

4. Características de los capacitores

Como ya se menciona anteriormente los elementos de compensación son necesarios para la adecuada operación de sistemas eléctricos de potencia. Estos pueden clasificarse de diversas maneras, de acuerdo a su principio de funcionamiento, propósito y la forma en que se conectan al sistema, pudiendo ser ajustables o fijos, para controlar voltaje y potencia reactiva o potencia activa, de ahí que se utilicen junto con otros componentes como varistores, reactores, interruptores, relevadores etc. En este capítulo se verán algunos de estos conceptos que nos permitirán conocer las características de los capacitores conectados en serie.

Los siguientes puntos son características fundamentales para los bancos de capacitores serie:

- a) Voltaje nominal del sistema. La máxima potencia continua del sistema, la tensión rms de fase a fase por lo cual el sistema de aislamiento de fase a tierra es diseñado es diseñado.
- b) Frecuencia nominal. La frecuencia (medida en Hz) del sistema de potencia para el cual el banco del capacitor es diseñado.
- c) Reactancia Nominal (X_C). La reactancia capacitiva para cada fase del banco de capacitores serie en su frecuencia nominal con una temperatura dieléctrica interna de 25 °C.

La tolerancia máxima para esta reactancia se muestra en la Tabla 4.1.

Bank three-phase Mvar	Maximum difference of any phase from rated reactance	Maximum reactance difference among phases
Less than 30 Mvar	±5%	3%
30 Mvar or more	±3%	1%

TABLA 4.1

El cambio de la reactancia con la temperatura ambiente en una frecuencia nominal será inferior al 0.1% por °C.

La reactancia total por fase se dividirá entre el número de segmentos, tal como lo defina el comprador.

d) Corriente Nominal continua (I_R). La corriente rms del capacitor o el banco de capacitores será capaz de llevar la frecuencia nominal y un rango de temperatura ambiente nominal.

e) tensión nominal de segmento (V_R). La tensión nominal rms a través de un segmento, cuando el segmento lleva corriente nominal.

f) Potencia reactiva nominal (Q_R). La característica de la potencia reactiva para el banco, es determinada a partir de la reactancia nominal y de la corriente nominal por fase, puede ser calculada utilizando la ecuación (4.1):

$$Q_R = 3I_R^2 X_C \quad (4.1)$$

dónde

Q_R es la potencia reactiva en MVar,

I_R es la corriente nominal (kA),

X_C es la reactancia nominal de cada fase (ohms).

4.1. Temperatura Ambiente

Los equipos de capacitores serie deberán estar diseñados para energización, operación continua y sobrecargas de tiempo corto en un ambiente al aire libre con un rango de temperatura ambiente, tal como se especifica por parte del comprador. Esto se aplicará a todo el equipo que se asocia con el banco de capacitores serie localizado al aire libre. El calentamiento causado por la proximidad de algunos equipos de los bancos de capacitores serie y por la exposición a la luz del sol se tendrán que tomar en cuenta en la fase de diseño.

En el caso de equipos de bancos de capacitores serie, tales como la protección de nivel de tierra y control que se encuentren ubicados en el edificio de control, el diseño del equipo interior será de acuerdo con el rango de temperatura dentro del edificio.

4.2. Componentes de corriente

Los bancos de capacitores serie deberán ser capaces de soportar la corriente nominal continua, las oscilaciones de corriente del sistema, las cargas de emergencia, las fallas del sistema de potencia, y en algunas aplicaciones, corrientes armónicas. Algunas de estas condiciones se ilustran en la figura 4.1. Estas cantidades son por lo general especificadas por el comprador y pueden incluir distintos valores para insertarse y dejar de lado los modos de operación.

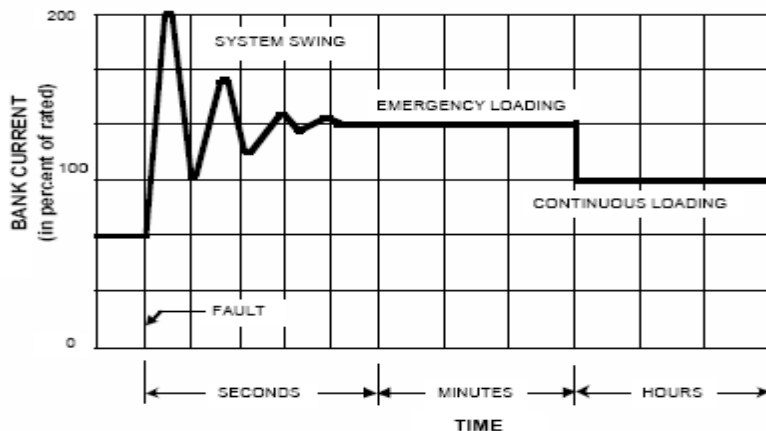


FIGURA 4.1

4.2.1. Modo de operación inserción de banco

4.2.1.1 Unidades capacitoras

La capacitancia de un segmento se realiza mediante la conexión de unidades de capacitores en serie o en paralelo para proporcionar la reactancia capacitiva con las características de corriente continua. Los capacitores deberán también ser diseñados para soportar corrientes altas, como las experimentadas durante las cargas de emergencia (normalmente 30 min), sistema de oscilaciones, y las fallas, tal como se especifique por parte del comprador. Estos requisitos pueden repercutir en el diseño.

