



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Campagne 2009

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

CRDP Aquitaine

CORRIGE

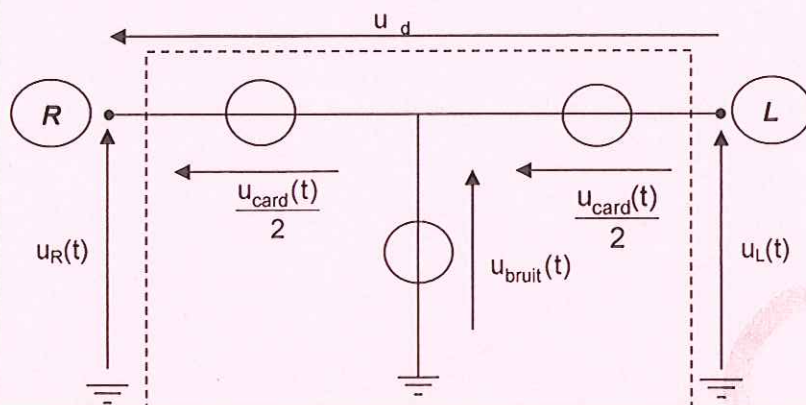
Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.

Acquisition et traitement d'un électrocardiogramme

I. TRAITEMENT ANALOGIQUE DU SIGNAL ECG

1. Modèle électrique simplifié du patient

1.1. Cf. document réponse n°1



1.2. $u_d(t) = u_{card}(t)$ et $u_{mc}(t) = u_{bruit}(t)$

1 pt : u_d
1 pt : u_{mc}

2. Puissances normalisées des tensions $u_{card}(t)$ et $u_{bruit}(t)$

2.1. $U_{eff} = \frac{A}{\sqrt{2}}$

2.2. $P = \frac{U_{eff}^2}{R}$ et $P_n = U_{eff}^2$

2.3. $P_{ncard} = 20 \cdot U_{eff}^2 = 20 \cdot \frac{(20 \cdot 10^{-6})^2}{2} = 4 \text{ nW}$

2.4. $P_{nbruit} = \frac{(100 \cdot 10^{-3})^2}{2} = 5 \text{ mW}$

2.5. $R_{SN} = 10 \log \left(\frac{P_{ncard}}{P_{nbruit}} \right) = 10 \log \left(\frac{4 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-3}} \right)$ d'où $R_{SN} = -61 \text{ dB}$

3. Nécessité de l'amplification différentielle

3.1. $R_{SN}^S = TRMC + R_{SN}^E$

3.2. $R_{SN}^S = 20 \log \left(\frac{V_{scard}}{V_{sbruit}} \right) = 20 \log(100) = 40 \text{ dB}$

3.3. $TRMC = 40 + 61 = 101 \text{ dB}$

3.4. $\left(\frac{A_d}{A_{mc}} \right) = 10^{\frac{101}{20}} = 1,1 \cdot 10^5$

3.5. $A_{mc} = 0$ et TRMC infini

4. Étude de l'amplificateur d'instrumentation

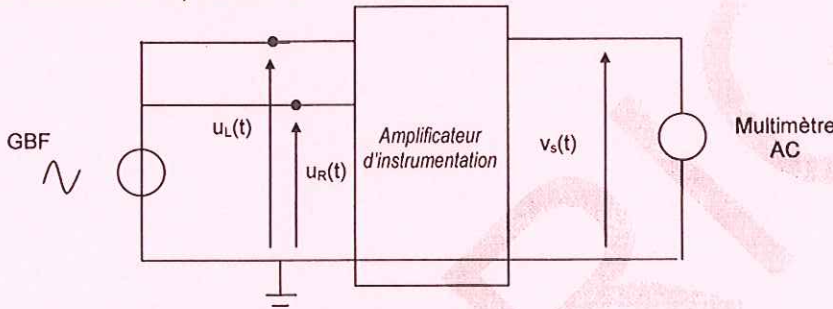
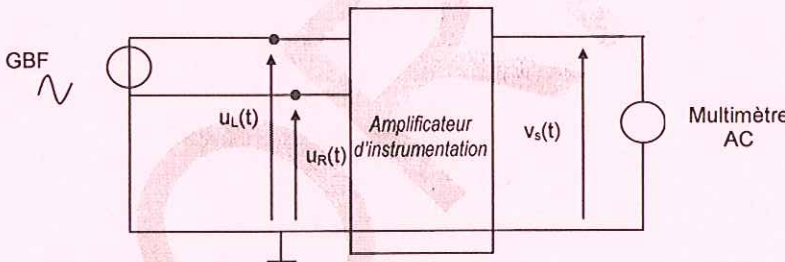
4.1. Intensité des courants négligeables ; $\varepsilon(t) \approx 0$

