

Aula 12 - 02/12

5.3 Proteção de capacitores

5.3.1 Tipos de capacitores

5.3.2 Aspectos técnicos das unidades

5.3.3 Projeto de bancos de capacitores

5.3.4 Sobreensões em capacitores

5.3.5 Tipos de conexão

5.3.6 Considerações sobre as proteções

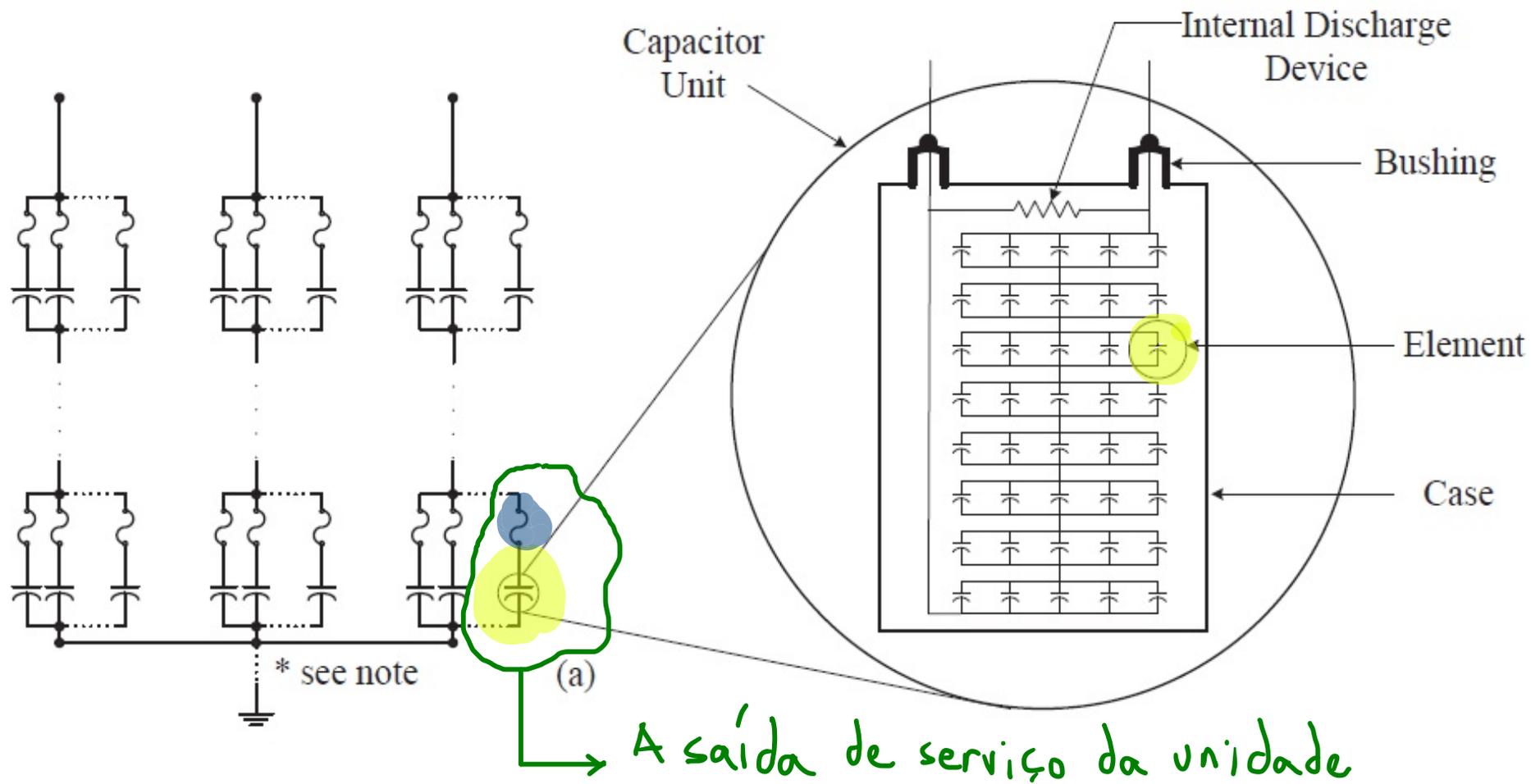
5.3.7 Proteções das unidades e proteção sistêmica

Não esqueça
da presença

5.3.1 Tipos de capacitores

- a) Externally fused: fusíveis individuais por unidade capacitiva
- b) Internally fused: fusíveis para cada elemento capacitivo dentro da unidade
- c) Fuseless: unidades capacitivas em série, sem qualquer tipo de elemento fusível
- d) Unfused: unidades e/ou elementos capacitivos ligados em diversos arranjos série/paralelo distintos

