 1 สายลงดิน (Single Line to Ground Fault) ส่วนใหญ่มีสาเหตุการเกิดมาจาก สภาพอากาศ เช่น การเกิดฟ้าผ่า การเสื่อมสภาพของฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า ถึงแม้จะมีระบบป้องกันความผิดปกติเหล่านี้ก็ตาม แต่เราก็ไม่สามารถ ที่จะทำการป้องกันความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นกับระบบได้ทั้ง100% ดังนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความไวต่อแรงดันหลายชนิดที่มีอยู่ในส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้าจะได้รับผลกระทบเนื่องจากแรงดันตกชั่วขณะ



รูปที่ 3.5 **ระบบจำหน่ายในระบบไฟฟ้ากำลัง**

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เราสามารถที่จะจำแนกตัวอย่างของอุปกรณ์ต่างๆได้ดังนี้

1) กลุ่มอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Computer Equipment)

2) กลุ่มอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุม (Process Control Equipment)

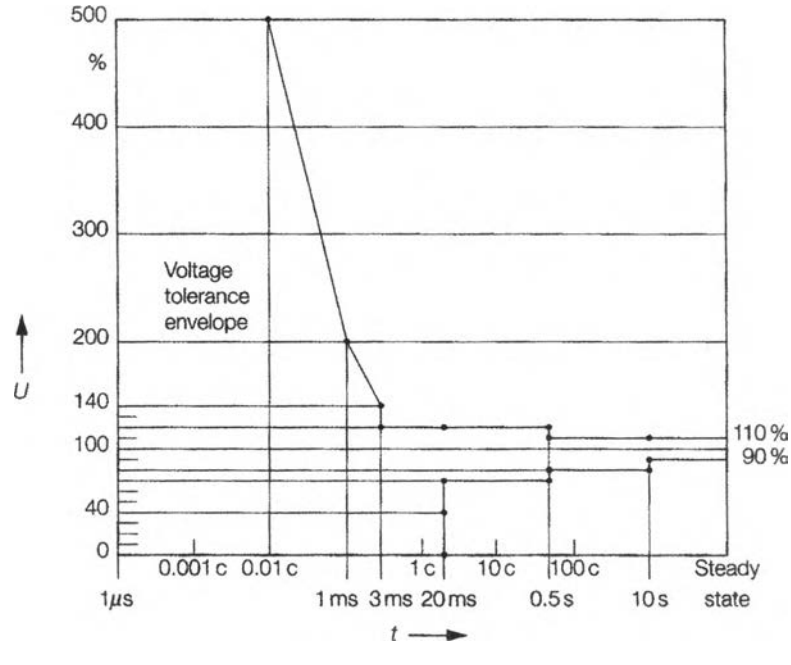
3) กลุ่มอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ (Consumer Electronics)

4) กลุ่มอุปกรณ์ปรับความเร็ว(Adjustable Speed Drive, ASD)

5) กลุ่มมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

6) กลุ่มหลอดแก๊สดีชชาร์จ (Gas discharge Lamp)

อุปกรณ์เหล่านี้พบว่าเมื่อมีความผิดปกติเกี่ยวกับแรงดันตกชั่วขณะ จะพบว่าจะก่อให้เกิดความล้มเหลวในการทำงานได้ เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆจะมีความสามารถในการทนต่อสภาวะผิดปกติที่แตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาความทนทานต่อความผิดปกติทางด้านแรงดันจึงนิยมทำการศึกษาในลักษณะต่างๆ ดังเช่นกลุ่มผู้ผลิตอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์เชิงธุรกิจ(CBEMA) [12] ได้ทำการศึกษาความสามารถของอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์ต่อความผิดปกติทาง ด้านแรงดัน และได้มีการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบ กราฟขนาดและช่วงเวลา (Amplitude and Duration Plot) หรือ CBEMA Curve



รูปที่ 3.6 กราฟขนาดและช่วงเวลาของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม[12]

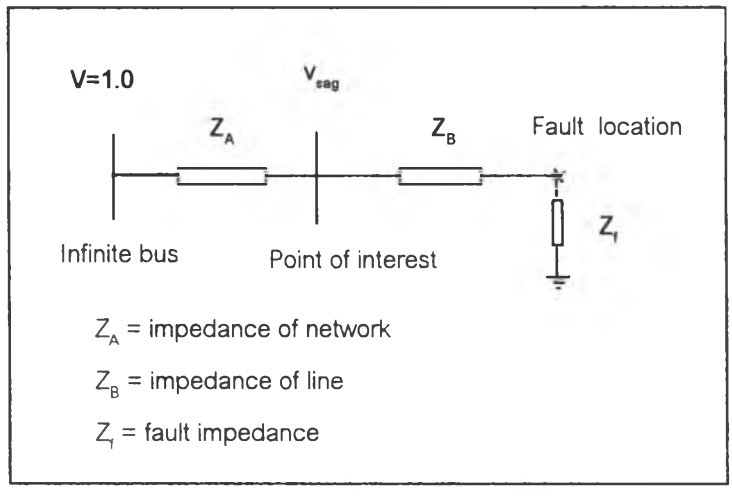
โดยเป็นการศึกษาผลกระทบของแรงดันที่มีความผิดปกติต่ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ จากรูปที่ 3.6 เราสามารถอธิบายได้ว่า หากอุปกรณ์ไฟฟ้าได้รับค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าและช่วงเวลาการได้รับค่าแรงดันดังกล่าวอยู่ระหว่างเส้นโค้งทั้งสองเส้นจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆทำงานได้อย่างปกติ ซึ่งเรียกพื้นที่บริเวณนี้ว่าพื้นที่การยอมรับได้ (Acceptable Zone) แต่หากอุปกรณ์ดังกล่าวได้รับค่าแรงดันและช่วงเวลาการได้รับอยู่เหนือเส้นบน หรือต่ำกว่าเส้นล่างจะทำให้อุปกรณ์เกิดการทำงานที่ผิดพลาดหรือหยุดทำงานเราเรียกพื้นที่บริเวณนี้ว่าพื้นที่อันตราย (Dangerous Zone) เส้นโค้ง CBEMA นี้จะใช้ในการอ้างอิงเพื่อแสดงถึงความสามารถในการทน(Withstand Capability)ของโหลดแบบต่างๆ จากการรบกวนของคุณภาพไฟฟ้า

