คาปาซิเตอร์แรงดันสูง

(HIGH VOLTAGE CAPACITOR)

นาย วิชชุ สล้างสกุล 30 - 1244

(Mr.Wichu Salangsakun)

นาย วิชาญ วัฒนสกุลพงศ์ 30 - 1247

(Mr. Wicharn Wattanasakunpong)

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ นิทัศน์ กฤษณจินดา

ADVISOR

Mr. NITHAD KRISNACHINDA (B.Eng KMIT) E.E. (Ohio state)

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาตรี

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

(KMIT'L)

ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032713

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2534

เรื่อง

HIGH VOLTAGE CAPACITOR

ผู้จัดทำ นาย วิชชุ สล้างสกุล 30.1244

นาย วิชาญ วัฒนสกุลพงศ์ 30.1247

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ นิทัศน์ กฤษณจินดา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032713

บทคัดย่อ

โครงงาน High voltage capacitor นี้เป็นโครงงาน ทางด้านไฟฟ้าแรงสูง ที่ได้จัดทำขึ้น เป็นการพัฒนา capacitor ให้ใช้กับ พิกัดแรงดันที่สูงขึ้นกว่าเดิมโดยพัฒนาจากพิกัดแรงดัน 12 KV เป็นพิกัด แรงดันขนาด 24 KV ซึ่งขั้นตอนการออกแบบที่นำเสนอนี้ออกแบบพื้นฐานทางทฤษฎี โดยพัฒนาขึ้นมาจากโครงงานในปีการศึกษาที่ผ่านมา และคาปาซิเตอร์ที่เป็นแบบ Unit นี้ เหมาะที่จะใช้เป็นอุปกรณ์ปรับค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ในระบบส่งกำลังแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This project concerns with the design, construction , and test of a single-phase high voltage capacitor. The rating of 24 kV, 80 kVAR results from the development of the previous project (of 12kV, 30 kVAR) which is suitable either for power-factor improvement on the 24 kV transmission line or HV laboratory uses. Construction materials and test procedures (IEC-70/1968) are according to those requirement of the commercial type.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ		
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	กฎพื้นฐานของคาปาซิเตอร์	2
บทที่ 3	โครงและกรรมวิธีการผลิตคาปาซิเตอร์	11
บทที่ 4	การออกแบบสร้างคาปาซิเตอร์	15
บทที่ 5	การทดสอบก่อนนำมาใช้ ; มาตรฐาน IEC 70, 1967	19
บทที่ 6	การสร้าง,การทดสอลและการประเมินผล	24
บทที่ 7	ข้อสรุปและวิจารณ์	
กิตติกรรมประกาศ		
เอกสารอ้างอิง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

บริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดประสงค์หลัก เพื่อทำการศึกษาลักษณะสมบัติของคาบาซิเตอร์แรงดันที่พิกัด 24 KV โดยละเอียด และออกแบบสร้างให้ใช้งานได้จริงมาตรฐาน IEC 70:1967 โดยคาดหวังว่าข้อมูลและเนื้อหาเกี่ยวกับคาบาซิเตอร์แรงดันสูงที่พิกัด 24 KV คงจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ที่สนใจ จะทำการศึกษาค้นหว้าหรือทำการวิจัย เพื่อทำการพัฒนาอุปกรณ์คาบาซิเตอร์ ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นต่อไปอีก

เนื้อหาของบริญญานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งออกเป็น ซึ่งในแต่ระบบมีเนื้อหาสาระดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึง กฎพื้นฐานของคาบาซิเตอร์

บทที่ 3 กล่าวถึง โครงสร้างและกรรมวิธีการผลิตคาบาซิเตอร์

บทที่ 4 กล่าวถึง การออกแบบสร้างคาบาซิเตอร์

บทที่ 5 กล่าวถึง การทดสอบก่อนนำมาใช้; มาตรฐาน IEC 70, 1967

บทที่ 6 กล่าวถึง การสร้าง, การทดสอบและการประเมินผล

บทที่ 7 กล่าวถึง ข้อสรุปและวิจารณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

กฎพื้นฐานของคาปาซิเตอร์

คุณสมบัติของสารไดอิเล็กตริก

ไดอิเล็กตริกคือฉนวนไฟฟ้า ที่ใช้ทำหน้าที่คั่นระหว่างอิเล็กโตรด เพื่อให้ทนแรงได้สูงขึ้นกว่าอากาศ

ลักษณะสำคัญที่เป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติและคุณภาพของสารไดอิเล็กตริกมี 4 ประการคือ

- ความต้านทาน
- เปอร์มิตติวิตี้ หรือค่าคงตัวไดอิเล็กตริก
- แฟคเตอร์พลังงานสูญเปล่าไดอิเล็กตริก
- ค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าไดอิเล็กตริก

1. ความต้านทาน

ไดอิเล็กตริกหรือฉนวนไฟฟ้าที่สมบูรณ์ จะต้องไม่นำกระแสเลยเมื่อได้รับแรงดันกระแสตรง นั่นคือไม่มีสภาพนำไฟฟ้าเลย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสารฉนวนนั้นมีค่าความต้านทานสูงเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติ ฉนวนที่ใช้งานจะนำกระแสซึ่งมีค่าน้อยมาก แสดงว่าสารฉนวนไฟฟ้ามีค่าความต้านทานสูงมาก แต่ไม่เป็นอนันต์เลยทีเดียว ถ้าค่าความต้านทานยิ่งสูง ฉนวนนั้นยิ่งมีคุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำฉนวนไปคั่นระหว่างอิเล็กโตรดแล้วป้อนแรงดันกระแสตรงเป็นเวลานานจนกระทั่งอยู่ตัว จะมีกระแสไหลผ่านฉนวนนั้นในปริมาณน้อย เรียกว่า กระแสรั่ว หรือกระแสค้าง กระแสจะรั่วผ่านฉนวน 2 ทาง ทางหนึ่งไหลผ่านเนื้อฉนวน อีกส่วนไหลผ่านตามผิวของฉนวน เพราะผิวมีสภาพนำไฟฟ้าเนื่องจากความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน การวัดความต้านทานของฉนวนจึงแยกเป็นความต้านทานเชิงปริมาตร และความต้านทานเชิงผิว

2. <u>เปอร์มิตติวิตี้ หรือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก</u>

เมื่อป้อนแรงดันให้แผ่นอิเล็กโตรดทั้งสอง ฉนวนที่เป็นไดอิเล็กตริกจะเก็บกักพลังงาน การใช้ฉนวนก็เพื่อไม่ให้กระแสไหลระหว่างอิเล็กโตรด

ความสามารถในการเก็บกักพลังงาน เรียกว่า เปอร์มิตติวิตี้ หรือค่าคงตัวไดอิเล็กตริก เปอร์มิตติวิตี้ เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่โดยไดอิเล็กตริกนั้นเก็บกักได้ เปรียบเทียบกับเปอร์มิตติวิตี้ของอากาศ

- เปอร์มิตติวิตี้ของสูญญากาศ ε_0
- เปอร์มิตติวิตี้ของสูญญากาศ มีค่า $10^{-9}/36\pi$ (F/m)
- เปอร์มิตติวิตี้สัมพันธ์ ε_r

ถูกกำหนดด้วยค่าคาบาซิเตอร์ของไดอิเล็กตริก โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับการแทนที่อากาศด้วยไดอิเล็กตริก ตาราง 2.1 แสดงค่าเปอร์มิตติวิตี้ของไดอิเล็กตริกต่าง ๆ

ค่าเปอร์มิตติวิตี้เป็นอัตราส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็ก

ความเข้มสนามไฟฟ้า

เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้

$$\varepsilon = \varepsilon_o \quad \varepsilon_r$$

เมื่อ ε คือ เปอร์มิตติวิตี้สมบูรณ์

ε_o คือ เปอร์มิตติวิตี้ของสูญญากาศ

ε_r คือ เปอร์มิตติวิตี้สัมพันธ์

ตาราง 2.1 ค่าเปอร์มิตติวิตี้เฉลี่ยของสารไดอิเล็กตริกที่ใช้ทำคาปาซิเตอร์

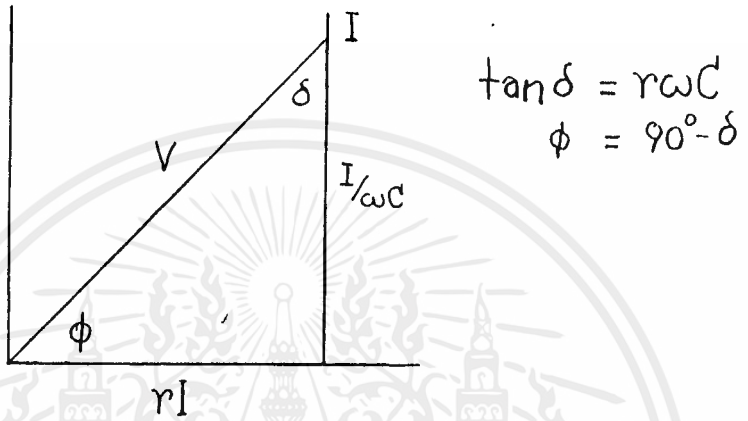
สารไดอิเล็กตริก	ε_r
อากาศ	1.00
Barium titanate (ceramic)	3000.00
Cellulose (peper impregnated with PCB)	6.50
แก้ว	7.00
น้ำมันแร่	2.13
ไมก้า	5.60
Polypropylene	2.20
Polyester	2.90

3. **แฟคเตอร์พลังงานสูญเปล่าไดอิเล็กตริก**

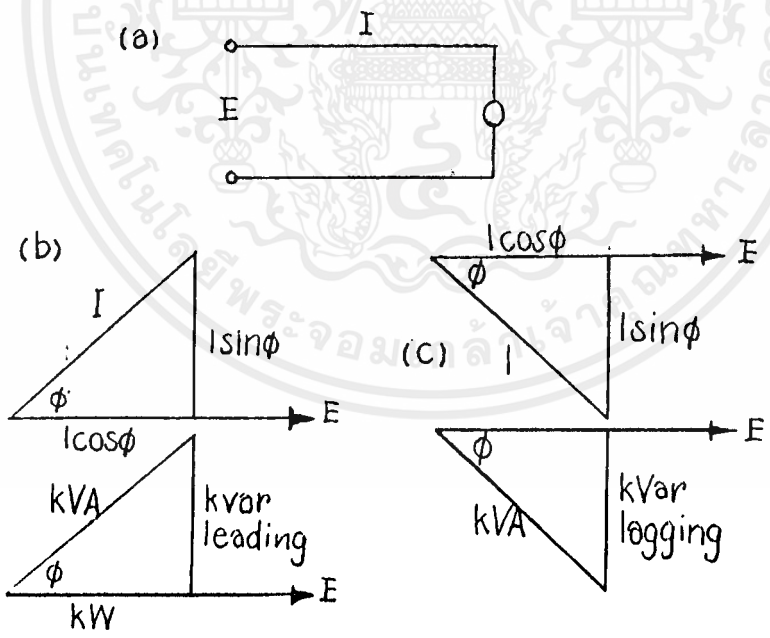
เมื่อไดอิเล็กตริกอยู่ในสูญญสกาศ จะไม่เกิด loss กระแสที่ไหลในคาปาซิเตอร์จะมีเพสนำแรงดัย 90· พอดี dielectric loss จะเป็นผลมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสนำแรงดันไม่ถึง 90· มุมนำที่หายไปเรียกว่า loss angle ถ้ามุมนี้คือ δ ดังนั้น phase angle คือ 90· - δ และเพาเวอร์แฟคเตอร์ มีค่าเท่ากับ cos (90· - δ) ซึ่งใกล้เคียงกับ tan δ เพราะจะเป็นมุมเล็กมาก ปกติ loss factor จะหมายถึง tan δ กระแสในคาบาซิเตอร์ $I = \omega CV$ และกำลังที่คาบาซิเตอร์รับไว้ $p = VI \cos\phi$ ซึ่งเท่ากับ $VI \tan\delta$ (เมื่อ δ มีค่าต่ำกว่า 0.1)



รูป 2.1 กำลังไฟฟ้าของวงจรคาบาซิทีพ



รูป 2.2 Power phasor และ complexors ในวงจรกระแสสลับ

a. อินดัคทีพหรือคาบาซิทีพโหลด

b. คาบาซิทีพ

c. อินดัคทีพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.2 เปรียบเทียบ loss เมื่อใช้สารไดเล็กตริกต่างกัน

Dielectric	Loss (W/kvar)
Paper,oil-impregnated	2.0-2.5
Paper, PCB-impregnated	3.0-3.5
Plastic film/paper,PCB-impregnted	0.5-1.0
Plastic film/paper,oil-impregnted	0.5-1.0
Metallised film	under 0.5
Plastic film (OPP),MIPE-impregnated	under 0.2

4. ค่าความคงทนแรงดันไฟฟ้าของไดเล็กตริก (ความเครียดสนามไฟฟ้า)

เนื่องจากค่าแรงดันสูงสุดที่จ่ายคร่อมฉนวน กำหนดจากความหนาและชนิดของฉนวนนั้น ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนทนได้นี้ จึงจำเป็นมาในการออกแบบคาปาซิเตอร์ เพราะความเครียดสนามไฟฟ้าจะเป็นตัวบ่งชี้มากที่สุดคร่อมไดเล็กตริกต่อความหนา

$$\text{ความเครียดสนามไฟฟ้า} = \frac{\text{แรงดันที่คร่อมไดเล็กตริก}}{\text{ความหนาของไดเล็กตริก}}$$

มีหน่วยในระบบ SI คือ MV/m ซึ่งเท่ากับ volt/micrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.3 ค่าเฉลี่ยของความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของไดเล็กตริกต่าง ๆ

สารไดเล็กตริก	ค่าความคงทนเมื่อใช้งาน (MV/m)
อากาศ	2-3
Barium titanate (ceramic)	0.35
Cellulose(paper impregnated with PCB)	16-18
น้ำมันแร่	16-18
ไมก้า	80-100
Polypropylene (ในไดเล็กตริกผสม)	48-52

หมายเหตุ ค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าขณะใช้งาน จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและอุณหภูมิแวดล้อม

คาบาซิแตนซ์

คาบาซิแตนซ์ คือ แพกเตอร์ที่กำหนดปริมาณประจุที่สะสมในคาบาซิเตอร์ ในการใช้งานพบว่าประจุ (Q) ที่สะสมในคาบาซิเตอร์ จะแปรผันตาม cherging

$$Q \propto V$$

ค่าคาบาซิแตนซ์ของคาบาซิเตอร์นิยามด้วยสมการ

$$C = Q/V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ C คือ คาปาซิแต้นซ์ (Farads, F)

Q คือ ปริมาณประจุ (คูลอมน์, C)

V คือ ความต่างศักย์ (volt)

ในการใช้งานหน่วยพารัดจะใหญ่เกินไป ปกติสาขาอิเล็กโทรนิคจะใช้หน่วย pocofarad ($pF=10^{-12}F$) ส่วนเพาเวอร์คาปาซิเตอร์ใช้หน่วย microfarad ($\mu F=10^{-6}F$)

ค่าคาปาซิแตนซ์ของ plate ที่ขนานกันขึ้นอยู่กับ

1. พื้นที่ประสิทธิผลของสนามไฟฟ้า
2. ระยะระหว่าง plate
3. วัสดุที่ใช้ทำไดเล็กตริก

ไดเล็กตริกแบบ plate ขนานกัน มีค่าคาปาซิเตอร์

$C = \varepsilon_o \varepsilon_r A/D = \varepsilon A/D$ F

เมื่อ A คือ พื้นที่ของสนามไฟฟ้า (m^2)

d ระยะระหว่าง plate (m)

ε เปอร์มิตติวิตี้สมบูรณ์

CAPACITOR LOSS

ค่า loss ที่เกิดขึ้นในตัวคาปาซิเตอร์จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับแรงดันและอุณหภูมิถึงแม้ว่า loss ที่คิดออกมาเป็นวัตต์จะมีค่าน้อยมาก แต่จะมีผลถึงอายุการใช้งานของคาปาซิเตอร์ด้วยเหตุผล 3 ข้อ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ในการใช้งานที่แรงดันสูง ๆ จะเกิดความเครียดทางไฟฟ้าต่อวัสดุที่ใช้เป็นสารไดเล็กตริก ทำให้เกิดความร้อนขึ้นเป็นผลเสียต่อวัสดุไดอิเล็กตริก

2. ปกติคาปาซิเตอร์จะทำงานโดยรับภาระเต็มที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิด loss ตลอดเวลาเช่นกัน

3. ตัวถังของคาปาซิเตอร์จะบิดมิด ทำให้ระบายความร้อนได้ยาก

<u>สูตรที่ใช้สำหรับเพาเวอร์คาปาซิเตอร์</u>

- คาปาซิแตนซ์รวม C

สำหรับคาปาซิเตอร์ที่ขนานกัน

$$C = C_1 + C_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + C_n$$

สำหรับคาปาซิเตอร์ที่ต่ออนุกรม

$$1/C = (1/C_1) + (1/C_2) + \ldots\ldots\ldots\ldots + (1/C_n)$$

- คาปาซิทีฟ รีแอคแตนซ์ X_c

$$X_c = 10^6/2\pi fc \quad \text{ohms}$$

เมื่อ C คือค่าคาปาซิแตนซ์ต่อเฟส (microfad)

f คือความถี่ไฟฟ้าที่ supply (Hz)

- กระแสของคาปาซิเตอร์ Ic

$$Ic = E/X_c$$

เมื่อ E คือแรงดันคร่อมคาปาซิเตอร์ (V)

X_c คือคาปาซิทีฟ รีแอคแตนซ์ (ohms)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032713

- kvar ของคาปาซิเตอร์

$$kvar = V1_c \times 10^{-3}$$

$$= 2\pi fCV^2 \times 10^{-9}$$

เมื่อ C คือค่าคาปาซิแตนซ์ต่อเฟส (microfarad)

f คือความถี่ไฟฟ้าที่ supply (Hz)

V line voltage (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โครงสร้างและกรรมวิธีการผลิตคาปาซิเตอร์

โครงสร้างพื้นฐานของคาปาซิเตอร์

เพาเวอร์คาปาซิเตอร์ จะประกอบด้วย element พื้นฐานหลาย ๆ ตัว ต่อร่วมกัน โดยโครงการของแต่ละ element จะเป็นม้วนของอูมิเนียมฟอล์ย 2 ชั้น ที่คั่นด้วยสารไดอิเล็กตริก (อาจเป็นกระดาษ หรือฟิล์มพลาสติกบาง ๆ หลาย ๆ ชั้น ซ้อนกัน)

ในกระบวนการพัน element จะคั่นระหว่างอูมิเนียมฟอล์ยวึ่งเป็นอิเล็กโตรดด้วยไดอิเล็กตริก และทาบแผ่นไดอิเล็กตริกกับอีกด้านของอูมิเนียมฟอล์ยแล้วม้วนบนแกนหมุนให้อูมิเนียมฟอล์ย และไดอิเล็กตริกแนบชิดกันสนิท

element ของเพาเวอร์คาปาซิเตอร์มี 2 แบบ คือ

1. Buried Foils โครงสร้างแบบนี้ จะมีแถบขั้วอิเล็กโตรดยื่นออกมาจากขอบของไดอิเล็กตริก เพื่อทำหน้าที่เชื่อมเข้ากับเทอร์มินัล โดยขั้วจะเป็นแผ่นโลหะน้ำไฟฟ้าเล็ก ๆ สอดอยู่ระหว่างไดอิเล็กตริกกับพอล์ยในขณะทำการม้วน

2. Extended Foils จะเป็นการวางอูมิเนียมพอล์ยให้เหลื่อมกันใน 2 ด้านของ element แล้วเชื่อมพอล์ยที่เหลื่อมออกมาจากไดอิเล็กตริก (อาจโดยการพ่น zinc) เข้าด้วยกัน ทำให้แต่ละด้านเป็นตัวเชื่อมกับเทอร์มินัลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีการผลิต

element ที่ม้วนเรียบร้อยแล้ว จะต้องตรวจและทดสอบ ก่อนที่จะประกอบเข้าด้วยกัน จะต้องทำให้ element แห้ง ภายใต้สภาวะใกล้สูญญากาศ เพื่อขจัดความชื้นและใส่ฉนวนเหลวเข้าไปแทนที่อากาศและความชื้นที่ดูดออกมา แล้วจึงนำเข้าสู่ขบวนการสทอสอบ

