

Guías de Aplicación: Información Técnica de Cummins Generator Technologies

AGN 093 - Sistema de Excitación

DESCRIPCIÓN GENERAL

El sistema de excitación de un alternador moderno típico tendría las siguientes características:

- Campo giratorio: rotor de excitación, unidad rectificadora y rotor principal girando dentro del estator principal. La potencia de salida se genera y se toma del estator principal.
- Sin escobillas: el campo es generado por el excitador, rectificado a CC e inducido en el devanado del rotor principal.
- La regulación de voltaje está controlada por un regulador automático de voltaje (AVR) analógico (electrónico) de estado sólido o un AVR digital, según el modelo.
- El AVR puede alimentarse directamente desde la salida del alternador o desde una fuente independiente. La fuente independiente puede ser un Generador de Imán Permanente (PMG) o un Devanado Auxiliar.

Se puede identificar que el sistema de excitación que se muestra en el diagrama de bloques de la página siguiente consta de:

- Rotor principal
- Armadura del excitador
- Unidad rectificadora rotativa
- Campo excitador
- AVR
- Fuente de alimentación independiente PMG

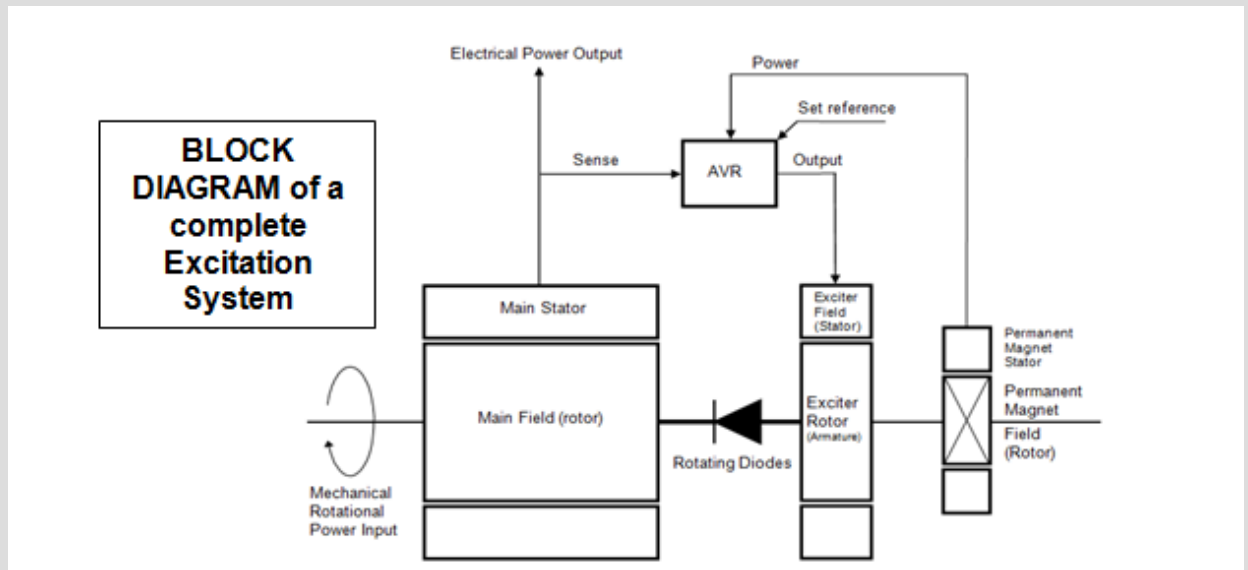


Diagrama de bloques de un sistema completo de excitación para un alternador sin escobillas

EL SISTEMA DE EXCITACIÓN EN OPERACIÓN

Los altos niveles de potencia requeridos por el devanado del rotor principal son proporcionados por la armadura del excitador y su conjunto de diodos giratorios asociado. El control de la corriente dentro del devanado de campo del rotor principal se logra controlando el voltaje generado dentro de la armadura del excitador. El funcionamiento de la armadura del excitador con el voltaje correcto (por lo tanto, el devanado del rotor principal con la magnitud correcta de amperios-vueltas magnetizantes) se logra mediante el AVR que regula dinámicamente el nivel de corriente dentro del devanado del campo del excitador.

En el diagrama de bloques anterior, se muestra que el AVR se alimenta desde un generador de imanes permanentes (PMG). Existen esquemas de fuentes de energía alternativas; el más común se describe en la última sección de esta descripción general, titulada "La fuente de alimentación del AVR varía".

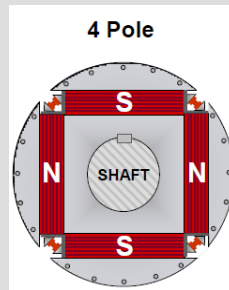
La salida dinámica del AVR al devanado del campo del excitador es una función de un sistema de control de circuito cerrado interno, que implica detectar continuamente el voltaje de salida del devanado del estator y luego comparar este voltaje con el nivel de voltaje "establecido" en el AVR. Mantener el voltaje de salida detectado equilibrado con el voltaje establecido del AVR es un proceso continuo con la corrección del sistema capaz de alcanzar el 97% del voltaje objetivo en 300 ms.

