

NOMBRE Y APELLIDOS:	GRUPO
---------------------	-------

INSTRUCCIONES PARA EL EXAMEN (No se puntuarán las respuestas entregadas que no se ajusten a lo indicado en estas instrucciones)

- La duración total del examen **es de 3 horas**
- El examen consta de las instrucciones para la realización del mismo y **un caso de estudio dividido en 5 partes**, distribuidos en 4 hojas (8 páginas)
- La puntuación y tiempo estimado de realización se encuentran indicados en el título de cada parte del examen
- **Es obligatorio poner el nombre, apellidos y grupo** en el que el estudiante se encuentra matriculado **en esta primera hoja del enunciado del examen (INSTRUCCIONES), al comienzo del mismo.**
- Junto con el enunciado, **cada estudiante tendrá hojas en blanco** para contestar a **todas las partes del examen**, y para realizar operaciones en **sucio**. Todas estas hojas **tienen que tener incluidos el nombre, apellidos y grupo del estudiante, al comienzo del examen**
- **Todas las partes del examen se contestarán en hojas en blanco.** En la **parte 3** debe incluirse también obligatoriamente el **Diagrama de Bode** disponible al final del enunciado, con el nombre apellidos y grupo del estudiante, aunque esté en blanco.
- **Cada parte se contestará en hojas separadas**
- Al final del examen, el estudiante **DEBE ENTREGAR EL ENUNCIADO DEL EXAMEN y AL MENOS 1 HOJA POR CADA PARTE, CON EL TÍTULO DE LA PARTE Y SU RESPUESTA** (aunque esta respuesta quede en blanco)
- **EN TODAS LAS PREGUNTAS DEL EXAMEN ES OBLIGATORIA LA DEDUCCIÓN DE LAS RESPUESTAS** (NO ES VÁLIDA LA APLICACIÓN DIRECTA DE FÓRMULAS SIN DEDUCIR, SALVO LAS QUE SE INDIQUE EXPRESAMENTE EN EL ENUNCIADO) **y LA JUSTIFICACIÓN DE TODAS LAS APROXIMACIONES QUE SE REALICEN** EN LOS CÁLCULOS QUE SE PIDEN.
- Se debe **contestar a cada pregunta de forma clara, limpia y ordenada**, evitando enmiendas y tachaduras en las respuestas que se entreguen.

NOMBRE Y APELLIDOS:

GRUPO

Se quiere diseñar un sistema electrónico para **medir la frecuencia cardíaca y encender un LED rojo en caso de que el número de latidos por minuto, l.p.m, sea superior a 120**. La medida se basa en la variación de capacidad que se obtiene en la arteria radial de la muñeca, por el efecto de los latidos del corazón. En una primera aproximación simplificada, para evaluar la funcionalidad del sistema, se va a considerar que la variación de capacidad que se mide en la arteria, que reproduce el pulso cardíaco, tiene la forma que se indica en la figura 1. En cada latido, durante un tiempo de 50ms, la capacidad equivalente se considera de 90pF, mientras que durante el tiempo restante (variable según el ritmo cardíaco) la capacidad se estima en 60pF. La señal tiene un período variable, en función de la frecuencia cardíaca. Se considera como rango posible de medida un período mínimo de 1 segundo (60 l.p.m) y un período máximo de 300ms (200 l.p.m.). El período a partir del cual debe encenderse el LED rojo es de 500ms (120 l.p.m).