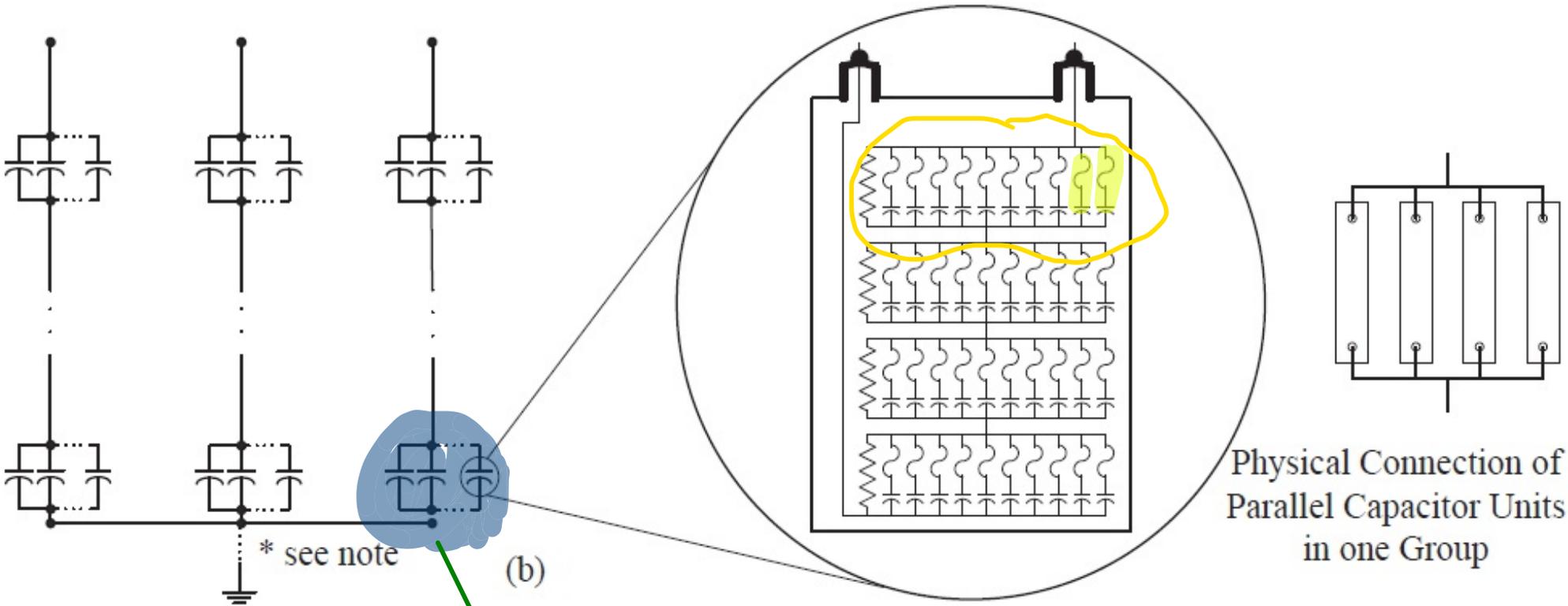
a) Externally fused: fusíveis individuais por unidade capacitiva



a) Externally fused (cont.)

- São configurados a partir da conexão série de vários conjuntos de unidades em paralelo
- Existem fusíveis individuais por unidade capacitiva, posicionados entre cada barramento e a respectiva unidade (capaz de retirar de serviço uma unidade inteira)
- As unidades são capazes de suportar níveis de tensão dentro do especificado (110% do valor nominal) de modo que o banco permaneça operando ainda nessa condição degradada (essa condição gera alarme, porém sem retirada de serviço)

b) Internally fused: fusíveis para cada elemento dentro de cada unidade



* see note

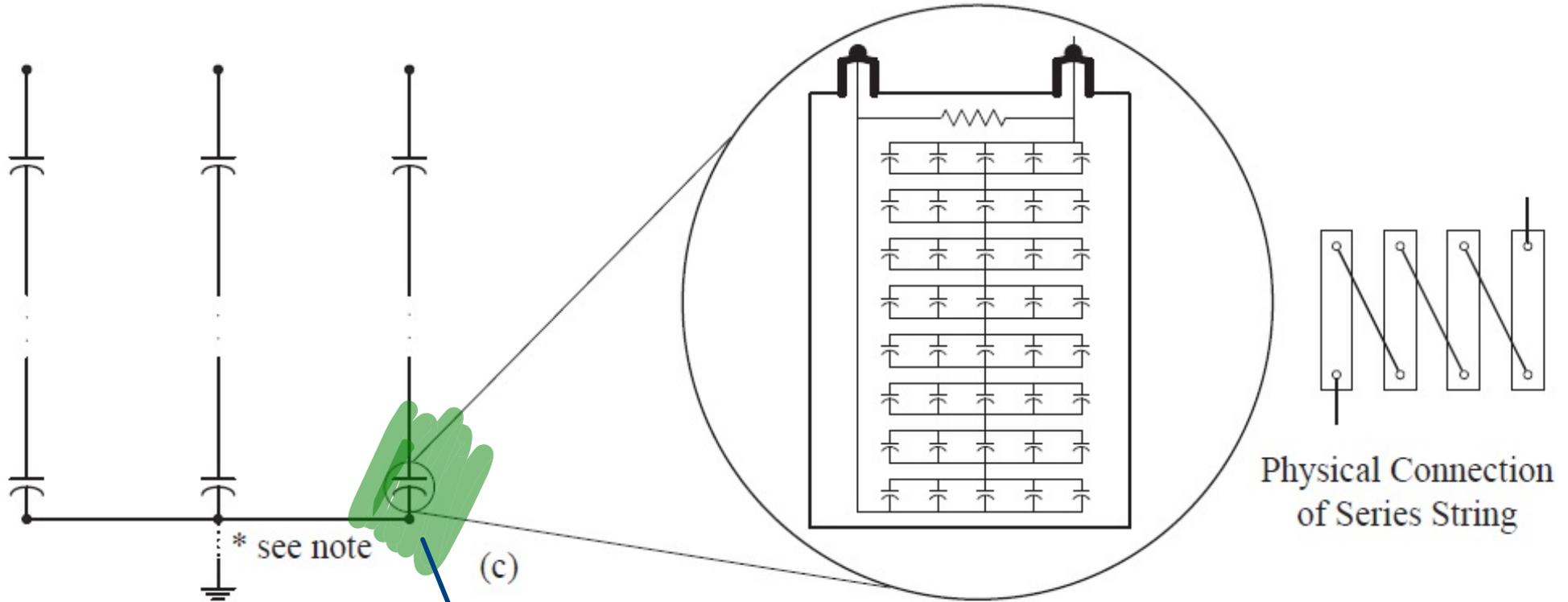
(b)

