

MONITORIZACIÓN DE LA FUERZA ELECTROMOTRIZ (EMF) PARA UNA BOMBA ELÉCTRICA SUMERGIBLE (ESP) CON MOTOR DE IMAN PERMANENTE (PMM)

CAMPO TÉCNICO

[0001] La presente invención se refiere en general a sistemas y servicios de petróleo y gas, y más específicamente a la monitorización de la fuerza electromotriz (EMF) para bombas eléctricas sumergibles (ESP) con motores de imanes permanentes (PMM).

ANTECEDENTES

[0002] La industria de servicios de petróleo y gas utiliza diversos tipos de dispositivos o herramientas de fondo de pozo en los sistemas de pozo. Por ejemplo, los sistemas de pozo pueden utilizar bombas eléctricas sumergibles (ESP) con motores de imanes permanentes (PMM). La tecnología PMM proporciona características de par constante, alta eficiencia y compacidad en comparación con los motores de inducción tradicionales. En los PMM, el campo magnético del rotor está presente incluso cuando no se suministra corriente eléctrica a sus bobinados. Esto significa que los bobinados del motor generan una fuerza electromotriz (EMF) cada vez que gira el rotor del motor, independientemente de si está alimentado por una fuente externa de energía eléctrica. La EMF puede ser letal para el personal del pozo y, si este no conoce las condiciones de EMF, las condiciones de EMF no se reconocerán ni mitigarán. Un ESP puede accionarse y el motor girar sin alimentación durante su despliegue, recuperación, cuando se inyecta el pozo y poco después de la detención, cuando el fluido de la columna vuelve a la formación. Por lo tanto, es necesario supervisar y mitigar activamente los posibles problemas de seguridad relacionados con la EMF para el personal del pozo. El método de seguridad típico para el despliegue o la recuperación de un ESP basado en PMM consiste en eliminar el riesgo de rotación involuntaria, que puede dar lugar a condiciones de EMF en los cables y equipos conectados eléctricamente a la ESP.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[0003] La **Figura 1** muestra un diagrama esquemático de un ejemplo de sistema de pozo que incluye un dispositivo de monitorización de la fuerza electromotriz (EMF) para una bomba eléctrica sumergible (ESP) que utiliza un motor de imán permanente (PMM), según algunas implementaciones.

[0004] La **Figura 2** muestra un diagrama esquemático de un ejemplo de dispositivo de monitorización de EMF para monitorizar las condiciones de EMF en un sistema de pozo que utiliza una ESP basada en PMM, según algunas implementaciones.

[0005] La **Figura 3** es un diagrama de flujo de operaciones de ejemplo para monitorizar la EMF para una ESP que tiene un PMM, según algunas implementaciones.

[0006] La **Figura 4** muestra un ejemplo de unidad de control y panel indicador del dispositivo de monitorización de EMF que se puede implementar en un sistema de pozos para monitorizar las condiciones de EMF de una ESP basada en PMM, según algunas implementaciones.

DESCRIPCIÓN

[0007] La descripción que sigue incluye sistemas, métodos, técnicas y flujos de programa de ejemplo que describen aspectos de la divulgación. Sin embargo, se entiende que la presente divulgación puede ponerse en práctica sin estos detalles específicos. Por ejemplo, esta divulgación se refiere a ciertos sistemas de pozo, dispositivos o herramientas en ejemplos ilustrativos. En cambio, los aspectos de esta divulgación pueden aplicarse a otros tipos de sistemas de pozo, dispositivos y herramientas. En otros casos,

no se mostraron en detalle casos de instrucciones, protocolos, estructuras y técnicas conocidos para evitar confusiones.

[0008] La **Figura 1** muestra un diagrama esquemático de un ejemplo de sistema de pozo 100 que incluye un dispositivo de monitorización de la fuerza electromotriz (EMF) 150 para una bomba eléctrica sumergible (ESP) 110 que utiliza un motor de imán permanente (PMM), según algunas implementaciones. En algunas implementaciones, el sistema de pozo 100 puede incluir el pozo 101, la tubería de revestimiento 102, la tubería de pozo 105 (como la tubería de una sarta de trabajo o la tubería de producción), la ESP 110, el cable de la ESP 115, el carrete de cable 116 y el dispositivo de monitorización de EMF 150. Cabe señalar que el sistema de pozo 100 puede incluir equipos de superficie, dispositivos de pozo y herramientas de pozo adicionales que no se muestran por motivos de simplicidad. En algunas implementaciones, la ESP 110 puede acoplarse a la tubería de pozo 105, y el cable de la ESP 115 puede acoplarse a la ESP 110. El cable de la ESP 115 también puede denominarse cable o cable de alimentación. El cable de la ESP 115 y la ESP 110 pueden bajarse al pozo 101, y el cable de la ESP 115 puede suministrar energía a la ESP 110 (y, opcionalmente, a otras herramientas o dispositivos de fondo de pozo que forman parte de la tubería de pozo 105). En algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede estar acoplado o conectado al carrete de cable 116. Sin embargo, cabe señalar que, en otras implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede conectarse o acoplarse a cualquier otro equipo de superficie en la superficie 103, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede ser un aparato independiente, o el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede implementarse dentro de otros equipos de superficie (por ejemplo, puede integrarse como parte de otros equipos de superficie o sistemas informáticos).

