

Proyecto de diseño: Sistema de alimentación para aplicaciones industriales y automotrices

Se deberá diseñar un sistema electrónico que genere tensiones de alimentación estables seleccionables de 3.3V y 5V a partir de la tensión de una batería de una manera eficiente. La tensión de la batería puede tener un amplio rango de variación (12V a 36V).

La aplicación de este sistema es proveer alimentación estable a cargas como microprocesadores, sensores y transceptores de comunicación, tanto para aplicaciones automotrices como industriales.

El sistema estará compuesto de una fuente de alimentación conmutada, como pre-regulador que alimenta a dos reguladores lineales de bajo drop-out (Low Drop-Out, LDO), que serán los encargados de suministrar la alimentación a las cargas de interés. Un LDO generará 3.3V/5V@500mA y el otro generará 3.3V/5V@1A. La tensión se deberá poder seleccionar mediante alguna interfaz (pulsador, switch, etc). Los reguladores deberán poder encenderse y apagarse mediante algún pulsador, switch, etc.

Se pueden implementar funciones de protección por sobre-corriente, por baja y alta tensión (UVLO y OVLO) tanto para el pre-regulador conmutado como para los reguladores lineales. Además habrá que prestar especial atención a la secuencia de encendido de los reguladores.

Especificaciones Generales

A continuación se listan las especificaciones que se deben cumplir y/o especificar una vez finalizado el diseño.

Las especificaciones faltantes se deberán fijar en función de la aplicación, discutiendo con sus respectivos tutores. Esto en sí mismo es un ejercicio interesante a realizar ya que da una idea de cómo interactúan los subsistemas entre sí y sus respectivas especificaciones.

Característica	Símbolo	Condiciones de prueba	Min.	Tip.	Max.	Unidades
Especificaciones Generales						
Rango de operación tensión de entrada	VIN		12	24	36	V
VIN UVLO arranque	VIN_UVLO_START	VIN creciendo				V
VIN UVLO apagado	VIN_UVLO_STOP	VIN decreciendo				V
VIN UVLO histéresis	VIN_UVLO_HYST					V
Corriente de alimentación	IQ	VIN=12V				mA
	IQ_Sleep	ENABLE=0				mA

inactivo						
Especificaciones regulador BUCK						
Eficiencia	η	12V < Vin < 36V 10mA < Iout < 1,75A	85	90	95	
Frecuencia de conmutación	fsw			200		kHz
Tensión regulada del BUCK	VREG	9V<VIN<36V 0.1A<IVREG<1.6A fsw=200kHz	6.25	6.35	6.45	V
LX slew rate creciendo	SR_LX(rise)	VIN=12V, 10% a 90%, IVREG=1A				V/ns
LX slew rate decreciendo	SR_LX(fall)	VIN=12V, 90% a 10%, IVREG=1A				V/ns
Mínimo ON time	ton(min)					us
Mínimo OFF time	toff(min)					us
Resistencia de encendido HS MOS	Rdson(HS)	VIN=12V, Ids=1A, T=25C				mΩ
Resistencia de encendido LS MOS	Rdson(LS)	VIN=12V, Ids=1A, T=25C				mΩ
Tiempo de encendido lento	tss					ms
Especificaciones reguladores lineales VA y VB						
VA exactitud y regulación de carga	VA	10mA<IVA<500mA VREG=6.35V SELA=1	4.9	5	5.1	V
	VA	10mA<IVA<500mA VREG=6.35V SELA=0	3.23	3.3	3.37	V
VA rango de capacidad de carga	COUT(VA)		1.0	2.2	15.0	uF
VB exactitud y regulación de carga	VB	20mA<IVB<1A VREG=6.35V SELB=1	4.9	5	5.1	V

