

Circuitos de Regulación de Voltaje (Fuente DC regulada mediante Circuito Integrado de Regulación)

Barbosa E. Liliana M., Ocampo R. Angee L.

Resumen - Durante el desarrollo del presente preinforme, se procede a elaborar un análisis, mediante el uso de herramientas de simulación y material bibliográfico, de una fuente DC regulada mediante un circuito integrado LM317. Ello se realiza para facilitar afianzar los conocimientos sobre estos circuitos integrados mediante el análisis, diseño y comprobación de la acción básica de estos.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de la presente práctica consiste en el estudio y diseño de una fuente DC mediante el circuito integrado de regulación, LM317. Este análisis se hace por medio de las bases teóricas ofrecidas durante las sesiones de teoría y laboratorio, asimismo, los cálculos realizados son respaldados por el programa de simulación Pspice.

Marco teórico:

Para el desarrollo de la presente práctica se debe conocer las siguientes características del regulador LM317:

- ❖ El rango de voltajes de entrada (V_i), que puede recibir este regulador, oscila entre 4V y 40V.
- ❖ Puede entregar corrientes desde los 10mA hasta los 1.5A.
- ❖ Este integrado necesita de al menos 3V por encima de la señal DC requerida, para que esta pueda ser entregada correctamente. Por otro lado, el rango de voltajes de salida se encuentra entre los 1.25V y los 37V.
- ❖ El voltaje de salida del integrado puede ser regulado mediante las resistencias que se encuentran conectadas entre la terminal ajustable del integrado y tierra, y entre la misma terminal de ajuste y la salida del integrado, como se aprecia en la figura:

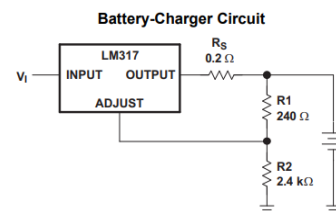


Fig. 1. Estructura del circuito LM317.

Generalmente, el valor de R_1 es un valor fijo, por lo que la variación para el ajuste de voltaje se produce en R_2 , para establecer la diferencia de potencial del regulador es utilizada la siguiente fórmula:

$$V_{OutDC} = 1.25 \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right)$$

II. ANÁLISIS, DISEÑO Y SIMULACIÓN

A continuación se sigue con diseñar una fuente DC que presenta una regulación mediante el circuito integrado LM317 que está alimentado con una salida en el secundario de aproximadamente $20V_{RMS}$ (o voltaje pico de $20\sqrt{2}V=28.284V$) a 60Hz, como se muestra en la siguiente figura:

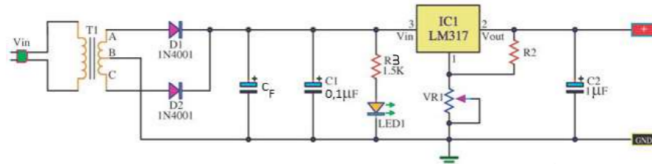


Fig. 2. Montaje a implementar.

Asimismo, vale resaltar que el diseño planteado es un circuito que se compone de tres etapas (transformador, rectificador con diodos y circuito de regulación). En la primera se tiene la etapa de adaptación de la señal natural que se encuentra en los tomacorrientes eléctricos ($120V_{RMS}$), a una de menor amplitud a través de un acoplamiento magnético. En la segunda se tiene una etapa de una rectificación de onda completa sin puente de diodos. Mientras que en la tercera se cuenta con un circuito integrado de regulación de voltaje LM317, donde se trata de un voltaje positivo ajustable a la salida, y su configuración depende de las resistencias asociadas R_1 y R_2 .

A. Cálculos Teóricos

• Cálculo del transformador:

Para el cálculo se tiene en cuenta que la diferencia entre los extremos del transformador en el secundario debe ser $20\sqrt{2}V$, el voltaje en el primario es $120\sqrt{2}V$ y el nodo B corresponde a tierra, por lo cual, se plantea que la diferencia de potencial entre A y B es igual a $10\sqrt{2}V$. Vale mencionar que se debe tener el mismo valor de $10V_{RMS}$ entre B y C, para lograr una salida en el secundario de $20\sqrt{2}V$.

