

APLICACION Y PROTECCION DE BANCOS DE CAPACITORES



La mayoría de las cargas, y algunos de los elementos que forman los sistemas de potencia (como los transformadores) son inductivos por naturaleza y operan, por lo tanto, con factor de potencia atrasado.



Cuando se opera con factor de potencia atrasado, el sistema de potencia requiere de un flujo adicional de potencia reactiva (vars), lo cual resulta en una reducción de la capacidad del sistema para proporcionar carga real, incrementa sus pérdidas, y reduce su voltaje.



Los bancos de capacitores de potencia son agrupamientos de unidades montadas sobre bastidores metálicos, que se instalan en un punto de la red eléctrica (en subestaciones, a lo largo de alimentadores de distribución, o en los sitios de utilización) con el objeto de suministrar potencia reactiva y regular la tensión del sistema.





El diseño de los bancos de capacitores debe atender a los siguientes criterios:

- 1) Lograr la potencia reactiva deseada en un punto del sistema, dividiendo este valor en una determinada cantidad de capacitores monofásicos de una potencia unitaria normalizada.



- 2) Conectar las unidades en un arreglo definido, generalmente en estrella o doble estrella con neutro flotante. De este modo normalmente los capacitores tienen una tensión nominal igual a la tensión de fase del sistema.
- 3) Efectuar las conexiones de modo tal que permita el uso de un esquema de protección seguro, sencillo y económico



- 4) El banco se debe instalar en un sitio que satisfaga las condiciones de seguridad, comodidad, facilidad de operación, control, mantenimiento, y que esté protegido contra intervenciones no autorizadas o vandalismo.



5) Además de las unidades capacitivas (con o sin fusibles internos), los bancos pueden incluir elementos de protección, de maniobra, y de control, tales como fusibles, dispositivos de seccionamiento en vacío o en aceite, sistemas de protección por desequilibrio, controladores automáticos, reactancias de inserción, etc.



CONEXION DE LOS BANCOS DE CAPACITORES



La conexión seleccionada depende:

- ✓ del voltaje nominal de los capacitores
- ✓ del tipo de fusibles que se aplica
- ✓ del esquema de protección del banco.

En general, todos los bancos de subestación se conectan en estrella.

Los bancos de distribución se pueden conectar en estrella o en delta.



Los tipos de conexión mas comunes son:

1.- Delta

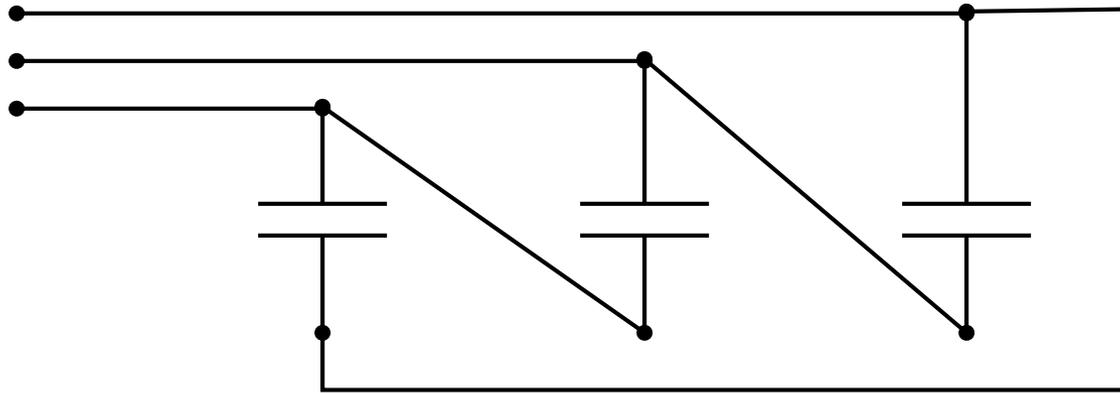
2.- Estrella con Neutro a Tierra

4.- Estrella con Neutro Flotante

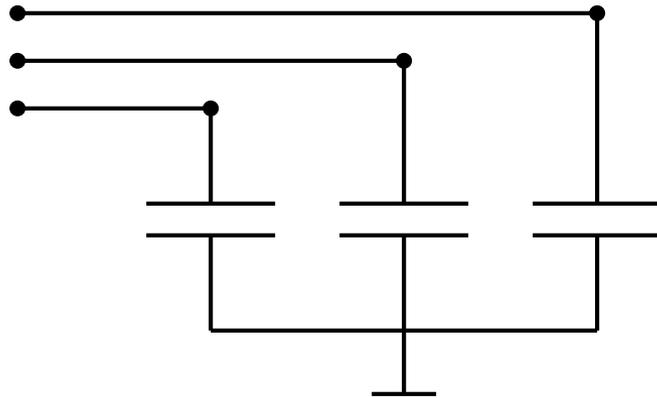
3.- Doble Estrella con Neutro a Tierra

5.- Doble Estrella con Neutro Flotante

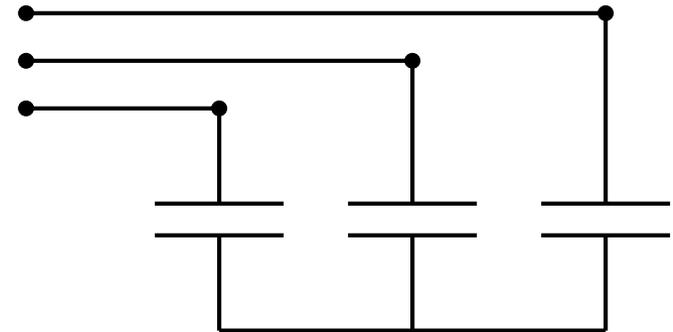




CONEXION "DELTA"