3.3 **คุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ** (Characteristic of voltage sag)

คุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะโดยทั่วไปจะถูกกำหนดในรูปแบบของพารามิเตอร์ 3 ชนิดด้วยกันดังนี้

ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ(Amplitude)

ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ คือ ระดับของค่าแรงดัน ณ สภาวะที่เกิดการตกลงของแรงดัน ขนาดเป็นคุณลักษณะชนิดหนึ่งของความผิดปกติชนิดแรงดันตกชั่วขณะ ผลของขนาดที่เกิดการลดลงย่อมจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ในส่วนต่างๆของระบบไฟฟ้า การคำนวณขนาด เมื่อเกิดความผิดปกติภายในระบบไฟฟ้าเป็นสิ่งที่มีประโยชน์ในการใช้วางแผนเพื่อป้องกัน หรือเพื่อออกแบบโหลดให้ทนต่อขนาดของแรงดันที่ตกได้ การคำนวณหาค่าขนาดของแรงดันตกชั่วขณะนั้นโดยทั่วไปใช้หลักในการหาโดยการคำนวณความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าแบบต่างๆ ดังนั้นความรู้ทางด้าน เน็ทเวอร์กอิมพีแดนซ์ ตำแหน่งของจุดที่เกิดความผิดพร่องและจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆที่จะหาผลกระทบจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการคำนวณ



รูปที่ 3.7 เน็ทเวอร์กระบบไฟฟ้าพื้นฐานในการพิจารณาแรงดันตกชั่วขณะ

จากรูปที่ 3.7 โดยหลักการของการแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ณ จุดที่ติดตั้งโหลดที่สนใจผลของแรงดันตกชั่วขณะจะเห็นได้ว่าขนาดของแรงดันตกชั่วขณะจะสามารถหาได้โดยความสัมพันธ์ดังนี้

$$V_{sag} = \frac{Z_B + Z_f}{Z_A + Z_B + Z_f} \quad (1)$$

โดยที่

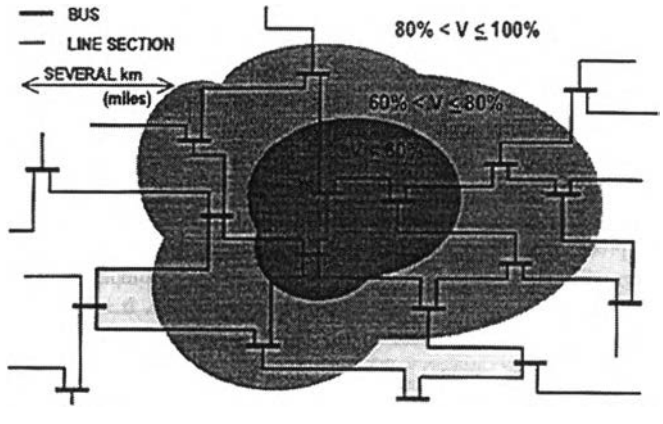
1. Z_A เป็นขนาดของเน็ทเวร์กอิมพีแดนซ์
2. Z_B เป็นขนาดของอิมพีแดนซ์ของสายซึ่งขึ้นกับชนิดของสายและความยาวสาย
3. Z_f เป็นขนาดของฟอลท์อิมพีแดนซ์

สมการที่(1) เป็นสมการอย่างง่ายที่ใช้คำนวณหาค่าของแรงดันตกชั่วขณะ ในกรณีที่ได้รับผลของความผิดพร่องชนิดสามสาย (3ϕ Fault) ในกรณีที่เกิดความผิดพร่องแบบอื่นเช่น 1สายลงดิน หรือแบบอื่น จำเป็นต้องใช้สมการที่สลับซับซ้อนมากกว่าสมการที่ (1) ในระบบใหญ่ๆเช่น ระบบที่มีการต่อเชื่อมกันหลายร้อยบัส มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้แบบจำลองเน็ทเวอร์ก (Network Model) ของระบบเข้ามาช่วยในการคำนวณในการหาค่าผลของขนาดแรงดันตกชั่วขณะ ในแต่ละจุดของเน็ทเวอร์กโดยอาจมีอุปกรณ์ช่วยลดขั้นตอนเรื่องเวลา เช่น คอมพิวเตอร์

ระยะทาง(กิโลเมตร) จากจุดผิดพร่อง	แรงดันต่ำสุดในเฟส สำหรับความผิดพร่องแต่ละชนิด		
	3เฟส	เฟสต่อเฟส	เฟสต่อกราวด์
0 ถึง 8	0ถึง0.6	0ถึง0.7	0ถึง0.75
42	0.71	0.82	0.87
56	0.67	0.67	0.81
64	0.71	0.78	0.84
86	0.84	0.88	0.91
153	0.94	0.97	0.95
156	0.88	0.91	0.92

