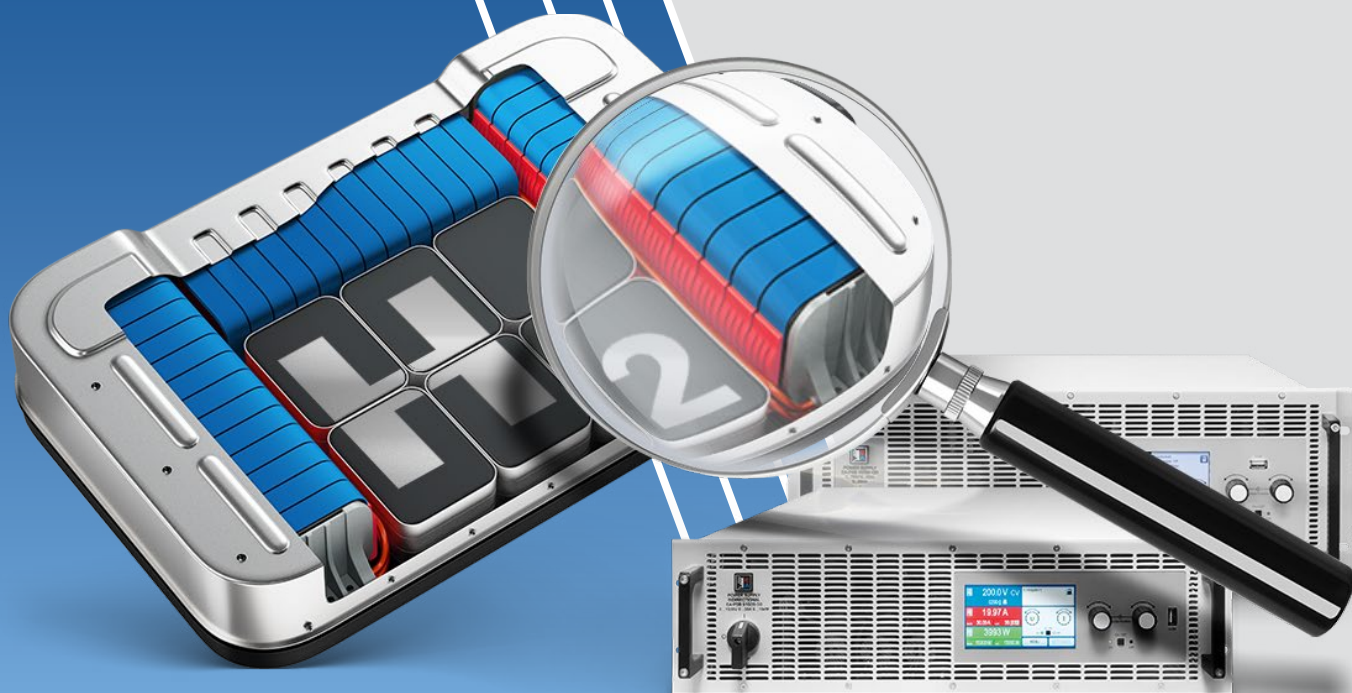




Elektro-Automatik



ENSAYO EFICIENTE Y SENCILLO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE

Apoyo a los avances en sistemas de energía
respetuosa con el medioambiente



simplificado



rentable



sostenible

Ensayar celdas de combustible

Las celdas de combustible usan hidrógeno combinado con oxígeno para producir electricidad. Los subproductos del proceso de electricidad son el calor y el agua. Con una emisión cero de gases de efecto invernadero, es decir, de dióxido de carbono, el uso de fuentes de alimentación para celdas de combustible contribuye a esa necesaria reducción del dióxido de carbono en el medioambiente. La imagen 1 muestra cómo funciona una celda de combustible. El hidrógeno y el oxígeno forman iones mediante la oxidación en un ánodo y

la reducción en un cátodo. La energía química de las reacciones se transforma en energía eléctrica en forma de electrones que fluyen del ánodo al cátodo mediante una carga externa y protones que fluyen del ánodo al cátodo mediante electrolitos. Los productos finales son el agua y el calor y no el dióxido de carbono. La celda de combustible representada es una celda de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM).

