



Placa de prueba para block de energía

Autor:

Marcos Raul Dominguez Shocron

Director:

Yaki Nachajon Schwartz (FIUBA)

Codirector:

John Doe (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 24 de junio de 2021 y el 19 de agosto de 2021.*

Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar	5
2. Identificación y análisis de los interesados	6
3. Propósito del proyecto	6
4. Alcance del proyecto	6
5. Supuestos del proyecto.	7
6. Requerimientos	7
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	8
8. Entregables principales del proyecto	10
9. Desglose del trabajo en tareas	10
10. Diagrama de Activity On Node.	12
11. Diagrama de Gantt	13
12. Presupuesto detallado del proyecto	14
13. Gestión de riesgos	14
14. Gestión de la calidad	16
15. Procesos de cierre	19

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	24 de junio de 2021
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	6 de julio 2021
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	13 de julio 2021
3	Se completa hasta el punto 11 inclusive	27 de julio 2021
3.1	Se completa hasta el punto 12 inclusive	31 de julio 2021
4	Se completa el plan	5 de agosto 2021

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 24 de junio de 2021

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Marcos Raul Dominguez Shocron que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Placa de prueba para block de energía”, consistirá esencialmente en una placa de prueba para validar los desarrollos de la placa de control del block de energía, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 610 hs de trabajo y \$1275000, con fecha de inicio 24 de junio de 2021 y fecha de presentación pública 15 de mayo de 2022.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Gillermo Gebhart
Voltu Motors

Yaki Nachajon Schwartz
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Un block de energía es un dispositivo de almacenamiento y gestión de energía que se crea como una alternativa a los grupos electrógenos. Estos dispositivos almacenan energía en baterías con autonomías superiores a los 7 [KWh] y la suministran cuando es necesario. Típicamente entregan la tensión de red cuando se corta el suministro principal de energía eléctrica.

Para cumplir su función este dispositivo mide distintas señales del entorno y utiliza estos datos para tomar decisiones. Actualmente es muy complejo generar las condiciones de entorno para verificar que el equipo desarrollado reacciona según lo esperado. El sistema embebido a desarrollar debe generar las posibles señales, que el bloque de energía sensa, para corroborar que el equipo responde adecuadamente ante las posibles situaciones del entorno.

El sistema actual reporta su estado general, las fallas y el estado de sus periféricos. Estos reportes se pueden utilizar para evaluar el comportamiento del equipo. Se espera que generando las señales que el equipo mide para tomar decisiones se pueda evaluar su respuesta.

En la Figura 1 se puede observar cómo se integra la propuesta de sistema embebido con el block de energía. Adicionalmente se pueden observar las señales que se pretenden generar. Las señales enlistadas permiten tomar la mayoría de las decisiones al sistema de control.

El sistema de control también toma decisiones en función de la información que recibe del sistema de gestión de batería (en inglés, Battery Management System, BMS). El proyecto actual no simulará la comunicación del BMS. Esto impacta sobre los ensayos y la forma de utilizar la placa de prueba. Para que el BMS no interfiera en las pruebas con la placa a desarrollar, se deberá contar con una batería en buenas condiciones.

Un dispositivo de estas características permite a los desarrolladores validar un cambio en el firmware, o una nueva funcionalidad, con sencillez y velocidad.