Las unidades capacitoras deberán ser diseñadas para resistir la corriente nominal continua especificada, las cargas de emergencia, las oscilaciones de corriente, y las fallas del sistema de potencia con el máximo desequilibrio del capacitor para lo cual el control y el sistema de protección permitirá al banco permanecer en servicio.

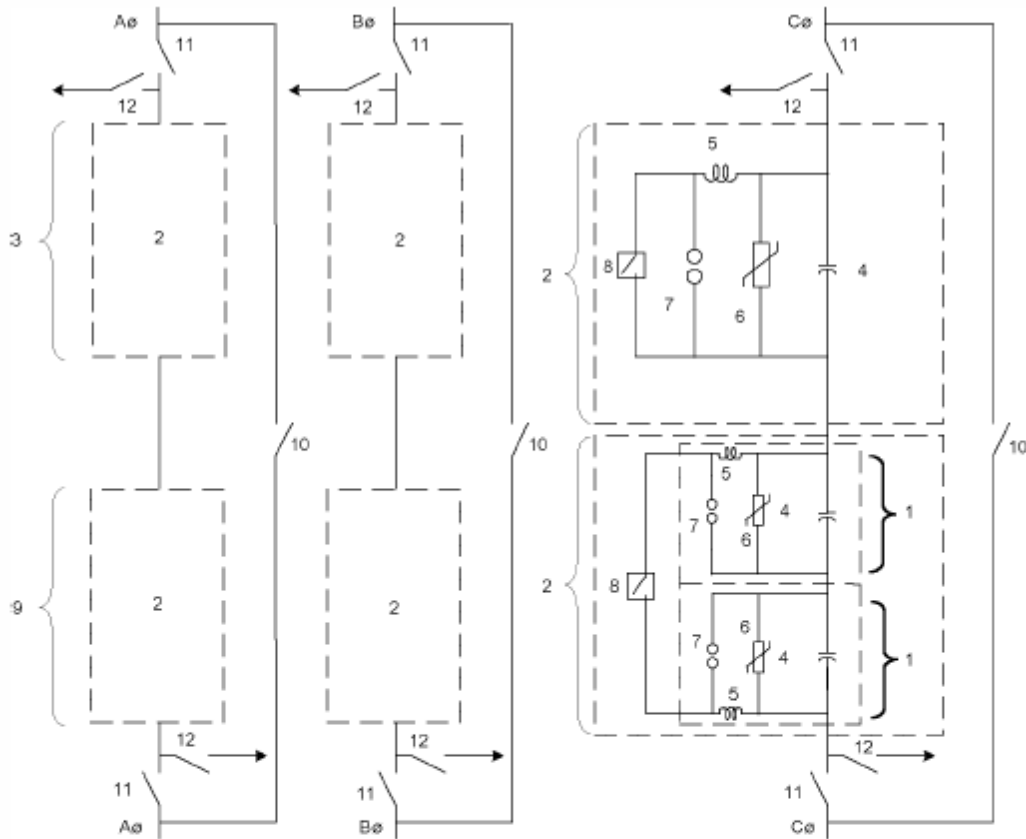
Los fusibles del capacitor, ya sea interno o externo, deberá ser diseñado para funcionar correctamente para las corrientes de banco del 50% de corriente nominal hasta e incluyendo las condiciones de falla del sistema de potencia.

4.2.1.2. Reactor limitador de corriente de descarga

Normalmente, el reactor limitador de corriente de descarga está conectado como se muestra en la figura 4.2, y, por tanto, no jala corriente cuando el banco es insertado. Sin embargo, en algunas aplicaciones el reactor limitador de corrientes de descarga es conectado en serie con los capacitores. Este arreglo se utiliza con poca frecuencia para reducir las pérdidas donde el segmento es a menudo desviado y se puede utilizar para eliminar magníficamente

el potencial de la corriente de armónicas donde el reactor está en paralelo con el capacitor durante la operación de desviación (bypass). También se utiliza para reducir la operación sobre el interruptor de desconexión utilizado normalmente en paralelo con el banco.

Si el reactor limitador de corriente de descarga esta en serie con los capacitores, el reactor será evaluado para soportar las mismas magnitudes de corriente y duraciones que sean necesarias por el segmento capacitor.