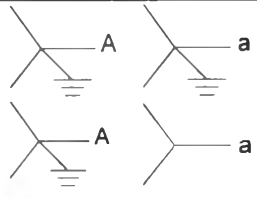
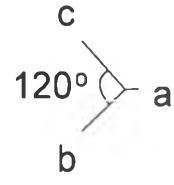
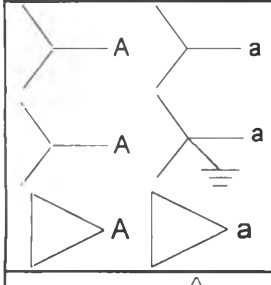
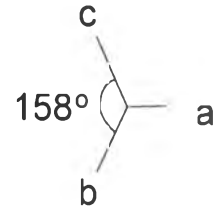
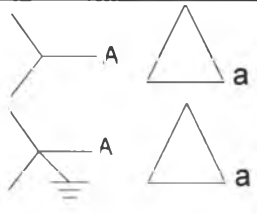
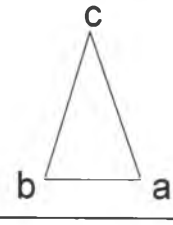
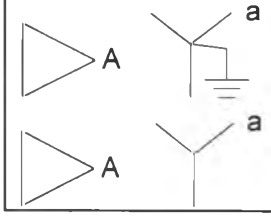
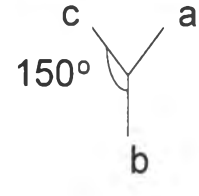
ตารางที่ 3.1ค่าแรงดันเน็ทเวอร์กต่อระยะทางจากจุดที่เกิดความผิดพร่อง

ตารางที่ 3.1 เป็นผลของการวิเคราะห์ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะในเน็ทเวอร์กของระบบที่มีจำนวนบัสมากกว่า 1000 บัส ตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 **ระบบไฟฟ้าที่มีจำนวนบัสที่มี** มากกว่า 100 **บัสที่ใช้ในการวิเคราะห์**

นอกจากนี้การต่อหม้อแปลงในระบบไฟฟ้าจะมีผลต่อขนาดของแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบไฟฟ้า ดังตารางที่ 3.2

Transformer Connection	Phase to Phase			Phase to Neutral			Phasor Diagram
	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	
	0.58	1.00	0.58	0.00	1.00	1.00	
	0.58	1.00	0.58	0.33	0.88	0.88	
	0.33	0.88	0.88	--	--	--	
	0.88	0.88	0.33	0.58	1.00	0.58	

ตารางที่ 3.2 ผลของการต่อหม้อแปลงที่มีต่อแรงดันผิดปกติทางด้านทุติยภูมิ

จากตารางที่ 3.2 เป็นตารางผลของการต่อหม้อแปลง เมื่อเกิดความผิดพร่องแบบหนึ่งสายลงดิน(Single line to ground fault) ที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ที่เฟส A จะมีผลต่อด้านทุติยภูมิ ซึ่งทำให้มีผลต่อขนาดแรงดัน

คาบเวลาของการเกิด (Duration of Voltage Sag)

คาบเวลาของการเกิด คือ ช่วงเวลาที่เริ่มเกิดการลดลงของขนาดแรงดันจนกระทั่งกลับเข้าสู่สภาวะปกติ ช่วงเวลาหรือคาบเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะจะมีค่ายาวนานเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ป้องกันที่มีในระบบไฟฟ้าที่ยอมให้ กระแสผิดพร่องไหลผ่าน ซึ่งอุปกรณ์ป้องกันต่างๆจะมีช่วงเวลาทำงานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอาณาบริเวณของระบบไฟฟ้าว่าบริเวณดังกล่าวมีความสำคัญต่อระบบโดยรวมมากน้อยเพียงใด

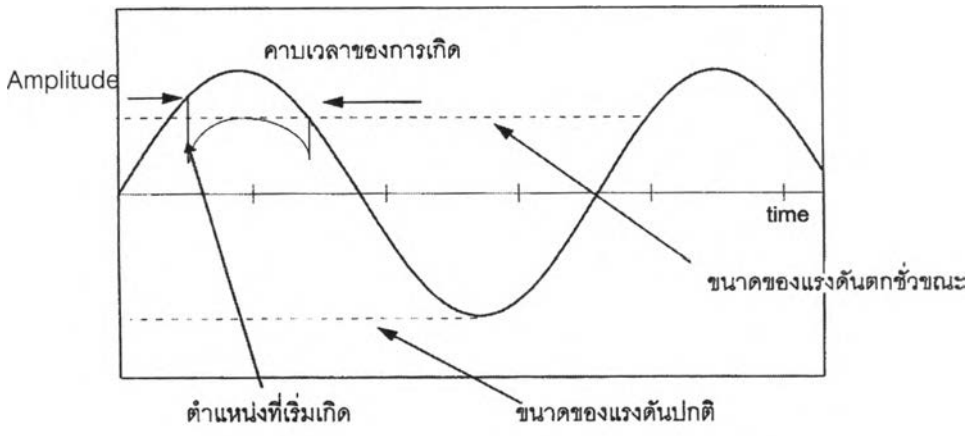
ตารางที่ 3.3 เป็นตารางที่แสดงช่วงเวลาของการทำหน้าที่ในการขจัดความผิดพร่องซึ่งก็คือช่วงเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

ชนิดของอุปกรณ์ขจัดความผิดพร่อง	ช่วงเวลาขจัด(ไซเคิล) ชนิดต่ำสุด	ชนิดหน่วงเวลา	จำนวนครั้งกระทำซ้ำ
Expulsion Fuse	0.5	0.5ถึง60	ไม่มี
Current Limiting Fuse	น้อยกว่า 0.25	0.25 ถึง6	ไม่มี
Electronic Recloser	3	1ถึง 30	0ถึง4
Oil Circuit Breaker	5	1ถึง 60	0ถึง4
SF6 or Vacuum Breaker	3	1ถึง 60	0ถึง4

ตารางที่ 3.3 ช่วงเวลาขจัดความผิดพร่อง ของอุปกรณ์ป้องกัน

ตำแหน่งบนคลื่นขณะเริ่มเกิดหรือมุมเฟสการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ (Phase occurrence of voltage sag)