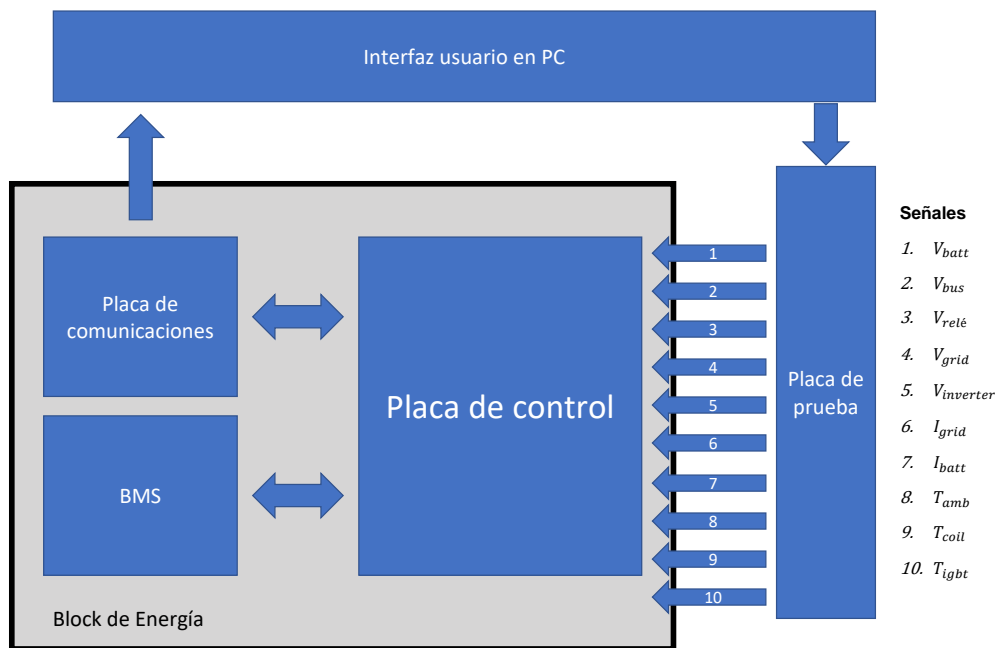


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

Como se introdujo anteriormente, se generarán una serie de señales que permitan simular las condiciones de entorno que mide la placa de control. Este desarrollo permitirá entonces verificar si la placa de control responde adecuadamente a las reglas establecidas.

Como se representa en la Figura 1, se generarán diez señales para realizar las pruebas. Las señales de tensión son efectivamente tensiones no escaladas, por lo que tienen valores de 220 V en alterna o alrededor de 400 V continua.

Las señales de corrientes son medidas por un transductor que convierte el valor medido en tensión, por lo que el valor de señal a inyectar a la placa es una tensión en el rango de los 0 a 5 V. Este rango simula una corriente de -50 a 50 A.

Finalmente las temperaturas se miden con NTC, por lo que las señales 8, 9 y 10 deben ser en Ohms. Esto se realizará con el uso de potenciómetros digitales que cambian su valor para simular los cambios de temperatura.

La placa de prueba será comandada por medio de una interfaz por computadora. En la primera versión el usuario podrá establecer las señales para generar y evaluar el comportamiento del equipo.

Para lograr las señales de tensión el equipo deberá estar conectado a una alimentación de red, a una batería igual a la del equipo cargada y alimentada por el USB de comunicación. Este proyecto se vincula con el proceso de desarrollo del block de energía de la empresa Voltu y será utilizado para testear los avances de desarrollo del equipo. Se espera también que permita realizar el control de los equipos en la etapa de producción.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Gillermo Gebhart	Voltu Motors	CEO
Impulsor	Gillermo Gebhart	Voltu Motors	CEO
Responsable	Marcos Raul Dominguez Shocron	FIUBA	Alumno
Orientador	Yaki Nachajon Schwartz	FIUBA	Director Trabajo final
Usuario final	Carlos Zalayeta	Voltu Motors	Desarrollador

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un dispositivo que permita evaluar, de forma parcial, el comportamiento de la placa de control del block de energía durante su desarrollo.

4. Alcance del proyecto

A se detalla el alcance del proyecto y sus limitaciones.

- Alcances

- Se realizará un prototipo que permita generar las 10 señales listadas en la Figura 1.
- Se desarrollará un prototipo que permita configurar los valores de las señales en tiempo real.
- Limitaciones
 - No se simulará la comunicación con el BMS.
 - No se analizará el comportamiento del equipo por software.
 - Se desarrollará un prototipo sin embalaje y sin chasis.
 - Solo dispondrá la electrónica y conectores necesarios.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se dispondrá de al menos una placa de control funcional durante todo el desarrollo.
- Se dispondrá de al menos una placa de comunicación funcional durante todo el desarrollo.
- Se dispondrá de al menos una batería con su BMS completo y funcional durante todo el desarrollo.
- Se dispondrá de señales estables de tensión alterna para el uso del sistema.
- Se dispondrá de acceso a los interesados de forma regular para discutir los avances.

