



Situación problema: Medición diferencia de potencial y FEM

Contextualización con el problema

En el sistema eléctrico colombiano están clasificados los sistemas de transmisión nacional, transmisión regional y distribución local según el nivel de tensión a las que operan, en el RETIE y con base a la NTC 1340 se establecen los valores de tensión nominal y frecuencia de operación, por lo cual las instalaciones y equipos eléctricos deben ser aptos para funcionar en los valores mencionados en el reglamento. En la tabla 1 se muestra los niveles de tensión en corriente alterna (NTC 1340, 2007, pág. 3):

Clasificación	Nivel	Tensión nominal (V)		Tensión máxima (% de la nominal)	Tensión mínima (% de la nominal)
		Sistemas trifásicos de 3 ó 4 conductores	Sistemas monofásicos de 3 ó 4 conductores		
Baja tensión $V_n < 1 \text{ kV}$	Nivel 1 $V_n < 1 \text{ kV}$	-	120	+5	-10
		120/208	-		
		-	120/240		
		127/220	-		
		220	-		
		277/480	-		
Media tensión $1 \text{ kV} \leq V_n \leq 57,5 \text{ Kv}$	Nivel 2 $1 \text{ kV} \leq V_n \leq 30 \text{ Kv}$	4 160	-	+5	-10
		-	7 620		
		11 400	-		
		13 200	-		
	Nivel 3 $30 \text{ kV} \leq V_n \leq 57,5 \text{ Kv}$	13 800	-		
		34 500	-		
Alta tensión $1 \text{ kV} \leq V_n \leq 57,5 \text{ Kv}$	Nivel 4 $57,5 \text{ kV} \leq V_n \leq 220 \text{ Kv}$	44 000	-	+5	-5
		57 500	-		
		66 000	-		
		115 000	-		
Extra alta tensión $230 \text{ kV} < V_n$		230 000	-	+5	-5
		500 000	-		

NOTA: La clasificación por niveles es de tipo informativo y corresponden con la regulación CREG 08/2002 la resolución que la modifique o sustituya.

Tabla 1. Niveles de tensión en corriente alterna

Los instrumentos de medida como multímetros y osciloscopios son utilizados en baja tensión debido a los rangos manejados por el equipo, es por eso que en las instalaciones donde manejan niveles superiores a 1000[V] es necesario utilizar un sistema de medida para reducir la tensión a niveles seguros y medibles para los instrumentos de medida, esto con el fin de conocer el estado de la red bajo condiciones de operación. Los equipos utilizados para reducir la tensión son los transformadores de instrumentación (transformadores de tensión) y divisores de tensión.



SITUACIÓN PROBLEMA DE MEDICIÓN DE DIFERENCIA DE POTENCIAL Y FEM

Los transformadores de tensión o potencial (TP's) son dispositivos diseñados para reducir la tensión a niveles considerables y seguros para las personas, e instrumentos de medición, están constituidos por un devanado primario conectado a la línea o transformador, y un devanado secundario conectado en paralelo a los instrumentos de medida o medidores.

El divisor de tensión es uno de los métodos más comunes utilizados en el área de alta tensión para reducir la tensión a niveles seguros para las personas e instrumentos de medición. Por ejemplo la Universidad Distrital dispone de un módulo de prueba que es utilizado para las practicas académicas, como en el diseño y construcción de un divisor de tensión para medir la FEM del transformador HV 9105, entre los elementos empleados para la medición indirecta están los capacitores y resistores que soportan tensiones de hasta 100 kV, estos elementos son configurados en los siguientes tipos de divisores:

- Divisor resistivo puro
- Divisor capacitivo puro.

Para concluir, cada divisor de tensión tiene una función determinada, por lo tanto se deben tener en cuenta los tipos de señal y frecuencia de la instalación para construir un divisor adecuado a las necesidades que se le exijan.

Nota: Por seguridad del estudiante y de los equipos del laboratorio es necesario diseñar y construir un prototipo (divisor de tensión) que se encuentre en los niveles de tensión ya manejados previamente por el estudiante, puesto que en el proyecto curricular Tecnología en electricidad se enseñan fundamentos teóricos y prácticos para trabajar en media y baja tensión.

Situación Problema

Andrés Rodríguez ingeniero eléctrico encargado de la subestación de *Colmotores* adquirió un transformador monofásico de la compañía *Tesla*, con la intención de alimentar las luminarias exteriores de 240 V en los corredores peatonales de la empresa. Por normas *Codensa* (CODENSA S.A. ESP, 2011) las luminarias deben estar a una altura de 6 metros siendo difícil para los auxiliares medir directamente la señal de tensión, ante tal eventualidad el ingeniero Andrés se dirige a la *Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas* para asignarle a un grupo de estudiantes la responsabilidad de diseñar y construir un prototipo para realizar una medida indirecta de la tensión de la carga conectada al transformador.