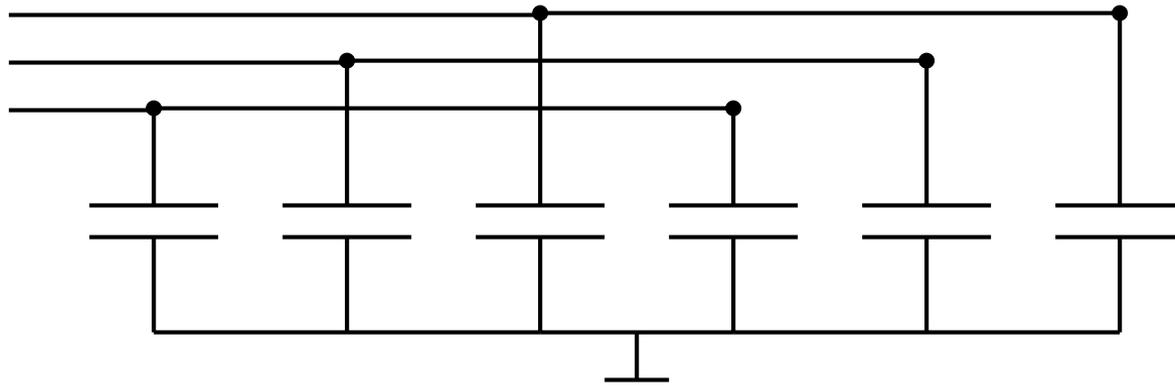


**CONEXION "Y" CON
NEUTRO A TIERRA**

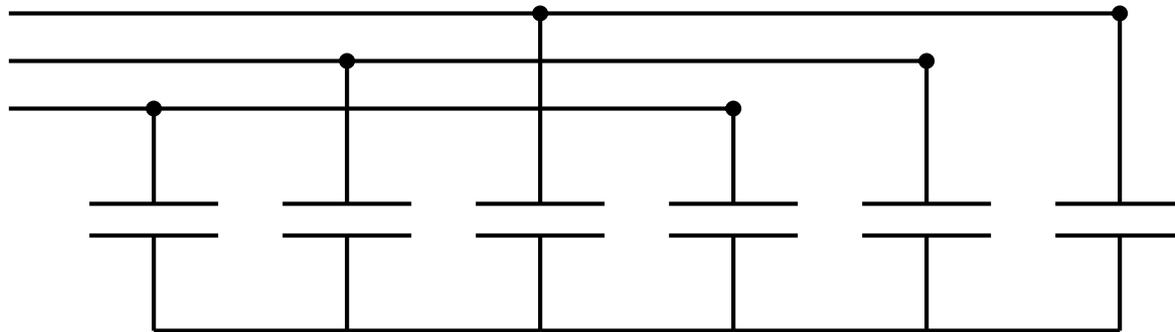


**CONEXION "Y" CON
NEUTRO FLOTANTE**





CONEXION DOBLE “Y” CON NEUTRO A TIERRA



CONEXION DOBLE “Y” CON NEUTRO FLOTANTE



Bancos Conectados en DELTA

- Se usan generalmente en voltajes de distribución
- Se configuran con un solo grupo serie de capacitores de un V nominal igual al voltaje entre fases del sistema
- Requieren de capacitores con:
 - a) Dos “bushings” con un gabinete conectado a tierra, o bien,
 - b) Un solo “bushing” y un gabinete aislado
- El uso más extendido de los bancos conectados en DELTA es en sistemas de 2400 V



Ventajas de los bancos conectados en DELTA

- No se presenta sobrevoltaje en las unidades restantes como resultado del aislamiento de un capacitor fallado
- No se requiere detección de desequilibrio para protección
- No puede circular corriente de secuencia cero o de tercera armónica a través de ellos
- Requiere de fusibles limitadores de corriente



Bancos conectados en “Y” con neutro a tierra

- Son comúnmente usados en voltajes de 34.5 kV y superiores
- Están compuestos de dos o más grupos serie de capacitores de voltaje estándar por fase
- Proporcionan una trayectoria de baja impedancia para las corrientes transitorias provocadas por descargas atmosféricas
- Dan cierta protección contra voltajes transitorios
- En ciertos casos, se puede operar el banco sin apartarrayos



La Conexión de Neutro a tierra

- El neutro del banco de capacitores debe conectarse en un sistema efectivamente puesto a tierra
- La ventaja de conectar el neutro a tierra es que limita el daño causado por el voltaje de recuperación

Voltaje de recuperación: consiste de cargas atrapadas en los capacitores debido a la variación en el voltaje de 60 Hz.

- En un banco con neutro a tierra el voltaje de recuperación llega a ser de dos veces el voltaje pico normal
- En un banco con neutro no aterrizado la magnitud del voltaje de recuperación puede llegar a ser de tres veces el pico de voltaje de fase a tierra cuando se opera el banco.



Consideraciones sobre los bancos conectados en “Y” con neutro aterrizado

- Un solo bote en serie por fase
 - No necesita una protección contra desbalance
 - Los fusibles individuales deben ser capaces de interrumpir la corriente de falla del sistema
- Varios grupos en serie por fase (una sola estrella)
 - Están compuestos por dos o más grupos serie de capacitores conectados en paralelo por fase
 - Normalmente no se requieren fusibles limitadores de corriente porque la corriente de falla está limitada debido a la cantidad de capacitores

- Varios grupos en serie por fase (doble estrella)

- Cuando los kVAR por grupo exceden los 4650 kVAR, el banco se tiene que dividir en dos secciones en Y
- Los dos neutros pueden conectarse directamente, con una sola conexión a tierra
- Sus características son similares a las de la conexión en estrella sencilla con neutro aterrizado



Bancos conectados en “Y” con neutro no aterrizado

- No permiten el paso de las corrientes de tercera armónica o el paso de grandes corrientes de descarga capacitivas durante fallas a tierra en el sistema

Observaciones:

- El neutro debe estar aislado para el voltaje pleno entre fases del sistema ya que momentáneamente se pone al potencial de fase cuando:
 - se opera el banco, maniobra de conexión o desconexión,
 - o - falla un capacitor