6. Requerimientos

1. Interfases

- 1.1. El sistema debe poder comunicarse con una PC
- 1.2. El sistema debe poseer un botón de encendido
- 1.3. El sistema debe tener actuadores que simulen una señal de potencia.
- 1.4. El sistema debe tener actuadores con señales de baja tensión.
- 1.5. El sistema debe tener actuadores resistivos.
- 1.6. El sistema debe informar el estado de las señales (on/off).

2. Requerimientos funcionales

2.1. Emulación de altas tensiones continuas

- 1) El sistema debe controlar salidas de tensión que emulen las tensiones de continua elevadas que mide el block de energía.
- 2) El sistema debe permitir que el usuario configure el valor de tensión continua elevada a emular.
- 3) El sistema debe reportar error si no se configura un valor válido de tensión.
- 4) El sistema debe permitir configurar las tensiones elevadas continuas V_{batt} , V_{bus} y $V_{relé}$ de la Figura 1 de forma independiente.

- 5) El sistema emulará tensiones de bus, batería y relé en un rango comprendido entre 0 V a 450 V.
- 2.2. Simulación de corriente con bajas tensiones de continua
 - 1) El sistema debe controlar salidas de tensión que simulen la medición de corriente de los sensores utilizados por el block de energía.
 - 2) El sistema debe permitir que el usuario configure el valor de corriente a simular.
 - 3) El sistema debe reportar error si no se configura un valor válido de corriente.
 - 4) El sistema debe permitir configurar las corrientes Igrid e Ibatt de la Figura 1 de forma independiente.
 - 5) El sistema simulará corrientes desde 0 A a 50 A.
- 2.3. Emulación de tensiones alternas
 - 1) El sistema debe controlar salidas de tensión que emulen las tensiones alternas que mide el block de energía.
 - 2) El sistema debe permitir que el usuario configure el valor de tensión a emular.
 - 3) El sistema debe reportar error si no se configura un valor válido de tensión alterna.
 - 4) El sistema debe permitir configurar las tensiones alternas Vgrid y Vinverter de la Figura 1 de forma independiente.
 - 5) El sistema emulará tensiones alternas (Vinverter y Vgrid) en un rango comprendido entre 0 y 240 Vrms.
- 2.4. Simulación de temperaturas
 - 1) El sistema debe controlar resistencias variables que emulen la variación de resistencia de un termistor NTC por temperatura.
 - 2) El sistema debe permitir que el usuario configure el valor de temperatura a emular.
 - 3) El sistema debe reportar error si no se configura un valor válido de temperatura.
 - 4) El sistema debe permitir configurar las temperaturas Tcoil, Tigbt y ambiente de la Figura 1 de forma independiente.
 - 5) El sistema simulará las temperaturas en un rango comprendido entre 5 a 150 °C.
3. Requerimientos de rendimiento
 - 3.1. El sistema debe actuar en un tiempo menor a 150 ms luego de recibir un comando del usuario.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

En esta sección se incluyen las historias de usuarios y su ponderación (*story points*).

“Como desarrollador quiero poder suministrar distintos valores de tensión de linea al control para validar la generación.”

Dificultad: alta (5) - Implica muchas horas de diseño de hardware y software.

Complejidad: alta (5) - Realizar un diseño seguro cuando se manejan valores de tensión elevados requiere de un cuidado superior.

Riesgo: alta (5) - Durante los ensayos de esta funcionalidad es probable que se quemen componentes y existe el riesgo de electrochoque.

story points: 13 ($5 + 5 + 3 = 15$ – 13 es el valor más cercano en Fibonacci)

“Como desarrollador quiero poder suministrar distintos valores de tensión de a la medición de batería al control para validar la entrada y salida del modo carga.”

Dificultad: alta (5) - Implica muchas horas de diseño de hardware y software.

Complejidad: alta (5) - Realizar un diseño seguro cuando se manejan valores de tensión elevados requiere de un cuidado superior.