สำหรับคาปาซิเตอร์แรงดันสูง ความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างขั้นฟิล์มจะอยู่ในช่วงประมาณ 50 MV/m (กระดาษจะทนความเครียดสนามไฟฟ้าได้ประมาณ 17 MV/m) พื้นที่ของ element จะอยู่ในช่วง 10 m^2

ในการผลิตคาปาซิเตอร์จะต้องระมัดระวังในเรื่องของความสะอาดในทุกขั้นตอน รวมถึงในการทำสูญญากาศด้วย เพราะแม้บริมาณ ionic ที่ไม่บริสุทธิ์เพียงเล็กน้อย เช่นความชื้น อนุภาคฝุ่นละออง ก็สามารถเป็นจุดเริ่มต้นทำให้เกิดการ discharge ระหว่างอลูมิเนียมฟอล์ยที่เป็นอิเล็กโตรดได้ จึงจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงแหล่งที่มีฝุ่นละอองและความชื้นสูง

คาปาซิเตอร์แรงดันสูงแบบ UNIT

โดยทั่วไป element ของคาปาซิเตอร์แรงดันสูง จะเป็นแบบ extended foils ซึ่งไดอิเล็กตริก อาจเป็นกระดาษคราฟ์หรือ polypropylene film และกระดาษพันบนแกน ขนาดของแกนจะใหญ่กว่า element ของแรงดันต่ำ ในแต่ละ element จะต่อฟิวส์เข้าไปด้วยหรือไม่ก็ได้ โดยอาจให้ทุก element ในตัวถังมีฟิวส์ต่ออยู่หรืออาจประกอบ element เข้าด้วยกันแล้วต่อฟิวส์ภายนอกก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละ element ของคาปาซิเตอร์แรงดันสูง จะทนแรงได้ในพิสัย 800-2,000 V และในการประกอบเป็น unit ก็จะมีพิสัย 1-16kV ระหว่างขั้ว

ถ้าในการใช้งานต้องการพิสัยสูงกว่านี้ ก็ต้องนำแต่ละ unit มาต่อ series หรือ parallel กัน

หลังจากม้วน element แล้วก็จะประกอบลงตัวถัง และต่ออุปกรณ์ discharge ด้วย

มีการพัฒนาสารไดอิเล็กตริกเพื่อให้ได้ค่า kvar ต่อหน่วยบริมาตรสูงขึ้น ปัจจุบันสาร orientated polyroopylene film (OPP) เป็นสารไดอิเล็กตริกที่มีคุณภาพสูง ทนความเครียดสนามไฟฟ้าได้ 50 MV/m ซึ่งสูงกว่ากระดาษคราฟท์ 2.5 เท่า แต่มีข้อด้วยคือเปอร์มิตติวิตี้ต่ำประมาณ 2.2 แต่กระดาษคราฟท์มีเปอร์มิตติวิตี้ 5.5-5.9

สารไดอิเล็กตริกอีกประเภท คือ thermoplastie เช่น polycarbonate, polyethylene terephthalate โดยจะใช้ร่วมกับกระดาษคราฟท์ เพื่อให้กระดาษช่วยดูดซับน้ำมัน ในการผสมสารไดอิเล็กตริกเช่นนี้ ความเครียดไฟฟ้าที่ปรากฏร่อมสารแต่ละตัวจะแปรผกผันกับค่าเปอร์มิตติวิตี้ของสารตัวนั้น ในกรณีของพลาสติกกับกระดาษคราดท์ พลาสติกจะทนความเครียดสนามไฟฟ้าได้ 2.5 เท่าของกระดาษคราฟท์ แต่กระดาษคราฟท์จะมีค่าเปอร์มิตติวิตี้ประมาณ 2.5 เท่า ของ polypropylene film

การใช้สารไดอิเล็กตริก ที่ทนความเครียดสนามไฟฟ้าได้สูงและ loss ต่ำจะทำให้พิกัดเพิ่มขึ้นอีก 50% ในบริมาตรที่เท่า ๆ กัน การลดอุณหภูมิภายในจะทำให้อายุการใช้งานยาวนานขึ้น OPP มี loss 0.6 W/kavar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือประมาณ 1 ใน 4 เท่าของ polychlorinated byphynele (PCB) impragenated paper (2.5 W/kvar)

ในอุตสาหกรรมการผลิตโดยทั่วไปจะสร้างคาบาซิเตอร์ให้มีพิกัด 50, 100, 150, 200 และ 250 kvar

เมื่อม้วน element ได้แล้วก็จะอัดให้ element มีรูปทรงแบน เพื่อลดขนาดของตัวถังให้เล็กลง โดยตัวถังจะปิดสนิทป้องกันน้ำ, ความชื้น อากาศ และสิ่งแปลกปลอมจากภายนอก

ตัวถังของคาบาซิเตอร์ที่เป็น unit จะทำด้วยเหล็กอ่อน หรือ stainless-steel ผาด้านมติดบุชชิ่งเป็น nonelectric ที่มีขนาด เหมาะสมกับแรงดันที่ใช้งาน และมีรูสำหรับการทำสูญญากาศ และเติมสาร impregnate ซึ่งต้องปิดสนิทเมื่อเสร็จกระบวนการสร้าง

ในการใช้งานทั่วไป บุชชิ่งจะทำมาจากกระเบื้อง มีฐานะเป็นโลหะเพื่อให้บัดกรีติดกับตัวถังได้ ตัวบุชชิ่งที่จะเป็นกระเบื้องจะทาสีเคลือบไว้และทาสารละลายที่มีส่วนผสมของพลาตินัม

ในทางการค้า คาบาซิเตอร์ขนาดใหญ่จะใช้ประกอบเป็นตัวกันรั่วที่รอยต่อของบุชชิ่งกับถัง แต่ก็ยังอาจรั่วเนื่องจากอุณหภูมิและการขนย้าย การบัดกรีให้ติดกับตัวถังเลยจะแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ factor 0.89 โดยน้ำค่า capucitamce ที่คำนวณได้ คูณกับ (0.89)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบ capacitor

การคำนวณ

สูตรที่ใช้เกี่ยวข้องกับการสร้างคาปาซิเตอร์

$$C = 2 \varepsilon_o \varepsilon_r A/D \qquad (1)$$

$$E = V/d \qquad (2)$$

C คือ ค่าคาปาซิแตนซ์ (F)

ε_o คือ ค่าเปอร์มิตติวิตี้ของสูญญากาศ มีค่า 1/36 x 10^{9} (F/m)

ε_r ค่าเปอร์มิตติวิตี้สัมพันธ์

A พื้นที่หน้าตัดของอิเล็กโตรด (m^2)

d ความหนาของสารไดอิเล็กตริก (m)

E ความเครียดสนามไฟฟ้า

V ความต่างศักย์

$$kvar = 2 \pi fcv^2 \times 10^{9} \qquad (3)$$

ในการออกแบบชิ้นงานเลือกสร้างคาปาซิเตอร์พิกัด 80 kvar ใช้งานที่ 24 KV จะได้ค่าคาปาซิแตนซ์จากสมการที่ 3

$$C = (KVAR \times 10^{9} / (V^2 \pi f)$$

$$= 80 \times 10^{-9} / (24 \times 10^{3})^2 \, 2(50)$$

$$= 0.436 \text{ microfarad}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าแรงดันที่แต่ละ element ได้จากสมการ (2) โดยจะใช้ Harzy film เป็นไดอิเล็กตริคทนความเครียดสนามไฟฟ้าได้ประมาณ 47.6 v/micrometer หนา 20 micrometer และจะใช้ Harzy film สองชิ้น เพื่อให้ทนความเครียดสนามไฟฟ้าได้เป็นสองเท่า ดังนั้น 1 element จะทนแรงดันไฟฟ้าได้

$$V_b = E \times D$$

$$= (47.6)\ (20)\ (2)$$

$$= 1904$$

เนื่องจาก C แต่ละ element สามารถทน Dc break down ได้ 4-5 เท่าอยู่แล้ว ตามการทดสอบของผู้ผลิต harzyfilem ที่นำมาสร้างเป็น element

เนื่องจาก เราจะทำการออกแบบให้ใช้งานที่แรงดัน 24 kv. เพราะฉะนั้นจะนำเอาแต่ละ element มาต่ออนุกรมกัน 14 ตัว

ทำให้ทนแรงดันได้ถึง 26.6 kv. ค่าที่เกินมาเป็นค่าที่เผื่อกรณีเกิด over voltage

เพื่อให้ทนแรงดันได้ 24 kv. นำมาต่ออนุกรมกัน 14 ตัว ในแต่ละ unit C/element = (Series/Parallel) x C unit

$$= (14) \times (0.436)$$

$$= 6.11 \text{ microfarad}$$

เนื่องจากว่า หลังจากเราทำการต่อ element เข้าด้วยกันแล้ว C ทั้ง unit จะถูกแช่ในน้ำมัน เนื่องจากค่าก่อนเติมน้ำมันและหลังเติมน้ำมัน ค่า C จะเพิ่มขึ้น ประมาณ 1.15 - 1.25 เท่า เพราะฉนั้นในการคำนวณจึงต้องเผื่อด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

factor 0.89 ใหม่ค่า capacitance ที่คำนวณได้ คูณกัน (0.89)

ดังนั้นค่าคาปาซิแตนต่อ element ที่นำไปคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด

$C = 6.11 \times 0.89$

$= 5.438$ microfarad

$A = (c \times d) / (2\varepsilon_o \quad \varepsilon_r)$

$\varepsilon_r = 2.35$

$A = (5.438 \times 40 \times 10^{-12}) / (2 \times 10^{-9} / 36)$

$(2.35) = 3.92\ m^2$

อลูมิเนียมฟอยล์กว้าง 36.5 cm.

จะได้ความยาวของ ฟอลย์เท่ากับ 10.75 เมตร

DISCHARGE RESISTOR

discharge resistor จะต่อถาวรในคาปาซิเตอร์เพื่อถ่ายเทประจุออกจากคาปาซิเตอร์ขณะที่ปลดออกจากวงจร ขนาดของ discharge resistor หาได้จากสมการ

$t = 2.3 \times 10^{-6}\ CR\ (\log Un - 1.5)$ วินาที

เมื่อ t คือ เวลาที่แรงดันลดลงที่เหลือ 50 V

R คือ ความต้านทานที่ต่อ (ohms)

C คือ ค่าคาปาซิแตนซ์ที่ R ต่อคร่อม (microfarad)

Un คือ r.m.s voltage ที่พิกัด

ตามข้อกำหนดของ ICE standard คาปาซิเตอร์ที่ใช้กับแรงดันสูงกว่า 660 V เวลาที่แรงดันลดลงจากพิกัดจนมีค่า 50 V ต้องไม่มากกว่า 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการแทนค่าได้ตัวความต้านที่มีผลทำให้ แรงดันลดลงจาก 24 Kv เป็น 50 v ในเวลา 5 นาที มีค่าความต้านทาน 90 เมกะโอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดสอบก่อนนำมาใช้ ; มาตรฐาน IEC 70 : 1967

ในการกำหนดบรรทัดฐานต่อการผลิตคาปาซิเตอร์ มีมาตรฐานที่เป็นสากลที่จะต้องทดสอบคาปาซิเตอร์ทุก unit ก่อนนำออกใช้งาน เพื่อให้คาปาซิเตอร์ใช้งานได้อย่างปลอดภัย ทั้งยังเป็นประโยชน์ในการติดตั้งและใช้งาน เนื้อหาในมาตรฐานนั้นมีความสำคัญต่อผู้ออกแบบ ผู้ผลิตและผู้ใช้ ซึ่งต้องศึกษาให้เข้าใจโดยละเอียด

มาตรฐานที่สำคัญและเป็นสากลของเพาเวอร์คาปาซิเตอร์ คือ มาตรฐาน IEC 70 : 1967 โดยมาตรฐานของประเทศต่าง ๆ ก็มักกำหนดให้อยู่ภายใต้ขอบเขตของมาตรฐานนี้

การทดสอบคาปาซิเตอร์ มี 2 ชนิดคือ

1) Routine test

2) Type test

การนำคาปาซิเตอร์มาใช้ตามปกติทั่วไป เช่นทำคาปาซิเตอร์แบงค์เพื่อแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ หรือชันต์เข้ากับระบบจ่ายกำลัง เราจะทดสอบด้วย Routine test แต่ถ้าต้องการนำคาปาซิเตอร์ไปใช้งานพิเศษเฉพาะอย่าง ก็จะต้องเพิ่ม Type test เข้าไปด้วย เพื่อให้เหมาะกับงานนั้น ๆ ในที่นี้จะกล่าวถึง Routine test ของมาตรฐาน IEC70:1967 เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Routine test ตามมาตรฐาน IEC70:1967 กำหนดให้ทำการทดสอบและวัดค่าต่าง ๆ ได้ คือ

1) ทดสอบวัดค่าคาปาซิแตนซ์
2) ทดสอบวัดค่า loss ของคาปาซิเตอร์
3) ทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้า D.C หรือ A.C ระหว่างเทอร์มินัล
4) ทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้า A.C. ระหว่างเทอร์มินัลกับตัวถัง
5) ทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้า A.C. หรือ Impulse ระหว่างเทอร์มินัลกับดิน

<u>คาปาซิแตนซ์และเอาท์พุท</u>

- จะต้องวัดค่าคาปาซิแตนซ์ในช่วงอุณหภูมิมาตรฐาน (15 - 35 C) ซึ่งไม่รวมค่าผิดพลาดเนื่องจาก harmonics และอุปกรณ์ประกอบเช่นตัวต้านทานตัวเหนี่ยวนำและ blocking circuit

- ทดสอบที่แรงดันและความถี่ตามพิกัด อย่างไรก็ตาม อาจยอมให้ทดสอบที่ค่าแรงดันและความถี่อื่นได้แต่ต้องคูณเพคเตอร์อื่น ๆ ด้วย ตามข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ซื้อ

- ค่าเอาท์พุทที่คำนวณได้จากคาปาซิเตอร์ที่พิกัดแรงดันจะต้องไม่ต่างจากพิกัดของเอาท์พุทมากไปกว่า

- 5 ถึง + 10% สำหรับคาปาซิเตอร์แบบ unit

0 ถึง + 10 % สำหรับคาปาซิเตอร์แบงค์

- ใน 3 phase unit อัตราส่วนของคาปาซิแตนซ์มากที่สุดต่อน้อยที่สุดระหว่างคู่ขั้วใด ๆ จะต้องไม่สูงเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.06 สำหรับคาปาซิเตอร์ที่พิกัดสูงกว่า 660 volt

1.08 สำหรับคาปาซิเตอร์ที่พิกัดต่ำกว่า 660 volt

<u>การทดสอบวัดค่า loss ของคาปาซิเตอร์</u>

สำหรับ Routine test มีจุดประสงค์เพื่อที่จะเป็นเช็คผลิตภัณฑ์ให้เหมือนกันโดยต้องวัด loss angle ในช่วงอุณหภูมิมาตรฐาน (15 - 35 C) ที่แรงดันและความถี่ตามพิกัด หรืออาจวัดแรงดันหรือความถี่อื่นตามความตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ซื้อ

<u>การทดสอบด้วยระหว่างเทอร์มินัล</u>

ป้อนแรงดันไฟฟ้านาน 10 วินาทีโดยจะเป็นแรงดัน A.C หรือ D.C ก็ได้

- D.C. test

$U_t = 4.3\ U_o$

กระแส charge และ discharge ต้องไม่เกิน 10 เท่าของพิกัดกระแส

- A.C. test

$U_t = 2.15\ U_o$

เมื่อ U_o คือ r.m.s. voltage ซึ่งกรณีทั่วไปเท่ากับพิกัดแรงดัน

U_t คือ แรงดันทดสอบ

<u>การทดสอบด้วยแรงดันระหว่างเทอร์มินัลกับตัวถัง</u>

unit ที่ทุกขั้วเป็นฉนวนกั้นกับตัวถังให้รวมทุกขั้วเข้าด้วยกัน แล้วป้อนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วกับตัวถังนาน 10 นาที โดยใช้ระดับแรงดันให้สอดคล้องกับระดับการฉนวนดังตาราง 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบด้วยแรงดันระหว่างเทอร์มินัลกับดิน

ใช้ทดสอบคาปาซิเตอร์แบงค์ มีวิธีเหมือนกับทดสอบระหว่างเทอร์มินัลกับตัวถัง

ในกระบวนการทดสอบเมื่อผ่านการทดสอบด้วยแรงดันระหว่างเทอร์มินัลแล้ว ให้วัดค่าคาปาซิแตนซ์อีกครั้ง เพื่อให้มั่นใจว่า element ภายในตัวถังแล้วอุปกรณ์อื่น ๆ ไม่เสียหาย ค่าที่ได้ในการวัดครั้งหลังนี้ จะต้องยังอยู่ในช่วงที่หัวข้อที่ 1 อนุญาต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.1 มาตรฐานระดับการฉนวนที่สอดคล้องกับระดับแรงดันใช้งาน

ระบบแรงดันสูงสุด (line to line U_m Kv (r.m.s.)	ระดับการฉนวน	
	ทดสอบด้วยแรงดัน A.C. KV (r.m.s)	ทดสอบค้านแรงดัน impulse KV
0.1	3	15
1.2	6	25
2.4	11	35
3.6	16	45
7.2	22	60
12	28	75
17.5	38	95
24	50	125
36	70	170
52	95	250
72.5	140	325

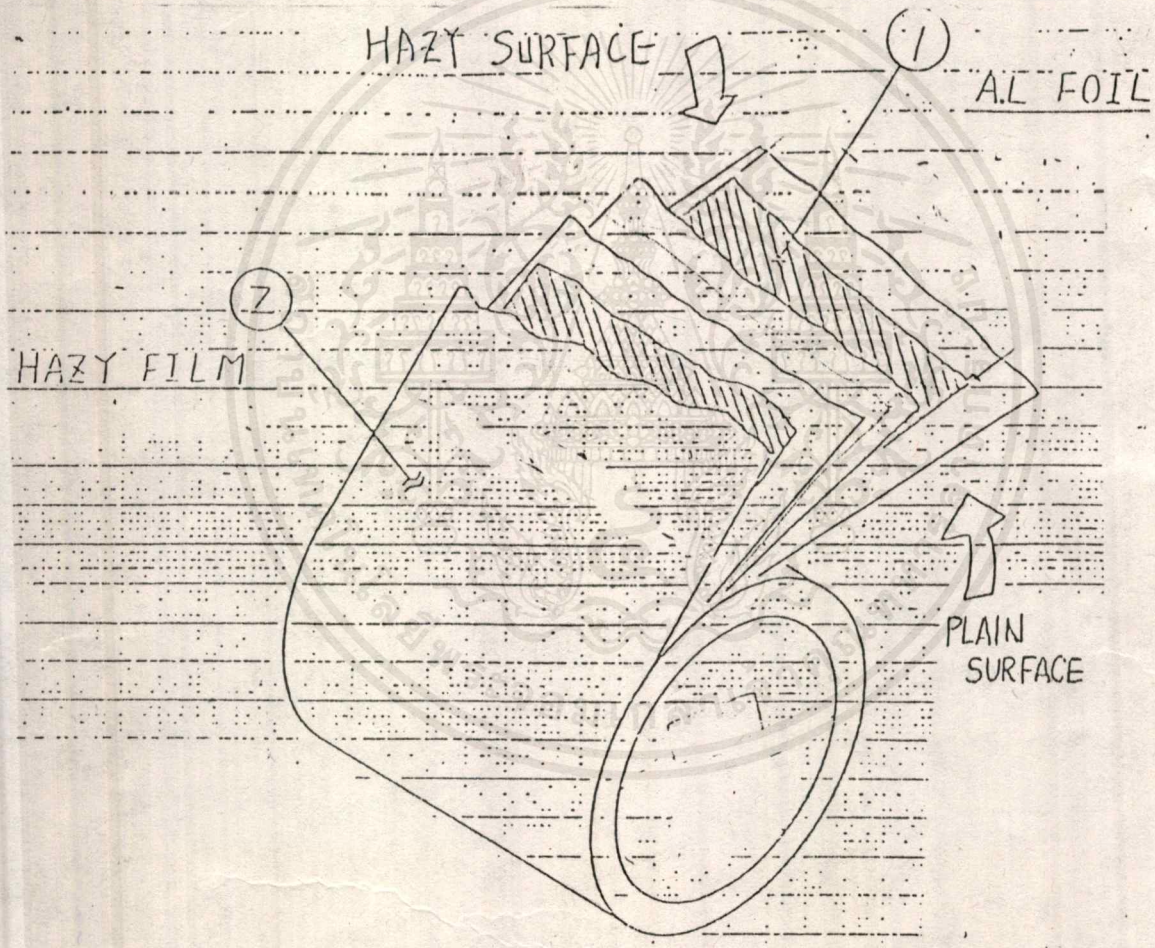
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การสร้าง ทดสอบและประเมินผล