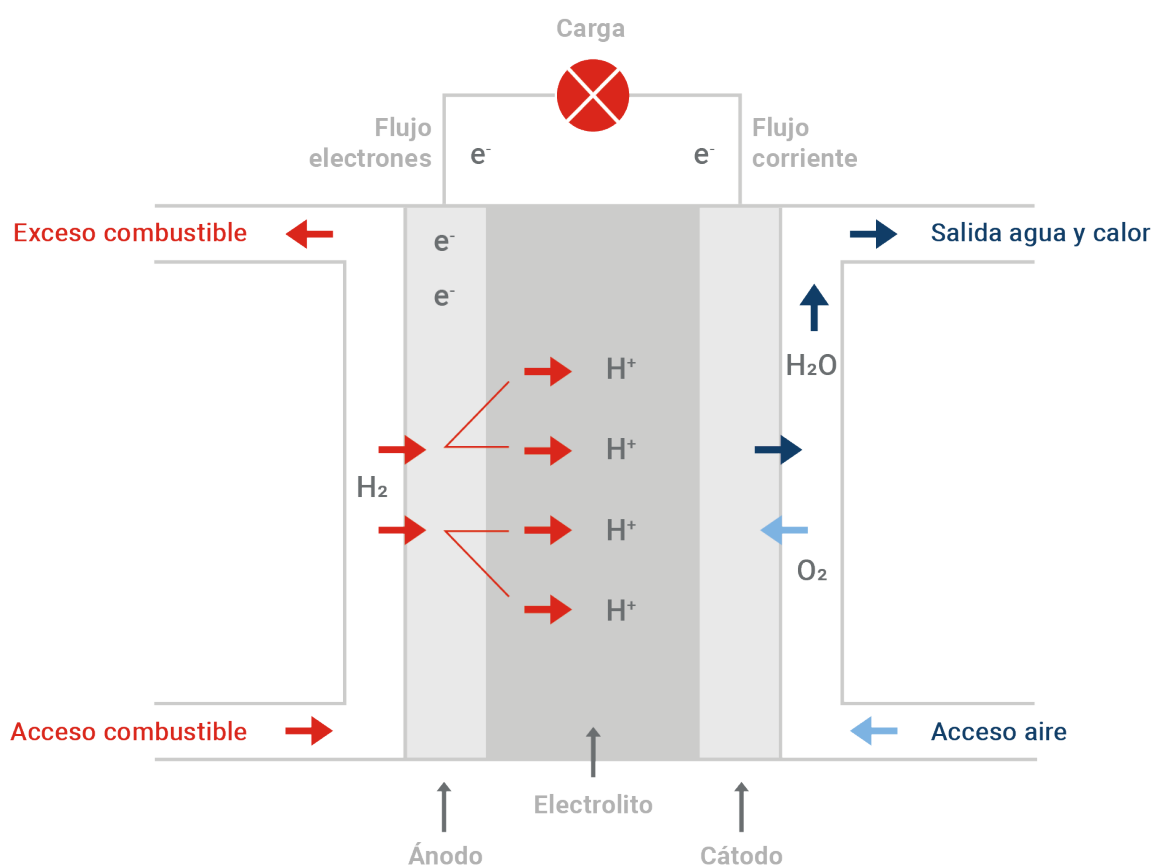


Imagen 1
Diagrama funcional básico de una
celda de

Las celdas de combustible* se encuentran en aplicaciones en vehículos de gestión de materiales, unidades de reparto, camiones de largo recorrido y se usan como sistemas de potencia auxiliar. Gracias a las iniciativas gubernamentales, los incentivos económicos y las nuevas aplicaciones se ha logrado una tasa de crecimiento de mercado que excede el 30%.

Una única celda de combustible genera menos de 2 V de salida, por lo que las celdas de combustible prácticas son conjuntos o pilas de múltiples celdas. Las celdas de combustible pueden ofrecer salidas de hasta 125 kW para vehículos, y las celdas de combustible de mayor tamaño, usadas para potencia auxiliar, pueden tener una capacidad de 1,5 MW y se manejan a 900 V. Cuando la tecnología de celdas de combustible vaya mejorando, los fabricantes irán diseñando pilas de celdas de combustible con mayores potencias y tensiones nominales.

Con una capacidad de potencia tan elevada, el ensayo de pilas de celdas de combustible es básico para garantizar que tengan una eficiencia especificada mínima, que son seguras y que disponen de la vida operativa requerida. Las fuentes de alimentación bidireccionales y cargas electrónicas de EA Elektro-Automatik ofrecen una alta capacidad de entrada y salida para probar pilas de celdas de combustible. Las cargas electrónicas están disponibles en modelos con una capacidad de 30 kW y una salida de tensión de 2000 V. La capacidad de corriente puede ser de 1000 A. Se pueden conectar en paralelo hasta 64 cargas para permitir el ensayo con celdas de combustible con niveles de potencia de hasta 1,92 MW. Existe el mismo manejo de potencia y capacidad de equipo paralelo en las fuentes de alimentación bidireccionales para generar o consumir potencia.

Medir la resistencia de la celda de combustible con una técnica de perturbación AC

La imagen 2 muestra un modelo de circuito simplificado para una celda de combustible. El parámetro más importante de una celda de combustible es su componente resistivo. La resistencia electrolítica es el principal contribuidor a la resistencia total de la celda de combustible. La resistencia de polarización modela la resistencia equivalente de la reacción y la capacitancia de doble capa modela las interfaces ánodo-electrolito-cátodo. Cuanto menor sea la resistencia total de la celda de combustible, menor será su pérdida de potencia y mayor será su eficiencia. Con una generación de potencia de kW a MW, una resistencia total excesiva puede evitar que una pila de celda de combustible proporcione su potencia nominal máxima.

La dificultad al medir la resistencia de la celda de combustible se debe al hecho de que la fuente de tensión de la célula no se puede aislar de los componentes resistivos como podría sugerir el modelo de circuito. En lugar de emplear una medición de resistencia DC convencional, la medición de la resistencia de célula de combustible requiere una medición AC o una medición pseudo-AC. En cualquier caso, una perturbación, un ΔI , creado por los resultados de carga en un ΔV (ΔU) en la celda de combustible y la resistencia de celda de combustible, $R = \Delta V (\Delta U) / \Delta I$.

*«Celda de combustible» y «pila de celda de combustible» se usarán de forma intercambiable en la nota de aplicación.