Riesgo: alta (5) - Durante los ensayos de esta funcionalidad es probable que se quemen componentes y existe el riesgo de electrochoque.

story points: 13 ($5 + 5 + 3 = 15$ – 13 es el valor más cercano en Fibonacci)

“Como desarrollador quiero poder variar los valores de resistencia medidos por la placa de control para validar el encendido/apagado de los circuitos de refrigeración.

Dificultad: alta (5) - Implica muchas horas de diseño de hardware y software.

Complejidad: baja (1) - El manejo de potenciómetros digitales para variar resistencia no supone un nivel elevado de complejidad.

Riesgo: bajo (1) - La variación de potenciómetros digitales alimentados a 5 V no suponen un riesgo elevado.

story points: 8 ($5 + 1 + 1 = 7$ – 8 es el valor más cercano en Fibonacci)

“Como desarrollador quiero poder simular las corrientes medidas por la placa de control para validar las protecciones del sistema de control.

Dificultad: alta (5) - Implica muchas horas de diseño de hardware y software.

Complejidad: baja (1) - El manejo de tensiones analógicas bajas para simular salidas de sensores de corrientes no requiere de un *know-how* muy específico y difícil de conseguir.

Riesgo: bajo (1) - El uso de bajas tensiones no produce grandes riesgos en su manipulación.

story points: 8 ($5 + 1 + 1 = 7$ – 8 es el valor más cercano en Fibonacci)

“Como desarrollador quiero poder enviar comandos por una terminal desde la PC para configurar las señales que se enviarán desde la placa de prueba.

Dificultad: alta (5) - Implica muchas horas de diseño de hardware y software.

Complejidad: media (3) - El diseño e implementación del protocolo de comunicación y la interfaz tienen una complejidad elevada.

Riesgo: bajo (1) - No existen grandes riesgos en el desarrollo de una interfaz de comunicación con la placa de prueba.

story points: 8 ($5 + 3 + 1 = 9$ – 8 es el valor más cercano en Fibonacci)

8. Entregables principales del proyecto

- Manual de uso
- Diagrama de circuitos esquemáticos
- Código fuente del firmware
- Diagrama de instalación
- Informe final
- Prototipo

9. Desglose del trabajo en tareas

1. Hardware

- 1.1. Decidir micro a utilizar (40 hs).
- 1.2. Decidir reguladores de tensión alterna (20 hs).
- 1.3. Diseñar salidas analógicas de baja tensión (20 hs).
- 1.4. Elegir método para simular NTC (20 hs).
- 1.5. Diseñar integralmente el hardware (40 hs).
- 1.6. Solicitar el primer prototipo (5 hs).

2. Firmware

- 2.1. Crear repositorio (0.5 hs).
- 2.2. Diseñar las maquinas de estado (40 hs).
- 2.3. Implementar el protocolo de comunicación con PC (40 hs).
- 2.4. Implementar simulación de señales de corriente (40 hs).
- 2.5. Implementar emulación de señales de tensión alterna (40 hs).
- 2.6. Implementar emulación de señales de tensión continua (40 hs).
- 2.7. Implementar simulación de señales de temperatura (40 hs).

3. Validación

- 3.1. Validar las temperaturas simuladas (5 hs).
- 3.2. Validar las corrientes simuladas (5 hs).
- 3.3. Validar las tensiones continuas simuladas (5 hs).
- 3.4. Validar las tensiones alternas simuladas (5 hs).
- 3.5. Validar el funcionamiento integral con un block de energía (20 hs).

4. Informe de avances

- 4.1. Redacción de avances en el diseño del Hardware (8 hs).
- 4.2. Redacción de avances en el diseño del Firmware (8 hs).
- 4.3. Redacción de avances en la validación del sistema (8 hs).

5. Memoria

- 5.1. Redacción del marco teórico (40 hs).
- 5.2. Redacción del diseño y arquitectura del Hardware (40 hs).
- 5.3. Redacción del diseño y arquitectura del firmware (40 hs).
- 5.4. Formulación de conclusiones (20 hs).
- 5.5. Corrección del documento (20 hs).