ผลการสร้าง

ทำการม้วน element โดยให้แต่ละ element มีค่าตามพิกัดที่ได้คำนวนไว้ ซึ่งในขั้นแรกจะม้วนเป็นรูปทรงกระบอกดังรูปที่ 6.1

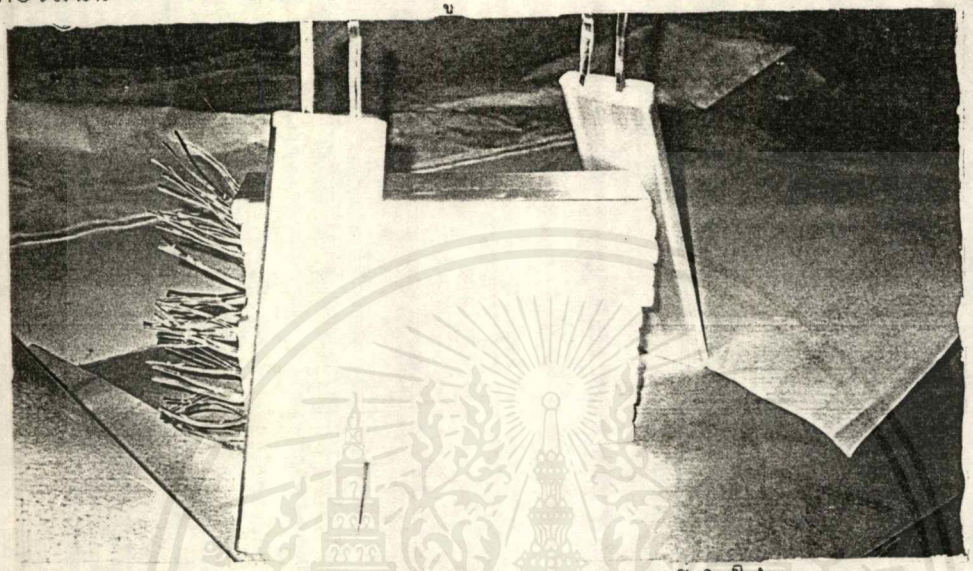


รูปที่ 6.1 แสดงการม้วนคาปาซิเตอร์ในแต่ละ element

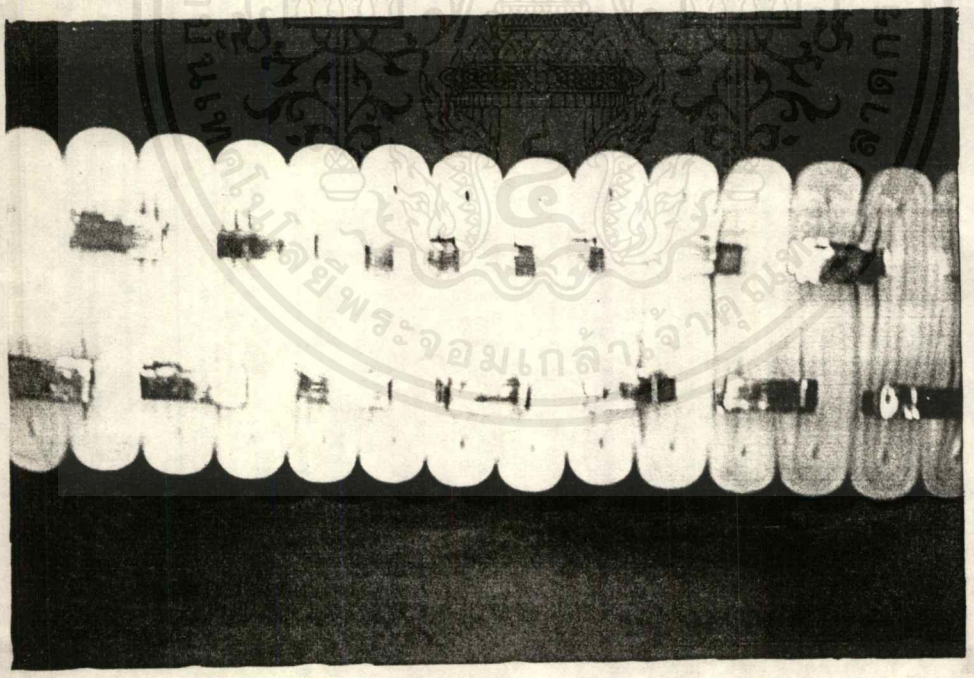
นำแต่ละ element ที่ได้ในขั้นแรกมาทำการอัดให้แบนเพื่อเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประหยัดเนื้อที่ของตัวถังซึ่งจะได้แต่ละ element ออกมาดังรูป 6.2 จากการคำนวณจะต้องใช้ทั้งหมด 14 element มาทำการต่ออนุกรมกัน โดยวางแต่ละ element เรียงซ้อนกันแสดงดังรูป 6.3 และจะเหลือเพียง 2 tap ที่เป็นเทอร์มินัล 24 KV และ 0 V ดังรูป 6.4

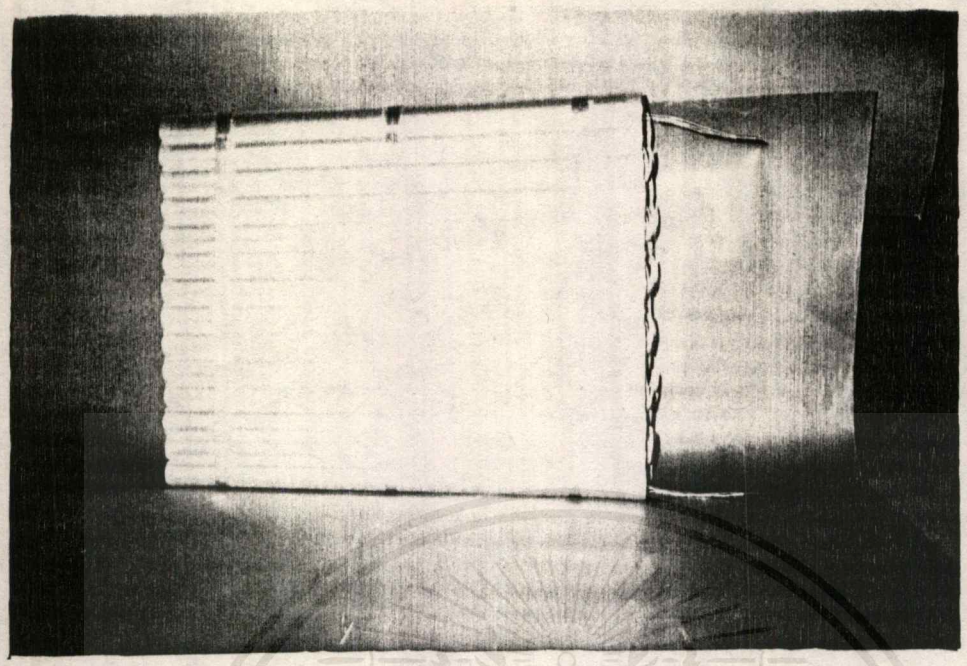


รูป 6.2 แสดง element ที่ทำให้แบน



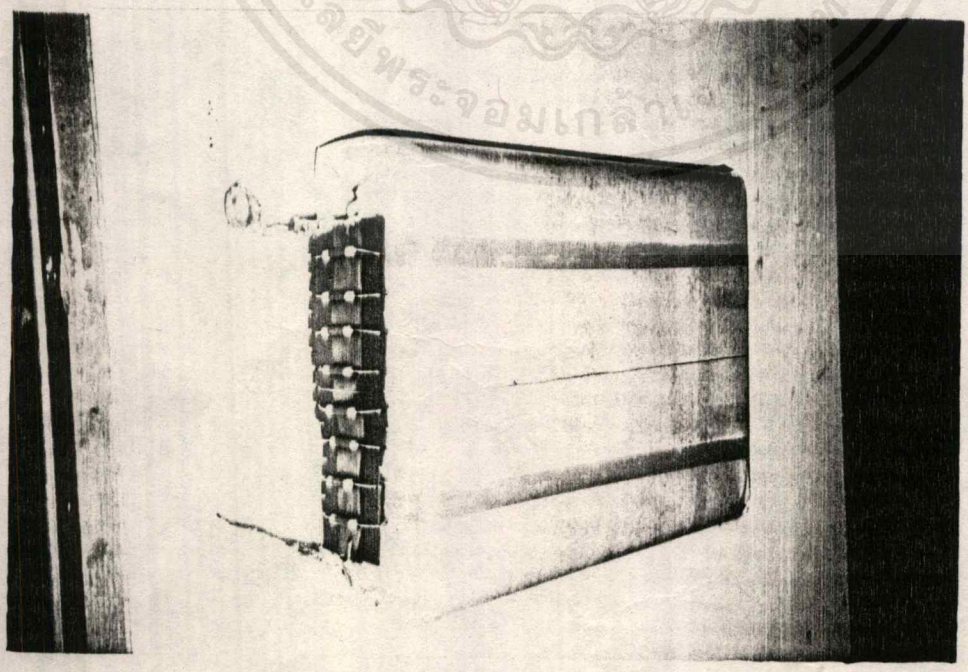
รูป 6.3 แสดงถึงการต่ออนุกรมแต่ละ element เข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

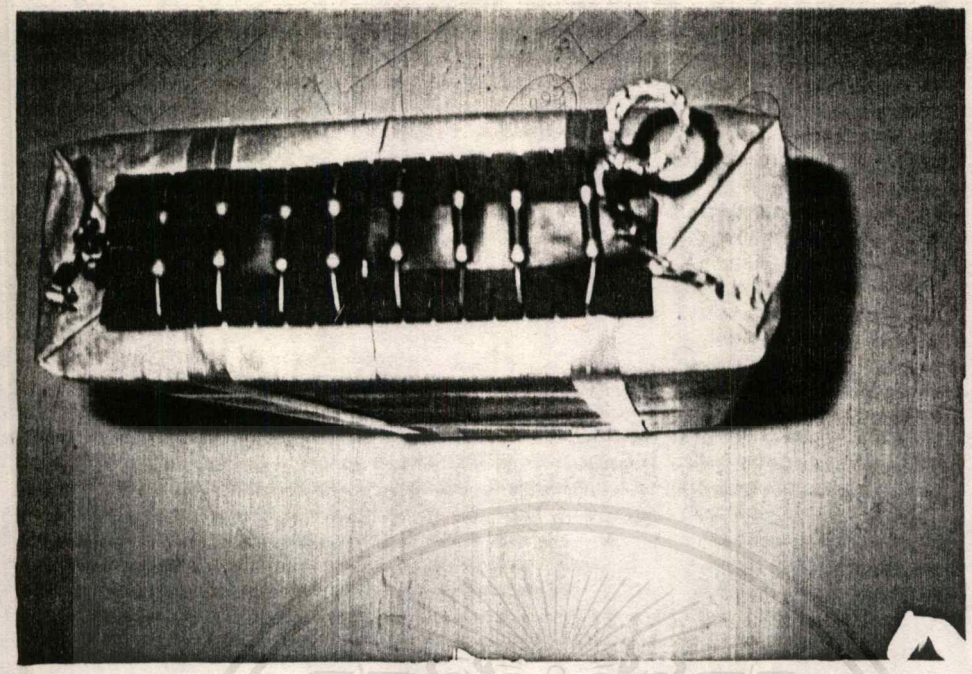


รูป 6.4 แสดงให้เห็น tap 2 tap

หลังจากนั้นนำมาทำการห่อด้วนกระดาษไมล่า ให้มิดชิด โดยโพล่ tap 2 tap ออกมานอกกระดาษไมล่าต่อเพาเวอร์รีซิสเตอร์ขนาด 5 เมกะโอห์ม ระหว่าง tap ทั้งสอง ทำให้สามารถลดแรงดันลงจากพิกัด 24 KV เหลือ 50 V ภายใน 18 วินาที ดังรูปที่ 6.5 และ 6.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.5, 6.6 แสดงการห่อกระดาษไม่ล่า และการต่อเพาเวอร์รีซิสเตอร์

นำคาปาซิเตอร์ที่ได้มาใส่ลงในตัวถังเพื่อเป็นการป้องกันตัวคาปาซิสเตอร์จากสิ่งต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อตัวมัน แล้วทำการต่อขั้วด้านหนึ่งเข้ากับบุชชิ่ง เพื่อเป็นเทอร์มินัลรับแรงดันพิกัด อีกขั้วต่อกับเทอร์มินัลที่ตัวถัง แล้วเชื่อมปิดฝาให้สนิท โดยที่ฝามีท่อสองท่อ เพื่อใช้ในการไล่ความชื้น ทำสูญญากาศ และเติมน้ำมัน

เมื่อบรรจุตัวถังเรียบร้อยแล้วก็นำมาอบไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 100-104 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบนาน 65 ชั่วโมง

หมายเหตุ

1. ตัวถังใช้แผ่นสแตนเลสเบอร์ 18

2. ท่อที่ฝาใช้ท่อทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 ม.ม. (ท่อทางเดินของน้ำยาตู้เย็น)

3. การเชื่อมบุชชิงและท่อเข้ากับฝา เชื่อมด้วยตะกั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุป วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ

การสร้างโครงงาน high voltage capacitor นั้น โครงสร้างที่ใช้ในการสร้างนั้นส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ ที่หาไม่ได้ในท้องตลาด ทำให้การสร้างเป็นไปด้วยความล่าช้าไม่ทันกำหนดเวลาที่วางเอาไว้ ดังนั้น

ทางบริษัทจึงขอแนะนำให้ผู้ที่จะทำโครงงาน ทางไฟฟ้าแรงสูงควรทำการสำรวจแหล่งวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ให้รอบคอบ จะทำให้การสร้างเป็นไปด้วยความสะดวก เพราะขั้นตอนในการสร้างก็ไม่ได้ยุ่งยากนัก

และ capacitor ก็เป็น อุปกรณ์สำคัญ ในการสร้างเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง การทำโครงงานนี้จะทำให้เราเข้าในโครงสร้างองค์ประกอบของตัว capacitor ทำให้การใช้งานจริงมีประสิทธิภาพ

และนำเอาศักยภาพของ capacitor ออกมาใช้ให้มากที่สุดในการใช้งาน ในระบบจริง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อท่าน อาจารย์ นิทัศน์ กฤษณจินดา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และเป็นที่ปรึกษาเป็นอย่างดี จนกระทั่งบริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ คุณอนวัช สินสมุทร ผู้จัดการ ฝ่ายการผลิตและวิศวกรรม แห่งบริษัท NISSIN ELECTRIC (thailand) เป็นอย่างสูงที่อำนวยความสดวกในการสร้างซึ่งหากขาดเสียท่านผู้นี้ โครงงานนี้ประสบความสำเร็จไม่ได้ และขอขอบพระคุณการไฟฟ้านครหลวง ไว้ ณ ที่นี้ รวมทั้งทุก ๆ ท่านที่มีส่วนช่วยเหลือโครงงานนี้

ที่ได้ให้ความร่วมมือและความช่วยเหลือในด้านทำงานเป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1."คาปาซิสเตอร์แรงดันสูง" ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2532

2."คาปาซิสเตอร์แรงดันสูง" ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

3.ดร.สำรวย สังข์สะอาด "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง" ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NORME INTERNATIONALE
INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
871-1
Première édition
First edition
1987

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

Condensateurs shunt destinés à être installés sur des réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 660 V

Première partie: Généralités
Caractéristiques fonctionnelles, essais et valeurs assignées – Règles de sécurité – Guide d'installation et d'exploitation

Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 660 V

Part 1: General
Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation

© CEI 1987 Droits de reproduction réservés – Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève, Suisse

Code prix 39
Price code

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTENTS

Page

FOREWORD 7
PREFACE 7

SECTION ONE – GENERAL

Clause

1. Scope 9
2. Object 9
3. Definitions 11
4. Service conditions 13

SECTION TWO – QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS

5. Test requirements 17
6. Classification of tests 17
7. Capacitance measurement (routine test) 19
8. Capacitor loss tangent (tan δ) measurement (routine test) 21
9. Voltage test between terminals (routine test) 21
10. A.C. voltage test between terminals and container (routine test) 23
11. Test of internal discharge device (routine test) 23
12. Sealing test (routine test) 23
13. Thermal stability test (type test) 23
14. Capacitor loss tangent (tan δ) measurement at elevated temperature (type test) 25
15. A.C. voltage test between terminals and container (type test) 27
16. Lightning impulse test between terminals and container (type test) 27
17. Short-circuit discharge test (type test) 29

SECTION THREE – INSULATION LEVELS

18. Insulation levels 29

SECTION FOUR – OVERLOADS

19. Maximum permissible voltage 39
20. Maximum permissible current 41

SECTION FIVE – SAFETY REQUIREMENTS

21. Discharge devices 41
22. Container connections 41
23. Protection of the environment 43
24. Other safety requirements 43

SECTION SIX – MARKINGS

25. Markings of the unit 43
26. Markings of the bank 45

SECTION SEVEN – GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION

27. General 47
28. Choice of the rated voltage 47
29. Operating temperature 49
30. Special conditions 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Page

31. Overvoltages 51
32. Overload currents 55
33. Switching and protective devices 57
34. Choice of insulation levels 59
35. Choice of creepage distances 61
36. Capacitors connected to systems with audio-frequency remote control 61

APPENDIX A — Formulae for capacitors and installations 63

APPENDIX B — Precautions to be taken to avoid pollution of the environment by polychlorinated biphenyls 67

APPENDIX C — Additional requirements for power filter capacitors 69

APPENDIX D — Test requirements and application guide for external fuses and units to be externally fused 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SHUNT CAPACITORS FOR A.C. POWER SYSTEMS HAVING A RATED VOLTAGE ABOVE 660 V

Part 1: General
Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation

FOREWORD

1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.
4) The IEC has not laid down any procedure concerning marking as an indication of approval and has no responsibility when an item of equipment is declared to comply with one of its recommendations.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 33: Power Capacitors.

The text of this standard is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
33(CO)70	33(CO)79

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above.

The following IEC publications are quoted in this standard:

Publications Nos. 50 (436): International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 436: Power Capacitors (in preparation).
60: High Voltages Test Techniques.
71: Insulation Co-ordination.
71-1 (1976): Part 1: Terms, Definitions, Principles and Rules.
71-2 (1976): Part 2: Application Guide.
99: Lightning Arresters.
110 (1973): Recommendation for Capacitors for Inductive Heat Generating Plants Operating at Frequencies between 40 and 24 000 Hz.
143 (1972): Series Capacitors for Power Systems.
252 (1975): A.C. Motor Capacitors.
358 (1971): Coupling Capacitors and Capacitor Dividers.
549 (1976): High-voltage Fuses for the External Protection of Shunt Power Capacitors.
566 (1982): Capacitors for Use in Tubular Fluorescent and other Discharge Lamp Circuits.
593 (1977): Internal Fuses and Internal Overpressure Disconnectors for Shunt Capacitors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHUNT CAPACITORS FOR A.C. POWER SYSTEMS HAVING A RATED VOLTAGE ABOVE 660 V

Part 1: General
Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation

---

SECTION ONE – GENERAL

1. Scope

This standard is applicable to capacitor units and capacitor banks intended to be used in particular for power-factor correction of a.c. power systems having a rated voltage above 660 V and a frequency of 15 Hz to 60 Hz.

It is also applicable to capacitors intended for use in power filter circuits.

Notes 1. — Additional definitions, requirements and test for filter capacitors are given in Appendix C.

