

Final Exam ELG4135
Date: 21 Dec. 2004
Instructor: Andy Adler

Examen Final ELG4535
Date: 21 Dec. 2004
Instructeur: Andy Adler

Directions: You have 3 hours to complete this exam. Each question is worth the same number of marks. This is a closed book exam; however, you are permitted to bring one 8.5" × 14" sheet of notes into the exam. You are permitted to use a calculator. You may not communicate with anyone during the exam except the instructor.

Directions: Vous avez 3 heures pour compléter cet examen. Chaque question vaut le même nombre de points. Cet examen est à livre fermé; pourtant, vous êtes permis d'apporter une feuille de notes de 8.5" × 14". Vous êtes permis d'apporter une calculatrice. Vous ne pouvez communiquer avec personne durant l'examen sauf l'instructeur.

Components: Unless indicated otherwise, you may make the following assumptions about electronic components:

- Op-amps are ideal: $SR=\infty$, $f_T=\infty$, $V_{OS}=0$, $I_B=0$, $I_{OS}=0$.
- Op-amps have $L_- = V_{EE} + 1V$, and $L_+ = V_{CC} - 1V$.
The common mode input range is from V_{EE} to $V_{CC} - 1V$.
- NPN transistors have $\beta=200$, $V_{BE}=0.6V$, and $V_{CE,sat}=0.2V$.
- PNP transistors have $\beta=50$, $V_{EB}=0.6V$, and $V_{EC,sat}=0.2V$.
- Diodes have $V_D = 0.6V$

Composants: A moins d'indication au contraire, tout composante électronique a des paramètres suivants.

- les amplis-op sont idéal: $SR=\infty$, $f_T=\infty$, $V_{OS}=0$, $I_B=0$, $I_{OS}=0$.
- Les amplis-ops ont $L_- = V_{EE} + 1V$, et $L_+ = V_{CC} - 1V$.
La plage mode-commun d'entrée est de V_{EE} à $V_{CC} - 1V$.
- transistors NPN ont $\beta=200$, $V_{BE}=0.6V$, et $V_{CE,sat}=0.2V$.
- transistors PNP ont $\beta=50$, $V_{EB}=0.6V$, et $V_{EC,sat}=0.2V$.
- Diodes ont $V_D = 0.6V$

Project: The goal of this project is to build a home made bicycle speedometer. The input signal is from a LED which shines across the spokes into a photodetector, and the output is a dial type voltmeter. The entire circuit is built to run from a single 9V battery. (**Note:** in real life, this circuit would be too unstable. The LED output would need to be modulated to prevent interference from ambient light; but that would take more than 3 hours to analyze)

Projet: Le but du projet est de construire un compteur de vitesse de velo. L'entrée du circuit provient d'un DEL qui illumine à travers les rayons à un photodétecteur; la sortie est un voltmètre. Le circuit entier est conçu pour fonctionner à partir d'une pile 9V. (**Note:** en réalité, ce circuit sera instable. Il faudrait que la sortie du DEL soit modulée pour prévenir l'interférence à partir de la lumière ambiante; pourtant, cela prendra plus que 3 heures d'analyser)

