



Examen

Guitare électrique

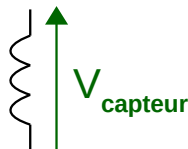
Anthony Juton – décembre 2020 - 1h30

Sur une guitare électrique, des capteurs magnétiques convertissent la vibration des cordes en signal alternatif. Le signal de ces capteurs est ensuite amplifié et filtré dans la guitare, de manière réglable, pour ensuite être amplifié de nouveau et dirigé vers un haut-parleur. Cet examen se propose d'étudier les différents étages d'amplification/filtrage d'une guitare électrique, en simplifiant parfois pour faire un devoir de 1h30. Les parties sont indépendantes, exceptée la dernière question.

1. Les composants de la guitare

1.1. Le capteur magnétique

Le capteur est une bobine aux bornes de laquelle on mesure la tension induite par la vibration de la corde. Il est parfois nommé injustement « micro ». Il sera représenté de la manière suivante :



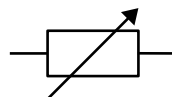
Lorsqu'une corde vibre, la tension à ses bornes est une tension sinusoïdale de valeur maximale environ 1V et de valeur moyenne 0V.

Q1. Tracer la tension $v_{\text{capteur}}(t)$ pour une fréquence de 200 Hz.

Q2. Donner l'amplitude complexe $\underline{V}_{\text{capteur}}$ associée à $v_{\text{capteur}}(t)$.

1.2. Les potentiomètres de réglage

Les deux potentiomètres de réglage de la guitare (volume et tonalité) sont utilisés ici comme des résistances variables. Leur symbole est le suivant :



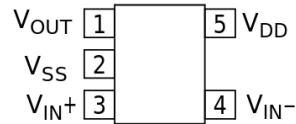
Le comportement d'un potentiomètre utilisé en résistance variable est identique à celui d'une résistance, si ce n'est que la valeur dépend du réglage, de 0 à la valeur maximale indiquée sur le potentiomètre.

1.3. L'amplificateur opérationnel

La guitare est équipée d'un préamplificateur basé sur un amplificateur opérationnel Microchip MCP6H01. La guitare dispose d'une alimentation +/-5V, notamment pour alimenter cet amplificateur opérationnel.

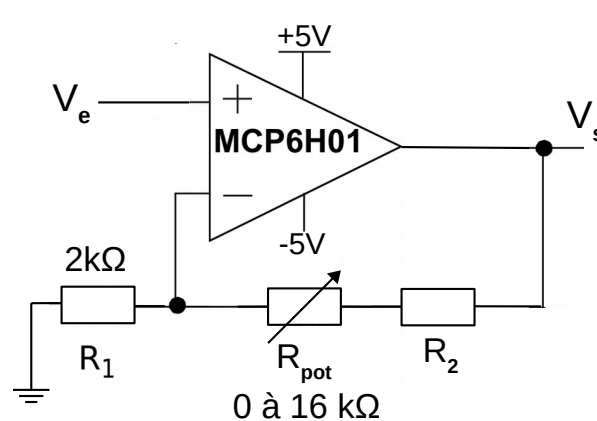
MCP6H01

SC70-5, SOT 23-5



On donne le schéma de l'amplificateur non inverseur et la formule de l'amplitude de sortie en fonction de l'entrée pour $R_{pot} = 0 \Omega$.

$$V_s = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_e$$



On souhaite un gain allant de 2 à 10.

Q2. Quelle valeur de R_2 faut-il choisir ? Justifier ?

Q3. Tracer $v_s(t)$ pour $R_{pot} = 2k\Omega$ et $v_e(t) = 1.\cos(2.\pi.200.t)$.

Q4. Quelle est l'amplitude complexe \underline{V}_s de $v_s(t)$?

Q5. Tracer $v_s(t)$ pour $R_{pot} = 10k\Omega$ et $v_e(t) = 1.\cos(2.\pi.200.t)$.

