

SISTEMA Y MÉTODO PARA MANEJAR DISRUPCIONES DE ENERGÍA

TRANSITORIA EN MOTORES ESP

SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de patente provisional de los Estados Unidos con núm. de serie 62/947.382 presentada el 12 de diciembre de 2019 y titulada "System and Method for Managing Transient Power Disruptions on ESP Motor Drives", cuya descripción se incorpora completamente en la presente descripción como referencia.

CAMPO DE LA INVENCION

Esta invención se relaciona generalmente al campo de los sistemas de bombeo con motores eléctricos y más particularmente pero no a manera de limitación, a un sistema y método mejorados para manejar disrupciones transitorias de energía al sistema de bombeo.

ANTECEDENTES

Frecuentemente, los sistemas de bombeo se despliegan frecuentemente en pozos para recuperar fluidos de

petróleo de reservorios subterráneos. Típicamente, el sistema de bombeo sumergible incluye varios componentes, que incluyen uno o más motores eléctricos acoplados a una o más bombas de alto rendimiento. Cada uno de los componentes y subcomponentes en un sistema de bombeo sumergible se diseña para soportar el entorno del fondo de pozo inhóspito, que incluye amplios rangos de temperatura, presión y fluidos corrosivos de pozos.

Frecuentemente, el motor eléctrico es impulsado por un impulsor de velocidad variable ubicado en la superficie. En muchas aplicaciones, el impulsor de velocidad variable (o VSD, por sus siglas en inglés) está conectado a energía eléctrica desde una red eléctrica establecida. En lugares donde no es factible la conexión a una red de energía, los generadores pueden usarse para impulsar la bomba sumergible a través del impulsor de velocidad variable. El impulsor de velocidad variable produce una corriente alterna que se transfiere al motor eléctrico a través de un cable de alimentación. En muchas aplicaciones, el voltaje de la corriente proporcionada por el impulsor de velocidad variable debe incrementarse con un transformador elevador para alcanzar voltaje nominal para el motor eléctrico.

Las interrupciones en la energía eléctrica pueden afectar significativamente la producción de petróleo y gas

natural. Un corte del suministro eléctrico o apagón se define como la interrupción de la energía durante la cual un cliente pierde acceso a la red eléctrica. Los cortes del suministro eléctrico se miden en duración y pueden variar desde cortes transitorios que duran menos de un segundo hasta cortes a largo plazo que duran días. Las disrupciones en la energía eléctrica que duran más de unos pocos segundos resultan típicamente en una situación en la que el motor eléctrico de la bomba sumergible debe apagarse. Mientras se produce el corte del suministro eléctrico, el motor comienza a ralentizarse y rápidamente pierde la capacidad de impulsar la bomba. Cuando esto ocurre, el fluido en la tubería de producción por encima de la bomba volverá al pozo a través de la bomba, provocando de esta manera que la bomba gire en reversa. Si el motor se energiza mientras la bomba gira en reversa, el motor puede dañarse.

La mayoría de los impulsores de velocidad variable modernos utilizan un sistema de “desplazamiento de energía” que emplea un banco de condensador para proporcionar la tensión de línea (p. ej., 300-480 VDC) necesaria para que el sistema de bombeo sumergible funcione durante las disrupciones de energía transitoria. Un sistema de desplazamiento típico mantiene el sistema en funcionamiento durante aproximadamente 150 ms en una pérdida trifásica completa. Un corte más largo que

aproximadamente 150 ms generalmente apagará el impulsor de velocidad variable para evitar daños potenciales a la bomba sumergible eléctrica. El apagado del impulsor de velocidad variable y la bomba sumergible eléctrica afectará negativamente la recuperación de hidrocarburos del pozo. Adicionalmente, apagar la bomba sumergible eléctrica puede aumentar los riesgos de daños provocados por la descamación y la acumulación de sedimentos en la bomba sumergible eléctrica inactiva.

