

Diseño y Optimización del Sistema de Control y Fuerza para pruebas de Vacío y Cortocircuito en forma Paralela de Transformadores Monofásicos y Trifásicos de Distribución medido en modo Directo e Indirecto mediante el uso del ION 7650, HIPOTRONIC y LOGO

Miguel Velasco Parra
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
mavelasc@espol.edu.ec

Resumen

El diseño es una mejora de un sistema de control general que unifica las pruebas eléctricas de vacío y cortocircuito de transformadores eléctricos de distribución, para operar de forma manual y automática, cuyas pruebas eléctricas del control son operadas para una cantidad máxima de hasta catorce transformadores monofásicos tipo CSP Padmounted y Convencionales, todos ellos operando desde una sola conexión, sin necesidad de que el operador tenga que salir del mando de pruebas para realizar la conexión del siguiente transformador. Esto se da debido a que todos ellos están conectados en forma paralela al tablero de fuerza diseñado, para que cuando se realice la prueba ya sea en vacío o cortocircuito, cada transformador sea probado en una secuencia automática.

Para el diseño del sistema de control en la programación de la secuencia automática se utiliza el micro-PLC LOGO de Siemens, que con el analizador de energía ION7650 me permite realizar mediciones en modo directo y en modo indirecto en conjunto con los CTs y PTs respectivos. Se rediseña el circuito interno de control de la máquina HIPOTRONIC que es un autotransformador variable, que me permite regular la alimentación de voltaje necesario para realizar la prueba en los transformadores monofásicos y trifásicos. Todo el sistema de control está programado en lenguaje ladder a través del micro PLC, el sistema interactúa con el operador a través de una interfaz amigable por medio de la pantalla LOGO TD.

Palabras claves: ION 7650, Hipotronic, LOGO, Ladder.

Abstract

The design is an improvement of a general control system that unifies the electrical testing of No-load losses and Short-Circuit of distribution transformers to operate manually and automatically, whose electrical control are operated for a maximum of fourteen single-phase transformers padmounted, conventional and CSP type, all of them operating from a single connection, without the operator having to leave the control test room and to connect the next transformer. This occurs because they are all connected in parallel to the electric panel so that when the test is performed either without load or short-Circuit, each transformer is tested in an automatic sequence.

To design the control system of the automatic programming sequence the micro-PLC Siemens LOGO is used, with the energy analyzer called ION7650 allows to perform measurements directly and indirectly in conjunction with the respective CTs and PTs. The internal control circuit is redesigned of HIPOTRONIC machine, this is a variable autotransformer, allowing to regulate the supply voltage necessary to test single-phase and three-phase transformers. The control system is programmed in ladder language through micro PLC, the system interacts with the operator via a user-friendly interface through TD LOGO screen.

Keywords: ION 7650, Hipotronic, LOGO, Ladder.

1. Introducción

El trabajo de un técnico de pruebas eléctricas en un laboratorio es verdaderamente arriesgado, sobre todo en una empresa que se diseña y construye todo tipo de transformadores de distribución, ya que al realizar las pruebas se manejan voltajes de baja y de media tensión, que va en el orden de las decenas de miles de voltios. El problema es aun crítico cuando la demanda de producción es alta y el tiempo de entrega es corto, por lo que el laboratorio debe ajustarse a tiempos donde el técnico de pruebas debe trabajar con presión y mayor rapidez al momento realizar todas las pruebas en cada transformador.

El proyecto consiste en realizar un nuevo sistema de control y fuerza para las pruebas de vacío y cortocircuito de transformadores. Este diseño optimiza el proceso y mejora los tiempos de prueba para un sistema de control que opera en una secuencia automática de hasta catorce transformadores conectados en forma paralela y trabajando de manera secuencial.

2. Fundamento teórico

Se diseña un sistema de control a través de un mando de operación amigable para el usuario, el panel de operador tendrá una pantalla de visualización y control que me permitirá supervisar el tipo de prueba, alimentación y el número actual del transformador que está en proceso de prueba.

Se diseña un sistema de fuerza que se ubica fuera de las oficinas del laboratorio, para protección del operador y por la capacidad física de sus componentes con respecto a los contactos de fuerza para la conexión de catorce transformadores monofásicos controlados por el micro PLC, que permitirá a través de una modificación en el circuito de control de la máquina HIPOTRONIC las activaciones de alimentación y regulación de voltaje a través del sistema de control.

