

Pregunta 1 Certamen N°2

* Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia

1st Juan Pérez Rojas

Departamento de Ingeniería Eléctrica

Valparaíso, Chile

juan.perezr@usm.cl

2nd Nicolás Garrido Boggioni

Departamento de Ingeniería eléctrica

Valparaíso, Chile

nicolas.garridob@usm.cl

I. INTRODUCCIÓN

En este informe se resuelven problemas relacionados con la alimentación de un tren eléctrico mediante la obtención y evaluación de parámetros de la línea eléctrica que lo abastece.

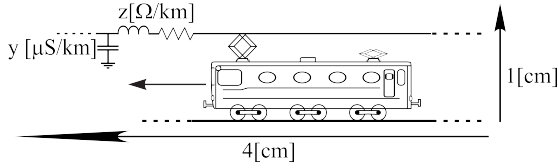


Fig. 1: Tren a analizar.

II. FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL PROBLEMA

Este problema se puede modelar por la siguiente ecuación:

$$\begin{pmatrix} V_s \\ I_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ Y_c & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ Y_c & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_r \\ I_r \end{pmatrix}$$

Ec. 1: Modelamiento matricial de línea con compensación shunt.

Esta relaciona los valores de entrada a una línea y los valores de salida dependiendo de los parámetros de la línea, e implícitamente también a los parámetros de la carga a través de la potencia de salida.

III. VARIACIÓN DE LA MAGNITUD DE TENSIÓN

La tensión varía a lo largo de la línea debido a su disposición y al material usado. En este caso se usará el modelo π para el desarrollo del problema sin compensación, se define:

$$P_r = 0.25 \left[\frac{kWh}{km \cdot pasaj} \right] \cdot 100 \left[\frac{km}{h} \right] \cdot 200 [pasaj] = 5 [MW]$$

Ec. 2: Cálculo de potencia.

Ahora se puede usar una ecuación desprendida de las matrices:

$$V_s = A \cdot V_r + B \cdot I_r$$

Ec. 3: Forma general del voltaje de entrada.

Luego, reemplazando:

$$V_s^2 = (\Re \{A \cdot V_r\})^2 + \left(\Re \left\{ B \cdot \frac{P_r}{V_r} \right\} \right)^2 + (\Im \{A \cdot V_r\})^2 + \dots$$

$$\dots + \left(\Im \left\{ B \cdot \frac{P_r}{V_r} \right\} \right)^2 + \dots$$

$$\dots + 2 \left(\Re \{A \cdot V_r\} \cdot \Re \left\{ B \cdot \frac{P_r}{V_r} \right\} + \Im \{A \cdot V_r\} \cdot \Im \left\{ B \cdot \frac{P_r}{V_r} \right\} \right)$$

Ec. 4: Forma expandida de Ec. 3.

Para finalmente encontrar que:

$$V_r = 17.17 [kV] \rightarrow \Delta |V_{s,r}| = 5.33 [kV]$$

Ec. 5: Resultados.

IV. ESTABILIDAD TEÓRICA

Es posible ver que, cuando el límite de estabilidad teórico es máximo, su ángulo tendrá un valor de alrededor 90°, en cuanto al mínimo es posible considerar un ángulo entre 0° y 1°.

$$P_{max,min} = \frac{V_s \cdot V_r}{X'} \cdot \sin(\delta)$$

Ec. 6: Ecuación de potencia para estabilidad teórica.

$$\left. \begin{aligned} P_{max} &= \frac{22.5 [kV] \cdot 17.17 [kV]}{34.75 [\Omega]} \cdot \sin(90^\circ) = 10.806 [MW] \\ P_{min} &= \frac{22.5 [kV] \cdot 17.17 [kV]}{34.75 [\Omega]} \cdot \sin(1^\circ) = 188.595 [kW] \end{aligned} \right\}$$

Ec. 7: Resultados reemplazando datos en Ec.6.

V. COMPENSACIÓN SHUNT

A. Método alternativo

El principal inconveniente es el espacio y peso adicional. Una alternativa son los bancos de condensadores en las subestaciones eléctricas o en las torres de transmisión del tren.

B. Compensación dinámica

La compensación para elevar el voltaje de salida puede hacerse mediante capacitores en paralelo a la fuente y la carga, los que en realidad serían los convertidores de potencia, quienes variarían estos valores y por ende la potencia reactiva dependiendo de la distancia del tren a la fuente.

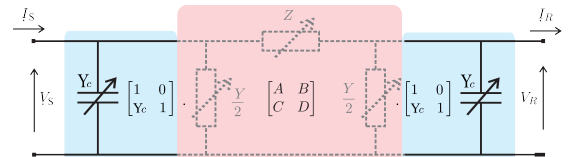


Fig. 2: Sistema simplificado de una línea (rosa) y convertidores(celeste).