Los componentes anteriores y su colaboración para controlar el voltaje de salida de un alternador se describen en las siguientes secciones.

Rotor Principal

Alrededor de cada uno de los polos salientes laminados del rotor hay bobinas enrolladas direccionalmente, que forman la base de un sistema electromagnético. La corriente que fluye a través de las bobinas contra direccionales de los polos del rotor crea un campo magnético

dentro del conjunto completo del rotor, con los polos adyacentes polarizados magnéticamente con polaridad opuesta; como se ve en el diagrama siguiente. Tenga en cuenta la polaridad N-S-N-S.



Rotor Principal – 4 polos

Con el rotor colocado dentro del orificio del estator del alternador, el flujo magnético que emana de cada polo del rotor cruzará el entrehierro entre el polo del rotor y el núcleo del estator. Luego continúa adelante desarrollando una trayectoria magnética circunferencial dentro del estator en dirección horaria y antihoraria en dirección a los polos adyacentes del rotor, que al ser de polaridad magnética opuesta atraen el flujo para luego volver a cruzar el entrehierro rotor/estator y completar el circuito magnético dentro el rotor.

La intensidad del campo magnético es producto de la corriente que fluye a través de las bobinas del rotor. La intensidad óptima (densidad de flujo) está determinada por varios factores, que incluyen el acero eléctrico elegido, la velocidad del rotor y el número de polos, y la necesidad de evitar una saturación excesiva de los diversos caminos dentro del circuito magnético.

Con el conjunto del rotor girando dentro del orificio del paquete del núcleo del estator, el flujo magnético que emana de los polos del rotor está en movimiento constante con respecto a cualquier punto fijo identificado dentro del orificio del estator, que por ejemplo es una ranura del devanado del estator. Además, en relación con ese punto fijo (ranura del estator), la polaridad magnética cambia constantemente: el Norte, luego el Sur, luego el siguiente Norte, luego el siguiente Sur, y así sucesivamente; pasando continuamente por ese punto de la ranura del estator.

La combinación del número de polos del rotor, con la velocidad de rotación del rotor, establecerá el período de tiempo durante el cual la polaridad del flujo magnético, en relación con una ranura de devanado del estator, cambia de la vinculación máxima por un Polo Norte a la vinculación máxima por un Polo Sur. Esta relación de período de tiempo establece los valores bastante familiares para las velocidades de rotación impulsadas por el alternador y la producción eléctrica relacionada en términos de valores de corriente alterna (CA) que se alinean con las frecuencias del sistema eléctrico internacional. Por ejemplo: un alternador que genera energía a una frecuencia de 50 Hz requiere un rotor de 4 polos para funcionar a 1500 rpm y uno de 6 polos para funcionar a 1000 rpm.

Lo anterior describe cómo el campo magnético del rotor somete los devanados del estator a un flujo magnético pulsante que cambia de polaridad. La "fuerza" del campo magnético está controlada por el nivel de corriente dentro de los devanados del polo del rotor. Más corriente equivale a un campo magnético más fuerte en una relación casi proporcional hasta que comienza a ocurrir la saturación de la trayectoria del flujo magnético.

Habiendo establecido la velocidad de rotación del rotor para satisfacer la frecuencia de salida requerida, el control sobre el nivel de voltaje de salida del alternador es función de la fuerza del flujo magnético que emana del campo magnético del rotor. El AVR controla y mantiene el nivel correcto de voltaje de salida del alternador mediante el proceso explicado anteriormente.

Devanado del Rotor Principal

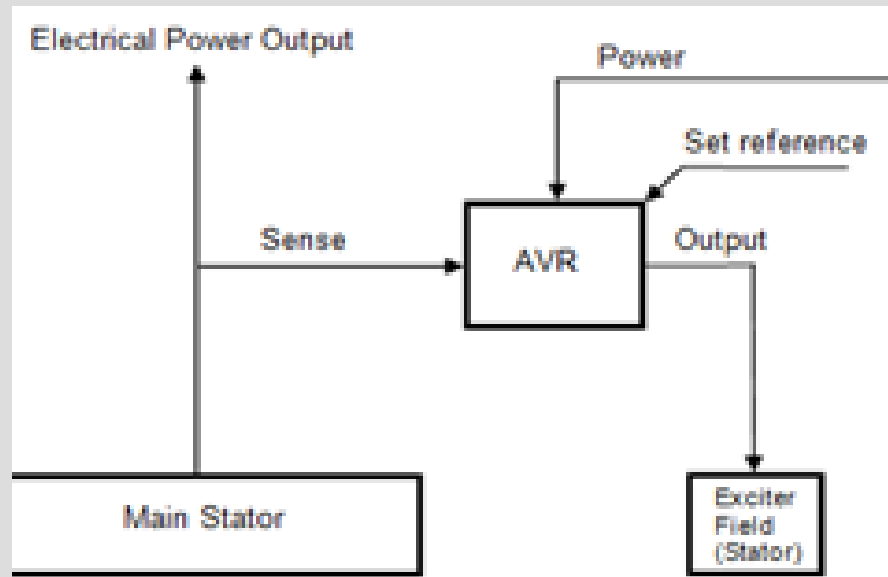
El diseño del rotor principal dependerá de la velocidad a la que girará el rotor y de la frecuencia (50 Hz o 60 Hz) requerida. Otros aspectos técnicos relacionados son los siguientes:

- Las resistencias del devanado del rotor suelen estar en la región de 2 a 3 ohmios.
- La corriente dentro de las bobinas del rotor variará según el tamaño del alternador y el nivel de salida eléctrica kVA/kW que se entrega. Los niveles de corriente del rotor que oscilan entre 10 y 150 A son típicos para alternadores en una variedad de diseños adecuados para 5 a 2500 kVA, para condiciones de carga nominal normales. Esto puede aumentar a 250 A en condiciones de sobrecarga momentánea. Ejemplos de ello son; durante el arranque de un motor o durante la eliminación de fallas del sistema de distribución eléctrica.
- La construcción del rotor permite un funcionamiento a corto plazo en condiciones de exceso de velocidad, hasta un máximo de 1,25 x la velocidad nominal. Por ejemplo, los rotores de 4 polos diseñados para alternadores de 50 Hz (1500 rpm) y 60 Hz (1800 rpm) tienen un límite de exceso de velocidad de $1,25 \times 1800 = 2250$ rpm.

Regulador de Voltaje Automático (AVR)

Un AVR también se conoce como Unidad de Control de Voltaje (VCU). El AVR tiene dos entradas y una salida eléctrica, además de un voltaje de referencia establecido derivado internamente, que se describe a continuación:

- Entrada 1. La detección del nivel operativo de voltaje de salida del alternador.
- Entrada 2. La fuente de alimentación del AVR.
- Salida 1. La salida del AVR que se convierte en la entrada al devanado del campo del estator excitador.
- El voltaje de referencia establecido es una referencia derivada electrónicamente creada dentro del circuito del AVR. Esto se establece a el voltaje de salida requerido del alternador.



La Fuente de Alimentación del AVR

Alternadores auto-excitados: los esquemas rentables utilizarán los cables que proporcionan la entrada de detección de voltaje al AVR para proporcionar también su fuente de alimentación. Este esquema a menudo se denomina excitación en derivación. Tiene una característica inherente que limita el rendimiento del alternador, que sólo se hace evidente en condiciones de sobrecarga grave. Algunos ejemplos son el arranque directo en línea de un motor eléctrico excesivamente grande o asociado con una falla del sistema de distribución que involucra el cortocircuito de las tres fases. Estas condiciones de sobrecarga grave hacen que el voltaje de salida del alternador se reduzca mucho. En consecuencia, está disponible un nivel de potencia reducido para el AVR, lo que a su vez reduce la potencia de excitación disponible para el campo excitador. El resultado neto es que el voltaje de salida del alternador colapsa.

Alternadores excitados por separado: un esquema mediante el cual el suministro de energía del AVR se deriva de una fuente independiente. Dichos esquemas permitirán que el alternador sostenga un grado de sobrecarga grave además de proporcionar una corriente de falla de estado estable para facilitar la discriminación del sistema de protección.

Los devanados auxiliares integrados dentro del conjunto de devanado del estator se pueden configurar para detectar y beneficiarse de los cambios en el comportamiento del flujo del entrehierro sobre los diferentes niveles de kVA de salida nominal continua permitida. Además, amplificar el nivel de voltaje de la fuente de alimentación del AVR en caso de que el alternador esté sujeto a una sobrecarga grave o a condiciones de falla relacionadas con el sistema de distribución.

Para una fuente de alimentación totalmente aislada e independiente, el uso de un "excitador piloto" en forma de un pequeño generador de imán permanente (PMG) montado en un eje ofrece ventajas sutiles sobre los sistemas de devanado auxiliar del estator. Este sistema

totalmente aislado permite una opción sencilla de actualización para un alternador existente donde cambiar el PMG es una tarea sencilla en caso de que surja un problema en servicio.