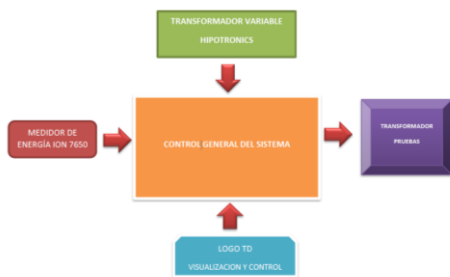


Figura 1. Diagrama de bloques de la solución propuesta.

3. Metodología

Para el diseño, construcción e instalación del sistema de control y fuerza se inicia con el análisis de la acometida de alimentación junto a los componentes que acoplaremos para la operación de las pruebas mediante la programación del PLC.

3.1 Diseño del Sistema de Fuerza

A continuación se muestra el diagrama del sistema de fuerza para realizar las pruebas de vacío y cortocircuito de transformadores de distribución de hasta 2500 KVA. El tablero proporciona la capacidad de conectar hasta 14 transformadores en paralelo, separados por contactores de fuerza tal como se muestra el diseño.

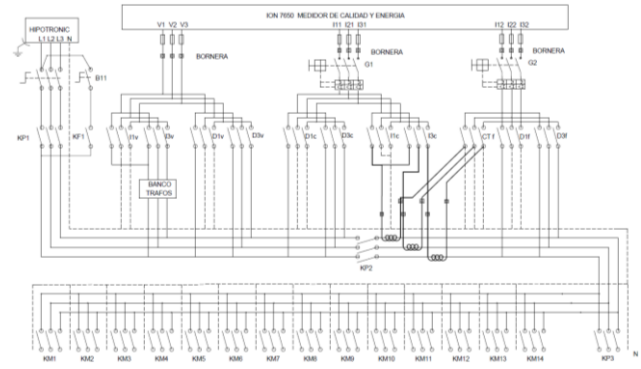


Figura 2. Diagrama eléctrico del circuito de fuerza.

3.2 Diseño del Sistema Lógico de Control

El diseño parte con la configuración de un diagrama de flujo para el seguimiento de cada proceso en función de sus entradas determinando cada acción que el controlador ejecute en el sistema de fuerza según la selección de parámetros elegidos por el operador.

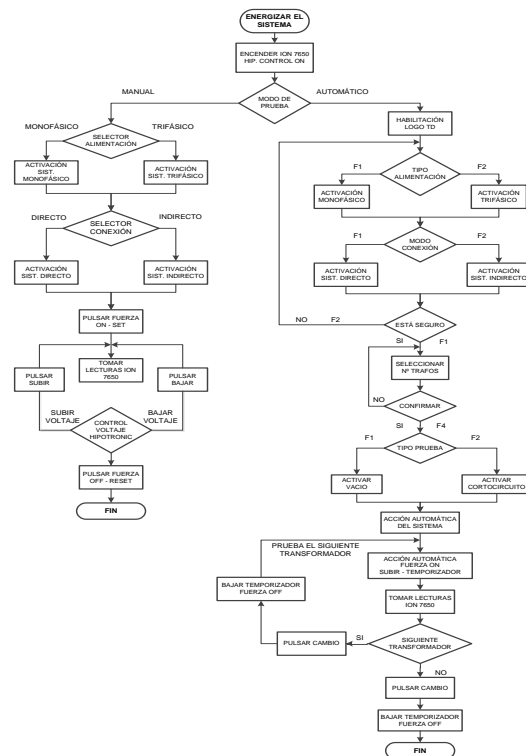


Figura 3. Diagrama de flujo del sistema de control.

La programación del sistema de control interno del micro PLC se basa en la programación ladder, llamada también programación de contactos o escalera. Se especifica de forma detalla cada esquema del circuito de programación con el objetivo de explicar la función que representa en el sistema de control que automatiza cada prueba.

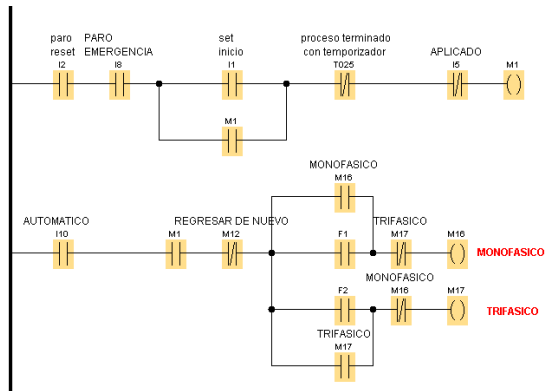


Figura 4. Circuito de programación Ladder.