	VB	20mA<IVB<1A VREG=6.35V SEL=0	3.23	3.3	3.37	V
VB rango de capacidad de carga	COUT(VB)		1.0	2.2	15.0	uF
VA corriente límite	ILIM(VA)			750		mA
VA corriente de foldback	IFBK(VA)	VA=0V		200		mA
VB corriente límite	ILIM(VB)			1.5		A
VB corriente de foldback	IFBK(VB)	VB=0V		400		mA
VA startup time	tVA(start)	CVA=2.2uF, IVA=100mA,SELA=1				ms
	tVA(start)	CVA=2.2uF, IVA=100mA,SELA=1				ms
VB startup time	tVB(start)	CVB=2.2uF, IVB=250mA,SELA=1				ms
	tVB(start)	CVB=2.2uF, IVB=250mA,SELA=1				ms
VA Over Voltage Lock Out	VA_OVLO(rising)	VA creciendo, SELA=1 VA creciendo, SELA=0				V
	VA_OVLO(falling)	VA decreciendo, SELA=1 VA decreciendo, SELA=0				V
VA Under Voltage Lock Out	VA_UVLO(rising)	VA creciendo, SELA=1 VA creciendo, SELA=0				V
	VA_UVLO(falling)	VA decreciendo, SELA=1 VA decreciendo, SELA=0				V
VB Over Voltage Lock Out	VB_OVLO(rising)	VB creciendo, SELA=1 VB creciendo, SELA=0				V
	VB_OVLO(falling)	VB decreciendo, SELA=1 VB decreciendo, SELA=0				V
VB Under Voltage Lock Out	VB_UVLO(rising)	VB creciendo, SELA=1 VB creciendo, SELA=0				V
	VB_UVLO(falling)	VB decreciendo,				V

	falling)	SELA=1 VB decreciendo, SELA=0				
--	----------	-------------------------------------	--	--	--	--

Etapas de Diseño:

El proyecto de diseño está pensado para que se pueda ir ejecutando a medida que se van adquiriendo los conceptos necesarios.

Dado que en la materia primero se ve teoría de realimentación en circuitos lineales y luego en circuitos conmutados, el desarrollo natural del proyecto será realizar el diseño en detalle de los reguladores lineales y luego el pre-regulador conmutado.

Sin embargo, la primera etapa de diseño es el diseño conceptual. A continuación se detalla esta etapa de diseño.

1 - Diseño Conceptual

El primer paso es entender en detalle el problema a resolver, analizando en detalle los requerimientos del usuario, a partir de los cuáles se definen los requerimientos técnicos. En este proceso se deberán buscar y analizar soluciones existentes al problema en cuestión (tanto en productos comerciales como en líneas de investigación), lo que permitirá tener una idea del estado del arte.

A partir del relevamiento de soluciones existentes realizado, se podrá proponer alternativas de diseño y luego de analizarlas, se podrá proponer la mejor alternativa para resolver el problema en cuestión.

A partir de la solución propuesta, se deberá realizar un diagrama en bloques conceptual del sistema electrónico. Para cada bloque se deberá detallar los requerimientos técnicos y funcionales.

Resumiendo, las etapas del diseño conceptual son las siguientes:

- Análisis del problema a resolver.
- Análisis de los requerimientos del usuario.
- Definición de los requerimientos técnicos y funcionales.
- Relevamiento de soluciones existentes.
- Propuestas de alternativas de diseño.
- Diagrama en bloques conceptual.
- Descripción y especificación de la función de cada bloque.

2 - Diseño Circuital

En esta etapa, a partir de las especificaciones de diseño, se realiza un análisis de las topologías circuitales para cada bloque del sistema electrónico. Se deberá explicar en detalle, pero de manera concisa, el funcionamiento de los circuitos individuales implementados. Para cada circuito, se deberán calcular los componentes. Luego, se caracteriza el diseño, primero por simulación. Una vez lograda la funcionalidad requerida, se deberá seleccionar la tecnología de los componentes y se validará el diseño. Por último se reportan las especificaciones alcanzadas y se las constatan contra las especificaciones requeridas.

Resumiendo, las etapas del diseño circuital son las siguientes:

- Especificaciones de diseño.
- Análisis de topologías circuitales.
- Explicación detallada y concisa del funcionamiento de los circuitos individuales.
- Cálculo de los componentes.
- Caracterización del diseño (por simulación y eventualmente ensayos).
- Selección de los componentes (tecnología) y validación del diseño.
- Especificaciones alcanzadas.

3 - Integración

La etapa de diseño circuital se realiza a nivel de módulo. Para este proyecto, eso sería reguladores lineales y pre-regulador conmutado (como principales) respectivamente.

Una vez diseñados los subsistemas, se deberá pasar a la etapa de integración. En esta etapa se debe tener una visión de conjunto, teniendo en cuenta las interacciones de los subsistemas y sus especificaciones.