Cantidad total de horas: 609.5 hs.

10. Diagrama de Activity On Node

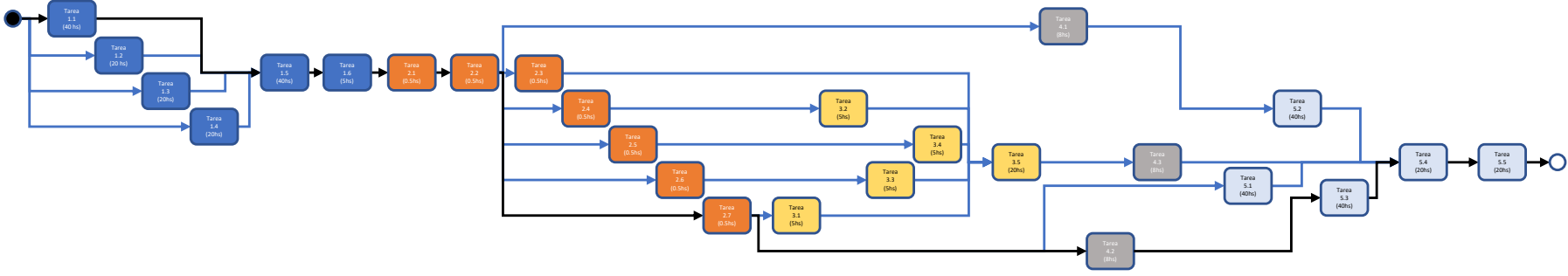


Figura 2. Diagrama en *Activity on Node*

11. Diagrama de Gantt

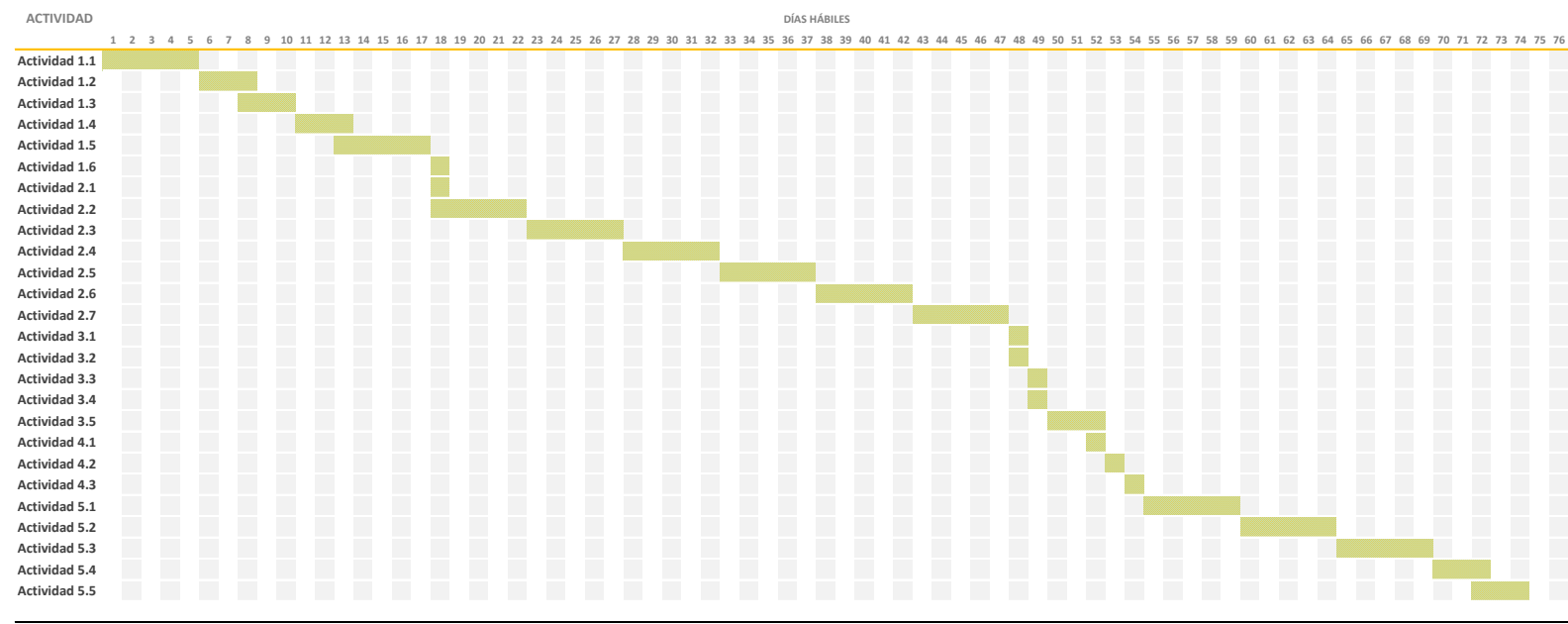


Figura 3. diagrama de Gantt

12. Presupuesto detallado del proyecto

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Placa principal	3	10000	30000
Circuito de potencia	3	15000	45000
Cableado y componentes de comunicación	3	2000	6000
Honorarios de desarrollador	600	1500	900000
SUBTOTAL			981000
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
30 % de los costos directos	1	294300	294300
SUBTOTAL			294300
TOTAL			1275300

13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos (al menos cinco) y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: Demora en la llegada de componentes del exterior.

- Severidad (S): 8

La demora en la llegada de componentes del exterior, cuando son necesarios, detiene completamente el avance del proyecto.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 9

Las demora de recursos del exterior es muy recurrente en Argentina.

Riesgo 2: El vinculo con la empresa se termine en un plazo muy corto.

- Severidad (S): 10.

No será posible realizar el proyecto.

- Ocurrencia (O): 2.

El vinculo actual con Guillermo Gebhart es poco probable que finalice debido a que actualmente el autor trabaja en relación de dependencia para el.

Riesgo 3: Accidentes graves en las verificaciones del proyecto debido a los riesgos asociados a la alta tensión.

- Severidad (S): 10.

EL uso de tensiones mayores a 300 V puede causar daños graves y poner en riesgo el avance del proyecto.

- Ocurrencia (O): 5.

El constante uso de las placas con altas tensiones aumenta el riesgo de que se produzcan accidentes.

Riesgo 4: Cancelación del proyecto del block de energía por decisión de la empresa.

- Severidad (S): 10.

La cancelación del proyecto del block de energía torna innecesario el desarrollo de este proyecto