3.3 Descripción de componentes para el diseño

En el diseño de fuerza seleccionamos los respectivos componentes necesarios para las pruebas de vacío y cortocircuito. Determinamos si la fuente proporciona el voltaje determinado para realizar las pruebas, debe poseer una capacidad de corriente tal que puede energizar y realizar la prueba de cortocircuito en un transformador de 2000 KVA. Entre los componentes tenemos:

- Autotransformador variable HIPOTRONIC.
- Analizador de energía ION 7650.
- Micro PLC LOGO Ethernet de Siemens.
- Pantalla Logo TD.
- Transformadores de potencial relación 2:1.
- Transformadores de corriente relación 200:5.

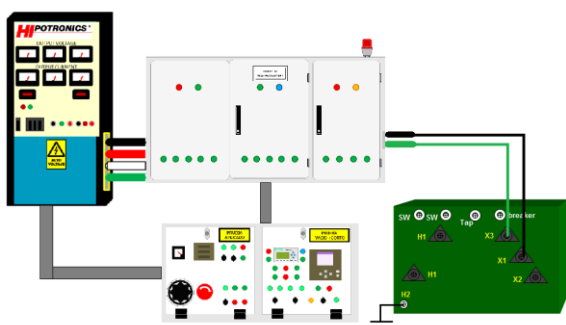


Figura 5. Sistema general de control y fuerza.

4. Operación e implementación del sistema de Control y Fuerza

Se describe la construcción y operación del sistema general, cuyas partes que la componen tienen una importancia fundamental para el correcto funcionamiento en la realización de las pruebas de vacío y cortocircuito. Se

explica la forma en que el proyecto opera con los distintos componentes necesarios para el control de la alimentación, fuerza, medición, conexión y visualización del sistema.



Figura 6. Implementación del tablero de control y mando.

Se construye un tablero de fuerza para pruebas secuenciales en modo directo e indirecto, el funcionamiento es controlado por el panel de operador a través de la pantalla LOGO TD para el proceso automático, para el modo indirecto se proporcionan en el tablero los transformadores de corriente CTs y transformadores de voltaje PTs. Ambos tableros trabajan conjuntamente con la máquina HIPOTRONICS.



Figura 7. Implementación del tablero de Fuerza.

4.1 Operación en prueba de vacío de un transformador Trifásico

Esta prueba se realiza alimentando el bobinado secundario del transformador, manteniendo el bobinado del primario abierto. Para la regulación de la tensión de la prueba el sistema de control empezará automáticamente desde cero voltios hasta llegar a su voltaje nominal.



Figura 8. Conexión de la prueba de vacío de un transformador trifásico.

4.2 Operación en prueba de cortocircuito de un transformador Trifásico

Esta prueba se realiza poniendo en cortocircuito el devanado de baja tensión, energizando el bobinado de alta tensión con un voltaje regulable desde cero hasta alcanzar la corriente nominal en el bobinado cortocircuitado.

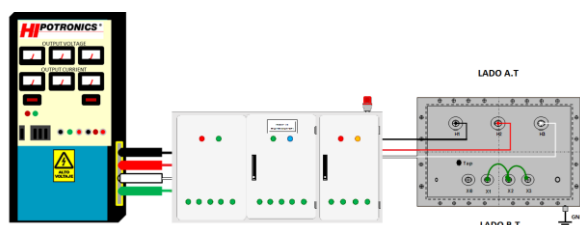


Figura 9. Conexión de la prueba de cortocircuito de un transformador trifásico.

4.3 Operación en prueba de vacío de un transformador monofásico

Esta prueba se realiza alimentando el bobinado secundario del transformador, manteniendo el bobinado del primario abierto. Para la regulación de la tensión de la prueba el sistema de control empezará automáticamente desde cero voltios hasta llegar a su voltaje nominal.