Además se deberá tener en cuenta las consideraciones mecánicas, térmicas y eléctricas en la integración de los subsistemas.

Se realizará el diseño del o de los PCB/s, a partir del análisis anterior de integración. Por último se validará el diseño del PCB con simulaciones post-layout en donde se tienen en cuenta los componentes parásitos del ruteo e interconexión.

Resumiendo, las etapas de la integración son las siguientes:

- Análisis de requerimientos eléctricos (seguridad eléctrica y EMC), mecánicos (vibración y rigidez) y térmicos (disipación de los componentes).
- Definición de módulos.
- Diseño de los circuitos impresos (PCB).
- Validación mediante simulaciones post-layout.
- Guía de localización de los componentes (OPCIONAL).
- Diagrama de conexiones.
- Dimensionamiento del conexionado.
- Dimensionamiento y forma de la estructura o gabinete (OPCIONAL).
- Diseño de los mecanismos de disipación.
- Diagramas esquemáticos.
- Listado de partes y proveedores.
- Pruebas funcionales y ambientales (OPCIONAL).
- Análisis de modo y efecto de falla de los componentes (OPCIONAL).
- Análisis de confiabilidad de los componentes (OPCIONAL).
- Optimización (OPCIONAL).

4 - Mediciones

Luego de la etapa de integración se deberá construir el prototipo y medirlo, validando las especificaciones técnicas. Para el proyecto en cuestión será opcional el armado completo del prototipo, pero obligatoriamente al menos deberán construir un módulo (pre-regulador conmutado o regulador lineal).

En caso de optar por la construcción completa del prototipo se podrá presentar el prototipo

completamente validado en la instancia de evaluación integradora para la aprobación de la materia.

Para el prototipo construido se deberán realizar ensayos funcionales y ambientales. A partir de los mismos, se verificará el correcto funcionamiento y de ser necesario se realizarán los ajustes pertinentes.

Para las mediciones se deberá detallar los instrumentos de medición empleados, el banco de medición, el procedimiento y finalmente los resultados. Luego se deberá realizar un resumen comparativo de los valores calculados, simulados y medidos. Además deben comparar las especificaciones de diseño con las medidas.

Por último se deberá realizar una conclusión del trabajo realizado y proponer futuras mejoras y recomendaciones para futuros diseños.

Resumiendo, las etapas de la medición son las siguientes:

- Validación de las especificaciones técnicas.
- Ensayos funcionales y ambientales.
- Verificación y ajustes.
- Mediciones.
- Resumen comparativo de los valores calculados, simulados y medidos.
- Comparación de las especificaciones de diseño y medidas.
- Conclusiones y recomendaciones para futuros diseños.

Notas sobre el proyecto:

El desarrollo del proyecto será grupal, con grupos de 3 o 4 integrantes. Cada grupo tendrá un tutor asignado que los acompañará y evaluará en el desarrollo del proyecto.

Habrán cinco instancias de control de estado (checkpoints) sobre el desarrollo del proyecto con nota. La aprobación de la materia se obtiene con la aprobación de la valoración individual y grupal y la aprobación del informe final.

Los checkpoint tienen las siguientes fechas y temas a presentar:

1. checkpoint 1 - 13/09/2024:

Diseño verificado por simulación de lazo de tensión (estático).

Selección del transistor de paso.

Diseño verificado por simulación del lazo de corriente (estático).

Esquemático de PCB

2. checkpoint 2 - 27/09/2024:

Diseño verificado por simulación de la compensación de los dos lazos.

Análisis térmico.

Diseño de PCB.

3. checkpoint 3 - 18/10/2024:

Caracterización y validación de regulador lineal con lazo de tensión y corriente.

4. checkpoint 4 - 08/11/2024:

Diseño verificado por simulación de la fuente buck a lazo abierto.

Implementación de circuito PWM (PCB).

Características físicas del inductor diseñado.

Diseño PCB de la buck en lazo abierto..

Bloque Support de Fuentes (diseño circuital).

5. checkpoint 5 - 06/12/2024:

Diseño verificado por simulación de la fuente conmutada a lazo cerrado compensado (discreta).

Caracterización y validación de regulador conmutado en lazo abierto con implementación de PWM.

Diseño de PCB + CEM.