Otras consideraciones sobre los bancos conectados en “Y” con neutro no aterrizado

- Un solo en grupo en serie por fase
 - Generalmente, el neutro del banco no se conecta a tierra
para evitar el uso de fusibles de potencia para interrumpir la corriente de corto circuito
 - Se requiere que los capacitores de un solo “bushing” sean montados en un gabinete aislado
 - Si se usan capacitores con dos “bushings” con un gabinete aterrizado, el fusible de cada capacitor debe ser capaz de interrumpir la corriente de falla de fase a tierra
 - Normalmente en estos bancos, no requieren fusibles limitadores de corriente

- Varios grupos en serie por fase (una sola estrella)

- No proporcionan ninguna protección contra sobrevoltajes transitorios
- No proporcionan trayectoria alguna a tierra para las corrientes de tercera armónica.
- El banco completo, incluyendo el neutro, debe estar aislado para sobre voltajes de línea

- Varios grupos en serie por fase (doble estrella)

- Tiene algunas de las características del banco conectado en una sola estrella con neutro no aterrizado.
- Los dos neutros pueden o no estar conectados entre si
- El neutro debe estar aislado de tierra para el voltaje pleno entre fases.



PROTECCION DE BANCOS DE CAPACITORES



La protección de bancos de capacitores incluye los componentes siguientes:

- a) Fusible individual por unidad capacitor
- b) Protección contra desbalances
- c) Apartarrayos
- d) Relevadores de voltaje de fase
- e) Inspección visual periódica



El principio asociado con los fusibles es que una pieza de material, relativamente corta, y con una sección transversal capaz de llevar corriente, tanta como la que se puede permitir circular por el circuito protegido, es sacrificada cuando sea necesario, para evitar que las partes sanas sean dañadas, y también para limitar, al nivel más bajo posible, el daño a las secciones falladas del circuito



El fusible de expulsión se utiliza para proteger el banco contra sobrecorrientes. Este elemento consta de tres partes básicas que son:

- Botón
- Elemento Fusible
- Líder

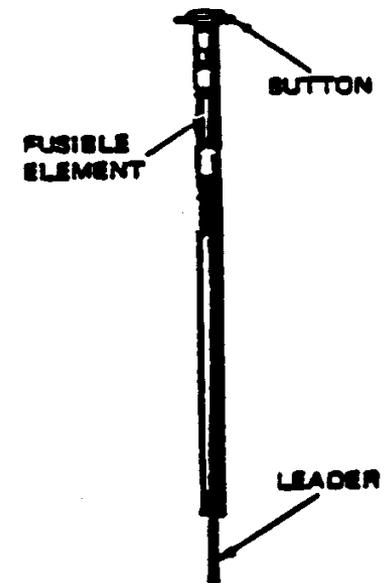


Figure 1.3
Fuse Link



La longitud y el diámetro del elemento son los principales determinantes de la característica del fusible. Entre más largo sea el fusible, más rápido opera para niveles de corto circuitos bajos. Durante los cortos circuitos de niveles altos, la elevación de temperatura es muy rápida y el calor no puede ser conducido para alejarlo del centro del elemento fusible. Consecuentemente, el tiempo de fusión en el rango de corrientes altas no depende tanto de la longitud del elemento sino más bien del diámetro.



Protección contra Desbalance

Cuando un fusible opera en una unidad de un banco de capacitores, se presenta un incremento en el voltaje de frecuencia nominal en las unidades restantes en ese grupo serie. Se emplea un esquema que detecta desbalances para monitorear tal condición y tomar la acción requerida. Este esquema usualmente incluye tres niveles de acción:



- 1) Alarma por bajo nivel de desbalance.
El sobrevoltaje en las unidades sanas es menor del 110%. Generalmente el retraso es de 4 segundos o más.



2) Disparo del interruptor del banco de capacitores ante un nivel de desbalance mas alto. El sobrevoltaje en las unidades sanas es mayor que 110%. El retraso de tiempo es generalmente, de 4 segundos o más.



- 3) Disparo por severo desbalance en el banco. Este ajuste debe ser tan rápido como sea posible y coordinado con el tiempo máximo de libramiento del fusible. El retraso es, frecuentemente, de 0.3 a 0.5 segundos.



Apartarrayos

Los apartarrayos se pueden aplicar en el banco de capacitores para limitar los sobrevoltajes transitorios tanto en el capacitor como en otros componentes del sistema. Al aplicar los apartarrayos en el lado capacitor del switch puede ayudar a reducir el voltaje de recuperación en el switch en bancos de capacitores conectados en estrella con neutro flotante. Las ondas producidas por descargas atmosféricas y las conmutaciones de los capacitores pueden dar por resultado importantes sobrevoltajes en el sistema.



Apartarrayos

Los apartarrayos se pueden aplicar en el banco de capacitores para limitar estos sobrevoltajes transitorios. Los reencendidos en el dispositivo de conmutación pueden causar los transitorios más altos.



Apartarrayos

También pueden ocurrir Sobrevoltajes transitorios importantes en el banco de capacitores debido a la amplificación en circuitos resonantes en el sistema de potencia asociado con la conmutación de un banco de capacitores, de un cable, o de una línea de transmisión remotos



Apartarrayos

Generalmente, se instalan apartarrayos en el lado sistema de los fusibles del capacitor, y tan cerca como sea posible al banco de capacitores. Las conexiones deben mantenerse tan cortas como sea posible, para que el esfuerzo de voltaje sobre el aislamiento de la unidad capacitor se minimice.



Apartarrayos

Colocando el apartarrayos en el lado fuente del fusible se reduce la onda de corriente a través del fusible. Esto es lo más importante para bancos de capacitores pequeños en sistemas de alto voltaje donde es común que el tamaño de los fusibles sea menor de 15 A.