2. — Additional requirements for capacitors to be protected by internal fuses, as well as requirements for the internal fuses, are given in IEC Publication 593.

3. — Requirements for capacitors to be protected by external fuses, as well as requirements for the external fuses, are given in Appendix D.

4. — This standard is not applicable to high-voltage capacitors composed of low-voltage capacitors of the self-healing metallized dielectric type. Additional definitions, requirements and tests for self-healing capacitors will be found in the future IEC Publication XXX.

5. — The following are also excluded from this standard:

- Shunt capacitors for a.c. power systems of up to and including 660 V rated voltage (IEC Publication XXX, in preparation).
- Capacitors for induction heat-generating plants, operating at frequencies between 40 Hz and 24 000 Hz (IEC Publication 110).
- Series capacitors (IEC Publication 143).
- Capacitors for motor applications and the like (IEC Publication 252).
- Coupling capacitors and capacitor dividers (IEC Publication 358).
- Capacitors to be used in power electronics circuits (IEC Publication YYY (under consideration)).
- Small a.c. capacitors to be used for fluorescent and discharge lamps (IEC Publication 566).
- Capacitors for suppression of radio interference (IEC Publication ZZZ (under consideration)).
- Capacitors intended to be used in various types of eletrical equipment and thus considered as components.
- Capacitors intended for use with d.c. voltage superimposed on the a.c. voltage.

6. — Accessories, such as insulators, switches, instrument transformers, external fuses, etc., shall comply with the relevant IEC standards.

2. Object

The object of this standard is:

a) to formulate uniform rules regarding performance, testing and rating;

b) to formulate specific safety rules;

c) to provide a guide for installation and operation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Definitions

For the purpose of this standard, the following definitions apply:

3.1 *Capacitor element (or element*)*

A device consisting essentially of two electrodes separated by a dielectric (IEV 436-01-03*).

3.2 *Capacitor unit (or unit)*

An assembly of one or more capacitor elements in the same container with terminals brought out (IEV 436-01-04).

3.3 *Capacitor bank (or bank)*

A number of capacitor units connected so as to act together (IEV 436-01-06).

3.4 *Capacitor*

In this standard, the word "capacitor" is used when it is not necessary to lay particular stress upon the different meanings of the word "capacitor unit" or "capacitor bank".

3.5 *Capacitor installation*

A capacitor bank and its accessories (IEV 436-01-07).

3.6 *Discharge device of a capacitor*

A device, which may be incorporated in a capacitor, capable of reducing the voltage between the terminals effectively to zero within a given time, after the capacitor has been disconnected from a network (IEV 436-03-15).

3.7 *Internal fuse of a capacitor*

A fuse connected inside a capacitor unit, in series with an element or a group of elements (IEV 436-03-16).

3.8 *Line terminals*

Terminals to be connected to the lines (IEV 436-03-01).

Note. — In polyphase capacitors, a terminal intended to be connected to the neutral conductor is not considered to be a line terminal.

3.9 *Rated capacitance of a capacitor* (C_N)

The capacitance value for which the capacitor has been designed (IEV 436-01-12).

3.10 *Rated output of a capacitor* (Q_N)

The reactive power derived from the rated values of capacitance, frequency and voltage (or current) (IEV 436-01-15).

3.11 *Rated voltage of a capacitor* (U_N)

The r.m.s. value of the alternating voltage for which the capacitor has been designed (IEV 436-01-16).

Note. — In the case of capacitors consisting of one or more separate circuits (for example single-phase units intended for use in polyphase connection, or polyphase units with separate circuits), U_N refers to the rated voltage of each circuit.

For polyphase capacitors with internal electrical connections between the phases, and polyphase capacitor banks, U_N refers to the phase-to-phase voltage.

3.12 *Rated frequency of a capacitor* (f_N)

The frequency for which the capacitor has been designed (IEV 436-01-14).

---

* IEC Publication 50(436). (In preparation.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13 *Rated current of a capacitor (I_N)*

The r.m.s. value of the alternating current for which the capacitor has been designed (IEV 436-01-13).

3.14 *Capacitor losses*

The active power dissipated by a capacitor (IEV 436-04-10).

Notes 1. — All loss-producing components should be included:

— for example for a unit, losses from dielectric, internal fuses, discharge device(s), connections, etc.;

— for example for a bank, losses from units, external fuses, busbars, discharge and damping reactors, etc.

2. — The capacitor losses may be recalculated as an equivalent series resistor to the unit and /or bank.

3.15 *Tangent of the loss angle (tan δ) of a capacitor*

The ratio between the equivalent series resistance and the capacitive reactance of a capacitor at specified sinusoidal alternating voltage and frequency (IEV 436-04-11).

3.16 *Maximum permissible voltage of a capacitor*

The maximum r.m.s. alternating voltage which a capacitor can withstand for a given time in specified conditions (IEV 436-04-07).

3.17 *Maximum permissible current of a capacitor*

The maximum r.m.s. alternating current which a capacitor can carry for a given time in specified conditions (IEV 436-04-09).

3.18 *Ambient air temperature*

The temperature of the air at the proposed location of the capacitor.

3.19 *Cooling air temperature*

The temperature of the cooling air measured at the hottest position in the bank, under steady-state conditions, midway between two units. If only one unit is involved, it is the temperature measured at a point approximately 0.1 m away from the capacitor container and at two thirds of the height measured from its base.

3.20 *Steady-state condition*

Thermal equilibrium attained by the capacitor at constant output and at constant ambient air temperature.

3.21 *Residual voltage*

The voltage remaining on the terminals of a capacitor at a certain time following disconnection.

4. Service conditions

4.1 *Normal service conditions*

This standard gives requirements for capacitors intended for use in the following conditions:

a) Residual voltage at energization.
Not to exceed 10% of rated voltage (Clause 21, Clause 31, Sub-clause 19.2 and Appendix A).

b) Altitude.
Not exceeding 1 000 m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c) Ambient air temperature categories.
Capacitors are classified in temperature categories, each category being specified by a number followed by a letter. The number represents the lowest ambient air temperature at which the capacitor may operate. The letters represent upper limits of temperature variation ranges, having maximum values specified in Table I.

The temperature categories cover a total temperature range from −50 °C to +55 °C.

The lowest ambient air temperature at which the capacitor may be operated should be chosen from the five preferred values +5 °C, −5 °C, −25 °C, −40 °C, −50 °C.

Note. — With the agreement of the manufacturer, the capacitor may be used at a lower temperature than the limits above, provided that energization takes place at a temperature at or above these limits (Sub-clause 29.1).

Table I is based on service conditions in which the capacitor does not influence the ambient air temperature (for example outdoor installations).

TABLE I

Symbol	Ambient air temperature (°C)		
	Maximum	Highest mean over any period of	
		24 h	1 year
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

Note. — The temperature values according to Table I can be found in the meteorological temperature tables covering the installation site.

If the capacitor influences the air temperature, the ventilation and/or choice of capacitor shall be such that the cooling-air temperature in the installation does not exceed the temperature limits of Table I by more than 5 °C.

Any combination of minimum and maximum values can be chosen for the standard temperature category of a capacitor, for example −40/A or −5/C. Preferred standard temperature categories are: −40/A, −25/A, −5/A and −5/C.

4.2 *Unusual service conditions*

Unless otherwise agreed between manufacturer and purchaser, this standard does not apply to capacitors, the service conditions of which, in general, are incompatible with the requirements of the present standard.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SECTION TWO — QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS

5. Test requirements

5.1 *General*

This section gives the test requirements for capacitor units.

Supporting insulators, switches, instrument transformers, external fuses, etc. shall be in accordance with relevant IEC standards.

5.2 *Test conditions*

Unless otherwise specified for a particular test or measurement, the temperature of the capacitor dielectric shall be in the range +5 °C to +35 °C.

When a correction has to be applied, the reference temperature to be used is +20 °C, unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser.

It may be assumed that the dielectric temperature of the capacitor unit is the same as the ambient temperature, provided that the capacitor has been left in an unenergized state at a constant ambient temperature for an adequate period.

The a.c. tests and measurements shall be carried out at a frequency of 50 Hz or 60 Hz independent of the rated frequency of the capacitor, if not otherwise specified.

6. Classification of tests

The tests are classified as routine tests, type tests and acceptance tests.

6.1 *Routine tests*

a) Capacitance measurement (Clause 7).

b) Capacitor loss tangent (tan δ) measurement (Clause 8).

c) Voltage test between terminals (Clause 9).

d) A.C. voltage test between terminals and container (Clause 10).

e) Test of internal discharge device (Clause 11).

f) Sealing test (Clause 12).

Routine tests shall be carried out by the manufacturer on every capacitor before delivery. On request, the purchaser shall be supplied with a test report.

The test sequence above is not mandatory.

Note. — If agreed between purchaser and manufacturer a short-circuit discharge test may be carried out as a routine test. The test parameters shall also be agreed upon.

6.2 *Type tests*

a) Thermal stability test (Clause 13).

b) Capacitor loss tangent (tan δ) measurement at elevated temperature (Clause 14).

c) A.C. voltage test between terminals and container (Clause 15).

d) Lightning impulse voltage test between terminals and container (Clause 16).

e) Short-circuit discharge test (Clause 17).

Type tests are carried out in order to ascertain that, as regards design, size, materials and manufacture, the capacitor complies with the characteristics and operational requirements specified in this standard.

Unless otherwise specified, every capacitor sample to which it is intended to apply the type test shall first have withstood satisfactorily the application of all the routine tests.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The type tests shall be made upon capacitors of a design identical with that of the capacitor to be supplied or on capacitors of design and processing that do not differ from it in any way that might influence the properties to be checked by the type test.

It is not essential that all type tests be carried out on the same capacitor unit; they may be carried out on different units having the same characteristics.

The type tests shall be carried out by the manufacturer, and, on request, the purchaser shall be supplied with a certificate detailing the results of such tests.

6.3 *Acceptance tests*

The routine and/or type tests, or some of them, may be repeated by the manufacturer in connection with any contract by agreement with the purchaser.

The number of samples that may be subjected to such tests, and the acceptance criteria, shall be subject to agreement between manufacturer and purchaser, and shall be stated in a contract.

7. Capacitance measurement (routine test)

7.1 *Measuring procedure*

The capacitance shall be measured at 0.9 to 1.1 times the rated voltage, using a method that excludes errors due to harmonics.

Measurement at another voltage is permitted, provided that appropriate correction factors are agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

The final capacitance measurement shall be carried out after the voltage test (Clauses 9 and 10).

In order to reveal any change in capacitance, for example due to puncture of an element, or failure of an internal fuse, a preliminary capacitance measurement shall be made, before the other electrical routine tests. This preliminary measurement shall be performed with a reduced voltage not higher than 0.15 U_N.

The accuracy of the measuring method shall be such that the tolerances according to Subclause 7.2 can be met. If agreed upon, a higher accuracy may be required and in such a case the accuracy of the measuring method shall be stated by the manufacturer.

The repeatability of the measuring method shall be such that a punctured element or an operated internal fuse can be detected.

Notes 1. — For polyphase capacitors the measuring voltage shall be adjusted to give 0.9 to 1.1 times rated voltage across each element.

2. — The manufacturer shall, by agreement, provide curves or tables showing:

— the capacitance under steady-state conditions at rated output as a function of ambient temperature within the temperature category;

— the capacitance as a function of the dielectric temperature within the temperature category.

7.2 *Capacitance tolerances*

The capacitance shall not differ from the rated capacitance by more than:

−5% to +15% for capacitor units or banks containing one unit per phase;

−5% to +10% for banks up to 3 Mvar total rating;

0% to +10% for banks from 3 Mvar to 30 Mvar total rating;

0% to +5% for banks above 30 Mvar total rating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The capacitance value is that measured under the conditions of Sub-clause 7.1.

In three-phase units and banks, the ratio of maximum to minimum values of capacitance measured between any two line terminals shall not exceed 1.08.

Notes 1. — See also Sub-clause 31.5 concerning tolerances.

2. — A formula for the calculation of the output of a three-phase capacitor from single-phase capacitance measurements is given in Appendix A.

3. — For banks above 3 Mvar total rating, closer tolerances for output and phase capacitance ratios may be agreed between manufacturer and purchaser.

4. — Smaller ratios of maximum to minimum value of the phase capacitances may be needed in star connected banks with isolated neutral; see Sub-clause 31.5.

8. Capacitor loss tangent (tan δ) measurement (routine test)

8.1 *Measuring procedure*

The capacitor losses (tan δ) shall be measurd at 0.9 to 1.1 times rated voltage using a method that excludes errors due to harmonics. The accuracy of the measuring method and the correlation with the values measured at rated voltage and frequency shall be given.

Notes 1. — For polyphase capacitors the measuring voltage shall be adjusted to give 0.9 to 1.1 times rated voltage across each element.

2. — The tan δ value of certain types of dielectric is a function of the energization time before the measurement.

8.2 *Loss requirements*

The requirements regarding capacitor losses may be agreed upon between manufacturer and purchaser.

The value of capacitor losses is that measured under the conditions of Sub-clause 8.1.

Note. — The manufacturer should, by agreement, provide curves or tables showing the capacitor losses (or tan δ) under steady-state condition at rated output as a function of ambient temperature within the temperature category.

9. Voltage test between terminals (routine test)

Every capacitor shall be subjected for 10 s to either the test of Sub-clause 9.1 or that of Sub-clause 9.2. In the absence of an agreement, the choice is left to the manufacturer. During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

9.1 *A.C. test*

The a.c. test shall be carried out with a substantially sinusoidal voltage of:

$$U_t = 2.15\ U_N$$

In the United States of America the value $U_t = 2.0\ U_N$ is used.

Notes 1. — Other countries may use the value $U_t = 2.0\ U_N$ only if agreed between purchaser and manufacturer.

2. — If the capacitors are to be re-tested after delivery a voltage of 75% of U_t is recommended for the second test.

3. — For polyphase capacitors, the test voltage shall be adjusted to give the appropriate voltage across each element.

4. — Units having internal element fuses, and within the capacitance tolerances in spite of one or more operated element fuses, may only be delivered after agreement between purchaser and manufacturer.

5. — When the impedance of capacitor units or banks having earthed neutrals is too high to effectively modify system overvoltages and the banks are not protected in accordance with Sub-clauses 31.2 and 34.2, the test voltages for units shall be equal to the appropriate power frequency withstand test voltage from Tables IIIA, IIIB and IV. If the units in the bank are connected in series the test voltage shall be in proportion.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.2 *D.C. test*

The test voltage shall be:

$$U_t = 4.3\ U_N$$

Notes 1. — See Sub-clause 9.1, Note 2.

2. — See Sub-clause 9.1, Note 3.

3. — See Sub-clause 9.1, Note 4.

4. — See Sub-clause 9.1, Note 5, the test voltage, however, being d.c. and having a value of 2.0 (4.3/2.15) times the value according to Note 5 of Sub-clause 9.1.

10. A.C. voltage test between terminals and container (routine test)

Units having all terminals insulated from the container shall be subjected for 10 s to a test voltage applied between the terminals (joined together) and the container.

The value of the test voltage shall be chosen according to Clause 18.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

The test shall be performed, even if one of the terminals in service is intended to be connected to the container.

Units having one terminal permanently connected to the container shall not be subjected to this test.

Units with separate phases shall be subjected to voltage tests between phases of the same value as for the terminals to container test.

11. Test of internal discharge device (routine test)

The resistance of the internal discharge device, if any, shall be checked by a resistance measurement (Clause 21 and Appendix A).

The method may be selected by the manufacturer.

The test shall be made after the voltage test of Clause 9.

12. Sealing test (routine test)

Unenergized capacitor units shall be heated throughout so that, for at least 2 h, all parts reach a temperature not lower than 20 °C above the maximum value in Table I.

No leakage shall occur.

It is recommended that a suitable leakage indicator be used.

13. Thermal stability test (type test)

13.1 *General*

This test is intended to:

a) determine the thermal stability of the capacitor under overload conditions;

b) condition the capacitor to enable a reproducible loss measurement to be made.

13.2 *Measuring procedure*

The capacitor unit subjected to the test shall be placed between two other units of the same rating which shall be energized at the same voltage as the test capacitor. Alternatively, two dummy capacitors each containing resistors may be used. The dissipation in the resistors shall be adjusted to a value such that the case temperature of the dummy capacitors near the top opposing faces are equal to or greater than those of the test capacitor. The separation between

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the units shall be equal to or less than the normal spacing. The assembly shall be placed in still air in a heated enclosure in the most unfavourable thermal position according to the manufacturer's instructions for mounting on site. The ambient air temperature shall be maintained at the appropriate temperature shown in Table II. It shall be checked by means of a thermometer having a thermal time constant of approximately 1 h. This thermometer shall be shielded so that it is exposed to the minimum possible thermal radiation from the three energized samples.

TABLE II

Symbol	Ambient air temperature (°C)
A	40
B	45
C	50
D	55
Temperature tolerance: ± 2 °C	

The test capacitor shall be subjected for a period of at least 48 h, to an a.c. voltage of substantially sinusoidal form. The magnitude of the voltage shall be kept constant throughout the test. Its value is computed from the measured capacitance (Sub-clause 7.1) to give a calculated output of the capacitor equal to 1.44 times its rated output.

During the last 6 h the temperature of the container near the top shall be measured at least four times. Throughout this period of 6 h, the temperature shall not increase by more than 1°C. Should a greater change be observed, the test shall be continued until the above requirement is satisfied for four consecutive measurements during a subsequent 6 h period.

Before and after the test the capacitance shall be measured (Sub-clause 7.1) within the temperature range according to Sub-clause 5.2 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature. The difference between the two measurements shall be less than an amount corresponding to either breakdown of an element or operation of an internal fuse.

When interpreting the results of the measurements, two factors shall be taken into account:

— the reproducibility of the measurements;

— the fact that internal change in dielectric may cause a small change of capacitance, without puncture of any element of the capacitor or operation of an internal fuse having occurred.

Notes 1. — When checking if the temperature conditions are satisfied, fluctuations of voltage, frequency and cooling-air temperature during the test should be taken into account. For this reason, it is advisable to plot these parameters, and the temperature rise of the container as a function of time.

2. — Units intended for 60 Hz installation may be tested at 50 Hz and units intended for 50 Hz may be tested at 60 Hz provided that the specified output is applied. For units rated below 50 Hz the test conditions should be agreed between purchaser and manufacturer.

14. Capacitor loss tangent (tan δ) measurement at elevated temperature (type test)

14.1 *Measuring procedure*

The capacitor losses (tan δ) shall be measured at the end of the thermal stability test (Clause 13). The measuring voltage shall be that of the thermal stability test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14.2 *Requirements*

The value of tan δ measured in accordance with Sub-clause 14.1 shall not exceed the value declared by the manufacturer, or the value agreed upon between manufacturer and purchaser.

15. **A.C. voltage test between terminals and container (type test)**

Units having all terminals insulated from the container shall be subjected to a test according to Clause 18 with a duration of 1 min.

Tests on units having one terminal permanently connected to the container shall be limited to the bushing(s) and container (without elements).

The test is dry for units to be used indoors, and with artificial rain (see IEC Publication 60: High-voltage Test Techniques) for units to be used outdoors.

The positions of the bushings when subjected to a test under artificial rain shall correspond to their position in service.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

Note. — Units intended for outdoor installation may be subjected to only a dry test if the manufacturer can supply a separate type test report showing that the bushings will withstand the wet test voltage for 1 min. The position of the bushings in this separate type test should correspond to their position in service.

16. **Lightning impulse test between terminals and container (type test)**

This test is applicable to units according to the following requirements:

— units having all terminals insulated from the container and intended for connection to overhead lines shall be tested in accordance with Sub-clause 16.1;

— units having one terminal connected to the container and units not intended for connection to overhead lines shall be tested according to Sub-clause 16.2 on a model unit only.

The lightning impulse test shall be made in accordance with IEC Publication 60 but with a wave-shape of (1.2 to 5)/50 μs having a crest value corresponding to the insulation level of the unit according to Clause 18.

The absence of failure or partial breakdown during the test shall be verified by a cathode-ray oscilloscope which is used to record the voltage and to check the wave-shape.

16.1 *Test on a standard unit*

Fifteen impulses of positive polarity followed by 15 impulses of negative polarity shall be applied between bushings joined together and the container.