Sistema operativo del AVR

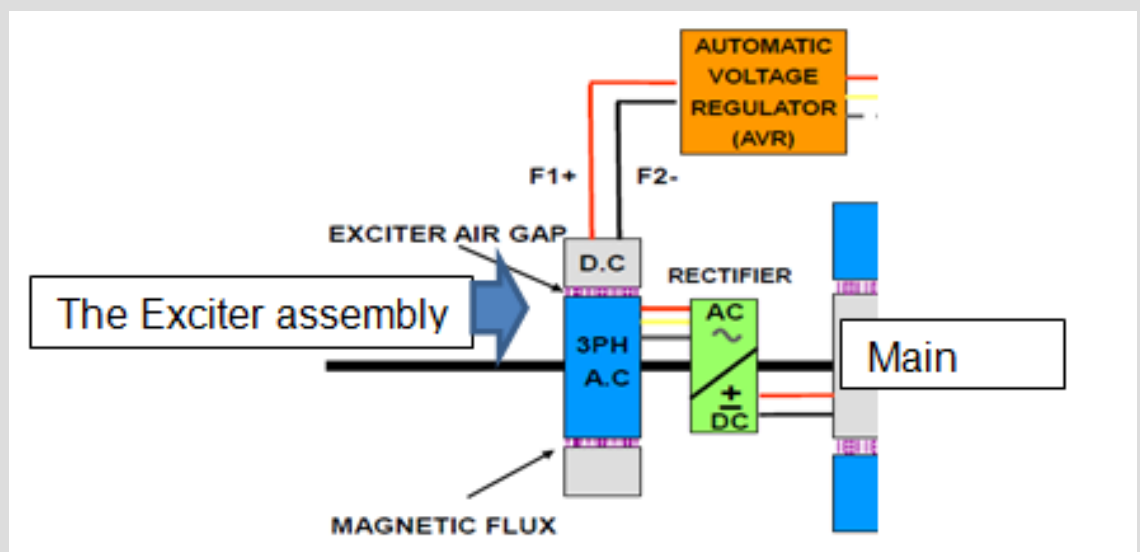
Los AVR funcionan con un sistema de control de circuito cerrado PID (Proporcional – Integral – Derivado). En términos más fáciles de entender; cuando el voltaje de salida del alternador difiere del nivel establecido, la función de control del AVR es consciente de un "error" que resulta en que el elemento **proporcional** realice un cambio en la salida del AVR en proporción a ese "error". Mientras ese "error" esté presente, el elemento **Integral** incrementará o disminuirá continuamente la salida del AVR para rectificar ese "error". La tasa de cambio del "error" es reconocida por el elemento **Derivado**, que luego proporciona una entrada al circuito de control completo para ayudar a amortiguar la oscilación del "error" y así facilitar la estabilidad.

Tradicionalmente, el proceso empleado era un sistema analógico. Más recientemente, el sistema digital se ha convertido en un esquema muy popular para que los AVR controlen el nivel de voltaje de salida del alternador. Además, el sistema digital ofrece beneficios técnicos operativos junto con la capacidad de admitir características y funciones adicionales.

Para obtener más información, hay una biblioteca de documentos en una sección específica que cubre los AVR en el sitio web – www.stamford-avk.com

Excitador

En el siguiente diagrama, el excitador se representa correctamente como un conjunto eléctrico giratorio, ubicado dentro del alternador, con la armadura del excitador unida al eje del alternador. El rotor excitador está ubicado adyacente al rotor principal y está eléctricamente separado por la unidad rectificadora giratoria. El AVR se muestra conectado al conjunto de devanado de campo estático del estator del excitador mediante el par de cables de corriente CC identificados como F1 +ve y F2 –ve:



Unidad Excitadora y Rectificadora

El comportamiento de la función de control del AVR se ha explicado en secciones anteriores, junto con los principios de las trayectorias del campo electromagnético (creadas por los devanados de "campo") que cruzan el entrehierro dentro de la máquina eléctrica giratoria y generan un voltaje en los devanados, que quedan sujetos a las trayectorias de flujo magnético del devanado de campo.

Dentro del excitador, el componente giratorio conocido como armadura del excitador, a veces denominado rotor del excitador, tiene un paquete central construido de acero eléctrico laminado en el que hay ranuras radiales cerca de su periferia diseñadas para permitir la incorporación de un sistema de bobinado trifásico para funcionar con una salida eléctrica dedicada a proporcionar una combinación óptima de voltaje y corriente para satisfacer las necesidades del devanado del rotor principal y las necesidades de excitación de las principales máquinas eléctricas, como se describe en la sección 'Rotor'.