Q6. Que se passe-t-il avec ce gain ? Dans ce cas, peut-on utiliser la notation complexe ? Pourquoi ? Quel peut être l'intérêt d'avoir un gain allant jusqu'à 10 ?

1.4. Filtrage

Pour changer la tonalité de la guitare, la sortie est équipée d'un filtre variable permettant de laisser passer plus ou moins d'harmoniques. Le fondamental quant à lui n'est pas modifié.

Attention dans cette partie à ne pas confondre fréquence et pulsation.

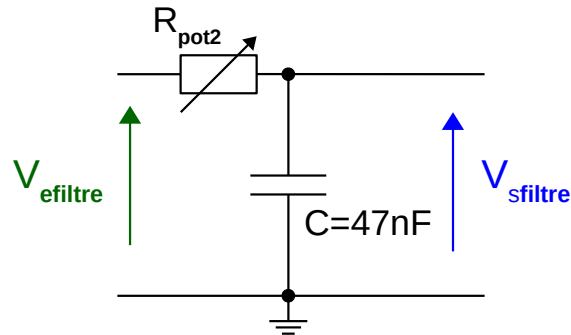
Q7. Les harmoniques sont-ils à des fréquences plus élevées ou plus faibles que le fondamental ? Quel type de filtre faut-il donc choisir pour modifier l'amplitude des harmoniques sans modifier celle du fondamental ?

Le filtre représenté ci-dessous est utilisé.

Q8. En s'appuyant sur le comportement en basse et haute fréquence d'un condensateur, expliquer si ce filtre est un filtre passe-bas ou passe-haut.

Q9. Quelle est l'équation caractéristique ($i(t)$ en fonction de $v(t)$) d'un condensateur ?

Q10. Donner l'équation différentielle reliant $v_{s\text{filtre}}(t)$ à $v_{e\text{filtre}}(t)$, que l'on nommera v_{sf} et v_{ef} .



- Q11.** Donner cette même équation en utilisant les amplitudes complexes.
- Q12.** En déduire la fonction de transfert du filtre.
- Q14.** Quelle est, en fonction de R_{pot2} , sa fréquence f_c et sa pulsation ω_c de coupure ?
- Q15.** Simplifier et commenter pour les 2 cas limites : $\omega \gg \omega_c$ et $\omega \ll \omega_c$.
- Q16.** Quel est le gain et le déphasage pour $\omega = \omega_c$?
- Q17.** Quelle est l'amplitude complexe \underline{V}_{sf} de $v_{sf}(t)$ pour $v_{ef}(t) = 2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot t)$ pour $\omega = \omega_c$?
- Q18.** Représenter $v_{sf}(t)$ et $v_{ef}(t) = 2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot t)$ pour $\omega = \omega_c$.
- Q19.** Quel est la fréquence de coupure pour $R_{pot} = 0$? Que cela signifie-t-il ?
- Q20.** Quelle valeur maximale de R_{pot} choisir pour avoir une fréquence de coupure minimale de 1 kHz ?

2. Amplification de puissance.

Pour des répétitions en intérieur, on propose un amplificateur de (faible) puissance de 1,5W SSM2211, dont un extrait de la documentation est donné en annexe.

L'amplificateur est alimenté en 0 - 5V. Pour accepter des entrées de moyenne nulle, la figure 41 et le texte associé expliquent comment la connexion des broches 2 et 3 permet de créer un offset pour centrer le signal d'entrée sur 2,5V.

Q21. Considérant que l'amplificateur est alimenté en 0-5V et qu'il ne dispose pas de système complexe d'élévation de tension, quelle est l'amplitude crête à crête maximale que l'on peut avoir en sortie ?

La guitare ayant un gain réglable, le gain de l'amplificateur est fixe pour les questions Q22 à Q25. On utilise le schéma proposé figure 42.

Q22. L'amplificateur opérationnel de la guitare fournit une tension entre -5V et +5V au maximum. Quel gain semble judicieux pour l'amplificateur de puissance ?

