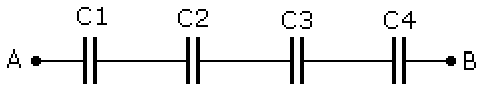
CAPACITORES
ASSOCIAÇÃO - CARGA - TENSÃO DE TRABALHO

A exemplo dos resistores, os capacitores podem ser associados para a obtenção de valores desejados.

ASSOCIAÇÃO SÉRIE:

Na associação série de capacitores, a capacitância equivalente (CT) é menor do que o menor valor de capacitância associada ao circuito.



$$CT_{AB} = \frac{1}{\frac{1}{C1}+\frac{1}{C2}+\frac{1}{C3}+\frac{1}{C4}} \rightarrow \frac{1}{CT_{AB}} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + \frac{1}{C4}$$

Supondo:

C1 = 1μF
C2 = 2μF
C3 = 4μF
C4 = 5μF

A capacitância total deverá ser menor do que C1, que é o menor capacitor associado ao circuito.

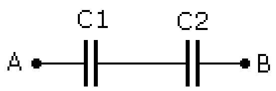
Resolvendo:

$$\frac{1}{CT_{AB}} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} \rightarrow \text{mmc} = 20$$

$$\frac{1}{CT_{AB}} = \frac{20+10+5+4}{20} = \frac{39}{20}$$

$$CT_{AB} = \frac{20}{39} = 0{,}513\mu F$$

Para dois capacitores podemos usar a fórmula *produto dividido pela soma.*



$$CT_{AB} = \frac{C1.C2}{C1 + C2}$$

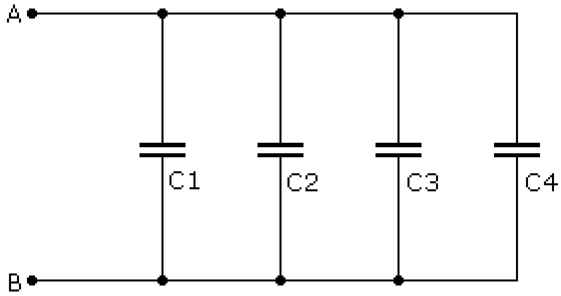
Supondo:

C1 = 3μF
C2 = 6μF

$$CT_{AB} = \frac{3\,.\,6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2\mu F$$

ASSOCIAÇÃO PARALELA:

A capacitância total (CT) de uma associação paralela resulta na soma de todas as capacitâncias do circuito. Neste caso, a CT será sempre maior do que o maior valor de capacitância associada ao circuito.



$$CT_{AB} = C1 + C2 + C3 + C4$$

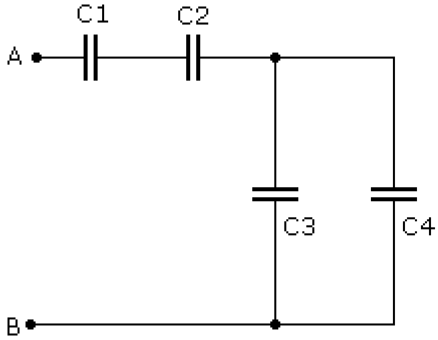
Supondo:

C1 = 1μF
C2 = 2μF
C3 = 4μF
C4 = 5μF

$$CT_{AB} = 1 + 2 + 4 + 5 = 12\mu F$$

ASSOCIAÇÃO MISTA (SÉRIE-PARALELA):

Embora sua resolução seja mais trabalhosa, não há dificuldade nenhuma para sua resolução desde que sejam respeitados os critérios de resolução e seu fundamento teórico.



No circuito acima C1 está em série com C2 e C3 está em paralelo com C4. Então:

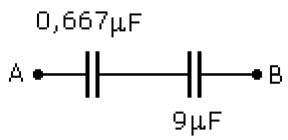
CT_{AB} = (C1 *em série com* C2) *em série com* (C3 *em paralelo com* C4)

Supondo:

C1 = 1μF
C2 = 2μF
C3 = 4μF
C4 = 5μF

Resolvendo C1 em série com C2 ➔ $\frac{1 \cdot 2}{1+2} = \frac{2}{3} = 0{,}667\mu F$

Resolvendo C3 em paralelo com C4 ➔ C3 + C4 = 4 + 5 = 9μF



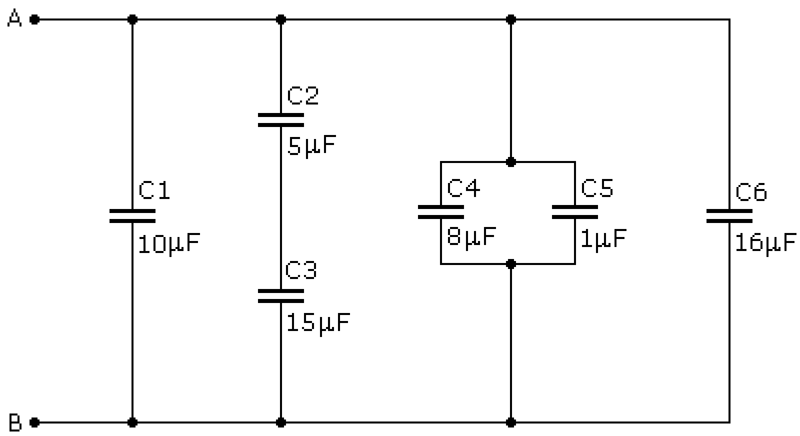
Resolvendo a associação série entre 0,667μF e 9μF:

$$\frac{0{,}667 \cdot 9}{0{,}667+9} = \frac{6{,}003}{9{,}667} = 0{,}621\mu F$$

$$CT_{AB} = 0{,}621\mu F$$

EXERCÍCIO RESOLVIDO:

Calcule a CT entre os pontos A e B:



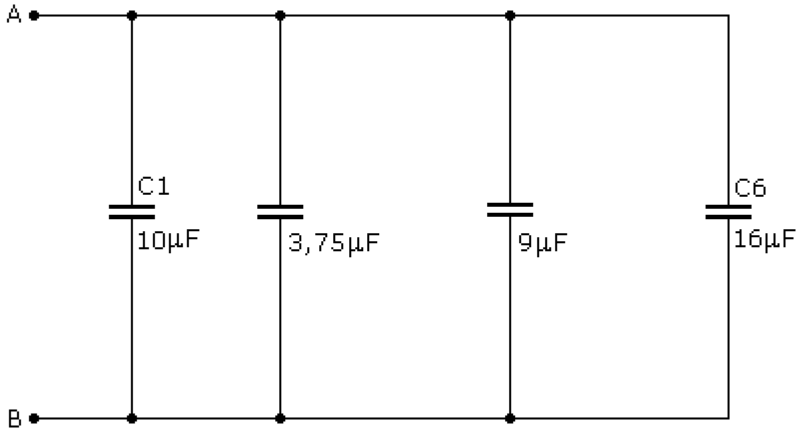
Resolvendo a associação C2 em série com C3:

$$CT = \frac{5 \cdot 15}{5+15} = \frac{75}{20} = 3{,}75\mu F$$

Resolvendo a associação C4 em paralelo com C5:

$$CT = C4 + C5 = 8 + 1 = 9\mu F$$

Teremos então o circuito equivalente mostrado abaixo, onde tudo fica em paralelo:



Calculando a CT:

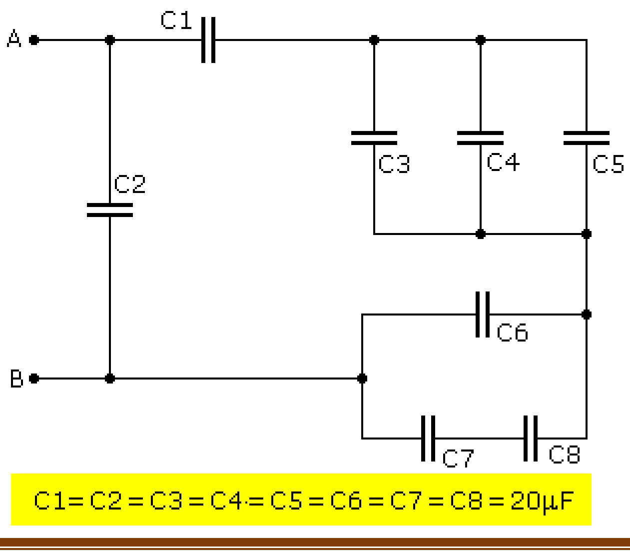
$$CT_{AB} = 10 + 3,75 + 9 + 16 = 38,75\mu F$$

Observe que os procedimentos matemáticos para a resolução de associação de capacitores, são opostos aos procedimentos adotados para a resolução de associação de resistores.

Resumindo: o procedimento para a resolução da associação série de capacitores, assemelha-se ao procedimento para a associação paralela de resistores e o procedimento para a resolução de associação paralela de capacitores, assemelha-se ao procedimento para a associação série de resistores.

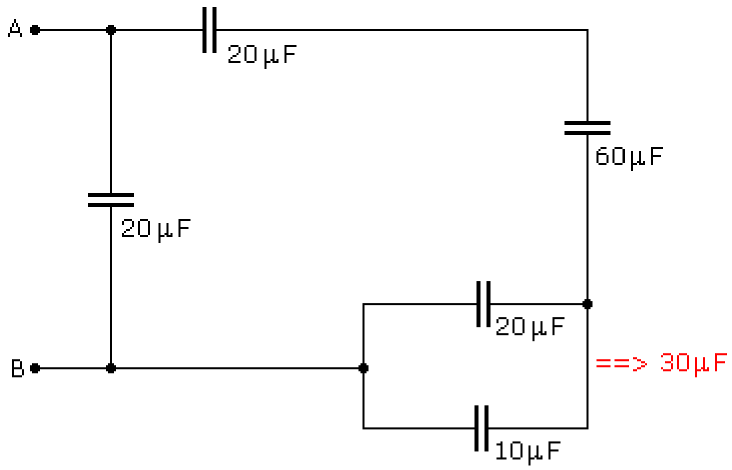
EXERCÍCIO RESOLVIDO:

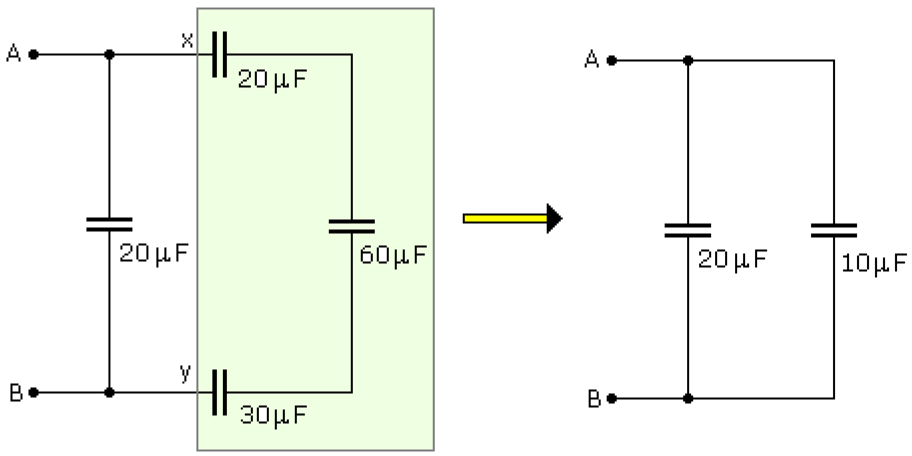
No circuito abaixo, todos os capacitores são de 20µF. Calcule a capacitância total entre os pontos A e B.



C3, C4 e C5 em paralelo = 20 . 3 = 60μF

C7 em série com C8 = 10μF





$CT_{xy} = 10\mu F$

Calculando a CT_{XY}

$$\frac{1}{CT_{XY}} = \frac{1}{20} + \frac{1}{60} + \frac{1}{30} \rightarrow \text{mmc} = 60$$

$$\frac{1}{CT_{XY}} = \frac{3+1+2}{60} = \frac{6}{60}$$

$$CT_{XY} = \frac{60}{6} = 10\mu F$$

Isto resulta do circuito final onde temos 20μF em paralelo com 10μF

$$CT_{AB} = 30\mu F$$

CARGA EM UM CAPACITOR

A quantidade de carga armazenada na placa de um capacitor é diretamente proporcional à diferença de potencial entre as placas. O quociente entre carga (Q) e diferença de potencial (U ou V) é então uma constante para um determinado capacitor e recebe o nome de capacitância (C).

Quando o capacitor possui um isolante elétrico entre suas placas, sua capacitância aumenta. Este isolante dificulta a passagem das cargas de uma placa a outra, o que descarregaria o capacitor. Dessa forma, para uma mesma diferença de potencial, o capacitor pode armazenar uma quantidade maior de carga.

A fórmula para determinar a quantidade de carga armazenada por um capacitor é:

$$Q = C.V$$

Q = carga adquirida em coulomb (C)[1]
C = capacitância em farad (F)[2]
V ou U = tensão em volts

$$C = \frac{Q}{V} \qquad V = \frac{Q}{C}$$

TENSÃO DE TRABALHO

Como vimos anteriormente, ao se aplicar uma diferença de potencial entre as armaduras ou placas de um capacitor este adquire uma carga, proporcional a sua capacitância.

No entanto, existe uma limitação de tensão a ser aplicada entre as placas, limitações estas impostas principalmente pelo tipo de dielétrico utilizado.

O dielétrico faz a função de isolante entre as placas.

A carga adquirida por um capacitor bem como sua limitação de tensão de trabalho (máxima tensão a ser aplicada nas armaduras ou placas), varia da forma como ele está ligado ao circuito.

---

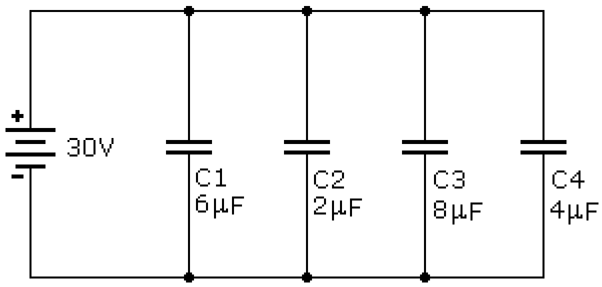
[1] O **coulomb** (símbolo: C) é a unidade de carga elétrica pelo Sistema Internacional (SI).
É uma unidade composta definida a partir do ampère:
1 coulomb é a quantidade de carga elétrica carregada pela corrente de 1 ampère durante 1 segundo.
Seu nome vem do nome do físico francês **Charles de Coulomb** (1736-1806).
[2] O **farad** (símbolo F) é a unidade SI de capacitância elétrica. Seu nome foi dado em homenagem ao cientista britânico **Michael Faraday** (1791 — 1867).

Assim, o comportamento de carga e tensão de trabalho são diferenciadas nas associações série e paralela.

