

Universidad Politécnica de Valencia

Escuela Técnica de Ingeniería de Telecomunicación

Electrónica Analógica Integrada

Memoria Trabajo Final

Diseño de una Fuente de Alimentación Variable

Realizado por:

Jaime Lloret Cuñat

Adam Cecetka Ortiz



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Introducción al diseño de una fuente de alimentación variable

Una fuente de alimentación variable es aquella que es capaz de rectificar una corriente alterna a una de tipo continua y dar a su salida un voltaje de manera constante. Además, esta salida se puede regular siendo así variable para poder dar un voltaje mayor o menor.

El diseño de la fuente estará compuesto por varios módulos en cascada los cuales mencionaremos a continuación.

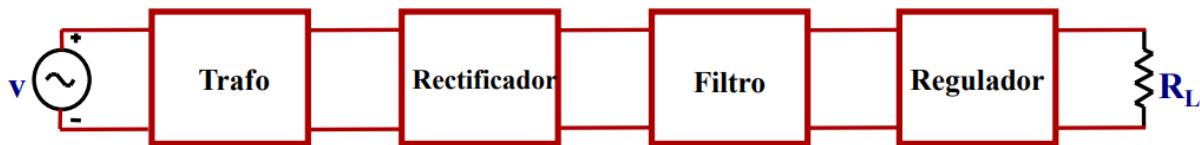


Figura 1: Etapas fuente de alimentación

La primera etapa consta de un transformador encargado de reducir el voltaje. La relación entre el voltaje a la entrada y a la salida del transformador vendrá dada por la relación en el número de espiras de las bobinas correspondientes. Seguidamente tendremos una etapa rectificadora la cual funcionará mediante un puente de diodos encargados de hacer que nuestra señal alterna pase a tener una sola polaridad, aunque aún tendremos las formas de onda sinusoidales correspondientes al ciclo positivo de la señal. Posteriormente suavizaremos esta señal mediante un condensador de filtrado para así poder entrar a la última etapa con una señal más estable, aunque aún con un leve rizado presente. La etapa final es básicamente un regulador que mantendrá de forma fija un voltaje a la salida, aunque en nuestro caso este voltaje podrá ser variado según deseemos.

En la siguiente imagen veremos las formas de onda a medida que pasamos por cada etapa.



Figura 2: Formas de onda por etapas

Además de forma adicional, aunque no lo hayamos estudiado en clase añadiremos un disipador de calor para la fuente para que así pueda trabajar de manera correcta aun a temperaturas elevadas.

Diseño de la fuente

La fuente a diseñar tendrá la posibilidad de ofrecer entre 5 y 15 V de corriente continua de manera constante con una corriente de carga máxima de 2 Amperios. Para valores superiores de corriente nuestra fuente será dotada con mecanismos que prevengan pasar del límite. Comenzaremos describiendo el diseño de la fuente desde el final ya que es más sencillo hacerlo así debido a que los módulos iniciales son dimensionados en base a los últimos.

Etapa Reguladora

Como hemos comentado antes nuestra fuente va a ser diseñada para una salida de 5-15 V. Es por ello por lo que hemos investigado las opciones que el mercado actual ofrece y hemos decidido escoger un regulador “LM317H” debido a su flexibilidad y a su capacidad de ofrecer un amplio rango de voltajes a la salida. Su corriente máxima es de 1,5A como se adjunta en especificaciones y tiene un “Dropout Voltage” el cual viene dado por el gráfico de la figura 4. Recordemos que el “Dropout Voltage” es cuanto mas voltaje debemos de tener a la entrada para a la salida tener el que deseamos.

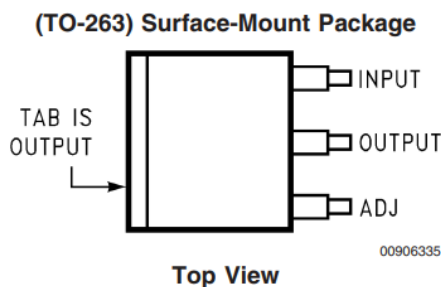


Figura 3: Vista LM317

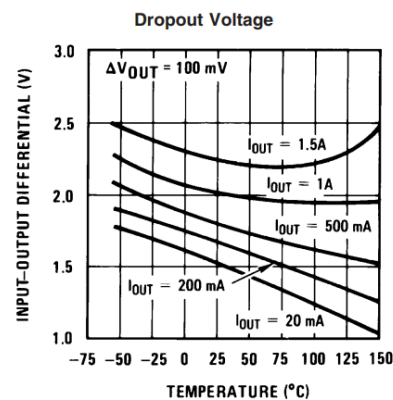


Figura 4: Gráfico Dropout Voltage

Para estimar este valor nos pondremos en el peor caso y supondremos corriente máxima y temperaturas extremas lo que nos da un “Dropout” de 2.5V por lo que a la entrada del regulador debemos tener 2.5V más que nuestro mayor posible voltaje a la salida que es 15V. Por lo que $15V + 2.5V = 17.5V$.

Una vez realizado este cálculo el siguiente paso es diseñar la red de ajuste la cual consistirá en una serie de resistencias y un potenciómetro que harán posible la variación de tensión a la salida. Observamos el esquema buscado en la siguiente imagen.

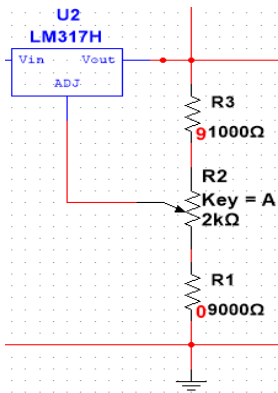


Figura 5: Esquema red de ajuste

Para realizar los cálculos asumiremos que no circula apenas corriente por la rama de ajuste ya que la ficha técnica nos indica que ésta tiene un valor típico de 50uA y que el valor de referencia Vref es de 1.25V.

