**Examen** du samedi 24 juin 2006 : durée 3 heures

*Sans documents sauf l'**Aide mémoire mathématique** jaune de 8 pages, calculatrice autorisée.*

Conseils :
- Les questions des chapitres 1, 2 et 3 sont **indépendantes**.
- **Bien lire l'ensemble du sujet avant de commencer** à répondre
- Reprendre la numérotation des questions et encadrer vos résultats
- En fin de devoir, **numéroter vos copies** (1/n à n/n, avec n : nombre de copies)

# 1. QUESTIONS DE COURS (QCM) (20 POINTS)

Noter sur votre copie, le n° de la question, et la ou les lettres correspondant aux réponses attendues. Il y a très peu de calculs à faire.

## 1.1 Trouver l'erreur

a. Un signal d'énergie finie a une puissance nulle.
b. Un signal causal a une puissance finie.
c. La puissance d'un signal périodique se calcule sur une période
d. Si $X_{(f)}$ est la transformée de Fourier du signal $x_{(t)}$, la puissance du signal $x_{(t)}$ est égale à la puissance du signal $X_{(f)}$.

## 1.2 Quel signal $x_{(t)}$ a pour transformée de Fourier $X_{(f)}$ avec :

$$X_{(f)} = A \cdot e^{-j2\pi f t_0} \quad \text{pour } |f| \le f_c$$

$$X_{(f)} = 0 \quad \text{pour } |f| > f_c$$

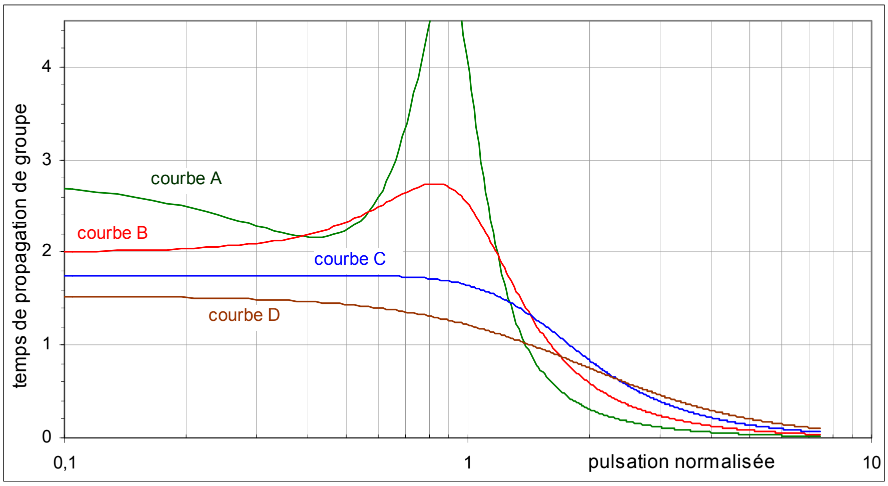
a. $x_{(t)} = A \cdot e^{\frac{-t}{t_0}}$

b. $x_{(t)} = A \cdot \dfrac{1}{1 + j\frac{t}{t_0}}$

c. $x_{(t)} = 2A \cdot f_c \cdot \dfrac{\sin(2\pi f_c (t - t_0))}{2\pi f_c (t - t_0)}$

d. $x_{(t)} = \dfrac{2\pi f_c \cdot e^{-2\pi f_c t_0 t}}{\sqrt{t_0^2 - 1}} \sinh\left(2\pi f_c \sqrt{t_0^2 - 1} \cdot t\right)$

## 1.3 Quelle courbe (Figure 1) correspond au filtre passe bas de type Bessel ?




a. Courbe A
b. Courbe B
c. Courbe C
d. Courbe D

Figure 1 : temps de propagation de groupe de 4 filtres passe bas du 3$^{\text{ième}}$ ordre.

## 1.4 Trouver les erreurs

a. Un filtre est stable si sa fréquence de coupure est au moins deux fois supérieure à la plus haute des fréquences du signal.
b. Un filtre de Cauer n'est pas stable car il y a de l'ondulation dans la bande atténuée.
c. Un filtre est stable si le degré du polynôme du dénominateur de la fonction de transfert est supérieur au degré du polynôme du numérateur.
d. Un filtre est stable si toutes les racines du dénominateur de la fonction de transfert sont à parties réelles négatives.