CARGA E TENSÃO DE TRABALHO EM UMA ASSOCIAÇÃO PARALELA:

Tomemos como exemplo o circuito abaixo.

1) calcule a carga armazenada em cada capacitor;
2) calcule a carga armazenada pelo circuito;
3) determine qual deve ser a tensão de trabalho dos mesmos.



Como se trata de uma associação paralela de capacitores, temos a mesma ddp aplicada em seus terminais. Logo a tensão de trabalho mínima para cada um dos capacitores é de 30V.

Utilizando a fórmula: Q = C.V podemos calcular a carga adquirida por capacitor:

$QC1 = 6\mu F \cdot 30V = 180\mu C$
$QC2 = 2\mu F \cdot 30V = 60\mu C$
$QC3 = 8\mu F \cdot 30V = 240\mu C$
$QC4 = 4\mu F \cdot 30V = 120\mu C$

Na associação paralela as cargas adquiridas pelos capacitores são proporcionais a sua capacitância.

A carga total da associação é a soma das cargas individuais dos capacitores:

$$QT = QC1 + QC2 + QC3 + QC4 = \mathbf{600\mu C}$$

Ou: **QT = CT . V**

$CT = C1 + C2 + C3 + C4 = 20\mu F$

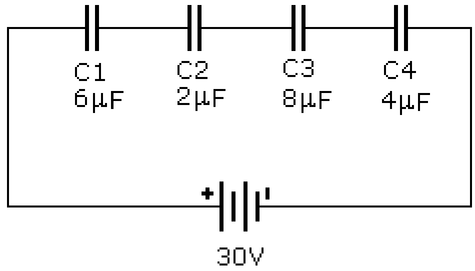
$$QT = 20\mu F \cdot 30V = \mathbf{600\mu C}$$

CARGA E TENSÃO DE TRABALHO EM UMA ASSOCIAÇÃO SÉRIE:

Em uma associação série de capacitores a relação carga e tensão de trabalho é completamente diferente comparada a associação paralela.

Tomemos como exemplo o circuito abaixo:

1) calcule a carga armazenada em cada capacitor;
2) calcule a carga armazenada pelo circuito;
3) determine qual deve ser a tensão de trabalho dos mesmos.



→ CALCULANDO A CT:

$$\frac{1}{CT} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + \frac{1}{C4} \rightarrow \frac{1}{6} + \frac{1}{2} + \frac{1}{8} + \frac{1}{4} \quad \text{mmc} = 24$$

$$\frac{1}{CT} = \frac{4+12+3+6}{24} = \frac{25}{24} \rightarrow CT = \frac{24}{25} = 0{,}96\mu F$$

CT = 0,96µF

→ CALCULANDO A CARGA NOS CAPACITORES:

Uma característica importante na associação série de capacitores, é que a carga é sempre igual para todos os capacitores.

A carga nos capacitores é dada por: **QT = CT.V**

Então cada capacitor se carregará com: 0,96µF . 30V = **28,8µC**

ONDE 28,8µC É A CARGA TOTAL DA ASSOCIAÇÃO

→ CALCULANDO A TENSÃO EM CADA CAPACITOR:

A tensão em cada capacitor é calculada pela fórmula: $V = \frac{QT}{C}$

Na associação série de capacitores, cada capacitor adquire a mesma carga que é correspondente a carga total da associação.

$$VC1 = \frac{QT}{C1} = \frac{28{,}8\mu C}{6\mu F} = 4{,}8V$$

$$VC2 = \frac{QT}{C2} = \frac{28{,}8\mu C}{2\mu F} = 14{,}4V$$

$$VC3 = \frac{QT}{C3} = \frac{28{,}8\mu C}{8\mu F} = 3{,}6V$$

$$VC4 = \frac{QT}{C4} = \frac{28{,}8\mu C}{4\mu F} = 7{,}2V$$

Somando as tensões em cada capacitor, temos a tensão aplicada ao circuito:

$$VC1 + VC2 + VC3 + VC4 = 4{,}8 + 14{,}4 + 3{,}6 + 7{,}2 = 30V$$

→ TENSÃO DE TRABALHO DOS CAPACITORES:

Numa associação série de capacitores, o capacitor de menor capacitância será submetido a maior tensão.

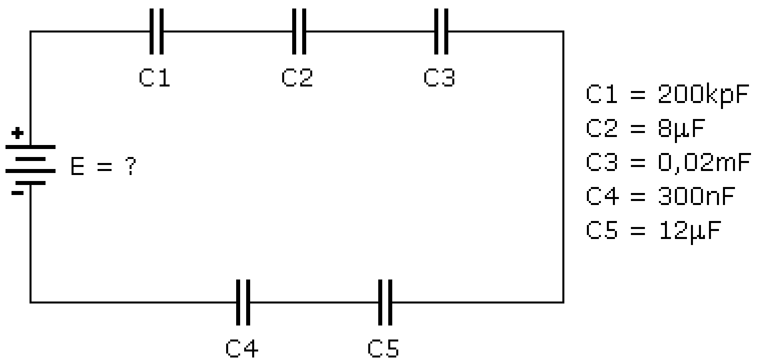
Observe no exercício resolvido que o capacitor C2, que tem o menor valor de capacitância na associação, está sendo submetido a maior tensão entre as suas armaduras.