ตำแหน่งบนคลื่นขณะเริ่มเกิดแรงดันตกชั่วขณะ คือ ค่ามุมเฟสในขณะเกิดการลดลงของแรงดันค่าของมุมเฟสในขณะนั้นจะมีผลต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ โดยเฉพาะในช่วงระยะที่ยังไม่คงตัว (dynamic behavior) เนื่องจากในช่วงสภาวะดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่มีช่วงเวลาสั้นๆ ในการเปลี่ยนแปลงแรงดัน หรือ กระแสไฟฟ้า ในสภาวะกระทันหันยังผลทำให้เกิดความผิดปกติในรูปแบบสภาวะชั่วครู่ (Transient) แบบต่างๆ หากอุปกรณ์มีความสามารถในการคงทนต่อความผิดปกติในสภาวะชั่วครู่นี้ไม่ได้จะยังผลให้อุปกรณ์เหล่านั้นทำงานผิดพลาด หรือเกิดความเสียหายขึ้นกับระบบโดยรวม คุณสมบัติของแรงดันตกชั่วขณะสามารถที่จะแสดงได้ดังรูป

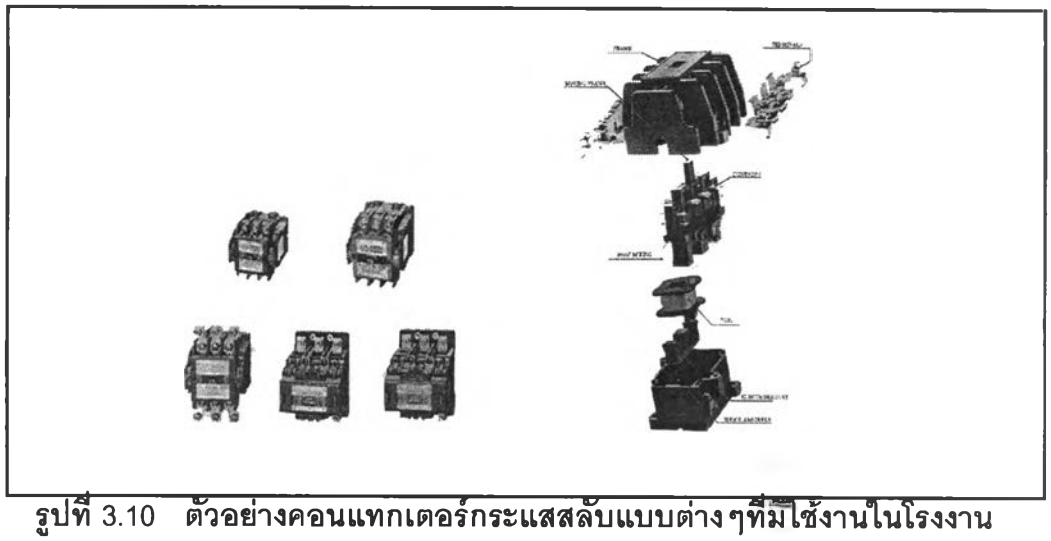


รูปที่ 3.9 คุณสมบัติของแรงดันตกชั่วขณะ

จากที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความไวต่อแรงดันหลายชนิดจะมีผลต่อความผิดปกติแบบแรงดันตกชั่วขณะ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้มุ่งเน้นในการศึกษาในส่วนที่เป็นอุปกรณ์ดังกล่าวโดยให้ความสนใจที่อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดที่มีใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

3.4 ผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะต่อการทำงานของคอนแทกเตอร์กระแสสลับ

คอนแทกเตอร์กระแสสลับ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความไวต่อแรงดันชนิดหนึ่ง ที่มีใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรม คอนแทกเตอร์กระแสสลับเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เหมือนสวิทช์ตัดต่อที่ใช้ในการจ่ายพลังงานให้กับโหลดเหมือนสวิทช์ธรรมดาทั่วไป แต่มีความแตกต่างในลักษณะการทำงาน โดยคอนแทกเตอร์กระแสสลับจะอาศัยหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าแทนที่จะเป็นการสับสวิทช์ปิด-เปิดแบบธรรมดา



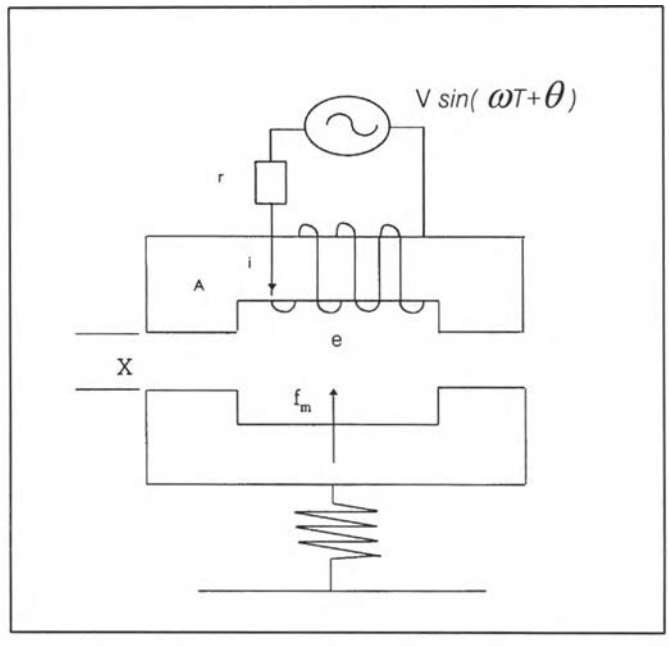
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างคอนแทกเตอร์กระแสสลับแบบต่างๆที่มีใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