Aunque los bancos de condensadores existentes se usan ampliamente, son costosos y solo proporcionan protección contra interrupciones de energía muy breves. Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema de respaldo mejorado que proporcione una protección robusta, inteligente y rentable contra interrupciones en la potencia de entrada al impulsor de velocidad variable. Es a estas y otras deficiencias en la técnica anterior a las que se dirige la presente invención.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

En un aspecto, la presente invención incluye un sistema de bombeo que tiene un motor eléctrico, una fuente de energía y un impulsor de velocidad variable conectado a la fuente de energía. El sistema de bombeo comprende además

un respaldo de energía conectado al impulsor de velocidad variable.

En otro aspecto, la presente invención incluye un método para controlar una bomba sumergible eléctrica durante una interrupción de energía transitoria, en donde la bomba sumergible eléctrica incluye un motor eléctrico. El método comienza con la etapa de conectar un impulsor de velocidad variable a una fuente de energía, en donde el impulsor de velocidad variable tiene un bus de CC cargado por la fuente de energía. El método continúa con las etapas de cargar una o más baterías recargables dentro de un respaldo de energía, y conectar el respaldo de energía al impulsor de velocidad variable. El método continúa con las etapas de operar el motor con el impulsor de velocidad variable, detectar una disrupción en la energía AC desde la fuente de energía hasta el impulsor de velocidad variable, y aplicar energía desde el respaldo de energía al impulsor de velocidad variable para hacer funcionar el motor durante la interrupción transitoria de energía eléctrica.

En aun otro aspecto, la presente invención incluye un respaldo de energía para su uso en el soporte del funcionamiento de un motor eléctrico dentro de un sistema de bombeo durante una interrupción de energía transitoria. Los respaldos de energía incluyen una o más baterías recargables

y un sistema de carga conectado a una o más baterías recargables.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 ilustra una instalación de sistema de bombeo y los sistemas de control y energía eléctrica basados en la superficie.

La Figura 2 es una ilustración funcional del impulsor de velocidad variable soportada por la batería.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que muestra un proceso para proporcionar un control con soporte de batería de un motor de bomba sumergible durante un corte del suministro eléctrico transitorio.

DESCRIPCIÓN ESCRITA

De acuerdo con modalidades ilustrativas de la presente invención, la Figura 1 ilustra un sistema de bombeo 100 instalado dentro de un pozo 102, que se perfora para la producción de un fluido tal como agua o petróleo. Como se usa en la presente descripción, el término “petróleo” se refiere ampliamente a todos los hidrocarburos minerales, tales como petróleo crudo, gas y combinaciones de petróleo y gas. Aunque el sistema de bombeo 100 se diseña principalmente para bombear productos de petróleo, se entenderá que la presente invención también puede usarse para mover otros fluidos.

El sistema de bombeo 100 incluye una bomba (P) que es impulsada por un motor eléctrico (M). El motor recibe energía de las instalaciones de superficie 104 a través de un cable de alimentación 106. Cuando se energiza, el motor (M) impulsa un vástago (no se muestra) que hace que la bomba (P) funcione. Las instalaciones de superficie 104 proporcionan energía y control al motor. Las instalaciones de superficie 104 incluyen una fuente de energía 108, un impulsor de velocidad variable (VSD) 110, un respaldo de energía 112, un transformador 114 y una caja de empalmes 116. La fuente de energía 108 incluye un servicio público de electricidad o un

generador eléctrico independiente, o ambos. La electricidad es alimentada por la fuente de energía 108 al impulsor de velocidad variable 110.

Durante el funcionamiento normal, el impulsor de velocidad variable 110 produce un voltaje sinusoidal de baja tensión, modulado por ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés) o un voltaje de seis etapas a una frecuencia seleccionada. La forma de onda, amplitud y frecuencia, producidas por el impulsor de velocidad variable 110 pueden ajustarse manualmente o automáticamente para ajustar los parámetros operativos del sistema de bombeo 100. La salida del impulsor de velocidad variable 110 se proporciona al transformador 114, donde el voltaje se modifica al rango de voltaje nominal del motor dentro del sistema de bombeo 100. La salida del transformador 114 se conecta al cable de alimentación 106 en la caja de empalmes 116.