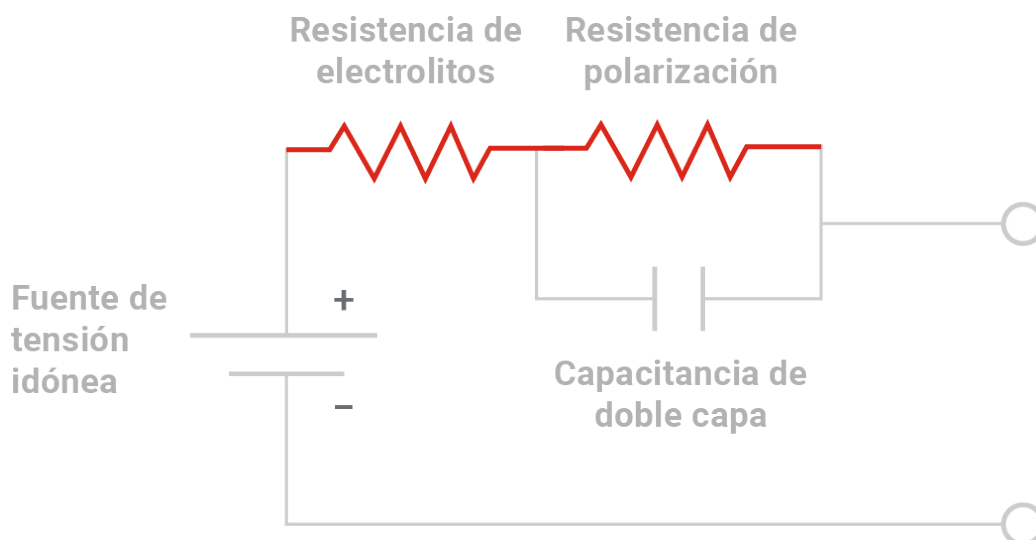
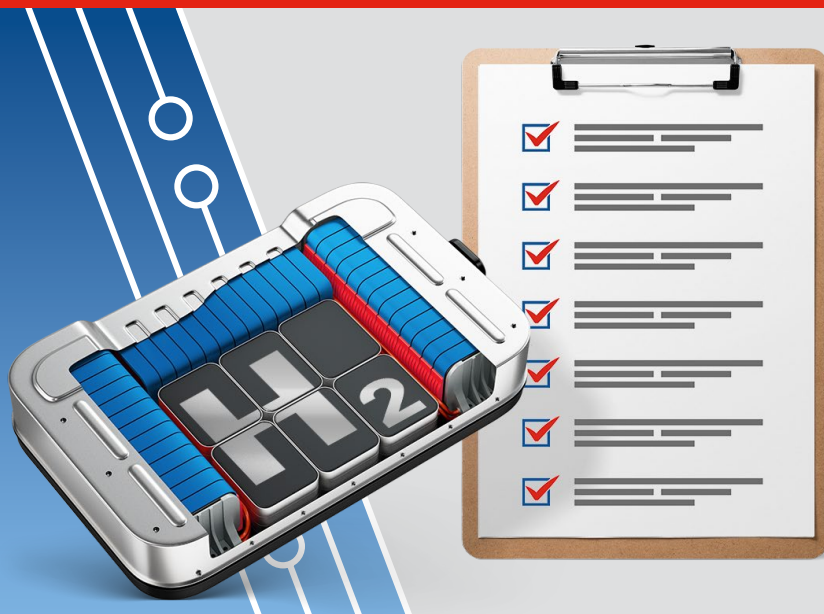


Imagen 2
Modelo simplificado de una celda de combustible



La medición pseudo-AC se conoce como el método de interrupción de corriente. Este método, como su propio nombre indica, crea un ΔI al cambiar instantáneamente la corriente de carga de un valor de estado estable a 0 A. La tensión de célula de combustible eleva su tensión de circuito abierto desde la tensión reducida por el producto de la corriente de carga y la resistencia de celda de combustible. La imagen 3 muestra un pulso de tensión resultante del apagado momentáneo de la corriente. Mientras que solo se requiere una carga electrónica para este método tiene la desventaja de crear una gran perturbación en la celda.

La imagen 3 muestra la tensión ideal a modo de ejemplo, pero la inductancia del cable, $L \cdot di/dt$, crea una sobreoscilación en los límites del pulso de tensión cuando se produce una transición de la corriente. Esto podría dificultar la obtención de una lectura precisa del pico de tensión. Si se mantienen los cables de pruebas entre la carga y la celda de combustible en pruebas lo más cortos posible se puede reducir el efecto de sobreoscilación. La imagen 4 muestra la configuración de prueba para el ensayo de interrupción de corriente. La segunda desventaja de este método es que sobreestima la resistencia de la celda de combustible de un 10 al 20%.

Tensión (V)