คอนแทกเตอร์กระแสสลับประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่อยู่กับที่ (Stationary part) เป็นส่วนของอุปกรณ์ ที่ไม่มีการเคลื่อนที่ในขณะที่มีการทำงานของคอนแทกเตอร์กระแสสลับ ส่วนที่อยู่กับที่นี้ได้แก่ ส่วนที่เป็นฐานของคอนแทกเตอร์ , ขดลวดกระแส, ขั้วต่อต่างๆ (terminal)
2. ส่วนที่มีการเคลื่อนที่ (Moving part) เป็นส่วนของอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่ในขณะที่มีการทำงานของคอนแทกเตอร์ ประกอบไปด้วยชุดแกนเหล็กรูปตัวซี

ชุดหน้าสัมผัสในคอนแทกเตอร์กระแสสลับสามารถแยกออกได้เป็น 2 ชนิดคือ หน้าสัมผัสหลัก (Main Contactor) และ หน้าสัมผัสช่วย (Auxilliary Contactor) โดยที่หน้าสัมผัสหลัก จะทำหน้าที่ในการตัดต่อวงจรอุปกรณ์ปลายทาง ในขณะที่หน้าสัมผัสช่วยจะทำหน้าที่ในการตัดต่อวงจรควบคุม เนื่องจากมีขนาดเล็กและทนกระแสได้ต่ำ หน้าสัมผัสช่วยแบ่งออกเป็น 2ชนิด คือ แบบปกติเปิด (normally open) และแบบ ปกติปิด(normally close)

การทำงานของ คอนแทกเตอร์กระแสสลับ เมื่อเราทำการป้อนแรงดันให้กับขดลวด ขดลวดดังกล่าวจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นเหนี่ยวนำที่แกนเหล็กรูป ตัวซีด้านล่าง ทำให้เกิดสภาพความเป็นแม่เหล็กขึ้น โดยแรงดึงที่เกิดขึ้นถ้ามีค่ามากกว่า ค่าแรงดึงสปริง (Snap Spring) ที่แกนเหล็กรูปตัวซีด้านบนที่ยึดติดกับส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ก็จะเคลื่อนที่ตามแกนเหล็กรูปตัวซี ทำให้คอนแทกเตอร์เกิดการทำงานในที่สุด จากรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นรูปของคอนแทกเตอร์พื้นฐาน เราสามารถที่จะวิเคราะห์หาค่าแรงที่จะเอาชนะแรงดึงของสปริงได้ดังนี้



รูปที่ 3.11 คอนแทกเตอร์พื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์

จากความสัมพันธ์ $$f_m = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL(X)}{dX} \quad (2)$$

โดยที่ f_m เป็นค่าแรงดึงที่เกิดจากการป้อนแรงดันให้กับขดลวดของคอนแทกเตอร์

I เป็นกระแสที่ผ่านขดลวดของคอนแทกเตอร์

$\frac{dL(X)}{dX}$ เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความเหนี่ยวนำต่อการเปลี่ยนแปลงระยะ

แต่เนื่องจาก $$L(X) = \frac{N^2}{R_{sys}(X)}$$

โดยที่ N เป็นจำนวนรอบของขดลวดกระแส

R_{sys} (X) เป็นความต้านทานแม่เหล็กรวมของระบบ

เพราะว่า $$R_{sys}(X) = R_{core} + 2R_{Gap} \quad (3)$$

แต่ $$R_{Gap} = \frac{2X}{\mu_0 A}$$

โดยที่ X คือ ระยะGap ของช่องอากาศ

μ_0 คือ ค่าสภาพการซึมซาบของแม่เหล็ก

A คือ ค่าพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

ดังนั้น $$R_{System} = \frac{\mu_0 A R_0 + 2X}{\mu_0 A}$$

แทนค่าใน(3) $$L(X) = \frac{N^2 \mu_0 A}{\mu_0 A R_0 + 2X}$$

ดังนั้น $$\frac{dL(X)}{dX} = \frac{-2N^2 \mu_0 A}{(\mu_0 A R_{Core} + 2X)^2}$$

แทนค่า ใน (2) จะได้ว่า $$f_m = \frac{-N^2 I^2 \mu_0 A}{(\mu_0 A R_{Core} + 2X)^2} \quad (4)$$

ถ้ากำหนดให้แหล่งจ่ายเป็นแหล่งจ่ายกระแสสลับที่มีค่าเป็น $V = V_m \; SIN(\omega t)$

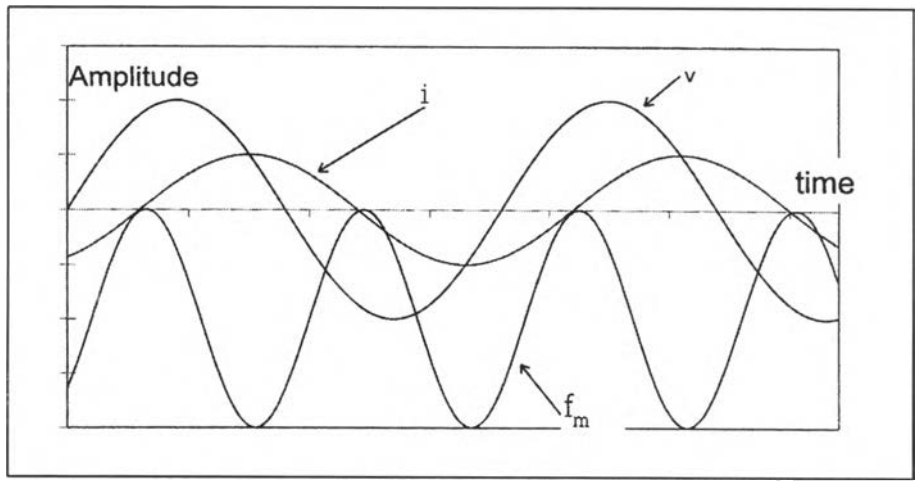
แต่เนื่องจาก $$i = \frac{V_m \sin(\omega t - \arctan(\omega L / r))}{\sqrt{r^2 + (\omega L)^2}}$$

