EPCOS

คาปาซิเตอร์ &ฮาร์โมนิกส์

ตอนที่ 4 ตู้คาปาซิเตอร์แบงค์

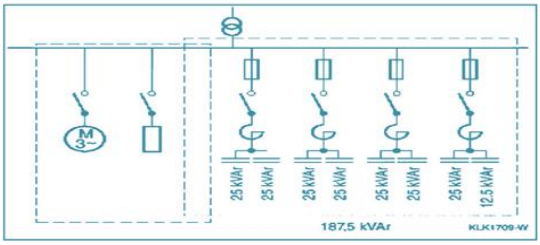
ตู้คาปาซิเตอร์แบงค์ การตัดต่อวงจรคาปาซิเตอร์ ผ่านคอนแทกเตอร์ ขนานกับคาปาซิเตอร์ตัวอื่นๆ ในตู้คาปาซิเตอร์แบงค์ เป็นสาเหตุให้กระแสไฟฟ้าพุ่งผ่านคาปาซิเตอร์ และคอนแทกเตอร์สูงมาก จากรูป(ตอนที่ 3 หัวข้อ 3.3) จะเห็นได้ว่าเมื่อคอนแทกเตอร์ สเต็ปที่ 5 ในตู้คาปาซิเตอร์แบงค์ทำงาน จะเกิดกระแสพุ่งสูงถึง 3300 A หรือ 157 เท่า ของพิกัดกระแสของคาปาซิเตอร์ (21A)

กระแสพุ่งเข้าคาปาซิเตอร์ ขณะที่คอนแทกเตอร์ทำงานในตู้คาปาซิเตอร์แบงค์ เกิดขึ้นกับปัจจัยดังนี้ :

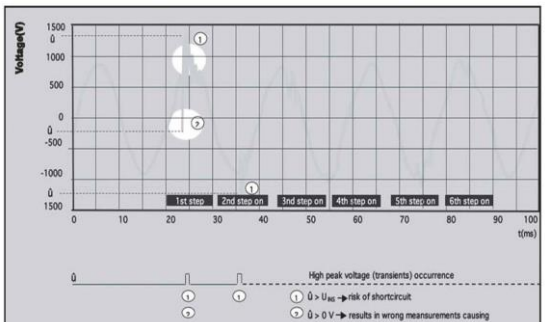
- แรงดันไฟฟ้าที่ยังเหลืออยู่ในตัวคาปาซิเตอร์ (ตัวต้านทานไฟฟ้าที่ขั้วคาปาซิเตอร์ใช้เวลาคายประจุไฟฟ้าให้คาปาซิเตอร์ 3 นาที
- กำลังไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit power) ของหม้อแปลงไฟฟ้า
- ค่ากิโลวาร์ (kVAr) ของคาปาซิเตอร์ที่สับเข้า และที่ทำงานอยู่แล้ว
- ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า
- ค่าความต้านทานของคาปาซิเตอร์ และสายไฟฟ้า

$$x_c = \frac{1}{2 * \pi * f * c}$$

Eq 1:
Switching operation: $f \to \infty \to x_c \to 0 \to I \to 200 \cdot I_r$



กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้ากระชากสูงเกิน 1,000 โวลต์ เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์หน่วง



อันตรายของกระแสพุ่งเข้าสูง

การใช้คอนแทกเตอร์ตัดต่อวงจรคาปาซิเตอร์ โดยไม่ใช้อุปกรณ์หน่วงกระแส ทำให้เกิดกระแสพุ่งเข้าคาปาซิเตอร์สูงมาก เหมือนกับการลัดวงจร เพื่อป้องกันผลเสียที่ตามมาและเพิ่มอายุใช้งานของคาปาซิเตอร์ การใช้คอนแทกเตอร์ชนิดมีอุปกรณ์หน่วงกระแสเป็นเรื่องที่จำเป็น

ผลเสียที่เกิดจากกระแสพุ่งเข้าสูงมีดังนี้ :