A tensão de trabalho em C2 deverá ser de no mínimo 14,4V enquanto que C3 que tem o maior valor de capacitância está submetido a menor tensão, no caso 3,6V.

APLICAÇÃO DE CONCEITOS NA RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS

EXERCÍCIO RESOLVIDO:

Dado o circuito abaixo, sabendo-se que a carga adquirida por C5 é 12μC, determine o valor da tensão de entrada E.



Em uma associação série de capacitores, a carga adquirida em um capacitor, equivale a carga total.

Assim: Q5 = QT = 12μC

Portanto, todos os capacitores estarão com carga de 12μC

Convertendo os valores para μF para facilitar os cálculos:

C1 = 200kpF = 0,2μF
C2 = 8μF
C3 = 0,02mF = 20μF
C4 = 300nF = 0,3μF
C5 = 12μF

Calculando as tensões nos capacitores:

$$VC1 = \frac{QT}{C1} = \frac{12\mu C}{0{,}2\mu F} = 60V$$

$$VC2 = \frac{QT}{C2} = \frac{12\mu C}{8\mu F} = 1{,}5V$$

$$VC3 = \frac{QT}{C3} = \frac{12\mu C}{20\mu F} = 0{,}6V$$

$$VC4 = \frac{QT}{C4} = \frac{12\mu C}{0{,}3\mu F} = 40V$$

$$VC5 = \frac{QT}{C5} = \frac{12\mu C}{12\mu F} = 1V$$

Somando das tensões de cada capacitor:

$$VC1 + VC2 + VC3 + VC4 + VC5 = 60 + 1{,}5 + 0{,}6 + 40 + 1 = 103{,}1V$$

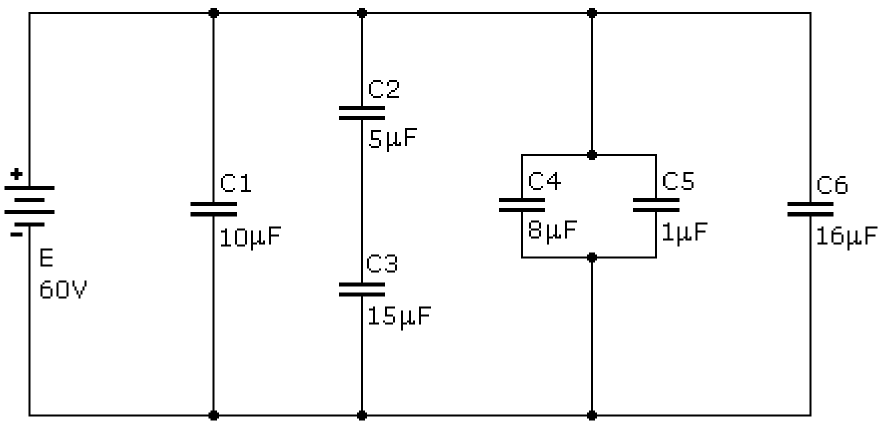
$$\mathbf{E = 103{,}1V}$$

Observe que o capacitor de menor capacitância do circuito é C2 de 0,2μF.

Portanto é o capacitor que deve suportar maior tensão, no caso, 60V.

EXERCÍCIO RESOLVIDO:

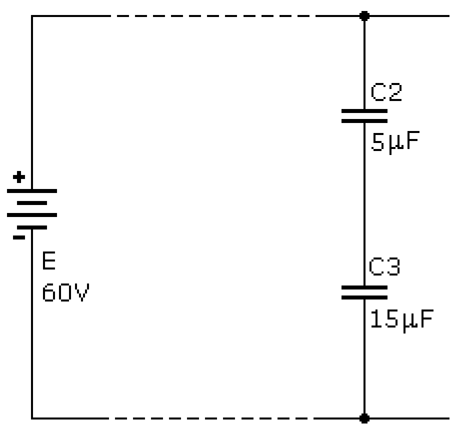
No circuito a seguir, calcule a carga adquirida pelo capacitor C3.



No circuito temos os seguintes ramos, que estão submetidos a uma tensão de 60V:

1) C1
2) C2 em série com C3
3) C4 em paralelo com C5
4) C6

Como nos interessa saber a carga em C3, veremos então o comportamento do ramo formado por C2 em série com C3.



$$CT = \frac{C2.C3}{C2 + C3} = \frac{15\,.\,5}{15 + 5} = \frac{75}{20} =$$

3,75µF

Carga adquirida por esse ramo (C2 em série com C3):