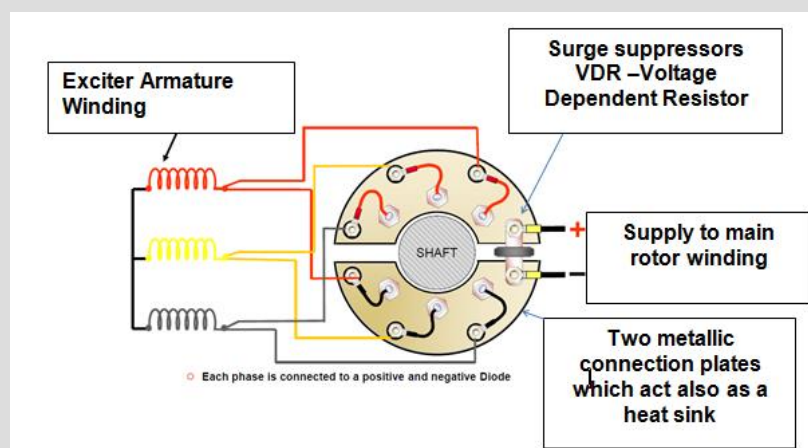
El excitador funciona como un amplificador de potencia mecánica para soportar un alternador en condiciones de carga nominal completa, con las siguientes características típicas:

- La entrada eléctrica proporcionada por el AVR se medirá en niveles que oscilan entre 200 y 400 vatios.
- La potencia demandada por el devanado del rotor principal puede ser de 8 a 15 kW.
- El motor (primario) proporciona la potencia de amplificación.

Es probable que el voltaje de CA generado dentro de la armadura del excitador sea de 2,5 a 3,5 veces la frecuencia de la salida principal del alternador y los devanados del campo del excitador funcionen como un conjunto de corriente CC. Esto los hace muy susceptibles a la contaminación del aire, particularmente a la corrosión.

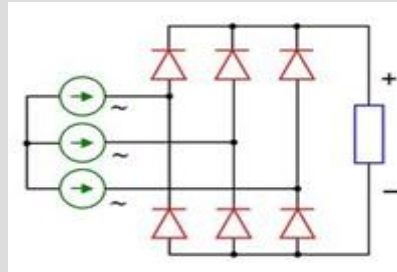
Unidad Rectificadora - Conjunto de diodo giratorio

Los diodos dentro del conjunto de diodos giratorios se seleccionan cuidadosamente para garantizar que su capacidad de transporte de corriente, junto con su capacidad de resistencia a la tensión, tenga un margen de seguridad operativa en comparación con los niveles operativos de diseño del excitador y del devanado de campo principal.



Unidad rectificadora - Conjunto de diodo giratorio

Los diodos están conectados como un puente trifásico de onda completa, para lo cual ahora se muestra un circuito más convencional para ayudar a comprender por qué cada uno de los devanados de fase tiene dos conductores.



Puente trifásico de onda completa

Los diodos giratorios pueden estar sujetos a condiciones de funcionamiento estresantes asociadas con cambios de paso de carga en la salida del alternador. Quizás la peor condición sea durante la sincronización "bruta" de los grupos electrógenos que funcionan en paralelo.

Los diodos utilizados se seleccionan para que sean adecuados para las siguientes condiciones de funcionamiento:

- Para permitir el monitoreo del conjunto de diodos y para detectar una condición de falla del diodo. Un módulo de detección de fallas de diodo (DFD) independiente está disponible como accesorio opcional.
- El DFD está conectado en serie con la salida del AVR al campo del excitador y detecta un "contenido de ondulación" inusual que se produce cuando falla un diodo: una falla de "circuito abierto".
- Un diodo que falla con una falla de "cortocircuito" produce una sobrecarga en los devanados del inducido del excitador y, en consecuencia, una incapacidad del devanado principal para operar a la tensión nominal. El AVR intenta compensar aumentando la corriente en los devanados del campo del excitador, pero esta salida de sobre corriente del AVR desencadena un apagado del AVR mediante la función de "sobree excitación".

Prueba a Diodos Giratorios

Si bien es aceptable utilizar un multímetro (modo de medición de resistencia) como primera parte del proceso para identificar si un diodo está en servicio, la única certeza es que esta prueba identificará un diodo que esté en cortocircuito o en circuito abierto.

Un multímetro (modo de prueba de diodo o resistencia) no entregará un voltaje lo suficientemente alto como para determinar si la unión P-N del diodo es capaz de bloquear el flujo de corriente en la dirección de polaridad inversa, cuando ese diodo está sujeto a los niveles de voltaje asociados a las condiciones de funcionamiento.

El método práctico para probar la capacidad de bloqueo de voltaje inverso de un diodo implica someter el diodo sospechoso a un banco de prueba utilizando una fuente de alimentación

segura de 240 V 50 Hz, el diodo se conecta en serie con una bombilla de filamento de 240 V (nominal) y 40 W.

El diodo es útil si la bombilla se ilumina a medio brillo con un efecto de parpadeo, lo que indica que la bombilla obviamente solo recibe energía por cada medio ciclo que está alineado con la dirección de conducción directa de los diodos.

El diodo no funciona si la bombilla se ilumina con todo su brillo y no muestra signos de "parpadeo".