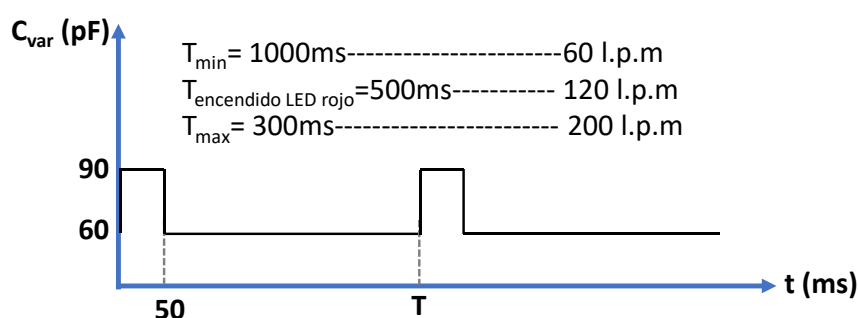


Figura 1. Modelo simplificado de la variación de la capacidad en la arteria radial

El esquema completo del sistema electrónico diseñado es el que se muestra en la figura 2:

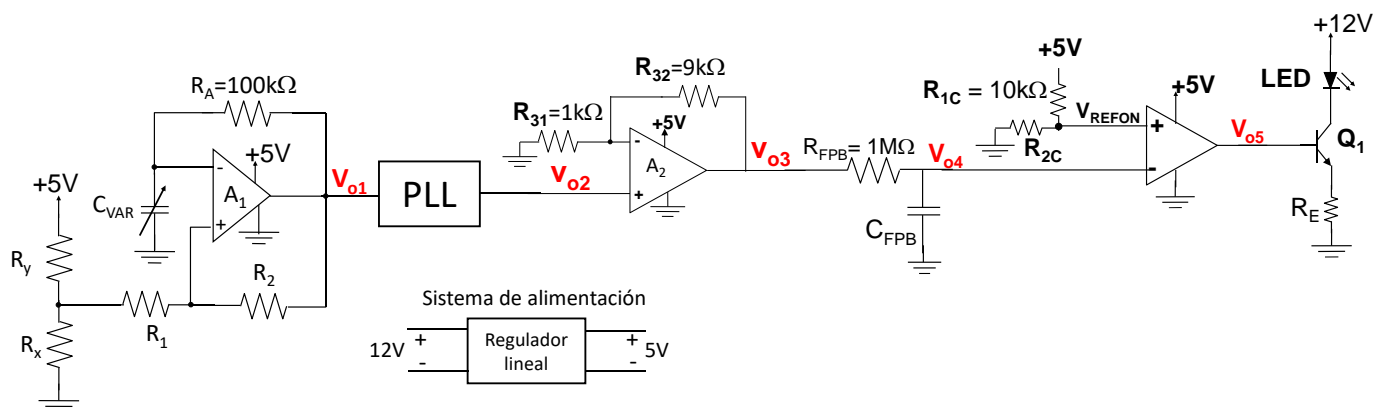


Figura 2. Esquema completo del sistema electrónico diseñado para evaluar la frecuencia cardíaca y encender un LED rojo de alarma en caso de que se obtengan más de 120 l.p.m

La primera etapa del sistema diseñado consiste en un multivibrador astable, donde el efecto capacitivo es la capacidad variable, C_{var} , de la medida en la arteria radial. A la salida de esta primera etapa, V_{o1} , se tiene una señal modulada en frecuencia: durante los 50ms de la duración del latido la frecuencia es f_{latido} y durante el tiempo restante la frecuencia es f_{reposo} . Para demodular la salida V_{o1} , como segunda etapa se va a utilizar un PLL básico de primer orden, cuya salida es V_{o2} . La salida del PLL se va a amplificar mediante la tercera etapa, cuya salida es la tensión V_{o3} . A continuación, se obtiene el valor medio de V_{o3} (señal V_{o4}) mediante un filtro paso bajo y se compara con la tensión de referencia (V_{REFON}) correspondiente al umbral de 120 l.p.m., mediante un comparador cuya salida es V_{o5} . A la salida de dicho comparador se incorpora el LED rojo, con su correspondiente driver, que debe encenderse cuando la frecuencia cardíaca sea superior 120 l.p.m y permanecer apagado, en caso contrario. El sistema se alimenta con una tensión continua de 5V. **Dicha tensión se obtiene mediante un regulador de tensión lineal, a partir de una batería de 12V.**

NOMBRE Y APELLIDOS:

GRUPO

PARTE 1 (25 minutos, 1.75 puntos)

Análisis del multivibrador astable (ETAPA 1) que genera la tensión V_{o1} de la figura 2.