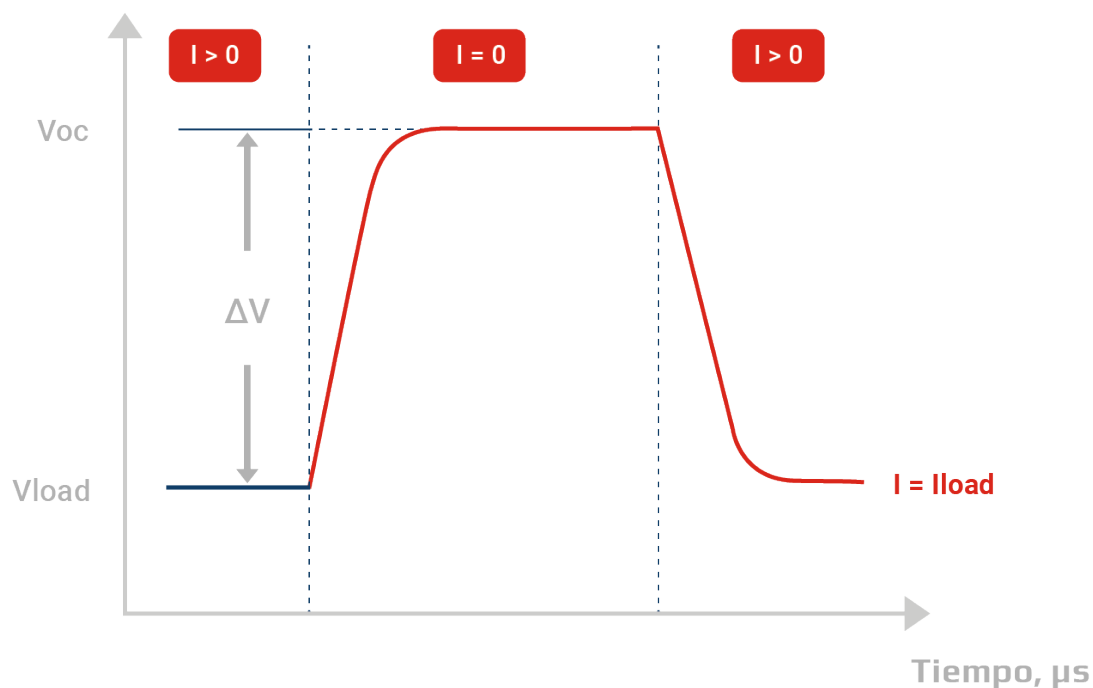


Imagen 3

Respuesta ideal de celda de combustible a una interrupción de corriente de carga. La salida real tendría una oscilación (sobreoscilación) en el límite de subida y bajada del pulso de tensión debido a la inductancia del cableado. La transición es un efecto AC de forma que los cables actúan como una línea de transmisión R-L-C durante la transición de la carga.

**NOTA
1**

Use una medición remota a cuatro puntas (cableado Kelvin) para medir con mayor precisión la tensión de salida de la celda de combustible y eliminar la caída de tensión debido a la corriente en las líneas de alimentación. El sistema de 2 puntas medirá una tensión inferior.

**NOTA
2**

Trence los cables de detección remota juntos y sepárelos de los cables de alimentación para reducir el acoplamiento inductivo del ruido en las líneas de detección.

**NOTA
3**

Mantenga los cables de prueba lo más cortos posible para reducir los efectos de la sobreoscilación en la línea de transmisión cuando se produzca una alteración en la fase de carga.

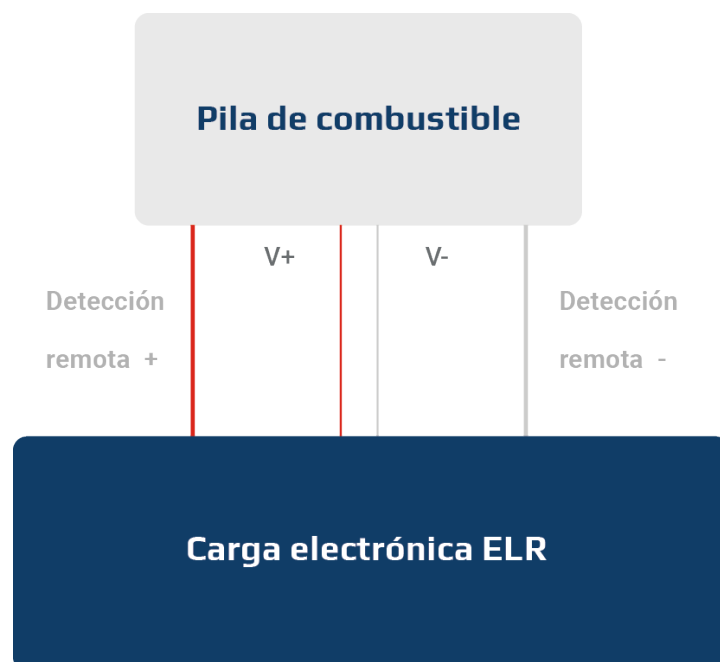


Imagen 4

Configuración de ensayo para la medición de la resistencia de la celda de combustible con el método de interrupción de corriente

El software Power Control de EA Elektro-Automatik que controla las fuentes de alimentación y cargas electrónicas EA simplifican la tarea de crear una onda sinusoidal a nivel de la carga DC. La captura de pantalla, mostrada en la Imagen 5, muestra la creación de una onda sinusoidal de 1 kHz con una amplitud de 5 Vrms. No se requiere codificación para el software Power Control. Si la carga electrónica necesita integrarse en otro software de control, la biblioteca de la carga de los comandos del equipo SCPI se ocupa de la comunicación y control del equipo. La Tabla 1 enumera los comandos que generaría la onda sinusoidal. Los comandos SCPI se pueden codificar, leer y escribir en lenguajes de programación como C y Python.