Protección para los Diodos Giratorios

Básicamente, las resistencias dependientes del voltaje (VDR) y los varistores de óxido metálico (MOV) son una mezcla de "pimienta y sal" de materiales de carbono que tienen una alta resistencia hasta que se someten a una alta presión [voltaje]. Luego se convierte en un camino de baja resistencia para eliminar la presión excesiva, permitiendo que muchos amperios fluyan momentáneamente a través del VDR, que se ha convertido en un camino momentáneo de baja resistencia. Esto significa que el rating del dispositivo solo se le pide que funcione durante un período de tiempo MUY corto y MUY intermitente. Un VDR que esté continuamente "recortando" voltajes excesivos se calentará y fallará.

Por lo tanto, se elige cuidadosamente un VDR para proteger los diodos de ser sometidos a un nivel dañino de voltaje inverso máximo [PIV], que de otro modo rompería la unión P-N de los diodos y, por lo tanto, lo convertiría en un cortocircuito no rectificador.

Primero, elige el tipo de diodo considerando cuidadosamente el rating y los niveles operativos normales de PIV, y luego ofrece protección a los dispositivos de estado sólido mediante un VDR cuidadosamente elegido. Cuando los VDR comienzan a tener problemas, esto, como un fusible quemado en un circuito eléctrico simple, es la primera señal de que está ocurriendo algún tipo de situación anormal con el funcionamiento del alternador.

Una situación relacionada con la carga que causa una situación transitoria de sobre corriente o sobrevoltaje dentro del devanado del estator. Esto, mediante inductancia mutua, generará un transitorio de alto voltaje en el devanado del rotor, que el VDR intentará erradicar mediante "recorte", y así proteger los diodos giratorios de un nivel dañino de PIV. El mecanismo adicional que agravará la situación descrita anteriormente es cuando hay un cambio repentino de la posición angular del rotor con respecto al estator. Esto podría deberse a un gran cambio en el paso de carga, lo que resulta en un gran cambio en el ángulo de carga posicional del rotor. Pero la situación más común para este escenario es un cambio repentino de posición del rotor resultante de un grupo electrógeno conectado en paralelo en un ángulo de fase mayor que el desplazamiento recomendado [el máximo absoluto es +/- 10 grados eléctricos].

Entonces, cuando los ingenieros de diseño de alternadores de AvK y STAMFORD especifican un VDR que ofrecerá la protección requerida para un conjunto de diodos giratorios, el proceso de decisión toma en cuenta el voltaje de fijación, las curvas voltaje-corriente, el rating de energía máximo y la disipación de potencia. Luego, lo más importante, la construcción mecánica para su vida útil en un conjunto de rotación. La absorción de energía VDR requerida

en un alternador STAMFORD S6 y P7 (S7), por ejemplo, requiere la instalación de un par de VDR coincidentes para ayudar con las tensiones centrífugas del conjunto de diodos giratorios y las consideraciones de equilibrio del rotor. Nota: es imperativo que, si falla un VDR de un par coincidente, ambos deben cambiarse por otro par coincidente y, en el almacenamiento, los pares coincidentes nunca se separan.

En cuanto a los datos técnicos; los VDR utilizados en la gama HC son Z500PS, individuales en los alternadores S4 y HC5 (S5) y el mismo dispositivo, pero pares coincidentes en los alternadores S6 y P7 (S7). Cada dispositivo tiene una energía máxima de 420 J y un voltaje límite de 1420 V a 100 A. Como los alternadores S6 y P7 (S7) tienen dos dispositivos de este tipo en paralelo, el rating energético se duplica. El voltaje de 1 mA es de 800 V.

El proceso de diseño de ingeniería para obtener los VDR adecuados para proteger los diodos se basó en condiciones extremas aceptables de funcionamiento del alternador. Se recomienda encarecidamente que no se utilicen VDR alternativos. Esta posición es confirmada por las decenas de miles de Grupos Generadores que operan en el campo y que no presentan problemas de VDR.

Para obtener información sobre VDR para otros alternadores AvK y STAMFORD, comuníquese con Ingeniería de aplicaciones en applications@cummins.com.

Si los VDR de un alternador se están "quemando", ese alternador está sujeto a un modo de operación estresante que acorta su vida útil, lo que puede ser el resultado de equipos mal puestos en servicio o de operadores mal capacitados.

En la industria, existe una condición conocida como "ruptura" del diodo. Esto no es un problema con los alternadores AvK y STAMFORD, porque no forzamos ni apagamos la energía del rotor principal en los cambios de paso de retiro de carga. Se permite que la corriente de campo del rotor principal decaiga y, debido a que, incluso el alternador AvK más grande es pequeño en términos de generador real, la constante de tiempo del campo y la energía son valores pequeños.

