

# Regulación de tensión

Juan Alvaro Fuentes Moreno  
[juanalvaro.fuentes@upct.es](mailto:juanalvaro.fuentes@upct.es)

Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Universidad Politécnica de Cartagena

enero 2012

## Índice

---

- 1 Regulación de tensión**
- 2 Métodos de regulación**
- 3 Cálculo de las potencias necesarias para regular la tensión**
- 4 Condensadores fijos y regulables**

# Importancia de la regulación de tensión

## ■ Objetivo: Calidad de suministro

- Motores asincrónos  $\Rightarrow$  Par de arranque =  $f(V^2)$
- Transformadores  $\Rightarrow$  Potencia decrece proporcionalmente con la tensión
- Iluminación
- ...

## ■ Límites

- Artículo 104 del RD 1955/2000 —por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica— dice:

*Los límites máximos de variación de la tensión de alimentación a los consumidores finales serán de  $\pm 7$  por 100 de la tensión de alimentación declarada.*

- En baja tensión, según ITC-BT-11, este límite se debe cumplir en la Caja General de Protección
- A partir ahí se admiten otras caídas de tensión
  - Desde la Caja General de Protección hasta el interior de la vivienda/local: 1.5 % (ITC-BT-14+ITC-BT-15)
  - En el interior de la viviendas: 3 % (ITC-BT-19)
  - En el interior del local (industria/comercio): Alumbrado 3 % y resto de usos 5 % (ITC-BT-19)
  - Si la alimentación es directa desde el centro de transformación (CT): Alumbrado 4.5 % y resto de usos 6.5 % (ITC-BT-19)

## ■ La solución óptima de la regulación de tensión en un sistema eléctrico es compleja

# Relación entre tipo de carga, tipo de línea y caída de tensión

## ■ Para una línea de longitud corta

$$\Delta U = R \frac{P}{U} + X \frac{Q}{U}$$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{■ } X > R \\ \text{■ } R > X \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{■ Líneas aéreas} \\ \frac{X}{R} = 2 \div 10 \\ \text{■ Transformadores} \\ \frac{X}{R} = 1.25 \div 25 \\ \text{■ Líneas subterráneas} \\ \frac{R}{X} = 2 \div 10 \end{array} \right.$

## ■ Influencia del tipo de línea y del tipo de carga

$\Delta U$	Carga Inductiva $P > 0$ y $Q > 0$	Carga Capacitativa $P > 0$ y $Q < 0$	Conclusión
$X > R$	$\Delta U = R \frac{P}{U} + X \frac{Q}{U}$ Siempre > 0	$\Delta U = R \frac{P}{U} + X \frac{Q}{U}$ ¿efecto Ferranti?	Modificar Q tiene gran influencia en la $\Delta U$
$R > X$	$\Delta U = R \frac{P}{U} + X \frac{Q}{U}$ Siempre > 0	$\Delta U = R \frac{P}{U} + X \frac{Q}{U}$ Siempre > 0	Modificar Q tiene poca influencia en la $\Delta U$

## Índice

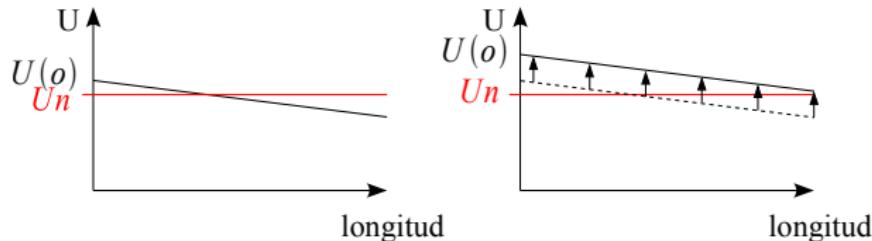
---

- 1 Regulación de tensión**
- 2 Métodos de regulación**
- 3 Cálculo de las potencias necesarias para regular la tensión**
- 4 Condensadores fijos y regulables**

# Clasificación de los métodos de regulación

- Sin compensación de la potencia reactiva de la carga
  - Variación de tensión en principio de línea
  - Empleo de transformadores o autotrafos con tomas
  - Reguladores de inducción
  - Condensadores en serie
- Con compensación de la potencia reactiva de la carga
  - Condensadores y bobinas en paralelo
  - Compensador Síncrono