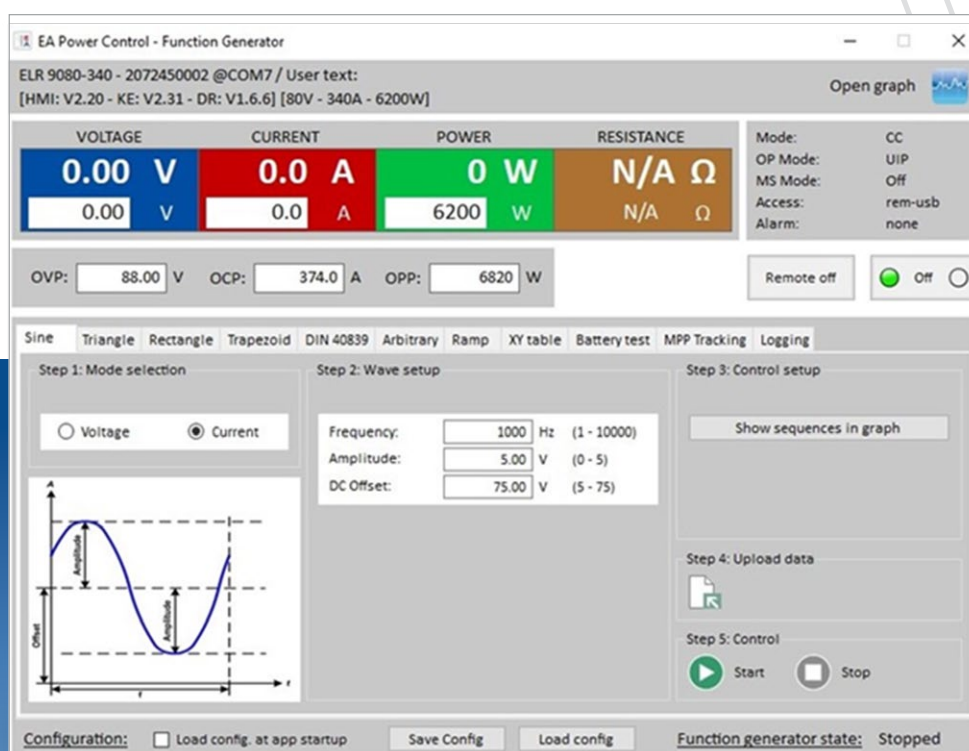


Imagen 5

Captura de pantalla del software Power Control que crea una onda sinusoidal de 5 V_{RMS} a 1 kHz en un nivel de carga de 75 A_{DC}.

Asumiendo que el equipo ya está en control remoto y la entrada DC o salida DC está apagada, sería necesaria la siguiente secuencia de comandos:

FUNC:GEN:SEL CURR	;SELECTS ARBITRARY GENERATOR FOR CURRENT.
FUNC:GEN:WAVE:LEV 1	;SELECTS STEP 1
FUNC:GEN:WAVE:IND 5	;SELECTS BEGINNING AC OFFSET CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 75	;SETS AC OFFSET CURRENT START VALUE OF 75A
FUNC:GEN:WAVE:IND 6	;SELECTS ENDING AC OFFSET CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 75	;SETS ENDING AC OFFSET CURRENT VALUE OF 75A
FUNC:GEN:WAVE:IND 2	;SELECTS BEGINNING AC FREQUENCY
FUNC:GEN:WAVE:DATA 1000	;SETS BEGINNING AC FREQUENCY OF 1KHZ
FUNC:GEN:WAVE:IND 3	;SELECTS ENDING AC FREQUENCY
FUNC:GEN:WAVE:DATA 1000	;SET ENDING AC FREQUENCY TO 1KHZ
FUNC:GEN:WAVE:IND 0	;SELECTS BEGINNING AC AMPLITUDE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 5	;SETS BEGINNING AC AMPLITUDE OF 5A
FUNC:GEN:WAVE:IND 1	;SELECTS ENDING AC AMPLITUDE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 5	;SET ENDING AC AMPLITUDE OF 5A
FUNC:GEN:WAVE:IND 7	;SELECTS DURATION OF STEP IN SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:DATA 10	;SETS DURATION OF STEP TO BE 10 SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:END 1	;SET START SEQUENCE STEP TO 1
FUNC:GEN:WAVE:START 10	;SET END SEQUENCE STEP TO 10

Tabla 1
 Código SCPI para
 crear la onda
 sinusoidal de
 5 V_{RMS} a 1 kHz en
 un offset de carga
 de 75 A_{DC}

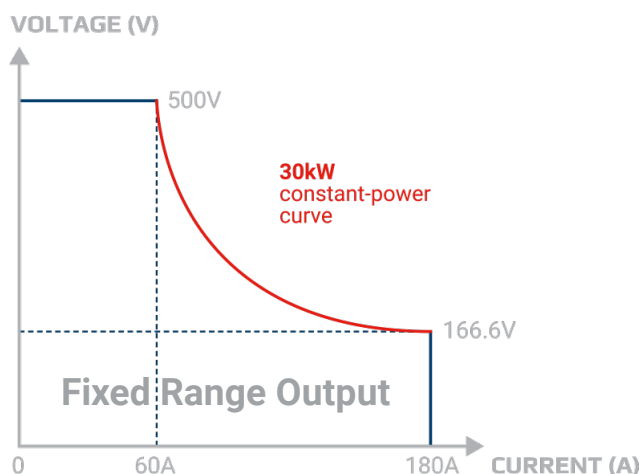


Imagen 6

Entrada de autoranging comparado con una carga de rango fijo. Observe cuánta entrada de tensión y cuánta gestión de potencia a ajustes de corriente más elevados puede ofrecer una carga con autoranging.

Ensayar una pila de celda de combustible que pueda ofrecer tantos niveles de MW de salida requiere un equipo de ensayos de alta potencia. Los modelos ELR pueden absorber hasta 30 kW y funcionar con tensiones de hasta un máximo de 2000 V y corrientes de 1000 A. Las cargas tienen esa capacidad debido a su entrada autoranging mostrada en la Imagen 6. El autoranging permite que la carga absorba la potencia completa a lo largo de un rango de funcionamiento más amplio que una carga de rango fijo y evita tener que usar una carga de potencia más elevada para absorber tensiones o corrientes más elevadas. El autoranging también ofrece flexibilidad a la hora de ensayar más tipos de celdas de combustible debido a rangos de funcionamiento de tensión y corriente más amplios de la carga.