DATOS: Esquema detallado del multivibrador astable (ETAPA 1) del sistema de la figura 2:

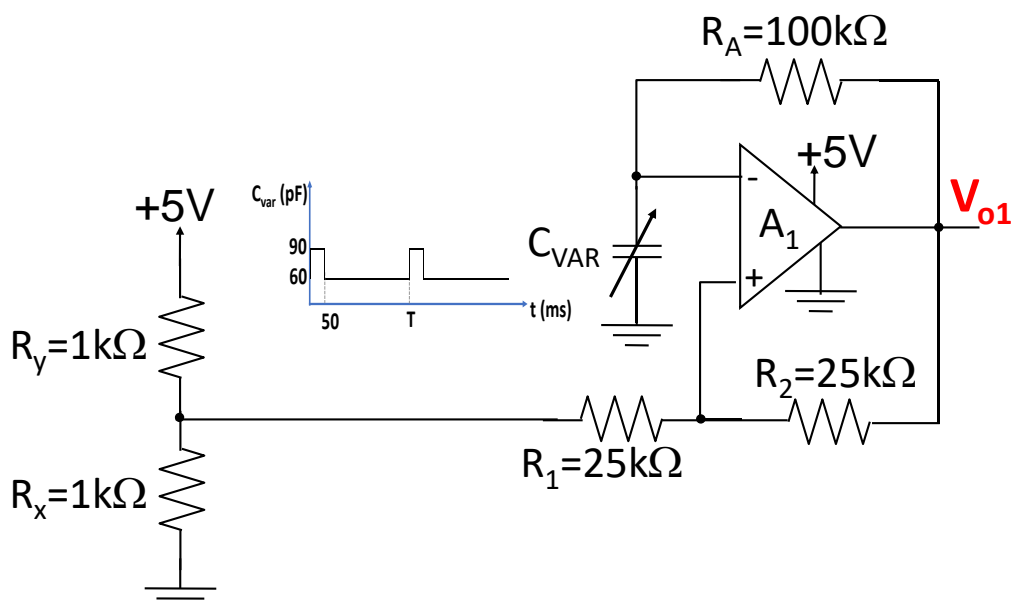
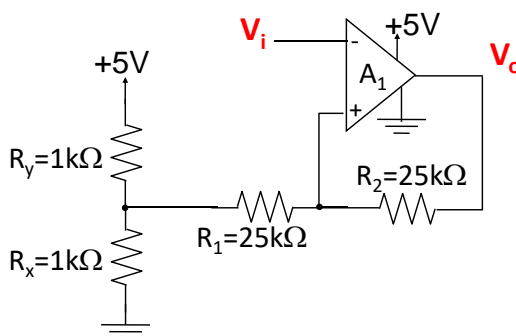


Figura 3. Esquema detallado del multivibrador astable

Se pide que conteste razonadamente a las siguientes preguntas:

1. Calcule las tensiones de los umbrales del comparador con histéresis (disparador de Schmitt) de la siguiente figura, con el que se construye el multivibrador astable del sistema:



2. Dibuje las formas de onda presentes en la salida, V_{o1} , y las entradas no inversora (V_+) e inversora (V_-) del multivibrador astable de la figura 3, en régimen permanente
3. Determine la expresión de la frecuencia de la señal generada en V_{o1} , en función de los componentes del circuito.
4. Calcule el valor de la frecuencia de la señal generada en V_{o1} , durante un latido (f_{latido}) y en el intervalo de tiempo entre latidos (f_{reposo})
5. Suponiendo que el tiempo de subida y el de bajada de la señal V_{o1} son iguales, determine el valor mínimo que tendría que tener el Slew Rate (SR) del amplificador operacional A_1 para que el intervalo de tiempo total de subida (del 0% al 100%) sea siempre inferior al 10% del periodo de V_{o1}