[0009] En algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 está configurado para monitorizar continuamente la tensión y la corriente en el cable de la ESP 115 acoplado a la ESP 110, y alertar o notificar al personal (por ejemplo, ubicado en el emplazamiento del pozo o en una ubicación remota) de una condición de EMF. Por ejemplo, durante el despliegue, la instalación, el funcionamiento, después de la detención y durante la retirada de la ESP 110, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede medir y monitorizar continuamente la tensión y la corriente en el cable de la ESP 115. El dispositivo de monitorización de EMF 150 puede monitorizar continuamente la presencia de EMF a partir de las mediciones de tensión y/o corriente, como se describe con más detalle a continuación en la Figura 2. Las mediciones de tensión y/o corriente pueden detectar un evento de EMF causado por diversas condiciones del pozo, como la rotación involuntaria del PMM de la ESP 110, un cortocircuito en el cable de la ESP 115, el cable de la ESP 115 sin conexión a tierra adecuada y/o que el cable de la ESP 115 esté en riesgo, entre otros. En algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 también puede monitorizar una resistencia eléctrica para realizar una comprobación del estado eléctrico y monitorizar la integridad del cable de la ESP 115. En algunas implementaciones, cuando se detecta una condición de EMF, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede generar una notificación para informar o alertar de la condición de EMF al personal, como se describe más adelante. En algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 también puede notificar al personal cuando es seguro reanudar las operaciones normales del pozo.

[0010] En algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede notificar al personal del pozo mediante una alerta o notificación sonora y visual. Por

ejemplo, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede notificar al personal del pozo mediante una luz estroboscópica 152 (u otro tipo de alerta visual y/o sonora) y auriculares 155 (alerta sonora). Cabe señalar que, en otras implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede notificar al personal mediante otros mecanismos, como una sirena, una alarma, vibraciones (u otra notificación táctil) en los auriculares y cualquier otra alerta o notificación que pueda estar ubicada en el dispositivo de monitorización de EMF 150 o en cualquier otro equipo de superficie en el emplazamiento del pozo. En algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede generar una señal cableada o inalámbrica que puede notificar o alertar al personal del pozo y/o al personal remoto sobre la condición de EMF. Por ejemplo, como se ha descrito anteriormente, se puede generar una señal cableada y transmitirla a la luz estroboscópica 152, y se puede generar una señal inalámbrica (por ejemplo, Wi-Fi, Bluetooth o similar) y transmitirla a los auriculares 155 para alertar al personal del pozo. Como otro ejemplo, además de (o en lugar de) las alertas o notificaciones audibles y/o visuales para el personal del pozo descritas anteriormente, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede generar una señal cableada (por ejemplo, a través de Ethernet) y/o una señal inalámbrica (por ejemplo, a través de un sistema celular o un sistema de posicionamiento global (GPS)) para alertar o notificar a un centro de monitorización remoto 158. Por ejemplo, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede proporcionar una señal inalámbrica al satélite 157 para alertar al centro de monitorización remoto 158. En algunas implementaciones, además de notificar la condición de EMF, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede mitigar automáticamente o tomar medidas correctivas para detener las operaciones del pozo que puedan estar contribuyendo a la condición de EMF. Por ejemplo, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede interactuar con el carrete de cable 116 u otro equipo de superficie para bloquear el carrete de cable 116 y detener las operaciones del pozo, como las operaciones de despliegue e instalación (por ejemplo, bajada en el pozo (RIH)) o las operaciones de retirada (por ejemplo, extracción del pozo (POOH)) de la ESP 110. En algunas implementaciones, si el sistema de pozo 100 está encendido y/o se están realizando otras operaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede apagar automáticamente la alimentación y detener cualquier operación del pozo en curso.

[0011] En algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede monitorizar la EMF basándose en las mediciones de tensión y/o corriente, comparando las mediciones con uno o más umbrales. Por ejemplo, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede determinar si una o más tensiones medidas superan un umbral de tensión, y si una o más corrientes medidas superan un umbral de corriente, como se describe con más detalle a continuación en la Figura 2. Se puede detectar una condición de EMF en los sistemas de pozos si las tensiones y/o la corriente superan uno o más de los umbrales.

[0012] Aunque en la Figura 1 se muestra un ejemplo de sistemas de pozo 100, cabe señalar que el sistema de pozo que tiene el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede ser cualquier tipo de sistema de pozo. Por ejemplo, los sistemas de pozo pueden ser de cualquier tipo de sistema de pozo de perforación, sistema de pozo de terminación y sistema de pozo de producción.

[0013] La **Figura 2** muestra un diagrama esquemático de un ejemplo de dispositivo de monitorización de EMF 150 para monitorizar las condiciones de EMF en un sistema de pozo que utiliza una ESP basada en PMM, según algunas implementaciones. El

dispositivo de monitorización de EMF 150 puede conectarse a una ESP basada en PMM (como la ESP 110 mostrada en la Figura 1) a través del cable de la ESP 115. Como se muestra en la Figura 2, en algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede incluir un conector de entrada 261, un disyuntor de cortocircuito 262, una barra colectora de cortocircuito 264, una unidad de acondicionamiento de señales 266, una unidad controladora 268, una interfaz hombre-máquina (HMI) 270, un panel indicador 272 y un módulo de alimentación 280. En algunas implementaciones, el módulo de alimentación 280 puede incluir una fuente de alimentación 282, un paquete de baterías 284 y un cargador de baterías 286. En algunas implementaciones, el cable de la ESP 115 puede conectarse al dispositivo de monitorización de EMF 150 a través del conector 261, y el módulo de alimentación 280 puede conectarse a una fuente de alimentación principal externa 288. En algunas implementaciones, el cable de la ESP 115 puede incluir una cinta de conexión a tierra blindada 216 que está conectada a tierra.