After the change of polarity it is permissible to apply some impulses of lower amplitude before the application of the negative impulses.

The capacitor is considered to have passed the test if:

— no puncture has occurred;

— not more than two flashovers have occurred at each polarity;

— the wave-shape has revealed no irregularities, or the wave-shape recorded at a reduced voltage (i.e. at 50% to 70% of the test voltage) does not differ significantly from that recorded at test voltage.

Alternatively the standard unit shall be subjected to three positive impulses applied between bushings joined together and the container. The above acceptance criteria are applicable except for that no flashover is permitted.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16.2 *Test on a model unit*

The model unit shall be equipped with bushing(s), shall have the internal bushing connection wire equipped with its standard insulation, shall be filled with impregnant but shall contain no elements. The internal bushing connection wire may be either bent in a U-shape between the bushings or equipped with an electrical stress relieving device.

The model unit shall be tested and accepted according to Sub-clause 16.1.

17. Short-circuit discharge test (type test)

The unit shall be charged by means of d.c. and then discharged through a gap situated as close as possible to the capacitor. It shall be subjected to five such discharges within 10 min.

The test voltage shall be 2.5 U_N.

Within 5 min after this test, the unit shall be subjected to a voltage test between terminals (Clause 9).

The capacitance shall be measured before the discharge test and after the voltage test. The differences between the two measurements shall be less than an amount corresponding to either breakdown of an element or operation of an internal fuse.

Note. — The purpose of the discharge test is to reveal deficiencies in the internal connections.

SECTION THREE — INSULATION LEVELS

18. Insulation levels

18.1 *Standard values*

The insulation levels of the capacitor units and of the capacitor installation shall be chosen from the standard values prescribed by IEC Publication 71-1.

The standardized values of the highest voltage for equipments are divided into three ranges:

— Range A: Voltage less than 52 kV. The prescribed values from IEC Publication 71-1 are supplemented by two values of the highest voltage for equipment (1.2 kV and 2.4 kV) which are given in Table IIIA (current practice in most European and several other countries).

Values based on current practice in some North American and other countries are given in Table IIIB for voltages up to 52 kV.

— Range B: From 52 kV to less than 300 kV. The prescribed values from IEC Publication 71-1 are given in Table IV.

— Range C: 300 kV and above. The prescribed values from IEC Publication 71-1 are given in Table V.

18.2 *Insulation levels of capacitor units*

For insulation levels of capacitor units connected in single-phase systems see Sub-clause 18.4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18.2.1 *Units with full insulation to container*

Units having containers connected to earth and having one bushing connected to line potential (the other bushing(s) being connected to line and/or isolated neutral) shall have an insulation level according to Table IIIA or Table IIIB.

Note. — The same requirement is also applicable to series connected units having earthed containers.

18.2.2 *Units with containers insulated from earth*

This sub-clause applies to units mounted on insulated racks in banks with either isolated or earthed neutrals.

The power frequency test voltage of the insulation to the container shall be calculated according to the following formula:

$$U_t = 2.15\ U_N \cdot n$$

where:

U_t = power frequency test voltage

U_N = rated voltage of the capacitor

n = number of units in series relative to the metal rack to which the containers are connected (for example if six units are series connected in one rack with the centre point connected to the rack, n is 3)

The same test level U_t shall be used as a minimum requirement for busbar and inter-rack insulators which are in parallel with the unit(s) (see Sub-clause 18.3.2).

Note. — If the rack is not connected to one of the electrical interconnections between capacitors units, the power frequency test voltage U_t should be agreed upon.

18.3 *Capacitor banks, star and delta connected*

18.3.1 *Insulation to earth (banks with isolated neutral only)*

The bank shall have full insulation to earth according to Table IIIA, Table IIIB, Table IV or Table V.

18.3.2 *Insulation across each phase of the capacitor bank*

Each insulation across parts of a phase or insulation to earth of the whole phase of the bank shall have its insulation level determined according to the formula of Sub-clause 18.2.2. However, n in this case corresponds to the number of units which span this insulation.

Note. — When damping reactors are connected in series with the capacitor bank, either at the earthed or insulated neutral point or in the line connections, their insulation levels should be equal to that of the supply system.

18.3.3 *Phase-to-phase insulation of the capacitor bank*

Insulation between line connections shall have an insulation level according to Table IIIA, Table IIIB, Table IV or Table V.

Insulation between racks (units, connections, etc.) mounted in different phases shall be designed to have an appropriate proportion of the whole insulation.

Note. — If the damping reactors are connected as described in the note of Sub-clause 18.3.2 the insulation between phases should not be impaired.

18.4 *Units and/or banks connected to single phases*

Units and/or banks connected to single phases shall have their insulation levels chosen as follows:

18.4.1 *Connection to two lines of a three-phase system*

Insulation levels, test voltages, etc., shall be chosen as for a complete three-phase bank.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18.4.2 *Connection to a true single-phase system*

Two possibilities exist:

— if connected between line and earth the insulation levels for the unit/bank shall be chosen as if this was a line-to-earth phase of a three-phase system having a line-to-line voltage equal to $\sqrt{3}$ times the line-to-earth voltage of the single-phase system;

— if connected between potentials isolated from earth the unit/bank shall have the same insulation levels as a unit/phase of a bank which is delta-connected in a three-phase system.

TABLE IIIA

Standard insulation levels for $U_m < 52$ kV

Serie I (based on current practice in most European and several other countries)

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
1.2	–	25[1]	6
2.4	–	35[1]	8
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

[1] Does not apply to non-exposed circuits.

The choice between the values of List 1 and List 2 may be made, taking into account the information given in IEC Publications 71-1 and 71-2.

TABLE IIIB

Standard insulation levels for $U_m < 52$ kV

Serie II (based on current practice in some North American and other countries)

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.)
kV	kV	kV
1.30	30[1]	6
2.75	45[1]	13
5.5	75	24
15.5	95	30
19.8	125	36
27.5	150	50
38.0	200	70
48.3	250	95

[1] Does not apply to non-exposed circuits.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE IV

Standard insulation levels for 52 kV ≤ U_m < 300 kV

1	2	3	4
Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.)	Base for per unit (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
		1 050	460

The table associates one or more recommended insulation levels with each standard value of the highest voltage for equipment.

Intermediate test voltages shall not be employed.

Several insulation levels may exist in the same system appropriate to installations situated in different locations or to various equipments situated in the same installation. For the selection of the insulation given by the level in relation to the particular conditions of the installation, see IEC Publication 71.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE V

Standard insulation levels for $U_m \geq 300$ kV

1	2	3	4	5	6
Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.)	Base for p.u. values $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (peak)	Rated switching impulse withstand voltage (peak)		Ratio between rated lightning and switching impulse withstand voltages	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)
kV	kV	p.u.	kV		kV
300	245	3.06	750	1.13	850
				1.27	950
		3.47	850	1.12	
362	296	2.86		1.24	1 050
		3.21	950	1.11	
		2.76		1.24	1 175
420	343	3.06	1 050	1.12	
		2.45		1.24	1 300
525	429			1.11	
		2.74	1 175	1.36	
				1.21	1 425
		2.08	1 300	1.10	
				1.32	
				1.19	1 550
765	625	2.28	1 425	1.09	
				1.38	
				1.26	1 800
		2.48	1 550	1.16	
				1.26	1 950
				1.47	2 100
				1.55	2 400

Notes 1. — A discussion of the selection of rated switching impulse withstand voltages will be found in the second edition of IEC Publication 71-2.

2. — The range of rated lightning impulse withstand voltages in Table V, associated with a particular rated switching impulse withstand voltage has been chosen on the basis of the following considerations:

a) For equipment protected by surge arresters, the two lower values of lightning impulse withstand voltages are applicable.

They have been chosen by taking into account the ratio of lightning impulse protective levels to switching impulse protective levels likely to be achieved with surge arresters, and by adding appropriate margins which may be particularly necessary in view of the greater influence of the distance separating the surge arresters and the protected apparatus at the protection level achievable for lightning impulses as compared with that for switching impulses.

b) For equipment not protected by surge arresters (or not effectively protected), only the highest value of lightning impulse withstand voltages should be used. These highest values are based on the ratio that is normally obtained between the lightning and switching impulse withstand voltages of the external insulation of apparatus (e.g. circuit-breakers, disconnecting switches, instrument trans-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

formers, etc.). They were chosen in such a way that the insulation design will be determined mainly by the ability of the external insulation to withstand the switching impulse test voltages.

c) In a few extreme cases, provision has to be made for a higher value of lightning impulse withstand voltage. This higher value should be chosen from the series of standard values given in IEC Publication 71-1.

SECTION FOUR — OVERLOADS

19. Maximum permissible voltage

19.1 *Long duration voltages*

Capacitor units shall be suitable for operation at voltage levels according to Table VI (Clauses 28 and 31).

TABLE VI

Type	Voltage factor x U_N (r.m.s.)	Maximum duration	Observation
Power frequency	1.00	Continuous	Highest average value during any period of capacitor energization. For energization periods less than 24 h exceptions apply in accordance with the values below (Clause 28)
Power frequency	1.10	12 h in every 24 h	System voltage regulation and fluctuations
Power frequency	1.15	30 min in every 24 h	System voltage regulation and fluctuations
Power frequency	1.20	5 min	Voltage rise at light load (see Clause 28)
Power frequency	1.30	1 min	
Power frequency plus harmonics	Such that the current does not exceed the value given in Clause 20 (see also Clauses 32 and 33)		

The amplitudes of the overvoltages that may be tolerated without significant deterioration of the capacitor depend on their duration, their total number and the capacitor temperature (Clause 28). It is assumed that the overvoltages given in Table VI and having a value higher than 1.15 U_N occur not more than 200 times in the capacitor's life.

19.2 *Switching voltages*

The residual voltage on a capacitor prior to energization shall not exceed 10% of the rated voltage (Sub-clause 4.1 *a)*). The energization of a capacitor bank by a restrike-free circuit breaker usually causes a transient overvoltage, the first peak of which does not exceed $2\sqrt{2}$ times the applied voltage (r.m.s. value) for a maximum duration of ½ cycle.

It is assumed that the capacitors may be switched 1 000 times per year under these conditions. (The associated peak transient overcurrent may reach 100 times the value I_N. See Subclause 32.2.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In the case of capacitors which are switched more frequently, the values of the overvoltage amplitude and duration and the transient overcurrent shall be limited to lower levels. These limitations and/or reductions shall be agreed upon in the contract.

20. **Maximum permissible current**

Capacitor units shall be suitable for continuous operation at an r.m.s. current of 1.30 times the current that occurs at rated sinusoidal voltage and rated frequency, excluding transients. Depending on the actual capacitance value, which may be a maximum of 1.15 C_N, the maximum current can reach 1.5 I_N (Clause 32).

These overcurrent factors are intended to take care of the combined effects due to harmonics and overvoltages up to and including 1.10 U_N according to Sub-clause 19.1.

SECTION FIVE — SAFETY REQUIREMENTS

21. **Discharge devices**

Each capacitor unit shall be provided with means for discharging to 75 V or less from an initial peak voltage of $\sqrt{2}$ times rated voltage U_N.

The above requirement applies to banks with a voltage rating of up to and including 25 kV. The maximum discharge time is 10 min for both capacitors and banks.

There must be no switch, fuse, or any other isolating device between the capacitor unit and/or bank and the discharging device as defined above.

A discharging device is not a substitute for short-circuiting the capacitor terminals together and to earth before handling.

Notes 1. — Capacitors connected directly to other electrical equipment providing a discharge path should be considered properly discharged, provided that the circuit characteristics are such as to meet the discharge requirements.

2. — A discharge time of 10 min per bank, up to 25 kV, requires a discharge time shorter than 10 min for individual capacitor units when the bank is composed of units connected in series.

3. — For banks having a rated voltage higher than 25 kV in which capacitor units usually are connected in series the voltage across the bank terminals may be higher than 75 V after 10 min due to the cumulative effect of the residual voltages for each unit. The discharge time to 75 V for the bank shall be stated by the manufacturer in the instruction sheet or on a rating plate.

4. — In certain countries smaller discharge times and voltages are required. In this event, the purchaser should inform the manufacturer.

5. — Discharge circuits should have adequate current carrying capacity to discharge the capacitor from the peak of the 1.3 U_N overvoltage according to Clause 19.

6. — An electrical fault in a unit protected by a fuse, or a flashover across part of the bank, can produce local residual charges inside the bank which cannot be discharged within the specified time by means of a discharge device connected between the terminals of the bank.

7. — A formula for the calculation of the discharge resistance is given in Appendix A.

22. Container connections

To enable the potential of the metal container of the capacitor to be fixed, and to be able to carry the fault current in the event of a breakdown to the container, the container shall have provision for connection by means of a bolt of thread size at least M 10 or equivalent.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23. **Protection of the environment**

When capacitors are impregnated with materials that must not be dispersed into the environment, precautions shall be taken. In some countries, there are legal requirements in this respect. (See Sub-clause 25.3 and Appendix B.)

24. **Other safety requirements**

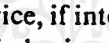
The purchaser shall specify at the time of enquiry any special requirements with regard to the safety regulations applicable in the country in which the capacitor is to be installed.

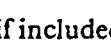
SECTION SIX — MARKINGS

25. **Markings of the unit**

25.1 *Rating plate*

The following information shall be given on the rating plate of each capacitor unit:

1. Manufacturer.
2. Identification number and manufacturing year.
   The year may be a part of identification number or be in code form.
3. Rated output Q_N in kilovars.
   For three-phase units the total output shall be given (see Appendix A).
4. Rated voltage U_N in volts or kilovolts.
5. Rated frequency f_N in hertz.
6. Temperature category (see Sub-clause 4.1).
7. Discharge device, if internal, shall be indicated by wording or by the symbol  or by the rated ohmic value.
8. Insulation level U_i in kilovolts (only for units having all terminals insulated from the container).
   The insulation level shall be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving the r.m.s. value of the power-frequency test voltage, in kilovolts, and the second number giving the crest value of the impulse test voltage, in kilovolts (for example 28/75) (see Clause 18).

   For units having one terminal permanently connected to the container and not tested according to Clause 16 this information is not applicable.
9. Connection symbol.
   All capacitors, except single-phase having one capacitance only, shall have their connection indicated.
   For standardized connection symbols, see Sub-clause 25.2.
10. Internal fuses, if included, shall be indicated by wording or by the symbol  .
11. Chemical or trade name of impregnant. (This indication shall be stated on the warning plate. See Sub-clause 25.3.)
12. Reference to IEC Publication 871 (plus year of issue).

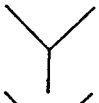
Note. — On request of the purchaser, the measured capacitance shall be indicated either in absolute value, or in percentage, or by symbols.

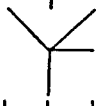
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25.2 *Standardized connection symbols*

The type of connection shall be indicated either by letters or by the following symbols:

D or = delta

Y or  = star

YN or  = star, neutral brought out

III or = three sections without internal interconnections

25.3 *Warning plate*

If the capacitor unit contains material which may pollute the environment (Clause 23) or may be hazardous in any other way (for example flammability), the unit shall be equipped with a label according to the relevant laws of the country of the user. The purchaser shall inform the manufacturer about such law(s).

Regarding capacitors with polychlorobiphenyl impregnant, see Appendix B.

26. **Markings of the bank**

26.1 *Instruction sheet or rating plate*

The following minimum information shall be given by the manufacturer in an instruction sheet or alternatively, on request of the purchaser, on a rating plate:

1. Manufacturer.
2. Rated output Q_N in megavars.

   Total output to be given.
3. Rated voltage U_N in kilovolts.
4. Insulation level U_i.

   The insulation level shall be marked by means of two numbers separated by a stroke. The first number giving the r.m.s. value of the rated power-frequency short duration voltage (for $U_m < 300$ kV) or the peak value of the rated switching impulse voltage (for $U_m \geqslant 300$ kV) in kilovolts, and the second number giving the crest value of the rated lightning impulse withstand voltage in kilovolts (for example 185/450).
5. Connection symbol.

   For standardized connection symbol see Sub-clause 25.2.

   The connection symbol may be part of a simplified connection diagram showing for example unbalance protection, damping reactors, etc.
6. Minimum time required between disconnection and reclosure of the bank (see Sub-clause 4.1 *a)*, and Appendix A).
7. Time to discharge to 75 V (in the case of banks rated above 25 kV).

26.2 *Warning plate*

Sub-clause 25.3 is also valid for the bank.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SECTION SEVEN — GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION

27. General

Unlike most electrical apparatus, shunt capacitors, whenever energized, operate continuously at full load, or at loads that deviate from this value only as a result of voltage and frequency variations.

Overstressing and overheating shorten the life of a capacitor, and therefore the operating conditions (i.e. temperature, voltage and current) should be strictly controlled and specified.

It should be noted that the introduction of local capacitance in a system may produce unsatisfactory operating conditions (for example amplification of harmonics, self-excitation of machines, overvoltages due to switching, unsatisfactory working of audio-frequency remote-control apparatus, etc.).

Because of the different types of capacitor and the many factors involved, it is not possible to cover, by simple rules, installation and operation in all possible cases. The following information is given with regard to the more important points to be considered.

In addition, the recommendations of the manufacturer and the power supply authorities should be followed, especially those concerning the switching of capacitors when the network is under light load conditions.

28. Choice of the rated voltage

The rated voltage of the capacitor should be not less than the maximum operating voltage of the network to which the capacitor is to be connected, account being taken of the influence of the capacitor itself.

In certain networks, a considerable difference may exist between the operating and rated voltage of the network, details of which should be provided by the purchaser, so that due allowance can be made by the manufacturer. This is of importance for capacitors, since their performance and life may be adversely affected by an undue increase of the voltage across the capacitor dielectric.

Where inductive elements are inserted in series with the capacitor to reduce the effects of harmonics, etc., the resultant increase of the voltage at the capacitor terminals above the operating voltage of the network requires a corresponding increase in the rated voltage of the capacitor.

If no information to the contrary is available, the operating voltage should be assumed as equal to the rated or declared voltage of the network.

When determining the voltage to be expected on the capacitor terminals, the following considerations should be taken into account:

- shunt-connected capacitors may cause a voltage increase in the network where they are located (Appendix A). This voltage increase may be greater due to the presence of harmonics. Capacitors are therefore liable to operate at a higher voltage than that measured before connecting the capacitors;
- the voltage at the capacitor terminals may be particularly high at times of light load (see Appendix A). In this case, the whole or part of the capacitor should be switched off in order to prevent overstressing of the capacitor units and undue voltage increase in the network.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Only in case of emergency should capacitors simultaneously be operated at maximum permissible overvoltage and maximum ambient temperature and then only for short periods of time.

Notes 1. — An excessive safety margin in the choice of the rated voltage U_N should be avoided, because this would result in a decrease of output.

2. — See Clause 19 concerning maximum permissible voltage.

3. — Allowance should be made for the effect of unit capacitance tolerance on the operating voltage in series or star connected assemblies. The operation of capacitor fuses will also increase the operating voltage on the remaining parallel connected units.

29. Operating temperature

29.1 *General*

Attention should be paid to the upper operating temperature of the capacitor, because this has a great influence on its life.

When the capacitor dielectric reaches a temperature below the lower limit of its category, there may be the danger of initiating partial discharges in the dielectric, not only when the capacitor is initially energized but also during service when the capacitor has low dielectric losses causing a negligible temperature rise.

Note. — If losses are to be evaluated, it is recommended that, as a reference temperature, the average ambient temperature is used, with due regard to the output of the capacitor for different periods of the year or the service period. It is also possible to define losses at several ambient temperatures and calculate their mean value.

All loss-producing accessories, such as external fuses, reactors, etc., should be included in calculation of total bank losses.

29.2 *Installation*

Capacitors should be so placed that there is adequate dissipation by convection and radiation of the heat produced by the capacitor losses. The ventilation of any enclosure and the arrangement of the capacitor units shall provide good air circulation around each unit. This is of importance for units mounted in rows above each other.

The temperature of capacitors subjected to radiation from the sun or from any high-temperature surface will be increased. Depending on the cooling-air temperature, the intensity of the cooling and the intensity and duration of the radiation, it may be necessary to use one or more of the following remedies:

— to protect the capacitors from radiation;

— to chose a capacitor designed for a higher ambient air temperature (for example category −5/B instead of −5/A, or which is otherwise suitably designed);

— to employ capacitors with rated voltage higher than that resulting from Clause 28;

— to employ forced air cooling.