- อายุใช้งานของคาปาซิเตอร์ลดลง จาก 12 ปี เหลือ 2-5 ปี
- หน้าทองขาวของคอนแทกเตอร์หลอมละลายติดกัน และสึกหรอเร็ว
- คุณภาพไฟฟ้าลดลง เช่น ไฟกระพริบ และแรงดันไฟฟ้าแกว่ง (Voltage Transient)
- แรงดันไฟฟ้าเกินพิกัด ทำให้เกิดปัญหากับฉนวนไฟฟ้า, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชำรุด และการผลิตหยุดชะงักเสียหาย
- แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัด ทำให้เกิดปัญหาการวัด, การควบคุมระบบ CNC และคอมพิวเตอร์ชำรุดเสียหาย

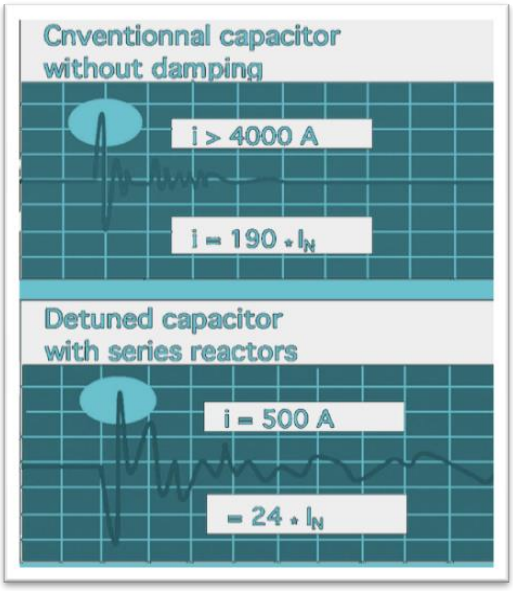
วิธีลดกระแสพุ่งเข้าคาปาซิเตอร์สามารถทำได้ 3 วิธีดังนี้

1. สายไฟขดเป็นวง

การใช้สายไฟขนาด 35 ตร.มม. ที่ต่อเข้าคาปาซิเตอร์ขนาด 50 kVAr หรือ 16 ตร.มม. ที่ต่อเข้าคาปาซิเตอร์ ขนาด 25 kVAr ขดเป็นวงกลม 7 รอบ เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สามารถช่วยลดกระแสพุ่งได้มากขึ้นแต่มีข้อเสีย คือ สายไฟฟ้าที่ยาวมากขึ้นจะมีความสูญเสียในสายมากขึ้น และความร้อนรอบๆคาปาซิเตอร์ มีค่าสูงมากขึ้น

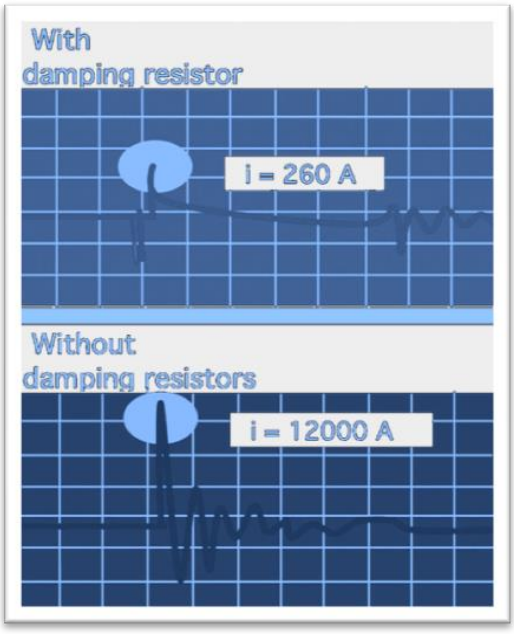
2. รีแอกเตอร์ (Series anti-harmonic reactors)

ระบบ Detuned capacitor bank ใช้รีแอคเตอร์ต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ช่วยลดกระแสพุ่งเข้าได้ดีมาก (ตามรูปด้านล่าง) จาก 4,000 A ลดลงเหลือ 500 A นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติ ช่วยลดฮาร์โมนิคส์ในระบบ และป้องกันปัญหารีโซแนซ์ เนื่องจากมีฮาร์โมนิคส์ ในระบบไฟฟ้าสูง



