

Sommaire

Rappels de cours	7
Courants et tensions variables	9
Régimes périodiques.....	12
Dipôles passifs linéaires en régime sinusoïdal.....	15
Quadripôles en régime sinusoïdal.....	23
Circuits du premier ordre	25
Circuits du second ordre	32
Amplification	36
Réalisation de fonctions mathématiques	41
Dispositifs à seuil	45
Génération de signaux.....	48
Diagramme de Bode et filtrage	51
Circuits logiques.....	54
Conversions numérique-analogique et analogique-numérique.....	61
Isolation galvanique	66
Capteurs : principes physiques	68
Systèmes triphasés.....	72
Récepteurs triphasés déséquilibrés.....	75
Principes d'électromagnétisme.....	77
Bobine à noyau de fer.....	82
Transformateur monophasé	86
Transformateur triphasé	91
Machines à courant continu	93
Moteur asynchrone triphasé.....	99
Machine synchrone triphasée	107
Moteur pas à pas	115
Convertisseurs statiques de puissance.....	119
Redressement monophasé.....	122
Redressement triphasé	128
Hacheurs.....	131
Onduleurs	136
Gradateurs	139
Transmission de signaux. Modulation et démodulation	144
Asservissements analogiques	151
Electronique numérique	158
Compatibilité électromagnétique.....	164
Sécurité électrique.....	167

Sujets de BTS corrigés et commentés

Assistance Technique d'Ingénieur 2009	183
<u>Etude d'un vélo à assistance électrique</u>	
• capteur magnétique, monostable, filtre,	
• convertisseur analogique-numérique,	
• moteur à courant continu, hacheur.	
Assistance Technique d'Ingénieur 2008	197
<u>Etude de la commande d'un animateur de scène</u>	
• transformateur, redresseur,	
• amplification, filtre, détecteur de crête,	
• hacheur quatre quadrants,	
• moteur à courant continu.	
Conception et Industrialisation en Microtechniques 2009	210
<u>Bobineuse</u>	
• dispositif de mesure de la force de traction,	
• capteur,	
• moteur à courant continu,	
• asservissement de vitesse d'un moteur.	
Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2009	221
<u>Fermentation du raisin</u>	
• moteur asynchrone,	
• convertisseur alternatif-continu,	
• onduleur,	
• mesure de température.	
Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2008	238
<u>Surveillance incendie du tunnel sous la Manche</u>	
• détecteur de CO,	
• traitement du signal (montage à amplificateurs opérationnels),	
• système de ventilation (moteur asynchrone triphasé),	
• système d'acquisition de données.	
Electrotechnique 2009	250
<u>Equipement d'un forage d'eau potable</u>	
• choix de la pompe,	
• solution pour un débit variable,	
• régulation du débit,	
• alimentation en énergie.	

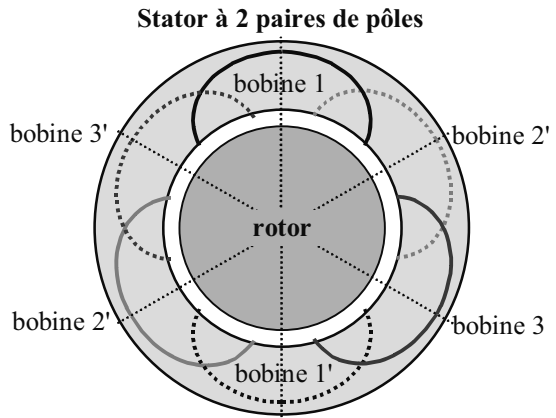
Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques 2010	271
<u>Etude d'un capteur de pression « intelligent » et de la transmission de mesures</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • conversion pression-capacité, • conversion capacité-fréquence, • traitement numérique du signal, • microcontrôleur, • transmission par boucle de courant. 	
Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques 2009	289
<u>Autour de l'automobile : identification, mesure, régulation et énergie</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • moto-réducteur d'entraînement du volet (moteur à courant continu), • capteur de position du volet, • asservissement de position du volet, • rôle du correcteur, • étude du système dans sa version numérique, • bus de données, • alimentation en énergie électrique, • étude du régulateur. 	
Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques 2008	308
<u>Régulation du niveau d'eau dans un réservoir</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • capteur de pression, • liaison 4-20 mA et liaison HART, • régulation de niveau, • régulation numérique, • moteur asynchrone alimenté par le réseau 230 V/400 V, • moteur asynchrone alimenté par le variateur. 	
Mécanique et Automatismes Industriels 2008	327
<u>Véhicule électrique</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • dispositif de sécurité comportant un capteur de température, • moteur asynchrone, • étude simplifiée d'un onduleur, • réglage de la vitesse d'un moteur asynchrone alimenté par l'onduleur. 	
Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 2010	341
<u>Mesure du niveau d'eau dans une citerne</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • étude du capteur capacitif, • mise en forme du signal, • étude du monostable, • étude du filtre, • étude du convertisseur analogique-numérique. 	

