I-1. $f_e(t) = f_0 + \frac{\delta f}{t_0} t$

I-2. $\frac{d\theta(t)}{dt} = 2\pi f_e(t) = 2\pi\left[f_0 + \frac{\delta f}{t_0} t\right]$.

$\theta(t) = 2\pi\left[f_0 t + \frac{\delta f}{t_0} \cdot \frac{t^2}{2}\right] + K$.

à $t=0$ $s(t) = A$ $\Rightarrow$ $A = A\cos K$ $\Rightarrow K = 0$

$s(t) = A\cos 2\pi\left[f_0 t + \frac{\delta f}{t_0}\frac{t^2}{2}\right]$

I-3. $r(t) = a A\cos 2\pi\left[f_0(t-\tau) + \frac{\delta f}{t_0}\frac{(t-\tau)^2}{2}\right]$

a : atténuation ; τ : temps nécessaire à l'onde radioélectrique pour effectuer l'aller retour entre l'avion et le sol.

$\tau = \frac{2z}{c}$

A.N : $\tau = \frac{2\times 300}{3\times 10^8} = 2{,}0\,\mu sec$

I-4-1 $m(t) = k a A^2 \cos 2\pi\left[f_0 t + \frac{\delta f}{t_0}\frac{t^2}{2}\right]\cos 2\pi\left[f_0(t-\tau) + \frac{\delta f}{t_0}\frac{(t-\tau)^2}{2}\right]$

$= k a \frac{A^2}{2}\left[\cos 2\pi\left[2 f_0 t - f_0\tau + \frac{\delta f}{2t_0}(2t^2 - 2t\tau + \tau^2)\right] + \cos 2\pi\left[f_0\tau + \frac{\delta f}{2t_0}(2t\tau - \tau^2)\right]\right]$

fréquence du premier terme : $\frac{1}{2\pi}\left|\frac{d}{dt}2\pi\left[2f_0 t - f_0\tau + \frac{\delta f}{2t_0}(2t^2 - 2t\tau + \tau^2)\right]\right|$

$= 2f_0 + \frac{\delta f}{t_0}(2t - \tau)$

fréquence du deuxième terme : $\frac{1}{2\pi}\left|\frac{d}{dt}2\pi\left[f_0\tau + \frac{\delta f}{2t_0}(2t\tau - \tau^2)\right]\right|$

$= \tau\frac{\delta f}{t_0}$

I-4-2 fréquence du premier terme

pour $t=0$: $2f_0 - \frac{\delta f\tau}{t_0} \simeq 8480\ MHz$.

pour $t = t_0$: $2f_0 + \frac{\delta f}{t_0}(2t_0 - \tau) \simeq 8726\ MHz$

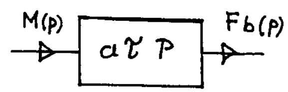
fréquence du deuxième terme : $\tau\frac{\delta f}{t_0} = 25{,}45\ KHz$

$f_b = \tau\frac{\delta f}{t_0} = \frac{2z}{c}\frac{\delta f}{t_0} = \frac{2\delta f}{c\,t_0} z$ $\{1\}$

La fréquence f_b est proportionnelle à l'altitude z. Elle est une image de z.

I-5. $\left(\frac{d f_e(t)}{dt} = \frac{\delta f}{t_0}\right)$ $f_b(t) = \tau\frac{d f_e(t)}{dt}$

I-6. $f_b(t) = \tau\frac{d f_e(t)}{dt} = a\tau\frac{d m(t)}{dt}$

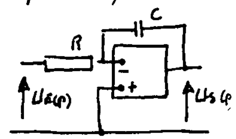


$F_b(p) = a\tau\, p\, M(p)$

I-7. $\left(t_0 = \frac{2\delta f}{c f_b} z\right)$ $\frac{2\delta f}{c f_b} = cte$ $t_0 = \left(\frac{2\delta f}{c f_b}\right) z$

