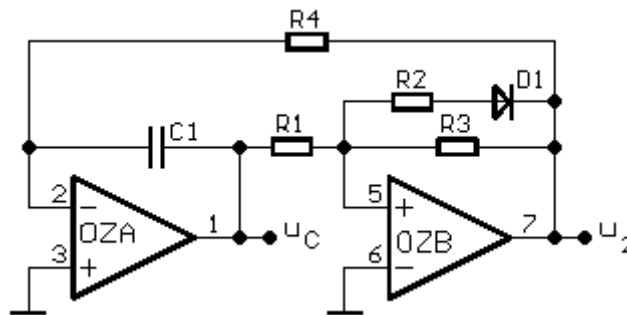


Příklady výpočtů relaxačních generátorů

Příklad č.1

Nakreslete průběhy u_C a u_2 v závislosti na čase a vypočítejte obecně kmitočet napětí u_2 .



Řešení:

OZA pracuje jako integrátor, integrující výstupní napětí u_2 z OZB, který pracuje jako komparátor s hysterezí. Výstup komparátoru nabývá hodnot $+u_{SAT}$ nebo $-u_{SAT}$. Napětí u_C je tedy dáno vztahem:

$$u_C(t) = -\frac{1}{R_4 C_1} \int \pm u_{SAT} dt = -\frac{\pm u_{SAT}}{R_4 C_1} \cdot t + u_C(0)$$

Vztah lze upravit do tvaru:

$$\Delta u_C = -\frac{\pm u_{SAT}}{R_4 C_1} \cdot \Delta t$$

ze kterého je lépe vidět časová změna napětí u_C v závislosti na hodnotě napětí na výstupu komparátoru.

Pokud je na výstupu komparátoru napětí $+u_{SAT}$, napětí u_C na výstupu integrátoru lineárně klesá s časovou konstantou $R_4 C_1$. Jakmile dosáhne dolní překlápěcí úrovně komparátoru, komparátor se překlápí a na jeho výstupu se objeví napětí $-u_{SAT}$. Napětí u_C na výstupu integrátoru začne lineárně stoupat opět s časovou konstantou $R_4 C_1$. Jakmile dosáhne horní překlápěcí úrovně komparátoru, komparátor se překlápí a na jeho výstupu se objeví napětí $+u_{SAT}$. Výstupní napětí integrátoru začne opět lineárně klesat a celý děj se periodicky opakuje.

K překlápění komparátoru dochází v okamžiku, kdy je napětí mezi diferenčními vstupy nulové. Je-li na výstupu komparátoru napětí $+u_{SAT}$, je dioda D_1 zavřená a k překlápní komparátoru dojde, pokud bude platit:

$$\frac{u_C}{R_1} + \frac{+u_{SAT}}{R_3} = 0$$

tj. pokud výstup integrátoru dosáhne hodnoty:

$$u_C = -u_{SAT} \frac{R_1}{R_3}$$

která bývá označována jako dolní komparační úroveň u_{C-} .

Je-li na výstupu komparátoru napětí $-u_{SAT}$, je dioda D_1 otevřená a k překlopení komparátoru dojde, pokud bude platit:

$$\frac{u_C}{R_1} + \frac{-u_{SAT}}{\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} = 0$$

tj. pokud výstup integrátoru dosáhne hodnoty:

$$u_C = +u_{SAT} \frac{R_1}{R_3} \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

která bývá označována jako horní komparační úroveň u_{K+} .

K určení periody a kmitočtu potřebujeme znát dobu, za kterou výstupní napětí integrátoru přejde od dolní komparační úrovně k horní. Tato doba je rovna polovině periody. Rozdíl $u_{K+} - u_{K-}$ odpovídá šířce hysterezní smyčky a v našem případě je dán vztahem:

$$u_H = u_{SAT} \frac{R_1}{R_3} \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right) - \left(-u_{SAT} \frac{R_1}{R_3} \right) = u_{SAT} \frac{R_1}{R_3} \left(2 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

Polovinu periody tedy můžeme určit ze vztahu:

$$\frac{u_{SAT}}{R_4 C_1} \cdot \frac{T}{2} = u_{SAT} \frac{R_1}{R_3} \left(2 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

Po úpravě dostáváme:

$$\frac{T}{2} = \frac{R_1 R_4 C_1}{R_3} \left(2 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