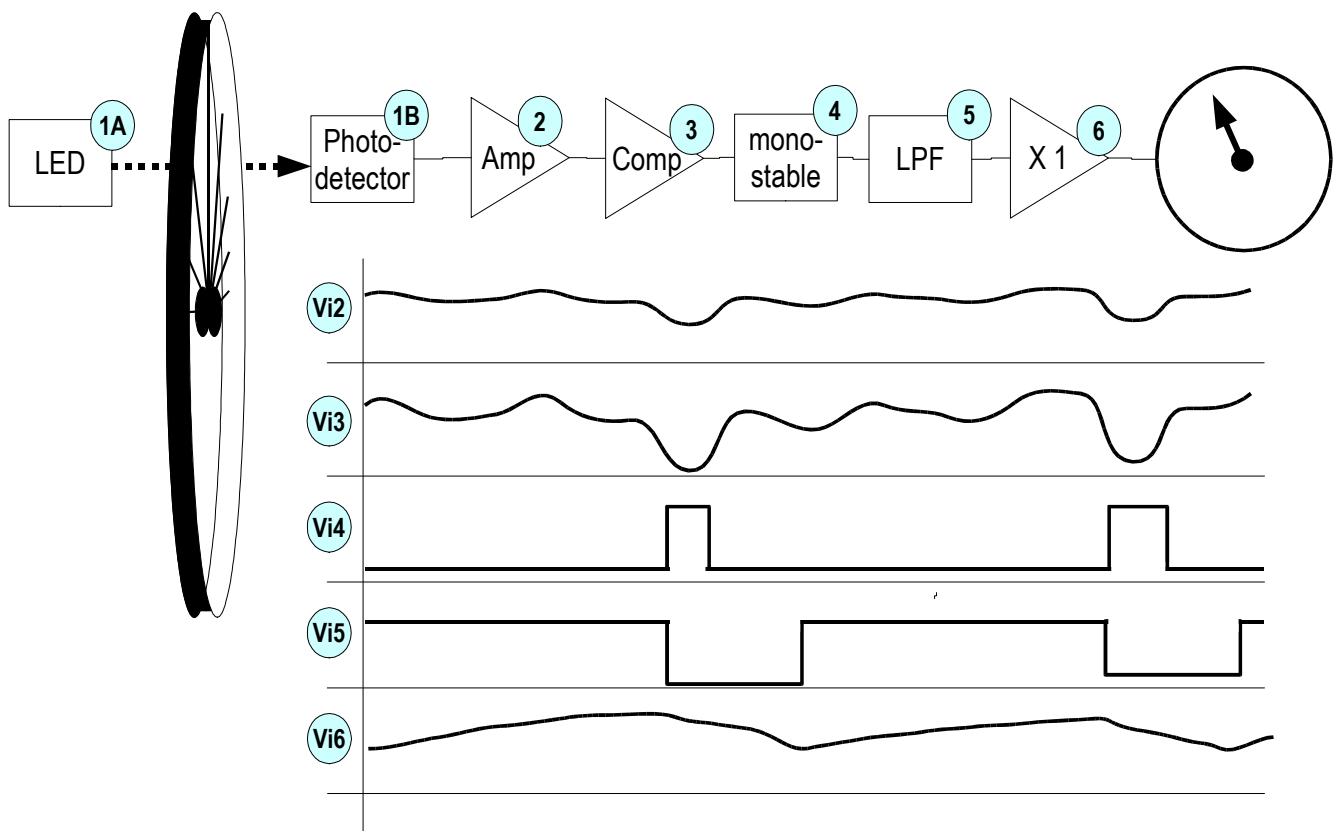


Fig. 1: Block diagram of circuit components and signals. The LED sends a light signal through the bicycle wheel, which is interrupted by the spokes. The photodetector measures light from the LED and outputs a voltage proportional to the light level

Fig. 1: Schéma bloc des composantes du circuit et signaux. Le DEL envoie un signal de lumière à travers la roue du velo, qui est interrompu par les rayons. Le photodétecteur mesure la lumière du DEL pour sortir une tension proportionnelle au niveau de lumière.

1. Amplifier / Amplificateur

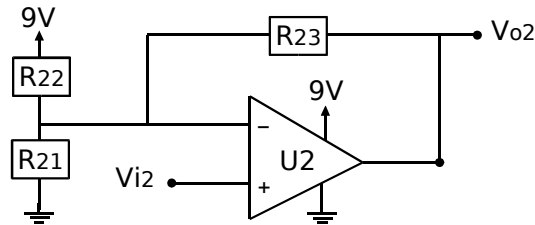


Fig. 2: Input amplifier / Amplificateur de l'entrée

- A. The input signal (V_{i2}) varies between 1.9V and 2V. It is desired to amplify this signal so that V_{o2} covers the range 1V to 6V using the non-inverting amplifier of Fig. 2. Using the formula

$$\text{Gain} = (V_o - V_{\text{ofs}}) / (V_i - V_{\text{ofs}})$$

calculate the value of *Gain* and V_{ofs}

Le signal d'entrée (V_{i2}) varie entre 1.9V et 2V. Il est nécessaire de l'amplifier pour que V_{o2} couvre la plage de 1V à 6V, en utilisant l'amplificateur à la non-inversion de Fig. 2. En utilisant le formule