En algunas modalidades, el respaldo de energía 112 incluye un gabinete 118 (mostrado con paneles exteriores removidos) que contiene una pluralidad de baterías recargables 120 y un sistema de carga 122. Las baterías recargables 120 pueden ser el tipo de baterías recargables que se usan actualmente en vehículos eléctricos. Las baterías recargables adecuadas incluyen celdas recargables de iones de litio (ion Li) (LIR, por sus siglas en inglés). En algunas modalidades,

las baterías recargables 120 incluyen un número de baterías individuales de iones de litio colocadas en serie o en paralelo para proporcionar el voltaje y la corriente adecuados necesarios para impulsar el motor del sistema de bombeo 100 durante un corte de suministro eléctrico transitorio. Otras baterías recargables adecuadas 120 pueden incluir plomo-ácido, NiCad, hidruro de níquel-metal, polímero de ion Li, zinc-aire y baterías de sal fundida.

La cantidad de baterías recargables 120 necesarias dentro del respaldo de energía 112 se puede determinar al observar las demandas de la aplicación (p. ej., los requisitos de energía del sistema de bombeo 100 y el periodo de tiempo durante el cual se espera que las baterías recargables 120 proporcionen energía al impulsor de velocidad variable 110 durante una secuencia de “desplazamiento”) y las características de las baterías recargables 120 (p. ej., voltaje, amperaje, voltaje de corte de descarga, tamaño y configuración, costo y estabilidad). Como ejemplo, las baterías recargables 120 pueden incluir baterías tipo LIR 18650-2600 mAh para alimentar el impulsor de velocidad variable 110 para impulsar temporalmente un sistema de bombeo 100 con un motor que tiene una clasificación de 260 KVA. Suponiendo que una salida de voltaje de 480 VCC con una corriente de 542 amperios desde el impulsor de velocidad variable 110, las baterías

recargables 120 necesitarían alrededor de 208 celdas LIR18650 conectadas en paralelo. Si las celdas LIR18650 tienen un voltaje nominal de 3,7 voltios, las baterías recargables 120 deben incluir aproximadamente 100 celdas LIR18650 conectadas en serie para obtener una salida de 370 voltios para alimentar temporalmente el impulsor de velocidad variable 110.

Las baterías LIR típicas tienen un voltaje de corte de descarga de 3,0 V. Suponiendo que las celdas LIR se descargan a aproximadamente 300 V (p. ej., el voltaje umbral más bajo necesario para alimentar el impulsor de velocidad variable 110) en aproximadamente 1 segundo, las baterías recargables 120 necesitarían aproximadamente 800 celdas LIR para un sistema de bombeo clasificado 100 de 260 KVA. Se pueden realizar cálculos similares del tamaño de la batería LIR para la ESP más grande clasificada a 520 KVA. La cantidad de celdas LIR en las baterías recargables 120 puede reducirse a 1/4 si las celdas LIR pueden configurarse para proporcionar un consumo de corriente más alto sin sobrecalentamiento. Estos y otros cálculos pueden usarse para determinar el número, tipo y configuración de las baterías recargables 120. Aunque una pluralidad de baterías recargables más pequeñas 120 pueden presentar una solución más flexible para el respaldo de energía 112, se apreciará que una sola batería recargable grande 120

también se contempla dentro del alcance de las modalidades ilustrativas.

En otras modalidades, el respaldo de energía 112 incluye una pluralidad de supercondensadores. En aun otras modalidades, el respaldo de energía 112 incluye tanto baterías recargables 120 como supercondensadores. El sistema de carga 122 puede configurarse para cargar los supercondensadores o ambos, supercondensadores y baterías recargables 120.

Con referencia a la Figura 2, se muestra en esta un diagrama de las conexiones eléctricas funcionales entre el respaldo de energía 112 y el impulsor de velocidad variable 110. Las baterías recargables 120 se conectan al sistema de carga 122, que se configura para mantener un nivel óptimo de carga dentro de las baterías recargables 120 cuando el sistema de carga 122 y las baterías recargables 120 se conectan a la fuente de energía 108. En algunas modalidades, el sistema de carga 122 puede configurarse como un cargador de “goteo” de bajo amperaje. En la modalidad ilustrada en la Figura 2, las baterías recargables 120 se colocan en una configuración paralela entre la fuente de energía 108 y el impulsor de velocidad variable 110. Similarmente, el sistema de carga 122 también puede colocarse en una configuración paralela entre la fuente de energía 108 y el impulsor de velocidad variable 110. Se apreciará que el impulsor de velocidad variable 110 puede

incluir varios componentes internos y externos, que incluyen rectificadores, reactores, controladores de VSD y capacitores de filtros. El sistema de carga 122 y el impulsor de velocidad variable 110 pueden conectarse a la misma fuente de energía 108 o fuentes de alimentación 108 diferentes.

