

Diseño de Circuito y Evolución del EDA LX4000 y LX5000

Los sistemas de adquisición de datos LX4000 y LX5000 son equipos que han servido a la profesión poligráfica exitosamente en ambientes óptimos, sub-óptimos y, en algunas ocasiones, en ambientes hostiles. Estos sistemas son completamente seguros tanto para el examinador como para el examinado, y tienen un historial comprobado de ser altamente funcionales en escenarios de campo mundialmente.

El propósito de este documento es proporcionar información relacionada con los circuitos del canal de Actividad Electro Dérmica (EDA) utilizados en el LX4000 y el LX5000.

El Circuito EDA LX4000

El LX4000 fue introducido al mercado en el 2002. El sistema de adquisición de datos (DAS) LX4000 original incluía el circuito de conductividad y el de resistencia de la piel en el tablero principal. El circuito de conductividad nunca se utilizó. El circuito original de resistencia presentaba una corriente del sujeto de 3.6 micro amperes (0.0000036 amperes) y una capacidad de adquisición de datos a través de un rango de resistencia de 10 kilohms (k Ω) a 1 megaohmio (M Ω). A pesar de que el rango normal de EDA se limita al rango de 50 k Ω a 500 k Ω en ambientes de laboratorio, la retroalimentación de los clientes indicaba un deseo de un mayor rango de EDA. Por esa razón se desarrolló un nuevo circuito para el LX4000 durante el año 2004, incrementando así la cantidad de corriente utilizada para tomar la medición y aumentar el rango. Éste se aumentó de 1M Ω a 2M Ω para adecuar completamente los valores de rango del EDA que pueden ser observados en ambientes de polígrafo de campo. La corriente también se incrementó en ese momento de 3.6 μ A a 10 μ A.

El cambiar el circuito del EDA implicó la incorporación de nuevos componentes electrónicos, resultando en un circuito auxiliar que se instaló como una tarjeta secundaria en el interior del DAS LX4000. El nuevo circuito fue proporcionado a solicitud de los clientes existentes. Para instalar el nuevo circuito, la unidad DAS tenía que ser devuelta para servicio a la fábrica. La tarjeta secundaria EDA fue añadida también a algunos dispositivos DAS durante la nueva producción. El instalar la tarjeta secundaria permitió a Lafayette satisfacer rápidamente las demandas en la nueva producción y el mantenimiento de las unidades existentes. La última fecha de fabricación de dispositivos con la tarjeta secundaria EDA fue 2006. Las unidades DAS LX4000 vendidas después de 2006 tuvieron el nuevo circuito EDA incluido en la tarjeta madre.

No fueron necesarios montajes físicos para asegurar la tarjeta secundaria en la caja, ya que encajaba perfectamente en la parte superior de los tubos de goma conectados a los circuitos del cardiógrafo y neumógrafo. Aún cuando las unidades DAS LX4000 contienen sólo una pequeña cantidad de electricidad, se añadió un aislamiento en forma de "fishpaper", un producto común de ingeniería especialmente diseñado para un alto aislamiento eléctrico. El propósito de éste fue eliminar cualquier posibilidad de que la tarjeta secundaria pudiera hacer contacto eléctrico con la tarjeta principal, la caja, o los conectores de cualquiera de los circuitos. Cualquier contacto entre la tarjeta secundaria, la tarjeta principal, la caja, o los conectores pueden haber dado lugar a daños en el circuito, pero nada más. Incluso sin el aislamiento, o en las condiciones más extremas, nunca ha existido la posibilidad de que un fallo en cualquier circuito LX4000 presente el más mínimo peligro al sujeto o al examinador.

La única diferencia entre la unidad que fue construida en el 2004 y la unidad que se construyó después del 2006 es que en la unidad anterior se usaban dos tarjetas para implementar el circuito mientras que las unidades posteriores usan una sola tarjeta. El circuito funciona igual, mide lo mismo y es igualmente seguro. El rendimiento y la seguridad del circuito dependen de los principios de diseño de ingeniería utilizados para crearla y no en el número de tarjetas de circuitos utilizadas o en cómo se ve el interior de la caja cuando alguien retira la cubierta. El uso de una tarjeta secundaria puede constituir una cuestión de estética, pero no es un problema de rendimiento o seguridad.