4.2. $v_g(t) = u_L(t) - u_R(t) = R_g \cdot i_g(t)$

4.3. $v_1(t) - v_2(t) = (2 \cdot R + R_g) \cdot i_g(t)$

4.4.	$v_1(t) - v_2(t) = (2 \cdot R + R_g) \cdot i_g(t) = \left(1 + \frac{2 \cdot R}{R_g}\right) \cdot (u_L(t) - u_R(t))$		1
4.5.	$\text{DDT : } v^+(t) = \frac{a \cdot R_2}{(1+a) \cdot R_2} v_2(t) = \frac{a}{(1+a)} v_2(t)$		1
4.6.	$v_A(t) = \frac{a \cdot v_1(t) + v_S(t)}{1+a}$		2
4.7.	$v_A(t) = v^+(t) \text{ et } v_S(t) = a \cdot (v_2(t) - v_1(t))$		2
4.8.	$v_S(t) = a \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R}{R_g}\right) \cdot (u_R(t) - u_L(t))$		1
4.9.	$A_d = a \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R}{R_g}\right) \text{ et } A_{mc} = 0$		2

5. Mise en œuvre de l'amplificateur d'instrumentation

5.1.	Cf. document réponse n°2		1 pt : sources 1 pt : voltmètre	2																												
5.2.	Cf. document réponse n°3 : on suppose $A_{mc} \gg A_d$		1 pt : source 1 pt : voltmètre	2																												
5.3.	Cf. document réponse n°4	<table><tr><th>N° expérience</th><th>①</th><th>②</th><th>③</th></tr><tr><td>Δa</td><td>4</td><td>10</td><td>20</td></tr><tr><td>A_d</td><td>10×10^3</td><td>10×10^3</td><td>10×10^3</td></tr><tr><td>A_{mc}</td><td>19×10^{-3}</td><td>47×10^{-3}</td><td>90×10^{-3}</td></tr><tr><td>TRMC (dB)</td><td>114</td><td>107</td><td>101</td></tr><tr><td>R'_2 (MΩ)</td><td>2,04</td><td>21</td><td>22</td></tr><tr><td>Tolérance(%)</td><td>2</td><td>5</td><td>10</td></tr></table>	N° expérience	①	②	③	Δa	4	10	20	A_d	10×10^3	10×10^3	10×10^3	A_{mc}	19×10^{-3}	47×10^{-3}	90×10^{-3}	TRMC (dB)	114	107	101	R'_2 (MΩ)	2,04	21	22	Tolérance(%)	2	5	10	1,5 pt : TRMC 1,5 pt : R'_2 2 pts : tolérance	5
N° expérience	①	②	③																													
Δa	4	10	20																													
A_d	10×10^3	10×10^3	10×10^3																													
A_{mc}	19×10^{-3}	47×10^{-3}	90×10^{-3}																													
TRMC (dB)	114	107	101																													
R'_2 (MΩ)	2,04	21	22																													
Tolérance(%)	2	5	10																													
5.4.	TRMC > 101 dB : donc, il faut une tolérance sur les résistances < 10%			1																												
	Sous-total I			42																												

Session 2009	BTS Systèmes Électroniques Épreuve U42- Physique Appliquée	Page 2 sur 4
9SEE4PA1	Corrigé	

II. TRAITEMENT DE L'ÉLECTROCARDIOGRAMME

1. Choix de la fréquence d'échantillonnage

1.1.	$T_{\text{card}} = 1 \text{ s}$ et $f_{\text{card}} = 1 \text{ Hz} = 60$ battements par minute.		2
1.2.	Cette fréquence est identique à la fréquence de la première raie : 1 Hz : celle-ci correspond au fondamental		2
1.3.	$F_{\text{emin}} = 2 \cdot F_{\text{max}}$ soit $F_{\text{emin}} = 200 \text{ Hz}$		1