El controlador de respaldo de energía implementado por computadora 124 puede incorporarse dentro del impulsor de velocidad variable 110, el respaldo de energía 112 o en otro módulo para controlar la activación y el acoplamiento del respaldo de energía 112 con el impulsor de velocidad variable 110. En algunas modalidades, el controlador de respaldo de energía 124 incluye una o más conexiones de señal entre las baterías 120, el sistema de carga 122, la fuente de energía principal 108, el motor (M) y otros elementos del sistema de bombeo 100, y el impulsor de velocidad variable 110. En función de las entradas de fuentes conectadas al controlador de respaldo de energía 124, el control de respaldo de energía 124 puede ajustar la operación del impulsor de velocidad variable 110, como se discute a continuación.

El uso de paquetes de baterías de vehículos eléctricos (EV, por sus siglas en inglés) disponibles comercialmente para el respaldo de energía 112 presenta varias ventajas. Muchos paquetes de baterías de EV tienen un sistema robusto de gestión de batería (BMS, por sus siglas en inglés) y

un circuito de protección inherente o dispositivo de interrupción de circuito (CID, por sus siglas en inglés) para mejorar la seguridad del respaldo de energía 112. Además, muchos paquetes de baterías de EV tienen circuitos de protección externos que se conocen comúnmente como módulos de circuitos de protección (PCM, por sus siglas en inglés) que se usan para evitar el escape térmico causado por sobrecarga, sobredescarga, sobretensión, sobrecorriente y condiciones de cortocircuito.

Con referencia a la Figura 3, se muestra en esta un diagrama de flujo del proceso para el proceso de control con soporte a batería 200 del sistema de bombeo 100 durante un corte del suministro eléctrico transitorio, que puede ser ejecutado por el controlador de respaldo de energía 124. El proceso 200 comienza en el bloque 202 cuando el controlador de respaldo de energía 124 confirma que la corriente alterna (AC) o la energía “principal” está disponible en el impulsor de velocidad variable 110 desde la fuente de energía 108. El programa de control de respaldo de energía 124 monitorea el voltaje de corriente continua (CC) en el bus de salida del impulsor de velocidad variable 110.

En el bloque 204, el programa de control de respaldo de energía 124 determina si es aceptable el voltaje en las baterías recargables 120. Si las baterías recargables 120 no

están suficientemente cargadas, es decir, el voltaje en las baterías recargables 120 está por debajo del voltaje en el bus de CC dentro del impulsor de velocidad variable 110, el proceso 200 se mueve al bloque 206 y las baterías recargables se cargan usando el sistema de carga 122.

Si las baterías recargables 120 están suficientemente cargadas en el bloque 204, el proceso 200 se mueve al bloque 208 y las baterías recargables 120 se conectan eléctricamente al impulsor de velocidad variable 110. Se apreciará que el sistema de carga 122 puede usarse para mantener la carga en las baterías recargables 120, mientras que las baterías recargables 120 se conectan al impulsor de velocidad variable 110. Se apreciará además que si las baterías recargables 120 no están suficientemente cargadas o no están conectadas al impulsor de velocidad variable 110, el proceso 200 puede continuar pero sin el soporte del respaldo de energía.

El proceso 200 continúa en el bloque 210, donde el controlador de respaldo de energía 124 determina si la energía principal AC (p. ej., la red) está disponible o si se ha interrumpido. Si la energía principal está disponible en el impulsor de velocidad variable 110, el proceso se mueve al bloque 212 y el impulsor de velocidad variable 110 opera el motor (M) de acuerdo con un perfil de control normal. El

proceso 200 se repite en un bucle a través de los bloques 212 y 210 hasta que hay una disrupción de la energía principal AC al impulsor de velocidad variable 110.

