



TRANSFORMADOR Y COMPENSADOR DE ARRANQUE PARA MOTORES DE INDUCCIÓN DE 380/660 V CON POTENCIAS SUPERIORES A 200 HP CONECTADOS DIRECTAMENTE A UN SISTEMA EN 23 KV

José A. Vidal, Valeria Felippo

TRAFOPAR

Paraguay

Resumen:

Este trabajo presenta una propuesta técnica, del método de accionamiento y arranque a tensión reducida, para motores de inducción trifásicos desde 200 HP, directamente conectado a un sistema de distribución interna en 23 kV.

En las instalaciones industriales resulta un problema la instalación de motores eléctricos de gran potencia. Estos requieren tableros de distribución, sistemas de arranque y conductores muy grandes como consecuencia de las corrientes elevadas que se manejan cuando estos motores son de tensiones del orden 380/660V.

La tecnología disponible permitió desarrollar un equipo, que sirva a la vez de transformador de media tensión a baja tensión y de compensador de arranque.

Las restricciones propias de las redes eléctricas públicas, exigen que motores con potencias superiores a los 5 kW, deben arrancar con un sistema que limite las elevadas corrientes requeridas durante los arranques de motores a carga nominal.

Con los sistemas conocidos de arranque; sean estos los del tipo estrella-triángulo o con autotransformador; se consigue limitar la corriente de arranque.

Los tipos de arranque, estrella-triángulo y por autotransformador; necesitan importantes componentes y tableros que manejen las potencias de arranque del sistema.

La típica instalación industrial esta compuesta por un transformador general de la instalación de 23 kV a baja tensión, con tablero general y los interruptores y protecciones que permitan manejar los valores de corriente proporcionales a la potencia de la instalación, y otro tablero de maniobras para cada motor importante, donde se repiten las protecciones eléctricas.

El equipo implementado para este trabajo, consiste en un transformador especial fabricado en condiciones de recibir una alimentación en cable aislado de 23 kV, posible por la tecnología de conectores con aislación plena (de acuerdo a la norma ANSI 386), que permite la conexión de cables subterráneos a transformadores equipados con bushing para operar bajo carga.

La construcción mecánica del equipo es la empleada en la fabricación de transformadores del tipo PADMOUNTED o PEDESTAL, que tiene la particularidad de ser una cabina blindada posible de instalar en la mayoría de los casos en cualquier lugar.



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Este equipo es conectado a un sistema de cables aislados para 23 kV, y permite derivar el conductor de 23 kV hacia otras instalaciones, de manera de poder tener varios transformadores conectados en un sistema de 23 kV, anillo o radial.

El equipo cuenta con todo tipo de protecciones eléctricas según se describen mas abajo. El sistema de conexión con bushing (enchufes en MT) permite inclusive mediante un dispositivo adicional sacar de servicio un equipo sin interrumpir el fluido eléctrico al resto de la red.

El método a tensión reducida, para el arranque de motores de inducción trifásicos desde 200 HP, en sistema de 23 kV; esta compuesto por elementos de:

1. Media Tensión
2. Transformación y protección
3. Baja Tensión, protección y maniobra

Se establecen las comparaciones con sistemas de arranque convencionales para el espectro de potencia considerado, en una instalación tipo, que incluyen; versatilidad, costos y robustez de los equipamientos tanto desde el punto de vista operativo como de protección, ante las eventuales fallas en cada elemento del circuito y niveles de tensión involucrados en ellos, así como su influencia en la confiabilidad operacional de la instalación industrial.

PALABRAS CLAVES

Transformador, Compensador de Arranque, Arranque a Tensión Plena, Arranque a Tensión Reducida, Motor de Inducción Trifásico, Par de Arranque, Corriente de Arranque.

1. INTRODUCCIÓN

Existen diversos métodos de arranque de motores de inducción trifásicos de baja tensión, clase de voltaje 1,2 kV, en la industria. Cada uno de ellos posee sus ventajas y desventajas, así como su rango de aplicabilidad. La selección del tipo adecuado del arranque del motor debe incluir como mínimo un análisis previo, que involucre :

- Las restricciones de la red de la cual toma la energía.
- Las características de la carga, en particular en el arranque.
- El costo de equipamiento del sistema, en sus partes constituyentes: Media Tensión, Transformación y Protección y Baja Tensión, Protección y Maniobra.