- Ocurrencia (O): 2.

La tecnología actualmente es muy demandada y no se presentan amenazas evidentes sobre la continuidad del proyecto.

Riesgo 5: Subestimación de tiempos en tareas de la línea crítica

- Severidad (S): 6.

Este error en la planificación indefectiblemente atrasa todo el plan.

- Ocurrencia (O): 7.

El poco conocimiento sobre la complejidad del problema a resolver aumenta significativamente las probabilidades de error en la estimación de tiempos.

b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como $RPN=S \times O$)

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1	8	9	72	8	3	24
2	10	2	20			
3	10	5	50	10	1	10
4	10	2	20			
5	6	7	42			

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 45

Nota: los valores marcados con (*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

Riesgo 1: Se definirá con celeridad la lista de componente y se realizara el pedido con anticipación para asegurar un período de tiempo extenso desde que se piden los elementos al exterior hasta que se los necesite.

- Severidad (S): 8

La severidad no varía.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 3

La anticipación reduce significativamente la probabilidad de que ocupara.

Riesgo 3: Se utilizará serigrafía en la placa para indicar las regiones de alta tensión, se utilizara las protecciones y aislaciones necesarias para reducir la probabilidad de shock eléctrico.

- Severidad (S): 8

La severidad no varía.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 2

La anticipación reduce significativamente la probabilidad de que ocupara.

14. Gestión de la calidad

1. Interfases

1.1. El sistema debe poder comunicarse con una PC

Verificación: se verifica el envío de las tramas series esperadas para cada comando.

Validación: el sistema responde a los comandos seteados por el usuario como espera.

1.2. El sistema debe poseer un botón de encendido

Verificación: el sistema enciende al presionar el botón. Las transiciones de tensión son las adecuadas.