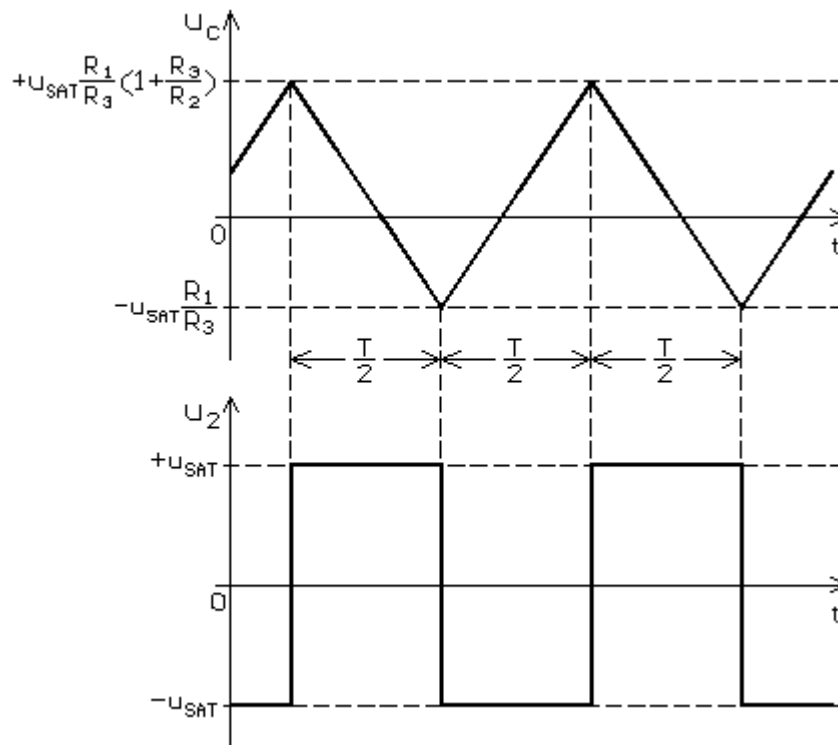
Doba celé periody je:

$$T = \frac{2 R_1 R_4 C_1}{R_3} \left(2 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

A kmitočet:

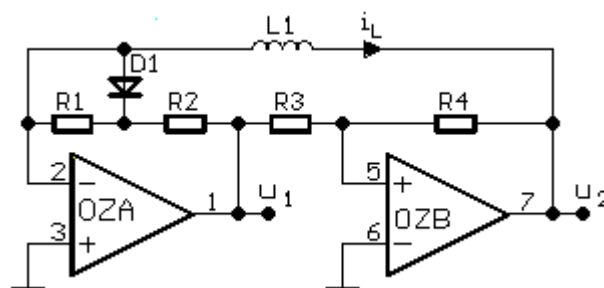
$$f = \frac{1}{T} = \frac{R_2 R_3}{2 R_1 R_4 C_1 (2 R_2 + R_3)}$$

Průběhy u_C a u_2 jsou na následujícím obrázku:



Příklad č.2

Nakreslete průběhy u_1 a u_2 v závislosti na čase a vypočítejte obecně kmitočet napětí u_2 .



Řešení:

OZA pracuje jako integrátor, integrující výstu z OZB, který pracuje jako komparátor s hysterezí. Výstup komparátoru nabývá hodnot $+U_{SAT}$ nebo $-U_{SAT}$. Proud i_L je tedy dán vztahem:

$$i_L(t) = -\frac{1}{L_1} \int \pm U_{SAT} dt = -\frac{\pm U_{SAT}}{L_1} \cdot t + i_L(0)$$

Vztah lze upravit do tvaru:

$$\Delta i_L = -\frac{\pm U_{SAT}}{L_1} \cdot \Delta t$$

ze kterého je lépe vidět časová změna proudu i_L v závislosti na hodnotě napětí na výstupu komparátoru. Pokud je na výstupu komparátoru napětí $+U_{SAT}$, proud i_L lineárně klesá, pokud je výstup komparátoru v úrovni $-U_{SAT}$, proud i_L lineárně roste.

Napětí u_1 na výstupu integrátoru je přímo úměrné proudu i_L . Pokud je proud kladný (ve smyslu šipky nakreslené ve schématu), je dioda D1 zavřená a proud i_L teče přes rezistory R_1 a R_2 . Napětí u_1 se tedy mění s časem podle vztahu:

$$\Delta u_1 = \Delta i_L (R_1 + R_2) = - \frac{\pm u_{SAT} (R_1 + R_2)}{L_1} \cdot \Delta t$$

Je-li proud i_L záporný, je dioda D1 otevřená a proud i_L teče pouze rezistorem R_2 . Časovou změnu napětí u_1 lze tedy vyjádřit vztahem:

$$\Delta u_1 = \Delta i_L R_2 = - \frac{\pm u_{SAT} R_2}{L_1} \cdot \Delta t$$

Ze vztahů je vidět, že při kladném proudu i_L je strmost změny napětí u_1 větší než při záporném proudu i_L . V grafu průběhu u_1 se tato nesymetrie projeví tak, že strmost změn u_1 nad osou bude větší než strmost změn pod osou.