## 1.5 Trouver l'erreur

a. Un filtre passe bas de type Butterworth a ses pôles situés sur un cercle centré sur l'origine.
b. Les filtres passe bas de type Bessel et Chebchev (de même ordre) ont des pentes identiques aux hautes fréquences.
c. Les filtres de Cauer (elliptique) et de Chebychev inverse (Chebychev type II) ont de l'ondulation dans la bande atténuée.
d. Un filtre de type Bessel est toujours d'ordre impair.

## 1.6 Quel type de filtre donne l'ordre le plus faible pour répondre à un même gabarit ?

a. Filtre de type Butterworth.
b. Filtre à variable d'état à phase linéaire.
c. Filtre rejecteur (coupe bande).
d. Filtre de type Chebychev passif.
e. Filtre à amortissement critique actif.

## 1.7 Quelle est la fonction de transfert $T_{(p)}$ (notation de Laplace) du filtre, dont la réponse à un échelon d'amplitude $\alpha$ donne $S_{(p)} = \frac{\alpha}{1+2p+p^2}$ ?

a. $T_{(p)} = \frac{p}{(p+1)^2}$

b. $T_{(p)} = \frac{1+2p+p^2}{\alpha}$

c. $T_{(p)} = \frac{1}{p(p^2+2p+1)}$

d. $T_{(p)} = \frac{p^\alpha}{(p+1)^{2\alpha}}$

e. $T_{(p)} = \frac{1}{(p+1)^\alpha}$

## 1.8 Quelles affirmations correspondent à $e_{(t)} = \int_{-\infty}^{+\infty} h_{(t-\theta)} \cdot s_{(\theta)} d\theta$ ?

a. $e_{(t)}$ est la corrélation du signal $h_{(t)}$ par le signal $s_{(t)}$.

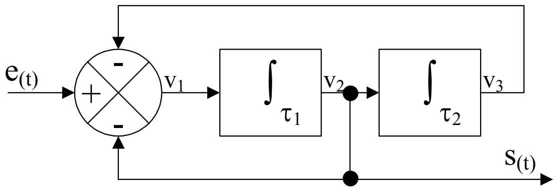
b. $e_{(t)}$ est le signal de sortie d'un Système Linéaire Invariant dans le Temps (SLIT), ayant s(t) comme réponse impulsionnelle et $h_{(t)}$ comme signal d'entrée.

c. $e_{(t)}$ est le signal de sortie d'un SLIT, ayant $h_{(t)}$ comme réponse indicielle et $s_{(t)}$ comme signal d'entrée.

d. $e_{(t)}$ est le signal d'entrée d'un SLIT, ayant $h_{(t)}$ comme réponse impulsionnelle et $s_{(t)}$ comme signal de sortie.

e. $e_{(t)}$ est le produit de convolution du signal $h_{(t)}$ par le signal $s_{(t)}$.

## 1.9 Quelle est la fonction réalisée par le filtre ?




a. Filtre passe tout.

b. Filtre passe bas du premier ordre.

c. Filtre passe bande.

d. Filtre elliptique.

e. Filtre passe haut du deuxième ordre.

## 1.10 Un signal aléatoire stationnaire au sens large :

a. est périodique.

b. a une moyenne constante dans le temps.

c. a pour transformée de Fourier un spectre de raies.

d. a son auto-corrélation indépendante du temps.

## 1.11 L'expression $\lim_{p\to 0} p \cdot F_{(p)} = \lim_{t\to +\infty} f_{(t)}$ définie :

a. L'égalité de Schwartz.

b. Le théorème de Parseval.

c. Le théorème de la valeur finale.

d. Le théorème de la valeur initiale.

e. Le théorème centrale limite.

## 1.12 L'expression $E\left(x^k\right) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^k \cdot p_{(x)} dx$ avec x variable aléatoire et $p_{(x)}$ densité de probabilité, définie :

a. La moyenne quadratique.

b. L'intercorrélation de x et de k.

c. Le moment d'ordre k.

d. L'écart type de x.

## 1.13 Quelle structure permet de faire le convertisseur analogique numérique le plus rapide ?

a. Approximation successive.
b. Pipeline.
c. Double rampe.
d. Sigma-Delta.
e. Simple rampe.
f. Réseau R-2R.

## 1.14 La largeur spectrale d'un signal modulé en amplitude est donnée par :

a. $F_p + F_m$.
b. $F_p - F_m$.
c. $2 \cdot F_m$.
d. $2 \cdot F_p$.
e. $2 \cdot (\Delta F + F_m)$.
f. $\dfrac{F_p + F_m}{2}$.