Bloque Support de Fuentes (diseño PCB).

Consideraciones importantes:

La calificación de cada Checkpoint será informada a cada estudiante y grupo.

Con dos checkpoints insuficientes o ausentes, se analizará el seguimiento de la cursada de acuerdo con la valoración general de cada estudiante o grupo en el curso.

Con tres checkpoints insuficientes o ausentes, se deberá recurrir a la materia.

El quinto checkpoint debe estar aprobado pues corresponde a la entrega final del proyecto funcionando.

Listado de tareas a realizar sobre el proyecto

Fecha	Listado de tareas a realizar	<input checked="" type="checkbox"/>
23/8	Diagrama en bloques del proyecto general	
23/8	Diagrama en bloques de la solución del regulador lineal	
30/8	Diseño circuital del par diferencial.	
30/8	Caracterización mediante simulación del par diferencial	
30/8	Diseño del circuito esquemático en el software de diseño de PCB del par diferencial	
06/9	Análisis cualitativo y cuantitativo de corriente y tensión para el transistor de paso.	
06/9	Definición de topología del transistor de paso	
06/9	Diseño circuital del par diferencial junto al transistor de paso.	
06/9	Caracterización mediante simulación del par diferencial junto al transistor de paso	

06/9	Diseño del circuito esquemático en el software de diseño de PCB del par diferencial junto al transistor de paso	
13/9	Diagrama en bloques de la solución de la protección de corriente foldback	
13/9	Diseño circuital de la protección de corriente foldback.	
13/9	Caracterización mediante simulación del par diferencial junto al transistor de paso y la protección de corriente foldback	
13/9	Diseño del circuito esquemático en el software de diseño de PCB del par diferencial junto al transistor de paso y la protección de corriente foldback	
13/9	Diseño del PCB en el software de diseño de PCB del par diferencial junto al transistor de paso y la protección de corriente foldback	
13/09/2024	Generación del informe de avance del proyecto checkpoint 1.	
20/9	Caracterización mediante simulación del lazo de tensión compensado	
20/9	Caracterización mediante simulación del lazo de corriente compensado	
20/9	Análisis térmico del circuito LDO.	
20/9	Diseño del circuito esquemático en el software de diseño de PCB del circuito LDO con el lazo compensado	
20/9	Diseño del PCB en el software de diseño de PCB del circuito LDO con el lazo compensado	
27/9	Fabricación del prototipo PCB diseñado	
27/9	Adquisición de los componentes para implementar el prototipo LDO	
27/9	Soldado de componentes en el prototipo LDO	
27/09/2024	Actualización del informe de avance del proyecto checkpoint 2.	
04/10	Medición del punto de polarización del prototipo LDO.	
04/10	Medición del punto de polarización del circuito de protección foldback	
04/10	Medición de la regulación de línea estática para una carga media del LDO	
04/10	Medición de la regulación de línea dinámica para una carga media del LDO	
04/10	Medición de la regulación de carga estática (sin activar la protección de corriente) del LDO	
04/10	Medición de la regulación de carga dinámica (sin activar la protección de corriente) del LDO	
04/10	Medición de la protección de corriente foldback. Caracterizar la recta foldback V_o vs I_o del LDO	

04/10	Caracterización del LDO.	
04/10	Diagrama en bloques de la solución del circuito PWM (generador + comparador)	
04/10	Diseño circuital del circuito PWM (generador + comparador)	
04/10	Caracterización mediante simulación del circuito PWM (generador + comparador)	
04/10	Diseño del circuito esquemático en el software de diseño de PCB LDO con la protección de corriente.	
04/10	Diseño del PCB en el software de diseño de PCB del LDO con la protección de corriente.	
18/10/2024	Actualización del informe de avance del proyecto checkpoint 3.	
25/10	Diagrama en bloques de la solución del regulador conmutado	
25/10	Análisis cualitativo y cuantitativo de los componentes principales de la fuente conmutada.	
25/10	Investigación del mercado argentino y definición de los componentes a utilizar como llaves del circuito.	
01/11	Diseño circuital del regulador conmutado a lazo abierto	
01/11	Caracterización mediante simulación del regulador conmutado a lazo abierto	
01/11	Diseño del circuito esquemático en el software de diseño de PCB del regulador conmutado a lazo abierto y el circuito PWM (generador + comparador)	
01/11	Diseño del PCB en el software de diseño de PCB del regulador conmutado a lazo abierto y el circuito PWM (generador + comparador).	
01/11	Investigación de controladores integrados para la comprensión del funcionamiento.	
01/11	Análisis cualitativo y cuantitativo del inductor físico.	
01/11	Diseño circuital del bloque support.	
08/11/2024	Actualización del informe de avance del proyecto checkpoint 4.	
15/11	Diseño circuital del regulador conmutado a lazo cerrado	
15/11	Caracterización mediante simulación del regulador conmutado a lazo cerrado	
15/11	Diseño del circuito esquemático en el software de diseño de PCB del regulador conmutado a lazo cerrado.	
15/11	Diseño del PCB en el software de diseño de PCB del regulador conmutado a lazo cerrado.	
15/11	Fabricación del prototipo PCB diseñado del regulador conmutado a lazo abierto y el circuito PWM (generador + comparador).	