Relevadores de voltaje de fase

La aplicación de capacitores resulta inherentemente en una elevación del voltaje en ese punto del sistema. Para proteger los capacitores y otros equipos de la subestación contra condiciones de sobre voltaje permanente, algunas veces se utilizan relevadores de voltaje de fase, aplicados en el bus.



Inspección visual periódica

Esta se realiza con el personal debidamente capacitado para la revisión física de los bancos que se están empleando, en donde se reporta cualquier sospecha de anomalía en la inspección visual.



Protección Contra Falla en el Gabinete (Arqueo Dentro del Banco de Capacitores)

Un arco dentro del banco de capacitores empezará como un arco entre las terminales de una sola sección serie. Tal falla produce muy poca sobrecorriente de fase, y si no se usó un esquema detector de desbalance, más y más grupos serie de la misma fase se verán involucrados hasta que el relevador de sobrecorriente instantáneo dispare el banco o el fusible opere.



El tiempo total del arqueo puede llegar a ser de unos cuantos segundos. Este es acompañado de un daño muy severo al banco, incluyendo muchos fusibles fundidos y unas pocas cajas de unidades capacitor infladas o aún con rompimientos. Los relevadores de sobrecorriente instantáneos no son efectivos para fallas en un gabinete.



Protección Contra Sobrecorriente en el Banco

La protección contra fallas importantes, como una falla entre fases o una falla de fase a tierra, generalmente requiere alguna forma de protección externa para el banco de capacitores, tal como fusibles de potencia, o interruptores con sus relevadores asociados.



En un banco estrella con neutro flotante, una falla de fase a neutro provocará un incremento en la corriente de línea, en la fase fallada, de solo 3 veces la corriente de fase normal.



La protección de respaldo debe permitir que 125% o 135% de la corriente nominal circule en forma continua. Al mismo tiempo, la protección de respaldo debe desconectar el banco en el caso de que se presente una corriente de tres pu.



Figura 4a.- Protección de Bancos de Capacitores Utilizando Relevadores de Sobrecorriente

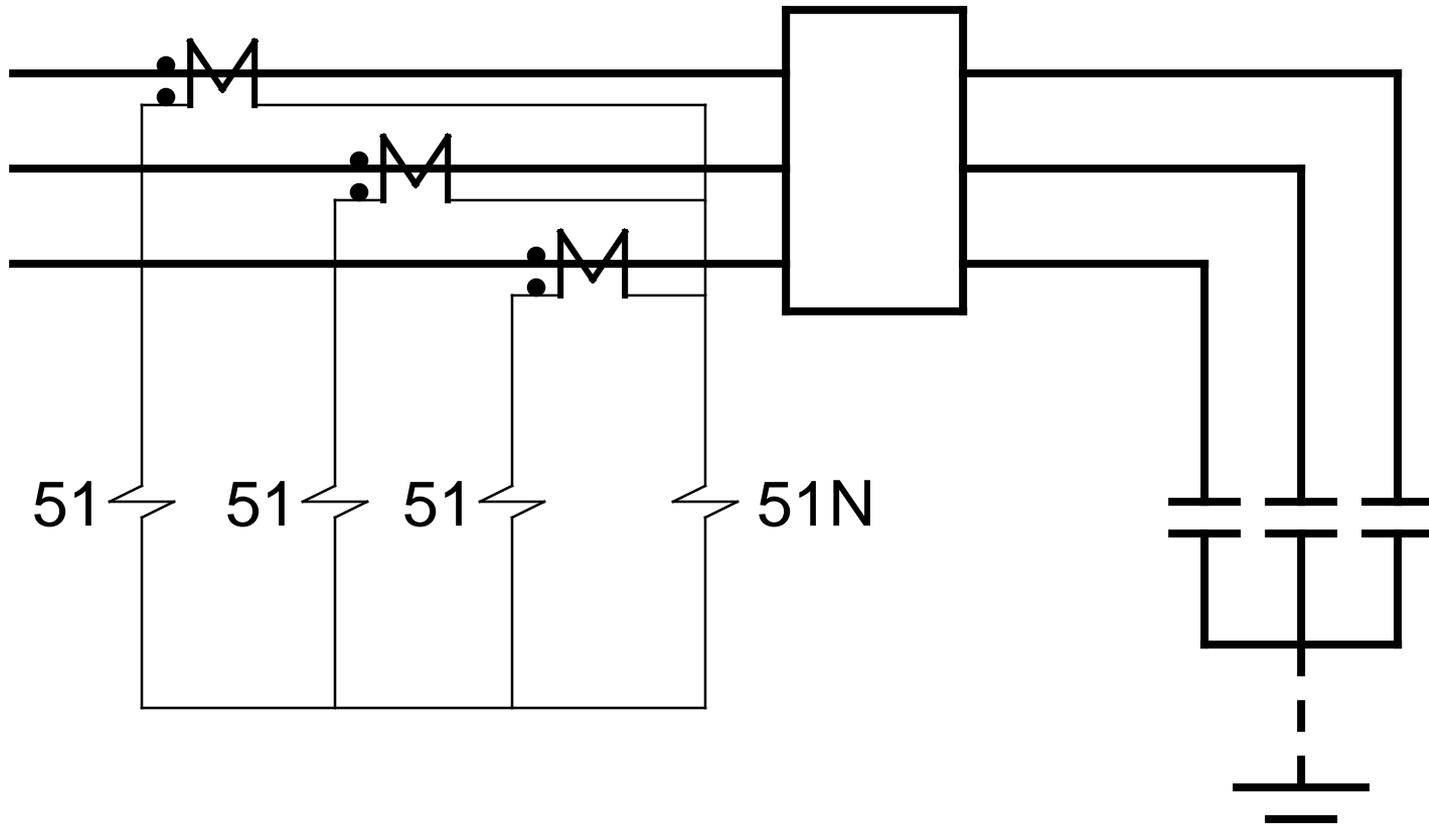
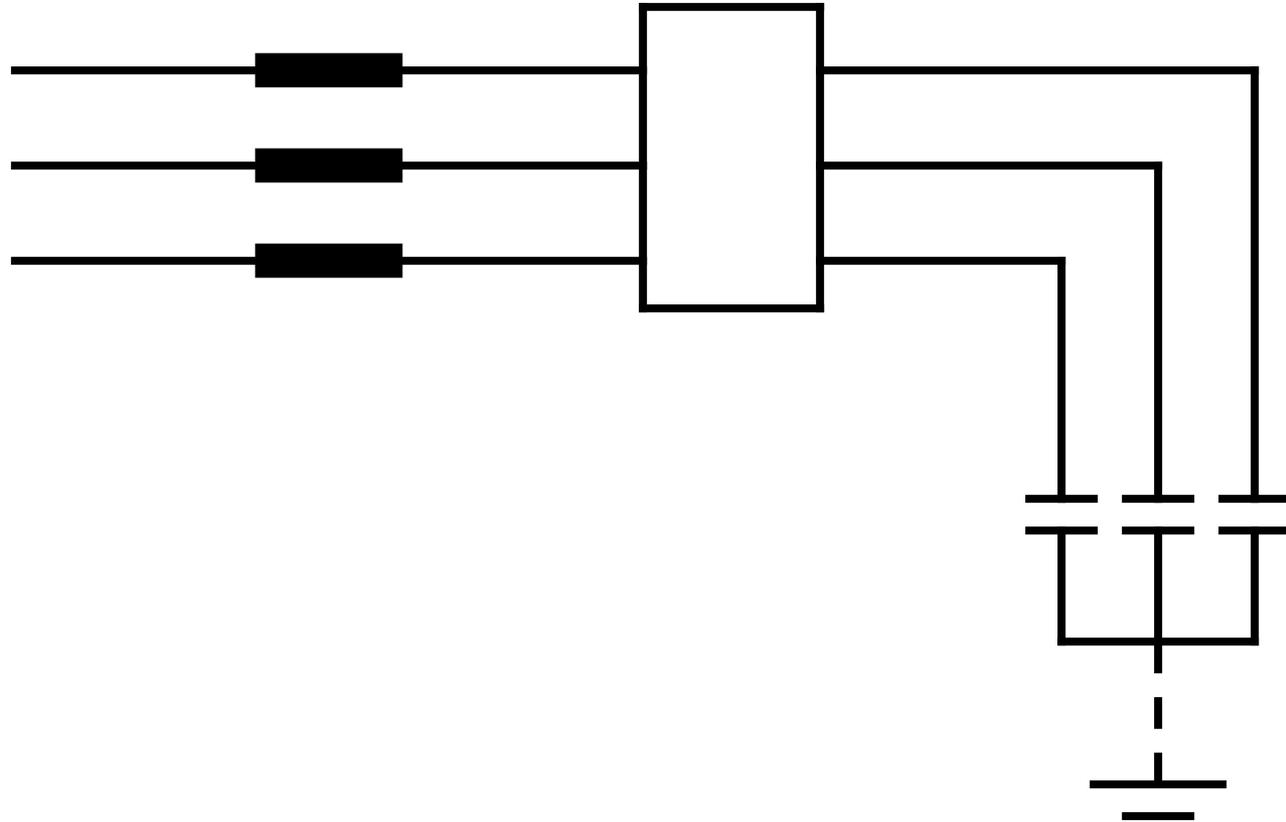


