



FACULTAD DE INGENIERIA

Universidad de Buenos Aires

CIRCUITOS ELECTRÓNICOS II - 66.10

Trabajo práctico N° 1A

Análisis de fuente lineal

Alumnos:

IRUSTA Pablo Padrón N° 80171

pabirus@gmail.com

LUNA Diego Padrón N° 75451

diegorluna@gmail.com

NIERO Adrián Padrón N° 80533

adrianniero@gmail.com

ROMERO Daniel Padrón N° 69456

danielosrom@gmail.com

Docentes:

Ing. BERTUCCIO José Alberto

Ing. ACQUATICCI Fabián

Ing. MARCHI Edgardo

Ing. BULACIO Matías

Ing. D'ANGIOLO Federico

Ing. GAMEZ Pablo

13 de abril de 2019

Índice

Índice	I
1. Objetivos	1
1.1. Resumen de objetivos	1
1.2. Desarrollo	1
2. Análisis cualitativo	3
2.1. Secciones del circuito	3
3. Punto de reposo	4
4. Análisis de la ganancia a lazo abierto en regulación de tensión (bajas\medias frecuencias)	5
4.1. Análisis de la ganancia de la etapa diferencial, Q_{12}/Q_{13}	5
4.1.1. Análisis de la fuente espejo	5
4.1.2. Ganancia de tensión	5
4.1.3. Resistencia de entrada	5
4.1.4. Resistencia de salida	5
4.2. Análisis de la ganancia de la etapa en seguidor por emisor, Q_3	5
4.2.1. Análisis de la fuente de corriente	5
4.2.2. Ganancia de tensión	5
4.2.3. Resistencia de entrada	5
4.2.4. Resistencia de salida	5
4.3. Análisis de la ganancia de la etapa del par compuesto (Sziklai) en seguidor por emisor, Q_4/Q_5	5
4.3.1. Ganancia de tensión	5
4.3.2. Resistencia de entrada	5
4.3.3. Resistencia de salida	5
5. Análisis del camino de realimentación de tensión	6
5.1. Análisis de la ganancia de la etapa en seguidor por emisor, Q_{10}	6
5.2. Análisis de la ganancia de la etapa en seguidor por emisor, Q_9	6
5.3. Análisis del divisor resistivo de realimentación R_9/R_{10}	6
6. Observaciones y conclusiones	7
6.1. Observaciones y conclusiones	7
7. Bibliografía	9
Apéndices	11
A. Hojas de datos	11
A.1. TL431	11
A.2. TL082	11

Índice de figuras

1.1. Circuito completo con las secciones indicadas.	2
-------------------------------------------------------------	---

Índice de cuadros

3.1. Elementos del modelo de pequeña señal de los transistores en regulación de tensión.	4
3.2. Elementos del modelo de pequeña señal de los transistores en regulación de corriente.	4