Para pilas de celdas de combustible usadas en generación de potencia auxiliar, se pueden conectar en paralelo hasta 64 cargas ELR para absorber hasta 64 kA. Los conjuntos de cargas ELR pueden ensayar cualquier pila de celda de combustible.

Simulación de celdas de combustible

Una vez que se han establecido los parámetros de la pila de combustible, los ingenieros pueden calcular el rendimiento de salida de la celda de combustible. Para datos repetitivos, la celda de combustible debería encontrarse en un entorno controlado en el que la temperatura, la presión, la humedad y el ritmo de caudal del combustible de la celda de combustible se mantuvieran constantes. La salida de tensión se determina como una función de la corriente de carga. La corriente de carga arranca sin carga para permitir la medición de una tensión de circuito abierto. La carga aumenta por un paso fijo hasta que la tensión de salida de la celda de combustible desciende hasta un 20 % de su tensión de circuito abierto. Cada corriente de carga requiere que la celda de combustible restablezca las condiciones de equilibrio; por lo tanto, es necesario un retardo antes de recoger datos en cada nuevo nivel de carga. La imagen 7 muestra un ejemplo de la curva de polarización.

En sección 1 Los efectos electrocinéticos no lineales resultan en una caída de tensión no lineal con una corriente de carga aumentada.

En sección 2 La resistencia óhmica de la celda de combustible domina la característica de la celda de combustible y genera un segmento lineal.

En sección 3 La tensión se desploma exponencialmente ya que la energía se consume más rápido que las reacciones químicas de hidrógeno y oxígeno suministran nueva energía.

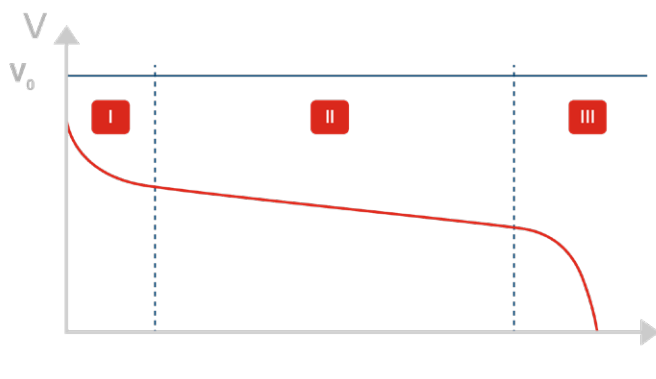


Imagen 7

Curva de salida corriente-tensión de una celda de combustible

Las cargas ELR puede crear fácilmente una secuencia de fase de corriente de carga usando o bien el software Power Control o los comandos SCPI.

La imagen 8 muestra el software Power Control con una configuración que incrementa la corriente de carga de 0 A a 100 A en pasos de 10 A. La imagen muestra la segunda fase de la secuencia en la que se incrementa la corriente de carga de 10 A a 20 A. La tabla 2 muestra los comandos SCPI que realizan el mismo ensayo de carga de fase.

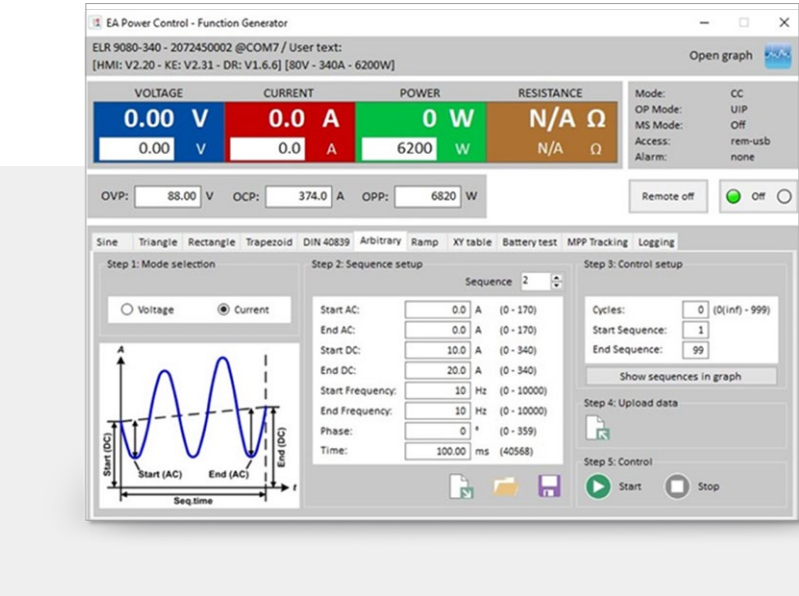


Imagen 8
Use el software Power Control para crear una secuencia de fase de carga de 0 A a 100 A.