Si se produce una disrupción de la energía AC al impulsor de velocidad variable 110, el proceso 200 se mueve del bloque 210 al bloque 214, donde el controlador de respaldo de energía 124 determina si el voltaje en el bus de CC del impulsor de velocidad variable 110 es aceptable o si el voltaje del bus de CC en el impulsor de velocidad variable 110 ha disminuido por debajo de un límite inferior umbral (p. ej., 250 voltios). Como se usa en la presente descripción, una referencia a una disrupción o interrupción de la energía “principal” AC al impulsor de velocidad variable 110 puede referirse a una disrupción completa en la cual no hay energía disponible para el impulsor de velocidad variable 110 desde la fuente de energía 108, o una situación en la cual el voltaje disponible en el impulsor de velocidad variable 110 en una o más fases cae por debajo del límite inferior umbral. Si el voltaje del bus de CC dentro del impulsor de velocidad variable 110 permanece por encima del límite inferior umbral, el proceso se mueve al bloque 216 donde el impulsor de velocidad variable 110 opera el motor (M) en un perfil de energía reducida (p. ej., una velocidad proporcional de V/f) para soportar una secuencia de “desplazamiento” en la que el

motor (M) se mantiene activo durante un período durante la disrupción o interrupción de la energía AC al impulsor de velocidad variable 110.

En algunas modalidades, cuando una fluctuación en el voltaje de la energía principal 108 es detectada por el impulsor de velocidad variable 110 o el controlador de respaldo de energía 124, el impulsor de velocidad variable 110 está configurado para desacelerar rápidamente el inversor dentro del impulsor de velocidad variable 110. La desaceleración rápida del inversor dentro del impulsor de velocidad variable 110 dará como resultado una reducción de la frecuencia de salida, voltaje y, consecuentemente, la demanda de energía del respaldo de energía 112. Para un respaldo de energía 112 dado, reducir la salida desde el impulsor de velocidad variable 110 extiende los límites de la secuencia de desplazamiento soportada por la batería. Por el contrario, reducir la velocidad del motor (M) también permite el uso de respaldos de energía 112 más pequeños y menos costosos para un tiempo de desplazamiento dado.

Además de reducir rápidamente la velocidad de rotación del motor (M), el impulsor de velocidad variable 110 puede configurarse por separado para reducir el valor del ángulo de disparo alfa hasta que la energía principal se restablezca en el impulsor de velocidad variable 110. El ángulo de disparo alfa representa la correlación en el

tiempo entre la forma de onda de voltaje entrante bloqueada por fase y la energía disponible de la fuente de energía 108 al bus de CC. La reducción del ángulo de disparo alfa limita proactivamente la corriente de entrada potencial para proteger el impulsor de velocidad variable 110 y los fusibles de entrada cuando se restablece la energía.

El proceso 200 se repite del bloque 216 al bloque 214 y la secuencia de desplazamiento continúa hasta que el voltaje del bus de CC desciende por debajo del límite umbral inferior a medida que se agota la carga en las baterías recargables 120. Dependiendo de varios factores que incluyen la capacidad de las baterías recargables 120 y la velocidad de consumo de energía del impulsor de velocidad variable 110 para operar el sistema de bombeo 100 en el perfil de energía reducida, las baterías recargables 120 pueden soportar el voltaje del bus de CC requerido durante un período breve o prolongado.

Una vez que el voltaje del bus de CC cae por debajo del límite umbral inferior en el bloque de decisión 214, el proceso 200 se mueve al bloque 218 y el controlador de respaldo de energía 124 desconecta la energía del impulsor de velocidad variable 110 al motor (M) para evitar daños al motor (M) o al impulsor de velocidad variable 110. Después, el proceso 200 se mueve al bloque de decisión 220,

donde el controlador de respaldo de energía 124 determina si la energía AC principal se ha restaurado al impulsor de velocidad variable 110. Si continúa la disrupción de la energía principal, el proceso vuelve al bloque 218 y la energía permanece desconectada entre el impulsor de velocidad variable 110 y el motor (M).