Para acelerar la carga el motor debe generar un par mayor que el que la carga necesita. En la característica Par –Deslizamiento existen tres puntos de interés, que definen los pares críticos, en la dinámica del arranque.

El primero es el “par de rotor bloqueado”, que es el par mínimo que el motor necesita generar en estado de reposo, para cualquier posición angular en que se pueda encontrar el rotor.. Segundo es el “par de aceleración“ que se define como el mínimo par generado por el motor, durante el período de aceleración, desde el estado de reposo, y por último el “par máximo”, que está definido como el máximo torque que el motor desarrollará. Si alguno de estos tres valores esta por debajo del valor requerido por la carga, el motor no arrancara.

El método de arranque a plena tensión, permite generar el máximo par de arranque en un mínimo tiempo de aceleración. El sistema debe tener suficiente respaldo para absorber las altas corrientes de arranque que el motor necesita para su aceleración. Estas pueden llegar a un valor de 6 a 7 veces la corriente nominal del motor. Si el sistema no posee suficiente respaldo, durante el arranque se producirá una caída de tensión que afectara al sistema, y por ende el arranque del motor. Ver Fig 1.

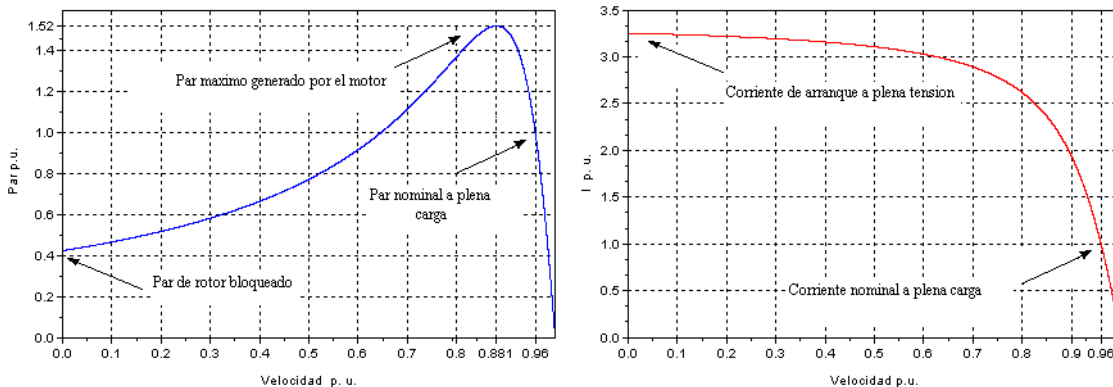


Fig. 1 Características típicas de Par, Corriente v/s Velocidad en un motor ≥ 200 HP

2. METODOS DE ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCION UTILIZADOS, DE POTENCIAS DEL ORDEN DE 200 HP

Entre los métodos convencionalmente utilizados en las industrias para el arranque de motores de este nivel de potencia, son:

1. Arranque Y- Δ
2. Arranque a tensión reducida por autotransformador

2.1 Arranque Y- Δ

En este método, se accede a las terminales de los devanados estáticos del motor, de manera a configurar la conexión en Y- Δ , respectivamente.

El método se fundamenta en el hecho de que al conectar los devanados en estrella, la tensión en las terminales de cada uno, será $\frac{1}{\sqrt{3}}$ veces la tensión nominal durante la partida. Como la corriente es directamente proporcional a la tensión, y el par lo es al cuadrado de la tensión, la corriente de arranque es de 150 % a 160 % de la corriente nominal, y el par de arranque está comprendido entre 20 % y el 50% del par nominal. En la Fig. 2 se ven los cambios ocurridos al producirse la conmutación de la etapa Y a la etapa Δ , en el mismo motor de la Fig. 1.