Capacitors installed at high altitudes (more than 1 000 m) will be subject to decreased convective heat dissipation, which should be considered when determining the output of the units. The ambient temperature, however, is usually lower at such an altitude (see also Subclause 34.1).

29.3 *High ambient air temperature*

Capacitors for symbol C are generally suitable for the majority of applications under tropical conditions. In some locations, however, the ambient air temperature may be such that a symbol D capacitor is required. The latter may also be needed for those cases where the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

capacitors are frequently subjected to the radiation of the sun for several hours (for example in desert territories), even though the ambient temperature is not excessive (Sub-clause 29.2).

In exceptional cases, the ambient air temperature may be higher than 55 °C maximum, or 45 °C daily mean. Where it is impossible to improve the cooling conditions, capacitors of special design or with a higher rated voltage should be used.

30. Special conditions

In addition to the conditions covered in Clause 29, the manufacturer should be advised by the purchaser of any special service conditions such as:

— *High relative humidity*
It may be necessary to use insulators of special design. Attention is drawn to the possibility of external fuses being shunted by a deposit of moisture on their surfaces.

— *Rapid mould growth*
Metals, ceramic materials and some paints and lacquers do not support mould growth. When fungicidal materials are used, they do not retain their poisoning property for more than several months. In any case, mould may develop in an installation on places where dust, etc., can settle.

— *Corrosive atmospheres*
Such atmospheres are found in industrial and coastal areas. It should be noted that in climates of higher temperature the effects may be more severe than in temperate climates. Highly corrosive atmospheres may also be present in indoor applications.

— *Pollution*
When capacitors are mounted in a location with a high degree of pollution, special precautions should be taken.

— *Altitudes exceeding 1 000 m*
Capacitors used at altitudes exceeding 1 000 m are subject to special conditions. The choice of the type should be made by agreement between purchaser and manufacturer (see Sub-clauses 29.2 and 34.1).

— *Earthquake areas*
In some areas there is a higher probability of earthquakes, which may affect the mechanical design of the capacitors and/or banks to be installed in such areas.

The purchaser shall specify acceleration amplitude and damping values.

31. Overvoltages

Clause 19 specifies overvoltage factors.

With the manufacturer's agreement, some overvoltage factors may be increased if the estimated overvoltage incidence is lower, or if the temperature conditions are less severe. These power frequency overvoltage limits are valid, provided that transient overvoltages are not superposed on them. The peak voltage should not exceed 1.41 times the given r.m.s. value.

31.1 *Restriking of switches*

High overvoltage transients may be encountered when capacitors are disconnected by switching devices which may be either the capacitor switch or more remote switch(es) which

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

allow restriking. Care should be taken to select switching devices which operate without causing excessive overvoltage.

If, nevertheless, restriking cannot be prevented, it may be necessary to use capacitors having a higher insulation level and a higher rated voltage.

31.2 *Lightning*

Capacitors which are liable to be subjected to high overvoltages by lightning should be adequately protected. If surge arresters are used, they should be located as near as possible to the capacitors. Special arresters may be required to take care of the discharge current from the capacitor, especially from large banks. (See IEC Publication 99.)

31.3 *Motor self-excitation*

When a capacitor is permanently connected to a motor, difficulties may arise after disconnecting the motor from the supply. The motor, while still rotating, may act as a generator by self-excitation and may give cause to voltages considerably in excess of the system voltage.

This, however, can usually be prevented by ensuring that the capacitor current is less than the no-load magnetizing current of the motor; a value of about 90% is suggested. As a precaution, live parts of a motor to which a capacitor is permanently connected should not be handled before the motor stops.

Notes 1. — The maintained voltage due to self-excitation after the machine is switched off is particularly dangerous in the case of induction generators and for motors with a braking system intended to be operated by loss of voltage (for example lift motors).

2. — In the case in which the motor stops immediately after disconnection from the supply, the compensation may exceed 90%.

31.4 *Star-delta starting*

When a capacitor is connected to a motor equipped with a star-delta starter, the arrangement should be such that no overvoltage can occur during the operation of the starter, unless otherwise agreed between purchaser and manufacturer.

31.5 *Capacitor unit selection*

When building up a capacitor bank from a random selection of units, care should be taken to avoid overvoltages due to the difference in capacitance between the units or groups of units connected in series.

This difference may be as high as 20% in the extreme case (see Sub-clause 7.2).

It should be considered in each case whether the best solution to avoid overvoltages on units or groups of units is to arrange the units in such a way that the voltage differences are minimized or to choose the rated voltage of the units taking into account a certain voltage increase.

If capacitor units or groups of units, are connected in series, they should also be so arranged as to have the smallest possible capacitance differences.

Also the method of fault protection (see Sub-clause 33.3, Note 1) and the consequence of the breakdown of a unit in connection with this method should be studied. When it is required to minimize voltage differences, the units or groups of units to be connected in series shall be chosen so that their capacitances are as closely matched as possible (see also Sub-clause 7.2).

In the case of star-connected banks with isolated neutral, capacitance differences between phases will lead to an increase of the voltage across the capacitors in the phase with the smallest capacitance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32. Overload currents

32.1 *Continuous overcurrents*

Capacitors should never be operated with currents exceeding the permissible value specified in Clause 20, except for periods not longer than 5 min in conjunction with voltage rise at light loads according to Table VI.

Overload currents may be caused either by excessive voltage at the fundamental frequency or by harmonics or both. The chief sources of harmonics are rectifiers, thyristor devices and saturated transformer cores.

When the voltage rise at periods of light load is increased by capacitors, the saturation of transformer cores may be considerable. In this case, harmonics of abnormal magnitude are produced, one of which may be amplified by resonance between transformer and capacitor.

This is a further reason for recommending the disconnection of capacitors at periods of light load, as indicated in Clause 28.

The voltage waveform and the network characteristics should be determined before and after installing the capacitor. If sources of harmonics such as large rectifiers are present, special care should be taken.

If the capacitor current should exceed the maximum value specified in Clause 20, whilst the voltage is within the permissible limits specified in Sub-clause 19.1, the predominating harmonic should be determined in order to find the best remedy.

One or more of the following remedies may be effective in reducing the current:

— moving some or all of the capacitors to other parts of the system;

— connection of a reactor in series with the capacitor to lower the resonant frequency of the circuit to a value below that of the disturbing harmonic (see Clause 28);

— increasing the value of the capacitance where the capacitor is connected close to rectifiers.

Notes 1. — If iron-cored reactors are used, attention should be paid to possible saturation and overheating of the core by harmonics.

2. — Any bad contacts or joints in capacitor circuits may give rise to arcing, causing high-frequency oscillations which may overheat and overstress the capacitors.

Regular inspection of all contacts and joints of the capacitor equipment is therefore recommended.

3. — A formula for the calculation of the resonant frequency is given in Appendix A.

32.2 *Transient overcurrents*

Transient overcurrents of high amplitude and high frequency may occur when capacitors are switched into circuit and especially when a section of a capacitor bank is switched in parallel with other sections which are already energized (see Appendix A).

It may be necessary to reduce these transient overcurrents to acceptable values in relation to the capacitor and to the equipment by switching the capacitors through a resistor (resistance switching) or by the insertion of reactors in the supply circuit to each section of the bank (see also Sub-clause 33.2).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32. Overload currents

32.1 *Continuous overcurrents*

Capacitors should never be operated with currents exceeding the permissible value specified in Clause 20, except for periods not longer than 5 min in conjunction with voltage rise at light loads according to Table VI.

Overload currents may be caused either by excessive voltage at the fundamental frequency or by harmonics or both. The chief sources of harmonics are rectifiers, thyristor devices and saturated transformer cores.

When the voltage rise at periods of light load is increased by capacitors, the saturation of transformer cores may be considerable. In this case, harmonics of abnormal magnitude are produced, one of which may be amplified by resonance between transformer and capacitor.

This is a further reason for recommending the disconnection of capacitors at periods of light load, as indicated in Clause 28.

The voltage waveform and the network characteristics should be determined before and after installing the capacitor. If sources of harmonics such as large rectifiers are present, special care should be taken.

If the capacitor current should exceed the maximum value specified in Clause 20, whilst the voltage is within the permissible limits specified in Sub-clause 19.1, the predominating harmonic should be determined in order to find the best remedy.

One or more of the following remedies may be effective in reducing the current:

— moving some or all of the capacitors to other parts of the system;

— connection of a reactor in series with the capacitor to lower the resonant frequency of the circuit to a value below that of the disturbing harmonic (see Clause 28);

— increasing the value of the capacitance where the capacitor is connected close to rectifiers.

Notes 1. — If iron-cored reactors are used, attention should be paid to possible saturation and overheating of the core by harmonics.

2. — Any bad contacts or joints in capacitor circuits may give rise to arcing, causing high-frequency oscillations which may overheat and overstress the capacitors.

Regular inspection of all contacts and joints of the capacitor equipment is therefore recommended.

3. — A formula for the calculation of the resonant frequency is given in Appendix A.

32.2 *Transient overcurrents*

Transient overcurrents of high amplitude and high frequency may occur when capacitors are switched into circuit and especially when a section of a capacitor bank is switched in parallel with other sections which are already energized (see Appendix A).

It may be necessary to reduce these transient overcurrents to acceptable values in relation to the capacitor and to the equipment by switching the capacitors through a resistor (resistance switching) or by the insertion of reactors in the supply circuit to each section of the bank (see also Sub-clause 33.2).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The peak value of the overcurrents due to switching operations should be limited to a maximum of 100 I_N (r.m.s. value). (Sub-clause 33.1, Note 2, Appendix D and IEC Publication 593.)

33. Switching and protective devices

33.1 *Withstand requirements*

The switching and protective devices and the connections should be designed to carry continously a current of 1.3 times the current (see Clause 20) which could be obtained with a sinusoidal voltage of r.m.s. value equal to the rated voltage at the rated frequency. Depending on the actual capacitance value, which may be at most equal to 1.15 times the value corresponding to its rated output (Sub-clause 7.2), this current may have a maximum value of $1.3 \cdot 1.15 = 1.5$ times the rated current for individual units and lower values for banks (see Sub-clause 7.2).

Furthermore, harmonic components, if present, may have a greater heating effect than the corresponding fundamental component, due to the skin effect.

The switching and protective devices and the connections should be capable of withstanding the electrodynamic and thermal stresses which are caused by transient overcurrents of high amplitude and frequency which may occur when switching on.

Such transient effects are to be expected when a section of a capacitor bank is switched in parallel with other sections which are already energized. When consideration of the electrodynamic and thermal stresses would lead to excessive design requirements, special precautions, such as those referred to in Sub-clause 32.2 for the purpose of protection against overcurrents, should be taken.

Notes 1. — Fuses, in particular, should be chosen with adequate thermal capacity (see Appendix D and IEC Publication 593).

2. — In certain cases, for example when the capacitors are automatically controlled, repeated switching operations may occur at relatively short intervals of time. Switchgear and fuses should be selected to withstand these conditions. The requirement of Item *a)* of Sub-clause 4.1 that the residual voltage at energization should not exceed 10% of the rated voltages should be observed.

3. — Circuit breakers connected to the same busbar may be subjected to special stress in case of switching on against a short-circuit.

4. — Circuit breakers for switching of parallel banks shall be able to withstand the inrush current (amplitude and frequency) resulting when one bank is connected to a busbar to which one or more other banks are already connected.

33.2 *Restrike-free breakers*

Circuit breakers suitable for capacitor switching should be used. For example, the device should be such that restriking during breaking operations, which may result in excessive overvoltages, cannot occur (see also Sub-clause 31.1).

It is recommended that before deciding upon the type of switching device to be used with any capacitor installation, the capacitor manufacturer and the switchgear manufacturer should be consulted.

33.3 *Relay settings*

It is recommended that capacitors be protected against overcurrent by means of suitable overcurrent relays which are adjusted to trip the circuit-breakers when the current exceeds the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

permissible limit specified in Clause 20. Fuses generally do not provide suitable overcurrent protection (see Appendix D and IEC Publication 593).

Notes 1. — An overcurrent protection system does not in itself give sufficient protection against overvoltages, neither does it in general give protection against internal faults of a capacitor unit.

Protection against internal faults of a capacitor bank especially when built up of a multiplicity of units is therefore necessary. Suitable means should be provided to isolate automatically a faulted unit or a faulted element.

2. — Depending on the type of the capacitors their capacitance will vary more or less with temperature.

Attention should be paid to the fact that the capacitance may change rapidly when cold capacitors are switched on. This phenomenon is prominent at low temperature when the temperature rise of the capacitors and thus the capacitance values may be unbalanced.

This may cause unwanted functioning of the protective equipment.

3. — When the units of a bank are individually protected by external fuses, the user may request that the bank remains in circuit even though the number of blown fuses involves a prolonged overvoltage exceeding the limits given in Clause 19.

In this case a higher rated voltage for the unit(s) should be chosen or a time limit for the overvoltage should be decided by agreement between the manufacturer and the purchaser.

34. Choice of insulation levels

The insulation level of a capacitor bank should be chosen to conform to that of the system to which the bank will be connected, from the tables of Clause 18.

Units according to Sub-clause 18.2.1 and banks according to Sub-clause 18.3.1 should have an insulation level equal to or higher than that of the system.

The insulation levels of Sub-clauses 18.2.2, 18.3.2 and 18.3.3 are considered sufficient for the switching surges if restrike-free breakers are used.

Regarding choice of creepage distances, see Clause 35.

Note. — Unit(s) having the container as one terminal, which are not tested to the container according to Clause 16 and which are equipped with internal element fuses, should have their insulation to container dimensioned to withstand a higher voltage than the external insulation between the terminals. A breakdown of the insulation to the container may completely or partially by-pass the internal element fuses (see IEC Publication 593).

34.1 *Altitudes exceeding 1 000 m*

Insulation levels chosen according to Clause 18 might be too low for use at altitudes higher than 1 000 m (Sub-clause 4.1). The purchaser should in such a case, specify which insulation level is required when referred to normal test conditions.

The requirements of Sub-clause 18.2 are still valid, but for the new specified insulation level.

Regarding units with the container as one terminal the manufacturers should provide evidence that the external insulation of the unit bushing can withstand a test voltage of k times the test voltage according to Sub-clause 18.2 where k is the ratio between the new specified power frequency withstand voltage and the corresponding a.c. withstand voltage according to the tables of Clause 18 for the same U_m.

34.2 *Influence of the capacitor itself*

The voltage withstand values in Table IIIA, Table IIIB, Table IV and Table V are in accordance with IEC Publication 71, and are chosen to give sufficient margin to transient overvoltages for objects having low capacitance values.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In capacitor units or capacitor banks the tables are therefore only applicable to installations having low capacitance values, such as insulation to earth of fully insulated units or of insulation between an insulated neutral and earth.

The phase capacitance of a power capacitor having an earthed neutral point is usually sufficient to substantially reduce the amplitude of lightning or switching surges even if the surge originates from a point relatively close to the capacitor.

34.3 *Overhead earth wires*

Units or banks with earthed neutrals are usually considered properly protected (see Subclause 9.2, Note 4) from lightning surges, if the unit (bank) and connecting lines are equipped with overhead earthed wires up to at least a distance from the unit (bank) of 5 times U_m (in kilovolts to give metres) or 200 m whichever value is the greater.

35. Choice of creepage distances

Creepage distances and degrees of pollution are currently under consideration.

36. Capacitors connected to systems with audio-frequency remote control

The impedance of capacitors at audio-frequencies is very low. When they are connected to systems having audio-frequency remote-control, overloading of the remote control transmitter and unsatisfactory working may, therefore, result.

There are various methods of avoiding these deficiencies; the choice of the best method should be made by agreement between all parties concerned.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX A

FORMULAE FOR CAPACITORS AND INSTALLATIONS

A1. Computation of the output of three-phase capacitors from three single-phase capacitance measurements

The capacitance measured between any two line terminals of a three-phase capacitor of either delta or star connection are denoted as C_a, C_b and C_c. If the symmetry requirements laid down in Sub-clause 7.2 are fulfilled, the output Q of the capacitor can be computed from the formula:

$$Q = \frac{2}{3}(C_a + C_b + C_c)\,\omega\,U_N^2 \cdot 10^{-6}$$

where:

C_a, C_b and C_c are expressed in microfarads

U_N is expressed in kilovolts

Q is expressed in megavars

A2. Resonant frequency

A capacitor may be in resonance with a harmonic, in accordance with the following equation in which r is an integer:

$$r = \sqrt{\frac{S}{Q}}$$

where:

S = short-circuit power (MVA) at the point where the capacitor is to be connected

Q is expressed in megavars

r = harmonic number, that is the ratio between the resonant harmonic frequency (Hz) and the network frequency (Hz).

A3. Voltage increase

Connection of a shunt capacitor will cause the following permanent voltage increase:

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S}$$

where:

ΔU = voltage increase

U = voltage before connection of the capacitor

S = short-circuit power (MVA) at the point where the capacitor is to be connected

Q is expressed in megavars

A4. Inrush transient current

A4.1 *Switching in of single capacitor bank*

$$I_s \approx I_N \sqrt{\frac{2S}{Q}}$$

where:

I_s = crest of inrush bank current, expressed in amperes

I_N = rated capacitor bank current (r.m.s.), expressed in amperes

S = short-circuit power (MVA) at the point where the capacitor is to be connected

Q is expressed in megavars

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A4.2 *Switching in of a bank in parallel with energized bank(s)*

$$I_s = \frac{U\sqrt{2}}{\sqrt{X_c X_L}} \text{ where } X_c = 3U^2 \left(\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2}\right) \cdot 10^{-6}$$

where:

I_s = crest of inrush bank current, expressed in amperes
U = phase-to-earth voltage, expressed in volts
X_c = series-connected capacitive reactance per phase, expressed in ohms
X_L = inductive reactance per phase between the banks, expressed in ohms
Q_1 = outputs of the bank to be switched in
Q_2 = the sum of the already energized bank(s), expressed in megavars

A5. Discharge resistance in single-phase unit

$$R \leq \frac{t}{C \log_e (U_N \sqrt{2} / U_R)}$$

where:

t = time for discharge from $U_N\sqrt{2}$ to U_R, expressed in seconds
R = discharge resistance, expressed in megohms
C = capacitance, expressed in microfarads
U_N = rated voltage of unit, expressed in volts
U_R = permissible residual voltage, expressed in volts
(See Clause 21 for limits of t and U_R).

A6. Discharge time to 10% of rated voltage

$$t_1 = 2.65\,RC = \frac{2.65\,t}{\log_e (U_N \sqrt{2} / U_R)}$$

where:

t = time for discharge from $U_N\sqrt{2}$ to U_R, expressed in seconds
U_N = rated voltage of unit, expressed in volts
U_R = permissible residual voltage, expressed in volts
t_1 = discharge time expressed in seconds to 10% of rated voltage

If the limits of Clause 21 are strictly observed, then:

$$t_1 = \frac{1590}{\log_e (U_N / 53)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX B

PRECAUTIONS TO BE TAKEN TO AVOID POLLUTION OF THE ENVIRONMENT BY POLYCHLORINATED BIPHENYLS

The disposal of polychlorinated biphenyls without the necessary precautions may involve pollution of the environment. In some countries, the characteristics of the polychlorinated biphenyls used in the impregnation of capacitors and the methods employed for their destruction are governed by laws, or codes of practice.

In the absence of regulations it is suggested that the following measures are taken:

- equip banks with collecting devices that prevent the dispersion of polychlorinated biphenyl over the ground in the event of leakage from the capacitor container, for example by the use of suitable paving;
- avoid the use of products with a high chlorine content (for example hexa- or penta-chlorobiphenyl), since these products possess a lower degree of biodegradability;
- dispose of the defective capacitors by pyrolysis, or burial in suitable locations which positively isolate the capacitors and their components from the water table.

When the capacitor is impregnated with polychlorobiphenyls, it shall be labelled (Sub-clause 25.3) in accordance with the relevant laws of the country of the customer. If no law exists a label with the following wording shall be used:

"This capacitor contains polychlorobiphenyl, which could pollute the environment. It shall be disposed of in accordance with local regulations."