Si la energía AC principal se ha restaurado al impulsor de velocidad variable 110, el proceso se mueve al bloque de decisión 222, donde se evalúa el estado del motor (M). Para interrupciones muy breves (p. ej., menos de dos segundos), la inercia hará que el motor (M) continúe girando en la dirección de accionamiento y el sistema de bombeo 100 continúe produciendo fluidos a la superficie. En estas condiciones, el controlador de respaldo de energía 124 determina que el motor (M) está en una condición segura y el proceso se mueve al bloque 202 para un reinicio suave en el cual el impulsor de velocidad variable 110 aumenta la velocidad del motor (M) de vuelta a un perfil de control normal y el proceso 200 vuelve al bloque 210. En este caso, el respaldo de energía 112 habrá proporcionado un soporte adecuado para permitir que el motor (M) se “desplace” a través de la disrupción transitoria.

Por lo tanto, en modalidades ilustrativas, la energía respaldada por la batería es suministrada por el

impulsor de velocidad variable 110 al motor antes de que el motor disminuya la velocidad a una velocidad por debajo de un umbral crítico. Una vez que la disrupción de energía transitoria se resuelve y la energía de la fuente de energía 108 ha sido regresada al impulsor de velocidad variable 110, el impulsor de velocidad variable 110 vuelve a un modo normal de operación. En algunas modalidades, el impulsor de velocidad variable 110 controla el sistema de bombeo 100 usando uno o más perfiles de control intermedios antes de regresar a un modo operativo normal.

Sin embargo, si el controlador de respaldo de energía 124 determina que el motor (M) está en una condición insegura, es decir, el motor (M) ha dejado de girar en la dirección de accionamiento o está girando en una dirección inversa causada por los fluidos que caen en reversa a través de la bomba (P), el proceso 200 regresa al bloque de arranque inicial 202 para un reinicio fuerte. Por lo tanto, en el caso de que la disrupción de energía transitoria dure más que el período máximo durante el cual el respaldo de energía 112 es capaz de proporcionar energía al impulsor de velocidad variable 110 para impulsar el sistema de bombeo 100, se requerirá que el sistema de bombeo 100 pase por un procedimiento de arranque inicial completo una vez que se haya restablecido la energía de la fuente de energía 108.

Como se indicó anteriormente, el respaldo de energía 112 es opcional en el proceso 200. Si el respaldo de energía 112 está presente, el motor (M) puede ralentizarse y continuar ejecutándose durante un tiempo prolongado durante un corte de suministro eléctrico. Si el respaldo de energía 112 no está presente, entonces el bus de CC dentro del impulsor de velocidad variable 110 se colapsará mucho más rápido y el proceso 200 se ejecutará mucho más rápido. En todos los casos, si el bus de CC alcanza un punto bajo crítico predefinido, entonces el impulsor de velocidad variable 110 desconecta el motor. Si el motor entra en retroceso o no puede arrancar suavemente por cualquier motivo, el impulsor de velocidad variable 110 regresa al estado de arranque inicial en el bloque 202.

Por lo tanto, las estrategias de control novedosas están basadas en la disponibilidad de un voltaje umbral en el bus de CC del impulsor de velocidad variable 110. El respaldo de energía 112 y los esquemas de control permiten un reinicio ligero (o suave) explotando la energía cinética de fluido en movimiento ascendente o la inercia de fluido (mientras se mantiene la dirección de rotación de la bomba) para un corte del suministro eléctrico extremadamente corto, y también activando un modo de reinicio completo para un corte prolongado si no se restablece la energía principal o de la red de la

fuerza de energía 108 antes de que el respaldo de energía 112 se descargue por debajo del valor umbral. Las soluciones de desplazamiento de energía a corto y largo plazo mejoran la fiabilidad del motor y prolonga la vida útil.

Se debe comprender que aunque en la descripción anterior se han expuesto numerosas características y ventajas de diversas modalidades de la presente invención, junto con detalles de la estructura y las funciones de las diversas modalidades de la invención, esta descripción es solo ilustrativa, y pueden realizarse cambios en detalle, especialmente en materia de estructura y configuración de las partes dentro de los principios de la presente invención en la medida en que lo indique el amplio significado general en los términos en que se expresan las reivindicaciones adjuntas. Los expertos en la técnica apreciarán que las enseñanzas de la presente invención pueden aplicarse a otros sistemas sin apartarse del alcance y el espíritu de la presente invención.