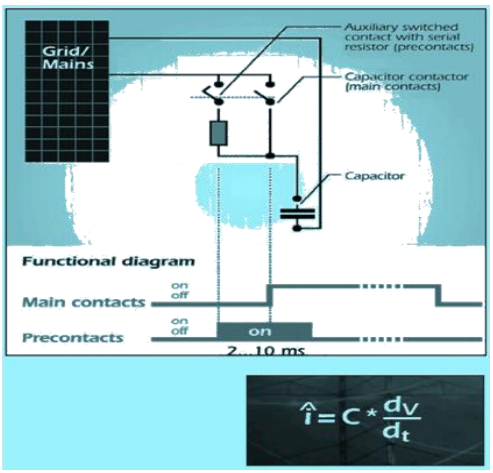
3. คอนแทกเตอร์

ชนิดมีลวดต้านทานหน่วงกระแสคอนแทกเตอร์ ชนิดที่ใช้สำหรับคาปาซิเตอร์โดยเฉพาะจะมีลวดความต้านทานช่วยหน่วงกระแส (ตามรูปขวามือบน) จาก1200 A ลดลงเหลือ 260 A



หลักการทำงาน ลวดต้านทานที่ต่ออนุกรมกับคอนแทกช่วย (Aux.Contact) จะทำงานก่อนคอนแทกหลัก (Main Contact) เป็นเวลา 2-10 ms

- ลดความแตกต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ตัวคาปาซิเตอร์และระบบไฟฟ้าก่อนที่ Main contact ทำงาน
- กระแสไฟฟ้าพุ่งลดลงตามสูตรด้านล่าง
- ลวดต้านทานจะทำงานชั่วคราวและไม่เกิดความสูญเสียขณะใช้งาน



อุปกรณ์ควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์ ถูกนำมาใช้งานในตู้คาปาซิเตอร์ โดยทำหน้าที่วัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในระบบและตัดต่อคาปาซิเตอร์ เพื่อให้ได้เป้าหมายเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ต้องการ

คุณสมบัติเพิ่มเติมของอุปกรณ์ควบคุม

- แสดงค่าทางไฟฟ้า

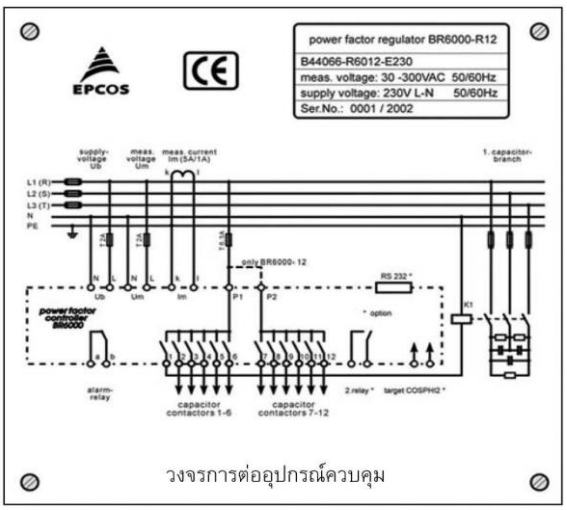
กำลังไฟฟ้า VA, W, Var
V, I, F, อุณหภูมิ
THDv, THDi, ฮาร์โมนิกส์ 3 rd - 19 th
กระแสไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์แต่ละสเต็ป
ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในระบบและเป้าหมาย

- การเตือนภัย

คาปาซิเตอร์ไม่เพียงพอ
คาปาซิเตอร์มากเกินไป
กระแสเกิน, กระแสขาด
อุณหภูมิสูงเกิน
ฮาร์โมนิกส์สูงเกิน

- การบันทึกข้อมูลในหน่วยความจำ

จำนวนครั้งที่คอนแทกเตอร์แต่ละสเต็ปทำงาน
จำนวนชั่วโมงที่คาปาซิเตอร์ทั้งหมดทำงาน
ค่าสูงสุดของ V, kVAr, ฮาร์โมนิกส์, kW, kVA, อุณหภูมิ