En caso de deslizamiento de polos, el cambio angular relativamente repentino entre el rotor y el estator provocará cambios masivos en la energía interna del alternador. Por lo tanto, se producen grandes cambios en los niveles de corriente del estator y el efecto acumulativo de ambos amperios-vueltas del estator. El cambio angular del deslizamiento polar inducirá un alto voltaje en el devanado del rotor. Esto promoverá el recorte de VDR. Es entonces la duración del recorte, impulsada por la duración del deslizamiento del polo, lo que decide la capacidad del VDR para sobrevivir o sacrificarse en su función de deber. No queremos que un alternador se vea sometido a deslizamientos de polos, y el operador del Grupo Electrógeno tampoco. Si esto sucede, es negligencia por parte del operador o del sistema de control del Grupo Generador. No sería viable ofrecer alternadores equipados con VDR clasificados para condiciones tan extremas.

En condiciones de falla, sobrecarga o cortocircuito, las vueltas de amperaje de la corriente del estator y los cambios rápidos del flujo del entrehierro en el tiempo cero de la zona subtransitoria, sin duda provocarían que el VDR se activara. Según la experiencia, un solo

cortocircuito aplicado a un alternador no provocará por sí solo que falle el VDR. Pero si somete el alternador a una secuencia de sobrecargas/fallos que simulan un sistema de protección en cascada muy mal diseñado, o a una micro interrupción cuando está en paralelo con la red eléctrica, el VDR se autodestruirá.

La capacidad de absorción de energía del VDR es una línea estrecha entre lo que se requiere para una protección adecuada del diodo en condiciones anormales aceptables y, luego, cuánto mayor en rating energético/tamaño físico puede ser el VDR y aún caber en el espacio disponible en el montaje del diodo giratorio.

En condiciones de sobrecarga grave, con el AVR en su voltaje máximo y el excitador saturado. El voltaje L-L de la armadura del excitador sería del orden de 150 Vrms, pero no es el voltaje de excitación lo que genera niveles de PIV que dañan el diodo, sino la actividad del devanado del estator y la inductancia mutua resultante de la relación de vueltas elevadoras del devanado del estator al rotor.

VALORES DE EXCITACIÓN

A menudo se solicitan valores de tensión y corriente del excitador. La siguiente tabla enumera los valores de los alternadores STAMFORD equipados con el devanado estándar 311/312/12, a menos que se indique lo contrario.

Modelo	Resistencia (Ω)	Sin Carga		Plena Carga	
		Voltaje (V)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Corriente (A)
S0L1-D1	14	10	0.71	40	2.2
S0L1-H1	14	11	0.79	41	2.4
S0L1-L1	17.6	13	0.74	53	2.5
S0L1-P1	17.6	13	0.74	56	2.6
S0L2-F1	14.6	13	0.89	47	2.6

Modelo	Resistencia (Ω)	Sin Carga		Plena Carga	
		Voltaje (V)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Corriente (A)
S0L2-G1	14.6	13	0.89	47	2.7
S0L2-M1	15.4	13	0.84	51	2.7
S0L2-P1	16.1	13	0.81	50	2.5
S1L2-J1	16.4	13	0.79	48	2.5
S1L2-K1	15.5	15	0.97	52	2.7

S1L2-N1	14.4	18	1.25	47	2.8
S1L2-R1	14.7	13	0.88	50	2.9
S1L2-Y1	16	14	0.88	53	2.8
P 044D	19.5	12	0.62	52	2.2
P 044E	19.5	13	0.65	52	2.2
P 044F	18.5	13	0.7	52	2.2
P 044G	18.5	13	0.7	52	2.2
P 044H	18.5	13	0.7	52	2.2
P 144D	19.5	14	0.7	52	2.2
P 144E	20.5	14	0.7	52	2.2
P 144F	21.5	14	0.65	52	2.2
P 144G	22	14	0.63	52	2.2
P 144H	25	13	0.52	52	2.2
P 144J	25	12	0.48	52	2.2
P 144K	23.5	12	0.51	52	2.2
UC 224C	21	10	0.48	55	2.2
UC 224D	21	10	0.48	55	2.2
UC 224E	20	10	0.5	55	2.2
UC 224F	20	10	0.5	55	2.2
UC 224G	20	10	0.5	55	2.2

		Sin Carga		Plena Carga	
Modelo	Resistencia (Ω)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Corriente (A)
UC 274 (todos los núcleos)	20	10	0.5	58	2.3
N124G4	15.8	15	0.9	67	3.8
N150G4	15.8	15	0.92	72	3.8
N180G4	17.5	14	0.75	68	3.3
N200G4	17.5	13	0.77	63	3.3