Menos unidades em paralelo e mais unidades em série

b) Internally fused (cont.)

- As unidades tipicamente possuem um alto valor de potência reativa e não se espera um modo de falha que atinja toda a unidade (fusíveis internos impedem que isso ocorra - qualquer desbalanço decorrente de capacitor em falha produz a abertura do respectivo fusível)
- O fusível deve suportar correntes de carga dos capacitores sãos em direção ao capacitor defeituoso

b) Fuseless: unidades capacitivas conectadas em série, sem fusíveis. Internamente são arrays de elementos capacitivos também sem fusíveis



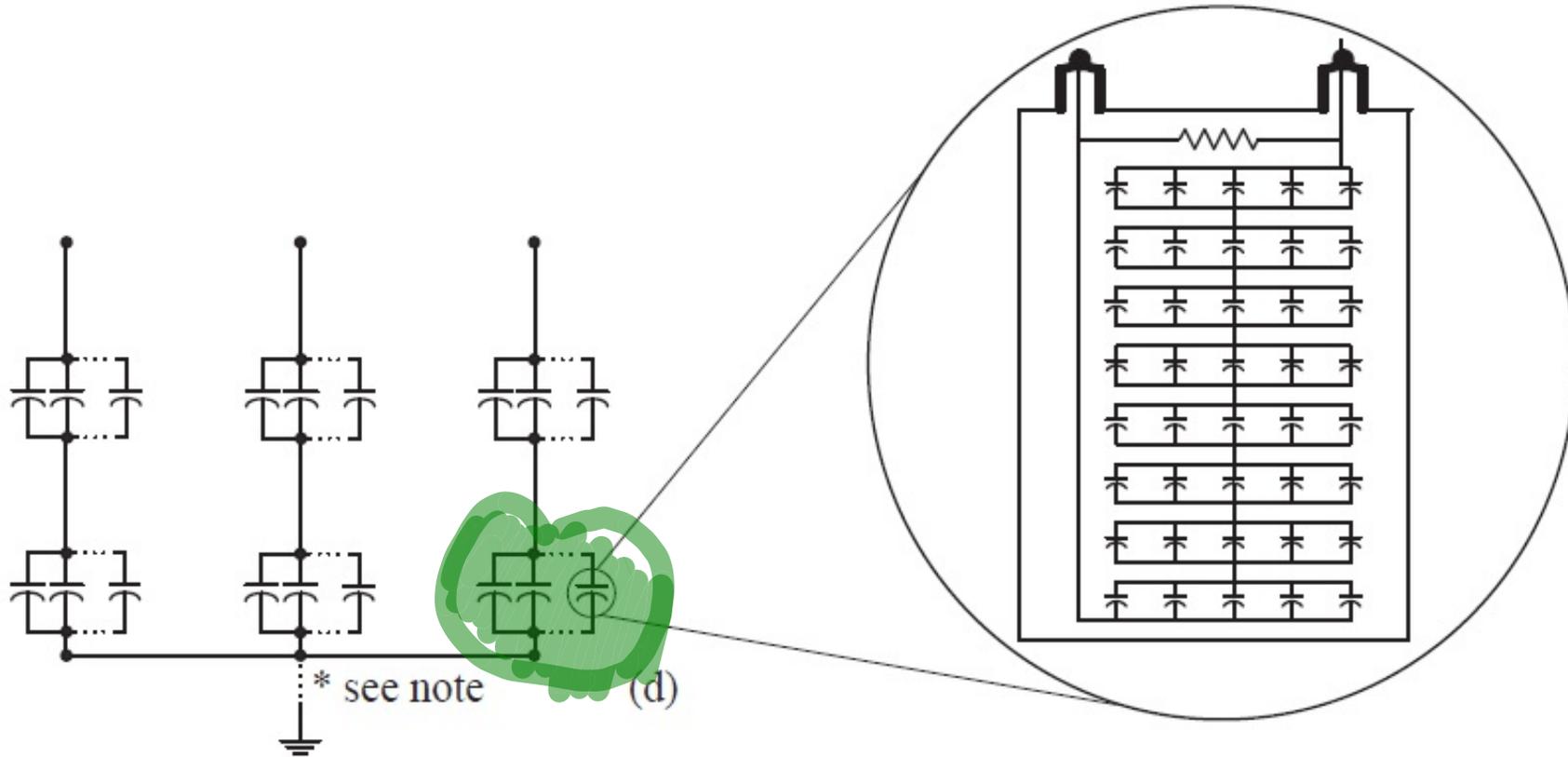
(c)