Figura 4b.- Protección de Bancos de Capacitores Utilizando Fusibles



Relevador 51



Protección contra desbalances, Bancos conectados en Doble Estrella

Se muestran cuatro métodos para proteger contra desbalance los bancos en doble-estrella. Los esquemas (a) y (b) son sin conexión a tierra y usan o un TC y un 51, o un TP y un 59 conectado entre los dos neutros.



En la Figura 6(c), los neutros de las dos secciones se conectan a tierra a través de TCs separados a una tierra común .

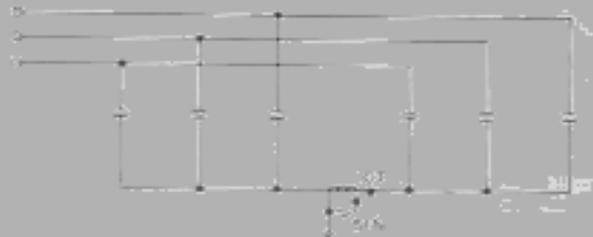
En la Figura 6(d), los neutros de las dos secciones se dejan flotando pero se conectan entre si.



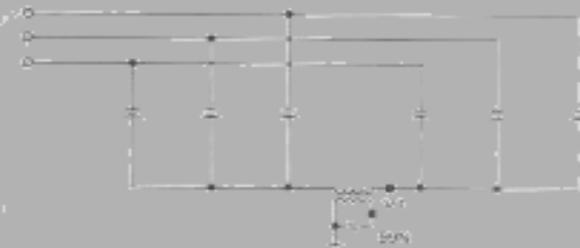
Fig 6

Shunt Capacitor Bank Protection Methods, Double Y-Connected Banks

- (a) Neutral Current Unbalance Detection Method Ungrounded Double Y-Connected Capacitor Bank
- (b) Neutral Voltage Unbalance Protection Method, Ungrounded Double Y-Connected Capacitor Bank (Neutrals Isolated)
- (c) Neutral Current Differential Protection Method, Grounded Double Y-Connected Capacitor Bank
- (d) Neutral Voltage Unbalance Protection Method, Ungrounded Double Y-Connected Capacitor Bank (Neutrals Tied Together)



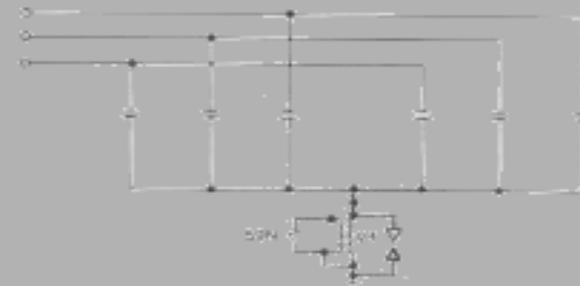
(a)



(b)



(c)



(d)

NOTE: Be careful with CT and PT polarity marks (●). They sometimes look like wire connections (●).