Se hicieron cambios menores en el diseño del LX4000 durante el año 2009, y la nueva versión se conoce internamente como el LX4000A. Los cambios de diseño fueron hechos sólo para facilitar una fabricación más conveniente. No se hicieron cambios a las especificaciones de rendimiento del LX4000A.

En el 2010 se hicieron otros cambios al LX4000 y ésta versión actual se conoce internamente como el LX4000B. Los conectores externos se modificaron para que los canales auxiliares incluyeran ahora circuitos especializados para los sensores de actividad de asiento, manos y pies. Al mismo tiempo, el circuito EDA LX4000 se cambió por el mismo circuito de resistencia de piel que fue diseñado originalmente para el módulo LX5000. Este cambio se hizo en gran medida para simplificar la compra de partes y fabricación de productos. El circuito EDA de resistencia de piel del LX4000B utiliza una corriente constante de 6.7 μA y tiene un rango de 10k Ω a 2 M Ω .

Además de los cambios de hardware en el circuito de EDA, también se hicieron cambios de firmware en el LX4000. En su momento, los cambios de firmware para las unidades LX4000 requirieron re-programación del microprocesador en la tarjeta principal, y por lo tanto las unidades tuvieron que ser devueltas a Lafayette Instrument para mantenimiento. Los cambios de firmware permitieron que el procesador manejara el rango incrementado del hardware y proporcionó la identificación de la versión del software. La versión del firmware se puede leer en la pantalla de adquisición de datos LXSoftware. No hay procesamiento de señales en el firmware, y los cambios de firmware no afectan la forma de onda del EDA.

El LX5000 se introdujo en el 2008 como un sistema modular en el que los sensores se podían conectar directamente al sujeto o instalar en una estación de acoplamiento central. El diseño modular fue una respuesta al interés de los clientes en el potencial de la conexión inalámbrica entre el DAS y el examinado. El interés de los clientes se alejó de las soluciones inalámbricas, pero continuó el interés por el LX5000. Los circuitos LX5000 fueron rediseñados entonces en una sola unidad DAS. No se hicieron cambios en la mayor parte del circuito, sin embargo el circuito del EDA se mejoró para tener la capacidad de registrar tanto la conductividad como la resistencia piel, con la opción al usuario de seleccionar el modo de EDA deseado. El circuito LX5000 de conductividad-piel/resistencia-piel ha sido diseñado y verificado para mostrar una respuesta lineal tanto en la modalidad de resistencia de la piel y de conductividad de piel. El circuito de resistencia de la piel en el LX5000 usa una corriente constante de 4 μA y ofrece un rango de 10 k Ω a 2.3 M Ω . El circuito de conductividad de la piel del LX5000 utiliza un circuito de voltaje constante que automáticamente oscila para cada sujeto al inicio de la grabación, y emplea una corriente máxima de 10 μA . El circuito es capaz de proporcionar una respuesta lineal a los cambios en la conductividad mientras graba datos de 5 k Ω a 4 M Ω .

Seguridad del LX4000 y del LX5000

El abordar la seguridad del LX4000 LX5000 requiere comprensión de la naturaleza de las pruebas para la seguridad eléctrica. La seguridad eléctrica normalmente se refiere al "voltaje de la línea", o a la electricidad que proviene de una toma de corriente. Los dispositivos que se conectan a una toma de corriente deben seguir criterios específicos de diseño para asegurarse de que son seguros, y que legítimamente eviten la posibilidad de que una persona pueda entrar en contacto con un nivel peligroso de voltaje. Una norma internacional para equipos médicos, IEC 60601-1, la cual es el estándar de seguridad más estricto, no considera como peligrosa cualquier tensión inferior a 60 voltios (DC). De acuerdo con éste y otros estándares, si el voltaje es inferior a 60 voltios, los ingenieros no tienen que tomar ninguna precaución especial para evitar que alguien entre en contacto con éste. Aunque los instrumentos de grabación poligráfica no son realmente dispositivos médicos, el LX4000 y el LX5000 están dentro de esta especificación de voltaje debido a que son alimentados por sólo 5 voltios mediante el conector USB. El LX4000 y el LX5000 son, por lo tanto, intrínsecamente seguros hasta el punto en que cualquiera de los dispositivos podría ser utilizado de forma segura incluso sin la caja (aunque lo mismo no se recomienda debido al riesgo de dañar los componentes internos).