Stejně jako v předchozím příkladu se bude napětí u_1 na výstupu integrátoru měnit periodicky od dolní překlápěcí úrovně komparátoru k horní překlápěcí úrovni a zpět. Komparátor je obyčejný neinvertující komparátor s hysterezí. K překlopení komparátoru dochází v okamžiku, kdy je napětí mezi diferenčními vstupy nulové. Je-li na výstupu komparátoru napětí $+u_{SAT}$, dojde k překlopení v okamžiku kdy:

$$\frac{u_1}{R_3} + \frac{+u_{SAT}}{R_4} = 0$$

Odtud lze vyjádřit dolní komparační úroveň:

$$u_{K-} = -u_{SAT} \frac{R_3}{R_4}$$

Je-li na výstupu komparátoru napětí $-u_{SAT}$, dojde k překlopení v okamžiku kdy:

$$\frac{u_1}{R_3} + \frac{-u_{SAT}}{R_4} = 0$$

Odtud lze vyjádřit horní komparační úroveň:

$$u_{K+} = u_{SAT} \frac{R_3}{R_4}$$

K určení periody a kmitočtu potřebujeme znát dobu, za kterou výstupní napětí integrátoru přejde od dolní komparační úrovně k horní a zpět. Tato doba je rovna periodě T a lze ji rozdělit na dobu T_1 , za kterou napětí u_1 přejde od nuly k dolní komparační úrovni a zpět k nule a na dobu T_2 , za kterou napětí u_1 přejde od nuly k horní komparační úrovni a zpět k nule.

Po dobu T_1 je proud i_L záporný a dioda D1 je otevřená. Dobu T_1 lze tedy určit ze vztahu:

$$\frac{u_{SAT} R_2}{L_1} \cdot T_1 = 2u_{SAT} \frac{R_3}{R_4}$$

Po úpravě dostáváme:

$$T_1 = 2 \frac{L_1 R_3}{R_2 R_4}$$

Po dobu T_2 je proud i_L kladný a dioda D1 je zavřená. Dobu T_2 lze tedy určit ze vztahu:

$$\frac{u_{SAT} (R_1 + R_2)}{L_1} \cdot T_2 = 2u_{SAT} \frac{R_3}{R_4}$$

Po úpravě dostáváme:

$$T_2 = 2 \frac{L_1 R_3}{(R_1 + R_2) R_4}$$

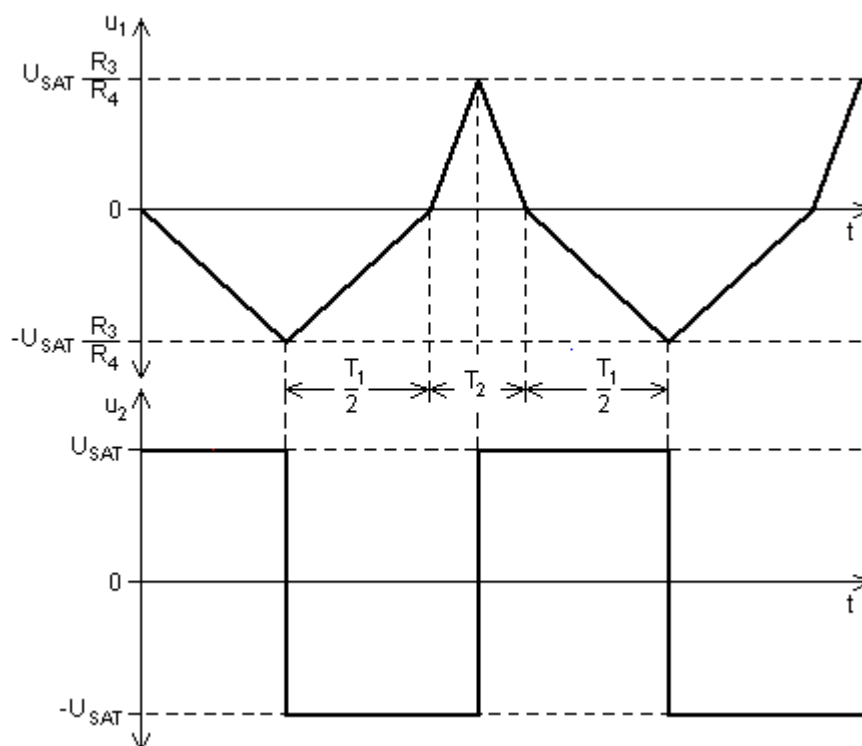
Celková perioda T je rovna součtu doby T_1 a T_2 :

$$T = T_1 + T_2 = \frac{2R_3L_1(R_1 + 2R_2)}{R_2R_4(R_1 + R_2)}$$

A odtud kmitočet:

$$f = \frac{R_2R_4(R_1 + R_2)}{2R_3L_1(R_1 + 2R_2)}$$

Průběhy u_1 a u_2 jsou na následujícím obrázku:



Příklady na výpočty relaxačních generátorů