Reference Voltage	1.238	1.250	1.262					V
3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V, 10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} , P ≤ P _{MAX}	1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30		V
Adjustment Pin Current			50	100		50	100	µA

Figura 6: Datos técnicos corriente de ajuste y Vref

Para comenzar con el cálculo recordemos que nuestro rango de tensión a la salida va desde los 5 a los 15V por lo que el potenciómetro será el elemento encargado de realizar este ajuste. Gracias a la consideración de una corriente de ajuste nula podemos tratar la red como un divisor de tensión por lo que para el cálculo buscaremos los 2 casos extremos del potenciómetro y el divisor de tensión que se formaría.

El valor de tensión máxima se obtiene al tener el pin central del potenciómetro arriba del todo por lo que: $1,25V = 15 * \frac{R3}{R3+R1+R2}$ mientras que para el valor mínimo se obtiene: $1,25V = 5 * \frac{R3+R2}{R1}$

Simplificando ambas expresiones se obtiene lo siguiente:

$$0,25 * R3 = 0,75 * (R1 + R2) \quad \text{y} \quad R2 + R3 = 11 * R1$$

De aquí salen una multitud de resultados posibles, pero nosotros hemos elegido R3=10 kΩ, R2=2 kΩ y R1=9 kΩ. Hemos elegido resistencias de valores altos para que así la potencia disipada en esta red de ajuste sea baja. El cálculo de forma alternativa se podría haber hecho con las corrientes e incluso para ser mas precisos considerando la corriente de ajuste.

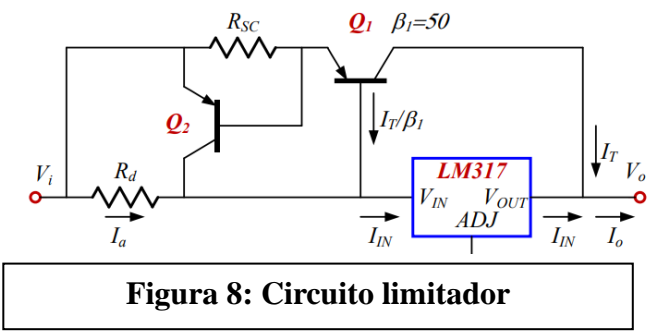
Limitador de corriente

La etapa de regulación va a contener también en paralelo una serie de BJTs y resistencias encargadas de no permitir un paso de corriente mayor a la máxima permitida por el regulador, pero al mismo tiempo que la carga pueda requerir de mas corriente y ésta sea suministrada por una rama paralela. Este valor total de corriente tampoco se podrá sobrepasar gracias a como lo vamos a diseñar. En total queremos un límite de 2A, pero observamos en la ficha técnica como el regulador nos permite máximo de 0.8A.

Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15V$						
	K, T, S Packages						
	H Package						
	MP Package						
	1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
	0.5	0.8	1.8	0.5	0.8	1.8	A
	1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A

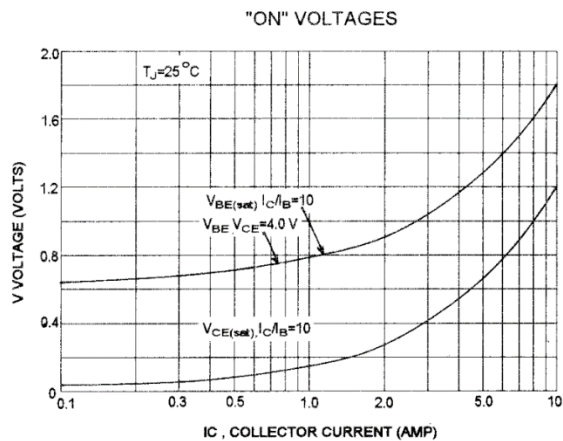
Figura 7: Corriente máxima regulador

Para cumplir con todo esto nuestro diseño tendrá la siguiente forma:



Emplearemos 2 BJTs junto a 2 resistencias. El transistor Q1 será el encargado de activarse cuando la corriente por el regulador supere los 0.8A mientras que el Q2 se activará en caso de que la corriente total supere los 2A. Como transistor usaremos el “MJ2955” un transistor de potencia PNP que soporta grandes corrientes y tensiones. A continuación, vamos a dimensionar las resistencias Rsc y Rd para el objetivo buscado.

Comenzaremos buscando el valor del voltaje base emisor a partir del cual el transistor conduce. Para ello buscaremos el gráfico correspondiente en la ficha técnica.



Conseguimos observar el valor de Vbe a partir del cual obtenemos corriente de colector es de unos 0.62V a temperatura ambiente por lo que consideraremos ese nuestro valor.

Figura 9: Gráfico Vbe

Una vez determinado este valor ya podemos empezar calculando R_{sc} . R_{sc} tiene como función activar Q2 y como esto queremos que pase solo cuando se vaya a superar la corriente total de 2A esto quiere decir que por esa rama irán a pasar $2 - 0,8 = 1,2A$ por lo que haciendo $R_{sc} = \frac{0,62}{1,2} = 0,52 \Omega$ obtenemos el valor de R_{sc} .

Para el cálculo de R_d tenemos que sacar en primer lugar la β del transistor Q1 ya que de ella va a depender la corriente que pase por R_d .