Moteur asynchrone triphasé

1. Description, principe de fonctionnement

Le moteur asynchrone possède deux circuits : l'un fixe, le stator, crée un champ magnétique tournant, le second, le rotor est en rotation grâce à l'influence du champ tournant.

- Le stator porte $3p$ bobinages (p étant le nombre de paires de pôles) décalés entre eux d'un angle de $2\pi/3p$ radians (ou $120/p$ degrés) et alimentés par un système triphasé de tensions de fréquence f . Il est à l'origine d'un champ magnétique tournant à la fréquence dite fréquence de synchronisme n_s .



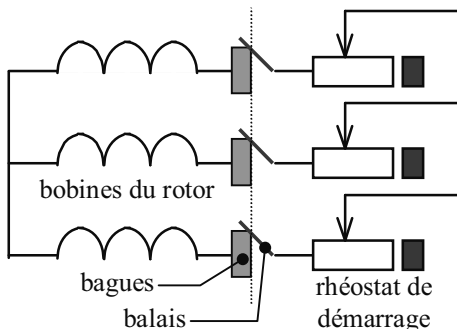
La fréquence de synchronisme est donnée par : $n_s = f/p$ ou $n_s = 60 \cdot f/p$

Dans la première expression, n_s est exprimée en $\text{tr} \cdot \text{s}^{-1}$ et dans la seconde en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$; f est la fréquence en Hz.

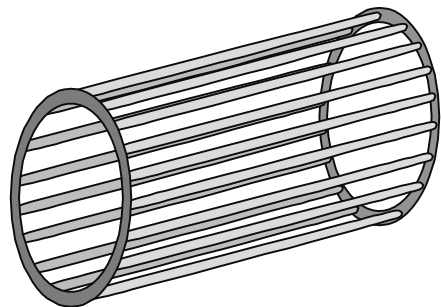
- Il existe deux types de rotors. Le premier est le rotor bobiné, qui est réalisé de la même façon que le stator. Dans ce cas, on a accès aux phases rotoriques grâce à trois bornes, ce qui permet de relier le rotor à un rhéostat de démarrage, par exemple (figure de gauche).

Le deuxième est le rotor à cage, constitué de deux anneaux (en cuivre ou en alliage d'aluminium) reliés entre eux par des barres de même nature (figure de droite).

Rotor bobiné ou à bagues



Rotor à cage



Le champ tournant statorique induit des courants sinusoïdaux au rotor, à la fréquence f_r . Ces courants sont à l'origine de pôles qui entraînent le rotor en rotation. La fréquence de rotation rotorique n est toujours inférieure à la fréquence de synchronisme n_s .

On définit le glissement g comme l'écart relatif entre n et n_s .

$$g = \frac{n_s - n}{n_s} \quad \text{ou} \quad g(\%) = 100 \frac{n_s - n}{n_s}$$

On exprime la fréquence f_r des courants au rotor à partir du glissement et de la fréquence f du système triphasé de tension alimentant le moteur : $f_r = g \cdot f$.

Lors du fonctionnement normal, le glissement g_n est de l'ordre de 4 à 5 %. La fréquence de rotation n est proche de la fréquence de synchronisme n_s ($n = 1425 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ à $1440 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ pour une machine possédant deux paires de pôles alimentée par le réseau 50 Hz) et la fréquence f_r des courants rotoriques est faible ($f_r = 2 \text{ Hz}$ à $2,5 \text{ Hz}$ pour $f = 50 \text{ Hz}$).

