

Regulación de tensión

Juan Alvaro Fuentes Moreno
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 asíncronos \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 ± 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

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

■ Influencia del tipo de línea y del tipo de carga

ΔU	Carga Inductiva $P > 0$ y $Q > 0$	Carga Capacitiva $P > 0$ 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 ΔU
$R > X$	$\Delta U = R \frac{P}{U} + X \frac{Q}{U}$ Siempre > 0	$\Delta U = R \frac{P}{U} + X \frac{Q}{U}$ Siempre > 0	Modificar Q tiene poca influencia en la ΔU

Índice

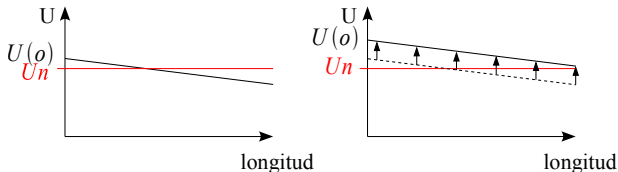
- 1 Regulación de tensión
- 2 Métodos de regulación**
- 3 Cálculo de las potencias necesarias para regular la tensión
- 4 Condensadores fijos y regulables

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

Métodos de regulación sin compensación de la carga (I)

■ Variación de la tensión en principio de línea

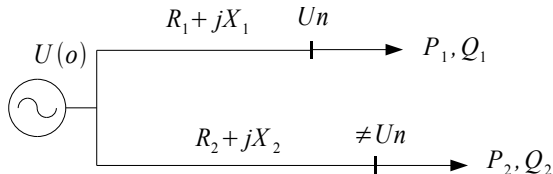


■ Ventajas

- Es un método muy sencillo

■ Inconvenientes

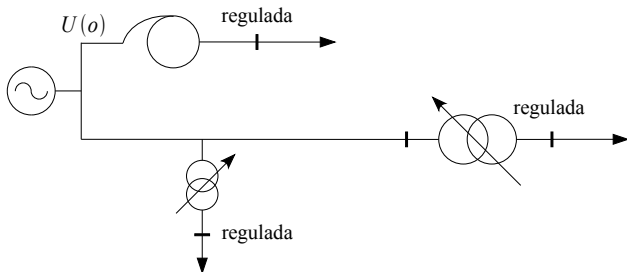
- No regula en puntos intermedios
- No es adecuado con líneas de distintas características



Métodos de regulación sin compensación de la carga (II)

■ 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

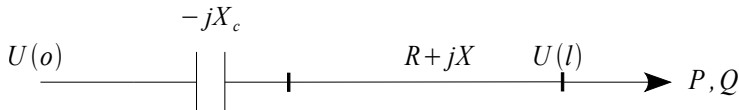
- La regulación es continua

■ Inconvenientes

- Son mas caros y de peor rendimiento que los autotrafos

Métodos de regulación sin compensación de la carga (III)

■ Condensadores en serie

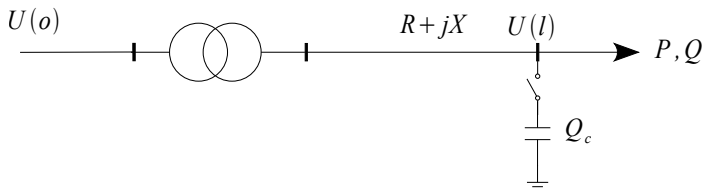


$$\Delta U = R \frac{P}{U} + (X - X_c) \frac{Q}{U}$$

- 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

Métodos de regulación con compensación de la carga (I)

■ 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

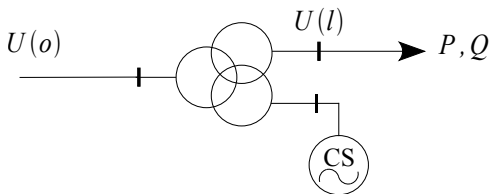
■ Inconvenientes

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

Métodos de regulación con compensación de la carga (II)

■ 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 \vec{E} y \vec{V} son paralelos

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

Métodos de regulación con compensación de la carga (III)