[0014] En algunas implementaciones, el cable de la ESP 115 puede terminar y conectarse al conector de entrada 261. En un ejemplo, el conector de entrada 261 puede ser un conector de acoplamiento/desacoplamiento rápido con resorte. En un ejemplo, la cinta de conexión a tierra del blindaje del cable 216 del cable de la ESP 115 también puede conectarse al conector de entrada 261 para conectar a tierra el cable de la ESP 115. El conector de entrada 261 puede conectarse al disyuntor de cortocircuito 262. El disyuntor de cortocircuito 262 puede utilizarse para medir la tensión a través de los conductores del cable de la ESP 115. En un ejemplo, el cable de la ESP 115 puede ser un cable trifásico y el disyuntor de cortocircuito 262 puede utilizarse para abrir los conductores del cable trifásico y la cinta de conexión a tierra del blindaje del cable 216. En algunas implementaciones, la tensión del cable trifásico (por ejemplo, el cable de la ESP 115) y la cinta de conexión a tierra del blindaje del cable 216 pueden ser monitoreados por el dispositivo de monitorización de EMF 150 a través del conector de entrada 261 cuando los conductores están abiertos. En algunas implementaciones, para medir la corriente en el cable de la ESP 115, el disyuntor de cortocircuito 262 se cierra para conectar los conductores del cable trifásico (por ejemplo, el cable de la ESP 115) y la cinta de conexión a tierra del blindaje del cable 216 a la barra colectora de cortocircuito 264 y a la tierra local 265. Las tensiones y corrientes pueden ser detectadas o recibidas por la unidad de acondicionamiento de señales 266. En algunas implementaciones, la unidad de acondicionamiento de señales 266 puede detectar o recibir la tensión a través de sensores de tensión o un transformador de tensión cuando el disyuntor de cortocircuito 262 abre los conductores, y la unidad de acondicionamiento de señales 266 puede detectar o recibir las corrientes a través de sensores de corriente o un transformador de corriente cuando el disyuntor de cortocircuito 262 cierra los conductores para conectarlos a la barra colectora de cortocircuito 264 y a la tierra local 265.

[0015] En algunas implementaciones, la unidad de acondicionamiento de señales 266 puede obtener las señales de tensión y/o corriente y puede aislar y acondicionar las señales para prepararlas para su procesamiento por la unidad controladora 268. Por ejemplo, la unidad de acondicionamiento de señales 266 puede convertir las señales analógicas sin procesar a formato digital. Además, la unidad de acondicionamiento de señales 266 puede recibir señales de alta tensión y alta corriente y, por lo tanto, puede escalar y acondicionar las señales a niveles más bajos para que puedan ser procesadas por la unidad controladora 268. Después de aislar y acondicionar las señales de tensión y corriente, la unidad de acondicionamiento de señales 266 puede proporcionar las señales

a la unidad controladora 268 para su procesamiento. El disyuntor de cortocircuito 262, la barra colectora de cortocircuito 264 y la unidad de acondicionamiento de señales 266 pueden denominarse dispositivos sensores o dispositivos sensores de tensión y corriente.

[0016] En algunas implementaciones, la unidad controladora 268 puede recibir las señales acondicionadas de la unidad de acondicionamiento de señales 266 y procesar adicionalmente las señales de tensión y corriente para obtener las mediciones de tensión y corriente. Por ejemplo, la unidad controladora 268 puede procesar las señales utilizando uno o más procesadores y memoria, como se muestra con más detalle en la Figura 4. En algunas implementaciones, la unidad controladora 268 puede determinar si las mediciones de tensión y corriente superan uno o más umbrales. En algunas implementaciones, la unidad controladora 268 puede determinar si la una o más mediciones de tensión superan un umbral de tensión. Por ejemplo, se puede supervisar y medir una primera tensión entre un primer terminal/conductor (denominado A) del cable de la ESP 115 y un segundo terminal conductor (denominado B) del cable de la ESP 115, se puede supervisar y medir una segunda tensión entre A y un tercer terminal/conductor (denominado C) del cable de la ESP 115, se puede supervisar y medir una tercera tensión entre B y C, se puede supervisar y medir una cuarta tensión entre A y un terminal de tierra (denominado G) del cable de la ESP 115, se puede supervisar y medir una quinta tensión entre B y G, y se puede supervisar y medir una sexta tensión entre C y G. En algunas implementaciones, el umbral de tensión puede ser de 25 V a 1 Hz. Sin embargo, cabe señalar que el umbral de tensión puede variar en diferentes implementaciones. En un ejemplo, el umbral de tensión puede establecerse en cualquier valor entre 20 V y 25 V. En otro ejemplo, el umbral de tensión puede establecerse en cualquier valor entre 20 V y 30 V. Además, la unidad controladora 268 puede determinar si una o más mediciones de corriente superan un umbral de corriente. Por ejemplo, se puede supervisar y medir una primera corriente en A, se puede supervisar y medir una segunda corriente en B, se puede supervisar y medir una tercera corriente en C y se puede supervisar y medir una cuarta corriente en G. En algunas implementaciones, el umbral de corriente puede ser de 100 mA a 1 Hz. Sin embargo, cabe señalar que el umbral de corriente puede variar en diferentes implementaciones. En un ejemplo, el umbral de corriente puede establecerse en cualquier valor entre 50 mA y 100 mA. En otro ejemplo, el umbral de tensión puede establecerse en cualquier valor entre 30 mA y 120 mA. En algunas implementaciones, los componentes del dispositivo de monitorización de EMF 150 pueden monitorizar y comparar continuamente las tensiones y las corrientes con los umbrales correspondientes durante el despliegue y la instalación (por ejemplo, bajada en el pozo (RIH)), el funcionamiento, después de la detención y durante la retirada (por ejemplo, extracción del pozo (POOH)) de la ESP 110.