Debido a que la computadora que ejecuta el sistema poligráfico está típicamente conectada a una toma de corriente o línea de voltaje, es necesario asegurarse de que la electricidad con la que el examinado o el examinador podrían entrar en contacto, no tenga ningún camino directo a tierra. Esta barrera de seguridad se logra mediante el aislamiento eléctrico de los electrodos de EDA. El EDA es el único sensor que hace contacto eléctrico con el sujeto. Esto significa que si un sujeto tiene conectados los electrodos y toca una fuente de alta tensión, no habría ningún camino directo a tierra a través del sujeto y el sujeto

está seguro frente a posibles daños. El aislamiento se proporciona en el diseño del circuito y está presente independientemente de si el circuito está en una tarjeta de circuito o en dos. Una vez más, la seguridad depende de los principios de ingeniería utilizados para diseñar el circuito, no en la estética.

Estabilidad del LX4000 y del LX5000

Nuestras comunicaciones con clientes nos indicaron algunas áreas de mejora en el LX4000, y los cambios fueron hechos en respuesta a ésta retroalimentación. Un asunto reportado era la posibilidad de que la unidad del DAS se "desconectara" de la computadora, lo que resultaba en un paro en la adquisición de datos. La desconexión era sólo semántica, ya que no se informó una desconexión física entre el Universal Serial Bus (USB) y la computadora. La investigación de ésta situación reveló dos causas: una es que el software fue diseñado inicialmente para dejar de funcionar después de aproximadamente 9 horas consecutivas. Este tiempo de espera se basa en la suposición de que la unidad del DAS y el software no se deberían dejar en operación continua de día y noche. Los usuarios que dejaban la computadora y la unidad DAS funcionando durante la noche pueden haber encontrado la necesidad de reiniciar el software para reanudar la adquisición de datos. Cambios en el software eliminaron posteriormente este valor de tiempo límite y ahora el dispositivo se puede dejar en operación continua si así se desea.

Se encontró que a veces la descarga estática también podía afectar la conexión del LX4000. Las medidas adoptadas para reducir esto, incluyeron cambiar la caja fabricada en metal por una caja de plástico anti-estático. (Las unidades LX4000 con cajas metálicas han sido y pueden ser devueltas a Lafayette Instrument para servicio de fábrica). Independientemente, la vulnerabilidad a la descarga estática fue identificada en un componente electrónico dentro del diseño inicial del LX4000. Ese componente era un convertidor serial de USB usado para conectar el DAS con el puerto USB de la computadora. El componente fue posteriormente sustituido por un componente eléctrico que se ha verificado como sustancialmente más robusto frente a descargas electrostáticas. Adicionalmente, el desarrollo de un sensor de movimientos más eficaz y durable, que utiliza tecnología de sensor neumática, permite la eliminación de sensores de movimientos piezoeléctricos que pueden aumentar la sensibilidad del LX4000 a la descarga estática en algunos ambientes. Finalmente, tanto las unidades LX4000B como LX5000 han pasado extensas pruebas de solidez, incluso cuando se someten a constantes descargas electrostáticas tanto en el dispositivo como en el sensor EDA. El resultado de estos cambios significa que los dispositivos LX4000B y LX5000 son muy robustos contra la desconexión accidental de adquisición de datos USB.

Procesamiento de la Señal de EDA

Los datos del EDA Manual (sin procesar) de los dispositivos LX4000 y LX5000 se envían a la computadora vía USB después de convertir la señal eléctrica en valores digitalizados usando tecnología de 24 bits analógico-a-digital. El firmware no realiza el procesamiento de la señal. Los datos del EDA manual se proporcionan al examinador con un grado mínimo de procesamiento necesario para graficar los datos del EDA en una pantalla de computadora o una impresora. Los planos de resistencia tanto para el LX4000 como el LX5000 han sido completamente probados y verificados como lineales, utilizando cajas de ingeniería de resistencia estandarizadas.