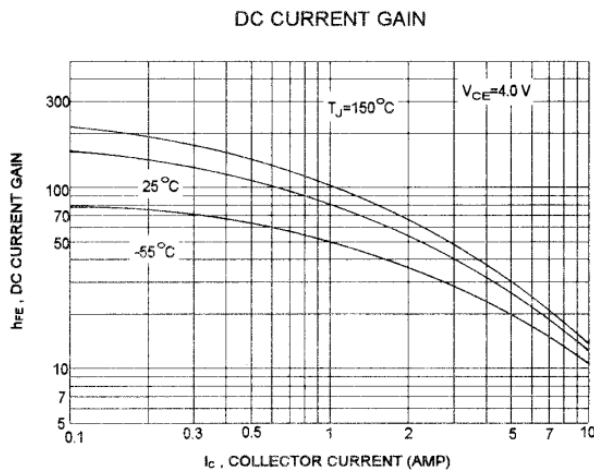


Figura 10: Hfe vs Ic

Observamos como a temperatura ambiente y a una corriente de colector (para este valor cogemos la máxima) de 1,2A obtenemos una β de 70.

Una vez conocido este valor ya podemos sacar la corriente que va a pasar por la base de Q1 y consecuentemente la que irá a pasar por R_d .

$I_b = \frac{1,2}{70} = 17.1 \text{ mA}$ por lo que la I_a será de $0.8A - 17.1 \text{ mA} = 0,783A$

Sabiendo este valor de corriente y que la caída de tensión que tendremos en R_d en ese instante es de dos veces el voltaje base emisor de encendido sacamos el valor de la resistencia.

$$R_d = \frac{2 * 0,62}{0,783} = 1,58 \Omega$$

Con esto ya tendríamos diseñada nuestra etapa limitadora y reguladora.

Etapa de transformación

Para el diseño de esta etapa comenzaremos teniendo en cuenta el voltaje de entrada de la red eléctrica en nuestro país ya que esta será la entrada de nuestra fuente. En España Red Eléctrica distribuye la energía a 50Hz con un valor eficaz de 230V. Este voltaje lo tendremos que reducir por lo menos a una décima parte. El valor final que obtengamos a la salida del transformador tiene que ser calculado de manera precisa ya que nuestro regulador final necesita 17.5V mínimo para funcionar correctamente. Un valor razonable para tener a la salida del transformador es de unos 21Vp. Esto es debido a que en la resistencia R_d tendremos una caída de $V_{be} \cdot 2$ correspondiente a los 2 transistores, es decir 1,24V y en el puente de diodos tendremos una caída de aproximadamente 1V por diodo por lo que otros 2V. $17,5+2+1,24= 21V_p$ aprox.

En primer lugar, consideraremos el valor de pico de la señal de entrada ya que va a ser el que realmente nos interese porque al rectificar y suavizar la forma de onda es el valor de pico el que va a permanecer. Como ya sabemos en una senoide: $V_p = V_{ef} \cdot \sqrt{2}$ donde obtenemos un valor de 325.33Vp. Continuamos calculando el número de espiras del transformador para cada etapa. Como $\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1}$ queriendo unos 21Vp a la salida $\frac{325.327}{21} = 15,5$ por lo que necesitaríamos una relación 15:1 para el bobinado del transformador. Así el valor exacto a la salida será de $\frac{325.33}{15} = 21,68 V_p$.

Es decir, necesitamos un transformador con una relación de espiras 15:1 y de unos $\frac{21,68}{\sqrt{2}} \cdot 2 = 30.66$ es decir, 31 W asumiendo un $\cos\phi=1$.

En la siguiente figura observamos el efecto del transformador en las formas de onda.

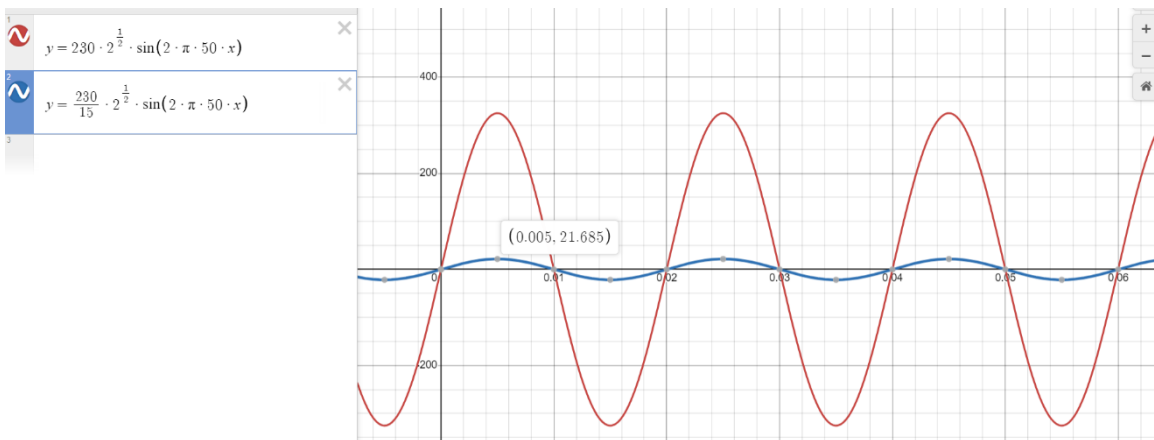
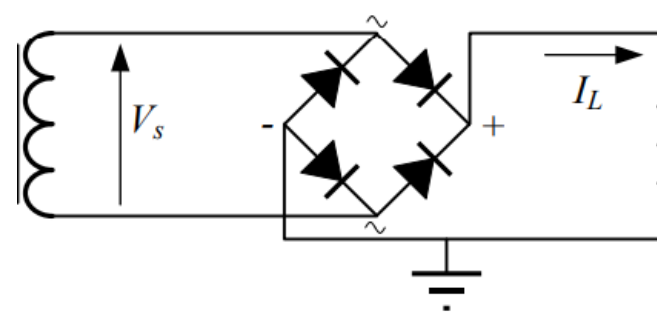


Figura 11: Formas de onda transformador

Etapa de rectificación

Para esta etapa emplearemos un puente de diodos que consiga hacer una rectificación de onda completa. Para ello los diodos serán colocados de la siguiente manera:



Faltaría elegir el tipo de diodo a usar el cual tiene que poder resistir corrientes y tensiones elevadas.