La mesure de l'altitude s'effectue par la mesure de t_0

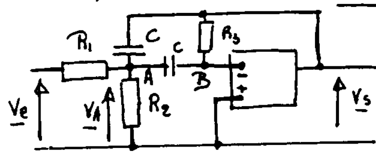
(Les mesures de temps peuvent être effectuées avec une grande précision)



II-1-1. $\frac{U_e(p)}{R} = -C p\, U_s(p)$ $\frac{U_s(p)}{U_e(p)} = -\frac{1}{RCp} = H(p)$

II-1-2. $I(p) = -\frac{4{,}55}{p}$

II-1-3. $G(p) = -\frac{10^4}{p}$



II-2-1 $\begin{cases} \frac{V_e - V_A}{R_1} = \frac{V_A}{R_2} + jC\omega V_A + jC\omega(V_A - V_s) & \text{Loi des Noeuds au point A.} \\ jC\omega V_A = -\frac{V_s}{R_3} & \text{Loi des Noeuds au point B.} \end{cases}$

$\frac{V_e}{R_1} = V_A\left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + 2jC\omega\right] - jC\omega V_s = -V_s\left[jC\omega + \frac{1}{jR_3C\omega}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + 2jC\omega\right)\right]$

$\frac{V_s}{V_e} = -\frac{\frac{1}{R_1}}{jC\omega + \frac{1}{jR_3C\omega}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) + \frac{2}{R_3}} = -\frac{\frac{R_3}{2R_1}}{1 + j\frac{R_3C}{2}\omega + \frac{1}{2jC\omega}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}$

$= \frac{A_0}{1 + jQ_0\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$ avec $\begin{cases} A_0 = \frac{-R_3}{2R_1} \\ \frac{Q_0}{\omega_0} = \frac{R_3 C}{2} \\ Q_0\omega_0 = \frac{1}{2C}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \end{cases}$

Par multiplication $\omega_0 = \frac{\cdot}{4}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \Rightarrow \omega_0 = \frac{\cdot}{3}\sqrt{\frac{\cdot}{R_1 R_2}}$

Par division $\omega_0^2 = \frac{1}{R_3 C^2}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{C}\sqrt{\frac{(R_1 + R_2)}{R_1 R_2 R_3}}$

II-2-2. $A_1 = -0,684$ $\quad Q_1 = 4,420$ $\quad \omega_{01} = 165000$ rad/sec $\quad f_{01} = 26,25$ k

$A_2 = -1,00$ $\quad Q_2 = 6,39$ $\quad \omega_{02} = 144000$ rad/sec $\quad f_{02} = 22,95$ k

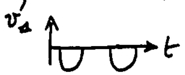
II-2-3- $V_{1m}(f_{01}) = \frac{|A_1| V_m}{1} = 6,84$ Volts

$V_{2m}(f_{01}) = \frac{|A_2| V_m}{\sqrt{1 + Q_2^2\left(\frac{\omega_{01}}{\omega_{02}} - \frac{\omega_{02}}{\omega_{01}}\right)^2}} = 5,02$ V

$V_{1m}(f_{02}) = \frac{|A_1| V_m}{\sqrt{1 + Q_1^2\left(\frac{\omega_{02}}{\omega_{01}} - \frac{\omega_{01}}{\omega_{02}}\right)^2}} = 4,40$ V

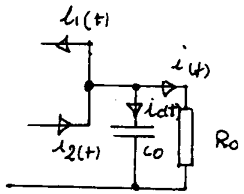
$V_{2m}(f_{02}) = \frac{|A_2| V_m}{1} = 10$ V

II. 2.4.



$V'_{1moy}(f_{01}) = -\frac{V_{1m}(f_{01})}{\pi} = -2,18$ V

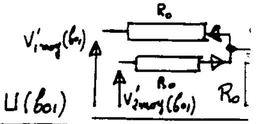
$V'_{2moy}(f_{01}) = \frac{V_{2m}(f_{01})}{\pi} = +1,60$ V



$i_2(t) = i(t) + i_1(t) + i_c(t)$

La valeur moyenne du courant dans une capacité est nulle en régime périodique établi ($I_{c\,moy} = 0$)