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX C

ADDITIONAL REQUIREMENTS FOR POWER FILTER CAPACITORS

When the following clauses are added to this publication it applies to by-pass filter capacitors (see Clause 1, Note 1).

Add the following definition to Clause 3:

Band-pass and high-pass filter capacitor (filter capacitor):

A capacitor which, when connected together with other components, provides a low impedance path for one or more harmonic currents.

Addition to Sub-clause 3.10:

For filter capacitors, the rated output is the arithmetic sum of outputs generated at the fundamental frequency and at the harmonics frequencies.

Addition to Sub-clause 3.11:

In the case of filter capacitors, U_N is defined as the arithmetic sum of the r.m.s. voltages arising from the fundamental voltage and the harmonic voltage, or as the voltage calculated from rated output (see Addition to Sub-clause 3.10) and capacitor reactance at rated frequency, whichever value is the greatest.

Addition to Sub-clause 3.13:

For filter capacitors the rated current is defined as the square root of the sum of the squared values of the rated currents at the fundamental and harmonic frequencies. Accessories such as busbars, shall be designed to operate satisfactorily at this current and at overcurrents (see Clause 20).

Addition to Sub-clause 7.2:

For filter capacitors, especially for band-pass filters, symmetrical tolerances are recommended both for units and banks.

For units in band-pass filters: ± 5%

For units in high-pass filters: ± 7.5%

The tolerances for banks shall be agreed upon between purchaser and manufacturer.

New Notes to Sub-clause 7.2:

When determining the bank tolerances in a filter capacitor the following factors should be considered:

- tolerances of the associated equipment especially the reactor(s);
- the variations of the fundamental frequency in the network to which the filter capacitor is connected;
- the capacitance variation due to temperature;
- the allowed capacitance variation for shorter periods for example during warming up or fault conditions such as punctures before fuse clearing;
- the capacitance variation after fuse operation.

If standard (off-the-shelf) units are used, then the required bank tolerance should be achieved by selection of units.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Addition to Sub-clause 9.1:

For filter capacitors:

$$U_t = 2.15\ U_1 + 1.5\ U_H$$

In the United States of America, the value $U_t = 2.0\ U_1 + 1.5\ U_H$ is used.

where:

U_1 = fundamental frequency r.m.s. voltage after installation

U_H = arithmetic sum of the r.m.s. values of the harmonic voltages after installation

Note. — Other countries may use the value $U_t = 2.0\ U_1 + 1.5\ U_H$ only if agreed between purchaser and manufacturer.

Addition to Sub-clause 9.2:

For filter capacitors:

$$U_t = 4.3\ U_1 + 3\ U_H$$

New note to Sub-clause 13.2:

If for filter capacitors, 1.44 Q_N is lower than the output determinde by 1.1 U_N and C_N at fundamental frequency, this latter test voltage shall be used in the thermal stability test.

Addition to Clause 18:

For filter capacitors, U_m refers fo fundamental frequency voltage at the terminals of the filter circuit after installation.

— However, if the arithmetic sum of the r.m.s. values of the harmonic voltages U_H is greater than 0.5 times the fundamental frequency voltage U_1 (i.e. $U_H > 0.5\ U_1$), the insulation level of a capacitor shall be chosen according to the highest voltage for equipment in the network U_m increased by 0.5 U_H.

The insulation level and creepage distance shall be chosen from the standard levels. Clause 28 should also be taken into consideration.

Addition to Clause 20:

For filter capacitors the maximum permissible current shall be agreed between manufacturer and purchaser.

Addition to Sub-clauses 25.1 and 26.1:

For filter capacitors the tuned harmonic frequency shall be marked, preferably after rated frequency.

For example:	50 + 250 Hz	(narrow band-pass filter)
	50 + 550/650 Hz	(broad band-pass filter)
	50 + ⩾ 750 Hz	(high-pass filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX D

TEST REQUIREMENTS AND APPLICATION GUIDE FOR EXTERNAL FUSES AND UNITS TO BE EXTERNALLY FUSED

D1. Scope

Appendix D applies to external fuses used with high-voltage shunt capacitors. The fuses shall be in accordance with IEC Publication 549.

D2. Object

The object of Appendix D is:

a) to specify rules regarding testing and performances of external fuses;

b) to provide a guide for the application of external fuses.

D3. Definitions

D3.1 See IEC Publication 549.

D3.2 *External fuse*

A fuse connected outside the capacitor unit(s) and electrically in series with one unit or one group of parallel units.

D4. Performance requirements

a) The performance requirements of the fuse shall be in accordance with IEC Publication 549.

b) The fuse shall be able to carry the number of inrush current surges due to switching, during the life of the capacitor. The peak value of the inrush current shall not exceed 100 times the rated (r.m.s.) current (see Sub-clause 32.2).

Note. — If the service conditions permit, the words "during the life of the capacitor" may be replaced by "until the next regular maintenance inspection".

c) The fuse(s) connected to undamaged unit(s) shall be able to carry the discharge currents due to the breakdown of other unit(s) and the currents due to short-circuit faults external to the unit(s).

D5. Tests

D5.1 *Tests on fuses*

See IEC Publication 549.

D5.2 *Type tests on capacitor containers*

Under consideration.

D6. Guide for co-ordination of fuse protection

D6.1 *General*

Each fuse is connected in series with one unit or one group of units which the fuse is intended to isolate if the unit or one of the units in the group becomes faulty.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes 1. — Depending on the bank arrangement and the internal connections of the unit, the current through the faulty unit due to its failure, together with the current due to the discharge of stored energy in units connected in parallel with the faulty unit, may not be sufficient to operate the fuse until several of the series connected elements of the faulty unit have failed. In order to ensure that the fuse will operate and isolate a completely failed unit the fuse should be rated such that it will operate when subjected solely to the resulting power-frequency overcurrent which would flow in the short-circuited unit.

2. — The operation of one or more fuses will cause a change of voltage distribution within the bank. The voltage across the sound unit(s) should not exceed the value given in Clause 19, nor exist for longer than the corresponding duration given in Clause 19. Unless arrangements are made for the disconnection of the bank to achieve this requirement, all the units in the bank should be rated appropriately for the more severe duty arising from the disconnection of units due to operated fuses. (See also Sub-clause 33.3, Note 3.)

3. — For units with series-connected elements, the breakdown of an element causes voltage distribution changes within the bank and within the unit to occur before fuse operation.

These voltage changes should be considered with respect to the electrical protection of the bank.

D6.2 *Protection sequence*

The various protective devices of a capacitor bank should operate in a specified order.

Normally the first stage is the operation of the unit (group) fuse. The second stage is the relay protection of the bank (for example overcurrent or unbalance protection). The third stage is the network or equipment protection.

Notes 1. — Depending on the size of the bank, the design of the relay protection, etc., all three stages are not necessarily used in all capacitor banks.

2. — In large banks, an alarm stage may also be used.

3. — Unless the fuse always operates as a result of discharge energy within the voltage range of $0.9 \cdot \sqrt{2} \cdot U_N$ to $2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_N$ the manufacturer should provide time/current characterisfics and tolerances for the fuse.

4. — In some cases, the unbalance protection is more sensitive than the fuses, implying fuse operation only for example, for flashover across the bushing or complete breakdown of the dielectric of the unit.

In such a case the unbalance protection is the first stage protection and the fuse(s) act as a back-up protection.

D7. Choice of fuses

D7.1 *General*

In selecting fuses, consideration should be given to minimizing the probability of case rupture in the event of a capacitor unit failure by making use of the best available data and guidelines. The data and the guidelines employed shall be agreed upon by the purchaser and manufacturer.

This requirement refers to power-frequency overcurrent as well as to stored energy in parallel with the failed unit.

In the selection of fuses, consideration should be given to the electrical and thermal conditions imposed on them should they be in circuit during the type tests of Clauses 13 and 17.

D7.2 *Non current-limiting fuses*

These are usually of the expulsion type, with renewable fuselinks.

They have little or no current limiting action on either working frequency current or stored energy discharge.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The total energy stored in the capacitor in parallel with the failed capacitor should be less than the fuse can discharge without exploding, and less than the energy required to burst the failed capacitor (Sub-clause D7.1).

This type of fuse may be used where the working frequency overcurrents which can be supplied to the faulty unit are sufficiently low.

D7.3 *Current-limiting fuses*

This type of fuse limits working frequency overcurrents to less than the prospective value and reduces the current to zero before the normal working frequency current zero.

A properly designed current limiting fuse will discharge only a portion of the stored energy available to the failed capacitor.

The amount let through by the fuse should be less than that required to burst a failed capacitor (see Sub-clause D7.1).

These fuses should be used when either the working frequency overcurrents or maximum stored energy in parallel with a possible failed unit is high enough to cause bursting of an expulsion fuse or a failed capacitor. Properly designed current limiting fuses impose no upper limit on the parallel stored energy available to a failed capacitor.

D8. **Information needed by the user of the fuses**

To be able to choose the right fuse for each application, it may be necessary to refer to some or all of the information given in IEC Publication 549.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RAPPORT DE LA CEI
IEC REPORT

CEI
IEC
871-2

Première éditi
First edition
1987

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

Condensateurs shunt destinés à être installés sur des réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 660 V

Deuxième partie: Essais d'endurance

Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 660 V

Part 2: Endurance testing

© CEI 1987 Droits de reproduction réservés – Copyright – all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève, Suisse

Code prix
Price code 16

CONTENTS

Page

FOREWORD 5

PREFACE 5

INTRODUCTION 7

Clause

SECTION ONE – GENERAL

1. Scope 7
2. Definitions 7

SECTION TWO – QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS

3. Classification of endurance tests 9
4. Endurance test and requirements 9

APPENDIX A – Waveform of overvoltage 15

APPENDIX B – Requirements regarding comparable element design and test unit design 17

APPENDIX C – Definition of element and capacitor container dimensions 21

APPENDIX D – Background to the requirements for endurance testing 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SHUNT CAPACITORS FOR A.C. POWER SYSTEMS HAVING A RATED VOLTAGE ABOVE 660 V

Part 2: Endurance testing

FOREWORD

1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.

2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.

3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This report has been prepared by IEC Technical Committee No. 33: Power capacitors.

The text of this report is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
33(CO)71	33(CO)80

Full information on the voting for the approval of this report can be found in the Voting Report indicated in the above table.

The following IEC publications are quoted in this report:

Publications Nos. 70 (1967): Power capacitors.
143 (1972): Series capacitors for power systems.
871-1 (1987): Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 660 V, Part 1: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHUNT CAPACITORS FOR A.C. POWER SYSTEMS HAVING A RATED VOLTAGE ABOVE 660 V

Part 2: Endurance testing

INTRODUCTION

The endurance test requirement is at present based on too little international experience and is therefore issued as an IEC report.

SECTION ONE – GENERAL

1. Scope

This report applies to capacitors according to IEC Publication 871-1 and gives the requirements for endurance testing of these capacitors.

2. Definitions

For the purpose of this report the following definitions apply, in addition to those given in IEC Publication 871-1:

2.1 *Test (capacitor) unit (for endurance test)*

The test unit may be one of the units to be manufactured or a special unit which, with respect to the properties to be checked by the endurance test, is equivalent to the units to be manufactured.

Notes 1. – The reason for using a special test unit is to match the unit with the available test power supply.

2. – For limits of test unit size and its manufacture, see Appendix B.

3. – Where the capacitor design to be tested includes discharge resistors and/or internal fuses, similar representative components should be included with the special unit.

2.2 *Comparable element design*

Comparable element design is a range of element constructions that will be comparable in performance, under the endurance test procedure, with the elements in the test unit. (See Appendix B for detailed design limits.)

2.3 *Inter-element insulation*

The insulation between two series-connected elements inside the capacitor unit.

The inter-element insulation consists of:

- the outer turns of the insulation layers around the electrodes in an element;
- the inter-element insulation may also include a separate insulation layer placed between the two elements. This separate insulation layer may protrude outside the width and (or) length dimension(s) of the flattened element (see Appendix C).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SECTION TWO – QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS

3. Classification of endurance tests

The endurance test is a type test carried out in order to ascertain that repeated overvoltage stresses do not cause a dielectric breakdown.

The endurance test shall be carried out by the manufacturer. The purchaser shall on request be supplied with a certificate detailing the results of such a test.

4. Endurance test and requirements

If the endurance test is to be performed on capacitors intended to be used at a frequency below 50 Hz, the test conditions shall be agreed upon between manufacturer and purchaser.

For capacitors which are exposed to higher overvoltages, transients, etc. (e.g. see IEC Publication 871-1, Sub-clause 9.1, Note 5, and Sub-clause 31.1), the amplitude of the applied test voltages in the endurance test (Sub-clauses 4.1, 4.2, 4.4, 4.5 and Appendix A) shall be increased in proportion.

The endurance testing of a test unit shall be carried out in the sequence given below.

The applied test voltage shall have a frequency of 50 Hz or 60 Hz except for the test according to Sub-clause 4.1 where a d.c. voltage can be used according to Sub-clause 9.2 of IEC Publication 871-1.

4.1 *Routine test*

The test unit shall be subjected to the routine voltage test between the terminals (see IEC Publication 871-1, Clause 9) with an amplitude such that the correct test voltage is obtained across each element.

4.2 *Conditioning of the units before the test*

The test unit shall be subjected to a voltage of not less than 1.1 times U_N at an ambient temperature of not less than +10 °C for 16 h to 24 h.

Note. – The conditioning is carried out to stabilize the dielectric properties of the test unit.

4.3 *Initial capacitance and loss measurements*

The test unit shall be placed for at least 12 h in the unenergized state in a chamber with forced air circulation having a temperature selected from the range +60 °C to +75 °C with a permitted variation of ±2 °C.

The unit, at the same ambient temperature, shall then be subjected to U_N. The capacitance and the losses shall be measured within 4.5 min to 5.5 min after the voltage application.

Notes 1. – The repeatability of the loss measurement should be such that a deviation of 5.10^{-5} (0.05 W/kvar) can be detected when the unit is subjected to the same test later (Sub-clause 4.6).

2. – The measuring procedures according to Sub-clauses 7.1 and 8.1 of IEC Publication 871-1 should be followed except for the temperature and measuring time requirements which are according to this sub-clause.

3. – Instead of performing the test at the same ambient temperature the test unit may be thermally insulated in order to avoid a temperature decrease in the test unit before the measurement has been completed.

4.4 *Overvoltage test*

The unit shall be placed for at least 12 h in the unenergized state in a chamber with forced air circulation having a temperature not exceeding the lower limit of the temperature category (see IEC Publication 871-1, Sub-clause 4.1).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The test unit shall then be placed in still air at an ambient temperature of +15 °C to +35 °C.

Within 5 min after being taken out of the ventilated chamber, the test unit shall be subjected to 1.1 U_N and within 5 min after the voltage application an overvoltage of 2.25 U_N shall be applied without any voltage interruption for a duration of 15 cycles after which the 1.1 times U_N voltage is maintained again without any voltage interruption. After an interval of 1.5 min to 2 min at 1.1 U_N, another equal overvoltage shall be applied and the procedure repeated.

The unit shall be subjected daily to a total of 130 to 170 overvoltage periods, each of 15 cycles duration.

The unit shall then immediately be placed in the ventilated cooled chamber again for at least 12 h in the unenergized state and the test shall continue each day until the unit has been subjected to a total of 1 700 overvoltage periods of 15 cycles' duration (25 500 overvoltage test cycles).

Notes 1. – Detailed requirements regarding the overvoltage shape and the tolerances are given in Appendix A.

2. – The test should be made on consecutive days. Interruptions of up to two days, for example during weekends, are permitted, provided that the test unit remains unenergized in the cooled chamber during the whole interruption period and that the test is continued on the third day.

3. – If the 5 min limit cannot be achieved before voltage application, the test unit shall be thermally insulated in order to avoid undue heating.

4.5 *Overload run*

Within 1 h after the end of the overvoltage test according to Sub-clause 4.4, the test unit shall be subjected to not less than 1.4 U_N for at least 500 h. The test unit shall then be placed in still air at an ambient temperature of +15 °C to +35 °C.

During the 500 h period not more than ten voltage interruptions are allowed. None of these interruptions shall exceed 8 h.

Notes 1. – It should be observed that the overload run is not in itself considered as a separate test, but instead as a means to check that the deterioration that might have developed during the overvoltage test has not caused permanent and potentially destructive damage.

2. – Forced air or liquid-bath cooling may be used if the temperature of the container exceeds 45 °C.

3. – The container temperature is determined as the average value of two measurements made on the larger sides of the unit. The measuring points are placed in the centre of the areas of these larger sides covering the elements used in the test. (See Appendix B, Clause B2.)

4.6 *Final capacitance and loss measurements*

The measurements according to Sub-clause 4.3 shall be repeated within two days of completing the overload run in Sub-clause 4.5 at the same temperature, voltage and frequency.

4.7 *Acceptance criteria*

The acceptance criteria are that no breakdown shall occur when two units have been tested or alternatively one breakdown is accepted when three units have been tested.

The capacitance measurements performed in Sub-clauses 4.3 and 4.6 shall differ less than an amount corresponding to either breakdown of an element or operation of an internal fuse.

Note. – The losses measured in the test according to Sub-clauses 4.3 and 4.6 should be reported in order to be able to check the consistency of capacitor production over longer periods.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 *Validity of test*

The endurance test is a test on the elements (their dielectric design and composition), and on the manufacturing process of these elements when assembled into a capacitor unit.

4.8.1 *Unit design variations*

Each endurance test will also cover other capacitor designs, which are allowed to differ from the tested design within the following limits:

- Element design according to Appendix B.
- Any combination of series/parallel connection of elements with a proportionally thinner, but otherwise comparable dielectric (see Appendix B, Clause B1) to be used at a lower rated voltage, provided that the rated electric stress is not higher than the stress corresponding to U_N for the test. When a mixed dielectric is used, the stress value to be used in this comparison is the one across each of the solid materials and calculated for the rated thicknesses of the solid materials only.
- Any combination of series/parallel connections of comparable elements, which are within the limits of Appendix B.
- Identical system of assembling the elements.
- Identical or thicker inter-element insulation (see Sub-clause 2.3).
- Identical manufacturing process within tolerances.
- Units having a thinner, but otherwise similarly designed, insulation to container, for use in a unit having a lower insulation class.
- Another of the manufacturer's standard container sizes within the following dimensional limits compared with the unit under test:
  - depth of container: 50% to 120%;
  - height of container: 25% to 105%;
  - width of container: 50% to 200%.

Neither the space between container and the insulated element package nor the insulation to container shall be increased.

Note. – Details of container dimensions are given in Appendix C.

4.8.2 *Service condition variations*

Each endurance test will also cover other service conditions according to the following items provided that the requirements of Sub-clause 4.8.1 are also satisfied:

- Units having a lowest category temperature higher than that of the test sample.
- Units having identical elements to be used at a lower rated voltage.
- An endurance test performed at 50 Hz is also available for 60 Hz units and vice versa. Note, however, that if using the lower of the two allowed a.c. test voltages (Sub-clause 4.1) some restrictions may apply.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX A

WAVEFORM OF OVERVOLTAGE

The test voltage shall have a frequency of 50 Hz or 60 Hz.

The overvoltage shall be applied without any interruption of the steady voltage of 1.05 U_N to 1.15 U_N.

The amplitude limits for the constant voltage and overvoltage are given in Figure 1.