Emplearemos un circuito integrado que ya contiene el puente incorporado. Ya fue usado en la práctica 5 de la asignatura y es el “B40C1000”. Es un puente el cual soporta grandes voltajes en inversa y

Figura 12: Esquema Puente diodos

corrientes de hasta 3,3 A sin radiador.

Otro dato más a considerar es la caída de tensión por diodo. Para ello observamos la ficha técnica.

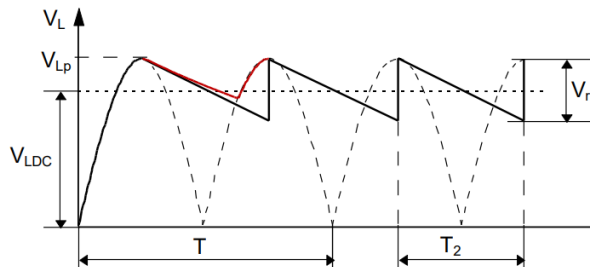
Forward Voltage (per element)	@I _F = 1.0A	V _{FM}	1.0	V
-------------------------------	------------------------	-----------------	-----	---

Figura 13: Voltaje anodo-cátodo diodos

Podemos observar cómo claramente es 1V para una corriente de 1 A por lo que consideraremos ese el valor de caída de tensión por diodo. Como nuestra señal pasa por dos diodos por ciclo finalmente acabamos teniendo una caída de tensión en el puente de unos 2V.

Etapa de filtrado

La etapa de filtrado consistirá en un condensador electrolítico de alta capacidad que se encarga de suavizar la señal a la salida del puente de diodos. Para calcular el valor de este condensador deberemos tener en cuenta el valor de rizado máximo que podemos tener a la entrada del regulador para el correcto funcionamiento de éste.

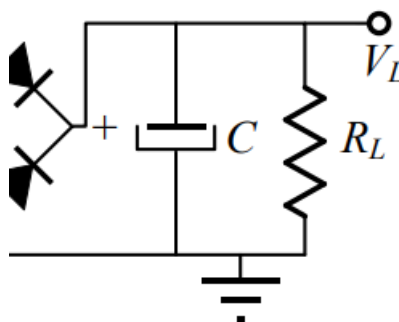


El condensador va colocado en paralelo a la salida del puente de diodos para así poder descargarse cuando en la señal tenemos el flanco descendente.

Figura 14: Forma de onda filtrada

Comenzaremos recordando que el valor a la entrada del regulador debe ser de 17.5V mientras que a la salida del transformador tenemos 21.7Vp. 21,7Vp-2v de caída en el puente de diodos nos deja con un voltaje de 19,7V y teniendo en cuenta que en R_d aun caerá el voltaje 2 veces el voltaje base emisor de los transistores tendremos 19,7-2(0,62) =18,46V. Es decir, tenemos un margen de 18,46-17,5=0.96V por lo que el rizado debe tener como máximo ese valor.

Sin embargo, este cálculo se ha realizado teniendo en cuenta una variación nula en la tensión de entrada. En el caso de considerar una variación se deberían recalcular los parámetros del transformador, así como el voltaje de rizado para poder llegar con el voltaje adecuado a la entrada del regulador.



A continuación, pasamos a calcular el valor mínimo que debe tener nuestro condensador para tener máximo el rizado calculado previamente. Para ello emplearemos la siguiente fórmula: $C = \frac{I_{dc}}{2 * f * V_r}$ donde f es la frecuencia de la red, V_r el rizado e I_{dc} la corriente máxima que pasará por el condensador.

Figura 15: Colocación condensador

Por lo que la C calculada es de: $\frac{2}{2 * 50 * 0,96} = 20833 \mu F = C$

Es decir, necesitaremos como mínimo un condensador electrolítico de la capacidad calculada previamente para filtrar adecuadamente nuestra señal.

Simulación del diseño

Una vez finalizado el diseño teórico de nuestra fuente vamos a comprobar su funcionamiento práctico en un programa de simulación. Para ello emplearemos el programa Multisim y comenzaremos montando nuestro circuito.

Cabe recalcar que debido a que nuestros componentes exactos no ha sido posible encontrarlos en el simulador (a excepción del regulador y el transformador) la simulación es una aproximación donde podremos ver por encima el funcionamiento de nuestro diseño. Lógicamente los transistores empleados en la simulación tendrán voltajes base-emisor distintos y los diodos del puente caídas de tensión distintas a las calculadas teóricamente.

El transistor empleado es el MJD32CG. Podemos observar que su voltaje base-emisor está sobre los 0.53V (figura 16) lo que difiere ligeramente de nuestra elección teórica.

El puente de diodos elegido es el 1B4B42 (figura 17) con la siguiente caída de tensión en los diodos que observamos que sigue estando en torno a 1V para 1A.

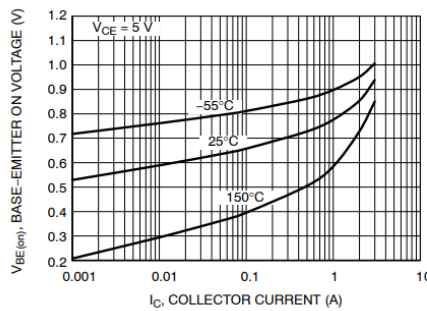


Figure 10. Base-Emitter "On" Voltage

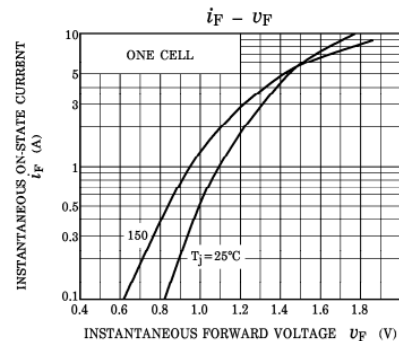


Figura 16: Voltaje Vbe transistor simulación Figura 17: Caída tensión diodos puente simulación