- 1—Subsegment (1φ)
- 2—Segment (1φ)
- 3—Switching step (3φ) or module (3φ)
- 4—Capacitor units
- 5—Discharge current limiting reactor
- 6—Varistor
- 7—Bypass gap
- 8—Bypass switch
- 9—Additional switching steps when required
- 10—External bypass disconnect switch
- 11—External isolating disconnect switch
- 12—External grounding disconnect switch
- 3, 9—Included in a series capacitor bank
- 3, 9, 10, 11, 12—Included in a series capacitor installation

FIGURA 4.2

4.2.1.3. Varistor

La corriente a través del segmento capacitor produce una presión de tensión a través del varistor. El varistor será diseñado para resistir estas presiones. El nivel de protección del varistor deberá estar suficientemente arriba de la tensión producida durante una oscilación del sistema, para evitar una absorción excesiva de energía durante la oscilación.

4.2.1.4. Interruptor Bypass y gap bypass

Como en el caso de los varistores, el interruptor bypass (desviación) y el gap bypass están también expuestos a tensiones resultantes de las corrientes a través de los capacitores. Además, este equipo está expuesto a nivel de tensión de protección durante fallas del sistema de potencia. Este equipo deberá ser diseñado para soportar estas tensiones.

4.2.2. Modo de operación banco bypass

La continuidad, emergencias, oscilaciones, y las corrientes de falla específicas para este modo de operación pueden ser diferentes de los seleccionados para el modo de inserción de banco basado en las consideraciones operacionales del sistema de potencia. Por tanto, el comprador también deberá especificar las características de corriente para este modo de operación.

4.2.2.1. Reactor limitador de corrientes de descarga

Cuando reactor limitador de corriente de descarga está en la posición típica en la parte del bypass (como se muestra en la Figura 4.2), el circuito está expuesto a la continuidad, emergencias, oscilaciones, las corrientes de falla específicas para este modo de operación. El circuito deberá ser diseñado para estas condiciones. La duración máxima de la corriente de falla será la condición de despeje de falla intensa (regulando por medio de relevadores el sistema de potencia) se define como parte del ciclo de trabajo de la falla para el banco, a menos que el comprador especifica 1, 2 o 3 requisitos.

Si se anticipan corrientes armónicas importantes en la línea de transmisión, estas corrientes deben ser especificadas por el comprador como condiciones anormales del servicio. Las corrientes de armónicas pueden ser importantes porque, si el interruptor bypass está en la posición cerrada, el reactor está en paralelo con los capacitores. En este circuito inductor / capacitor en paralelo pueden circular corrientes armónicas que son mayores en magnitud que los presentes en la línea de transmisión. Esta amplificación puede ser significativa para las frecuencias armónicas que están cerca de la frecuencia natural de el circuito inductor / capacitor paralelo. En tales circunstancias, es necesario que la reactancia inductiva se seleccione para reducir al mínimo la amplificación de la corriente de armónicas y que el reactor sea diseñado a resistir armónicos, además una función de protección puede ser implementada para cerrar el bypass desconectando el interruptor en caso de exceso de corriente de armónicas en el reactor. Si el banco esta a menudo en condición de bypass y la corriente de armónicas en la línea de transmisión es importante, puede ser conveniente

eliminar la amplificación de la corriente de armónicas del inductor / capacitor en paralelo localizando al reactor limitador de corriente de descarga en serie con los capacitores. Sin embargo, este arreglo puede afectar la magnitud de la tensión a través de los capacitores durante las fallas del sistema de potencia.

4.2.2.2. Capacitores

Cuando el banco se encuentra en el modo de bypass, la corriente de la potencia – frecuencia en los capacitores es muy pequeña. Sin embargo, si las condiciones de la corriente de armónicas mencionadas en el punto anterior (4.2.2.1) prevalecerán, los capacitores también pueden llevar corriente de armónicas significativa. El diseño del capacitor deberá tener esto en cuenta.

4.2.2.3. Interruptor Bypass

El interruptor bypass es expuesto a la continuidad, a emergencias, oscilaciones, y corrientes de falla especificadas para este modo de operación. El interruptor deberá ser diseñado para estas condiciones, así como tener la capacidad de abrir con éxito e insertar el banco de capacitores a un nivel de protección del varistor y resistir las corrientes transitorias que se producen durante el cierre bypass del banco.

4.3. Limitación de voltaje durante fallas en el sistema de potencia

Los bancos de capacitores serie tendrán principalmente un limitador de tensión a través de cada segmento o subsegmento durante las fallas del sistema de potencia. El dispositivo de protección debe limitar el pico de tensión potencia – frecuencia del nivel de protección para todas las fallas sistema de potencia u otras condiciones especificadas por el comprador. Cada segmento o subsegmento será capaz de resistir las tensiones limitadas del dispositivo de protección según lo establecido por el proveedor o especificaciones del comprador.