Avec $F_p$ : fréquence de la porteuse.
$F_m$ : fréquence du signal modulant.
$\Delta F$ : excursion de la fréquence.

## 1.15 Le taux de modulation en amplitude est donné par :

a. $\dfrac{\sqrt{S_o^2 + S_m^2}}{S_p}$.
b. $\dfrac{F_m}{F_p}$.
c. $\dfrac{S_m}{S_o}$.
d. $\dfrac{S_o - S_m}{S_p}$.

Avec $S_p$ : amplitude de la porteuse.
$S_m$ : amplitude du signal modulant.
$S_o$ : amplitude de la composante continue du signal modulant

## 1.16 Trouver l'erreur :

La modulation d'amplitude à bande latérale unique (BLU) est intéressante car :

a. Elle offre une meilleure qualité.
b. Elle occupe une largeur spectrale plus faible.
c. La porteuse n'est pas transmise.
d. Elle offre un meilleur rendement.

## 1.17 Quelle est la fonction de transfert d'un filtre passe tout du 1^er^ ordre ?

a. $H_{(j\omega)} = \dfrac{1 + jRC\omega}{1 - jRC\omega}$

b. $H_{(p)} = \dfrac{1 - RCp}{1 + RCp}$

c. $H_{(j\omega)} = \dfrac{1 + 2mjRC\omega - (RC\omega)^2}{1 - 2mjRC\omega + (jRC\omega)^2}$

d. $H_{(p)} = \dfrac{1 - 2mRCp + (RCp)^2}{1 + 2mRCp + (RCp)^2}$

## 1.18 Quelle est le rapport signal sur bruit (SNR) maximal d'un convertisseur analogique numérique sans sur-échantillonnage ?

a. $SNR_{(dB)} = 20 \cdot \log \dfrac{V_{ref}}{V_{in}}$.

b. $SNR_{(dB)} = 6{,}02 \cdot n + 1{,}76$.

c. $SNR_{(dB)} = 20 \cdot \log \dfrac{V_{ref}}{2^n}$.

d. $SNR_{(dB)} = 20 \cdot \log \dfrac{V_{ref}}{2^{n-1}}$.

Avec n : nombre de bits du convertisseur.
$V_{ref}$ : tension de référence du convertisseur.
$V_{in}$ : amplitude crête du signal d'entrée.

## 1.19 Trouver l'erreur :

En modulation de fréquence :

a. La largeur spectrale est donnée par la relation de Carson.

b. L'indice de modulation β est donnée par $\dfrac{\Delta\omega}{\omega_m}$

c. La modulation de fréquence à faible indice de modulation (β<<1) est identique à la modulation d'amplitude.

d. Le rapport signal sur bruit est généralement meilleur qu'en modulation d'amplitude.

## 1.20 Quelle est l'amplitude du quantum (LSB) pour un convertisseur analogique numérique de 24 bits bipolaire, de type Sigma-Delta du quatrième ordre, avec une référence de tension de 3 volts ?

a. $1{,}788139.10^{E-7}$ volt

b. 125 mV

c. 357,6 nV

d. 16 777 216 V

e. 0,059605 µV

## 2. EXERCICE 1 : FILTRAGE (20 POINTS)

On souhaite réaliser un filtre passif de type passe bande à placer en entrée d'un récepteur FM. Le gabarit de ce filtre est donné par la Figure 2.

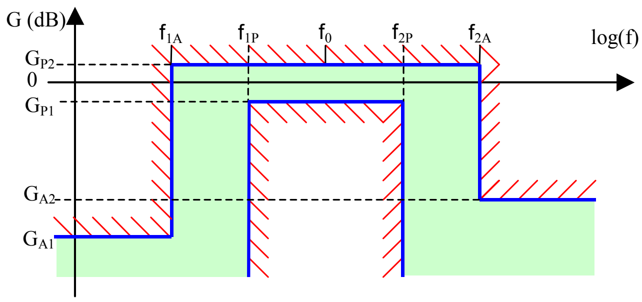



Figure 2 : gabarit du filtre passe bande

Avec :

- $F_{1A}$ = 44 MHz
- $F_{1P}$ = 88 MHz
- $F_{2P}$ = 108 MHz
- $F_{2A}$ = 180 MHz
- $G_{P2}$ = +0,5 dB
- $G_{P1}$ = -0,5 dB
- $G_{A2}$ = -30 dB
- $G_{A1}$ = -55 dB

### 2.1 Transformation Passe bande en Passe bas (8 points)

Effectuer en les explicitant les différentes étapes permettant de se ramener au(x) gabarit(s) du filtre passe bas normalisé (Figure 3), tout en faisant attention à la dissymétrie du gain dans les bande atténuée.