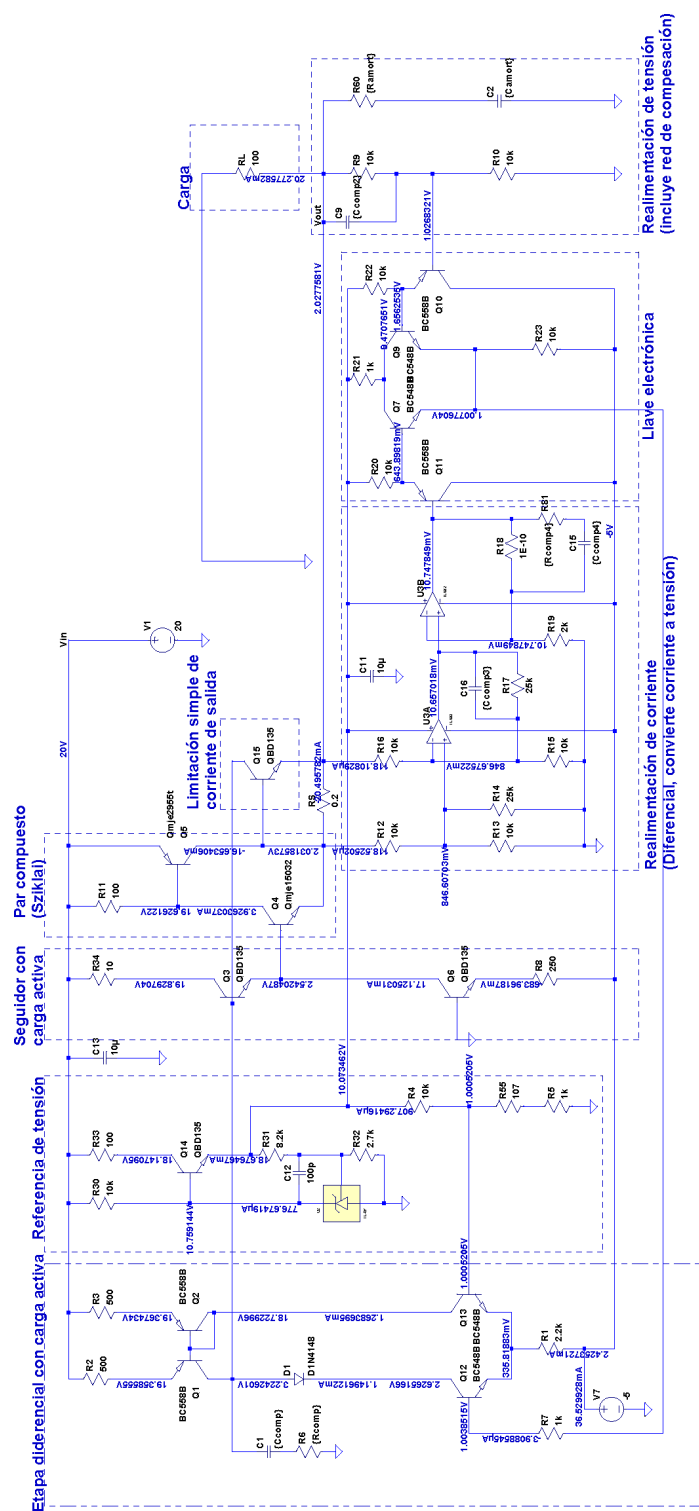
1. Objetivos

1.1. Resumen de objetivos

El trabajo práctico consiste en el análisis del circuito de una fuente de alimentación lineal realimentada. El análisis es por cálculo y por simulación con **SPICE** (**LTSPICE** específicamente en nuestro caso), de donde se pretende obtener una caracterización de la fuente de alimentación.

1.2. Desarrollo

Se hace un análisis cualitativo de la fuente para luego pasar a analizar las diferentes secciones del circuito, remitiendo a apartados donde sea necesario, para explicar conceptualmente algún subcircuito, luego haciendo una análisis de pequeña señal a frecuencias bajas y medias, para finalmente usando esta información, responder las preguntas propuestas en las consignas del trabajo práctico. En la figura [\[1.1\]](#) se muestra el circuito completo usado para la simulación donde se puede ver las subsecciones que se analizarán, en el mismo también se muestran los puntos de reposo obtenidos para una condición particular de carga.



2. Análisis cualitativo

2.1. Secciones del circuito

La topología del circuito corresponde a la de un típico amplificador de potencia de tres etapas realimentado, donde la “señal” a amplificar es una referencia de tensión, armada en torno a una referencia de tensión comercial, el **TL431**, la tensión de salida es muestreada y sumada a la entrada, formando un lazo de realimentación **serie-paralelo**, estabilizando la tensión de salida, el resultado de esta configuración es una fuente de tensión regulada. El circuito además posee un segundo lazo de realimentación, donde se muestrea la corriente de salida, se convierte a tensión y se suma a la entrada, formando un lazo de realimentación **serie-serie**, estabilizando la corriente de salida. El circuito trabaja con solo uno de los lazos de realimentación funcionando en un dado momento, el switcheo de uno a otro, se realiza en forma automática, con un subcircuito dedicado, según sea el estado de carga, el amplificador de potencia es el mismo en ambos lazos, solo cambia la red de realimentación. El circuito además cuenta con una limitación extra de corriente que actúa únicamente durante transitorios, además el circuito se encuentra compensado en frecuencia en ambos lazos (tema de la segunda parte del trabajo práctico). En el circuito se pueden diferenciar claramente las secciones que se marcan en la figura [1.1], las mismas son:

- Amplificador diferencial con carga activa: realiza la suma (resta) de la señal realimentada y provee amplificación.
- Referencia de tensión: Provee una tensión estable de referencia de aproximadamente $1V$ y además provee alimentación para algunas partes del circuito ($10V$).
- Seguidor con carga activa: Provee adaptación de impedancia entre la primera y la tercera etapa.
- Par compuesto (Sziklai): Maneja la corriente de salida, presentando a la carga una muy baja impedancia y una alta impedancia a la segunda etapa.
- Limitación de corriente simple: Formada solo por un transistor que limita durante transitorios, simplemente deriva corriente de la base del seguidor.
- Llave analógica: Hace el switcheo automático entre los lazos de tensión y corriente, es prácticamente transparente a fines prácticos.
- Realimentación de tensión: Red de muestreo y realimentación de tensión (la mitad de la llave forma parte de la misma).
- Realimentación de corriente: Red de muestreo y realimentación de corriente (la mitad de la llave forma parte de la misma).

3. Punto de reposo

Se hizo inicialmente un cálculo del punto de reposo en forma manual para la fuente de alimentación en regulación de tensión y de corriente, pero los valores obtenidos a pesar de ser lógicos diferían bastante respecto de la simulación, en particular, como es de esperarse, la etapa diferencial, por lo tanto se decidió utilizar los valores obtenidos de la simulación para los puntos de trabajo y los elementos del modelo de pequeña señal de cada dispositivo activo. A continuación en los cuadros [3.1] y [3.2] se resumen los valores obtenidos para todos los transistores en el caso de regulación de tensión ($R_L = 100\Omega$) y regulación de corriente ($R_L = 0\Omega$) respectivamente.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q9	Q10	Q12	Q13	Q14
$I_C [mA]$	1.28	1.26	17	3.93	16.7	17.1	0.603	0.837	1.15	1.27	18.5
$gm [\frac{A}{V}]$	4.89e-2	4.79e-2	6.58e-1	1.21e-1	7.43e-1	6.62e-1	2.32e-2	3.2e-2	4.39e-2	4.85e-2	7.15e-1
$r_\pi [\Omega]$	8.08 k	5.74 k	197	927	189	184	14.5 k	10.1 k	7.21 k	8.12 k	174
$r_o [\Omega]$	40.7 k	28.9 k	13.9 k	10.5 k	2.1 k	13 k	117 k	50.9 k	56 k	63.5 k	12.3 k
β	395	275	130	112	140	122	335	324	316	394	124

Cuadro 3.1: Elementos del modelo de pequeña señal de los transistores en regulación de tensión.

El par de transistores transistores Q_7/Q_{11} no se considera por estar Q_7 cortado, lo mismo para el transistor Q_{15} , en el punto correspondiente se explica las razones y el funcionamiento del subcircuito.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q11	Q12	Q13	Q14
$I_C [mA]$	1.28	1.26	17.2	19.7	2040	17.1	0.603	0.837	1.15	1.27	18.5
$gm [\frac{A}{V}]$	4.9e-2	4.79e-2	6.64e-1	6.07e-1	54.3	6.62e-1	2.32e-2	3.2e-2	4.39e-2	4.85e-2	7.15e-1
$r_\pi [\Omega]$	8.32 k	5.75 k	197	186	2.11	183	14.5 k	10.1 k	7.21 k	8.12 k	174
$r_o [\Omega]$	41.8 k	29 k	13.9 k	2.12 k	17.9 k	12.9 k	117 k	50.9 k	56 k	63.5 k	12.3 k
β	407	275	131	113	115	121	335	324	316	394	124

Cuadro 3.2: Elementos del modelo de pequeña señal de los transistores en regulación de corriente.

El par de transistores transistores Q_9/Q_{10} no se considera por estar Q_9 cortado, lo mismo para el transistor Q_{15} , ídem al caso anterior. El diodo D_1 presenta una resistencia dinámica equivalente de $r_{d_{D_1}} = 46,8\Omega$ en ambos casos, también presenta una capacidad equivalente que no es considerada para el reposo (pero es importante en su funcionamiento dinámico).

Algo importante a observar es la perfecta inversión de los puntos de reposo de los pares de transistores Q_9/Q_{10} y Q_7/Q_{11} , sus puntos de reposo son idénticos al estar activos en el correspondiente lazo de realimentación, se explica en detalle mas adelante. El transistor Q_{15} solo conduce por breves períodos de tiempo al limitar picos de corriente, en estado estacionario siempre está cortado.