โดยที่ r คือ ค่าความต้านทานของขดลวด

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

แทนค่า I ใน (4) $$f_m = \frac{-N^2 V_m^2 \mu_0 A \sin^2(\omega t - Arc\tan(\omega L / r)}{(\mu_0 A R_{Core} + 2X)^2 (r^2 + \omega^2 L^2)} \quad (5)$$

ดังนั้น $$f_{m,AV} = \frac{-N^2 V_m^2 \mu_0 A}{2(\mu_0 A R_{Core} + 2X)^2 (r^2 + \omega^2 L^2)} \quad (6)$$



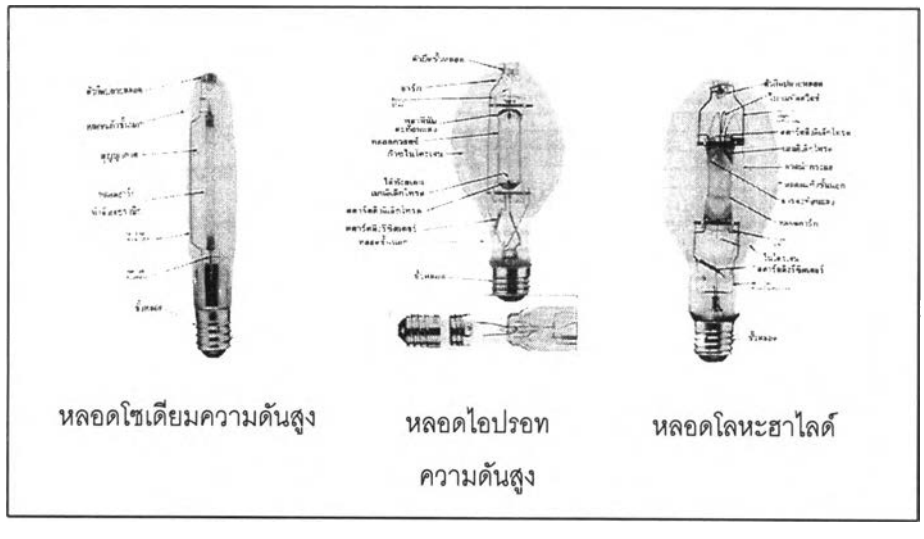
รูปที่ 3.12 **กราฟความสัมพันธ์ค่าแรงดัน**(V) **กระแส**(I) **และ ค่าแรง** (f_m)

จาก สมการที่(4) และ (6) แสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการทำงานของคอนแทกเตอร์นั้นขึ้นอยู่กับแรงที่สามารถเอาชนะแรงดันสปริง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแรงนั้นขึ้นอยู่กับค่าแรงดันที่ทำการป้อนให้กับขดลวดกระแสของคอนแทกเตอร์ ดังนั้นหากค่าแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าปกติจะมีผลต่อการทำงานของคอนแทกเตอร์ได้

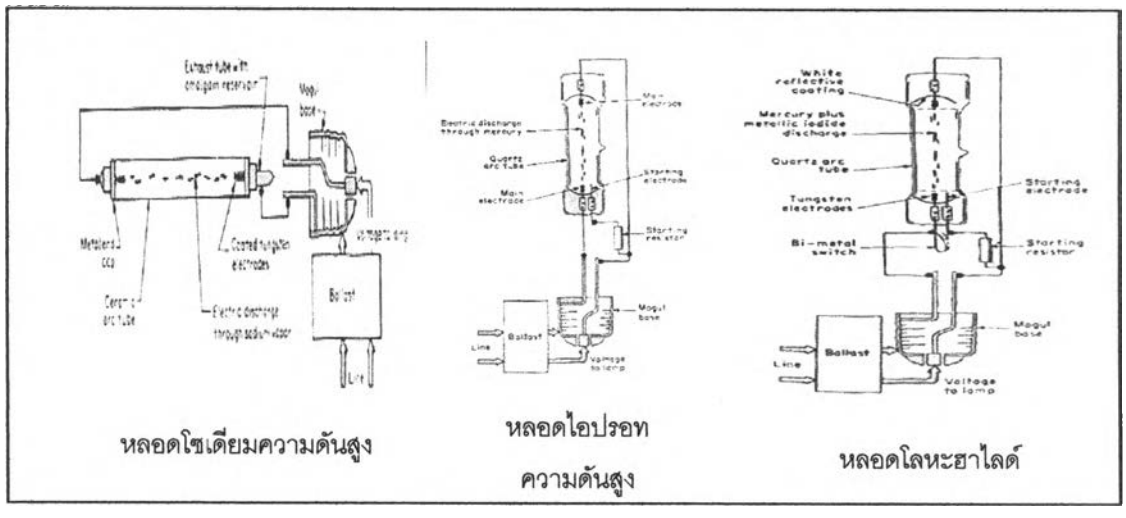
3.5 ผลกระทบของแรงดันตกชั่วขณะต่อการทำงานของหลอดปล่อยประจุในแก๊สความเข้มแสงสูง (High Intensity Discharge Lamp , HID Lamp)

หลอดปล่อยประจุในแก๊สความเข้มแสงสูง เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความไวต่อความผิดปกติทางด้านแรงดัน เป็นอุปกรณ์ที่มีใช้กันทั่วไป ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม สนามกีฬา หรือสถานที่ที่มีความสำคัญต่างๆ หลอดปล่อยประจุในแก๊สความเข้มแสงสูงแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ได้ด้วยกัน 4 ประเภทดังนี้

1. หลอดแสงผสม (Blended Light Lamp)
2. หลอดโลหะฮาไลด์ (Metal Halide Lamp)
3. หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium Lamp)
4. หลอดไอปรอทความดันสูง(High Pressure Mercury Lamp)