2. Etude quantitative du moteur asynchrone triphasé

- La puissance absorbée (par le stator) est : $P_a = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi$

P_a : puissance absorbée au stator (W)

U_s : tension composée appliquée au stator (V)

I_s : intensité du courant en ligne (A)

$\cos \varphi$: facteur de puissance (sans unité)

- Pertes par effet Joule au stator. Les trois enroulements constituant le stator peuvent être branchés en étoile ou en triangle.

On note R la résistance d'un bobinage et r la résistance mesurée entre deux phases, R et r s'expriment en ohms (Ω).

– Cas du montage étoile : les trois enroulements sont parcourus par le courant en ligne.

L'expression des pertes par effet Joule est donc : $p_{J_s} = 3 \cdot R \cdot I_s^2$.

La résistance r mesurée entre deux phases est $r = 2R$, d'où : $p_{J_s} = \frac{3}{2} \cdot r \cdot I_s^2$.

– Cas du montage triangle : la valeur efficace J_s des courants parcourant les enroulements est donnée par la relation : $I_s = \sqrt{3} \cdot J_s$. On a donc : $p_{J_s} = 3 \cdot R \cdot J_s^2 \Rightarrow$

$$p_{J_s} = R \cdot I_s^2$$

La résistance r mesurée entre deux phases est $r = \frac{2}{3} R$, d'où : $p_{J_s} = \frac{3}{2} \cdot r \cdot I_s^2$.

- Pertes dans le fer du stator. Les pertes fer statoriques p_{f_s} ne dépendent que de la valeur efficace U_s et de la fréquence f des tensions d'alimentation.

- Puissance transmise au rotor ou puissance électromagnétique : $P_{tr} = P_a - p_{J_s} - p_{f_s}$

- Moment du couple électromagnétique (en Newton.mètre $N \cdot m$) : $\Gamma_c = \frac{P_{tr}}{\Omega_s}$

- Puissance restante (en W) : $P' = \Gamma_c \cdot \Omega$

Etude de la commande d'un animateur de scène

Le Space Sweeper 150 fait partie des aménagements scéniques suspendus au-dessus des pistes de danse ou des scènes de spectacle. Il permet de projeter de façon dynamique des motifs lumineux de formes et de couleurs différentes.

Une lampe de 150 W montée dans le corps du projecteur diffuse sa lumière à travers un disque gravé de différents motifs appelés "gobos". Ces motifs sont focalisés par une lentille sur un miroir en mouvement qui les projette alors sur la piste ou la scène.

On se propose d'étudier une commande de l'appareil par le son :

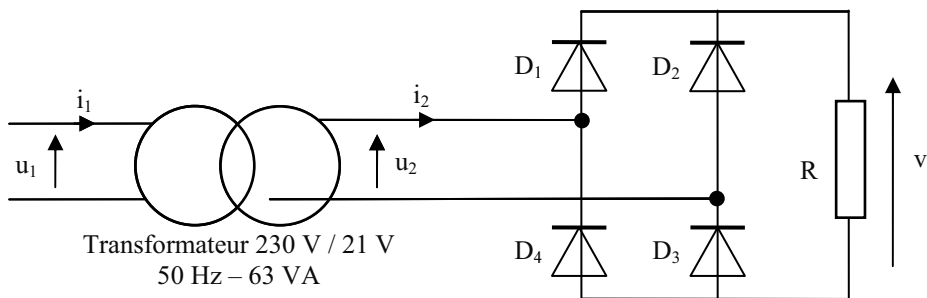
- si l'intensité du son est supérieure à une valeur fixée par l'utilisateur, alors l'appareil change de "gobo" ;
- si le son est grave, le miroir tourne dans le sens horaire ;
- si le son est aigu, le miroir tourne dans le sens trigonométrique.



On se propose d'étudier :

- l'alimentation de notre commande ;
- le traitement électronique du son ;
- la commande du moteur ;
- le moteur.

A) Etude de l'alimentation de la commande



A.I) Transformateur

Le transformateur est supposé parfait pour cette étude.

- A.I.1) Préciser la signification des indications fournies sur la plaque signalétique du transformateur (voir la figure précédente).
- A.I.2) Calculer les valeurs nominales I_1 et I_2 des intensités des courants primaire et secondaire.
- A.I.3) Calculer le rapport de transformation m du transformateur.

