

CASO DE ESTUDIO:

IMPACTO DE SAGS EN VARIADORES DE VELOCIDAD

Escrito por Ing. Luis Alejandro Gólcher Barguil, 2023-07-31.

SINOPSIS

Los SAGs pueden detener el funcionamiento de los variadores de velocidad, perturbando la productividad de los procesos. En algunos casos los SAGs pueden ocasionar daños en el mismo variador de velocidad.

VARIADOR DE VELOCIDAD

El equipo Variador de Velocidad (VFD, de sus siglas en inglés Variable Frequency Drive) es un sistema de electrónica de potencia diseñado para variar la velocidad de motores de inducción. Éste apareció a inicios de 1990 con el advenimiento del transistor IGBT (acrónimo del inglés Insulated Gate Bipolar Transistor). El VFD está compuesto por tres etapas de potencia: rectificador, almacenamiento e inversor; la Figura 1 muestra las etapas como bloques.

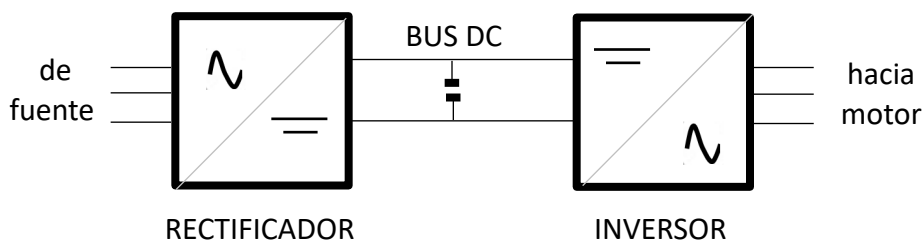


Figura 1. Bloques de potencia de un VFD.

La etapa de rectificación puede construirse con un rectificador de p pulsos no-controlado basado en diodos; típicamente se utilizan rectificadores de seis pulsos. También esta etapa se puede construir con rectificadores controlados basados en IGBTs, los cuales proporcionan una regulación de voltaje de salida antes perturbaciones del voltaje de alimentación. La Figura 2 muestra la topología de ambos rectificadores.

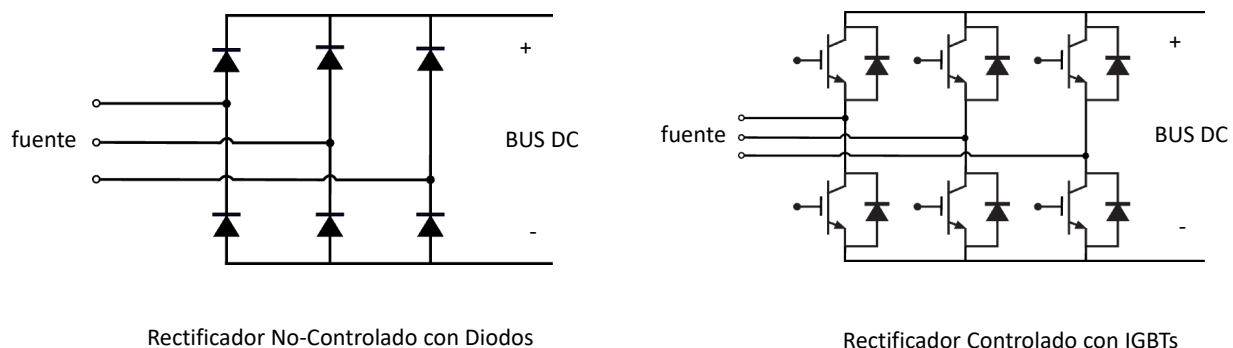


Figura 2. Topología de rectificador no controlado con diodos y rectificador controlado con IGBT.

La etapa del BUS DC se compone de capacitores, los cuales nivelan el voltaje DC y almacenan energía intermedia. La energía almacenada se utiliza para alimentar el inversor ante una

disminución instantánea de la energía de la fuente. Al energizarse el VFD, los capacitores están descargados y ocasionan una sobre corriente inicial que puede dañar a los elementos del rectificador. Así, es usual colocar un circuito de precarga como el que se observa en la Figura 2. Cuando los capacitores están cargados, el switch bypassa la resistencia de precarga. Adicionalmente algunos fabricantes incluyen un inductor grande después del circuito de precarga para disminuir considerablemente la distorsión armónica de las corrientes de línea; se le conoce a este inductor como DC-Choke.

La etapa del inversor reconstruye las ondas AC a partir de una señal de alta frecuencia compuesta por pulsos DC de distinta duración.