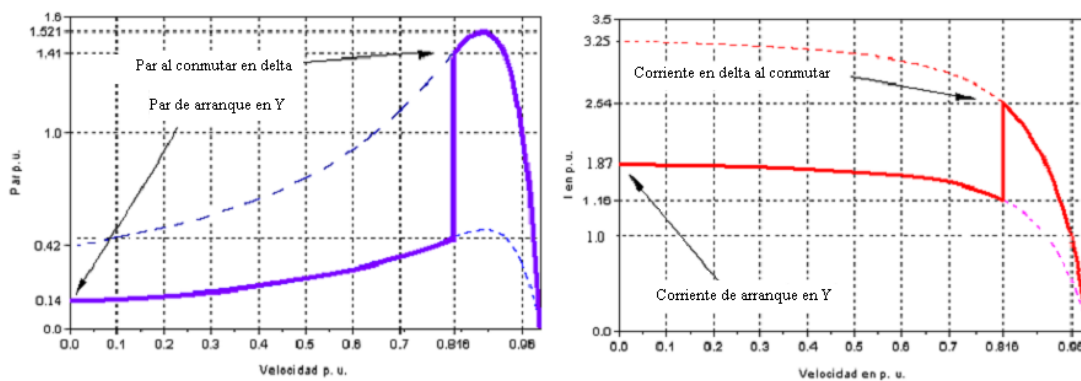


Fig. 2 Características de Par y Corriente en el arranque Y- Δ .

2.1.1 Equipos

Los equipos del arranque estrella-triángulo:

- Tablero de maniobras, control y protección.
- Interruptor termo-magnético, sirve de protección contra c.c. y sobrecargas.
- 3 Contactores de fuerza: Contactor entrada / Contactor D / Contactor Y.
- Relé de tiempo.
- Relé de protección contra sobrecargas y falta de fase.

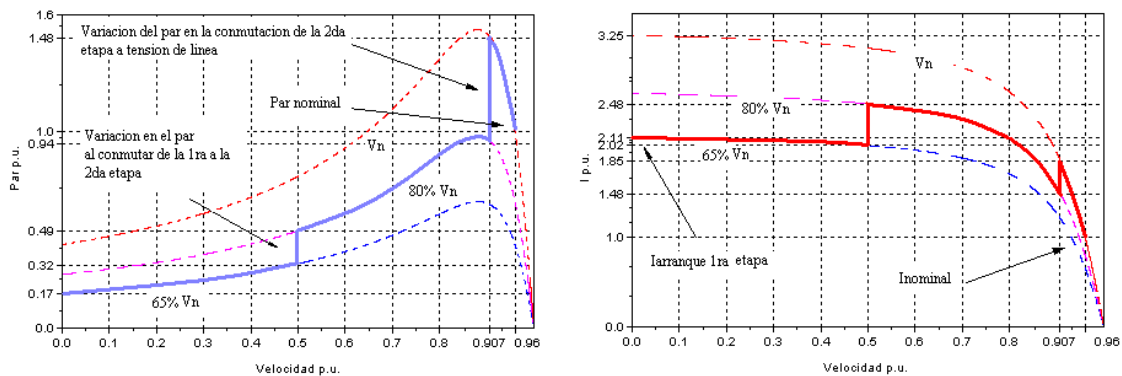
- Fusibles para protección contra cc del circuito de mando
- Aparatos propios del circuito de mando, pulsadores, botoneras, lámparas señalizadoras, elementos de medición, y eventualmente un transformador para disponer del nivel de tensión, en la cual operan estos.

En la Fig. 4, se ve la configuración del circuito de fuerza.

2.2 Arranque a tensión reducida por autotransformador

En este método, los terminales del motor se conectan en el lado de baja tensión del autotransformador, usualmente los taps utilizados son 65%, 80% y 100%.

El motor se arranca a tensión reducida, y luego después de una condición predefinida, el motor se conecta a tensión de línea, Esta condición puede ser un periodo de tiempo predeterminado, nivel de corriente o velocidad del motor. Se debe cuidar en el diseño, que el motor posea el par suficiente para la aceleración, una regla importante es no tener en ningún punto de la curva par-



velocidad, un valor inferior al 10% del par nominal. Ver Fig.3

Fig. 3 Características de Par y Corriente en el arranque por autotransformador.

2.2.1 Equipos

Los equipos del arranque compensado por autotransformador:

- Autotransformador trifásico.
- Tablero de maniobras, control y protección.
- Interruptor termo-magnético, sirve de protección contra c.c. y sobrecargas.
- 3 Contactores de fuerza : Contactor TAP 65% / Contactor TAP 80 % / Contactor tensión nominal.
- Relé de tiempo.
- Relé de protección contra sobrecargas y falta de fase.
- Fusibles para protección contra c.c. del circuito de mando.
- Aparatos propios del circuito de mando, pulsadores, botoneras, lámparas señalizadoras, elementos de medición, y eventualmente un transformador para disponer del nivel de tensión, en la cual operan estos.

