

## APÉNDICE A. Corriente de ruido en el fotodiodo ФД-263

Este apéndice discute algunas de las fuentes dominantes de ruido que limitan la sensibilidad en configuraciones coherentes y de detección directa en el receptor. Cada fuente de ruido será tratada independientemente comprendiendo que el ruido total está dado sumando el cuadrado de cada término. Por cuestiones de comparación, todas las fuentes de ruido serán referidos a la corriente de salida del fotodiodo. Figura A.1. Ésta posición es conveniente para comparar ruido generado eléctricamente y ópticamente. El ruido de fotocorriente puede ser fácilmente relacionado con la sensibilidad óptica usando la responsividad del fotodiodo. Excepto por el cambio de unidades, el valor numérico de la fotocorriente de la fotocorriente y potencia óptica son casi idénticas.

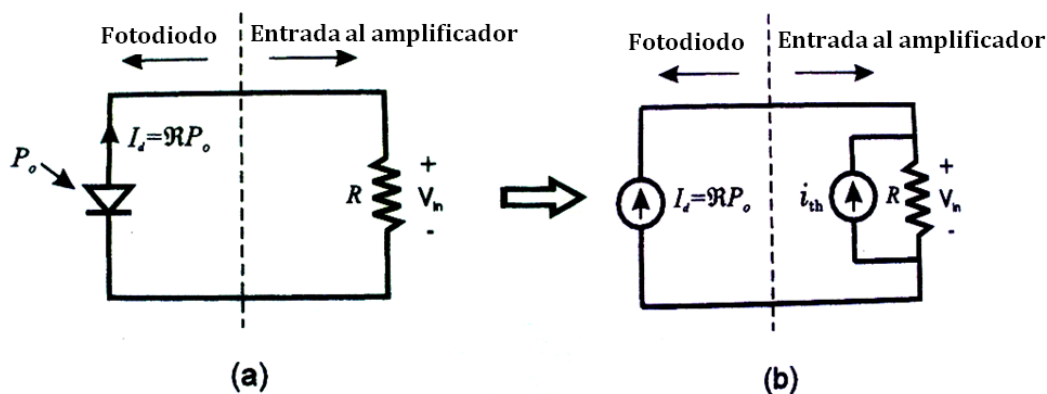


Figura A.1 (a) Ilustración simplificada de un fotodiodo conectado a un amplificador eléctrico. (b) Circuito equivalente modelando la salida del fotodiodo y el ruido térmico resistivo utilizando una fuente de corriente ideal

### A1. Ruido Eléctrico - Térmico

Una fuente común de ruido, que es necesario considerar en casi todo el proceso de detección es el ruido térmico generado en el receptor electrónico. Si el proceso de amplificación es considerado ideal, es decir, no genera ruido excesivo, el ruido

recibido resultante será determinado por el ruido térmico generado por la primera resistencia encontrada por la fotocorriente. Conforme la resistencia incrementa la sensibilidad óptica mejora.

El ruido térmico de una resistencia puede ser modelado y generado por una fuente de corriente o voltaje. Como la señal del fotodiodo parece como si fuera generada por una fuente de corriente, es más conveniente usar el modelo de corriente de ruido para describir el ruido térmico. Esto permite comparar directamente la corriente de ruido con la fotocorriente generada.

La figura A.1 muestra la configuración básica para generar una señal de voltaje usando un fotodiodo y una resistencia externa. La figura A.1b es un circuito equivalente simplificado el cual usa fuentes de corriente para modelar el fotodiodo y el ruido térmico generado por la resistencia. Por simplicidad, el circuito equivalente ha sido omitido, pero necesitaría ser incluido para determinar el ruido efectivo en el circuito. Como es mostrado en la figura A.1b, La corriente de ruido térmico  $i_{th}$  generado en un ancho de banda de 1 [Hz] está dado por:

$$\hat{i}_{th} = \sqrt{\frac{4kT}{R}} \quad [A/\sqrt{Hz}] \quad A.1$$

Donde

$k$  = constante de Boltzmann  $1.38 \times 10^{-23}$  [J/K]

$T$  = Temperatura absoluta en grados Kelvin

$B$  = Ancho de Banda en detectado en el receptor.

$R$  = Es la resistencia que la fotocorriente experimenta

El símbolo de corriente rms ( $\hat{\phantom{x}}$ ) mostrado arriba, es usado para indicar que la corriente de ruido está normalizada a un ancho de banda de 1 [Hz]. Esta Expresión normalizada es usada cuando comparan la magnitud del ruido térmico con otras fuentes de ruido en el sistema. La corriente de ruido total rms ( $i_{th}$ ) es obtenida multiplicando A.1 por la raíz cuadrada del ancho de banda del receptor.

$$i_{th} = \hat{i}_{th} \sqrt{\Delta f} \quad [A] \quad A.2$$

Como se ve en la ecuación A.1, el ruido de corriente térmico es reducido al incrementar la resistencia. Este es un resultado opuesto si consideramos circuitos electrónicos basados en voltajes. Aunque una resistencia grande reduce el ruido en el receptor, el valor usado está comprometido entre la sensibilidad y el ancho de banda del receptor.

En la práctica, el ruido actual a la salida del amplificador será mucho mayor debido al ruido excesivo agregado en el proceso de amplificación. Sin embargo, la ecuación A.1 sigue siendo útil y pronostica el mejor desempeño posible a una impedancia específica receptora.