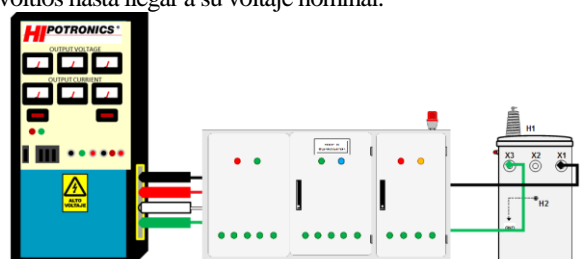


Figura 10. Conexión de la prueba de vacío de un trafo monofásico.

4.4 Operación en prueba de cortocircuito de un transformador monofásico

Esta prueba se realiza poniendo en cortocircuito el devanado de baja tensión, energizando el bobinado de alta tensión con un voltaje regulable desde cero hasta alcanzar la corriente nominal en el bobinado cortocircuitado.

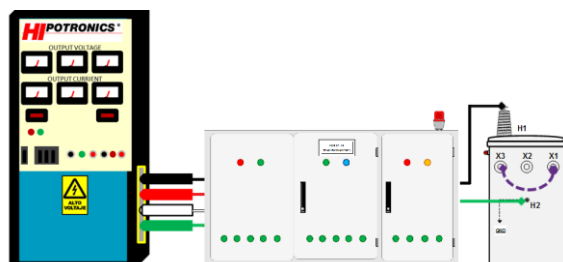


Figura 11. Conexión de la prueba de corto de un trafo monofásico.

5. Análisis comparativo de los resultados

Luego de realizar el análisis, diseño y construcción del tablero de fuerza y de control en las pruebas de vacío y cortocircuito para todo tipo de transformadores de distribución fabricados en la planta Moretran, se pasa a realizar un ensayo de pruebas con dos tipos de transformadores que sean trifásico y monofásico. Trabajaremos con el análisis de pérdidas sin carga (vacío) dada por la norma NTE INEN 2113 y las pérdidas con carga (cortocircuito) dada por la norma NTE INEN 2116 adjuntados en el anexo de este proyecto.

4.1 Prueba de vacío de 14 transformadores monofásico de 50 KVA

Se asigna un diseño monofásico de la parte activa de un transformador de 50KVA, cuyo voltaje de alta y baja tensión es 7620V/240V diseñado y construido en la planta Moretran. Sus características de potencia, corriente y voltaje y el cálculo teórico de las pérdidas de vacío se visualizan en la tabla.

Tabla 1. Medición en el laboratorio de pruebas de vacío de 14 transformadores monofásicos CSP.

PRUEBA DE VACIO	Tensión (V)	I(X1-X3) (A)	I(X1-X3) (%)	Pérd. Med. (W)	Factor de Potencia
Transformador 1	240	0.9	0.43	138	0.63
Transformador 2	240	0.95	0.46	136	0.62
Transformador 3	240	0.91	0.44	136	0.62
Transformador 4	240	0.7	0.34	125	0.75
Transformador 5	240	0.85	0.41	130	0.64
Transformador 6	240	0.95	0.46	134	0.55
Transformador 7	240	0.86	0.41	133	0.65
Transformador 8	240	0.77	0.37	127	0.69
Transformador 9	240	0.86	0.41	133	0.64
Transformador 10	240	0.74	0.36	131	0.75
Transformador 11	240	0.95	0.46	137	0.60
Transformador 12	240	1.45	0.70	156	0.44
Transformador 13	240	0.79	0.38	132	0.68
Transformador 14	240	0.9	0.43	137	0.63

4.2 Prueba de vacío de un transformador trifásico de 750 KVA

Las mediciones de la prueba al regular la tensión del Autotransformador desde cero hasta su voltaje nominal nos da las lecturas de la corriente de excitación promedio trifásica que es de 5.02 amperios, las pérdidas activas son de 1317W, y su factor de potencia es de 0.68.

Tabla 2. Medición en el laboratorio de prueba de vacío de un transformador trifásico de 750 KVA.

	Tensión (V)	I(prom) (A)	I(o) (%)	Pérd. Med. (W)	Factor de Potencia
5.- PRUEBA EN VACÍO	220	5.02	3.91	1317	0,68
6.- PRUEBA SOBRE-EXC.	242	18,35	20.88	1993	0,26

4.3 Prueba de corto de 14 transformadores monofásico de 50 KVA

En la prueba de cortocircuito se inicia con el diseño de la parte activa de un transformador monofásico de 50 KVA cuyo voltaje de alta y baja tensión es 7620V/240V diseñado y construido en la planta Moretran. Sus características de potencia, corriente, voltaje, la sección de los conductores tanto en alta como en baja tensión, se calcula la resistencia total de cada bobinado, el cálculo teórico de las pérdidas de vacío se visualiza en la tabla.