[0017] En algunas implementaciones, la unidad controladora 268 puede generar una notificación para indicar una condición de EMF si la una o más mediciones de tensión excede el umbral de tensión y/o si una o más mediciones de corriente excede el umbral de corriente. En las implementaciones, la unidad controladora 268 puede generar una señal de notificación que se transmite al panel indicador 272. La señal de notificación puede hacer que el panel indicador 272 active una o más notificaciones o alertas visuales y sonoras. Por ejemplo, después de recibir la señal de notificación de una condición de EMF existente de la unidad controladora 268, el panel indicador 272 puede enviar una señal cableada o inalámbrica (por ejemplo, Ethernet, cable, Wi-Fi o Bluetooth, entre otros) a una o más luces estroboscópicas, luces LED, sirenas, alarmas u otros dispositivos de alerta visuales y/o sonoros en el emplazamiento del pozo para hacer que el dispositivo de alerta

avise o notifique de forma visual y/o sonora al personal del emplazamiento del pozo sobre la condición de EMF detectada. El panel indicador 272 también puede enviar una señal inalámbrica a los auriculares que lleve el personal del emplazamiento del pozo para proporcionar una alerta sonora y/o hacer que los auriculares vibren (o den otro tipo de alerta o indicación). El panel indicador 272 también puede enviar una señal inalámbrica a otros dispositivos portátiles, como un teléfono móvil, un dispositivo inteligente, un FOB u otro dispositivo inalámbrico. En algunas implementaciones, el panel indicador 272 puede proporcionar una señal cableada (por ejemplo, a través de Ethernet) y/o una señal inalámbrica (por ejemplo, a través de un sistema celular, un sistema de posicionamiento global (GPS) o cualquier otra red) para alertar o notificar a un centro de monitorización remoto sobre la condición de EMF. Las señales inalámbricas y/o cableadas pueden proporcionarse o transmitirse en tiempo real al centro de monitorización remoto. En algunas implementaciones, las frecuencias de muestreo del flujo de datos y los registros asociados con las señales y otros datos transmitidos o transmitidos al centro de monitorización remoto pueden ser configurables por el usuario. En algunas implementaciones, además de generar notificaciones o alertas de la condición de EMF, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede apagar temporalmente las operaciones del sistema del pozo y/o realizar otras acciones correctivas.

[0018] En algunas implementaciones, la unidad controladora 268 también puede supervisar el estado del dispositivo de monitorización de EMF 150. La unidad controladora 268 puede enviar señales de notificación al panel indicador 272 para activar una alerta o notificación visual y/o sonora (de forma similar a lo descrito anteriormente) para indicar cualquier degradación en el estado del dispositivo de monitorización de EMF 150. En algunas implementaciones, la unidad controladora 268 puede supervisar el estado de la batería 284 y el estado general del módulo de alimentación 280. En algunas implementaciones, la fuente de alimentación 282 del módulo de alimentación 280 puede ser una fuente de alimentación interna (ISP) y la alimentación puede ser suministrada por el paquete de baterías 284 (que, en un ejemplo, podría ser un paquete de baterías doble o cualquier otro tipo de paquete de baterías). El paquete de baterías 284 puede cargarse mediante el cargador de baterías 286, que puede conectarse a cualquier tipo de fuente de alimentación externa 288, como una red monofásica (110/220 V y 60 Hz) o una batería de camión de 12 V, entre otras. En algunas implementaciones, además de (o en lugar de) la energía de la batería, el módulo de alimentación 280 puede obtener energía directamente de la fuente de alimentación principal externa 288 (por ejemplo, cuando las baterías se agotan). En algunas implementaciones, la unidad controladora 268 puede detectar y diagnosticar otros fallos internos en el dispositivo de monitorización de EMF 150, como cualquier fallo en la unidad de acondicionamiento de señales 266 o en el panel indicador 272. En algunas implementaciones, además de (o en lugar de) proporcionar notificaciones de condiciones de batería baja o fallo de la batería u otras condiciones del estado del sistema o del dispositivo, se pueden proporcionar notificaciones de otros problemas, como la pérdida de comunicación con los auriculares o la pérdida de comunicación con la ESP, al panel indicador 272 para activar alertas y notificaciones. Así, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede detectar varios tipos de condiciones de fallo en el sistema de pozo (como el sistema de pozo 100), como una condición de EMF (incluidas condiciones de tensión y/o corriente) y condiciones del estado (incluidas condiciones del estado del dispositivo y/o del sistema).

[0019] En algunas implementaciones, la HMI 270 puede ser la interfaz que utiliza el personal del pozo para encender, configurar y apagar el dispositivo de monitorización de EMF 150. Por ejemplo, la HMI 270 puede incluir botones, interruptores y otros mecanismos de entrada. Como otro ejemplo, la HMI 270 puede incluir una pantalla, LED y/u otros mecanismos de entrada. La HMI 270 puede permitir la configuración de la detección de corriente o tensión mediante el control manual o programado del cortocircuito o la apertura del disyuntor de cortocircuito 262. Por ejemplo, la HMI 270 puede permitir al personal cambiar manualmente los ajustes, o puede permitir al personal programar la unidad controladora 268 para cambiar automática y continuamente los ajustes durante las operaciones de monitorización. En algunas implementaciones, la HMI 270 puede utilizarse para otras funciones, como obtener lecturas directas de las tensiones o corrientes en el cable de la ESP 115 y/o permitir que se midan las impedancias o resistencias del motor en configuraciones de circuito abierto.