## ■ Variación de la tensión en principio de línea

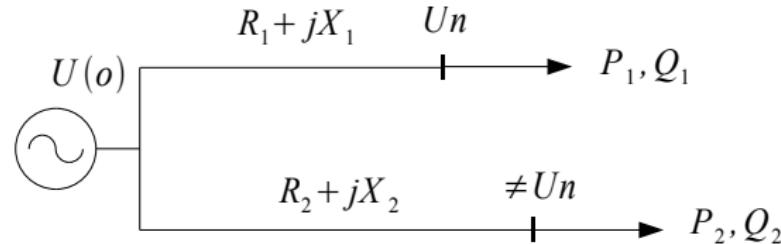


### ■ Ventajas

- Es un método muy sencillo

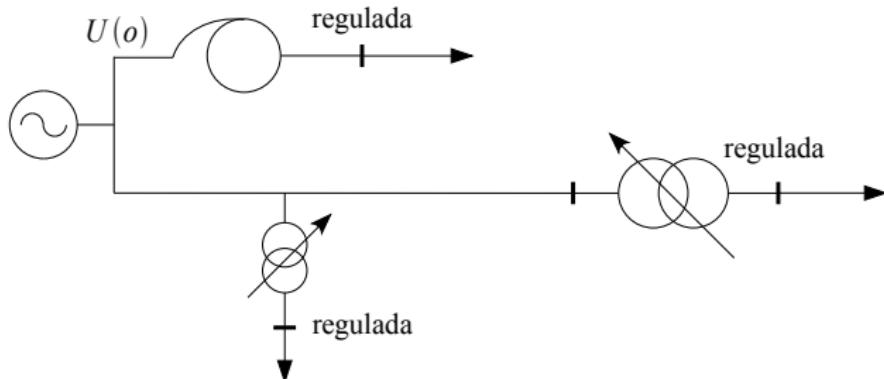
### ■ Inconvenientes

- No regula en puntos intermedios
- No es adecuado con líneas de distintas características



## ■ Empleo de transformadores o autotrafos con tomas

- Pueden ser regulados bajo carga (SUBESTACIONES) o regulados sin carga (CT)



### ■ Ventajas

- Regula la tensión en finales de línea y en puntos intermedios

### ■ Inconvenientes

- Regulación a escalones

## ■ Reguladores de inducción

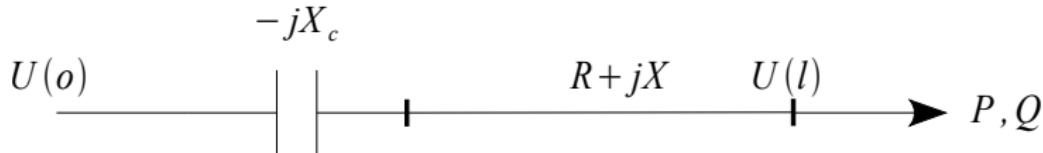
### ■ Ventajas

- La regulación es continua

### ■ Inconvenientes

- Son mas caros y de peor rendimiento que los autotrafos

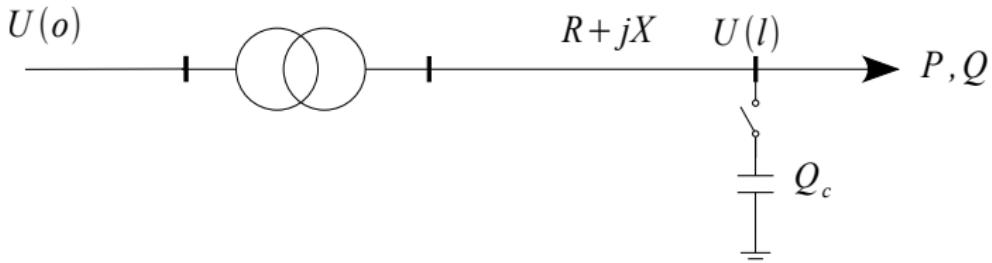
## ■ Condensadores en serie



$$\Delta U = R \frac{P}{U} + (X - X_c) \frac{Q}{U}$$

- Podemos regular la tensión modificando la capacidad del condensador en serie
- Ventajas
  - Incrementan la capacidad de transporte de la línea
  - Mejoran la estabilidad del sistema
- Inconvenientes
  - Regulación en escalones
  - Aumentan las intensidades de cortocircuito
  - Puede producir resonancias

## ■ Condensadores y bobinas en paralelo



### ■ Ventajas

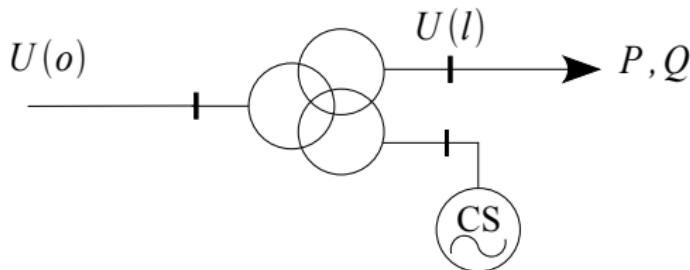
- Económicos
- Mejoran el rendimiento del sistema
- Podemos dejar la batería a la intemperie y conectar a tensiones elevadas
- Prácticamente no contribuyen al aumento de las intensidades de cortocircuito