¹El presente documento corresponde al preinforme de la sexta práctica de laboratorio de la materia "Electrónica Analógica I" presentado en la Universidad de Antioquia de Medellín en el periodo académico 2023-02.

Así, a partir de lo anterior, se procede al cálculo de las inductancias:

$$\left(\frac{V_p}{V_{BC}}\right)^2 = \frac{L_1}{L_2}$$

$$L_2 = L_1 \left(\frac{V_p}{V_{BC}}\right)^{-2} = (2040mH) \left(\frac{120\sqrt{2}V}{10\sqrt{2}V}\right)^{-2} = 14.166mH = L_3$$

Por lo cual, el transformador que se hace uso en el montaje es el siguiente:

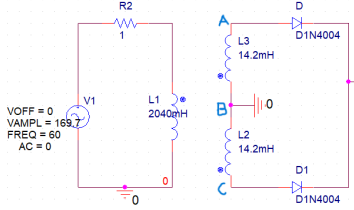


Fig. 3. Modelado del transformador a utilizar.

- **Cálculo de las resistencias asociadas al integrado:**

Tal como se hizo mención, el LM317 se trata de un circuito regulador de voltaje positivo ajustable, y ello se debe precisamente al divisor de voltaje presente entre su terminal ajuste y salida. Así, para el cálculo de las resistencias R1 y R2 del divisor de voltaje, se tiene en cuenta que entre la terminal ajuste y salida es siempre de 1,25 voltios (ya que es un voltaje establecido internamente por el regulador), además de que la corriente que atraviesa a R1 es aproximadamente la misma que atraviesa a R2, y el voltaje que debe haber en la carga debe ser a lo sumo 10V.

$$V_{out} = V_{R1} + V_{R2} \leq 10V$$

$$I_{R2} R_1 + 1.25V \leq 10V$$

$$1.25 \frac{R_1}{R_2} + 1.25 \leq 10$$

$$1.25 \left(\frac{R_1}{R_2} + 1\right) \leq 10$$

$$1.25 \left(\frac{R_1}{R_2} + 1\right) \leq 10$$

$$\frac{R_1}{R_2} \leq 7 \Rightarrow R_1 \leq 7R_2$$

Ahora, teniendo en cuenta la relación entre las resistencias, se selecciona $R_1 = 6.8k\Omega$ y $R_2 = 1k\Omega$. Por otro lado, para el cálculo de la potencia de cada una, se tiene en cuenta que:

$$P_{R1} = V_{R1} I_{R1} = (8.5V)(0.00125A) = 0.010625W$$

$$P_{R2} = V_{R2} I_{R2} = (1.25V)(0.00125A) = 0.001563W$$

Sin embargo, para el montaje se puede hacer uso de resistores que soportan potencia de a lo máximo 1W.

- **Cálculo de la capacitancia C_F :**

Las condiciones que debe cumplir la fuente regulada son las siguientes:

- Debe entregar hasta 10V de voltaje DC con una corriente máxima de 200mA.
- El voltaje de rizado debe ser menor o igual al 10% del voltaje del secundario ($V_R \leq 10\% V_{SMAX}$).

Con base en las anteriores condiciones, se procede a calcular el valor de la capacitancia usada en la etapa de filtrado, por medio de la siguiente fórmula:

$$C_F = \frac{V_{SMAX} - V_{OutDC}}{\Delta V * 2 * f_{IN} * R_S}$$

En ella, V_{SMAX} corresponde al voltaje máximo de entrada después de pasar por el rectificador de onda completa compuesto por dos diodos; V_{OutDC} , es el voltaje DC en la salida, calculado posteriormente a la etapa de regulación que es generada por el integrado; el delta de voltajes o voltaje de rizado, corresponde a la variación entre el voltaje máximo y mínimo medido en la salida del filtro; f_{IN} hace referencia a la frecuencia de la fuente que es multiplicada por dos al ser un rectificador de onda completa; y R_S , que hace referencia a la resistencia asociada al integrado, esta es hallada realizando el cociente entre el voltaje mínimo y la corriente máxima en la carga $\left(\frac{V_{SMIN}}{I_{LMAX}}\right)$. Por tanto, se comienza por calcular el valor de cada una de las variables requeridas para determinar el valor de dicha capacitancia, como se muestra a continuación:

$$V_{SMAX} = \frac{V_s}{2} - 0.7 = 13.442V$$

$$V_{OutDC} = 10V$$

$$f_{IN} = 60Hz$$

Es importante mencionar que, de acuerdo a la hoja de datos del regulador, este necesita de al menos 3 voltios por encima de la salida DC requerida, por esto:

$$V_{SMIN} = V_{OutDC} + 3V = 13V$$

Ahora, se sigue con determinar el valor correspondiente al voltaje de rizado y resistencia asociada a la entrada del regulador de la siguiente forma:

$$V_R = V_{SMAX} - V_{SMIN} = 13.442V - 13V$$

$$V_R = 0.442V$$

$$R_S = \frac{V_{SMIN}}{I_{LMAX}} = \frac{13V}{0.2A} = 65\Omega$$

Con los datos obtenidos anteriormente, finalmente, se procede a encontrar el valor de la capacitancia solicitada:

$$C_F = \frac{13.442V - 10V}{(0.442V) * 2 * (60Hz) * (65\Omega)}$$

$$C_F = 998.3757\mu F$$

Por otro lado, el valor de dicho capacitor también puede ser calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$C_F = \frac{5(V_{SMAX} - V_L)}{\Delta V * 2\pi * f_{IN} * V_{SMIN} / I_{LMAX}}$$

Donde cada una de sus variables corresponden a:

$$V_{SMAX}: \text{Mayor voltaje aplicado al C.I.} = (10\sqrt{2} - 0.7)V$$

$$I_{LMAX}: \text{Corriente máxima en la carga} = 200mA = 0.2A$$

$$V_L: \text{Voltaje esperado en la carga} =$$

$$V_{out} = V_{R1} + V_{R2} = 9.75V$$

$\Delta V \approx V_r$: Caída de tensión en CF = $(V_{SMAX} - (V_L + 3))V =$

$(10\sqrt{2} - 13.45)V$

V_{SMIN} : Menor voltaje aplicado a la entrada del C.I. = 12.75V

f_{IN} : Número de pulsos por segundo = 60Hz

Por lo cual,

$$C_F = \frac{5((10\sqrt{2}-0.7)-9.75)}{(10\sqrt{2}-13.45)*2\pi*60*12.75/0.2} = 1109.8\mu F$$

Por lo tanto, es posible observar que, a pesar de hacer uso de dos fórmulas diferentes, los resultados son muy cercanos. Con el fin de que se pudiese realizar el correcto montaje del circuito, se busca un valor comercial aproximado que corresponde a los 1000 μF .

B. Simulaciones

A continuación se procede a la simulación del comportamiento del circuito trabajado a través del programa Pspice en modo texto. Donde en primer lugar se realiza la definición del circuito integrado encargado de la regulación de voltaje (LM317), y consecuentemente se realiza una instanciación de este en el circuito completo.

```

105 *****
106 ***** LM317's Spice Subcircuit Model *****
107 *****
108 SUBCKT LM317 1 2 3
109 *** Pin Connection: IN OUT ADJ ***
110 IADJ 1 4 500
111 VREF 4 3 1.25
112 RC 1 14 0.742
113 CBC 13 15 2.479M
114 RBC 13 20 20
115 RBE 15 20 1
116 RFE 15 2 0.1
117 RBE 5 5 124
118 RSC 11 2 D1
119 ESC 11 2 POLY(2) (13.5) (6.5) 2.85
120 DFB 5 12 D1
121 RFB 12 2 POLY(2) (13.5) (6.5) 3.92
122 + -155M 0 1 -21M -70 1M
123 RBE 1 7 6 1
124 RE 7 2 2 2.56
125 CFZ 10 2 0.796U
126 RFE 10 2 D1
127 RZ 8 10 0.104
128 RE 9 8 100
129 RE 9 2 2 103.6
130 RT 2 4 100MEG
131 MODEL Q1 NPN (IS=10P BF=100
132 + VAF=1.27 NF=1.604)
133 MODEL D1 D (IS=10P N=1.604)
134 ENDS LM317
135 *****
136 ***** End of LM317's Spice Subcircuit Model *****
137 *****