Validación: el sistema siempre enciende cuando se presiona el botón.

1.3. El sistema debe tener actuadores que simulen una señal de potencia.

Verificación: se miden tensiones del 220[V] rms alterna y 450[V] continua en las salidas de potencia al activarlas.

Validación: la placa de control detecta las señales de la placa de prueba.

1.4. El sistema debe tener actuadores con señales de baja tensión.

Verificación: se miden tensiones del 5[V] continua en las salidas de baja tensión al activarlas.

Validación: la placa de control detecta las señales de la placa de prueba.

1.5. El sistema debe tener actuadores resistivos.

Verificación: la resistencia varia al setear un cambio. También alcanza los extremos esperados (condicionado por el sensor NTC de la placa de control)

Validación: la placa de control mide todo el rango de temperaturas válidas.

1.6. El sistema debe informar el estado de las señales (on/off). Verificación: se observa el encendido de cada LED al activar la señal.

Validación: el usuario puede reportar, observando la placa, que señal esta activa en menos de 3 segundos.

2. Requerimientos funcionales

2.1. Emulación de altas tensiones continuas

- 1) El sistema debe controlar salidas de tensión que emulen las tensiones de continua elevadas que mide el block de energía. Verificación: se miden las tensiones de salida de potencia al activar la señal.

Validación: la placa de control mide las tensiones de continua.

- 2) El sistema debe permitir que el usuario configure el valor de tensión continua elevada a emular.

Verificación: configurando con saltos de 20 V, y en un rango de 0 a 450 V, se miden las tensiones de salida esperadas al activar la señal.

Validación: la placa de control mide las tensiones configuradas de tensión continua.

- 3) El sistema debe reportar error si no se configura un valor válido de tensión.
Verificación: se observa que se reporta un mensaje de error al no configurar un valor válido de tensión. Tampoco se miden las tensiones en la salida de la placa.
Validación: el usuario interpreta el mensaje de error.
- 4) El sistema debe permitir configurar las tensiones elevadas continuas V_{batt} , V_{bus} y $V_{relé}$ de la Figura 1 de forma independiente.
Verificación: se verifica que configurando tres valores válidos de V_{batt} , V_{bus} y $V_{relé}$ las salidas se miden correctamente. Se debe verificar con 5 V de diferencia entre señales y con 50 V de diferencia entre señales.
Validación: la placa de control mide las tensiones configuradas de tensión.
- 5) El sistema emulará tensiones de bus, batería y relé en un rango comprendido entre 0 V a 450 V.
Verificación: para cada señal se puede verificar que la tensión de salida medida es la configurada en todo el rango de tensiones con saltos de 20 V.
Validación: la placa de prueba mide la misma tensión que la configurada con un error de 5 V.

2.2. Simulación de corriente con bajas tensiones de continua

- 1) El sistema debe controlar salidas de tensión que simulen la medición de corriente de los sensores utilizados por el block de energía. Verificación: se miden las tensiones de salida al activar la señal.
Validación: la placa de control mide corrientes al activar las señales.
- 2) El sistema debe permitir que el usuario configure el valor de corriente a simular. Verificación: configurando con saltos de 5 A, se miden las tensiones esperadas al activar la señal.
Validación: la placa de control mide las corrientes configuradas de corriente.
- 3) El sistema debe reportar error si no se configura un valor válido de corriente. Verificación: se observa que se reporta un mensaje de error al no configurar un valor válido de corriente. Tampoco se miden las tensiones en la salida de la placa.
Validación: el usuario interpreta el mensaje de error.
- 4) El sistema debe permitir configurar las corrientes I_{grid} e I_{batt} de la Figura 1 de forma independiente.
Verificación: se verifica que configurando dos valores válidos de I_{grid} y I_{batt} las salidas se miden correctamente. Se debe verificar con 5 A de diferencia entre señales.