รูปที่ 3.13 ประเภทของหลอดปล่อยประจุในแก๊สความเข้มแสงสูง

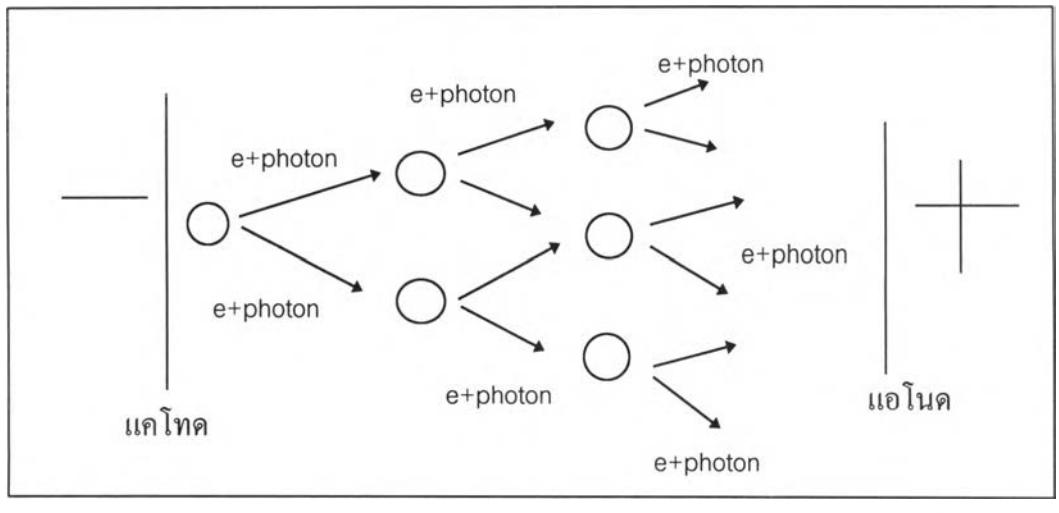


รูปที่3.13 (ต่อ) ประเภทของหลอดปล่อยประจุในแก๊สความเข้มแสงสูง

โดยหลอดปล่อยประจุในแก๊สความเข้มแสงสูงทั้ง 4 ชนิด จะมีหลักการทำงานที่คล้ายกัน โดยอาศัยหลักการกระตุ้นพลังงานภายในของอนุภาคแก๊ส โดยอาศัยสนามไฟฟ้าเป็นตัวช่วยในการกระตุ้น ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่ทำให้หลอดปล่อยประจุในแก๊สความเข้มแสงสูง เกิดการสว่างขึ้นนั้นสามารถที่จะกล่าวได้โดยสรุปดังนี้ ในสภาพปกติโดยทั่วไปนั้นอนุภาคแก๊สที่อยู่ในหลอดปล่อยประจุในแก๊สความเข้มแสงสูงจะพยายามที่จะรักษาสภาพที่จะทำให้ตัวโมเลกุลของแก๊สมีสภาวะที่เสถียรภาพมากที่สุด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือโมเลกุลของแก๊สจะพยายามที่จะรักษาให้ภายในโมเลกุลให้มีพลังงานต่ำที่สุด เราเรียกสภาวะดังกล่าวว่าสภาวะพื้น (Ground State) ต่อมาเมื่อมีการกระตุ้นพลังงานให้กับแก๊ส โดยการจ่ายแรงดันให้กับขั้วแคโทดของหลอดปล่อยประจุในแก๊สความเข้มแสงสูง จากภายนอก เมื่อขั้วแคโทดได้รับค่าพลังงานจนถึงค่าหนึ่งซึ่งเท่ากับค่าพลังงานยึดเหนี่ยวภายใน จะทำให้เกิดการหลุดออกของอิเลคตรอนที่ผิวของขั้วแคโทด อิเลคตรอนดังกล่าว จะถูกบังคับให้มีการเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้า โดยที่มีการเคลื่อนที่ด้วยค่าพลังงานค่าหนึ่ง และจะทำให้เกิดการชนของอิเลคตรอนดังกล่าวกับโมเลกุลของแก๊สภายในหลอด ถ้าการชนดังกล่าวมีค่าพลังงานมากพอก็จะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลแก๊ส โดยโมเลกุลแก๊ส จะเกิดการแตกตัวของอิเลคตรอนที่ชั้นนอกสุดของโมเลกุลแก๊ส พร้อมกันนั้นจะมีการคายพลังงานส่วนหนึ่งออกมาในรูปของความร้อนและแสง ที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) กระบวนการเกิดดังกล่าวข้างต้นจะเกิดต่อเนื่องกันไปเป็นลักษณะลูกโซ่ จนเกิดสภาพการนำกระแสของหลอดได้ในที่สุด สมการแสดงความสัมพันธ์การเกิดปฏิกิริยา สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Cathod} + \text{พลังงาน} \longrightarrow \text{Cathod} + e^- \longrightarrow B + e^- \longrightarrow B^- + \text{photon} + \text{Heat} + e^-$$

- โดยที่ B แทนโมเลกุลของแก๊สในหลอดปล่อยประจุความเข้มแสงสูง



รูปที่ 3.14 กระบวนการเกิดการเปล่งแสงของหลอดปล่อยประจุในแก๊สความเข้มแสงสูง

จำนวนของอนุภาคที่เกิดขึ้นสามารถหาโดยใช้สมการการเกิดอนุภาคของ Boltzmann ดังนี้

$$n_k = n_0 \left(\frac{g_k}{g_0}\right) \exp\left(\frac{-eV_k}{kT}\right) \qquad (7)$$