El circuito una vez montado en el simulador luce tal que así:

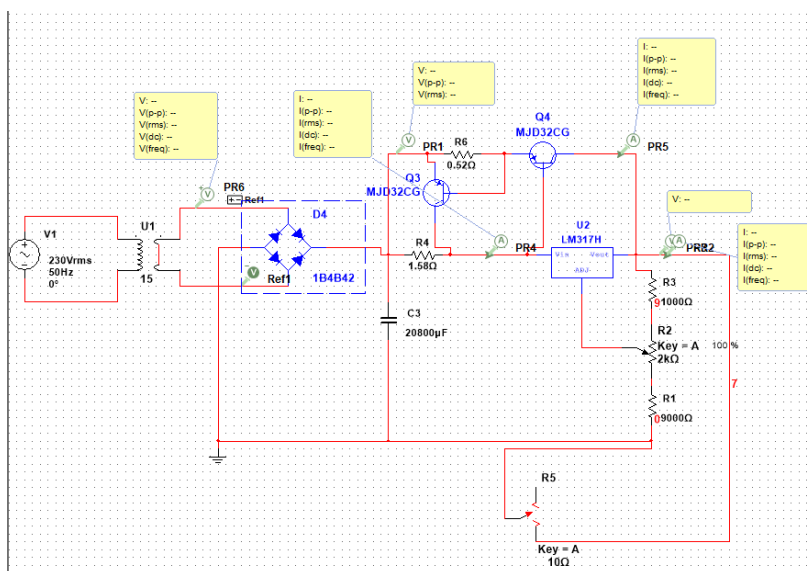


Figura 18: Circuito simulación

Podemos observar cómo en para simular la carga hemos empleado un potenciómetro para así poder simular distintos casos.

Para el primer caso simulamos con una carga de unos 100Ω y podemos observar como claramente obtenemos un valor de unos $15V$ a la salida ya que el potenciómetro de ajuste lo tenemos en el extremo superior.

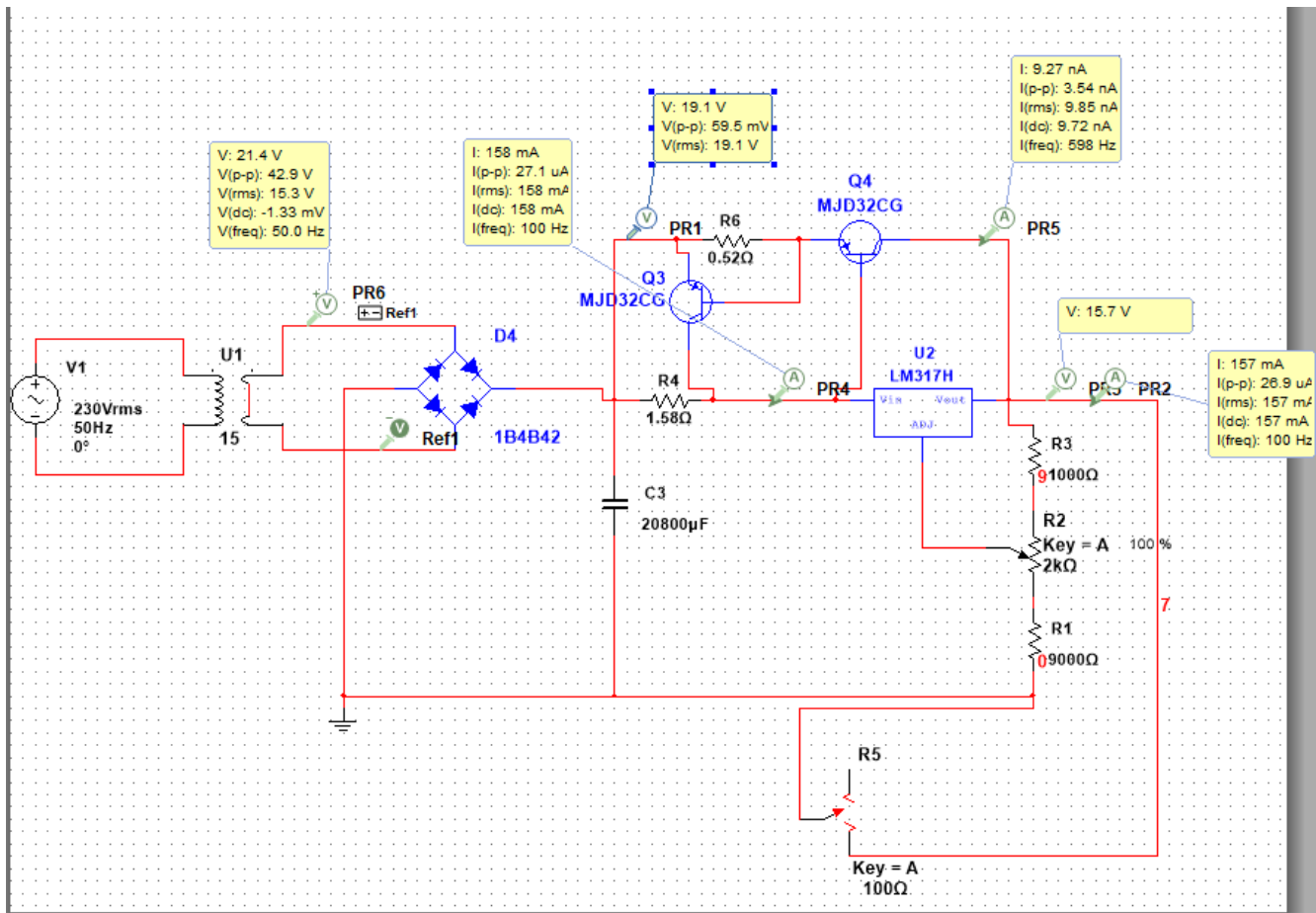


Figura 19: Simulación voltaje máximo carga 100Ω

Continuamos cambiando el potenciómetro de ajuste al otro extremo para verificar que se obtiene una salida de unos 5V.