### ■ Inconvenientes

- Regulación en escalones
- Si  $\downarrow U(l) \Rightarrow \downarrow Q_c$  ( $Q_c = \sqrt{3}\omega C U^2$ )

## ■ Mediante compensador síncrono

- Máquina síncrona trabajando en vacío ( $P = 0$  y  $Q \neq 0$ ) que se utiliza en el caso de potencias elevadas



### ■ Ventajas

- Regulación continua
- Genera y absorbe Q

### ■ Inconvenientes

- Caros y con peor rendimiento que los condensadores
- Contribuyen a la intensidad de cortocircuito

### ■ $P = 0 \Rightarrow \delta = 0$ y $\bar{E}$ y $\bar{V}$ son paralelos

- $E > V \Rightarrow Q_{gen} > 0$
- $E < V \Rightarrow Q_{gen} < 0$

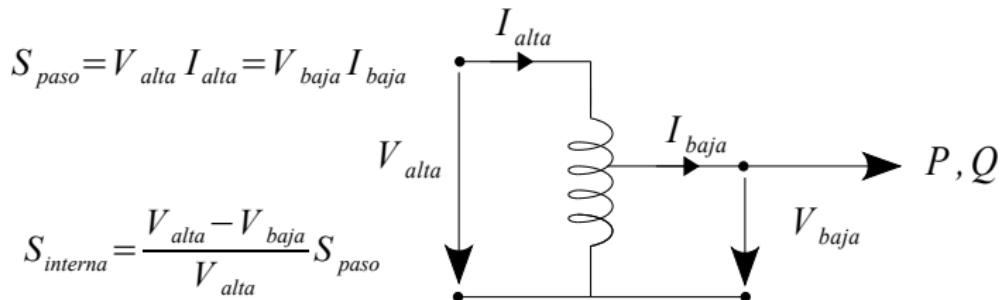
- En general los sistemas de compensación de la carga tienen las siguientes ventajas en común
  - $\uparrow \eta$  de la línea
  - $\uparrow \eta$  de generación
  - $\uparrow \eta$  de transformadores
  - $\uparrow$  posibilidad de suministro de la línea

## Índice

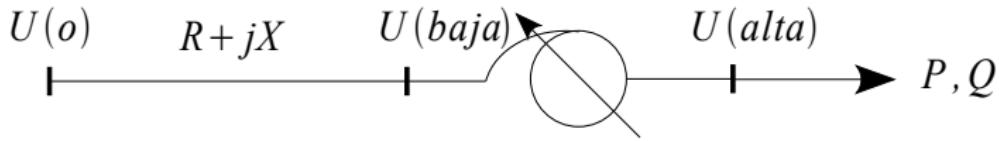
---

- 1 Regulación de tensión**
- 2 Métodos de regulación**
- 3 Cálculo de las potencias necesarias para regular la tensión**
- 4 Condensadores fijos y regulables**

## ■ En un autotrafo



## ■ Por ejemplo: dado el siguiente sistema

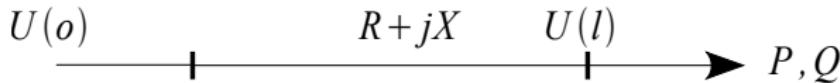


■ Queremos que:  $U(\text{alta}) = U(o) \Rightarrow$

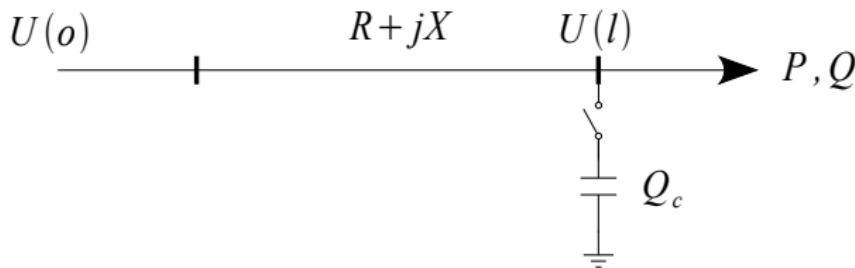
$$S_{interna} = \frac{U_{alta} - U_{baja}}{U_{alta}} S_{paso} = \frac{R \frac{P}{U_{baja}} + X \frac{Q}{U_{baja}}}{U_{alta}} \frac{(P^2 + Q^2)^{\frac{1}{2}}}{U_{baja}}$$