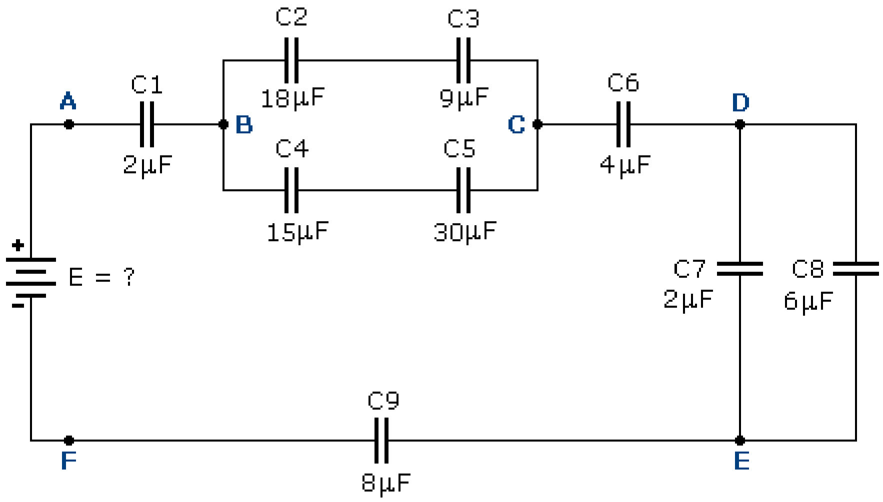
$$Q = C.V = 60V\ .\ 3{,}75\mu F = 225\mu C$$

Como C2 está em série com C3, então a carga é igual para C2 e C3, logo:

$$\mathbf{Q3 = 225\mu C}$$

EXERÍCIO RESOLVIDO:

Sabe-se que a carga adquirida pelo capacitor C9 é de 32µC. Qual deve ser o valor da tensão de entrada E para que isso ocorra?



→ CT entre os pontos B e C

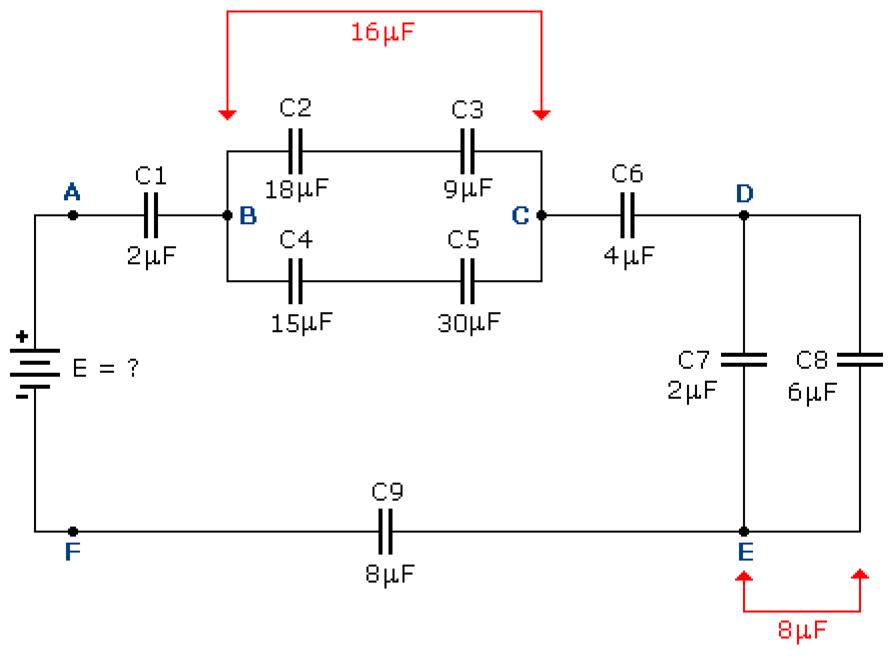
C2 em série com C3 = $\dfrac{18\,.\,9}{18+9} = \dfrac{162}{27}$ = 6μF

C4 em série com C5 = $\dfrac{15\,.\,30}{15+30} = \dfrac{450}{45}$ = 10μF

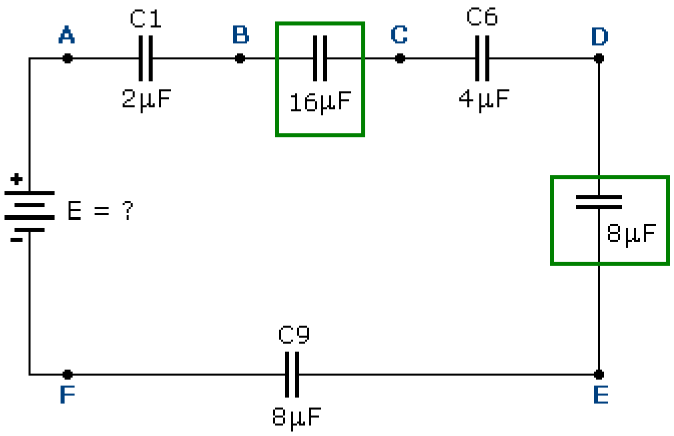
Portanto CT entre B e C = 16μF (pois os 2 ramos estão em paralelo)

→ CT entre os pontos D e E

C7 em paralelo com C8 = 2μF + 6μF = 8μF



Teremos o circuito equivalente mostrado a seguir:



→ CÁLCULO DA TENSÃO DE ENTRADA "E":

O circuito equivalente final mostra que todos os capacitores estão em série.