[0020] En algunas implementaciones, además de supervisar continuamente la tensión y la corriente en el cable de la ESP 115 para detectar condiciones de EMF, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede supervisar de forma continua, periódica o intermitente la resistencia en el cable de la ESP 115. Por ejemplo, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede monitorizar una o más resistencias fase a fase y una o más resistencias fase a tierra en el cable de la ESP 115 para determinar si las condiciones eléctricas han cambiado en el fondo del pozo, como daños en el aislamiento eléctrico del cable de la ESP 115 u otros daños en la integridad del cable de la ESP 115. En algunas implementaciones, de forma similar a la monitorización de la corriente y la tensión, la unidad controladora 268 puede funcionar conjuntamente con la unidad de acondicionamiento de señales 266 para monitorizar las resistencias. En algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede incluir otros dispositivos o circuitos que pueden funcionar conjuntamente con la unidad controladora 268 para detectar las resistencias y procesar las mediciones de resistencia. Por ejemplo, los otros dispositivos o circuitos pueden aislar el cable de la ESP 115 de los demás componentes del dispositivo de monitorización de EMF 150 para realizar las mediciones de resistencia. En algunas implementaciones, la unidad controladora 268 puede comparar las resistencias medidas con uno o más umbrales de resistencia o determinar si las resistencias se encuentran dentro de rangos aceptables para determinar si las condiciones eléctricas han cambiado en el fondo del pozo, como por ejemplo detectar daños en el cable de la ESP 115. En algunas implementaciones, la unidad controladora 268 también puede hacer que el panel indicador 272 active alertas o notificaciones si la una o más resistencias no cumplen los umbrales o se encuentran fuera de los rangos de resistencia aceptables. Sin embargo, cabe señalar que, en otras implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede utilizarse para monitorizar otros aspectos del estado de la ESP y alertar al personal de cualquier condición degradada. Por ejemplo, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede realizar comprobaciones del estado del medidor de la ESP, como la temperatura del anillo, la temperatura del motor, la presión del anillo y las vibraciones en los ejes X e Y.

[0021] En algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede registrar todos los datos de monitorización y detección y las mediciones recopiladas de las operaciones de monitorización y detección de EMF. Por ejemplo, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede incluir una memoria interna para el registro de datos, o el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede tener ranuras u otros conectores de

entrada para conectar una tarjeta de memoria, una memoria USB u otros dispositivos de memoria externos para el registro de datos. En algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede registrar las mediciones/valores de tensión y corriente y las condiciones de EMF detectadas. El dispositivo de monitorización de EMF 150 también puede registrar la hora, la fecha y otros datos complementarios asociados con las mediciones de tensión y corriente y las condiciones de EMF detectadas. En algunas implementaciones, los datos de monitorización y detección, como las mediciones de tensión y corriente y las condiciones de EMF detectadas, pueden proporcionarse a un centro de monitorización remoto para su registro. En algunas implementaciones, el dispositivo de monitorización de EMF 150 puede registrar información adicional, como los datos recopilados de las comprobaciones del estado del sistema, como la marca de tiempo y el resultado de las comprobaciones del estado del módulo de alimentación y la marca de tiempo y los resultados de las pruebas de estado eléctrico y de estado y funcionamiento del medidor de la ESP.

[0022] La **Figura 3** es un diagrama de flujo 300 de operaciones de ejemplo para monitorizar la EMF para una ESP que tiene un PMM, según algunas implementaciones. En algunas implementaciones, se pueden monitorizar una o más tensiones y una o más corrientes en un cable acoplado a la ESP que tiene el PMM (bloque 302). En algunas implementaciones, se puede determinar si la una o más tensiones y la una o más corrientes en el cable excede uno o más umbrales (bloque 304). En algunas implementaciones, se genera una notificación para indicar una condición de EMF en el cable de la ESP si al menos una de la una o más tensiones y la una o más corrientes del cable excede al menos uno del uno o más umbrales (bloque 306). En algunas implementaciones, la condición de EMF puede determinarse basándose en una condición de tensión detectada a partir de las mediciones de tensión, basándose en una condición de corriente detectada a partir de las mediciones de corriente, o basándose tanto en la condición de tensión como en la condición de corriente (como se describe con más detalle anteriormente en las Figuras 1 y 2).

[0023] En algunas implementaciones, determinar si la una o más tensiones y la una o más corrientes en el cable excede uno o más umbrales puede incluir al menos uno de determinar si al menos una de la una o más tensiones en el cable excede un umbral de tensión y determinar si al menos una de la una o más corrientes en el cable excede un umbral de corriente. En algunas implementaciones, generar la notificación para indicar la condición de EMF en el cable de la ESP puede ser en respuesta a al menos uno de determinar al menos una de la una o más tensiones en el cable excede el umbral de tensión y determinar al menos una de la una o más corrientes en el cable excede el umbral de corriente. En algunas implementaciones, monitorizar una o más tensiones y una o más corrientes en el cable acoplado a la ESP puede incluir la medición continua de la una o más tensiones entre los conductores del cable situado en el fondo de un pozo y la medición continua de la una o más corrientes a través de cada uno de los conductores del cable situado en el fondo del pozo.