NOMBRE Y APELLIDOS:	GRUPO
---------------------	-------

PARTE 2 (25 minutos, 1.75 puntos)

Análisis del PLL (ETAPA 2) para demodular la señal V_{o1} en su salida (V_{o2})

DATOS:

- Considere que la **señal V_{o1}** tiene una frecuencia de **50kHz en los latidos (f_{latido})** y una frecuencia de **75kHz entre latidos (f_{reposo})** y que el **período total entre latidos es de 500ms**.
- Constante característica del detector de fase: **$K_D = 0.6 \text{ V/rad}$**
- Función de transferencia del filtro del PLL: **$F(s) = 1$**
- Ganancia del amplificador del PLL: **$A_V = 1$**
- Constante característica del VCO: **$K_o = 450 \text{ krad/s.V}$**
- Frecuencia de oscilación libre del VCO: **$f_{fr} = 45\text{kHz}$**

Se pide que conteste razonadamente a las siguientes preguntas:

6. Represente el equivalente del PLL en estado de enganche.
7. Obtenga la función de transferencia del PLL: tensión de entrada del VCO (salida V_{o2}), respecto de la variación de frecuencia de la señal de entrada ($\Delta\omega_i$), en relación a la frecuencia de oscilación libre del VCO, asumiendo que el PLL permanece enganchado.
8. Determine el valor de la constante de tiempo del PLL, τ_{PLL} .
9. Dibuje esquemáticamente la evolución en el tiempo (1 período completo) de:
 - La señal de entrada del PLL, V_{o1} ,
 - La señal de variación de frecuencia de la señal de entrada ($\Delta\omega_i$), en relación a la frecuencia de oscilación libre del VCO
 - La tensión de salida del PLL; V_{o2}

NOMBRE Y APELLIDOS:	GRUPO
---------------------	-------

PARTE 3 (50 minutos, 3 puntos)

Análisis del amplificador (ETAPA 3) para amplificar la señal V_{o2} demodulada por el PLL

DATOS:

- Considere que la señal V_{o2} vale 70mV durante los 50ms del latido y 400mV durante el tiempo entre latidos
- Las características del amplificador operacional A_2 son las siguientes:
 - Resistencia de entrada a frecuencias medias: $R_{iA2} = 5M\Omega$
 - Resistencia de salida a frecuencias medias: $R_{oA2} = 100\Omega$
 - Función de transferencia: $A_2(jf) = \frac{V_{o3}}{V_{o2}}(jf) = \frac{10^5}{\left(1 + j \frac{f}{1kHz}\right) \cdot \left(1 + j \frac{f}{1MHz}\right) \cdot \left(1 + j \frac{f}{100MHz}\right)}$

Se pide que conteste razonadamente a las siguientes preguntas:

10. Dibuje el circuito equivalente en pequeña señal a frecuencias medias del amplificador (ETAPA 3), considerando que la resistencia de salida del PLL es despreciable. Identifique el tipo de realimentación del amplificador y determine los parámetros de la red β de realimentación.
11. Dibuje el circuito equivalente de la red A' , y calcule sus parámetros característicos a frecuencias medias: Resistencia de entrada, $R_{iA'}$, resistencia de salida, $R_{oA'}$, y ganancia A'_m
12. Determine la ganancia V_{o3}/V_{o2} y dibuje la señal de salida del amplificador, V_{o3} , acotada en amplitud
13. Represente el diagrama asintótico de Bode de $A'(jf)$
14. Compruebe si el amplificador realimentado es estable y determine su margen de ganancia y su margen de fase.

Nota: El alumno debe utilizar las plantillas para la representación de los diagramas de Bode, que se proporcionan al final del enunciado del examen. El alumno deberá entregar la hoja de los diagramas de Bode, con su nombre, apellidos y grupo de matrícula.