$I_{2moy}(f_{01}) = I_{1moy}(f_{01}) + I_{moy}(f_{01})$



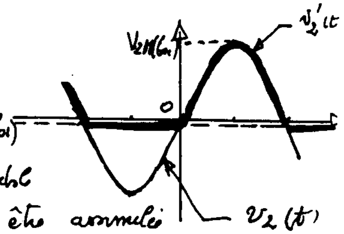
$\frac{V'_{2moy}(f_{01}) - U(f_{01})}{R_0} = \frac{U(f_{01}) - V'_{1moy}(f_{01})}{R_0} + \frac{U(f_{01})}{R_0}$

$3\,U(f_{01}) = V'_{2moy}(f_{01}) + V'_{1moy}(f_{01}) = 1,6 - 2,18 = -0,58$ V

$U(f_{01}) = -0,19$ V

$|U(f_{01})| = 0,19\text{V} \ll 6,84\text{V} = V_{1m}(f_{01})$

$\ll 5,02\text{V} = V_{2m}(f_{01})$



La figure montre que $|U(f_{01})|$ étant très faible par rapport à $V_{2m}(f_{01})$ la tension $v_2'(t)$ peut être assimilée à une tension redressée "monoalternance". Idem pour $v_1'(t)$

II-2-5- $V'_{1moy}(f_{02}) = -\frac{V_{1m}(f_{02})}{\pi} = -1,40$ Volt

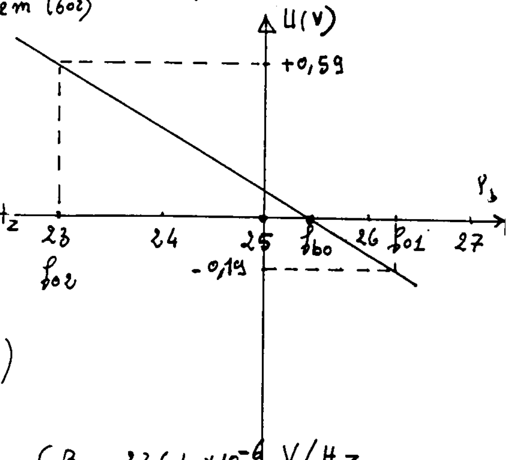
$V'_{2moy}(f_{02}) = \frac{V_{2m}(f_{02})}{\pi} = 3,18$ Volts.

$U(f_{02}) = \frac{V'_{2moy}(f_{02}) + V'_{1moy}(f_{02})}{3} = 0,59$ Volt

$|U(f_{02})| \ll 4,40\text{V} = V_{1m}(f_{02})$ $\quad$ L'hypothèse est vérifiée.

$\ll 10\text{V} = V_{2m}(f_{02})$

II.2-6. Equation de la droite.



$\frac{U(f_b) - 0,59}{f_b - f_{02}} = \frac{-0,19 - 0,59}{f_{01} - f_{02}}$

$= -236 \times 10^{-6}$ V/Hz

$U(f_b) = -236 \times 10^{-6} f_b + 6,01$

$= -236 \times 10^{-6}(f_b - f_{b0})$

avec $f_{b0} = 25,45$ KHz

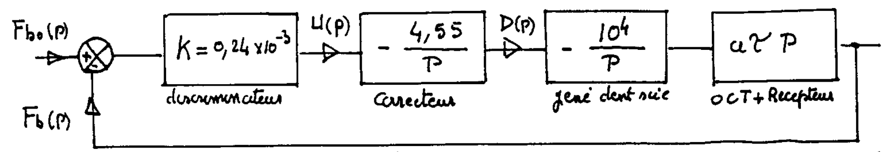
$U(f_b) = \beta(f_{b0} - f_b)$ $\quad$ avec $\begin{cases} \beta = 236,4 \times 10^{-6} \text{ V/Hz} \\ f_{b0} = 25,45 \text{ KHz}. \end{cases}$