FUNC:GEN:SEL CURR	;SELECTS ARBITRARY GENERATOR FOR CURRENT
.	;STEP ONE SKIPPED TO SHOW STEP 2 ONLY
.	
.	
FUNC:GEN:WAVE:LEV 2	;SELECTS STEP 2
FUNC:GEN:WAVE:IND 5	;SELECTS BEGINNING DC CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 10	;SETS DC CURRENT START VALUE OF 10A
FUNC:GEN:WAVE:IND 6	;SELECTS ENDING DC CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 20	;SETS ENDING DC CURRENT VALUE OF 20A
FUNC:GEN:WAVE:IND 7	;SELECTS DURATION OF STEP IN SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:DATA 10	;SETS DURATION OF STEP TO BE 10 SECONDS
.	;SKIP STEPS 3-10 WHICH INCREMENT UP 10A EACH
.	
.	
FUNC:GEN:WAVE:END 1	;SET START SEQUENCE STEP TO 1
FUNC:GEN:WAVE:START 10	;SET END SEQUENCE STEP TO 10

Tabla 2
Segmento de código SCPI para crear una secuencia de fase de 0 A a 100 A. Se muestra el Paso 2 de 10.

Ensayo de durabilidad de celdas de combustible

El paso más importante en el ensayo de celdas de combustible es garantizar su seguridad y estabilidad. Para aplicaciones de automoción, una pila de celda de combustible debe tener unas 5.000 horas de vida útil operativa. Los sistemas de potencia auxiliar deben tener una vida útil operativa de 10.000 horas. Un ensayo fiable requiere una prueba de estrés acelerada en la que la pila de la celda de combustible se somete a ciclos de cambios de carga de fase o rampas de corriente de carga durante unas 100 horas.

El cambio de corriente de carga da como resultado una modificación en la tensión de la celda de combustible en un 50%. El periodo de modificación de la fase de onda cuadrada y el ciclo de rampa debería estar en torno a los 50 s.

Usando el generador de forma de onda integrado, el software Power Control para cargas ELR mostrado en la Imagen 9, es posible ajustar un ensayo de rampa con una rampa de un periodo de 50 s. El código SCPI equivalente se muestra en la Tabla 3.

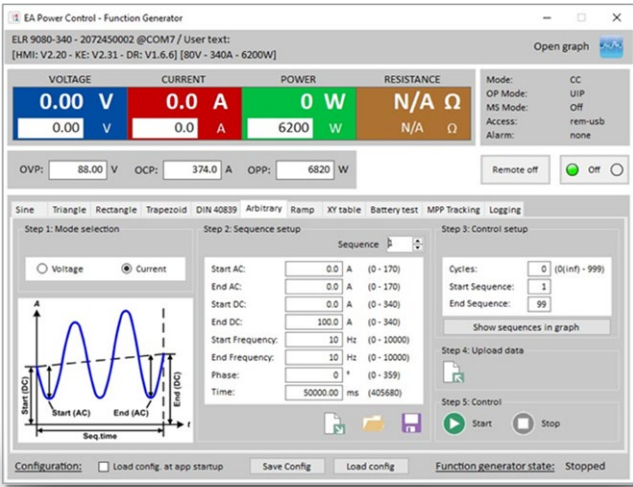


Imagen 9
Captura de pantalla del software Power Control que muestra la creación de una rampa de corriente de carga de 0 A a 100 A

Tabla 3
Código SCPI que crea una rampa equivalente a la rampa definida en la Imagen 9.

FUNC:GEN:SEL CURR	;SELECTS ARBITRARY GENERATOR FOR CURRENT
FUNC:GEN:WAVE:LEV 1	;SELECTS STEP 1
FUNC:GEN:WAVE:IND 0	;SELECTS BEGINNING DC CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 0	;SETS DC CURRENT START VALUE OF 0A
FUNC:GEN:WAVE:IND 6	;SELECTS ENDING DC CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 100	;SETS ENDING DC CURRENT VALUE OF 100A
FUNC:GEN:WAVE:IND 7	;SELECTS DURATION OF STEP IN SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:DATA 50	;SETS DURATION OF STEP TO BE 50 SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:END 1	;SET START SEQUENCE STEP TO 1
FUNC:GEN:WAVE:START 1	;SET END SEQUENCE STEP TO 1