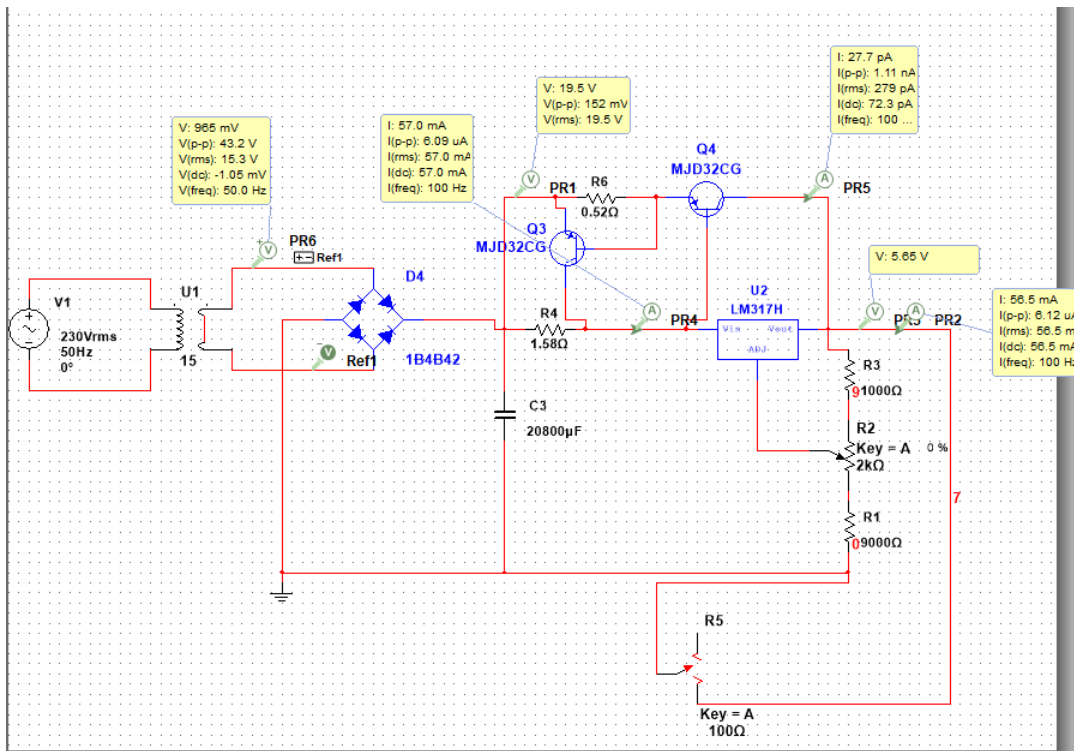
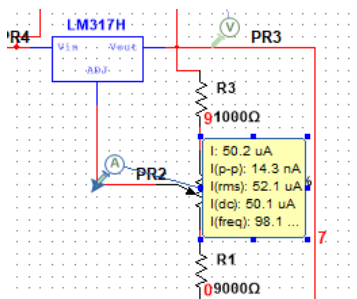


Figura 20: Simulación voltaje mínimo carga 100Ω

Se observa el resultado deseado. Cabe resaltar que los valores de tensión que saca la fuente no son exactamente los deseados pese a haber calculado de manera exacta los valores de las resistencias de la red de ajuste. Por ejemplo, en vez de obtener 15V obtenemos 15.7 y en vez de 5 se obtienen 5.7V, es decir aproximadamente 0.7V mas de lo calculado. Esto seguramente se deba al valor de la corriente de ajuste la cual ha sido considerada cero en los cálculos teóricos. Colocando una sonda para medir esta corriente se obtienen los siguientes valores:



50µA es un valor que multiplicado por la resistencia de 9kΩ es ya aproximadamente 0.5V lo que explica perfectamente el que podamos tener esa pequeña desviación respecto de cálculos teóricos.

Figura 21: Corriente de ajuste

Una vez simulado el funcionamiento básico se pasa a comprobar el efecto de la limitación de corriente. Recordemos que teóricamente el LM aguantaba 0,8A mientras que nuestra red de limitación había sido diseñada para limitar hasta los 2A, es decir 0.8A por el LM y 1,2A por la rama de arriba.

Para ello emplearemos un potenciómetro de 10 Ω para así poder demandar al circuito corrientes elevadas y trabajaremos en el extremo superior del potenciómetro de ajuste para tener un voltaje mayor a la salida y observar así de manera más clara la limitación.