II-2-7 Sur la figure 8 $\quad U(p) = k\left[F_{b0}(p) - F_b(p)\right]$

$k = 0,24$ mV/Hz

BTS Electronique : 1993	Corrigé	Radioaltimètre	pages 5 et 6

II 2.3)



transmittance de la chaîne directe $\frac{0,24\times10^{-3}\times4,55\times10^{4}\times30\times10^{6}\times2\times10^{-6}}{P} = \frac{655}{P} \Rightarrow k_o = 655\ \text{rad/s}$

III-1-1- $P(1+\tau_o P)$ $\mathcal{E}(P)$

$\mathcal{E}(P) = F_{bo}(P) - F_b(P) = F_{bo}(P) - T(P)\,\mathcal{E}(P)$

$\frac{\mathcal{E}(P)}{F_{bo}(P)} = \frac{1}{1+T(P)} = \frac{1}{1+\frac{K_oG_o}{P(1+\tau_oP)}} = \frac{P(1+\tau_oP)}{K_oG_o + P + \tau_oP^2}$

III-1-2- $\mathcal{E}(P)\left[K_oG_o + P + \tau_o P^2\right] = F_{bo}(P)\left[P(1+\tau_oP)\right]$

Sachant que toute multiplication par P correspond, sur les fonctions du temps une dérivation par rapport au temps.

$K_oG_o\,\mathcal{E}(t) + \frac{d\,\mathcal{E}(t)}{dt} + \tau_o\frac{d^2\mathcal{E}(t)}{dt^2} = \frac{d\,f_{bo}(t)}{dt} + \tau_o\frac{d^2 f_{bo}(t)}{dt^2}$

III-1-3- f_{bo} = cte. La limite $\mathcal{E}_o$ de $\mathcal{E}(t)$, lorsque t tend vers l'infini, correspond au régime permanent donné par la solution particulière de l'équation différentielle

ici f_{bo} = cte $\frac{df_{bo}}{dt} = 0$ $\frac{d^2f_{bo}}{dt^2} = 0$, le second membre est nul.

la solution particulière $\mathcal{E}_o$ est donc nulle.

L'erreur statique est nulle et $f_b = f_{bo}$

Lorsque l'altitude z reste constante le coefficient $\left(\frac{2\delta f}{c f_b}\right)$ de l'équation $t_o = \left(\frac{2\delta f}{c f_b}\right) z$ reste constant et égal à $\frac{2\delta f}{c f_{bo}}$ quelle que soit la valeur de l'altitude z. Il n'y a donc pas d'erreur sur la mesure de l'altitude

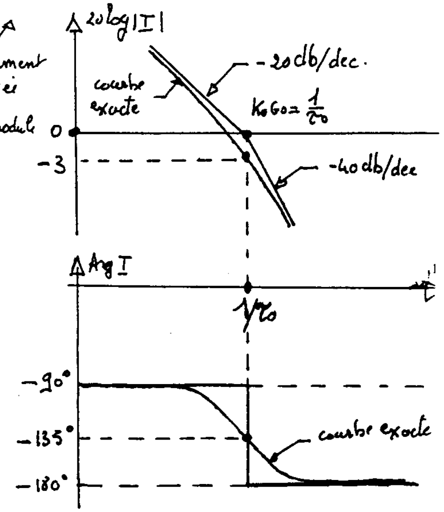
L'élément responsable de ce résultat est le correcteur (on pourrait aussi dire que c'est le générateur de dent de scie). C'est en fait la combinaison des deux.

III-2-1 $T(j\omega) = \frac{K_oG_o}{j\omega(1+j\omega\tau_o)}$

III-2-2 $T(j\omega) = \frac{1}{\frac{j\omega}{K_oG_o}(1+j\omega\tau_o)}$

pulsations particulières K_oG_o et $\frac{1}{\tau_o}$ égales

Lorsque K_oG_o ↗
• courbe d'argument inchangée
• courbe de module monte



III-2-3 $\text{Arg}[T(j\omega)] = -135°$ pour $\omega = \frac{1}{\tau_o}$

Pour cette pulsation $|T(j\omega)| = \frac{K_oG_o\tau_o}{\sqrt{2}}$

$M\varphi > 45°$ si $\frac{K_oG_o\tau_o}{\sqrt{2}} < 1$

$G_o < \frac{\sqrt{2}}{K_o\tau_o} = 4,35$

Sachant que K_o augmente avec l'altitude z, ... Go doit diminuer pour satisfaire l'équation $G_o = \frac{\sqrt{2}}{K_o\tau_o}$ qui assure au système une marge de phase de 45°.