วงจรการต่ออุปกรณ์ควบคุม

ก่อนใช้งานเครื่องควบคุมฯ ต้องตั้งค่าให้เหมาะกับระบบดังนี้ : I Converter Primary & Secondary

ตั้งค่า CT Ratio ให้ตรงกับ CT ที่ใช้งาน

ยกตัวอย่างหม้อแปลงขนาด 2000 kVA, 22/0.4 kV ใช้ CT ขนาด 3000/5 A ที่ตู้เมนเบรกเกอร์ ให้ตั้งค่า I Converter Primary = 3000 ให้ตั้งค่า I Converter Secondary = 5

Discharge Time

โดยทั่วไปคาปาซิเตอร์ใช้เวลาในการคลายประจุไฟฟ้า 60 วินาทีสำหรับตัวคลายประจุชนิดรีซิสเตอร์ และ 10 วินาทีสำหรับตัวคลายประจุชนิดรีแอกเตอร์ ให้ตั้งค่า Discharge Time = 60 วินาที หลังจากอุปกรณ์ควบคุมฯ ตัดคาปาซิเตอร์สเต็ปใดสเต็ปหนึ่งออก สเต็ปนี้จะต่อเข้าระบบได้ต่อเมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที ถ้าคาปาซิเตอร์ยังคลายประจุไม่หมด และต่อคาปาซิเตอร์เข้าในระบบ จะเกิดกระแสไฟฟ้ากระชาก ทำให้ฟิวส์ขาด และอายุใช้งานลดลง ตามมาตรฐาน IEC 60831 แรงดันไฟฟ้าตกค้างที่คาปาซิเตอร์ต้องน้อยกว่า 10 % ของแรงดันไฟฟ้าระบบ (< 40 V) ก่อนต่อเข้าระบบ

End Stop

ตั้งค่าจำนวนสเต็ปที่ต่อคาปาซิเตอร์ในระบบ
ตัวอย่างคาปาซิเตอร์ 10 x 50 kVAr ให้ตั้ง End Stop =10

Target cos Phi

โดยทั่วไปผู้ผลิตจะตั้งค่าเป้าหมายไว้ที่ 0.98 IND

Power 1. Stage

ยกตัวอย่างคาปาซิเตอร์ Step ที่ 1 = 50 kVAr
ให้ตั้งค่า Power 1. stage = 50

คอนแทกเตอร์สำหรับคาปาซิเตอร์ ชนิดมีลวดต้านทานหน่วงกระแส

- มาตรฐาน IEC 947-4-1
- มีลวดต้านทาน ใช้หน่วงกระแส
- ลดกระแสพุ่งเข้าคาปาซิเตอร์มากกว่า 70%
- ป้องกันแรงดันไฟฟ้าตก และไฟกะพริบ
- ป้องกันหน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์หลอมละลาย
- เพิ่มอายุใช้งานให้คาปาซิเตอร์

IEC 947-4-1 Utilization Categories

ตามมาตรฐาน IEC คอนแทกเตอร์สำหรับตัดต่อคาปาซิเตอร์ ต้องใช้ชนิด AC-6b คอนแทกเตอร์ชนิด AC-3 ใช้สำหรับมอเตอร์ ไม่สามารถนำมาใช้กับคาปาซิเตอร์ เนื่องจากคอนแทกเตอร์ ชนิดนี้ทนกระแสพุ่งเข้าได้เพียง 10 เท่า ของพิกัดกระแส (10xIn)

Kind of current	Utilization categories	Typical applications
A.C.	AC-3	Squirrel-motors: starting, switchhing off motors during running
	AC-4	Squirrel-motors: starting, plugging, inching
	AC-5a	Switching of electric discharge lamps controls
	AC-5b	Switching of incandescent lamps
	AC-6a	Switching of transformers
	AC-6b	Switching of capacitor banks

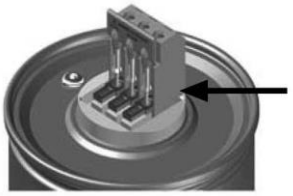
การเลือกขนาดคอนแทกเตอร์ชนิด AC-6b

ขนาดคอนแทกเตอร์สำหรับเปิด-ปิด คาปาซิเตอร์ ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าของระบบคอนแทกเตอร์ ตามตารางข้างล่างนี้ :