La magnitud de tensión del nivel de protección del dispositivo de protección de un segmento tiene la relación que se muestra en la ecuación (4.2):

$$V_{pL} = (pu)V_R\sqrt{2} \quad (4.2)$$

Dónde

V_{pL} es la magnitud pico de tensión del nivel de protección,

V_R es la tensión rms nominal del segmento,

pu es la magnitud por unidad del nivel de protección.

4.4. Niveles de aislamiento Fase a tierra

El aislamiento de fase-tierra de los banco de capacitores serie se deberá cumplir los niveles de resistencia especificados por el comprador. Estos niveles deben ser compatibles con los de la práctica estándar de las subestaciones cerca teniendo en cuenta que la tensión en los soportes aislados de la plataforma pueden ser más elevados que la tensión en la subestación. En las tablas 4.2 y 4.3 se tienen diversos niveles de aislamiento que son compatibles con las normas ANSI e IEC. Para las instalaciones de elevaciones significativamente por encima de 1000 m, un aumento del BIL es necesario.

Los valores especificados se aplicarán a los aisladores de la plataforma a tierra, a los aisladores de la línea a tierra, al interruptor bypass, y a los aisladores del equipo de comunicaciones de la plataforma a tierra.

Maximum system voltage (phase-to-phase) V_m (kV rms)	Withstand		
	Low-frequency, short-duration withstand voltage (phase-to-ground) (kV rms)	Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL (kV crest)	Basic switching impulse insulation level (phase-to-ground) BSL (kV crest)
15	34	95 110	
26.2	50	150	
36.2	70	200	
48.3	95	250	
72.5	95 140	250 350	
121	140 185 230	350 450 550	
145	230 275 325	450 550 650	
169	230 275 325	550 650 750	
242	275 325 360 395 480	630 750 825 900 975 1050	
362		900 975 1050 1175 1300	650 750 825 900 975 1050

TABLA 4.2

Maximum system voltage (phase-to-phase) V_m (kV rms)	Withstand		
	Low-frequency, short-duration withstand voltage (phase-to-ground) (kV rms)	Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL (kV crest)	Basic switching impulse insulation level (phase-to-ground) BSL (kV crest)
550		1300 1425 1550 1675 1800	1175 1300 1425 1550
800		1800 1925 2050	1300 1425 1550 1675 1800

NOTE—This table shows several withstand voltages for a given maximum rated voltage. The selected voltages are based on proper insulation coordination.

TABLA 4.2 continuación

Maximum system voltage (kV rms)	Withstand		
	BIL (kV pk)	Switching impulse wet (kV pk)	Power frequency 1 min wet (kV rms)
12	75		28
17.5	95		38
24	125		50
36	170		70
52	250	—	95
72.5	325	—	140
123	450 550	—	185 230
145	550 650	—	230 275
170	650 750	—	275 325
245	850 950 1050	—	360 395 460

TABLA 4.3

Maximum system voltage (kV rms)	Withstand		
	BIL (kV pk)	Switching impulse wet (kV pk)	Power frequency 1 min wet (kV rms)
300	950 950 1050	750 850 850	
362	1050 1050 1175	850 950 950	
420	1175 1300 1425	950 1050 1050	
525	1425 1425 1550	1050 1175 1175	
765	1800 1950 2100	1300 1425 1550	

NOTES
 1—Switching surge withstand is not defined for system voltages 245 kV and below.
 2—Power-frequency withstand is not defined for system voltages 300 kV and above.
 3—The introduction of Um = 550 kV (instead of 525 kV), 800 kV (instead of 765 kV), of a value between 765 kV and 1200 kV and of the associated standard withstands voltages, is under consideration.

TABLA 4.3 continuación

4.5. Niveles de aislamiento para el equipo y aislamiento en plataforma

Los niveles de aislamiento de los aislantes y del equipo montado de los capacitores series sobre la plataforma de apoyo son en referencia a la plataforma. Para las instalaciones en las elevaciones por encima de 1000 m, el aumento de los niveles de aislamiento puede ser requerido.

La resistencia a la humedad de los aisladores y del equipo en la plataforma será seleccionada basada en el nivel de protección establecido por el dispositivo de protección, mediante la ecuación (4.3). La relación aplicada al aislamiento a través del segmento entero utilizando el nivel de protección para el segmento. También se aplica al aislamiento dentro del segmento utilizando el nivel de protección a través de esa parte del segmento.

$$K_{PFW} \geq 1.2 \times V_{PL} / \sqrt{2} \tag{4.3}$$

Dónde

V_{PFW} es el nivel de resistencia a la humedad de la tensión potencia - frecuencia,

V_{PL} es la magnitud de tensión pico del nivel de protección.