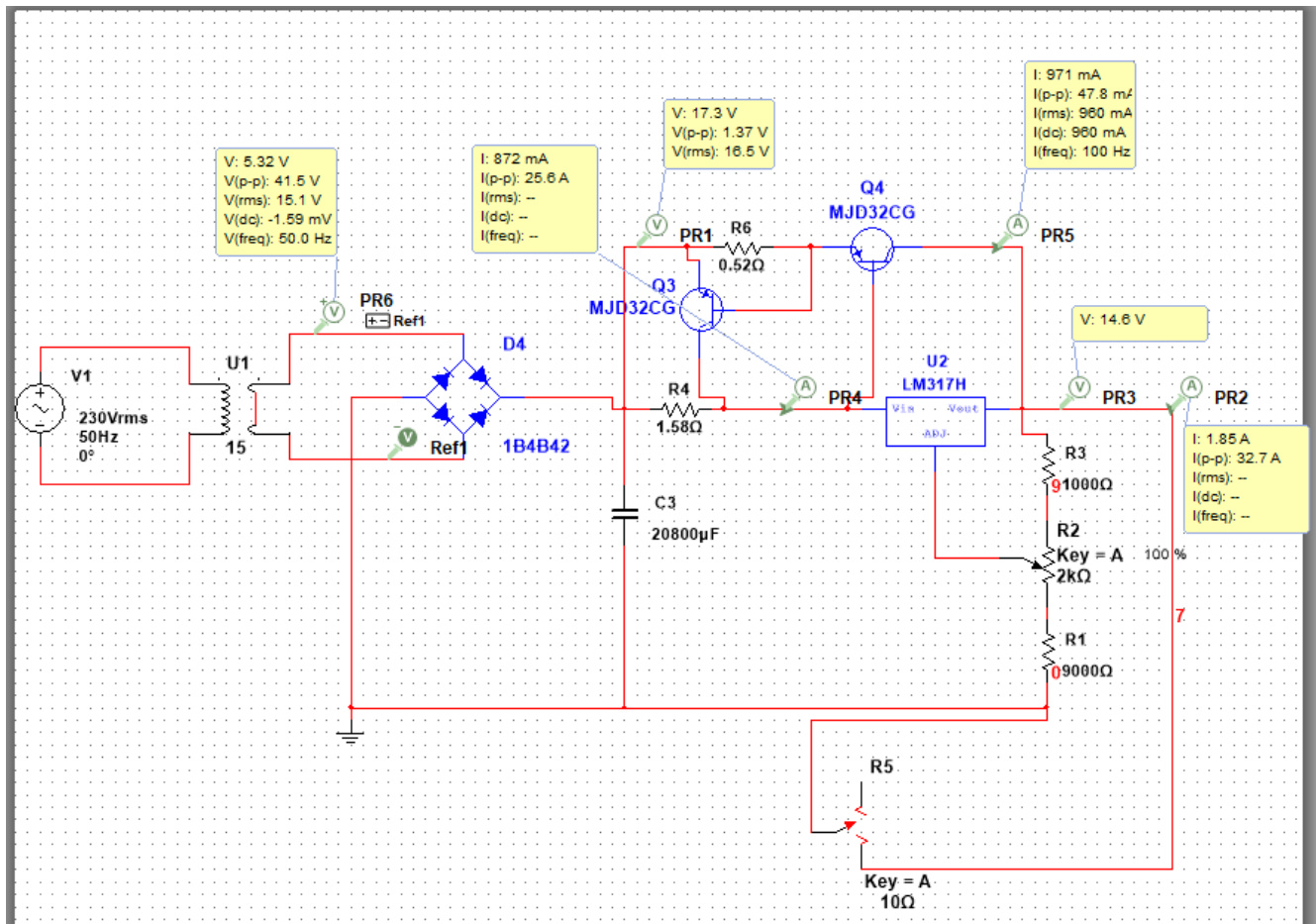


Figura 22: Carga a 1.85A

En la imagen superior podemos observar como la carga está demandando 1.85A. Con este valor de corriente observamos que el voltaje a la salida sigue estando sobre los 15V por lo que el circuito aun no está limitando. A continuación, pasaremos a disminuir aun mas el valor de la resistencia de carga.

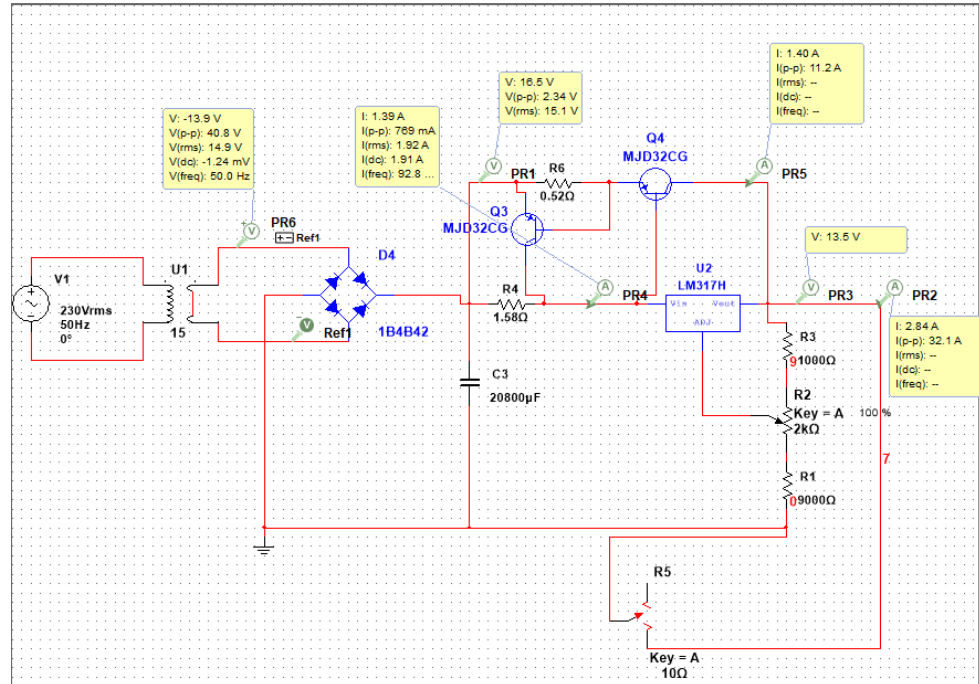


Figura 23: Carga a 2.8A

Ahora podemos observar como la diferencia en la tensión de salida es mas notable ya que estamos por debajo de los 14V y observamos como esto se debe a que ya tenemos más de 2A de corriente total.