Protección Contra Desbalances del Neutro con Compensación por Desbalance Inherente

Para bancos grandes, la señal de desbalance del neutro debido a la pérdida de 1 o 2 unidades capacitor individuales es tal, que el desbalance inherente ya no se puede considerar despreciable. Los bancos con neutro aislado se pueden dividir en dos bancos iguales como se ilustra en la Figura 8



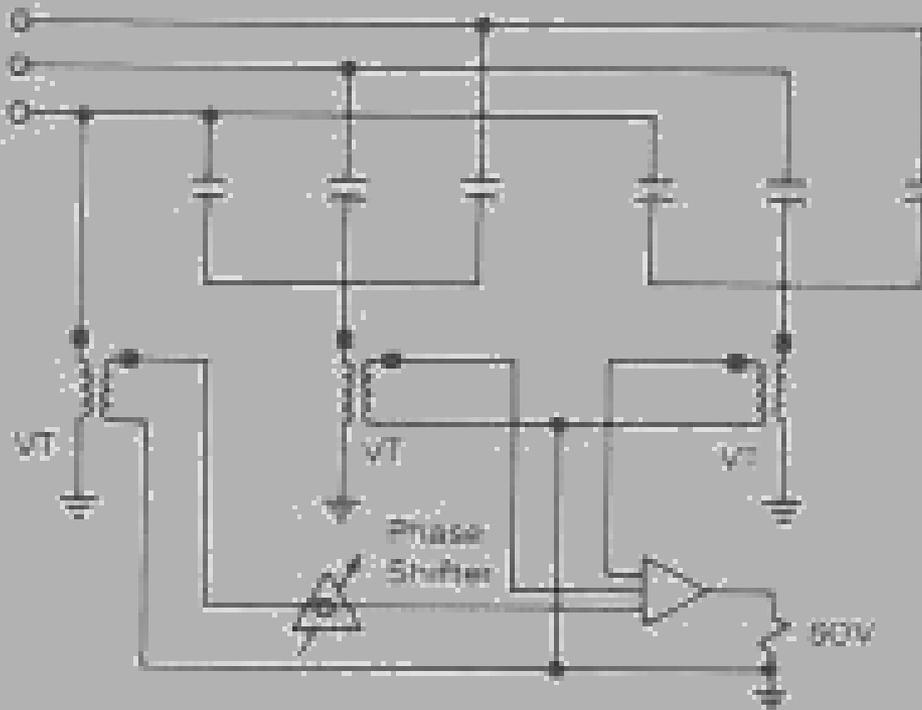


Fig 8
Neutral Voltage Unbalance Protection Method
Ungrounded Double Y-Connected
Capacitor Bank (Neutrals Isolated)
With Compensation for Inherent Unbalance

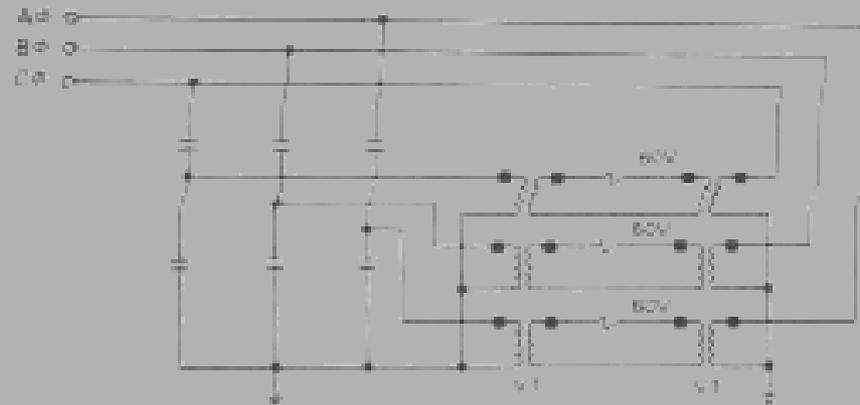
Protección por Diferencial de Voltaje, Bancos Conectados en Estrella a Tierra

Un medio para compensar el desbalance inherente en bancos estrella con neutro a tierra se ilustra en la siguiente diapositiva para un banco único conectado en estrella y para un banco conectado en doble estrella respectivamente.

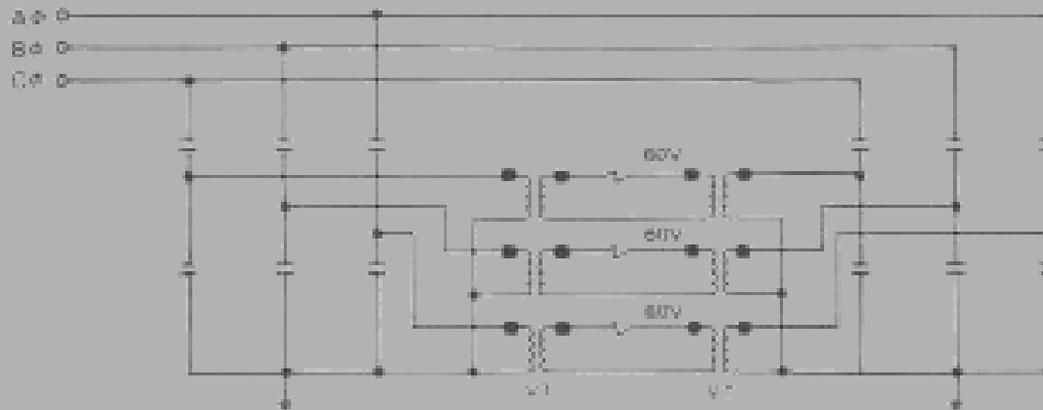


Este método es, en esencia, una protección diferencial con tres relevadores diferencial de voltaje monofásicos, para cada banco, tal como sea aplicable.