A.II) Pont redresseur

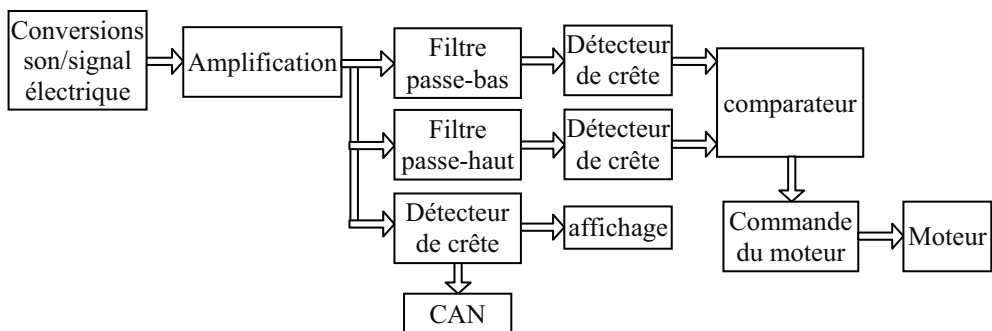
Le transformateur monophasé alimente un pont redresseur à quatre diodes supposées idéales. La résistance R placée à la sortie du pont permet de visualiser la tension $v(t)$ à l'aide d'un oscilloscope.

- A.II.1) Représenter sur le document-réponse 1 la forme de l'oscillogramme obtenu en précisant la valeur maximale et la fréquence f_v de la tension observée.
- A.II.2) On désire filtrer la tension $v(t)$ disponible à la sortie du pont redresseur pour obtenir une tension continue V_{DD} . Quel composant doit-on utiliser pour réaliser ce filtrage ?
- A.II.3) Quel appareil permet de mesurer la tension V_{DD} ? Détailler les réglages nécessaires pour réaliser cette mesure avec cet appareil.

Cette tension V_{DD} sera utilisée pour alimenter le moteur à courant continu.

B) Traitement électronique du son

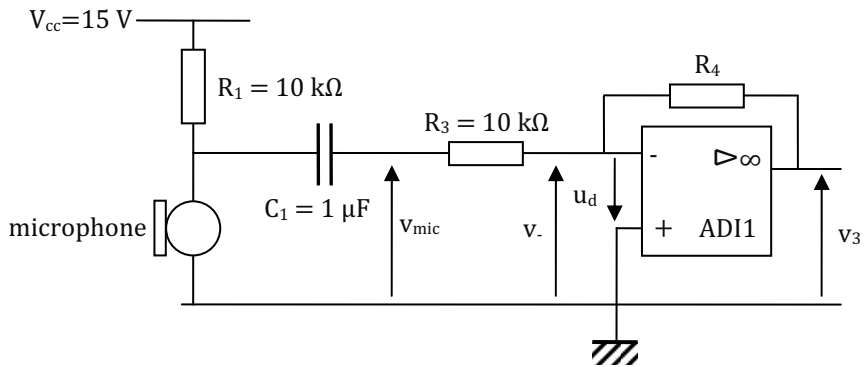
Le synoptique de cette chaîne est le suivant :



B.I) Amplification du signal

À l'aide d'un microphone électret, le son capté est converti en une tension v_{mic} de faible amplitude, image du son capté. La tension issue du microphone électret est amplifiée.

L'amplificateur différentiel intégré (noté ADI mais aussi appelé amplificateur opérationnel) est considéré comme parfait. Ses tensions de saturation sont confondues avec ses tensions d'alimentation : $\pm V_{sat} = \pm V_{cc} = \pm 15$ V.



- B.I.1) Quel est le régime de fonctionnement de l'ADI ?
- B.I.2) Que vaut la tension différentielle u_d de l'ADI ?
- B.I.3) Exprimer le potentiel de l'entrée inverseuse v_- de l'ADI.
- B.I.4) En déduire l'expression de la tension de sortie v_3 de l'ADI.
- B.I.5) Quel est le nom de ce montage ?
- B.I.6) L'amplitude maximale de la tension d'entrée v_{mic} vaut 150 mV. Si on choisit $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, déterminer la valeur maximale R_{4max} de R_4 pour que l'amplificateur ne fonctionne pas en saturation.