โดยที่ n_k คือ จำนวนอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยแรงดันV_k

n_0 คือ จำนวนอนุภาคที่สภาวะพื้น

g_k คือ ค่าน้ำหนักทางสถิติของอนุภาคที่ระดับพลังงานที่ถูกกระตุ้น

g_0 คือ ค่าน้ำหนักทางสถิติของอนุภาคที่ระดับพลังงานสภาวะพื้น

e คือ ขนาดประจุอิเลคตรอน

V_k คือ ค่าแรงดันที่ทำการป้อนให้กับหลอด

k คือ ค่าคงที่ของ โบท์ลมันน์ (Boltmann constant)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์

อนุภาคเหล่านี้จะทำให้เกิดลำอาร์กซึ่งเป็นกลุ่มของอิเลคตรอนที่นำกระแสไฟฟ้า ในช่วงการเกิดกระบวนการปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีการแผ่รังสี โดยขนาดความยาวอาร์กต่อหน่วยความยาวซึ่งมีค่าแปรผันกับ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดและจำนวนอนุภาคที่ระดับพลังงาน V_mดังนี้

$$P = D^2 n_0^{-0.5} E^2 T^{0.25} \left(\frac{R}{D^2 n_0}\right)^{\frac{V_i}{2V_m}} \quad (8)$$

โดยที่ P คือ ความยาวของลำอิเลคตรอน หรือ ความยาวของลำอาร์ก

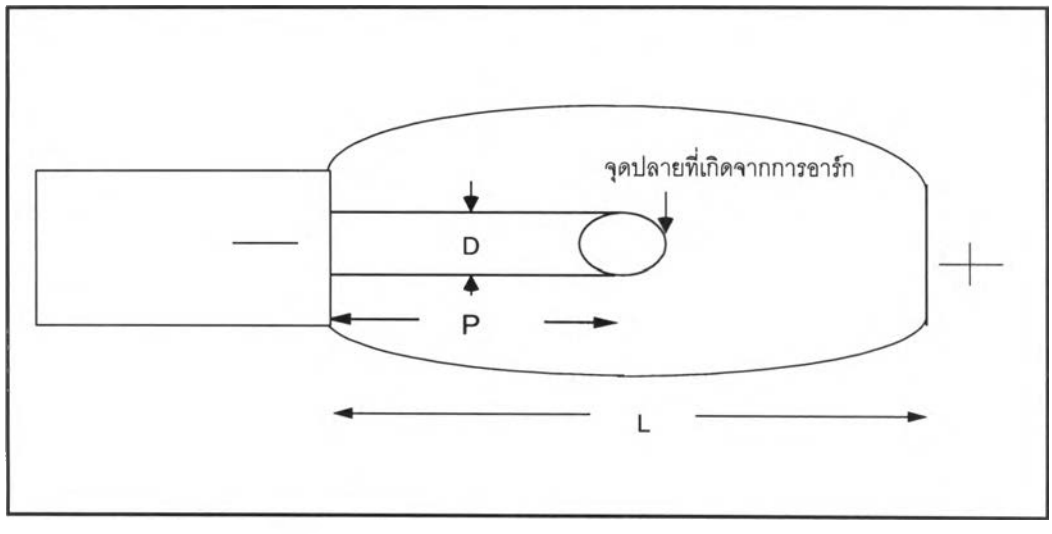
D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางการเกิดปฏิกิริยาคายประจุของแก๊ส

E คือ ขนาดความเข้มสนามไฟฟ้าที่ทำการป้อนให้หลอดไฟ

R คือ ขนาดปริมาณการแผ่รังสีแสง (Photon Energy) ต่อ หน่วยความยาวหลอด

V_i คือ ขนาดของแรงดันที่ทำการป้อนให้หลอด ณ. จุดที่ทำการพิจารณา

V_m คือขนาดแรงดันที่ทำการป้อนให้หลอด ณ.จุดที่เกิดลำอิเลคตรอนหรือการอาร์ก



รูปที่ 3.15 พารามิเตอร์ในขณะเกิดลำอิเลคตรอนในกระบวนการเปล่งแสงของหลอด

จากสมการที่ (8) จะเห็นได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาการเกิดลำอิเลคดรอน จะเกิดขึ้นเนื่องมาจากผลของสนามไฟฟ้าซึ่งมาจากค่าแรงดันที่ทำการป้อนให้กับหลอดไฟ เนื่องจากความสัมพันธ์ของค่าสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิด ลำอิเลคตรอนกับค่าแรงดันที่ทำการป้อนมีค่าเป็นไปตามสมการดังนี้

$$E \propto \frac{P^{\frac{1}{2}}}{R^{\frac{V_i}{4V_m}}} \left(\frac{m^{0.25} + \frac{V_i}{4V_m}}{d^{1.5}}\right) \quad (9)$$

โดยที่ m คือ จำนวนอนุภาคที่เกิดปฏิกิริยา

P คือ ความยาวของลำอิเลคตรอน

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด

R คือ ขนาดการแผ่รังสีแสงต่อหน่วยความยาวของหลอด

V_i คือขนาดแรงดันที่ทำการป้อนให้กับหลอด

จาสมการที่ (9) จะเห็นได้ว่าการที่จะทำให้หลอดปล่อยประจุในแก๊สความเข้มแสงสูง เกิดการเปล่งแสงได้นั้น จำเป็นที่จะต้องทำการป้อนค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้มีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดการกระตุ้นพลังงานภายในของโมเลกุลของแก๊ส ซึ่งจากสมการที่ (9) จะเห็นได้ว่าค่าสนามไฟฟ้าจะมีค่ามากน้อยเพียงใดจะแปรผันกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำการป้อนให้หลอดไฟมีค่ามากเพียงพอที่ทำให้เกิดกระบวนการ ดังนั้นความผิดปกติทางด้านแรงดันจะมีผลต่อกระบวนการเกิดการสว่างของหลอด

I16666495