Para manejar un material de referencia adecuado, el ingeniero les entrega a los estudiantes una serie de documentos e información que les ayude a diseñar el prototipo solicitado, entre los cuales se encuentra el Datasheet de algunas resistencias comerciales y las especificaciones y parámetros de los devanados del transformador monofásico adquirido. La tabla 2 muestra las especificaciones técnicas del transformador:

Tensión primario [kV]	11,4	Frecuencia [Hz]	60
Tensión secundario [V]	240/120	Clase de aislamiento	Ao
Fases	1	Grupo de conexión	Li0 - Li6

Tabla 2: Especificaciones técnicas del transformador monofásico

El ingeniero reúne los datos del ensayo de cortocircuito para modelar los devanados del transformador. Los parámetros como resistencia e inductancia de los devanados serán útiles a la hora de diseñar el prototipo. La tabla 3 muestra los parámetros del transformador monofásico:



SITUACIÓN PROBLEMA DE MEDICIÓN DE DIFERENCIA DE POTENCIAL Y FEM

R_t [Ω]	R_p [Ω]	L_t [mH]	X_{Lt} [Ω]	Z_t [Ω]	$ Z_t $ [Ω]	θ_{Z_t} [$^\circ$]
303,25	25,34	907,05	341,95	$328,59+341,95i$	474,24	46,141

Tabla 3: Parámetros del devanado del transformador

La figura 1 muestra el modelo equivalente aproximado del transformador conectado a la carga (Z_c):

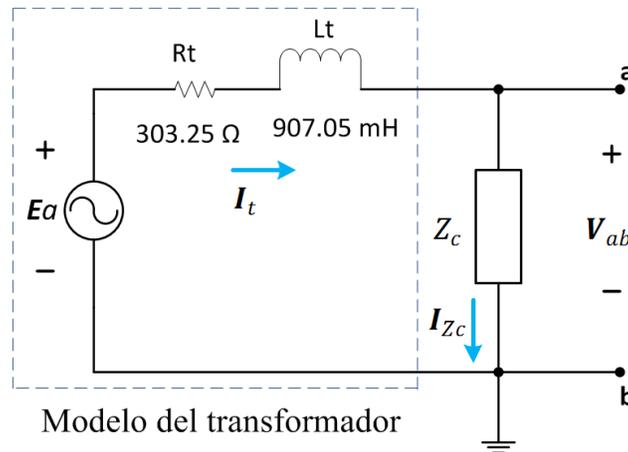


Figura 1: Modelo del circuito genérico

Nota: Los parámetros del devanado del transformador son valores que se encuentran en el banco De Lorenzo.

Estos son los criterios requeridos por el ingeniero para el diseño y prueba del prototipo:

1. Diseñar un método indirecto para medir la tensión en la carga, siendo una combinación serie o paralelo de inductores y/o capacitores del banco De Lorenzo.
2. Involucrar en el diseño la impedancia de los devanados del transformador.
3. La tensión de salida del prototipo debe ser menor a los 30 V.
4. Los elementos pasivos del prototipo deben ser normalizados.
5. La relación de transformación del prototipo debe tener un comportamiento lineal.
6. Medir los parámetros de tensión de entrada y salida del prototipo, y tensión en la fuente.
7. Elaborar un informe que relacione los procedimientos, resultados y análisis de la prueba realizada al prototipo.

Con el fin de observar el comportamiento gráfico de la relación de transformación, el ingeniero Andrés sugiere someter el prototipo a varias tensiones usando la siguiente ecuación, que permita construir una gráfica entre la tensión de entrada y la tensión de salida:

$$a = \frac{V_{ab}}{V_{cd}}$$

Ecuación 1

Dónde: V_{ab} : Tensión de entrada.
 V_{cd} : Tensión de salida.
 a : Relación de transformación.

Como parte de las actividades de aprendizaje, el ingeniero les pide responder las siguientes preguntas antes del diseño del prototipo:



SITUACIÓN PROBLEMA DE MEDICIÓN DE DIFERENCIA DE POTENCIAL Y FEM

- ¿Para el diseño del divisor de tensión, se debe tener en cuenta en los inductores el parámetro resistivo? ¿Por qué?
- ¿Qué tipo de divisor de tensión es adecuado para solucionar el problema planteado por el ingeniero?
- ¿Es posible superar el nivel de tensión preestablecidos en el diseño del divisor de tensión a la hora de someterlo a varias tensiones? ¿Por qué?
- ¿Al conectarse la carga al transformador influirá de alguna manera la impedancia de los devanados al medir la tensión en los bornes a-b? ¿Por qué?

Complementariamente se les pide entregar un informe que corrobore las pruebas realizadas y conclusiones del trabajo.

Documentación complementaria de la situación problema

- [Datasheet de las resistencias de composición de carbón.](#)
- [Datasheet de las resistencias de película metálica.](#)
- [Datasheet de las resistencias de hilo bobinado.](#)

Bibliografía

CODENSA S.A. ESP. (13 de Mayo de 2011). *AP327 Recomendaciones de ubicación de luminarias según la cartilla de mobiliario urbano*. Obtenido de http://likinormas.micodensa.com/Norma/alumbrado_publico/instalacion_luminarias/ap327_recomendaciones_ubicacion_luminarias_cartilla

NTC 1340. (2007). *Tensiones y frecuencias nominales en sistemas de energía eléctrica en redes deservicios públicas*. Bogotá: ICONTEC.

NTC 5933. (2012). *Transformadores de instrumentación. Requisitos generales*. Bogotá: ICONTEC.

Rodriguez, M. (2011). *Introducción a las medidas eléctricas*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Siemens. (2009). *Transformadores de protección y medida 4M*. Siemens HG-24.