2.3. Emulación de tensiones alternas

- 1) El sistema debe controlar salidas de tensión que emulen las tensiones alternas que mide el block de energía.
Verificación: se miden las tensiones de salida al activar la señal.
Validación: la placa de control mide las tensiones alternas.
- 2) El sistema debe permitir que el usuario configure el valor de tensión a emular. Verificación: configurando con saltos de 20 V, y en un rango de 0 a 240 Vrms, se miden las tensiones de salida esperadas al activar la señal.
Validación: la placa de control mide las tensiones configuradas de tensión.
- 3) El sistema debe reportar error si no se configura un valor válido de tensión alterna. Verificación: se observa que se reporta un mensaje de error al no configurar un valor válido de tensión alterna. Tampoco se miden las tensiones en la salida de la placa.
Validación: el usuario interpreta el mensaje de error.

- 4) El sistema debe permitir configurar las tensiones alternas Vgrid y Vinverter de la Figura 1 de forma independiente.

Verificación: se verifica que configurando dos valores válidos de Vgrid y Vinverter las salidas se miden correctamente. Se debe verificar con 5 Vrms de diferencia entre señales y con 50 Vrms de diferencia entre señales.

- 5) El sistema emulará tensiones alternas (Vinverter y Vgrid) en un rango comprendido entre 0 y 240 Vrms.

Verificación: para cada señal se puede verificar que la tensión de salida medida es la configurada en todo el rango de tensiones alternas con saltos de 20 Vrms.

Validación: la placa de prueba mide la misma tensión que la configurada con un error de 5 Vrms.

2.4. Simulación de temperaturas

- 1) El sistema debe controlar resistencias variables que emulen la variación de resistencia de un termistor NTC por temperatura.

Verificación: se miden las resistencias de salida al activar la señal.

Validación: la placa de control mide las temperaturas correspondientes a las resistencias de salida.

- 2) El sistema debe permitir que el usuario configure el valor de temperatura a emular.

Verificación: configurando con saltos de 5 °C, en un rango de 0 °C a 100 °C, se miden las resistencias de salida esperadas al activar la señal.

Validación: la placa de control mide las temperaturas configuradas.

- 3) El sistema debe reportar error si no se configura un valor válido de temperatura.

Verificación: se observa que se reporta un mensaje de error al no configurar un valor válido de temperatura. Tampoco se miden las resistencias de salida.

Validación: el usuario interpreta el mensaje de error.

- 4) El sistema debe permitir configurar las temperaturas Tcoil, Tigbt y ambiente de la Figura 1 de forma independiente.

Verificación: se verifica que configurando dos valores válidos de Tcoil, Tigbt y ambiente las salidas se miden correctamente. Se debe verificar con 5 °C de diferencia entre señales.

Validación: la placa de control mide las temperaturas correspondientes a las resistencias de salida.

- 5) El sistema simulará las temperaturas en un rango comprendido entre 5 a 150 °C.

Verificación: para cada señal se puede verificar que la resistencia de salida medida es la configurada en todo el rango de temperaturas con saltos de 5 °C.

Validación: la placa de prueba mide la misma resistencia que la configurada con un error de 5 °C.

3. Requerimientos de rendimiento

- 3.1. El sistema debe actuar en un tiempo menor a 150 ms luego de recibir un comando del usuario.

Verificación: se miden los tiempos de respuesta desde que llega la señal por UART a la placa de prueba hasta que se mide una señal a la salida.

Validación: el usuario esta conforme con la respuesta del sistema.

15. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
 - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron: - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores: - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.
- Análisis de correspondencia con el Plan de Proyecto original.
 - Responsable: Marcos Raul Dominguez Shocron.
 - Se analizará cuales fueron los motivos que desviaron a las tareas retrasadas del plan original.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron.
 - Responsable: Marcos Raul Dominguez Shocron.
 - Se generará documentación durante el avance del proyecto sobre las técnicas y herramientas recurridas. Al finalizar se realizara un compendio con todas las herramientas que resultaron de mayor utilidad para el desarrollo del proyecto.
 - Responsable: Marcos Raul Dominguez Shocron.
 - Se realizará un acto por la plataforma Meet para agradecer a todos los que hicieron posible el desarrollo del proyecto: colaboradores, profesores de la maestría y el equipo de trabajo.