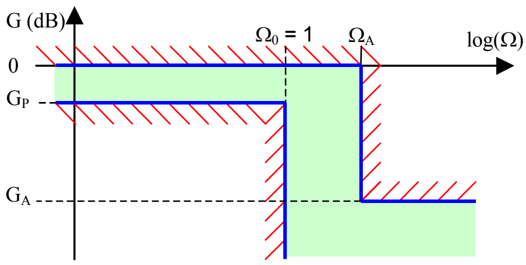



Figure 3 : gabarit passe bas normalisé

### 2.2 Réalisation (12 points)

Le choix de la fonction d'approximation doit être fait dans le respect du gabarit et avoir l'ordre le plus faible.

L'impédance de la source (côté antenne) est équivalente à une résistance R de 50 Ω.

En Annexes, il est rappelé la structure générale des filtres passifs passe bas ainsi que les différentes fonctions d'approximations.

*2.2.1 Donner la fonction d'approximation retenue et calculer l'ordre du filtre (justifier votre choix).*

*2.2.2 Dessiner le filtre passe bas normalisé avec la valeur de chaque composant.*

*2.2.3 Dessiner le filtre final (passe bande) avec la valeur de chaque composant.*

*2.2.4 Tracer l'allure du module et de la phase de la fonction de transfert du filtre ainsi réalisé.*

*2.2.5 S'agissant d'un filtre passif, le gain $G_{P1}$ est-il bien respecté ?*

Si oui, comment; si non, pourquoi.

# 3. EXERCICE 2 : MODULATION (20 POINTS)

Les exercices 3.1 et 3.2 abordent de façon **indépendante** la modulation d'amplitude et de fréquence.

## 3.1 La modulation d'amplitude (12 points)

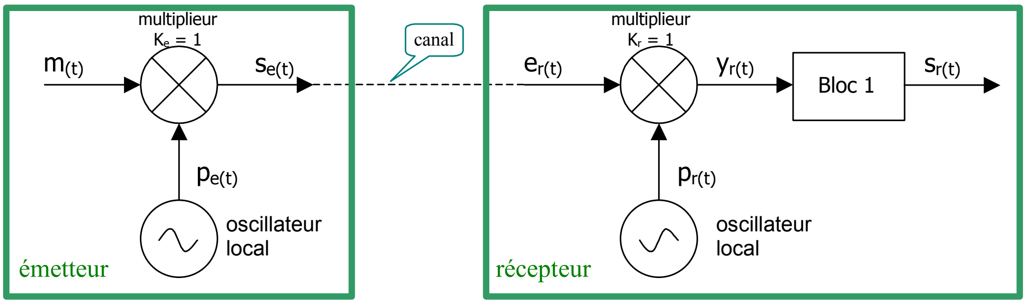



Figure 4 : modulateur et démodulateur

Signal modulant : $m_{(t)} = M_0 + M\cos(\omega_m t)$

Oscillateur local de l'émetteur : $p_{e(t)} = \cos(\omega_P t)$

Oscillateur local du récepteur : $p_{r(t)} = \cos(\omega_{\mathrm{Pr}} t + \phi_r)$

### *3.1.1 Modulation d'amplitude sans porteuse (DSB-SC)*

Ecrire l'expression de $s_{e(t)}$.

Quelle propriété doit présenter le signal modulant ($m_{(t)}$) afin d'avoir en sortie de l'émetteur un signal modulé ($s_{e(t)}$) sans porteuse.

### *3.1.2 Démodulation synchrone*

Le canal de transmission est considéré parfait ($s_{e(t)} = e_{r(t)}$), et la modulation est sans porteuse.

a. Calculer $y_{r(t)}$.

b. Dans le cas $\omega_{Pr} = \omega_P$ et $\phi_r = 0$, définir la fonction du bloc 1 pour avoir $m_{(t)} = s_{r(t)}$ (fonction de transfert, schéma…).