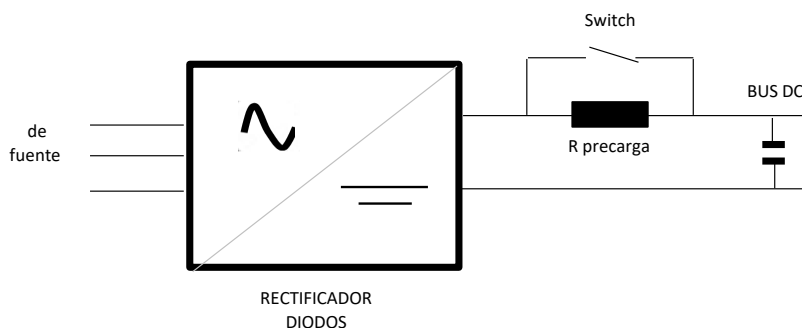


Figura 2. Circuito de precarga de los capacitores internos.

IMPACTO DE UN SAG SOBRE UN VFD

Ante un sag, el VFD tiende a dispararse ya que el voltaje del BUS DC disminuye del mínimo establecido. El voltaje del BUS DC baja porque el capacitor se descarga al ser alimentado momentáneamente con voltaje reducido. Ver Figura 3. El control del VFD realiza el disparo para evitar sobre corrientes de entrada al entrar el motor en rotor bloqueado. En el caso de sags trifásicos, el voltaje del BUS DC se baja considerablemente por lo que su capacidad de mantenerse operando se reduce significativamente. Al momento del sag, el porcentaje de carga mecánica en el motor juega un papel importante ya que determina si el VFD logra sobrevivir el sag.

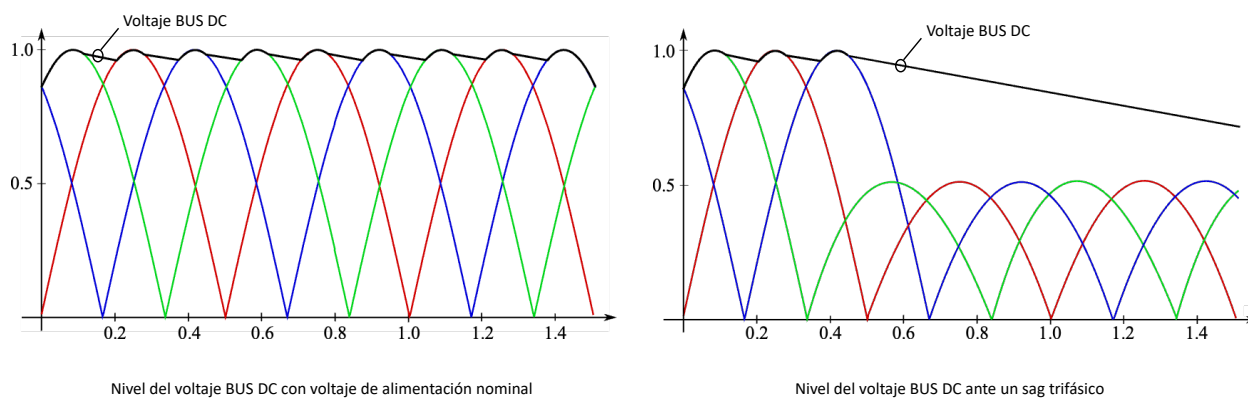


Figura 3. Disminución del voltaje del BUS DC antes un sag.

El VFD puede mal funcionar también porque el voltaje que le llega a la tarjeta de control es muy bajo. Esto se puede resolver alimentando independientemente la tarjeta de control del BUS DC. Incluso, las protecciones internas de desbalance de corriente del VFD o de relés externos se pueden disparar.

En algunas ocasiones los fusibles de entrada o diodos del rectificador pueden dañarse ya que el circuito de precarga no se resetea a tiempo. Esto causa que el circuito de precarga esté bypassado al final del sag, lo que resulta en una sobre corriente en las líneas de entrada.

VFDS CON RECTIFICADORES BASADOS EN IGBT

En los VFDs con rectificadores basados en IGBTs, el controlador del equipo regula el voltaje del BUS DC ante la presencia de un sag. Lo que previene al VFD de dispararse por bajo voltaje; pero esto ocasiona que las corrientes de entrada aumenten para mantener el flujo de potencia constante hacia el motor.

La capacidad del VFD para sobrevivir el sag depende de la capacidad de corriente del VFD, ya que un rectificador basado en IGBTs está diseñado para operar con factor de potencia unitario. Durante el sag, el VFD aumenta la corriente de línea para mantener el flujo de potencia constante. La potencia promedio trasgada, $\langle P \rangle$, por el VFD queda establecida por la Ecuación (1).

$$\langle P \rangle = \sqrt{3}V_{\text{LÍNEA-LÍNEA}}I_{\text{LÍNEA}} \quad (1)$$

Si la carga es menor a la nominal, entonces la corriente de línea puede aumentar por un factor mucho mayor sin exceder la capacidad nominal del VFD. Así el SAG más profundo que puede sobrevivir el VFD está determinado por la carga mecánica antes del momento del SAG. Es decir, sobredimensionar el VFD permite sobrevivir SAGs más severos. La Ecuación (2) indica que el flujo de potencia se debe mantener constante para que el motor no entre en rotor bloqueado durante el sag.