El modo automático de EDA (auto-centrado) aparece en el LXSoftware con la introducción del LX4000. El filtro original Auto EDA (ahora conocido como Auto EDA Legacy) no fue diseñado en torno a frecuencias específicas, y en su lugar fue diseñado para devolver el trazo de línea Auto EDA Legacy a la línea base dentro de un periodo de tiempo determinado. Debido a que el LXSoftware fue inicialmente diseñado para replicar la funcionalidad de los instrumentos poligráficos análogos, el examinador podía seleccionar tanto el modo EDA manual o el Auto EDA Legacy al momento de adquirir datos. Más adelante los clientes indicaron su interés en la posibilidad de cambiar los modos de EDA después de la adquisición de datos, y esta capacidad se añadió al LXSoftware. Hace tiempo se sabe que puede existir un cierto potencial de que las calificaciones numéricas de mediciones del EDA difieran entre los distintos modos de EDA en determinadas circunstancias, y ésta nueva capacidad de cambiar los modos después de la adquisición de datos hizo posible estudiar las circunstancias en las que ésto puede ocurrir. Un análisis reciente del modelo de procesamiento de señales Auto EDA Legacy mostró que el filtro funciona como un filtro de alto paso de primer orden con una frecuencia específica de 0.04 Hz, seguido por un filtro

suavizado utilizando un regulador de datos primero-dentro-primero-fuera de 0.5 segundos.

En respuesta a las preocupaciones acerca de las diferencias potenciales de calificación que podrían ocurrir bajo ciertas circunstancias, el modo Auto EDA Legacy se eliminó del LXSoftware versión 9.9.7 durante el 2007, y el modo EDA Sin Tendencia se implementó en su lugar. El filtro EDA Sin Tendencia (ahora conocido como EDA Sin Tendencia Legacy) fue diseñado para reducir diferencias potenciales en calificaciones numéricas cuando se comparan los datos con los diferentes modos de EDA. El EDA Sin Tendencia Legacy fue una solución matemática diseñada para mantener los datos del EDA en una línea base estable mediante el monitoreo de la tendencia de la actividad a corto y a largo plazo y agregando la conjugación de la inclinación de la forma de onda a los datos brutos.

La retroalimentación de los clientes indicó el deseo de un modo de administración del EDA con correspondencia perfecta o casi perfecta entre segmentos de reacción simpáticos calificables cuando se comparan los datos en diferentes modos de EDA. En respuesta, el EDA Sin Tendencia Legacy fue reemplazado en 2010 por el presente EDA Sin Tendencia. El filtro actual del EDA Sin Tendencia funciona desplegando todos los datos EDA ascendentes (simpáticos) para ser graficados y vistos sin ningún tipo de filtrado o procesamiento, y mediante la eliminación de la actividad hacia abajo (no diagnóstica) después que los datos del EDA han regresado a la línea base. El resultado es una forma de onda EDA estable y manejable para la que los segmentos de reacción simpática producen correspondencia perfecta o casi perfecta con las reacciones observadas usando el modo EDA Manual. Una limitación del modo EDA Sin Tendencia es que cierta actividad tónica no diagnóstica no será visible para el examinador.

Las peticiones de clientes de un modo Auto EDA tradicional, resultó en el desarrollo de un nuevo modo Auto EDA (actual) que se añadió al sistema durante el año 2010 comenzando con la versión LXSoftware 11.0. El modo Auto EDA fue diseñado para proporcionar una forma de onda EDA suave y estable en el que los cambios tónicos y fásicos fueran fácilmente visualizados. El Auto EDA funciona a través de una serie de filtros de alto-paso y bajo-paso suavizados. La etapa de alisado de este filtro es un regulador de movimiento exponencialmente sopesado de 0.33 segundos. Los datos pasan primero un filtro de primer-orden de bajo-paso con una frecuencia controlada de 0.05 Hz, y luego a un filtro de primer-orden de alto-paso con una frecuencia controlada de 0.05 Hz. El resultado es una forma de onda de EDA que es estable, se ajusta a la línea base y proporciona datos de EDA tanto tónicos como fásicos que son fáciles de interpretar bajo un amplio rango de condiciones y con una amplia gama de perfiles de respuesta fisiológica.