2. Conséquences d'une prise d'échantillon sans filtre anti-repliement

2.1.	$f_1 = 150 \text{ Hz}$: $150 < \frac{F_e}{2}$ avec $\frac{F_e}{2} = 224 \text{ Hz}$: vérifie la condition de Shannon $f_2 = 400 \text{ Hz}$: $400 > \frac{F_e}{2}$: ne vérifie pas la condition de Shannon		2
2.2.	Après échantillonnage apparaîtront des fréquences issues du repliement du spectre ; ces fréquences sont telles que $f' = F_e - f$, soit : $f'_1 = 448 - 150 = 298 \text{ Hz}$ et $f'_2 = 448 - 400 = 48 \text{ Hz}$		2

3. Filtrage anti-repliement

3.1.	La fréquence minimale f_m susceptible de se replier dans le spectre utile est telle que : $f_e - f_m = 100 \text{ Hz}$ soit : $f_m = 448 - 100 = 348 \text{ Hz}$		1
3.2.	La bande passante du filtre anti-repliement doit correspondre à la largeur spectrale occupée par le signal utile soit : 100 Hz		1
3.3.	$G_{\text{dB}} = 20 \cdot \log\left(\frac{V_s}{V_e}\right)$ avec $\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{100}$ soit $G_{\text{dB}} = -40 \text{ dB}$		1
3.4.	A 348 Hz, seuls les filtres d'ordre 4 et 12 ont une atténuation supérieure à 40 dB (gain inférieur à -40 dB) . On retiendra donc le filtre d'ordre 4 plus simple à réaliser que le filtre d'ordre 12.	1 pt : atténuation 1 pt : ordre 4	2
3.5.	$G_{\text{dB}}(150 \text{ Hz}) = -15 \text{ dB} > -40 \text{ dB}$: f_1 n'est pas éliminée par le filtre anti-repliement du 4 ^{ème} ordre.		2

4. Traitement numérique

4.1.	L'équation $s_n = f(e_n, e_{n-1})$ du filtre 1 correspond au filtre non récursif. Le nouvel échantillon de sortie ne dépend que des échantillons d'entrée, actuel et précédents		2
4.2.	L'équation $s_n = f(e_n, e_{n-1}, s_{n-1})$ du filtre 2 correspond au filtre récursif. Le nouvel échantillon de sortie dépend des échantillons d'entrée mais également des précédents échantillons de la sortie		2
4.3.	Le gain est de l'ordre de -66 dB pour les deux filtres. La fréquence de 150 Hz est alors éliminée		2
4.4.	$\Phi = -2 \cdot \pi \cdot \frac{\Delta t}{T}$ soit $\Phi = -\omega \cdot \Delta t$	2 pts : 2 relations 1 pt : signe	3

4.5	Cf. document réponse n°5					0,5 pt par valeur	4	
Fréquence de l'harmonique		Filtre RIF		Filtre RII				
		Retard Δt (s)	Déphasage Φ (rad)	Retard Δt (s)	Déphasage Φ (rad)			
		10 Hz	20 ms	$-\frac{2 \cdot \pi}{5} = -0,63$	10 ms			$-\frac{\pi}{5} = -0,31$
		20 Hz	20 ms	$-\frac{4 \cdot \pi}{5} = -1,26$	30 ms			$-\frac{6 \cdot \pi}{5} = -3,77$
4.6.	Le filtre RIF retarde les deux harmoniques de la même manière, ce qui n'est pas le cas du filtre RII						2	
4.7.	Le signal de sortie a même forme que le signal d'entrée, il est simplement retardé						1	
4.8.	Le signal de sortie est déformé par rapport au signal d'entrée						1	
5. Illustration et synthèse des résultats								
5.1.	$\Phi(f) = -0,126 \cdot f$						1	
5.2.	$\Phi(\omega) = -\frac{0,126}{2 \cdot \pi} \cdot \omega = -2,0 \times 10^{-2} \cdot \omega$						1	
5.3.	$\Delta t = \frac{-\Phi(\omega)}{\omega} = 0,02 \text{ s}$						1	
Sous-total II							36	

III. CONCLUSION							
	Puisque les capacités de calculs ne sont pas un frein pour cette application, le filtre RIF sera retenu compte tenu de ses propriétés intéressantes face à la distorsion du signal ECG						2
	Sous-total III						2
	TOTAL :						80

Les notes sont ramenées sur 20 points, et arrondies au ½ point supérieur.