รุ่นคอนแทก-เตอร์	กำลังไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ ที่ระบบแรงดันไฟฟ้า			
	230 V kVAr	400 V kVAr	525 V kVAr	690 V kVAr
S3210	14	25	32	41
S6210	28	50	64	82
S7410	33	75	80	120
S9910	55	100	130	170

3.4 การใช้ตัวคลายประจุไฟฟ้า, รีแอกเตอร์

โดยทั่วไปคาปาซิเตอร์จะมีตัวคลายประจุไฟฟ้าชนิดลวดต้านทานติดอยู่ เพื่อคลายประจุไฟฟ้าคาปาซิเตอร์ภายในเวลา 1นาที



ตัวคลายประจุชนิดลวดต้านทาน (Resistors)

ข้อเสียของตัวต้านทาน :

1. ใช้เวลาคลายประจุไฟฟ้านาน 1นาที
2. มีความสูญเสียสูง > 12 วัตต์
3. มีความร้อนสูงถึง 70 - 80 o C

ตัวคลายประจุไฟฟ้าชนิดรีแอกเตอร์ ใช้แทนที่ตัวคลายประจุไฟฟ้าชนิดลวดต้านทาน

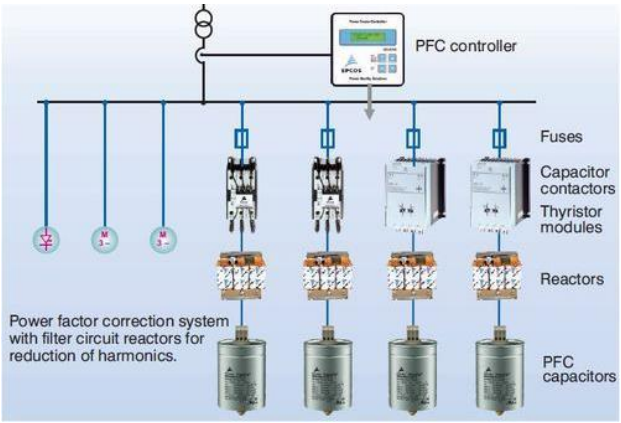
ข้อดีของตัวรีแอกเตอร์ :

1. ใช้เวลาคลายประจุไฟฟ้าเร็ว 10 นาที
2. มีความสูญเสียต่ำมาก < 1.8 วัตต์
3. ความร้อนน้อยมาก 25 - 35 o C

Discharge reactor ถูกออกแบบมาเพื่อใช้คลายประจุไฟฟ้าให้คาปาซิเตอร์หลังจากตัดคาปาซิเตอร์ออกจากระบบ (Disconnection) การคลายประจุไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อความปลอดภัยของช่างจากไฟฟ้าดูด และเพื่อ ให้สามารถต่อคาปาซิเตอร์เข้าระบบอีกครั้งหลังจากการคลายประจุไฟฟ้าความสูญเสียของตัวคลายประจุรีแอกเตอร์น้อยมาก ทำให้ความร้อนภายในตู้คาปาซิเตอร์ลดลง ช่วยเพิ่มอายุใช้งานให้คาปาซิเตอร์

3.5 การใช้ Thyristor Module

ในกรณีที่โหลดเปลี่ยนแปลงเร็วมาก เช่น เครื่องเชื่อม, ลิฟท์, เครน, เครื่องม้วน เป็นต้นถ้ามีโหลดแบบผสมคือมีทั้งเปลี่ยนแปลงเร็ว และ เปลี่ยนแปลงช้าให้ใช้คอนแทกเตอร์และ Thyristor ผสมกันได้ตามตัวอย่างการต่อใช้งานด้านบน



3.6 การใช้ตัวควบคุมค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF Controller)

คุณสมบัติ :

1. ปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์อัตโนมัติ
2. วิเคราะห์ค่าฮาโมนิกส์
3. วัดค่าไฟฟ้า V,I,W,Var,F
4. ป้องกันค่าปาซิเตอร์