B.II) Etude du filtre passe-bas

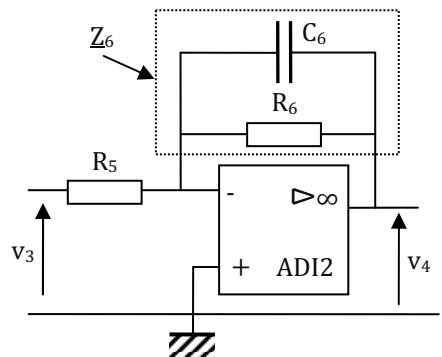
La tension amplifiée v_3 est ensuite envoyée vers un ensemble de filtres. Le schéma du premier est donné à la figure ci-contre.

$v_3(t)$ est une tension sinusoïdale de valeur efficace V_3 et de fréquence f .

On appelle Z_6 l'impédance équivalente à R_6 et C_6 . On lui associe également son admittance Y_6 . On notera \underline{V}_3 et \underline{V}_4 les tensions complexes associées aux tensions $v_3(t)$ et $v_4(t)$.

On définit la transmittance complexe du filtre :

$$\underline{T} = \frac{\underline{V}_4}{\underline{V}_3}$$



- B.II.1) Donner l'expression de \underline{V}_4 en fonction de \underline{V}_3 , R_5 et Z_6 .
- B.II.2) Donner l'expression de l'admittance Y_6 en fonction de R_6 , C_6 et ω .
- B.II.3) Montrer que la transmittance complexe \underline{T} peut se mettre sous la forme :

$$\underline{T} = \frac{T_0}{1 + j\frac{f}{f_0}}, \text{ avec } T_0 = -\frac{R_6}{R_5} \text{ et } f_0 = \frac{1}{2\pi R_6 C_6}.$$

- B.II.4) Donner l'expression du module T de la transmittance complexe \underline{T} .
- B.II.5) On donne $R_5 = R_6 = 10 \text{ k}\Omega$; calculer la valeur maximale de T , notée T_{max} .

B.II.6) Justifier que la fréquence de coupure f_c à -3 dB de ce filtre est :

$$f_c = f_0 = \frac{1}{2\pi R_6 C_6}$$

B.II.7) Calculer la valeur de C_6 pour avoir $f_c = 100$ Hz.

B.III) Détecteur de crête

La diode D_7 sera considérée comme parfaite.

B.III.1) Si la diode D_7 est passante, préciser la relation entre v_5 et v_4 .

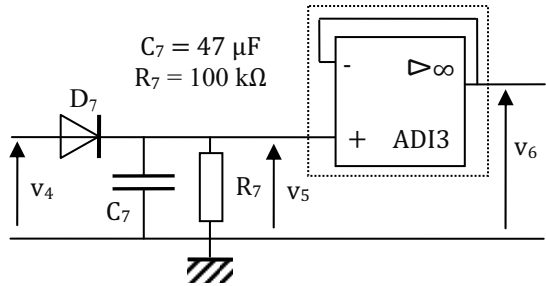
B.III.2) A quelle condition la diode D_7 est-elle bloquée ?

B.III.3) On a tracé sur le document-réponse 1 la tension $v_4(t)$ en pointillés et la tension $v_5(t)$ en continu.

B.III.3.a) Calculer la constante de temps τ du circuit constitué par la résistance R_7 et le condensateur de capacité C_7 .