Unidades capacitivas ligadas em série (no mínimo 20)

c) Fuseless (cont.):

- Os bancos de capacitores do tipo fuseless são normalmente utilizados quando o modo de falha consiste no curto-circuito de uma unidade inteira e a tensão no restante das unidades do banco não será suficiente para exceder a sua capacidade
- Geralmente utiliza-se esse arranjo para tensões superiores a 34,5kV. As unidades capacitivas são isoladas por meio duas buchas
- A proteção mede o desbalanço de tensão (não existe preocupação com descarga entre unidades, porque não há conexão em paralelo das mesmas)

d) Unfused: elementos capacitivos e unidades capacitivas conectadas em arranjos série-paralelo definidos pelo fabricante



d) Unfused (cont.):

- Nesse arranjo utiliza-se conexões série e/ou paralelas das unidades capacitivas (obs.: todo arranjo fuseless é unfused, mas nem todo unfused é fuseless)
- Não tem sido utilizado de forma corriqueira, porque a proteção sistêmica deve ser customizada em função do arranjo
- É utilizado em níveis de tensão inferiores a 34,5kV

5.3.2 Aspectos técnicos das unidades (sobretensões e sobrecorrentes)

a) Devem operar de forma contínua, ininterrupta para a tensão nominal a que foram projetados. Podem operar em contingência, desde seguintes limitações não sejam ultrapassadas:

a.1) 110% do valor eficaz da tensão nominal - produz alarme

a.2) 120% do valor de pico da tensão nominal - produz alarme

} Critérios de
tensão

a.3) 135% da corrente nominal, que é calculada tomando-se a tensão nominal e a potência aparente nominal

} Critério de
corrente

a.4) 135% da potência reativa nominal



5.3.2 Aspectos técnicos das unidades (cont.)

- b) A capacitância da unidade não deve exceder a capacitância nominal em 10%, considerando a potência reativa nominal, tensão e frequência nominais e temperatura de regime de 25 graus Celsius
- c) No caso de temperaturas extremas, as unidades devem operar por até 4h (sem necessidade de desligamento) ininterruptas, em temperaturas de 40 graus Celsius e devem operar de forma ininterrupta em temperaturas de até -40 graus Celsius
- d) Unidades de tensão menor ou igual a 600V devem possuir resistores de descarga
- e) CUIDADO! Existem outras normas aplicáveis (IEEE, NEMA)

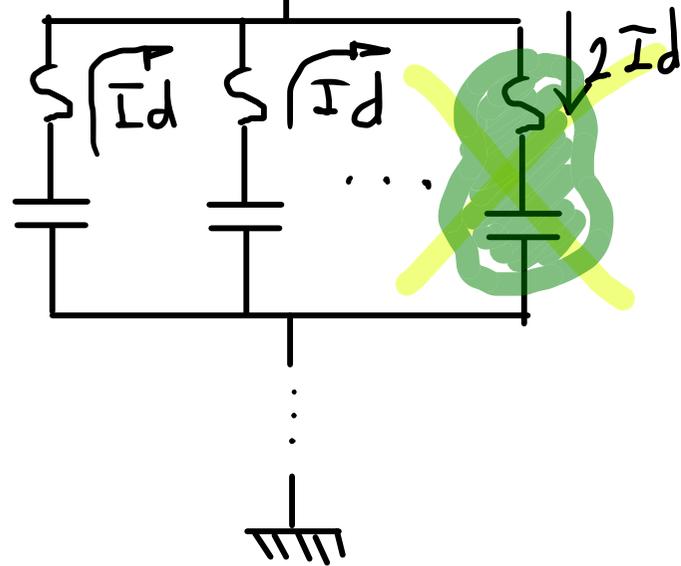
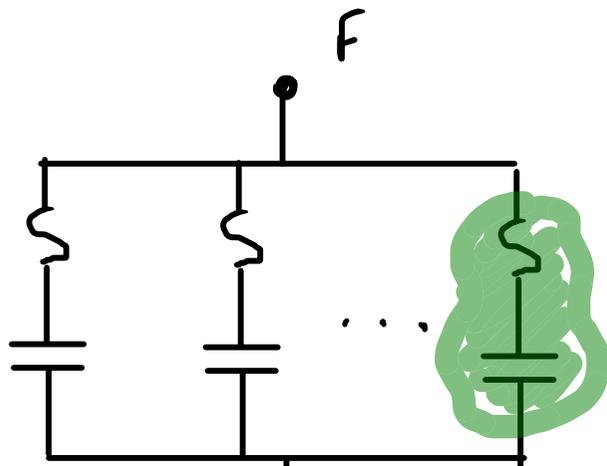
5.3.3 Projeto de banco de capacitores

O projeto de bancos de capacitores deve se basear não capacidade de suporte de reativos e também na capacidade de suporte de variações nas tensões e corrente oriundas de eventos externos (manobras e curtos-circuitos). Além disso:

- a) Qualquer falha em elementos individuais (unidades e/ou elementos capacitivos) produz o desligamento do elemento individual que se encontra em falta, ou da unidade toda, no menor tempo possível, reduzindo riscos à integridades dos equipamentos que se encontram na vizinhança e/ou riscos à vida humana. O desligamento se dá "preferencialmente" por fusíveis que devem estar coordenados com a proteção sistêmica
- b) Quando a unidade não possui fusíveis a proteção sistêmica (sobretensão, desequilíbrio de tensão, sobrecorrente, etc.) deve atuar rapidamente, sem a necessidade de coordenação

a) Externally fused

- a.1) Quanto menor o número de unidades série (depende da tensão nominal da unidade) maior será o desbalanço oriundo de falhas no sistema
- a.2) Esse número mínimo é determinado pela máxima sobretensão quando da perda de uma unidade inteira (provocada pela atuação responsável pela sua proteção)
- a.3) O número máximo de unidades em paralelo depende da capacidade de uma unidade sob falha suportar a descarga das outras unidades (transitório de alta frequência)



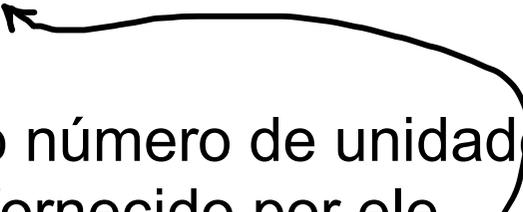
C_{eq}
 \vdots
 C_{eq}
 \vdots
 $C_{eq} \neq C_{eq}$

ATENÇÃO!!! Existem outras normas
 (p. ex. recomendações da NEMA)
 quanto ao número de unidades
 paralelas e quantos conjuntos de
 unidades em série.

b) Internally fused

- b.1) O uso de unidades capacitivas com alta capacidade de potência resulta em bancos de capacitores com menor quantidade de unidades e, ao mesmo tempo, permite a falha de vários elementos capacitivos da unidade antes da ocorrência de algum desequilíbrio significativo
- b.2) A IEEE C37.99 recomenda que pelo menos duas unidades sejam colocadas em paralelo para formar o array em série de modo que as sobretensões sejam limitadas
- b.3) O número máximo de unidades em paralelo depende da capacidade de uma unidade sob falha suportar a descarga das outras unidades (transitório de alta frequência)

ATENÇÃO: normalmente o número de unidades em paralelo por grupo série é definido pelo fabricante e fornecido por ele



c) Fuseless

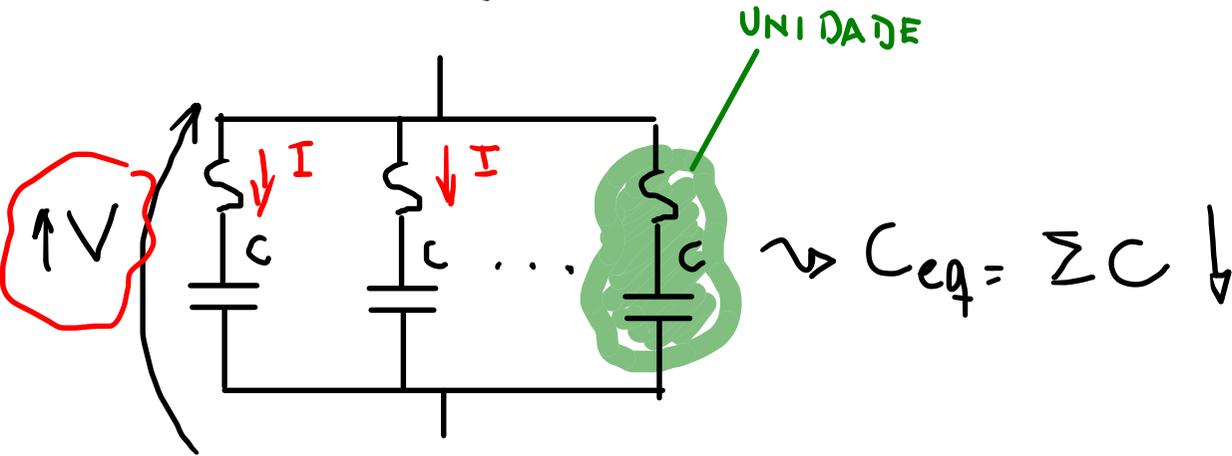
- c.1) Cada uma das unidades compõe um "string" em série que constitui uma das fases do banco de capacitores
- c.2) Normalmente são empregados em tensões superiores a 34,5kV
- c.3) Normalmente cada string possui mais de 10 unidades ($V_{op} = n \cdot V_n / (n-1)$), visto que devem suportar o critério de 110% de tensão nominal (RMS)