[0024] La **Figura 4** muestra un ejemplo de unidad de control 268 y panel indicador 272 del dispositivo de monitorización de EMF 150 que se puede implementar en un sistema de pozos para monitorizar las condiciones de EMF de una ESP basada en PMM, según algunas implementaciones. Los componentes adicionales del dispositivo de monitorización de EMF 150 mostrados en la Figura 2 (como la unidad de acondicionamiento de señales o el módulo de potencia) no se muestran por razones de simplicidad. La unidad de control

268 puede incluir uno o más procesadores 401 (posiblemente incluya múltiples núcleos, múltiples nodos y/o implemente multi-threading, etc.). La unidad de control 268 puede incluir memoria 407. La memoria 407 puede ser una memoria de sistema o cualquier tipo o implementación de un medio legible por computadora o por máquina, que tenga instrucciones ejecutables por el uno o más procesadores 401 para implementar las operaciones descritas en las Figuras 1-3. La memoria 407 puede ser una memoria de sistema o cualquier tipo o implementación de un medio legible y grabable por computadora o por máquina, que tenga la capacidad de recibir, procesar y/o almacenar datos, tal como las mediciones de tensión, corriente y resistencia descritas en las Figuras 1-3. La unidad de control 268 también puede incluir uno o más módulos de análisis y detección de datos que se almacenan en la memoria 407 y que pueden ser ejecutados por el uno o más procesadores 401, como el módulo de detección de fallos 410. El módulo de detección de fallos 410 puede analizar señales de tensión, corriente y resistencia (recibidas de una unidad de acondicionamiento de señales), medir los valores de tensión, corriente y resistencia, y comparar las mediciones con uno o varios umbrales para monitorizar y detectar condiciones de EMF y supervisar el estado del cable de la ESP y de la ESP, tal como se describe en las Figuras 1-2. El módulo de detección de fallos 410 también puede proporcionar señales de notificación de una condición de EMF detectada (incluidas las condiciones de tensión y/o corriente) y/o la condición detectada del estado del sistema o dispositivo al panel indicador 272. El panel indicador 272 puede incluir una interfaz de red 405 y un módulo de comunicaciones 408 que puede controlar las comunicaciones por cable e inalámbricas (por ejemplo, Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, GPS y celular, entre otras), tales como notificaciones de señales inalámbricas o cableadas a uno o más dispositivos (por ejemplo, como una luz estroboscópica y auriculares) en el emplazamiento del pozo para alertar o notificar una condición de EMF en el emplazamiento del pozo, y notificaciones inalámbricas remotas a un centro de monitorización remoto, como se describe en las Figuras 1-2. La funcionalidad descrita en este documento puede implementarse con un circuito integrado específico para la aplicación, en la lógica implementada en el o los procesadores 401, en un coprocesador en un dispositivo periférico o tarjeta, etc. Además, las implementaciones pueden incluir menos componentes o componentes adicionales no ilustrados en la Figura 4.

[0025] Como se apreciará, los aspectos de la divulgación se pueden materializar como un sistema, método o código de programa/instrucciones almacenadas en uno o más medios legibles por máquina. En consecuencia, los aspectos pueden adoptar la forma de hardware, software (incluido firmware, software residente, microcódigo, etc.) o una combinación de aspectos de software y hardware que, en general, pueden denominarse en este documento “circuito”, “módulo” o “sistema”. La funcionalidad presentada como módulos/unidades individuales en las ilustraciones de ejemplo puede organizarse de forma diferente según la plataforma (sistema operativo y/o hardware), el ecosistema de aplicaciones, las interfaces, las preferencias del programador, el lenguaje de programación, las preferencias del administrador, etc.

[0026] Se puede utilizar cualquier combinación de uno o más medios legibles por máquina. El medio legible por máquina puede ser un medio de señal legible por máquina o un medio de almacenamiento legible por máquina. Un medio de almacenamiento legible por máquina puede ser, por ejemplo, entre otros, un sistema, aparato o dispositivo que emplea cualquiera o una combinación de tecnología electrónica, magnética, óptica, electromagnética, infrarroja o semiconductora para almacenar código de programa. Los

ejemplos más específicos (una lista no completa) del medio de almacenamiento legible por máquina incluirían los siguientes: un disquete informático portátil, un disco duro, una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de solo lectura (ROM), una memoria de solo lectura programable borrable (EPROM o memoria flash), una memoria de solo lectura de disco compacto portátil (CD-ROM), un dispositivo de almacenamiento óptico, un dispositivo de almacenamiento magnético o cualquier combinación adecuada de los anteriores. En el contexto de este documento, un medio de almacenamiento legible por máquina puede ser cualquier medio tangible que pueda contener o almacenar un programa para su uso mediante un sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones o en relación con este. Un medio de almacenamiento legible por máquina no es un medio de señal legible por máquina.

[0027] Un medio de señal legible por máquina puede incluir una señal de datos propagada con un código de programa legible por máquina en su interior, por ejemplo, en banda base o como parte de una onda portadora. Tal señal propagada puede tener una variedad de formas que incluyen, entre otras, electromagnética, óptica o cualquier combinación adecuada de estas. Un medio de señal legible por máquina puede ser cualquier medio legible por máquina que no sea un medio de almacenamiento legible por máquina y que pueda comunicar, propagar o transportar un programa para su uso mediante un sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones o en relación con este.

[0028] El código de programa almacenado en un medio legible por máquina se puede transmitir mediante la utilización de cualquier medio adecuado, que incluye, entre otros, inalámbrico, cableado, cable de fibra óptica, RF, etc., o cualquier combinación adecuada de los anteriores.