Soient respectivement v_s et v_e les tensions de sortie et d'entrée de l'amplificateur. Go correspond à la pente, autour du point de repos $\mathcal{V}_o$ de la caractéristique $v_s = f(v_e)$ de l'amplificateur. Si l'amplificateur est non linéaire cette pente (Go) est susceptible de varier en fonction de la position du point de repos $\mathcal{V}_o$.

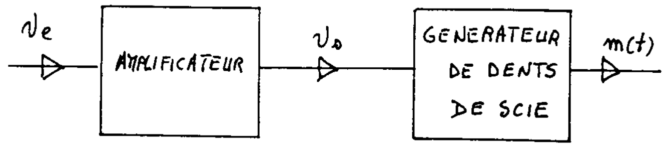
BTS Electronique : 1993	Corrigé	Radio altimètre	pages 7 et 8

Pour plus de précision (Mais cela n'est pas demandé au candidat)

Le constructeur utilise un amplificateur à caractéristique exponentielle.

$$v_s = V_0 \; e^{\frac{v_e}{V_T}} \qquad (V_0 \text{ et } V_T \text{ sont des tensions constantes})$$

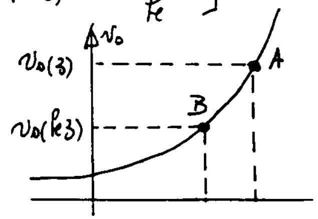
Cet amplificateur est placé devant le générateur de dents de scie



Lorsque l'altitude reste constante et égale à z, $m(t)$ est une rampe et les tensions v_e et v_s sont constantes (nous les notons $v_0(z)$ et $v_e(z)$)

Supposons que l'altitude soit multipliée par k ($z \to kz$). A partir de la relation $f_b = \frac{2\,\Delta f}{c\, t_0}\, z$ et sachant que la boucle maintient la fréquence f_b constante et égale à f_{b0}, nous concluons que la durée t_0 est aussi multipliée par k et que la pente $\frac{\Delta f}{t_0}$ de la fréquence $f_e(t)$ est divisée par k. La pente de $m(t)$ est donc aussi divisée par k ce qui nous permet de conclure que la tension v_s est aussi divisée par k : $\left[v_0(kz) = \frac{v_0(z)}{k} \right]$

Soient $G_0(z)$ et $G_0(kz)$ les valeurs du coefficient d'amplification correspondant respectivement aux altitudes z et kz (points A et B sur la courbe)



point A : $G_0(z) = \frac{dv_0}{dv_e} = \frac{V_0}{V_T}\, e^{\frac{v_e(z)}{V_T}} = \frac{v_0(z)}{V_T}$

$G_0(kz)$ est la pente de la caractéristique autour du point B.

$$G_0(kz) = \frac{dv_0}{dv_e} = \frac{V_0}{V_T}\, e^{\frac{v_e(kz)}{V_T}} = \frac{v_0(kz)}{V_T}$$

Sachant que $v_0(kz) = \frac{v_0(z)}{k}$, on écrit $\underline{G_0(kz) = \frac{G_0(z)}{k}}$

L'équation $K_0 = bz$ entraîne $K_0(kz) = k\, K_0(z)$

et $K_0(kz)\, G_0(kz)\, \tau_0 = k\, K_0(z)\, \frac{G_0(z)}{k}\, \tau_0 = K_0(z)\, G_0(z)\, \tau_0$

L'égalité $K_0\, G_0\, \tau_0 = \sqrt{2}$ est vérifiée quelle que soit l'altitude z et la marge de phase reste égale à 45°.