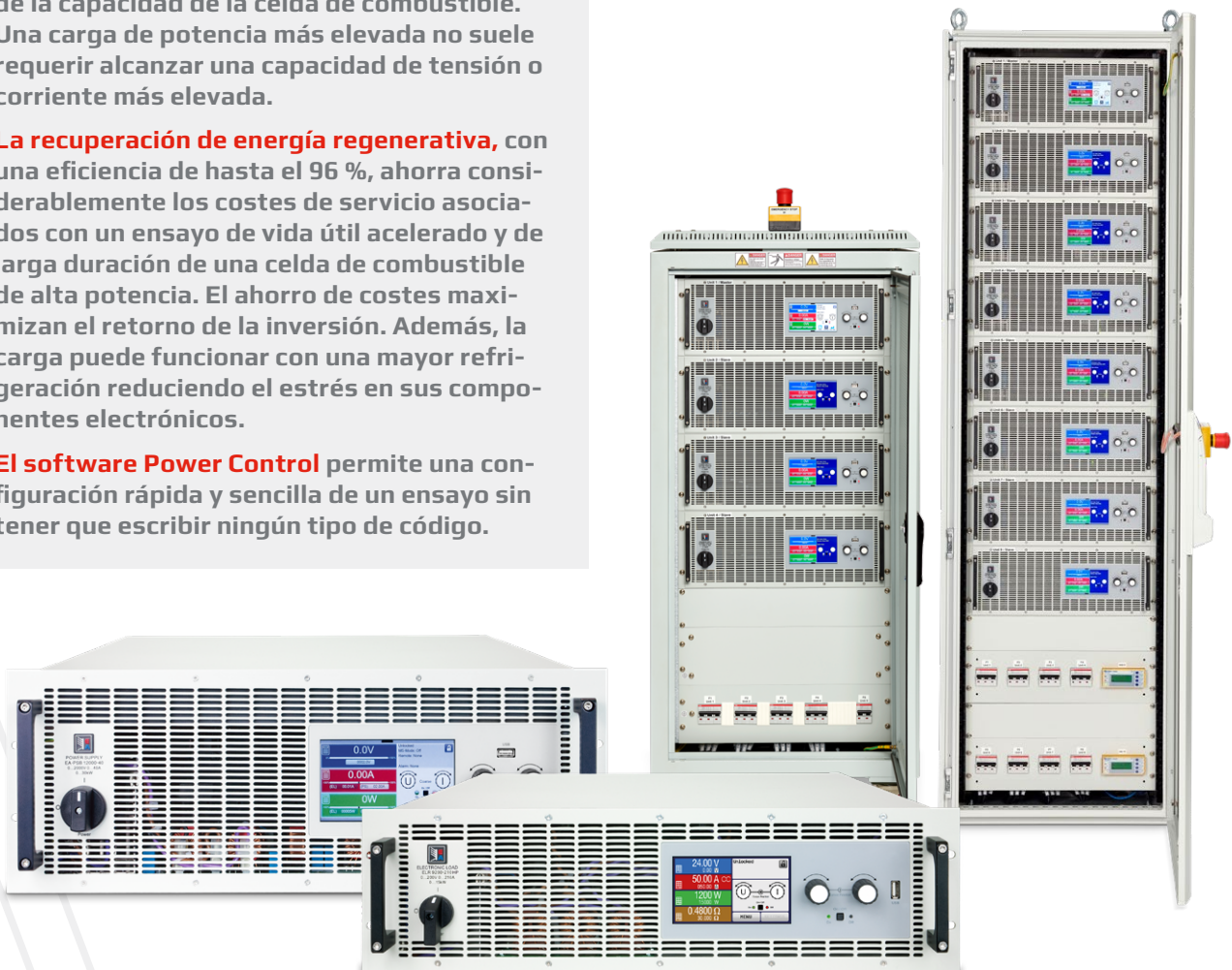
Un ensayo de 100 horas en la pila de celda de combustible de alta potencia consume mucha energía. Las cargas ELR puede ahorran una cantidad importante de energía durante un test de estrés acelerado. Las cargas tienen una recuperación de energía que puede absorber y devolver potencia a la red eléctrica con una eficiencia del 96%. No tener que disipar toda la potencia consumida permite que la carga ELR funcione más refrigerada comparado con una carga electrónica tradicional. Las cargas requieren una menor inversión en la infraestructura de refrigeración. Usar una carga ELR ofrece un retorno de la inversión con unos costes de servicio considerablemente reducidos.

Ensayo de celdas de combustible simplificado y eficiente

Las cargas ELR ofrecen las siguientes ventajas para el ensayo de celdas de combustible:

- El **generador de forma de onda integrado** simplifica la configuración y el ensayo de celdas de combustible eliminando el desafío que supone la interconexión de un generador de forma de onda de baja potencia en un circuito de alta potencia. Con el generador de forma de onda, la carga ELR puede programar fácilmente variaciones en las ondas sinusoidales en una corriente de carga DC para crear perturbaciones que midan las resistencias de la celda de combustible. El generador de forma de onda también puede crear ondas cuadradas y rampas para un ensayo del rendimiento y de la durabilidad.
- La **capacidad de autoranging** ayuda a reducir el coste de la carga requerida cuando los niveles más amplios de tensión y corriente permiten optimizar la capacidad de potencia de la capacidad de la celda de combustible. Una carga de potencia más elevada no suele requerir alcanzar una capacidad de tensión o corriente más elevada.
- La **recuperación de energía regenerativa**, con una eficiencia de hasta el 96 %, ahorra considerablemente los costes de servicio asociados con un ensayo de vida útil acelerado y de larga duración de una celda de combustible de alta potencia. El ahorro de costes maximizan el retorno de la inversión. Además, la carga puede funcionar con una mayor refrigeración reduciendo el estrés en sus componentes electrónicos.
- El **software Power Control** permite una configuración rápida y sencilla de un ensayo sin tener que escribir ningún tipo de código.

Mientras esta nota de aplicación se centra en la carga ELR como el equipo de ensayo primario, las fuentes de alimentación bidireccionales de la serie PSB pueden lograr la misma capacidad de absorción. Al igual que las cargas ELR, las fuentes de alimentación PSB disponen de un generador de forma de onda integrado, entrada y salida con autoranging y recuperación de energía regenerativa. Las fuentes de alimentación PSB pueden simular una pila de celda de combustible si se requiere el ensayo de la carga de la celda de combustible así como de la propia celda de combustible. Véase Nota de aplicación AN024 para obtener más información al simular una celda de combustible con una fuente de alimentación bidireccional PSB. Sea cual sea el equipo seleccionado, ambos ofrecen un ensayo simplificado y eficiente de celdas de combustible.





SERVICIO EN TODO EL MUNDO

En la sede central en Alemania, en el centro industrial de Renania del Norte-Westfalia, más de 200 profesionales cualificados investigan, desarrollan y fabrican equipos de alta tecnología, entre los que destacan fuentes de alimentación de laboratorio, adaptadores de red de alta potencia y cargas electrónicas con o sin retroalimentación de potencia en unas instalaciones de 18.000 m². La red de ventas incluye delegaciones en China y EE. UU., oficinas de ventas en Rusia y España y una extensa red de colaboradores.