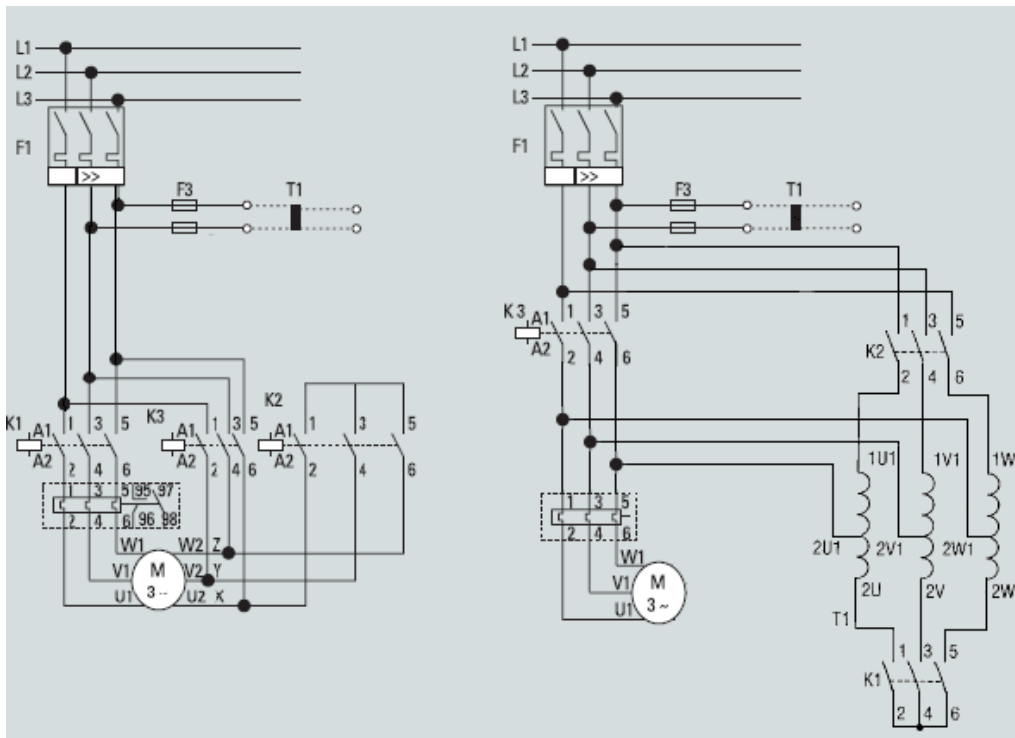


Fig. 4 Circuito de Fuerza Arranque por el método de Y-Δ, y por Autotransformador.

3. PROPUESTA DE UNA VARIANTE TECNICA EN EL ARRANQUE DE MOTORES DEL ORDEN DE 200 HP

Se requiere instalar motores de 200 HP. El lugar de instalación de los motores, se encuentra distante a más de 1000 mt entre el PD(Puesto Distribución) de ANDE. Esto involucra cables de gran tamaño para alimentar los motores desde el PD, considerando sistemas convencionales de distribución en BT.

Con las nuevas tecnologías usadas en equipos del tipo pedestal; en accesorios y protecciones; hacen posible una alternativa viable para este caso. Diseñar un Transformador para una tensión de alimentación de 23 kV y que permita tener en el lado de BT las tensiones necesarias para el arranque a tensión reducida de cada motor. El diseño contempla una distribución en MT – 23 kV desde el PD hasta los motores, utilizando cables monopolares en 23 kV y accesorios premoldeados para la alimentación al transformador. Del lado de BT en el transformador, se dispone de las tres tensiones para arranque con tensión reducida; a saber 65 % – 80% - 100%.

La alimentación de tensión reducida al motor se hace por medio de contactores calibrados para cada tensión y corriente, coordinados por un temporizador, para dar los tiempos de arranque del motor, desde posición parada hasta lograr su velocidad nominal a carga nominal., el diagrama unifilar de la Fig. 5, detalla los elementos.