```

Fig. 4. Modelado del circuito LM317 en Pspice.

```

142 ***** Regulated Voltage Supply based on the LM317's Subcircuit Model *****
143 *****
144 *** This defines a sinusoid of 120Vrms amplitude and 60 Hz:
145 VIN 2 0 SIN(0 169.7 60 0 0)
146 *** This defines a transformer:
147 K 1 1 2
148 L1 1 0 2040uH
149 L2 3 0 14.2mH
150 L3 4 0 14.2mH
151 K L1 L2 L3 1
152 *** This defines a Diode Rectification:
153 D1 4 5 D1N4004
154 D2 5 4 D1N4004
155 *** This defines the capacitance of the "RC circuit":
156 CF 5 0 1000uF
157 *** This defines the LED connected to the circuit:
158 D3 8 0 LT-543C-TYP
159 *** Connecting the subckt of the voltage regulator LM317 configured
160 *** to provide ~10VDC in the output:
161 XU1 5 6 7 LM317
162 R2 6 7 1k
163 R1 7 0 6.8k
164 *** Capacitor to the voltage regulator's input
165 C1 5 0 0.1uF
166 *** Capacitor to the voltage regulator's output
167 C2 6 0 1uF
168 *** Load resistance (RL) for the whole circuit.
169 RL 8 0 510
170 *** Diode model
171 MODEL D1N4004 D (IS=14.11n N=1.984 IFS=94.81 BV=600 IBV=10.00u RS=0.03389 TT=5.7u CJO=25.85p VJ=0.3245 M=0.44)
172 MODEL LT-543C-TYP D (IS=0.01a RS=3.665S TT=1.6953)
173 *** Time Analysis
174 .tran 1ms 100ms 0 1ms
175 *** Traces for the voltage at the LM317's input (node 5) and LM317's output (node 6).
176 probe V(5) V(6) I(RL)
177 .end

```

Fig. 5. Modelado del circuito a analizar en Pspice.

Así, tal como se puede apreciar en la figura anterior, el análisis en el tiempo que se lleva a cabo se evalúa en los nodos 5 y 6 en términos de voltaje (en otras palabras, la entrada y salida en el LM317), así como la corriente que atraviesa la resistencia de carga. Por consiguiente, se procede a ingresar aquella información en la siguiente tabla.

Resistencias de carga	V_{DC} en la entrada del regulador	V_R en la entrada del regulador	V_{DC} en la salida del regulador	V_R en la salida del regulador	I_{DC} en la carga	Factor de rizado (in/out)
510 Ω	13.14 3V	262.8 E-03	10.02 1V	33.37 9E-06	19.65 1E-03	0.019 /3.33 E-06
330 Ω	13.10 1V	310.2 5E-03	10.02 1V	47.68 4E-06	30.36 7E-03	0.023 /4.76 E-06
100 Ω	12.89 2V	782.2 8E-03	10.01 7V	256.7 14E-06	100.1 7E-03	0.060 /2.56 E-05
47 Ω	12.57 2V	1.484 5	9.999 V	166.3 19E-06	212.7 5E-03	0.118 /0.01 66
22 Ω	11.96 6V	2.563 4	9.545 V	1.434 8	433.8 5E-03	0.214 /0.30 23

Tabla. 1. Análisis del circuito de la figura 2 al variar RL.