A carga de C9 é 32µC (dado fornecido), logo todos os capacitores estarão submetidos a mesma carga. A carga em C9 é a carga total da associação (QT)

VC1 (pontos A e B) = $\frac{32\mu C}{2\mu F}$ = 16V

VC (pontos B e C) = $\frac{32\mu C}{16\mu F}$ = 2V

VC6 (pontos C e D) = $\frac{32\mu C}{4\mu F}$ = 8V

VC (pontos D e E) = $\frac{32\mu C}{8\mu F}$ = 4V

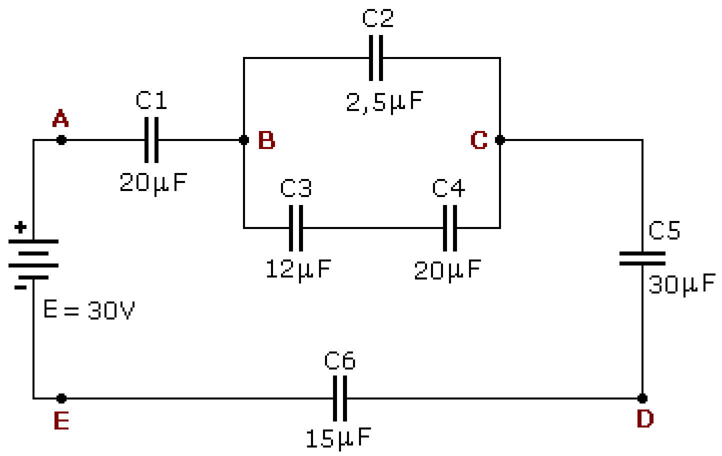
VC9 (pontos E e F) = $\frac{32\mu C}{8\mu F}$ = 4V

E = 16V + 2V + 8V + 4V + 4V = 34V

E = 34V

EXERÍCIO RESOLVIDO:

No circuito a seguir, determine a carga adquirida pelo capacitor C3.

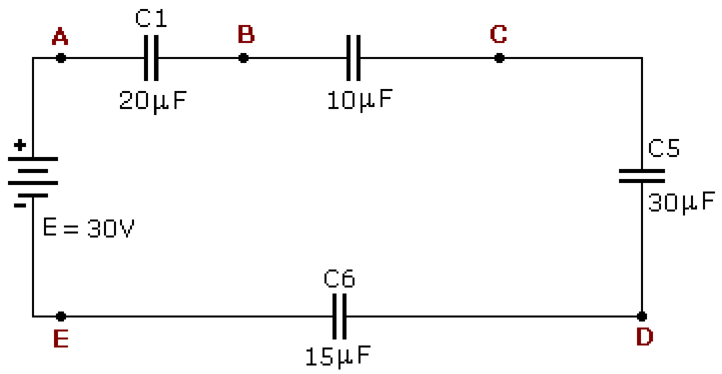


→ OTIMIZANDO O CIRCUITO:

C3 está em série com C4 que estão em paralelo com C2 (pontos B e C):

$$CT = \frac{C3 . C4}{C3 + C4} = \frac{12 . 20}{12 + 20} = \frac{240}{32} = 7{,}5\mu F$$

C2 em paralelo com 7,5μF = 7,5 + 2,5 = 10μF



→ CALCULANDO AS QUEDAS DE TENSÃO NOS CAPACITORES:

É necessário calcular a CT e a QT

$$\frac{1}{CT} = \frac{1}{20} + \frac{1}{10} + \frac{1}{30} + \frac{1}{15} \quad \text{mmc} = 60$$

$$\frac{1}{CT} = \frac{3 + 6 + 2 + 4}{60} = \frac{15}{60} \rightarrow CT = \frac{60}{15} = 4\mu F$$