## Potencia del compensador síncrono o de la batería de condensadores

- Sistema inicial:  $\Delta U = R \frac{P}{U} + X \frac{Q}{U}$



- Sistema compensado:  $\Delta U = R \frac{P}{U} + X \frac{Q + Q_c}{U}$



- Por ejemplo: Si queremos compensación total ( $\Delta U = 0$ )

$$0 = R \frac{P}{U} + X \frac{Q + Q_c}{U}$$

↓

$$Q_c = \left[ -R \frac{P}{U} - X \frac{Q}{U} \right] \frac{U}{X} \Rightarrow \begin{cases} Q_c > 0 \Rightarrow \text{Condensador} \\ Q_c < 0 \Rightarrow \text{Bobina} \end{cases}$$

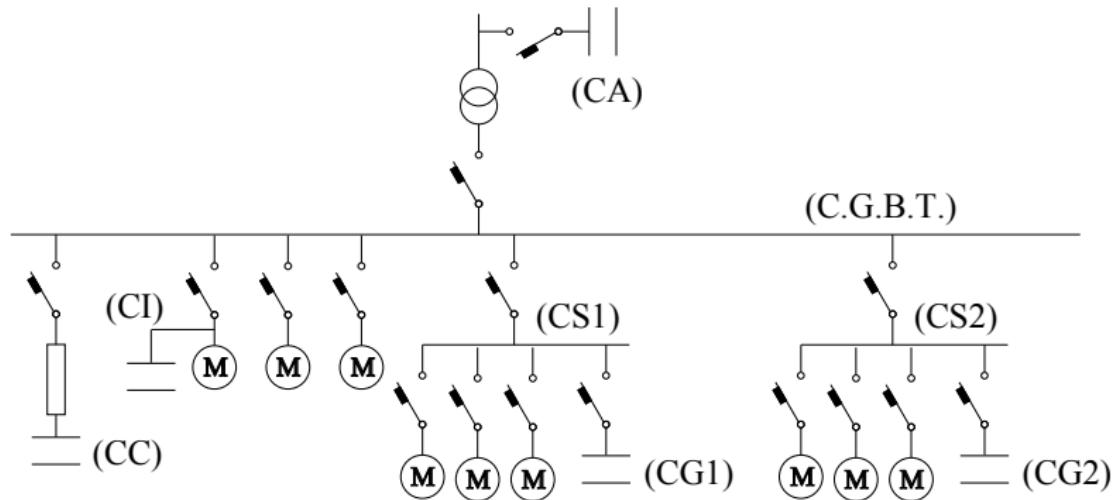
## Índice

---

- 1 Regulación de tensión**
- 2 Métodos de regulación**
- 3 Cálculo de las potencias necesarias para regular la tensión**
- 4 Condensadores fijos y regulables**

La compensación de la reactiva se puede realizar de varias formas

- Individualizada (CI)
- Centralizada (CC)
- En grupo (CG)
- En alta tensión (CA)
- Estática continua



# Condensadores fijos y regulables

## ■ Batería de condensadores fija ( $Q$ constante)

- Adecuada cuando

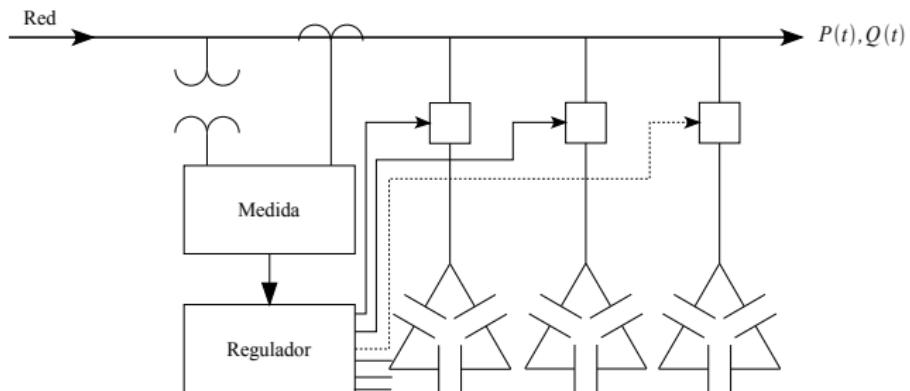
- Grandes consumos con  $Q$  constante
  - Gran cantidad de horas de servicio (Ej: motores en media tensión)

## ■ Batería de condensadores regulable ( $Q \neq$ constante)

- Adecuada cuando

- Muchas cargas heterogéneas ( $Q$  reducidas y con distintas potencias)
  - Horas de servicio heterogéneas para las cargas

- Se adapta a las necesidades mediante la conexión-desconexión de etapas de condensadores



# Métodos mixtos de regulación

- Los métodos vistos hasta ahora no son excluyentes pudiéndose combinar entre ellos
  - Por ejemplo: Regulación de la caída de tensión en una línea
    - Regulación de la tensión en cabecera de la línea para mantener una tensión constante
    - Selección de la toma del transformador del CT para regular la tensión de la carga
    - En momentos de muy poca carga se conectan baterías de bobinas en paralelo (si línea larga)