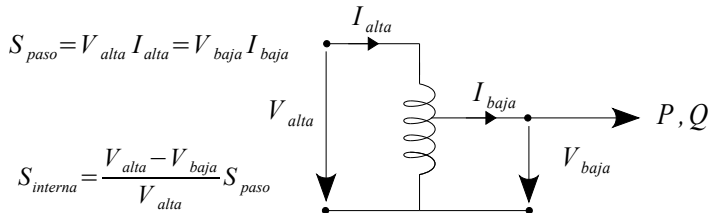
- En general los sistemas de compensación de la carga tienen las siguientes ventajas en común
 - $\uparrow \eta$ de la línea
 - $\uparrow \eta$ de generación
 - $\uparrow \eta$ de transformadores
 - \uparrow posibilidad de suministro de la línea

Índice

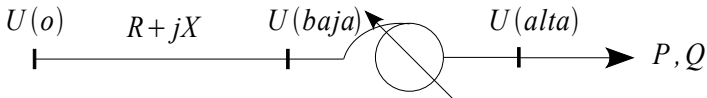
- 1 Regulación de tensión
- 2 Métodos de regulación
- 3 Cálculo de las potencias necesarias para regular la tensión**
- 4 Condensadores fijos y regulables

Potencia interna de los autotransformadores o reguladores de inducción

■ En un autotrafo



■ Por ejemplo: dado el siguiente sistema

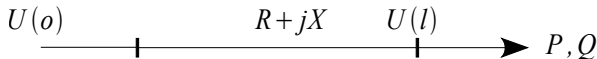


■ Queremos que: $U(\text{alta}) = U(o) \Rightarrow$

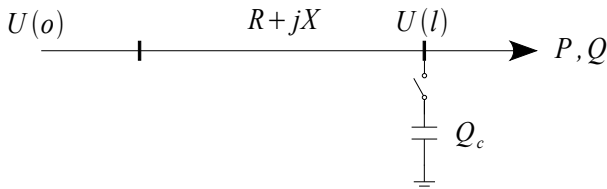
$$S_{\text{interna}} = \frac{U_{\text{alta}} - U_{\text{baja}}}{U_{\text{alta}}} S_{\text{paso}} = \frac{R \frac{P}{U_{\text{baja}}} + X \frac{Q}{U_{\text{baja}}}}{U_{\text{alta}}} (P^2 + Q^2)^{\frac{1}{2}}$$

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 ($\Delta U = 0$)

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

\Downarrow

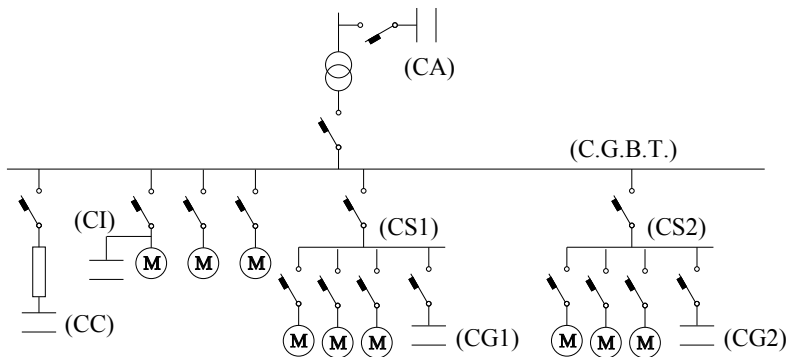
$$Q_c = \left[-R \frac{P}{U} - X \frac{Q}{U} \right] \frac{U}{X} \Rightarrow \begin{cases} Q_c > 0 \Rightarrow \text{Condensador} \\ Q_c < 0 \Rightarrow \text{Bobina} \end{cases}$$

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

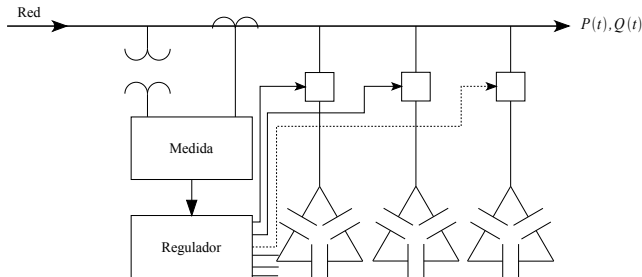
- Grandes consumos con Q constante
- Gran cantidad de horas de servicio (Ej: motores en media tensión)

■ 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



- 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)