[0029] El código de programa informático para llevar a cabo operaciones para aspectos de la divulgación puede estar escrito en cualquier combinación de uno o más lenguajes de programación, que incluyen un lenguaje de programación orientado a objetos tal como el lenguaje de programación Java®, C++ o similar; un lenguaje de programación dinámico tal como Python; un lenguaje de scripting tal como el lenguaje de programación Perl o el lenguaje de scripting PowerShell; y lenguajes de programación procedimentales convencionales, tales como el lenguaje de programación "C" o lenguajes de programación similares. El código de programa se puede ejecutar por completo en una máquina autónoma, se puede ejecutar de manera distribuida en múltiples máquinas y se puede ejecutar en una máquina mientras proporciona resultados y/o acepta una entrada en otra máquina.

[0030] El código de programa/instrucciones también se pueden almacenar en un medio legible por máquina que puede dirigir una máquina para que funcione de una manera particular, de modo que las instrucciones almacenadas en el medio legible por máquina produzcan un artículo de fabricación que incluya instrucciones que implementen la función/acción especificada en el bloque o bloques del diagrama de flujo y/o diagrama de bloques.

[0031] Aunque los aspectos de la divulgación se describen con referencia a diversas implementaciones y explotaciones, se entenderá que estos aspectos son ilustrativos y que el alcance de las reivindicaciones no se limita a ellos. En general, las técnicas para monitorizar las condiciones de EMF de una ESP basada en PMM como se describe en este documento pueden implementarse con instalaciones consistentes con cualquier

sistema de hardware o sistemas de hardware. Existen muchas variaciones, modificaciones, adiciones y mejoras posibles.

[0032] Se pueden proporcionar instancias plurales para los componentes, las operaciones o las estructuras descritos en este documento como una sola instancia. Por último, los límites entre diversos componentes, operaciones y almacenes de datos son algo arbitrarios, y las operaciones particulares se ilustran en el contexto de configuraciones ilustrativas específicas. Se conciben otras asignaciones de funcionalidad y estas pueden caer dentro del alcance de la divulgación. En general, las estructuras y funcionalidades presentadas como componentes separados en las configuraciones de ejemplo pueden implementarse como una estructura o componente combinado. De manera similar, las estructuras y la funcionalidad presentadas como un solo componente pueden implementarse como componentes separados. Estas y otras variaciones, modificaciones, adiciones y mejoras pueden estar dentro del alcance de la divulgación.

[0033] Como se usa en este documento, el término "o" es inclusivo, a menos que se indique explícitamente lo contrario. Por lo tanto, la frase "al menos uno de A, B o C" se ve cumplida por cualquier elemento del ensamblaje {A, B, C} o cualquier combinación de estos, que incluye varios de cualquier elemento.

[0034] Además, a menos que se especifique lo contrario, el uso de las expresiones "arriba", "superior", "hacia arriba", "arriba del pozo", "corriente arriba" u otras expresiones similares se interpretará como generalmente lejos del pozo; extremo terminal de un pozo; del mismo modo, el uso de las expresiones "abajo", "inferior", "hacia abajo", "en el fondo de pozo" u otras expresiones similares se interpretará generalmente hacia abajo del pozo, extremo terminal del pozo, sin importar la orientación del pozo. El uso de una o más de cualquiera de las expresiones anteriores no deberá interpretarse como que denota posiciones a lo largo de un eje perfectamente vertical. En algunos casos, una parte cerca del extremo del pozo puede ser horizontal o incluso estar dirigida levemente hacia arriba. A menos que se especifique lo contrario, se interpretará que el uso de la expresión "formación subterránea" abarca tanto las áreas debajo de la tierra expuesta como las áreas debajo de la tierra cubiertas por agua, tales como el océano o agua dulce.

[0035] Modalidades de ejemplo

[0036] Las modalidades de ejemplo pueden incluir las siguientes:

[0037] Modalidad #1: Un método para monitorizar una fuerza electromotriz (EMF) para una bomba eléctrica sumergible (ESP) que tiene un motor de imán permanente (PMM), que comprende: monitorizar una o más tensiones y una o más corrientes en un cable acoplado a la ESP que tiene el PMM; determinar si la una o más tensiones y la una o más corrientes en el cable excede uno o más umbrales; y generar una notificación para indicar una condición de EMF en el cable de la ESP si al menos una de la una o más tensiones y la una o más corrientes en el cable excede al menos uno del uno o más umbrales.

[0038] Modalidad #2: El método de la modalidad #1, en donde determinar si la una o más tensiones y la una o más corrientes en el cable excede uno o más umbrales incluye al menos uno de: determinar si al menos una de la una o más tensiones en el cable excede un umbral de tensión; y determinar si al menos una de la una o más corrientes en el cable excede un umbral de corriente.

[0039] Modalidad #3: El método de la modalidad #1, en donde generar la notificación para indicar la condición de EMF en el cable de la ESP es en respuesta a al menos uno de: determinar al menos una de la una o más tensiones en el cable excede un umbral de

tensión; y determinar al menos una de la una o más corrientes en el cable excede un umbral de corriente.

[0040] Modalidad #4: El método de la modalidad #1, en donde monitorizar una o más tensiones y una o más corrientes en el cable acoplado a la ESP incluye: la medición continua de la una o más tensiones entre los conductores del cable situado en el fondo de un pozo; y la medición continua de la una o más corrientes a través de cada uno de los conductores del cable situado en el fondo del pozo.

[0041] Modalidad #5: El método de la modalidad #1, en donde la notificación para indicar la condición de EMF incluye una notificación de señal que provoca la activación de una o más notificaciones visuales a través de uno o más dispositivos del equipo de superficie en un emplazamiento de pozo y la activación de una notificación sonora a auriculares inalámbricos en el emplazamiento de pozo.