De la tabla anterior, se puede apreciar que la corriente máxima corresponde a 433.85mA que es precisamente cuando la carga es 22 Ω . Asimismo, se puede observar que aquella corriente no corresponde a la corriente máxima pedida en el circuito, no obstante, allí mismo se puede resaltar que cuando se tiene RL=22 Ω , el factor de rizado así como V_R a la salida son muy altos en comparación a los demás valores. Por lo cual, lo anterior deja en evidencia que entre menor sea la carga, el comportamiento del LM317 va reduciendo su eficiencia como regulador, dejando de garantizar las condiciones planteadas.

C. Ausentando el regulador de voltaje

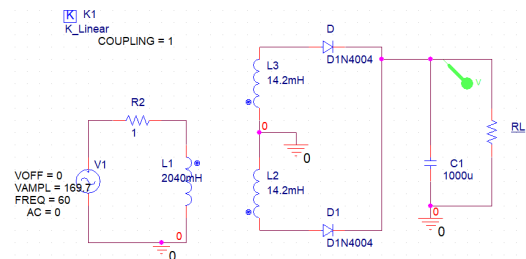


Fig. 6. Circuito analizado sin el circuito LM317 y todo lo relacionado a este.

A continuación, se procede a realizar un análisis en la carga, quitando totalmente lo relacionado con el circuito integrado regulador positivo de voltaje LM317.

Resistencias de carga	V_{DC} en la carga	V_R en la carga	I_{DC} en la carga	Factor de rizado
-----------------------	----------------------	-------------------	----------------------	------------------

510 Ω	13.173V	222.572mV	25.829mA	0.0169
330 Ω	13.118V	258.620mV	39.752mA	0.0197
100 Ω	12.81V	932.612mV	128.10mA	0.0728
47 Ω	12.396V	1.7250V	263.74mA	0.1392
22 Ω	11.709V	3.2537V	532.24mA	0.2779

Tabla. 2. Análisis del circuito de la figura 6 al variar RL.

De la tabla anterior, se puede observar cómo se va perdiendo control sobre lo relacionado con las variables como corriente y voltaje en la carga, que es precisamente el proceso que se llevó a cabo en la práctica 4.

III. CONCLUSIONES

- Es evidente el gran papel que desarrolla el LM317 en reducción de rizado, así como la conservación del voltaje DC a la salida de este en resistencias de mayor valor; lo cual permite un diseño de fuentes DC donde se requiere una regulación de voltaje estable y buena precisión en la tensión de salida. Sin embargo, se debe tener precaución con la carga a conectar, ya que entre menor sea esta, menor es el voltaje DC en la salida, el rizado aumenta y la corriente DC también lo hace.
- Es importante tener en cuenta la repercusión que tiene el valor de la capacitancia usada en el circuito, porque esta afecta el punto máximo y mínimo de voltaje que ingresa en el regulador, por lo que se debe garantizar que este tenga una diferencia de potencial suficiente para funcionar y entregar la salida requerida; en este caso específico, el LM317 requiere una diferencia de potencial igual a 3V en la señal de entrada.
- Por lo general, las fuentes de alimentación reguladas se utilizan para proporcionar una tensión constante a dispositivos electrónicos y circuitos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las protecciones son características importantes en una fuente de alimentación para evitar daños a los componentes conectados en caso de condiciones anormales o fallas. Y tal como se pudo analizar, entre menor sea la carga, el funcionamiento del circuito integrado como regulador de voltaje comienza a reducir su eficiencia, ocasionando que en la carga la corriente comience a incrementar, lo que puede traducir muchas veces en calentamiento de componentes e incluso daños de estos.

REFERENCIAS

- [1] Sedra, A., Smith, K. C., Carusone, T. C., & Gaudet, V. (2020). Microelectronic circuits 8th edition.

- [2] P. A. Gustavo. "Regulación de voltaje: Regulador con circuito integrado" . [video-Youtube]. Marzo 24, 2021. Disponible: ([520](#)) [Regulación de voltaje: Regulador con circuito integrado - YouTube](#)

- [3]