Q23. Quelle valeur peut-on alors proposer pour les résistances R_i et R_f ?

Q24. En lisant les paragraphes avant et après l'équation (4), page 2 de la documentation fournie, indiquer à quoi sert C_c et lui donner une valeur si besoin.

Q25. A quoi sert C_s ? Quelle valeur pourrait convenir ?

Q26. On souhaite faire un gain réglable pour avoir un rapport 1 à 5 en sortie. Proposer une solution simple, en donnant une valeur aux composants.

Q27. Faire le schéma complet de la chaîne d'amplification / filtrage, en partant du capteur jusqu'au haut-parleur.



Low Distortion, 1.5 W Audio Power Amplifier

Data Sheet

SSM2211

FEATURES

1.5 W output with THD + N < 1%

Differential bridge-tied load output

Single-supply operation: 2.7 V to 5.5 V

Functions down to 1.75 V

Wide bandwidth: 4 MHz

Highly stable phase margin: >80°

Low distortion: 0.2% THD + N at 1 W output

Excellent power supply rejection

PIN CONFIGURATIONS AND FUNCTION DESCRIPTIONS

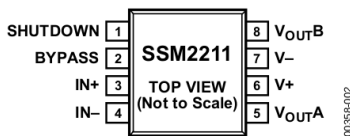
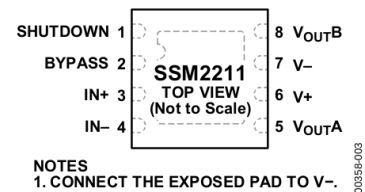


Figure 2. 8-Lead SOIC_N Pin Configuration (R-8)



NOTES
1. CONNECT THE EXPOSED PAD TO V-.

Figure 3. 8-Lead LFCSP Pin Configuration (CP-8-13)

Table 6. Pin Function Descriptions

Pin No.	Mnemonic	Description
1	SHUTDOWN	Shutdown Enable.
2	BYPASS	Bypass Capacitor.
3	IN+	Noninverting Input.
4	IN-	Inverting Input.
5	V _{OUTA}	Output A.
6	V+	Positive Supply.
7	V-	Negative Supply.
8	V _{OUTB}	Output B.
	EPAD	Exposed Pad. Connect the exposed pad to V-.

THEORY OF OPERATION

The SSM2211 is a low distortion speaker amplifier that can run from a 2.7 V to 5.5 V supply. It consists of a rail-to-rail input and a differential output that can be driven within 400 mV of either supply rail while supplying a sustained output current of 350 mA. The SSM2211 is unity-gain stable, requiring no external compensation capacitors, and can be configured for gains of up to 40 dB. Figure 41 shows the simplified schematic.

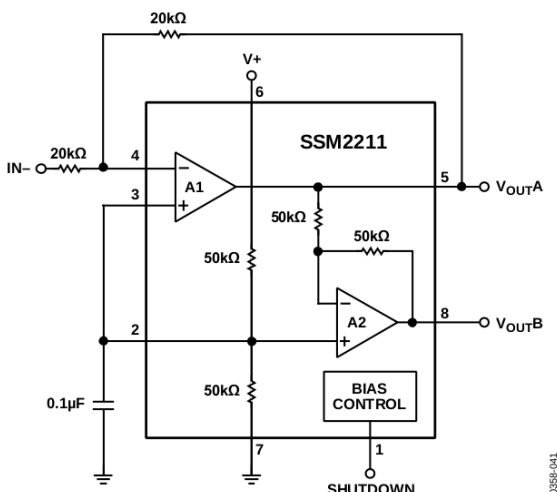


Figure 41. Simplified Schematic

Pin 4 and Pin 3 are the inverting and noninverting terminals to A1. An offset voltage is provided at Pin 2, which must be connected to Pin 3 for use in single-supply applications. The output of A1 appears at Pin 5. A second operational amplifier, A2, is configured with a fixed gain of $A_v = -1$ and produces an inverted replica of Pin 5 at Pin 8. The SSM2211 outputs at Pin 5 and Pin 8 produce a bridged configuration output to which a speaker can be connected. This bridge configuration offers the advantage of a more efficient power transfer from the input to the speaker. Because both outputs are symmetric, the dc bias at Pin 5 and Pin 8 are exactly equal, resulting in zero dc differential voltage across the outputs. This configuration eliminates the need for a coupling capacitor at the output.