$$\text{Gain} = (V_o - V_{\text{ofs}}) / (V_i - V_{\text{ofs}})$$

calculez la valeur du Gain et de V_{ofs}

- B. If $R_{23} = 500\text{k}\Omega$, what values of R_{21} and R_{22} are required?
Si $R_{23} = 500\text{k}\Omega$, quelles valeurs de R_{21} et R_{22} sont requises?
- C. If f_T for op-amp U2 is 2.0 MHz, at what input frequency will the gain be reduced to 0.5 (−3dB) of its DC value.
Si f_T pour l'ampli-op U2 est 2.0 MHz, à quelle fréquence d'entrée est-ce que le gain serait réduit à 0.5 (−3dB) de sa valeur ?
- D. If I_B for op-amp U2 is 50nA at the V_+ terminal, and 0nA at V_- , what is V_{o2} if V_{i2} is 2V through an output impedance of 500kΩ. (ie. the photodetector $Z_{\text{out}} = 500\text{k}\Omega$)
Si I_B pour l'ampli-op U2 est 50nA au terminal V_+ , et 0nA au terminal V_- , quelle est la sortie V_{o2} si V_{i2} est 2V à travers une impédance de sortie de 500kΩ. (ie. le photodetector a $Z_{\text{out}} = 500\text{k}\Omega$)

2. Comparator / Compareur

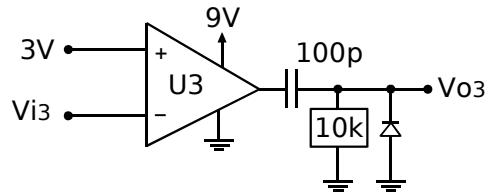


Fig. 3: Op amp based comparator, followed by an output wave shaping circuit. This circuit outputs the waveform shown in Fig. 4 in response to transitions from U3.

Compareur basé à l'ampli-op, suivi d'un circuit pour former la sortie («wave-shaping»). La sortie de ce circuit est la forme d'onde montrée à la Fig. 4 en réponse aux transitions de U3.

- A. Discuss one application where a Schmitt trigger comparator works better than a standard comparator. (30 words or less).

Discuter une application où le comparateur «Schmitt trigger» est meilleur que le comparateur standard (30 mots ou moins).

3. Monostable / Monostable

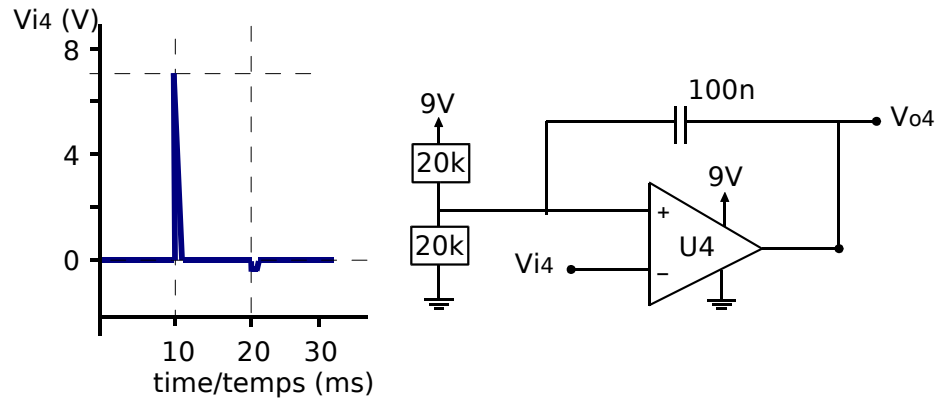


Fig. 4: Monostable (right), with input waveform (left). V_{i4} makes a rapid swing to 7V at $t=10\text{ms}$, and a rapid swing to -0.6V at $t=20\text{ms}$. V_{i4} returns to 0V within $1\mu\text{s}$ after each swing. **Note:** the common mode input range of U4 is infinite.

*Monostable (à droite) et signal d'entrée (à gauche). V_{i4} fait une transition rapide de 7V à $t=10\text{ms}$, and et une transition rapide à -0.6V à $t=20\text{ms}$. V_{i4} retourne à 0V en moins d'un $1\mu\text{s}$ après chaque transition. **Note:** la plage d'entrée mode commun de U4 est infinie.*

A. This circuit has a single threshold level, V_T . What is it?

Ce circuit a un seul seuil, V_T . Calculez le.