NOMBRE Y APELLIDOS:	GRUPO
---------------------	-------

PARTE 4 (20 minutos, 1.5 puntos)

Análisis de la ETAPA 4 (filtro paso bajo + comparador + driver LED rojo)

DATOS:

- Considere que la señal V_{o3} vale 0.7V durante los 50ms del latido y 4V durante el tiempo entre latidos

Se pide que conteste razonadamente a las siguientes preguntas:

15. Determine el valor que habría que dar al condensador C del filtro paso bajo (C_{FPB}) para que su frecuencia de corte sea, para cualquier condición de operación en el rango de medida del sistema, 100 veces menor a la frecuencia fundamental de la señal V_{o3}
16. Determine la expresión del valor medio de la señal V_{o3} en función de su ciclo de trabajo, $D=t_{\text{reposo}}/T$. Calcule el valor medio que se obtendría si el período total de la señal es 1s (60 l.p.m), 500ms (120 l.p.m) y 300ms (200 l.p.m)
17. Suponiendo que en V_{o4} se tiene el valor medio de la señal V_{o3} , determine el valor que habría que dar a la resistencia R_{2C} para que la salida del comparador sea 5V cuando la frecuencia cardíaca es superior a 120 l.p.m.
18. Considerando que la caída de tensión en el LED rojo en directa es $V_{LEDON} = 2V$, y que el transistor Q_1 es de silicio, determine el valor que tendría que tener la resistencia R_E para que la corriente de polarización del LED sea de 20 mA.

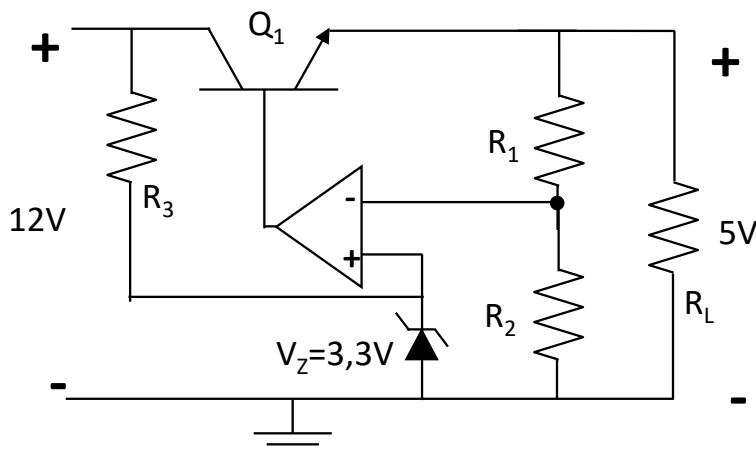
NOMBRE Y APELLIDOS:

GRUPO

PARTE 5 (30 minutos, 2 puntos)

Análisis del sistema de alimentación (regulador de tensión lineal).

DATOS: Esquema de partida del regulador lineal



- Corriente mínima Zener, $i_{z\min} = 5\text{mA}$
- Potencia máxima en Zener, $P_{z\max} = 0.4\text{W}$
- Potencia máxima en transistor Q_1 , $P_{\max Q_1} = 3.5\text{W}$

Se pide que conteste razonadamente a las siguientes preguntas:

- Calcular las resistencias R_1 y R_2 , para que la tensión a la salida del regulador sean los 5V requeridos.
- Calcular R_3 para el correcto funcionamiento del Zener
- Calcular la máxima corriente que puede entregarse a la carga R_L , sin que el transistor Q_1 sobrepase sus límites de funcionamiento
- Dibujar el regulador incluyendo el esquema de un limitador de corriente que permita limitar la corriente al valor máximo obtenido en el apartado anterior. Calcule el valor de la/s resistencia/s del limitador de corriente.
- Determinar el valor máximo que puede tener la resistencia de carga R_L para que el regulador, con el limitador de corriente incorporado, funcione como fuente de tensión
- Calcular el rendimiento del regulador de tensión lineal.

NOMBRE Y APELLIDOS:	GRUPO
---------------------	-------