15/11	Adquisición de los componentes para implementar el prototipo del regulador conmutado a lazo abierto y el circuito PWM (generador + comparador).	
15/11	Armado físico del inductor diseñado.	
22/11	Medición del inductor físico diseñado.	
22/11	Soldado de componentes en el prototipo del regulador conmutado a lazo abierto y el circuito PWM (generador + comparador).	
29/11	Medición del punto de polarización del prototipo del regulador conmutado a lazo abierto y el circuito PWM (generador + comparador).	
29/11	Medición de la regulación de línea estática para una carga media del regulador conmutado a lazo abierto y el circuito PWM (generador + comparador).	
29/11	Medición de la regulación de línea dinámica para una carga media del regulador conmutado a lazo abierto y el circuito PWM (generador + comparador).	
29/11	Medición de la regulación de carga estática del regulador conmutado a lazo abierto y el circuito PWM (generador + comparador).	
29/11	Medición de la regulación de carga dinámica del regulador conmutado a lazo abierto y el circuito PWM (generador + comparador).	
29/11	Medición de las señales del disparo del regulador conmutado a lazo abierto utilizando el circuito PWM (generador + comparador).	
29/11	Caracterización del regulador conmutado a lazo abierto y el circuito PWM (generador + comparador)	
06/12/2024	Actualización del informe de avance del proyecto checkpoint 5.	
06/12/2024	Actualización del informe final del proyecto.	
Opcional 1		
	Fabricación del prototipo PCB diseñado del regulador conmutado a lazo cerrado.	
	Adquisición de los componentes para implementar el prototipo del regulador conmutado a lazo cerrado.	
	Soldado de componentes en el prototipo del regulador conmutado a lazo cerrado.	
	Medición del punto de polarización del prototipo del regulador conmutado a lazo cerrado.	
	Medición de la regulación de línea estática para una carga media del regulador conmutado a lazo cerrado.	
	Medición de la regulación de línea dinámica para una carga media del regulador conmutado a lazo cerrado.	
	Medición de la regulación de carga estática (sin activar la protección de corriente)	

	del regulador conmutado a lazo cerrado.	
	Medición de la regulación de carga dinámica (sin activar la protección de corriente) del regulador conmutado a lazo cerrado.	
	Medición de las señales del disparo del regulador conmutado a lazo cerrado.	
	Caracterización del regulador conmutado a lazo cerrado.	
	Actualización del informe de final del proyecto opcional 1.	
Opcional 2		
	Diseño esquemático de la carga electrónica.	
	Diseño del PCB de la carga electrónica.	
	Fabricación del prototipo PCB diseñado de la carga electrónica.	
	Adquisición de los componentes para implementar el prototipo de la carga electrónica.	
	Soldado de componentes en el prototipo de la carga electrónica.	
	Medición del punto de polarización del prototipo de la carga electrónica.	
	Medición de la regulación de línea estática para una carga media de la carga electrónica.	
	Medición de la regulación de línea dinámica para una carga media de la carga electrónica.	
	Medición de la regulación de carga estática (sin activar la protección de corriente) de la carga electrónica del regulador conmutado a lazo abierto.	
	Medición de la regulación de carga dinámica (sin activar la protección de corriente) de la carga electrónica.	
	Caracterización de la carga electrónica	
	Actualización del informe de final del proyecto opcional 2.	