B. When V_{o4} swings from L_+ to L_- , then V_+ makes an abrupt transition, followed by an exponential. Sketch V_+ and V_{o4} and calculate the time constant.

Lorsque V_{o4} fait une transition de L_+ de L_- , V_+ fera une transition, suivi d'une forme exponentielle. Dessinez V_+ et V_{o4} et calculez le constant de temps.

C. Sketch V_{o4} for the input V_{i4} given in Fig. 4.

Dessinez V_{o4} pour l'entrée V_{i4} montrée à la Fig. 4.

D. Calculate times of any voltage transitions in the previous sketch.

Calculez le temps de toute transition de tension dans ce dessin.

4. Low pass filter / *Filtre passe-bas*

A low pass filter has been designed based on a third order Butterworth filter.

Reminder: Butterworth filter attenuation is:

$$A(\omega) = 10 \log(1 + \varepsilon^2(\omega/\omega_p)^{2N})$$

and the poles are located at (for $k = -\frac{1}{2}(N-1) \dots \frac{1}{2}(N-1)$)

$$\omega_k = -\omega_p(1/\varepsilon)^{(1/N)} \exp(j k\pi/N)$$

Un filtre passe-bas est créé basé sur une filtre Butterworth de 3^{ième} ordre.

Rappel: L'atténuation d'un filtre Butterworth est:

$$A(\omega) = 10 \log(1 + \varepsilon^2(\omega/\omega_p)^{2N})$$

et les poles sont au (pour $k = -\frac{1}{2}(N-1) \dots \frac{1}{2}(N-1)$)

$$\omega_k = -\omega_p(1/\varepsilon)^{(1/N)} \exp(j k\pi/N)$$

- A. The passband is selected to be at $f_p = 10\text{Hz}$, with $A_{\max} = 0.5\text{dB}$. What is f_s for an attenuation of $A_{\min} = 40\text{dB}$?

Le passebande est choisi pour que $f_p = 10\text{Hz}$, avec $A_{\max} = 0.5\text{dB}$. Quel est f_s pour que l'atténuation $A_{\min} = 40\text{dB}$?

- B. If the poles of the 2nd order stage are at $-(2 \pm j9)$ Hz, what is Q and ω_0 ? (**Note:** this question does not use the results from the previous one)

*Les poles d'un étage de 2^{ième} ordre sont à $-(2 \pm j9)$ Hz. Quel est Q et ω_0 ? (**Note:** cette question ne dépende pas de la précédente)*

- C. Design and sketch a LCR low pass filter for a gain of 1.0, and poles of $-(2 \pm j9)$ Hz. If a resistor is required, use $R=100\Omega$.

Faire le design est dessiner un filtre de type LCR avec un gain de 1.0 et les poles à $-(2 \pm j9)$ Hz. Si une résistance est requise, utiliser $R=100\Omega$

- D. For the LCR filter in the previous question, would it be cheaper to build an active filter (with op amps)? Why or why not? (30 words or less)

(**Note:** Look at the component values)

Pour le filtre LCR de la question précédente, est-ce qu'il serait plus économique de construire un filtre active (avec amplis-op)? Pourquoi? (30 mots ou moins)

(**Note:** Discuter la taille des composantes)

5. Output stage / Étage de sortie

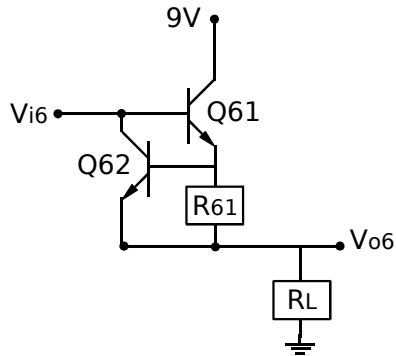


Fig. 6: Output stage protection circuit / *circuit de protection de la sortie*

- A. An output protection circuit is built to protect the circuit when the current into R_L would be more than 10 mA. What value of R_{61} is required?
Un circuit de protection de sortie est conçu pour protéger le circuit lorsque le courant dans R_L devrait être plus que 10 mA. Quel est la valeur de R_{61} requise?
- B. What is the maximum value of R_L which could activate the protection circuit?
What is V_{i6} in this case?
*Quelle est la valeur maximale de R_L qui pourrait activer le circuit de protection?
Quel est V_{i6} dans ce cas?*