N250G4	17.5	15	0.85	81	3.8
N300G4	16.8	14	0.85	76	3.8
S4L1D-C41	18	12	0.7	43	2.4
S4L1D-D41	18	12	0.7	41	2.3
S4L1D-E41	18	12	0.7	41	2.3
S4L1D-F41	18	10	0.7	41	2.3
S4L1D-G41	18	12	0.7	48	2.6
S4L1S/M & HC 4 (todos los núcleos)	18	10	0.56	42	2.3
S5L1D-C	17	9.4 - 10.2	0.5 - 0.6	44	2.6
S5L1D-D	17	8.7 - 9.5	0.55 - 0.6	44	2.6
S5L1D-E	17	8.7 - 9.0	0.56 - 0.58	44	2.6
S5L1D-F	17	8.5 - 9.9	0.54 - 0.62	44	2.6
S5L1D-G	17	10.7 - 11.4	0.56 - 0.66	44	2.6
S5L1D-H	17	9.1 - 10.1	0.52 - 0.58	49	2.8
S5L1S/M & HC 5 todos los núcleos)	17	9	0.53	44	2.6
S6L1D/M-C	18.47	12.9 - 14	0.74 - 0.8	59	2.9
S6L1D/M-D	18.47	15.2 - 16	0.82 - 0.87	59	2.9
S6L1D/M-E	19.56	13.5 - 13.6	0.68 - 0.69	62	2.8
		Sin Carga		Plena Carga	
Modelo	Resistencia (Ω)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Corriente (A)
S6L1D/M-F	19.56	12.3 - 12.9	0.55 - 0.68	53	2.6
S6L1D/M-G	19.56	11.2 - 11.9	0.56 - 0.59	58	2.7
S6L1D/M-H	19.56	14.2 - 15.6	0.71 - 0.76	66	2.9
HC 6 (todos los núcleos)	17	11	0.65	58	3.4

S7L1D/M-C	22.3	13.3 - 13.8	0.58 - 0.61	70	2.8
S7L1D/M-D	22.3	14.8 - 15.6	0.67 - 0.7	63	2.7
S7L1D/M-E	22.3	14.7 - 15.4	0.64 - 0.68	58	2.6
S7L1D/M-F	22.3	14.7 - 15.4	0.64 - 0.68	64	2.8
S7L1D/M-G	22.3	14.7 - 15.4	0.62 - 0.67	73	2.9
S7L1D/M-H	20.1	14.5 - 15.9	0.74 - 0.81	62	2.9
S7L1D/M-J	20.1	17.3 - 17.8	0.86 - 0.88	77	3.2
P734A - F	17.5	12	0.69	63	3.6
P734G	16	11	0.69	60	3.75
S7H1D-C Wdg83	19.56	14	0.73	57	2.67
S7H1D-D Wdg83	19.56	14	0.7	58	2.72
S7H1D-E Wdg83	19.56	14	0.71	60	2.76
S7H1D-F Wdg83	19.56	16	0.8	67	3.07
S7H1D-C Wdg983	19.56	16.7	0.91	48	2.3
S7H1D-D Wdg983	19.56	15.24	0.83	55	2.7
S7H1D-E Wdg983	19.56	15.2	0.83	61	2.7
S7H1D-F Wdg983	19.56	17.5	0.96	69	3.3

		Sin Carga		Plena Carga	
Modelo	Resistencia (Ω)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Corriente (A)
S9H1D/M-B Wdg 83	9.8	10.9	0.99	41.9	3.81
S9H1D/M-C Wdg 83	9.8	11	1	41.8	3.8
S9H1D/M-D Wdg 83	9.8	11.4	1.03	43.3	3.93

S9H1D/M-E Wdg 83	11.2	11.1	0.9	44.8	3.63
S9H1D/M-F Wdg 83	11.2	11.4	0.92	45.9	3.71
S9H1D/M-G Wdg 83	11.2	12.3	1	45.1	3.65
S9H1D/M-H Wdg 83	11.2	12.4	1	46.7	3.78
S9H1D/M-B Wdg 91	9.8	11.2	1.02	38.5	3.5
S9H1D/M-C Wdg 91	9.8	11.2	1.02	39.2	3.56
S9H1D/M-D Wdg 91	9.8	11.7	1.06	39.5	3.6
S9H1D/M-E Wdg 91	11.2	11.4	0.93	40.7	3.29
S9H1D/M-F Wdg 91	11.2	11.6	0.94	40.7	3.29
S9H1D/M-G Wdg 91	11.2	12.5	1.01	40	3.24
S9H1D/M-H Wdg 91	11.2	12.4	1	40.2	3.26
LV 804	20	15	0.75	65	3.25
MV 804	20	18	0.9	60	3
HV 804	20	18	0.9	60	3

Notes

- El voltaje de excitación variará con los cambios en el factor de potencia y el voltaje de salida del alternador. Los valores de excitación anteriores, por lo tanto, deben considerarse como general.
- Generalmente, se considera que el voltaje de salida del alternador está en flujo medio, a 415 V. Si el voltaje de salida del alternador cambia, hacia arriba o hacia abajo, el voltaje de excitación también cambiará, hacia arriba o hacia abajo.
- Los ingenieros de diseño esperan que el voltaje de excitación en Serie Estrella y Estrella Paralela sea el mismo, pero por experiencia, el voltaje de excitación será ligeramente mayor para la conexión Estrella Paralela.