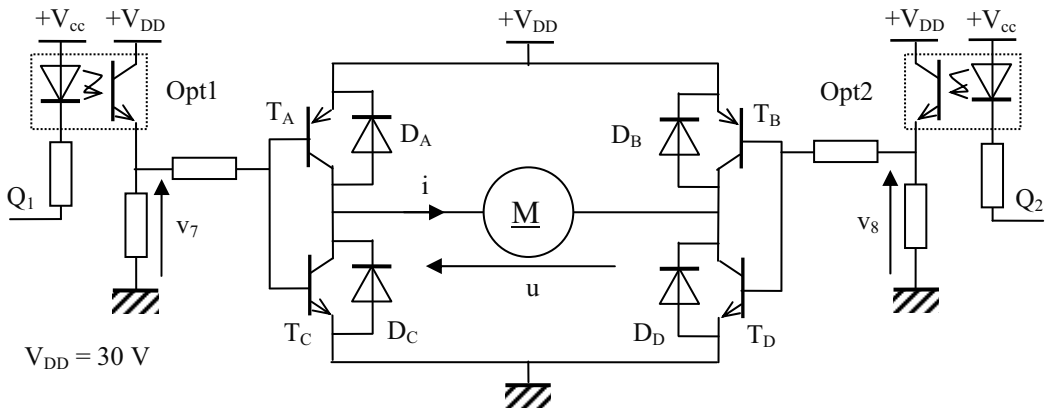
B.III.3.b) A l'aide de cette constante de temps τ , justifier l'allure de la tension $v_5(t)$.

B.III.4) Quelle relation existe entre les tensions v_5 et v_6 pour le montage délimité en pointillés sur la figure construite autour de l'ADI3 ? Quel rôle assure ce montage ?

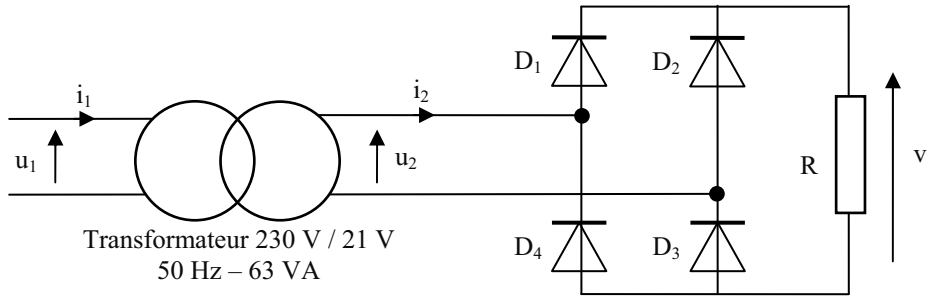


Les tensions de sortie des deux filtres sont ensuite comparées : en fonction de leur amplitude, le montage affecte un niveau logique haut ou bas au circuit de commande du moteur (sorties Q_1 et Q_2).

C) Commande du moteur



A) Etude de l'alimentation de la commande



A.I) **Transformateur**

A.I.1) Signification des indications fournies sur la plaque signalétique du transformateur :

- 230 V / 21 V : le primaire est dimensionné pour supporter une tension de valeur efficace 230 V (valeur nominale), alors le secondaire délivre une tension de valeur efficace 21 V (valeur nominale).
- 50 Hz : fréquence nominale des grandeurs électriques.
- 63 VA : puissance apparente nominale S_n du transformateur.

A.I.2) Le transformateur étant supposé parfait (aucune perte), la puissance apparente au secondaire est égale à celle du primaire, on peut écrire :

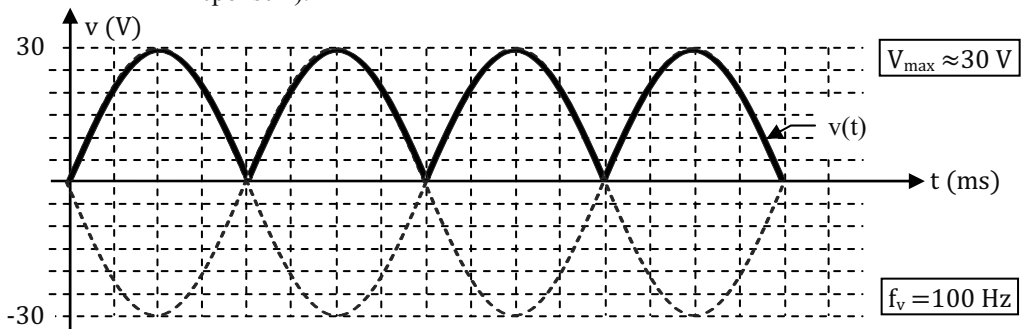
$$S_n = U_{1n} \cdot I_{1n} = U_{2n} \cdot I_{2n}$$

On en déduit : $I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{63}{230} \Rightarrow \boxed{I_{1n} = 274 \text{ mA}}$ et $I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{63}{21} \Rightarrow \boxed{I_{2n} = 3 \text{ A}}$.