$$\sqrt{3}V_{\text{LÍNEA-LÍNEA}_{\text{PRE-SAG}}}I_{\text{LÍNEA}_{\text{PRE-SAG}}} = \sqrt{3}V_{\text{LÍNEA-LÍNEA}_{\text{DURANTE-SAG}}}I_{\text{LÍNEA}_{\text{DURANTE SAG}}} \quad (2)$$

como

$$V_{\text{LÍNEA-LÍNEA}_{\text{DURANTE-SAG}}} = V_{\text{LÍNEA-LÍNEA}_{\text{PRE-SAG}}} \times (\text{SAG}) \quad (3)$$

entonces

$$I_{\text{LÍNEA}_{\text{DURANTE-SAG}}} = I_{\text{LÍNEA}_{\text{PRE-SAG}}} \frac{1}{\text{SAG}} \quad (4)$$

Dado que la mayoría de VFDs permiten sobre-corrientes temporales de 150% por tres segundos, entonces se tiene que

$$\Rightarrow SAG_{MAX} = 66\% \quad (5)$$

Sin embargo, si el VFD está operando al 70% de su carga nominal antes del SAG, entonces

$$SAG_{MAX} = 66\% \frac{70\%}{100\%} = 46\% \quad (6)$$

Es decir, en este ejemplo, el voltaje de alimentación puede bajar hasta un 46% del voltaje nominal por tres segundos sin provocar un disparo del VFD.

CASO REAL

Un VFD de 700 Hp, 480 Volts_{L-L}, está alimentado por un transformador con un primario 34.5 kVolts_{L-L}. La carga mecánica conectada es nominal. El VFD permite una sobrecarga de 1.5 veces la corriente nominal durante 3 segundos. Así, su capacidad de soportar disminuciones de voltajes breves es de $SAG_{MAX} = 66\%$.

En la Figura 4 se muestra $SAG \approx 95\%$ por aproximadamente 0.05 segundos que se registró en el primario del transformador. Se esperaba que la corriente de línea incrementara 1.05 veces, pero en realidad se incrementó 1.23 veces. Es indicativo que el motor comenzó a moverse hacia rotor bloqueado durante el sag.

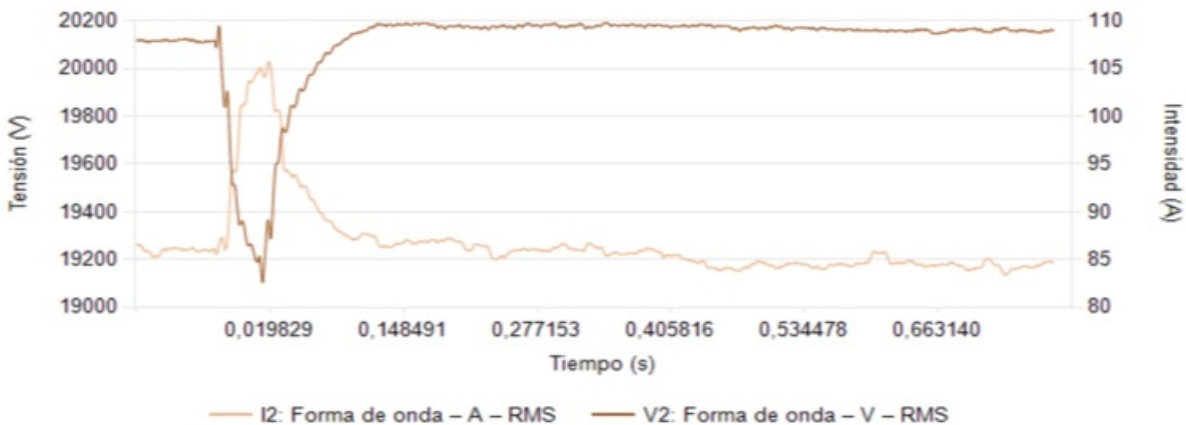


Figura 4. Incremento de corriente ante un sag.

Si se hubieran presentado sags continuos, es posible que los IGBTs no estén preparados para mantener la sobre corriente de 1.23 veces.

CONCLUSIÓN

Los sags pueden detener el funcionamiento de los variadores de velocidad. En algunos casos los SAGs pueden ocasionar daños en el mismo variador de velocidad. Los VFDs con rectificadores no-controlados construidos con diodos tenderán a dispararse ante un sag ya sea por bajo voltaje en

el BUS DC o por desbalance de corriente. Mientras que los VFDs con rectificadores controlados construidos con IGBTs tenderán a soportar sags de 66% alimentando carga nominal.