d) Unfused

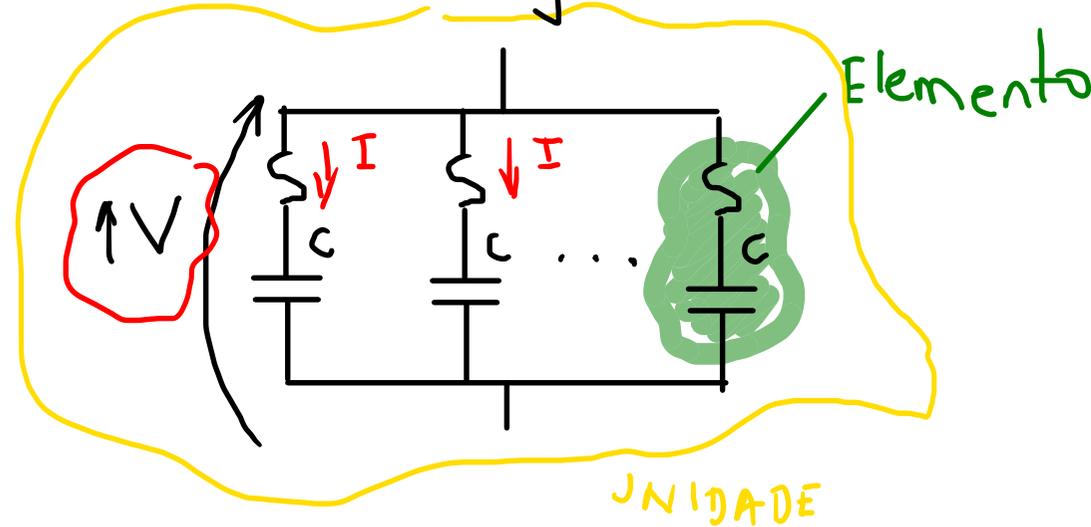
- d.1) Todo banco fuseless é unfused, mas nem todo unfused é fuseless (o arranjo série/paralelo é customizado pelo fabricante)
- d.2) As funções de proteção devem atuar sempre que houver desbalanço da ordem de 110% do nível de tensão

5.3.4 Sobretensões em capacitores

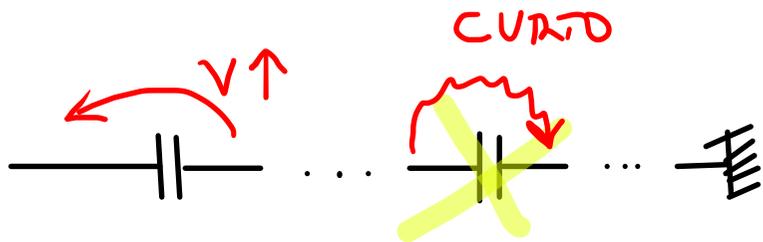
a) Externally fused



b) Internally fused



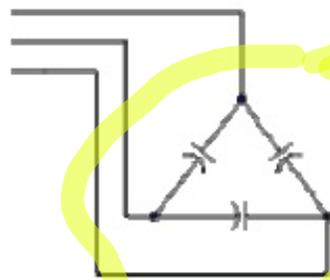
c) Fuseless



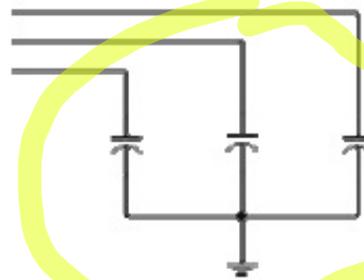
d) Unfused

Respeita os critérios e arranjos do fabricante.

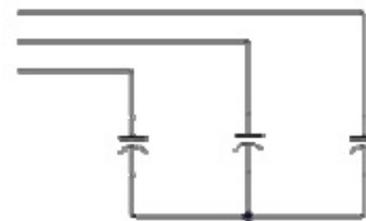
5.3.5 Tipos de conexões do banco



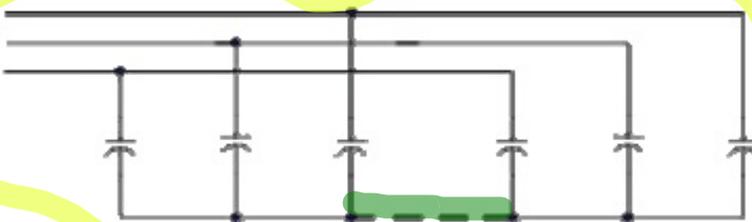
(a)



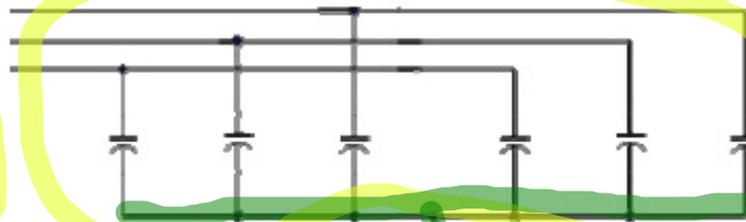
(b)



(c)

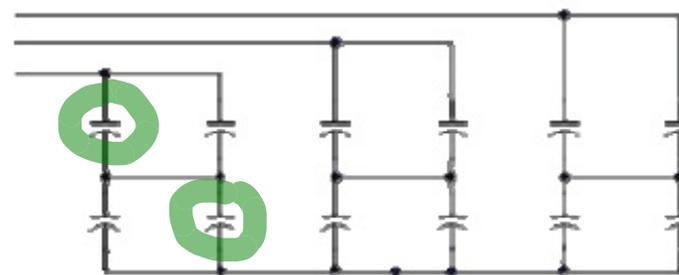


(d)



(e)

- (a) - delta
- (b) - grounded wye
- (c) - ungrounded wye
- (d) - ungrounded double wye - (neutrals may or may not be tied)
- (e) - grounded, double wye
- (f) - H configuration



(f)