### A.2 Ruido de disparo (shot noise)

El ruido de disparo eléctrico ocurre por el tiempo de llegada aleatorio de los electrones que provoca una corriente eléctrica. Usualmente se convierte en una importante fuente de ruido cuando se trata de medir una señal pequeña en la presencia de una señal de fondo DC. Este caso normalmente ocurre en esquemas de detección coherente, donde una pequeña corriente de AC está siendo medida en la presencia de un largo fondo debido a la corriente de DC del oscilador local. La corriente en rms de shot-noise en 1 [Hz] de ancho de banda esta dado por:

$$\hat{i}_{sn} = \sqrt{2qI_{dc}} \quad [A/\sqrt{Hz}] \quad A.3$$

Donde

$q = 1.6 \times 10^{-19}$  [C] (carga del electrón)

$I_{dc}$  = Fotocorriente de oscuridad (*dark current*)

Sin filtración de frecuencia, el ruido de disparo es espectralmente plano y por lo tanto tiene el mismo valor en cada medición de frecuencia. Para calcular la corriente total rms del ruido de disparo ( $i_{sn}$ ) de un circuito eléctrico con un ancho de banda efectivo ( $\Delta f$ ), la ecuación A.3 debe ser multiplicada por la raíz cuadrada del ancho de banda.

$$i_{sn} = \hat{i}_{sn} \sqrt{\Delta f} \quad [A]$$

Una observación interesante se puede hacer cuando se compara el ruido de disparo con el ruido térmico, Como el nivel del ruido de disparo depende de la corriente de la señal, habrá un punto que incrementando la corriente DC el valor del ruido de disparo excederá el ruido térmico. Ese punto ocurre cuando el voltaje que atraviesa la resistencia llega ser mayor a 52 mV. Este nivel de voltaje es independiente del valor de la resistencia y es utilizado ampliamente en la práctica como un fácil método para determinar cual de los dos tipos de ruido es dominante. Si el proceso de amplificación genera ruido en exceso, el valor de 52 mV necesita ser incrementado adecuadamente. Otro punto importante que mencionar es el especial significado que tiene el límite de ruido de disparo en un proceso de detección coherente. En este régimen, el receptor tiene sensibilidad óptima con una potencia equivalente de ruido igual a un solo fotón por tiempo de integración en el receptor.

# APÉNDICE B.

## Especificaciones Amplificador Operacional LF356



**LF155-LF255-LF355**  
**LF156-LF256-LF356**  
**LF157-LF257-LF357**

**WIDE BANDWIDTH**  
**SINGLE J-FET OPERATIONAL AMPLIFIERS**

- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- HIGH SPEED J-FET OP-AMPS : up to 20MHz, 50V/μs
- OFFSET VOLTAGE ADJUSTMENT DOES NOT DEGRADE DRIFT OR COMMON-MODE REJECTION AS IN MOST OF MONOLITHIC AMPLIFIERS
- INTERNAL COMPENSATION AND LARGE DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE CAPABILITY (UP TO  $V_{CC}^+$ )

### TYPICAL APPLICATIONS

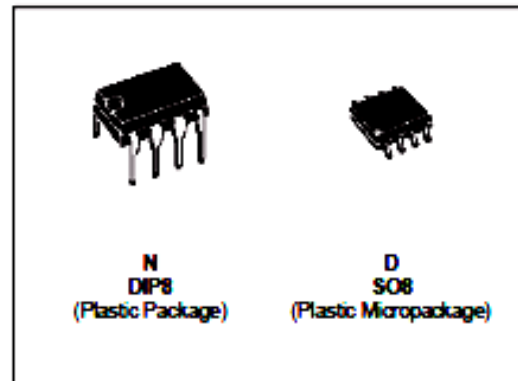
- PRECISION HIGH SPEED INTEGRATORS
- FAST D/A AND CONVERTERS
- HIGH IMPEDANCE BUFFERS
- WIDEBAND, LOW NOISE, LOW DRIFT AMPLIFIERS
- LOGARITHMIC AMPLIFIERS
- PHOTOCELL AMPLIFIERS
- SAMPLE AND HOLD CIRCUITS

### DESCRIPTION

These circuits are monolithic J-FET input operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET on the same chip with standard bipolar transistors.

This amplifiers feature low input bias and offset currents, low input offset voltage and input offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection.

The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low 1/f noise level.

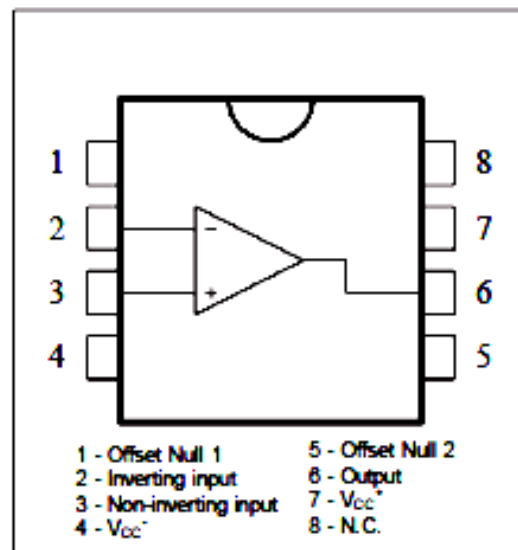


### ORDER CODES

| Part Number         | Temperature Range | Package |   |
|---------------------|-------------------|---------|---|
|                     |                   | N       | D |
| LF355, LF356, LF357 | 0°C, +70°C        | •       | • |
| LF255, LF256, LF257 | -40°C, +105°C     | •       | • |
| LF155, LF156, LF157 | -55°C, +125°C     | •       | • |

Example : LF355N

### PIN CONNECTIONS (top view)



### APÉNDICE C.

**Coeficiente de Absorción Vs Energía de Fotón y Longitud de Onda para Ge, Si, GaAs, GaN y otros semiconductores a T=300° K**