4. Análisis de la ganancia a lazo abierto en regulación de tensión (bajas\medias frecuencias)

4.1. Análisis de la ganancia de la etapa diferencial, Q_{12}/Q_{13}

4.1.1. Análisis de la fuente espejo

4.1.2. Ganancia de tensión

4.1.3. Resistencia de entrada

4.1.4. Resistencia de salida

4.2. Análisis de la ganancia de la etapa en seguidor por emisor, Q_3

4.2.1. Análisis de la fuente de corriente

4.2.2. Ganancia de tensión

4.2.3. Resistencia de entrada

4.2.4. Resistencia de salida

4.3. Análisis de la ganancia de la etapa del par compuesto (Sziklai) en seguidor por emisor, Q_4/Q_5

4.3.1. Ganancia de tensión

4.3.2. Resistencia de entrada

4.3.3. Resistencia de salida

5. Análisis del camino de realimentación de tensión

5.1. Análisis de la ganancia de la etapa en seguidor por emisor, Q_{10}

5.2. Análisis de la ganancia de la etapa en seguidor por emisor, Q_9

5.3. Análisis del divisor resistivo de realimentación R_9/R_{10}

6. Observaciones y conclusiones

6.1. Observaciones y conclusiones

7. Bibliografía

Referencias

- [1] *Circuitos Amplificadores de uno y varios transistores (1^{er} Edición)*
Author: Gregorio O. Glass
Author: Julio G. Zola
Publisher: Ed. Nueva Librería; 1^{er} Edición (Marzo 2010)
Copyright: © 2007, 2009, 2010, Nueva Librería S.R.L
ISBN 10: 9789871104588
Website: <http://laceserver.fi.uba.ar/c1/>

- [2] *Fundamentals of Microelectronics (1st Edition)*
Author: Behzad Razavi
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 1st Edition (January 2008)
Copyright: © 2008, John Wiley & Sons, Inc.
ISBN 10: 0471478466
Website: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-EHEP000490.html>

- [3] *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits (3rd Edition)*
Author: Paul R. Gray
Author: Robert G. Meyer
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 3rd Edition (January 15, 1993)
Copyright: © 1993, John Wiley & Sons, Inc.
ISBN 10: 0471574953
Website: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-EHEP000220.html>

- [4] *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits (4th Edition)*
Author: Paul R. Gray
Author: Paul J. Hurst
Author: Stephen H. Lewis
Author: Robert G. Meyer
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 4th Edition (2001)
Copyright: © 2001, John Wiley & Sons, Inc.
ISBN 10: 0471321680
ISBN 13: 9780471321682

Website: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-EHEP000220.html>

- [5] *Circuitos microelectrónicos (4^{ta} Edición) español*
Author: Adel. S. Sedra
Author: Kenneth C. Smith
Publisher: Oxford, University press; 4^{ta} Edición (2001)
Copyright: © 1999, Oxford, University press México.
Original Copyright: © 1998, 1991, 1987, 1982, Oxford, University press Inc.
ISBN 10: 01951166310
Website: <http://www.oup.com/us/companion.websites/0195142519/>
- [6] *Microelectronic circuits (5th Edition)*
Author: Adel. S. Sedra
Author: Kenneth C. Smith
Publisher: Oxford, University press; 5th Edition (2004)
Copyright: © 2004, 1998, 1991, 1987, 1982, Oxford, University press Inc.
ISBN 10: 0195142527
Website: <http://www.oup.com/us/companion.websites/0195142519/>
- [7] *The Listings Package*
Author: Carsten Heinz
Author: Brooks Moses
Copyright: © 1996–2004, Carsten Heinz; © 2006–2007, Brooks Moses.
Website: <http://www.ctan.org/pkg/listings>.
- [8] *The Listingsutf8 Package*
Author: Heiko Oberdiek
Copyright: © 2007, Heiko Oberdiek.
Website: <http://www.ctan.org/pkg/listingsutf8>.

Apéndices

A. Hojas de datos

A.1. TL431

TL431

Adjustable precision shunt regulator

Manufacturer page: <http://www.ti.com/product/TL431>

Manufacturer Datasheet: <http://www.ti.com/lit/gpn/tl431>

A.2. TL082

TL082

Dual High Slew Rate JFET-Input Operational Amplifier

Manufacturer page: <http://www.ti.com/product/TL082?keyMatch=TL082>

Manufacturer Datasheet: <http://www.ti.com/lit/gpn/tl082>