Para reducir aún más la ocurrencia potencial de diferencias en el puntaje numérico entre los modos de Auto EDA y de EDA Manual, los ingenieros e investigadores de Lafayette han seguido desarrollando mejoras en el Auto EDA, incluyendo la optimización de frecuencias límite del Auto EDA a través del análisis estadístico de los datos EDA y del análisis Fourier de espectro de frecuencia EDA. La especificación de diseño del nuevo Auto EDA incluye un primer filtro de orden de bajo-paso a 0.2 Hz que elimina ruido de alta frecuencia no-diagnóstica, y termina con un filtro de alto-paso de .03 Hz que preserva mejor la energía EDA en el espectro de interés para el examinador poligráfico, mientras que regresa los datos a una línea base estable. Los datos nuevos del Auto EDA proporcionarán una línea base estable, al tiempo que desplegarán más actividad tónica que el modo EDA Sin Tendencia y más actividad compleja que en el Auto EDA actual. En un sentido práctico, esto significa que el Auto EDA corresponderá de forma más cercana en las formas de onda al EDA Manual sin dejar de ser altamente útil en una amplia gama de personas, mientras que reduce aún más el potencial de diferencias de calificación al nivel más bajo posible.

La posibilidad de observar diferencias en puntuaciones numéricas bajo determinadas circunstancias, al utilizar diferentes soluciones de procesamiento de señales EDA, ha sido discutida por décadas en la profesión de la poligrafía. Estas circunstancias son conocidas por estar relacionadas principalmente a segmentos de reacción con complejidad, que han sido reportados en la literatura científica como poco fiables, correlacionado con respuestas diferenciales a estímulos de prueba durante pruebas de preguntas de comparación. El potencial de diferencias en calificación no está relacionado con los

circuitos LX4000 o LX5000, y no se limita al instrumento poligráfico Lafayette, sino que se debe asumir que este potencial se aplica a todos los instrumentos que proporcionan soluciones EDA manual y automático/filtrado. La habilidad de observar este fenómeno no estaba disponible en versiones anteriores de los sistemas computarizados de adquisición de datos ya que fueron diseñados para imitar la funcionalidad del instrumento análogo y eso no permitió la comparación de soluciones en procesamiento de señal del EDA. El conocimiento de este potencial se ha incrementado en los últimos años como resultado de las innovaciones de diseño en Lafayette Instrument, haciendo posible el estudio de este conocido fenómeno. Esto también condujo al diseño y desarrollo del modo de EDA Sin Tendencia, que ofrece a los examinadores de campo el manejo de una solución EDA para el que los resultados numéricos se correlacionan perfectamente con los obtenidos utilizando el modo de EDA manual. Aunque las diferencias de puntuación entre los modos de EDA manual y Auto EDA se consideran que ocurren sólo en raras ocasiones, los investigadores de Lafayette están cuantificando la tasa de aparición, y están desarrollando mejoras para reducir la incidencia a cero o a niveles cercanos al cero. La investigación será publicada una vez se termine.

Conclusión

Durante más de 50 años Lafayette Instrument Company ha trabajado continuamente para proporcionar la instrumentación y la adquisición de datos de la más alta calidad para los profesionales en la industria de la poligrafía y de las ciencias biológicas. Esto incluye a quienes la usan en el campo gubernamental, procuración de la ley, agencias privadas e investigadores académicos en el campo de la industria privada y gobierno.

Lafayette Instrument Company seguirá adelante innovando y ofreciendo soluciones robustas basadas en la ingeniería de punta y estándares de seguridad. Lafayette Instrument Company está comprometida en el desarrollo de estos productos y tecnologías, y seguirá sometiendo las nuevas tecnologías a pruebas escrupulosas de seguridad y de usabilidad, además de su revisión científica. Lafayette Instrument Company desea seguir cumpliendo con los requisitos de la profesión poligráfica proporcionando apoyo superior y la mejor instrumentación disponible.

Preguntas y comentarios son siempre bienvenidos, y seguiremos proporcionando información detallada cuando sea necesario, en respuesta a las preguntas, críticas o requerimientos científicos.

Chris Fausett, *VP Polygraph and Sales*: cfausett@lafayetteinstrument.com

Jennifer Rider, *VP & CIO*: jrider@lafayetteinstrument.com

Brent Smitley, *Engineering Manager*: bsmitley@lafayetteinstrument.com

Raymond Nelson, *Research Specialist*: rnelson@lafayetteinstrument.com

www.lafayetteinstrument.com info@lafayetteinstrument.com