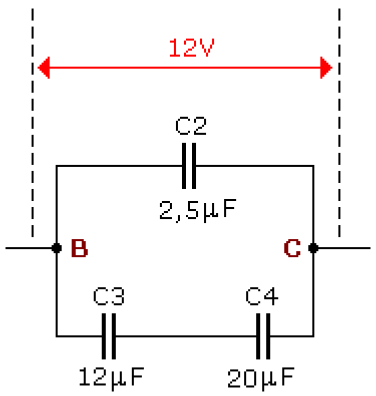
$$QT = 30V . 4\mu F = 120\mu C$$

$$VC1 = \frac{QT}{C1} = \frac{120\mu C}{20\mu F} = 6V$$

$$VC_{BC} = \frac{QT}{C_{BC}} = \frac{120\mu C}{10\mu F} = 12V$$

$$VC5 = \frac{QT}{C5} = \frac{120\mu C}{30\mu F} = 4V$$

$$VC6 = \frac{QT}{C6} = \frac{120\mu C}{15\mu F} = 8V$$



CT (C3 em série com C4) = 7,5μF

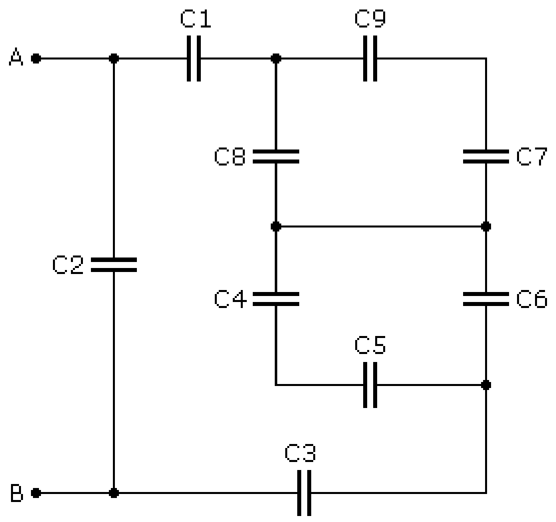
QT (C3 em série com C4) = 7,5μF . 12V = 90μC

Como C3 está em série com C4 a carga é a mesma, então a carga em C3 é 90μC

Q3 = 90μC

EXERCÍCIO RESOLVIDO:

Calcule a capacitância total entre os pontos A e B:

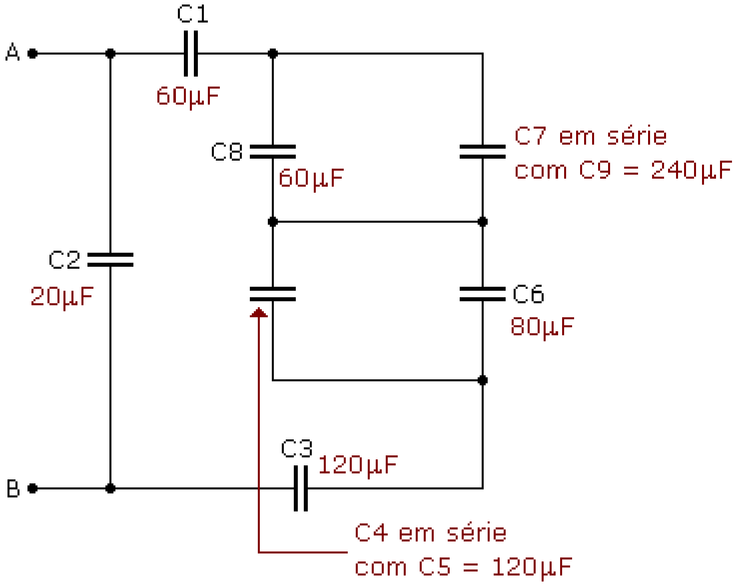


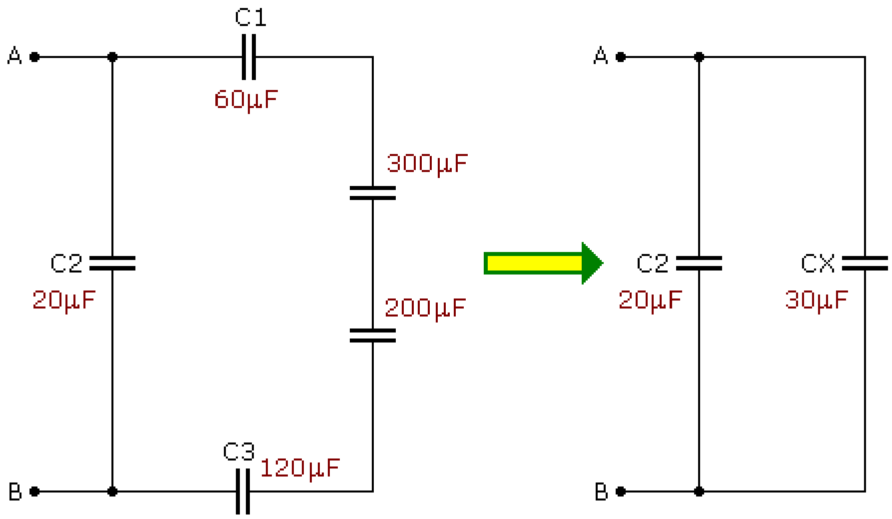
C1 = 0,06mF
C2 = 20μF
C3 = 120μF
C4 = 200.000nF
C5 = 3×10^{-4}F
C6 = $0{,}08 \times 10^{3}$μF
C7 = 600μF
C8 = 60×10^{6}pF
C9 = 0,4mF

Para facilitar os cálculos converteremos tudo para μF

C1 = 60μF
C2 = 20μF
C3 = 120μF
C4 = 200μF
C5 = 300μF

C6 = 80µF
C7 = 600µF
C8 = 60µF
C9 = 400µF





$$\frac{1}{CX} = \frac{1}{60} + \frac{1}{300} + \frac{1}{200} + \frac{1}{120} \qquad \text{mmc} = 600$$

$$\frac{1}{CX} = \frac{10+2+3+5}{600} = \frac{20}{600} \rightarrow CX = \frac{600}{20} = 30\mu F$$

C2 em paralelo com Cx = 20 + 30 = 50µF

CT_{AB} = 50µF