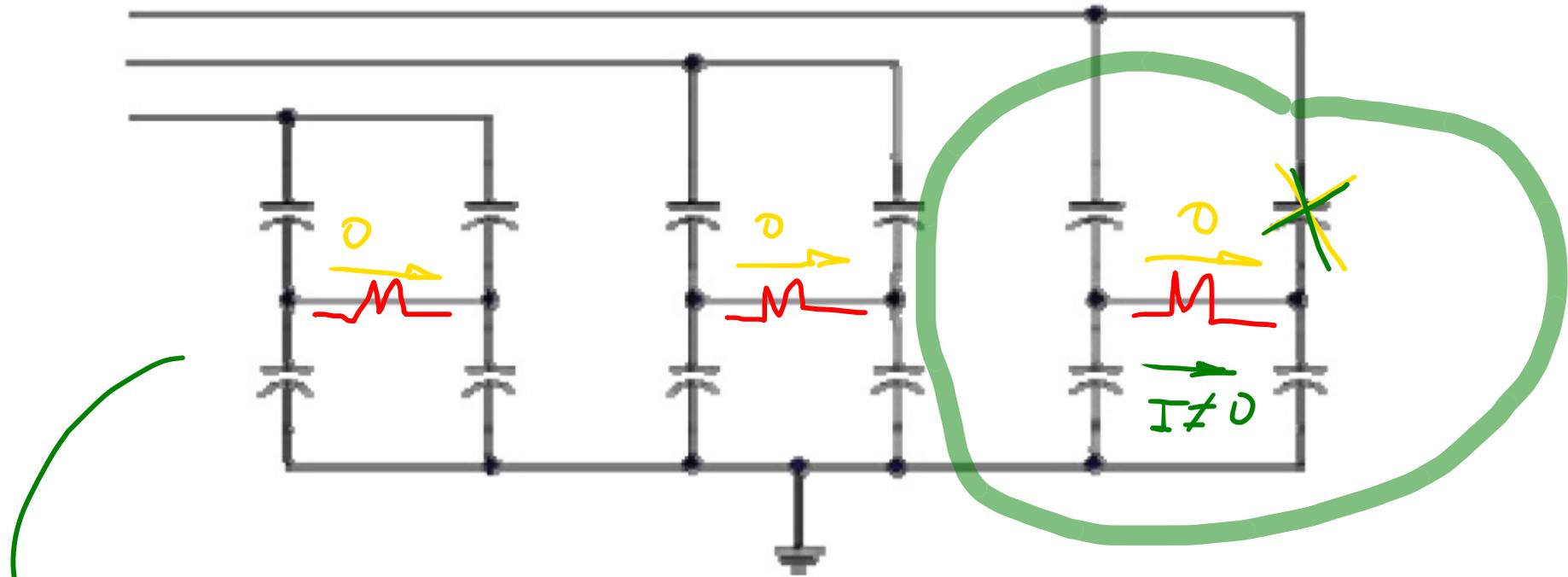
a) Estrela aterrada

- Demandam (todos os tipos de estrela aterrada) proteção contra sobretensões e desequilíbrios de tensão (caso haja mais de uma unidade por fase em qualquer arranjo)
- Capacitores aterrados constituem um caminho de baixa impedância para altas frequências
- Correntes de seq. zero externas podem ocasionar falhas de segurança na proteção sistêmica
- É recomendada pela IEEE Std 37.04 e são utilizados tanto os fuse quanto os fuseless (nesse último para tensões superiores a 34,5kV)
- Conexão duplo estrela (usados em níveis de tensão mais altos, com e sem fusível) permite a detecção de desbalanço com tensão diferencial ou corrente de seq. zero

b) Triângulo

- Normalmente utilizada em níveis de tensão de distribuição (com duas buchas por fase)
- Seq. zero e componentes harmônicas de terceira ordem não circuam nesse tipo de ligação
- Quando há a isolação de uma unidade faltosa, todo o ramo é desligado e não há sobretensão nos demais elementos do banco
- Se for internally fused deve-se medir o desbalanço pra detectar algum fusível queimado

b) Conexão H



É uma espécie de "corrente diferencial"

5.3.6 Considerações sobre as proteções

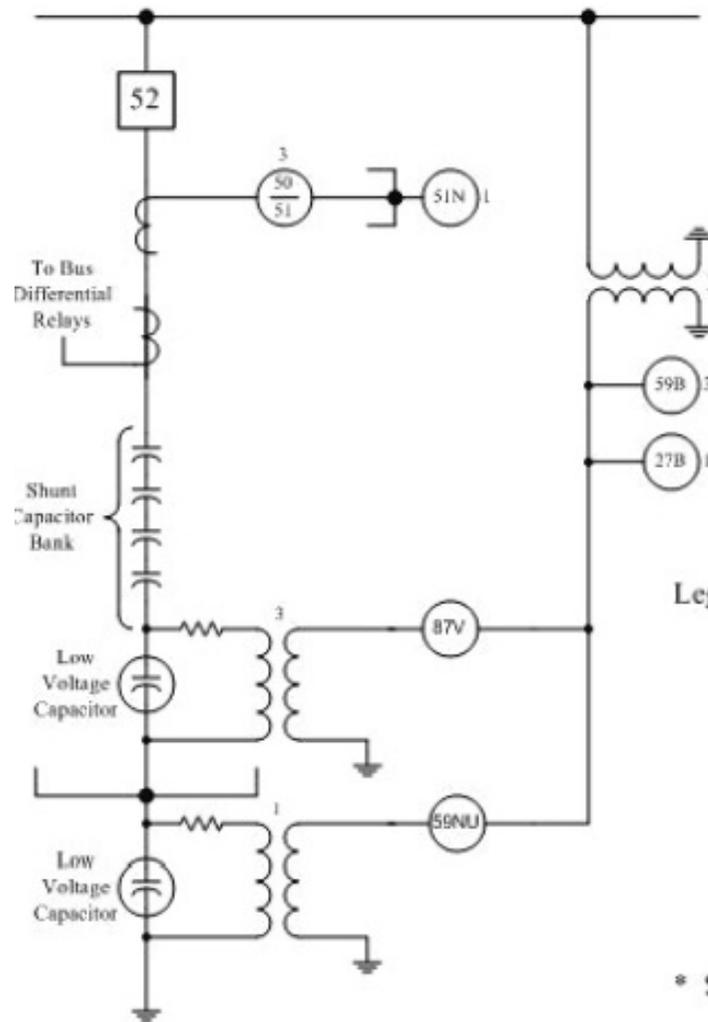
The performance of the protection method can be influenced by the design of the capacitor bank. Therefore, protection consideration begins with bank design (see 4.3). In general, shunt capacitor bank design requirements necessitate an increase in minimum bank size with system voltage. The higher the system voltage, the larger the bank investment and risk of costly damage, if protection does not operate correctly. Although capacitors having large kilovar ratings may reduce the overall cost of the bank, they may also reduce the choice of different capacitor connections or combinations.