Finalmente observaremos el caso extremo donde cortocircuitamos la carga:

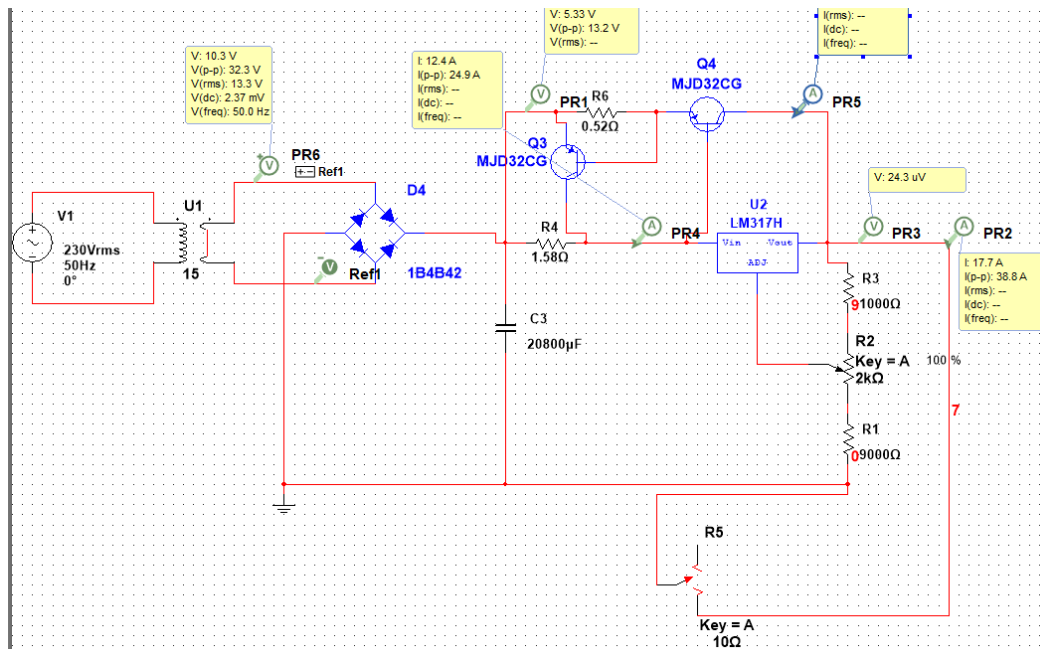



Figura 24: Carga cortocircuitada

Se observa como en este caso se pasa ya a no tener voltaje de salida prácticamente debido al efecto limitador del circuito.

Coste del diseño

A continuación, vamos a hacer una estimación de cuanto dinero costaría montar nuestra fuente de alimentación regulada.



Images are for reference only
See Product Specifications

Share

LM317H/NOPB

Mouser No: 926-LM317H/NOPB

Mfr. No: LM317H/NOPB

Mfr.: Texas Instruments

Customer No:

Description: Linear Voltage Regulators 3-Term Adj Reg

Datasheet: [LM317H/NOPB Datasheet](#)

ECAD Model: [Request Free CAD Models](#)

Download the free [Library Loader](#) to convert this file for your ECAD Tool. [Learn more about the ECAD Model.](#)

In Stock: 1,174


Stock: 1,174 Can Dispatch Immediately

Factory Lead Time: 6 Weeks

Enter Quantity: [Buy](#)

Pricing (EUR)

Qty.	Unit Price	Ext. Price
1	13,09 €	13,09 €
10	12,29 €	122,90 €
25	11,50 €	287,50 €
400	10,70 €	4,270,00 €



Añadir a favoritos Comparar

Categoría: DIODOS

Referencia: B40C1000

Descripción:

Añadir a favoritos Comparar

EN STOCK: 153 [Envío disponible](#)

PARA SU ENVÍO EN 24 HORAS, HAGA SU PEDIDO EN: 09 : 05 : 22 [Ver Opciones](#)

INTRODUZCA LA CANTIDAD

1


Importe total (Imp. excl): 1,50 €

[Añadir al carrito](#) [Solicitar presupuesto](#)

("Solicitar presupuesto" para grandes cantidades o proyectos personalizados)

PRECIOS

Cantidad	Precio Unitario	Precio por Cantidad
1	1,50 €	1,50 €



Añadir a favoritos Comparar

Categoría: TRANSISTORES

Referencia: MJ2955

Descripción:

Añadir a favoritos Comparar

EN STOCK: 1 [Envío disponible](#)

PARA SU ENVÍO EN 24 HORAS, HAGA SU PEDIDO EN: 09 : 03 : 37 [Ver Opciones](#)

INTRODUZCA LA CANTIDAD

1


Importe total (Imp. excl): €2.50

[Add to cart](#) [Solicitar presupuesto](#)

("Solicitar presupuesto" para grandes cantidades o proyectos personalizados)

PRECIOS

Cantidad	Precio Unitario	Precio por Cantidad
1	€2.50	€2.50



Alambre de cobre esmaltado, 0.3mm 20m alambre de bobina de imán de cobre esmaltado resistencia a alta temperatura para generador de motores

[Amazon.es - Seller](#) 12,99 €

Alambre de cobre esmaltado, 0.3mm 20m alambre de bobina de imán de

Figuras 25,26,27 y 28: Coste materiales

Por lo que sumando los precios: $1,5 + 2 \cdot 2,50 + 13,09 + 12,99 = 32,60\text{€}$.

Faltaría considerar el coste del núcleo del transformado el cual podemos despreciar por lo que el coste total de nuestro diseño es de unos 33€.

Conclusiones

En el diseño de la fuente de alimentación regulada hemos realizado los cálculos teóricos para después contrastarlos de manera aproximada con una simulación por software. Hemos observado ligeras discrepancias debidas principalmente a el hecho de haber usado componentes ligeramente distintos o a haber considerado ideales ciertos factores como por ejemplo la corriente de ajuste de nuestro regulador. Pese a esto hemos podido observar de manera genera un comportamiento satisfactorio por parte de nuestro diseño.