A.I.3) Rapport de transformation : $m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{21}{230} \Rightarrow \boxed{m = 0,0913}$.

A.II) **Pont redresseur**

A.II.1) Représentation de la forme de l'oscillogramme de la tension v (document-réponse 1).

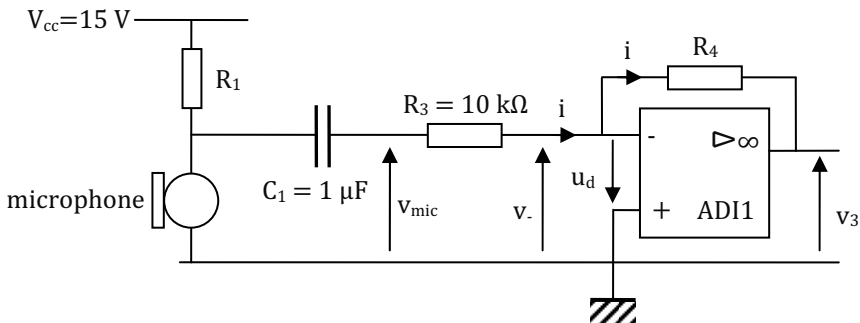


$u_2(t)$ ayant pour valeur efficace 21 V, son amplitude est : $U_{2\max} = \sqrt{2} \cdot U_2 = 29,7 \text{ V} \approx 30 \text{ V}$.
Sa fréquence est égale au double de la fréquence du réseau : $f_v = 2 \times 50 = 100 \text{ Hz}$.

- A.II.2) Pour obtenir une tension continue V_{DD} à la sortie du pont, on placera un condensateur de filtrage.
- A.II.3) Pour mesurer la tension V_{DD} , on utilise un multimètre sur la fonction voltmètre continu (DC) ; on choisira un calibre supérieur à 30 V (si la tension est filtrée, sa valeur moyenne sera de cet ordre).

B) Traitement électronique du son

B.I) Amplification du signal



B.I.1) L'ADI fonctionne en régime linéaire grâce à la rétroaction négative (bouclage de la sortie sur l'entrée inverseuse).

B.I.2) La tension différentielle de l'ADI est donc négligeable : $u_d \approx 0 \text{ V}$.

B.I.3) Potentiel de l'entrée inverseuse de l'ADI : $v_- = -u_d = 0 \text{ V}$.

B.I.4) L'ADI étant considéré comme parfait, ses impédances d'entrée sont infinies et c'est le même courant qui circule dans R_3 et R_4 . On a :

$$\text{d'une part : } v_{\text{mic}} = R_3 \cdot i + u_d = R_3 \cdot i \Rightarrow i = \frac{v_{\text{mic}}}{R_3}$$

$$\text{d'autre part : } v_3 = -R_4 \cdot i + u_d = -R_4 \cdot i \Rightarrow i = -\frac{v_3}{R_4}$$

$$\text{On en déduit : } \frac{v_{\text{mic}}}{R_3} = -\frac{v_3}{R_4} \Rightarrow v_3 = -\frac{R_4}{R_3} \cdot v_{\text{mic}}$$

B.I.5) Il s'agit d'un montage amplificateur inverseur.

B.I.6) L'amplitude maximale de la tension d'entrée v_{mic} vaut 150 mV.

Pour que l'amplificateur ne fonctionne pas en saturation, il faut que la valeur de la tension de sortie v_3 appartienne à l'intervalle $[-V_{\text{sat}}; +V_{\text{sat}}]$, c'est-à-dire $[-15 \text{ V}; +15 \text{ V}]$.

L'amplification maximale est donc : $A_{\text{max}} = \frac{15}{150 \cdot 10^{-3}} = 100$.

Si on choisit $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, la valeur maximale $R_{4\text{max}}$ de R_4 est donc donnée par :

$$\frac{R_{4\text{max}}}{R_3} = 100 \Rightarrow R_{4\text{max}} = 100 \cdot R_3 = 100 \times 10 \cdot 10^3 \Rightarrow R_{4\text{max}} = 1 \text{ M}\Omega$$