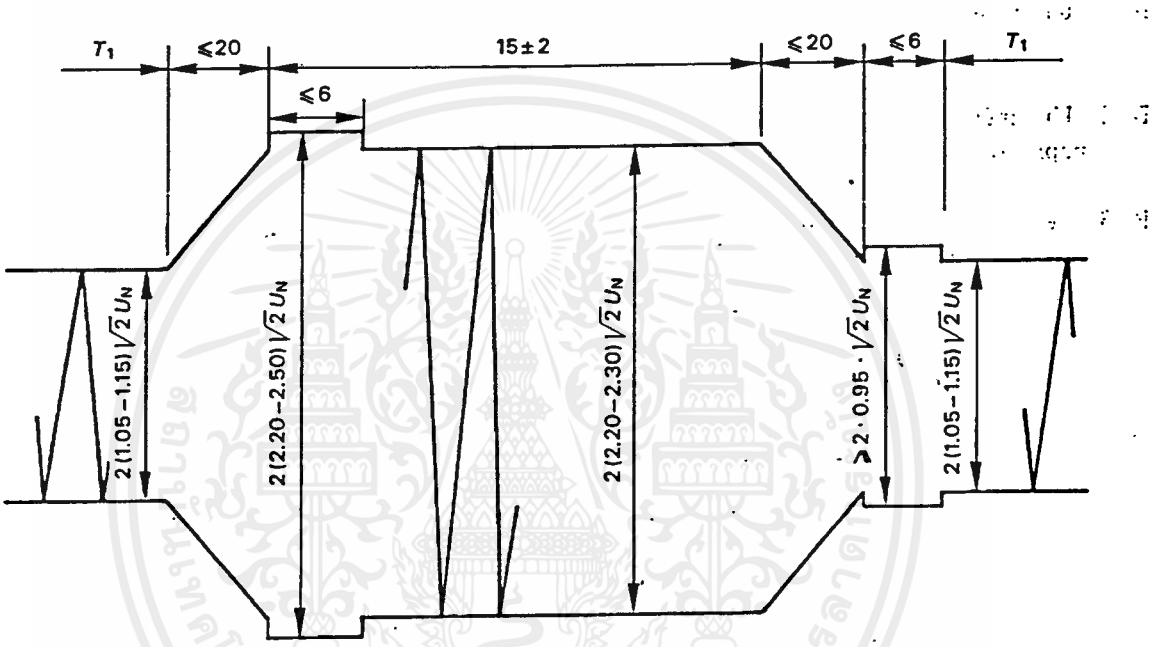


FIG. 1. – Time and amplitude limits for an overvoltage period.

Times, other than T_1, are expressed in numbers of cycles of the test frequency.

T_1 is the interval of 1.5 min to 2 min between two consecutive overvoltage periods.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX B

REQUIREMENTS REGARDING COMPARABLE ELEMENT DESIGN AND TEST UNIT DESIGN

B1. Comparable element design criteria

Element designs are considered to be comparable with respect to the endurance test conditions and criteria if the following requirements are fulfilled:

B1.1 They have the same number of layers of solid materials in the dielectric impregnated with the same liquid.

B1.2 The dielectric composition of the solid materials shall be the same, for example all-film or all-paper or film-paper-film, etc.

B1.3 Solid and liquid dielectric materials shall satisfy the same manufacturer's specifications.

B1.4 The aluminum-foil design shall be the same:

- same manufacturer's specification;
- thickness within ±20%;
- exposed or non-exposed foil edges;
- if folding of the foil at the edges and (or) cut ends is a feature of the design, this shall be the same as for the tested elements;
- 100% to 150% free margin compared with the tested elements.

B1.5 Element connections shall be of the same type, for example tabs,soldering, etc.

B1.6 The element width (active foil width) is allowed to be smaller or equal to 100% and the element length (active foil length) is allowed to vary within 50% to 300% compared with the elements under test. (See Appendix C for clarification.)

B2. Test unit design

When performing the endurance test, a test unit is considered to be comparable to the units to be manufactured if the following requirements are satisfied for the test unit:

B2.1 The elements are within the limits given in Clause B1.

B2.2 Elements shall be similarly assembled, have equal or thinner inter-element insulation, be equally pressed within the manufacturing tolerance, etc., compared with the production unit.

The elements shall be assembled according to the manufacturer's standard procedure. For dimensional limits of units, see Sub-clause 4.8.1.

B2.3 At least four of these elements shall be connected to give not less than 30 kvar output at rated voltage. All connected elements shall be placed adjacent to each other.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The connected elements may be series and parallel-connected in any way to match the test equipment.

At least three inter-element insulations shall be assembled, in such a way that in the test they are exposed to the voltage difference occurring between two series-connected elements.

B2.4 The connections outside the elements may be enlarged in order to handle the increased currents due, for example, to a number of elements in parallel.

B2.5 The insulation to the container shall be identical with or thicker than that of the units to be produced.

Note. – This requirement is intended to ensure that the drying and impregnation conditions are equal to those of the units to be produced. The electrical withstand requirements of the insulation to container are taken care of by the tests according to Clauses 10, 15 and 16 of IEC Publication 871-1.

B2.6 A container to the manufacturer's design shall be used. See also Sub-clause 4.8.1 for dimensional allowances.

The container material shall be identical with that of the units but painting may be different.

Bushing design and number of bushings may be adjusted in order to match the test voltage and/or test currents.

B2.7 The drying and impregnation process shall be identical with the normal production process. The position and attitude of the test unit shall be the same as for the units to be produced (e.g. horizontal or vertical elements).

B2.8 The test unit shall in all other respects follow the same manufacturing procedure as the units to be produced.

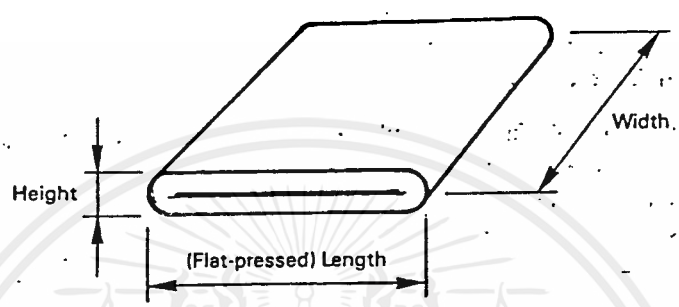
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX C

DEFINITION OF ELEMENT AND CAPACITOR CONTAINER DIMENSIONS

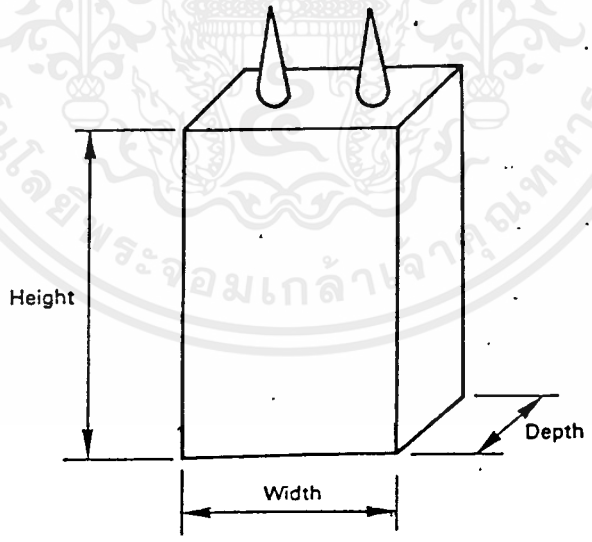
C1. Flattened pressed element

The element has been pressed flat in the height direction.



Element or (active) foil length is obtained on unwinding the element in the length direction.

C2. Capacitor container



Height is always determined from the side on which the bushings are fitted, to the opposite side.

Normally the length direction of the flattened element corresponds to the container depth direction. Depending on the design, the element width direction may correspond either to container height direction or to container width direction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX D

BACKGROUND TO THE REQUIREMENTS FOR ENDURANCE TESTING

D1. Introduction

Since the mid 1970s there has been increasing interest in endurance testing of capacitors.

The goal for such an endurance test has been the creation of a tool for the testing of specific capacitor designs and the manufacturing process of such capacitors in order to be able to establish that the capacitor will withstand the service conditions with a high reliability.

It is clear that in order to obtain results from such a test within a reasonable time, the capacitor has to be highly stressed. It is then very important that the applied test stresses (voltage, temperature, etc.) are not allowed to cause any unrealistic phenomena in the capacitor, for example, thermal deterioration of the dielectric due to a hot-spot temperature which is far higher than the worst one ever to appear in service.

The most difficult task when devising an endurance test is to correlate the outcome of the test with service experience, which requires many years. During the last ten years the capacitor industry has been (and still is) in a period of rapid development during which there have been changes in both solid materials and impregnants. The otherwise obvious method of performing different endurance tests on old capacitor designs with well-known service records has therefore not been possible.

Experimental work with endurance testing has been carried out by some organizations during recent years and this work has been published. This has resulted in descriptions of tests which differ considerably from each other. Even if most of the published papers claim that designs having passed the proposed test will have better service records, this judgement is based on a rather short service time experience and in no paper so far have there been any reports regarding the service experience of unit designs which came very close to passing the proposed endurance test.

D2. Choice of test parameters

The basis for such a choice should be the overstresses (voltage, temperature) which the capacitor will be exposed to in service. The overstresses which have been considered to have the highest influence on the capacitor dielectric are the switching overvoltages (IEC Publication 871-1, Sub-clause 19.2) in combination with a very low dielectric temperature.

D2.1 *Overvoltage level: 2.25 U_N*

To give a margin above the value according to Clause 19 of IEC Publication 871-1.

D2.2 *Constant voltage level: 1.1 U_N*

To include the required 12 h overvoltage according to Sub-clause 19.1 of IEC Publication 871-1 but without causing too high a temperature increase in the test unit during each testing day.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D2.3 *Overvoltage period: 15 cycles*

To increase the possible partial discharge damage caused by each overvoltage half-cycle, but without causing a partial discharge avalanche during the overvoltage period.

To avoid excessive voltage swings when changing the voltage levels and not to receive proportionally too many voltage crests close to 2.25 U_N at the increase and/or the decrease of the voltage.

To make possible a practical power supply.

D2.4 *Overvoltage periods per day: 130 to 170*
Intervals between these periods: 1.5 min to 2 min

To give the dielectric time to absorb the gas which may have been generated by partial discharges during an overvoltage period.

To expose the test units to their lowest rated temperature on at least 10 occasions.

To enable two different units to be tested in succession in the same power supply during a working day.

D2.5 *Total number of overvoltage periods: 1 700*

To subject the test unit to more than 25 000 overvoltage cycles which give a margin over the expected 1 000 unidirectional switching operations annually (IEC Publication 871-1, Sub-clause 19.2) during the service of the capacitor.

D2.6 *Overload run voltage: 1.4 U_N*
Container temperature limit: 45 °C

To amplify the partial discharge damage which may have been created in the overload test without causing dielectric destruction due to excessive temperature.

D3. **Choice of acceptance parameters**

The object for such a choice has been to find as simple and unambiguous criteria as possible.

As the complete sequence of tests gives very high stresses on the test unit it has been considered sufficient to require only that the test units shall pass the test successfully. This means that no breakdown shall have taken place.

Partial discharge and/or tan δ tests could perhaps only add information regarding the behaviour of the test unit during the test.

Furthermore, the reliability and repeatability of partial discharge are not so great that ambiguity could be avoided.

The fact that different dielectric systems will give both different tan δ levels as well as different tan δ variations during the endurance test makes it difficult to propose standardized limits.

However, the tan δ measurements should be reported in order to provide a check on uniformity of production of the manufacturer.

D4. **Selection of test unit**

It is obvious that an endurance test will require a long time to perform. This proposal requires 30 to 40 days, depending on how the weekends are used. In some papers even much longer testing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

times have been mentioned. The required long testing time will be in conflict with the delivery times for capacitors.

In order to reduce the number of tests to be made it is therefore important to formulate the test requirements in such a way that the outcome of one test will be valid for a design-range.

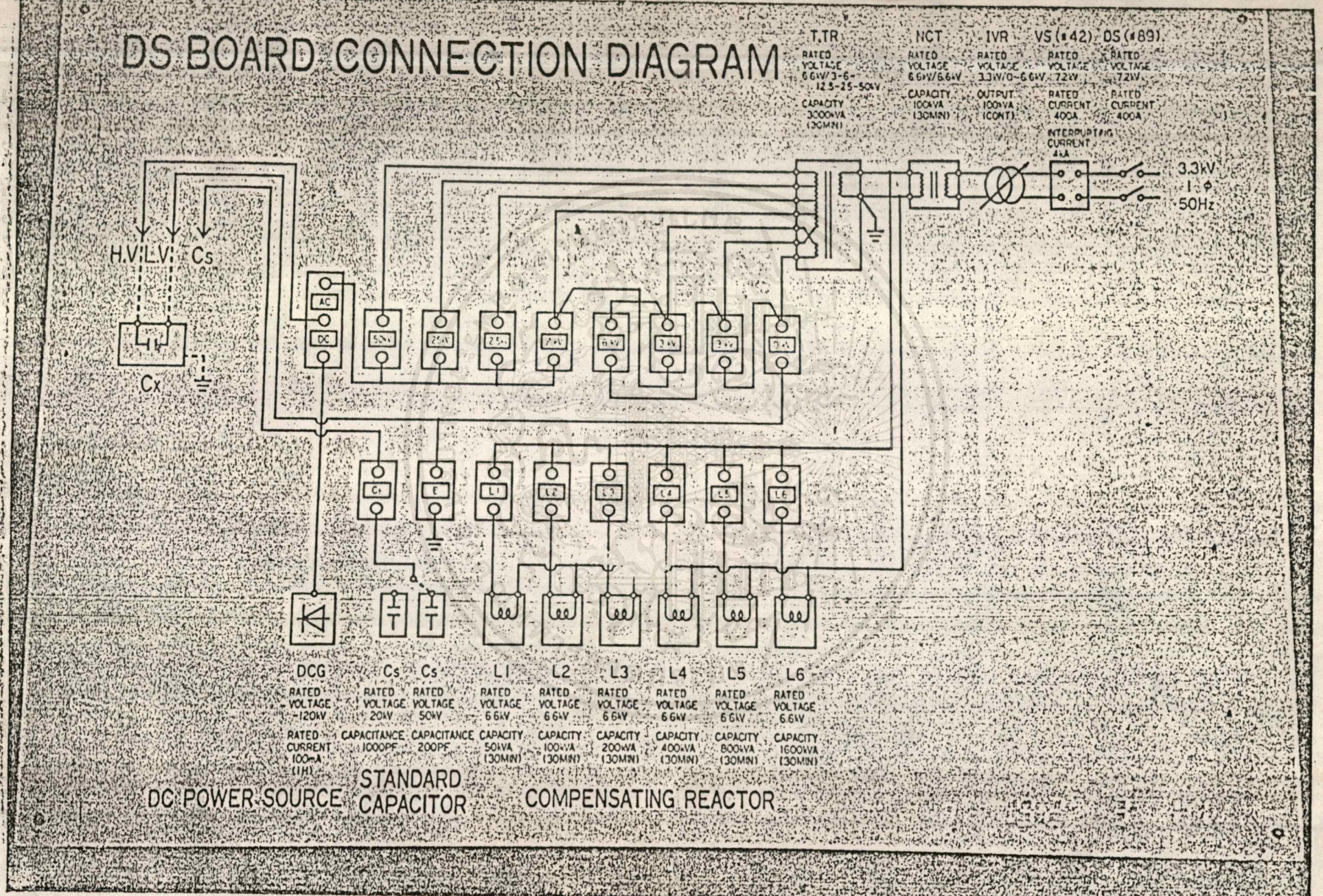
This is in line with the normal requirements for type tests where it is permitted to perform a type test on a similar unit provided that the parameter to be tested will not be influenced by the use of a similar unit for the particular type test.

There should therefore not be conflict with any requirements if the endurance testing is performed on model units, provided that the model units are truly representative of the service unit. It should be noted that when making partial discharge tests according to IEC Publication 70 or IEC Publication 143 the use of model units is already allowed.

The power supply equipment for endurance testing would be very complicated and expensive if designed to cover a complete range of standard capacitor units (50 kvar to 300 kvar at U_N) within a complete rated voltage range 1 000 V to 20 000 V). Furthermore the power supply can in most cases only accommodate one test sample at a time.

The endurance test is a test on the elements (their dielectric design and composition), and on the assembling of these elements into a capacitor unit. As a model unit manufactured within the limits of Appendix B is truly representative, the use of model units has been allowed and is considered to be both practical and economical when performing the endurance test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


DS BOARD CONNECTION DIAGRAM
T.TR
RATED VOLTAGE 6.6kV/3-6-12.5-25-50kV
CAPACITY 3000kVA (30MIN)
NCT
RATED VOLTAGE 6.6kV/6.6kV
CAPACITY 100kVA (30MIN)
IVR
RATED VOLTAGE 3.3kV/0-6.6kV
OUTPUT 100kVA (CONT)
VS (#42)
RATED VOLTAGE 72kV
RATED CURRENT 400A
INTERRUPTING CURRENT 4kA
OS (#89)
RATED VOLTAGE 72kV
RATED CURRENT 400A
3.3kV
1 φ
50Hz
H.V
L.V
Cs
Cx
AC
DC
DCG
RATED VOLTAGE 120kV
RATED CURRENT 100mA (1H)
Cs
RATED VOLTAGE 20kV
CAPACITANCE 1000PF
Cs
RATED VOLTAGE 50kV
CAPACITANCE 200PF
L1
RATED VOLTAGE 6.6kV
CAPACITY 50kVA (30MIN)
L2
RATED VOLTAGE 6.6kV
CAPACITY 100kVA (30MIN)
L3
RATED VOLTAGE 6.6kV
CAPACITY 200kVA (30MIN)
L4
RATED VOLTAGE 6.6kV
CAPACITY 400kVA (30MIN)
L5
RATED VOLTAGE 6.6kV
CAPACITY 800kVA (30MIN)
L6
RATED VOLTAGE 6.6kV
CAPACITY 1600kVA (30MIN)
DC POWER SOURCE
STANDARD CAPACITOR
COMPENSATING REACTOR

โครงการ : UNITED CENTER

บริษัท ปีเตอร์สัน 1990 จำกัด (อลูมิเนียม และกระจก)

เบิกเงินงวดที่ 1 ลงวันที่ 21/1/36

UNI-A1

ลำดับ	รายการ	จำนวน	อลูมิเนียมชุดละ	อลูมิเนียมรวม	กระจกชุดละ	กระจกรวม	รวมต่อชุด	รวมทั้งสิ้น	ปริมาณงานที่เบิกแล้ว (%) ของ1	อลูมิเนียมเป็นเงิน	(%) ของ1	กระจกเป็นเงิน	ปริมาณงานที่ยอเบิกงวด (%) ของ1	อลูมิเนียมเป็นเงิน	(%) ของ1	กระจกเป็นเงิน	รวมเป็นเงิน
31	W-17	1	9,032	9,032	15,055	15,055								0.00			
32	W-5	2	7,552	15,104	8,812	17,624								0.00			
33	W-51	1	32,588	32,588	44,065	44,065								0.00			
34	W-52	4	448,598	1,794,392	393,782	1,575,128								0.00			
35	W-53	1	44,572	44,572	68,410	68,410								0.00			
36	W-53	1	40,337	40,337	61,653	61,653								0.00			
37	W-54	1	139,372	139,372	82,767	82,767								0.00			
38	W-55	1	70,943	70,943	35,471	35,471								0.00			
39	W-56	1	49,796	49,796	61,690	61,690								0.00			
40	W-57	1	4,057	4,057	8,812	8,812								0.00			
41	W-58	1	37,131	37,131	46,267	46,267								0.00			
42	W-59	1	8,945	8,945	10,281	10,281								0.00			
43	W-60	2	8,438	16,876	8,812	17,624								0.00			
44	W-61	1	5,931	5,931	8,812	8,812								0.00			
45	W-62	1	12,179	12,179	25,704	25,704								0.00			
46	W-63	1	8,327	8,327	17,625	17,625								0.00			
47	W-64	1	16,418	16,418	62,653	62,653								0.00			
48	W-65	1	12,815	12,815	50,123	50,123								0.00			
49	W-66	2	11,640	23,280	13,219	26,438								0.00			
50	W-67	10	20,930	209,300	0	0								0.00			
51	W-68	8	19,901	159,208	0	0								0.00			
52	W-69	15	3,111	46,665	0	0								0.00			
53	W-70	3	2,586	7,758	0	0								0.00			
	1.2 งานประตู และแผงกระจกติดตายบริเวณ ชั้น GROUND และชั้น2 (SHOP, OFFICE AREA)													0.00			
54	DA-2	1	229,592	229,592	30,281	30,281								0.00			
55	DA-3	1	706,937	706,937	156,172	156,172								0.00			
56	DA-6	1	29,046	29,046	10,832	10,832								0.00			
57	DA-8	1	28,355	28,355	8,812	8,812								0.00			
58	W-1	1	9,135	9,135	18,175	18,175								0.00			
59	W-2 (ARCHIECT A-57)	1	16,865	16,865	38,372	38,372								0.00			
60	W-3	1	4,343	4,343	12,117	12,117								0.00			
														0.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้