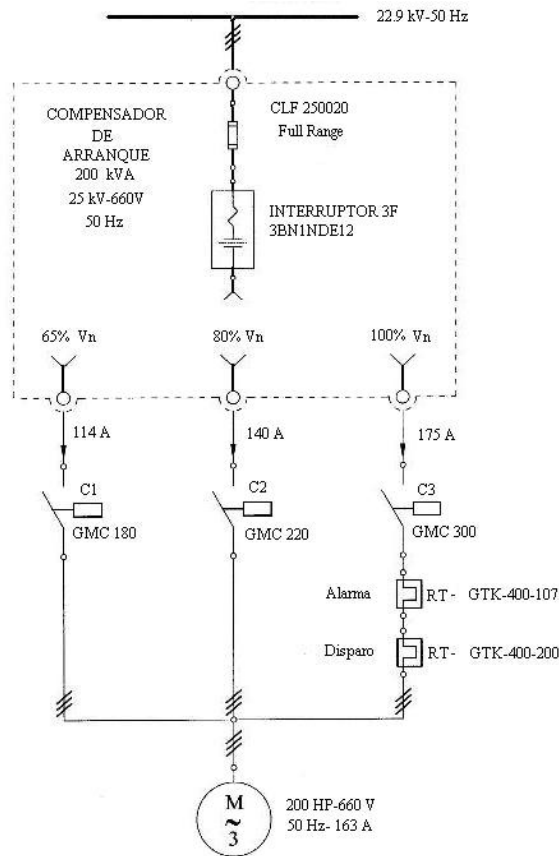


Fig. 5 Diagrama Unifilar del Transformador-Compensador propuesto.

Elementos a considerar en el diseño:

- Tensión alimentación del Compensador de arranque: 22.9 kV \pm 2.5%
- Tensión alimentación al motor del 65% - 80% - 100% de 660 V.
- Motor Inducción 3F – 200 Hp – 380/660V – 50 Hz – NEMA “A”
- Accesorios del tipo pedestal para lado MT 23 kV
- Accesorios del tipo contactor para el lado de 660 V.
- Protecciones para el lado de MT coordinado con protecciones del lado BT.
- Tableros para lado MT y BT.

3.1 Descripción de los accesorios y Protecciones

3.1.1 Accesorios del tipo pedestal para lado MT 23 kV

Los accesorios a utilizar son del tipo premoldeados para clase 25 kV de acuerdo a Normas ANSI 386 – última revisión. Esto incluye: Bushing Well, Insert Bushing Well, Codo, Apantallamiento. Todos los accesorios son para operar bajo carga. Ver Fig. 6.

3.1.2 Accesorios del tipo contactor para el lado de 660 V

Los accesorios a utilizar son contactores del tipo GMC (Contactors & Starters).

3.1.3 Protecciones para el lado de MT coordinado con protecciones del lado BT

Las protecciones a utilizar en el lado de MT son: un interruptor (sensible a la temperatura y sobrecorriente), coordinado con un fusible limitador de corriente de rango total. Este interruptor además sirve como seccionador para operación bajo carga si se requiere interrumpir la energía aguas abajo. Este interruptor esta coordinado con un relé térmico, que se utiliza como protección de sobrecorriente al motor. Ver Fig. 6.



Fig. 6 Lados de BT y MT del Transformador-Compensador

3.2. Instalación Tipo

Existen varias maneras de arrancar un motor de inducción. La selección del mejor arranque se basará: Disponibilidad de energía, costos de los equipos y controladores. Si bien es cierto el arranque a tensión plena es el más fácil y el de menos costo; desde el punto de vista de los equipos; podría generar problemas en el sistema por las caídas de tensión producidas. Los arranques a tensión reducida son menos exigentes a los sistemas de distribución de energía a expensas del reducido par de arranque y bajas corrientes. Ver Tabla I, y Fig. 7.

Tabla I
Tabla comparativa de cuatro tipos de método de arranque y sus características

	Tensión Plena	Autotransformador	Estrella-Delta	Propuesto
Costo	<i>Bajo</i>	<i>Moderado</i>	<i>Bajo</i>	<i>Moderado</i>
Corriente Partida	<i>Alta</i>	<i>Baja</i>	<i>Baja</i>	<i>Baja</i>
Torque Partida	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>



Fig. 7 Vista General Transformador-Compensador

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANSI/IEEE 386-1985, ANSI/IEEE Standard for Separable Insulated Connectors for Power , and Distribution Systems Above 600 V (ANSI)
- [2] John Larabee, Brian Pellegrino, Benjamin Flick “Induction Motor Starting Methods and Issues” (IEEE, Industry Applications Society, annual meeting, 12-14 Sept. 2005, Petroleum and Chemical Industry Conference, 2005, page(s): 217- 222)
- [3] P. Kundur “Power System Stability and Control”, Electric Power Research Institute 993.paginas 304-305.
- [4] A. E. Fitzgerald, et. al., “Maquinas Eléctricas”, 6ta Edición, Mc Graw Hill 2004.paginas 313-347.