(a)



(b)

Fig 9

Voltage Difference Protection Methods

- (a) Single Grounded Y-Connected Capacitor Banks
- (b) Double Grounded Y-Connected Capacitor Banks





Proteccion de Bancos de Capacitores Paralelo

Apendices



Estos Apendices contienen tablas, fórmulas, y ecuaciones que son una fuente de información para el ingeniero de protecciones cuando trate de determinar voltajes, corrientes y frecuencias de inrush para los bancos de capacitores conmutables, además de información útil para evaluar la protección de bancos de capacitores paralelo



Proteccion de Bancos de Capacitores Paralelo

Apendice A

Definición de los Símbolos



V_{LL}	=	Voltaje entre líneas, (entre fases), V
V_{LG}	=	Voltaje de línea a tierra, utilice el valor máximo cuando sea apropiado, V
ΔV_{LG}	=	Variación de V_{LG} entre fases, por unidad
S	=	V_{LG} / V_c = Número de grupos serie
S_T	=	Número de grupos serie detectando tap a tierra
P	=	Número de grupos paralelo en cada grupo serie



F_1	=	Número de capacitores eliminados dentro de los mismos grupos serie dentro de una fase
F_2	=	Número de grupos serie dentro de una fase que tiene, cada una, un capacitor eliminado
V_c	=	Voltaje nominal del capacitor, V
V_{c1}	=	Voltaje a través del grupo serie con unidades desconectadas, V
ΔV_{c1}	=	Cambio de voltaje a través del grupo serie con capacitores desconectados, V



V_{C2}	=	Voltaje a través del grupo serie con el número correcto de capacitores, V
ΔV_{C2}	=	Cambio de voltaje a través del grupo serie con el número correcto de capacitores, V
I_C	=	Corriente en el capacitor a voltaje nominal, A
I_ϕ	=	Corriente de fase normal, A
$I_{\phi 1}$	=	Corriente de fase en una pierna de un banco doble estrella, A
ΔI_ϕ	=	Cambio en la corriente de fase, A
I_N		Corriente en el neutro, A



X_c	=	$V_c^2 \cdot 10^{-3} / kvar_u = V_c / I_c$, Impedancia del capacitor
P_{min}	=	Número mínimo de capacitores paralelo por grupo serie para limitar el sobrevoltaje a 10%
P_{min1}	=	Para eliminación de capacitores tipo F_1
P_{min2}	=	Para eliminación de capacitores tipo F_2
ϕ	=	Varianza del ángulo de fase entre dos fases respecto a los 120°
ΔC	=	Variación en por unidad de la capacitancia entre fases



V_{TG}	=	Voltaje entre el punto del tap intermedio y tierra, V
V_{NG}	=	Voltaje entre el neutro y tierra, V
V_{NN}	=	Voltaje entre neutros, V
$kvar_u$	=	Valor nominal de potencia reactiva en cada capacitor, kVA
$kvar_B$	=	Valor nominal de potencia reactiva del banco de capacitores, kVA



Proteccion de Bancos de Capacitores Paralelo

Apendice B Ecuaciones



Las ecuaciones siguientes han sido derivadas para la evaluación de la protección de un banco de capacitores.

El cambio de la impedancia de fase de un banco con agrupamientos **serie** y **paralelo** queda determinada por la ubicación y número de capacitores que han quedado aislados.

$$I_{\phi} = \frac{\text{var}_B}{3V_{LG}} = \frac{V_{LG} \cdot P}{X_C \cdot S} = \frac{V_{LG} \cdot I_C \cdot P}{V_C \cdot S}$$



B1.- Ecuaciones para bancos en Y con neutro a tierra (También para bancos en Δ cambiando el V_{LG} por V_{LL})

$$V_{C1} = V_{LG} \cdot \frac{P}{S(P-F_1) + F_1} \quad \text{----- Ec 1}$$

$$\Delta V_{C1} = V_{LG} \cdot \frac{S-1}{S} \cdot \frac{F_1}{S(P-F_1) + F_1} \quad \text{----- Ec 2}$$



$$V_{C1} = V_{LG} \cdot \frac{P - F_1}{S(P - F_1) + F_1} \quad \text{----- Ec 3}$$

$$\Delta V_{C1} = \frac{V_{LG}}{S} \cdot \frac{F_1}{S(P - F_1) + F_1} \quad \text{----- Ec 4}$$

$$I_N = \Delta I_{\phi} = I_{\phi} \cdot \frac{F_1}{S(P - F_1) + F_1} \quad \text{----- Ec 5}$$



Se requiere un número mínimo de capacitores en paralelo en cada grupo serie para limitar el sobrevoltaje en los capacitores al 10%

Para F_1 capacitores fallados en un grupo serie:

$$P_{\min 1} = F_1 \cdot \frac{11 (S - 1)}{S} \quad \text{----- Ec 6}$$

Para fallas de un solo capacitor en F_2 diferentes grupos serie :

$$P_{\min 2} = \frac{11 (S - F_2)}{S} \quad \text{----- Ec 7}$$



El cambio de corriente y de voltaje para F_1 capacitores fallados en el mismo grupo serie relativo a los valores nominales es de:

$$\frac{\Delta I_{\phi}}{I_{\phi}} = \frac{\Delta V_C}{V_C} = \frac{F_1}{S(P-F_1) + F_1} \approx \frac{1}{S \cdot P} \quad \text{----- Ec 8}$$

(Para $F_2 = 1$ y $P \gg F_1$)