SSM2211

Data Sheet

APPLICATIONS INFORMATION

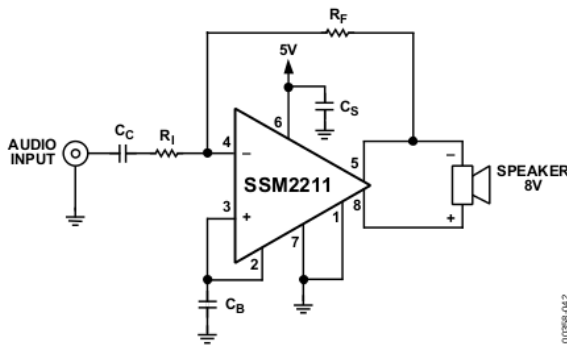


Figure 42. Typical Configuration

Figure 42 shows how the SSM2211 is connected in a typical application. The SSM2211 can be configured for gain much like a standard operational amplifier. The gain from the audio input to the speaker is

$$A_V = 2 \times \frac{R_F}{R_I} \tag{1}$$

The 2x factor results from Pin 8 having an opposite polarity of Pin 5, providing twice the voltage swing to the speaker from the bridged-output (BTL) configuration.

Cs is a supply bypass capacitor used to provide power supply filtering. Pin 2 is connected to Pin 3 to provide an offset voltage for single-supply use, with Cb providing a low ac impedance to ground to enhance power-supply rejection. Because Pin 4 is a virtual ac ground, the input impedance is equal to Ri. Cc is the input coupling capacitor, which also creates a high-pass filter with a corner frequency of

$$f_{HP} = \frac{1}{2\pi R_I \times C_C} \tag{2}$$

Because the SSM2211 has an excellent phase margin, a feedback capacitor in parallel with Rf to band limit the amplifier is not required, as it is in some competitor products.

BRIDGED OUTPUT VS. SINGLE-ENDED OUTPUT CONFIGURATIONS

The power delivered to a load with a sinusoidal signal can be expressed in terms of the peak voltage of the signal and the resistance of the load as

$$P_L = \frac{V_{PK}^2}{2 \times R_L} \tag{3}$$

By driving a load from a BTL configuration, the voltage swing across the load doubles. Therefore, an advantage in using a BTL configuration becomes apparent from Equation 3, as doubling the peak voltage results in four times the power delivered to the load. In a typical application operating from a 5 V supply, the maximum power that can be delivered by the SSM2211 to an 8 Ω speaker in a single-ended configuration is 250 mW. By

driving this speaker with a bridged output, 1 W of power can be delivered. This power translates to a 12 dB increase in sound pressure level from the speaker.

Driving a speaker differentially from a BTL offers another advantage in that it eliminates the need for an output coupling capacitor to the load. In a single-supply application, the quiescent voltage at the output is half of the supply voltage. If a speaker is connected in a single-ended configuration, a coupling capacitor is needed to prevent dc current from flowing through the speaker. This capacitor also must be large enough to prevent low frequency roll-off. The corner frequency is given by

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_L \times C_C} \tag{4}$$

where RL is the speaker resistance and Cc is the coupling capacitance.

For an 8 Ω speaker and a corner frequency of 20 Hz, a 1000 μF capacitor is needed, which is physically large and costly. By connecting a speaker in a BTL configuration, the quiescent differential voltage across the speaker becomes nearly zero, eliminating the need for the coupling capacitor.