5.3.6 Proteção do banco e sistêmica

	Bank protection	
Condition	Type of protection	Remarks
Faulted capacitor element.	External or internal fuse for fused banks; weld, which occurs at the failure, for banks without fuses.	Fuses should be fast to coordinate with fast unbalance relay settings but should not operate during switching or external faults.
Fault from capacitor elements to case, bushing failure, faulty connection in capacitor unit.	Fuse for externally fused capacitor; unbalance protection for internally fused banks or banks without fuses.	For externally fused capacitor banks, fuses should be fast to coordinate with fast unbalance relay settings but should not operate during switching or external faults. For internally fused banks or banks without fuses, the unbalance protection should be fast to avoid case rupture but should not operate during switching or external faults.
Fault in capacitor bank other than in unit (arcing fault in bank).	Unbalance protection. Relay should have an appropriate filtering in currents and/or voltages for security.	Unbalance protection should be fast to minimize damage to other units during a major fault. Time delay of 0.05 s to 0.1 s has been used. See 7.1.4 and 8.3.4b)
Continuous overvoltage on capacitor elements or units due to faulted elements or fuse operations within the bank.	Unbalance protection. Relay should have an appropriate filtering in currents and/or voltages for security.	Bank should be tripped for voltages >110% of rated voltage or as recommended by manufacturer on healthy capacitor units. An alarm may be added for 5% unbalance or one unit out. (In some critical applications an alarm with delayed tripping above 110% of rated voltage is used; see 7.1.4.)
Rack-to-rack flashover in two series group phase-over-phase single wye banks.	Phase overcurrent or negative sequence relay; unbalance current for wye-wye capacitor banks.	Fast operation is required to minimize damage. See 7.1.4 and 7.1.5.

System protection		
Condition	Type of protection	Remarks
System surge overvoltage.	Surge arresters.	Selection of surge arrester may require consideration of bank energy, particularly for larger capacitor banks.
Power frequency system overvoltage.	Phase voltage relays.	For a distorted voltage waveform, the capacitor dielectric is sensitive to the peak voltage.
Harmonic current overloading.	Relay sensitive to harmonic current.	Where excessive harmonic currents are anticipated, harmonic relaying may be required.
Bus fault in capacitor installation or major capacitor bank failure.	<ul style="list-style-type: none"> a) Circuit breaker or circuit switcher with conventional relays b) Power fuses. 	Relays or power fuses should be as fast as possible without nuisance operations due to outrush currents into nearby faults.
Fault in or near substation, but outside capacitor installation.	Inrush and outrush limiting reactors.	Reactors may be required to protect circuit breakers, current transformer circuits, and other components against excessive currents or induced voltages. Use of reactors require mitigation methods to address high TRV issues on circuit breakers
Excessive inrush current.	<ul style="list-style-type: none"> (a) Insertion resistor or reactor in switch, breaker, or circuit switcher (b) Inrush and outrush limiting reactors between capacitor banks (c) Synchronous (zero voltage) closing of the switch or circuit breaker. 	Energizing a capacitor bank in close proximity to an energized capacitor bank may result in excessive inrush currents, damaging circuit breakers or switches, causing undesired fuse operations, causing excessive voltages in current transformers and relays, causing arcing at gate latches, and so on.

System outage.	Undervoltage relays.	Capacitor banks (which may be) energized through a transformer without load on the transformer may need to be switched off before reenergizing the system.
Transmission line tripping (for capacitor banks connected to a transmission line segment).	(a) Transfer tripping of the capacitor bank switch (b) Undervoltage relays.	Capacitor banks directly connected to a transmission line with no connected load may need to be disconnected from the line before reclosing the line.
Breaker failure.	Breaker failure relays.	Local or remote breakers should have capacitor switching capability if they trip the bank without parallel load during breaker failure conditions.



Legend*:

- 52 - Breaker
- 50/51 - Overcurrent relay
- 51N - Neutral overcurrent relay
- 59B - Bus overvoltage relay
- 27B - Bus undervoltage relay
- 87V - Voltage differential relay
- 59NU - Neutral unbalance relay

* See IEEE C37.2-2008™ for definitions