La aproximación de la Ec 5 se mantiene para $F_2 = 1$ y $P \gg F_1$



$$\Delta I_{\phi} \approx \frac{kvar_U}{V_{LG}} \quad \text{----- Ec 9}$$

B2.- Ecuaciones para bancos en Y con neutro flotante

$$V_{C1} = V_{LG} \cdot \frac{3 V_{LG} \cdot P}{3S (P - F_1) + 2F_1} \quad \text{----- Ec 10}$$

$$\Delta V_{C1} = V_{C1} - \frac{V_{LG}}{S} = \frac{V_{LG} \cdot F_1 (3S - 2)}{S[3S(P - F_1) + 2F_1]} \quad \text{----- Ec 11}$$



$$V_{C2} = \frac{3 V_{LG} \cdot (P - F_1)}{3S (P - F_1) + 2F_1} \quad \text{----- Ec 12}$$

$$\Delta V_{C2} \approx \frac{V_{LG}}{S} - V_{C2} = \frac{2 V_{LG} \cdot F_1}{S[3S(P - F_1) + 2F_1]} \quad \text{----- Ec 13}$$



$$V_{NG} = \frac{V_{LG} \cdot (P - F_1)}{3S (P - F_1) + 2F_1} \quad \text{----- Ec 14}$$

$$P_{\min 2} = \frac{11 (3S - 2)}{3S} \quad \text{----- Ec 15}$$



B3.- Ecuaciones para bancos en Y Y con los neutros conectados entre si

$$V_{C1} = \frac{6 V_{LG} \cdot P}{6 S (P - F_1) + 5 F_1} \text{----- Ec 16}$$

$$I_N = I_{\phi 1} \cdot \frac{3F_1}{6S(P - F_1) + 5F_1} \text{----- Ec 17}$$



$$V_{NG} = \frac{V_{LG} \cdot (P - F_1)}{6S (P - F_1) + 5F_1} \quad \text{----- Ec 18}$$

$$P_{\min 1} = F_1 \cdot \frac{11 (6S - 5)}{6S} \quad \text{----- Ec 19}$$



Tabla 1

Corriente de falla de 60 Hz con una unidad en corto circuito

Configuración del banco	Corriente de falla		Voltaje en cada grupo serie que queda con el grupo fallado	
Y con neutro a tierra	$\frac{S}{S-1} I\phi^*$	Ec 20	$\frac{V_{LG}}{S-1}$	Ec 21
Y con Neutro flotante	$\frac{3S}{3S-2} I\phi$	Ec 22	$\frac{3V_{LG}}{3S-2}$	Ec 22
Doble Y con Neutro flotante	$\frac{6S}{6S-5} I\phi$	Ec 24	$\frac{6V_{LG}}{6S-5}$	Ec 24



* Para S=1, la corriente es la I de falla de fase a tierra del sistema

B4.- Energía Almacenada

$$\text{Energía} = CV^2 = 2.65 \cdot \text{kvar} \cdot J \text{ (W}\cdot\text{s)} \quad \text{-----} \quad \text{Ec 26}$$

$$C = \frac{\text{kvar} \cdot 10^3}{377 \cdot V^2} = \frac{2.65 \cdot \text{kvar}}{V^2} \text{ F} \quad \text{-----} \quad \text{Ec 27}$$

$$V = \text{rms } V$$



Proteccion de Bancos de Capacitores Paralelo

Apendice D

Corrientes y Frecuencias de Inrush para Bancos de Capacitores Conmutables



D1.- Al energizar un Banco Aislado

$$I_{\max} \text{ (A)} = 1.41 \sqrt{I_{SC} \cdot I_1} \quad \text{0}$$

$$= \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \text{ kV}_{LL} \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{C_B}{L_S}} = 1330 \sqrt{\frac{\text{kvar}}{L_S}}$$

$$f \text{ (Hz)} = f_s \sqrt{\frac{I_{SC}}{I_1}} \quad \text{0} \quad \frac{10^6}{2\pi \sqrt{L_S \cdot C_B}}$$



D2.- Al energizar un Banco con Otro en el mismo bus

$$\begin{aligned} I_{\max} \text{ (A)} &= 1747 \sqrt{\frac{\text{kV}_{LL} (I_1 \cdot I_2)}{L_{eq} (I_1 + I_2)}} \\ &= 1330 \sqrt{\frac{\text{kvar}_1 \cdot \text{kvar}_2}{L_{eq} \cdot \text{kvar}_T}} \end{aligned}$$

$$f \text{ (kHz)} = 9.5 \sqrt{\frac{F_s \cdot \text{kV}_{LL} (I_1 + I_2)}{L_{eq} (I_1 \cdot I_2)}}$$



C_B	=	Capacitancia del banco (μF)
L_S	=	Inductancia del sistema (μH)
f_S	=	Frecuencia del sistema (Hz)
L_{eq}	=	Inductancia equivalente total por fase entre los bancos de capacitores
I_1	=	Corriente de carga del banco de capacitores que se esta conectando (A)
kV_{LL}	=	Voltaje entre líneas (fases) (kV)
kV_{LG}	=	Voltaje de línea a tierra (kV)



kvar₁	=	Kva 3 ϕ del banco de capacitores que se va a conectar
I₂	=	Corriente de carga del banco de capacitores que ya esta conectado (A)
kvar₂	=	Kva 3 ϕ del banco de capacitores que ya esta conectado
I_{max}	=	Corriente pico sin amortiguamiento (valor real cerca del 90%)
kvar_T	=	kvar ₁ + kvar ₂
I_{sc}	=	Corriente de corto circuito rms simétrica (A)



Observación: Las expresiones anteriores para la corriente de inrush, se aplican solamente para bancos que se van a conectar estando descargados. Si los capacitores ya están cargados, como durante un reencendido (restrike) entre los contactos de un interruptor, la corriente de inrush puede valer el doble de estos valores.



D3.- Valores Típicos de la Inductancia entre Bancos de Capacitores

Voltaje nominal Máximo	Inductancia por fase del bus	Inductancia Típica del Banco de Capacitores
(kV)	(μ H/pie)	(μ H)
15.5 \leq	0.214	5
38	0.238	5
48.3	0.256	10
72.5	0.256	10
121	0.261	10
145	0.261	10
169	0.268	10
242	0.268	10