Tabla 3. Medición en el laboratorio de pruebas de cortocircuito de 14 transformadores monofásicos CSP

PRUEBA DE CORTOCIRCUITO	I _{cc} (A)	V _{cc} (V)	Pérd. Med. (W) 85 °C	Factor de Potencia	Impedancia (%)
Transformador 1	6.56	110	466	0.54	1.44
Transformador 2	6.56	110	479	0.56	1.44
Transformador 3	6.56	110	461	0.54	1.46
Transformador 4	6.56	111	485	0.56	1.46
Transformador 5	6.56	111	472	0.55	1.46
Transformador 6	6.56	111	483	0.56	1.46
Transformador 7	6.56	111	490	0.56	1.46
Transformador 8	6.56	111	485	0.55	1.46
Transformador 9	6.56	111	500	0.57	1.46
Transformador 10	6.56	116	478	0.54	1.52
Transformador 11	6.56	110	465	0.54	1.44
Transformador 12	6.56	118	479	0.54	1.55
Transformador 13	6.56	117	467	0.52	1.54
Transformador 14	6.56	117	475	0.54	1.54

4.3 Prueba de corto de un transformador trifásico de 750 KVA

Las mediciones de la prueba al regular la tensión del Autotransformador desde cero a un voltaje reducido hasta llegar a la corriente nominal en el lado de alta tensión nos permite obtener las lecturas del voltaje de cortocircuito que es de 494 V, hallando la impedancia del transformador de 3.58 relacionando con respecto al voltaje nominal de alta. Las pérdidas activas medidas son de 8159W referido a 85°C, y su factor de potencia es de 0.26.

Tabla 4. Medición en el laboratorio de pruebas de cortocircuito de un transformador trifásico de 750KVA.

7.- PRUEBA DE CORTOCIRCUITO		FACT. POT.	0,53	TEMP. (°C)	28	REF. a 85 °C
		Pérdidas (W)		423		8159
I _{cc} (A)	31.38	I ² xR (W)		6074		7368
U _{cc} (V)	494	Impedancia (%)		3.58		3.64

5. Conclusiones

Se implementó un sistema de control y fuerza para realizar las pruebas de vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos y trifásicos de distribución.

El diseño del sistema de fuerza tiene la capacidad para realizar pruebas de transformadores trifásicos de hasta 2500 KVA, sabiendo que el máximo diseño que fabrica la empresa es de 2000 KVA.

Se modifica el sistema de control interno de la máquina HIPOTRONIC para que sea gobernado por el nuevo diseño de control, gestionando los procesos de automatización a través del micro PLC LOGO.

El sistema general realiza el proceso de pruebas en modo manual para pruebas de uno en uno y en modo automático para pruebas de automatización en forma secuencial de hasta un número máximo de 14 transformadores monofásicos CSP y Padmounted.

Se logra obtener una mayor competitividad del mercado debido a que el laboratorio es uno de los procesos finales donde llega el producto, entregando los transformadores al área de despacho, en un tiempo menor en función a las anteriores pruebas de trabajo.

Se obtiene un manual de procedimiento para pruebas de vacío y cortocircuito de transformadores de distribución aplicado al laboratorio de Moretran.

Se logró realizar el diseño control y fuerza con los menores recursos económicos estipulados a partir de un micro PLC barato y dinámico

6. Referencias

- [1]. S. Chapman, Máquinas Eléctricas, Caracas: McGrawHill, 2000
- [2]. P. Avelino, Transformadores de Distribución, Teoría, Cálculo, Construcción y Pruebas, México: Reverté Ediciones, 2008.
- [3]. INEN, «Norma Ecuatoriana NTE INEN 2113:98,» 1998. [En línea]. Available: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2113.1998.pdf>.
- [4]. INEN, «Norma Ecuatoriana NTE INEN 2116:98,» [En línea]. Available: <ftp://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2116.1998.pdf>
- [5]. A. Moscoso, «Perdidas Eléctricas en el Transformador,» Sector Eléctrico, 2012. [En línea]. Available: <http://www.electrosector.com/wp-content/ftp/descargas/perdidas>. [Último acceso: julio 2015].