[0042] Modalidad #6: El método de la modalidad #1, en donde la notificación para indicar la condición de EMF incluye una notificación de señal que provoca la activación de una o más de una sirena, una luz estroboscópica, una luz LED, una alarma y una notificación por vibración.

[0043] Modalidad #7: El método de la modalidad #1, en donde generar la notificación para indicar la condición de EMF incluye generar una notificación de señal remota a un centro de monitorización remoto que indica la condición de EMF.

[0044] Modalidad #8: El método de la modalidad #1, que comprende además: monitorizar una o más resistencias en el cable acoplado a la ESP.

[0045] Modalidad #9: El método de la modalidad #8, en donde monitorizar la una o más resistencias en el cable acoplado a la ESP incluye al menos uno de: monitorizar una o más resistencias entre fases en el cable; y monitorizar una o más resistencias entre fase y tierra en el cable.

[0046] Modalidad #10: El método de la modalidad #1, que comprende además: registrar datos de monitorización y detección, incluidas mediciones de tensión y corriente y eventos de detección de condiciones de EMF.

[0047] Modalidad #11: Un dispositivo de monitorización de la fuerza electromotriz (EMF) para una bomba eléctrica sumergible (ESP) que tiene un motor de imán permanente (PMM), que comprende: uno o más dispositivos de detección de tensión y corriente configurados para monitorizar una o más tensiones y una o más corrientes en un cable acoplado a la ESP que tiene el PMM; uno o más procesadores; y un medio de almacenamiento legible por computadora que tiene almacenadas instrucciones que pueden ser ejecutadas por uno o más procesadores para hacer que el dispositivo de monitorización de EMF: determine si la una o más tensiones y la una o más corrientes en el cable excede uno o más umbrales; y genere una notificación para indicar una condición de EMF en el cable de la ESP si al menos una de la una o más tensiones y la una o más corrientes en el cable excede al menos uno del uno o más umbrales.

[0048] Modalidad #12: El dispositivo de monitorización de EMF la modalidad #11, en donde las instrucciones que hacen que el dispositivo de monitorización de EMF determine si el uno o más tensiones y la una o más corrientes en el cable excede uno o más umbrales incluyen al menos uno de: instrucciones que hacen que el dispositivo de monitorización de EMF determine si al menos una de la una o más tensiones en el cable excede un umbral de tensión; e instrucciones que hacen que el dispositivo de monitorización de EMF determine si al menos una de la una o más corrientes en el cable excede un umbral de corriente.

[0049] Modalidad #13: El dispositivo de monitorización de EMF de la modalidad #11, en donde las instrucciones que hacen que el dispositivo de monitorización de EMF genere la notificación para indicar la condición de EMF en el cable de la ESP responden a la determinación de uno o más de: al menos una de la una o más tensiones en el cable excede un umbral de tensión; y al menos una de la una o más corrientes en el cable excede un umbral de corriente.

[0050] Modalidad #14: El dispositivo de monitorización de EMF de la modalidad #11, en donde la notificación para indicar la condición de EMF incluye una notificación de señal que provoca la activación de una o más notificaciones visuales a través de uno o más dispositivos del equipo de superficie en un emplazamiento de pozo y la activación de una notificación sonora a auriculares inalámbricos en el emplazamiento de pozo.

[0051] Modalidad #15: El dispositivo de monitorización de EMF de la modalidad #11, que comprende además: instrucciones que hacen que el dispositivo de monitorización de EMF monitoree una o más resistencias en el cable acoplado a la ESP.

[0052] Modalidad #16: El dispositivo de monitorización de EMF de la modalidad #11, que comprende además: instrucciones que hacen que el dispositivo de monitorización de EMF registre datos de monitorización y detección, incluidas mediciones de tensión y corriente y eventos de detección de condiciones de EMF.

[0053] Modalidad #17: Un medio de almacenamiento no transitorio legible por computadora que contiene instrucciones almacenadas en este que pueden ser ejecutadas por uno o más procesadores de un dispositivo de monitorización de la fuerza electromotriz (EMF) para una bomba eléctrica sumergible (ESP) que tiene un motor de imán permanente (PMM), donde las instrucciones comprenden: instrucciones para monitorizar una o más tensiones y una o más corrientes en un cable acoplado a la ESP que tiene el PMM; instrucciones para determinar si la una o más tensiones y la una o más corrientes en el cable excede uno o más umbrales; e instrucciones para generar una notificación que indique una condición de EMF en el cable de la ESP si al menos una de la una o más tensiones y la una o más corrientes en el cable excede al menos uno del uno o más umbrales.

[0054] Modalidad #18: El medio de almacenamiento no transitorio legible por computadora de la modalidad #17, en donde las instrucciones para determinar si la una o más tensiones y la una o más corrientes en el cable excede uno o más umbrales incluyen al menos uno de: instrucciones para determinar si al menos una de la una o más tensiones en el cable excede un umbral de tensión; e instrucciones para determinar si al menos una de la una o más corrientes en el cable excede un umbral de corriente.

[0055] Modalidad #19: El medio de almacenamiento no transitorio legible por computadora de la modalidad #17, en donde las instrucciones para generar la notificación para indicar la condición de EMF en el cable de la ESP es en respuesta a la determinación de uno o más de: al menos una de la una o más tensiones en el cable excede un umbral de tensión; y al menos una de la una o más corrientes en el cable excede un umbral de corriente.

[0056] Modalidad #20: El medio de almacenamiento no transitorio legible por computadora de la modalidad #17, que comprende además: instrucciones para monitorizar una o más resistencias en el cable acoplado a la ESP.