### *3.1.3 Influence des erreurs sur la démodulation*

a. Lorsque $\omega_{Pr} = \omega_P$, montrer l'incidence de l'erreur de phase $\phi_r$ sur la démodulation synchrone, pour différentes valeurs de $\phi_r$ et lorsque $\phi_r$ varie dans le temps ($\phi_{r(t)}$).

b. La modulation d'amplitude avec porteuse résout-elle cet inconvénient ?

c. Lorsque $\phi_r = 0$, montrer l'incidence d'une petite erreur $\Delta\omega$ sur la pulsation de l'oscillateur local du récepteur ($\omega_{Pr} = \omega_P \pm \Delta\omega$).

d. Proposer une solution permettant de faire un démodulateur synchrone.

## 3.2 La modulation de fréquence

(8 points)

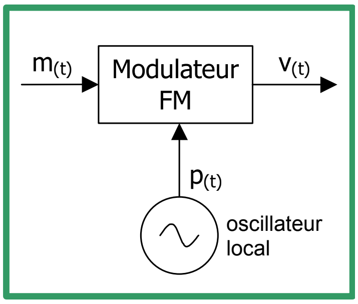



Figure 5 : modulateur de fréquence

Le signal $v_{(t)}$ est un signal modulé en fréquence par un signal sinusoïdale $m_{(t)}$.

$$v_{(t)} = 17 \cdot \cos\left(2\pi \times 103{,}7 \cdot 10^6 \times t + 5 \cdot \sin\left(3554{,}3 \cdot t\right)\right)$$

a. Donner l'amplitude ($V_0$) du signal $v_{(t)}$ et l'amplitude ($P_0$) de la porteuse $p_{(t)}$.
b. Donner la fréquence ($f_p$) de la porteuse $p_{(t)}$.
c. Donner la fréquence ($f_m$) du signal modulant $m_{(t)}$.
d. Donner l'indice de modulation : $\beta$
e. Donner l'excursion en fréquence : $\Delta f$
f. Donner la largeur du spectre ($B_v$) de $v_{(t)}$.
g. Monter que pour une constante d'intégration k = 4000 Hz.V$^{-1}$, le signal modulant $m_{(t)}$ peut s'écrire sous la forme suivante : $m_{(t)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \cos\left(2\pi \cdot f_m \cdot t\right)$

# ANNEXES

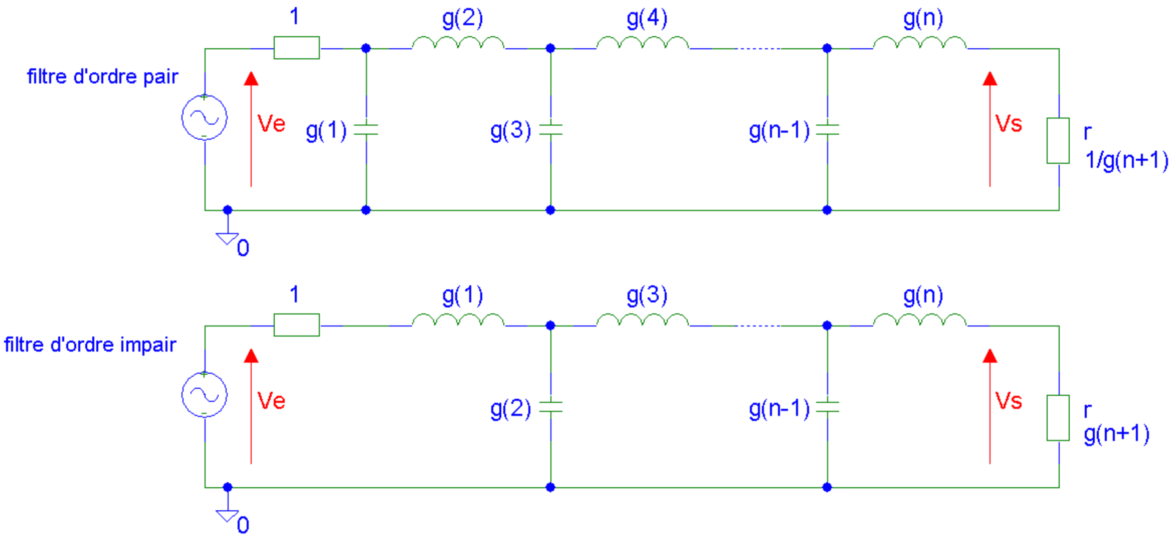



**Figure 6** : filtres passifs normalisés

Polynôme d'approximation de **Butterworth**

$$\left|H_{(j\Omega)}\right|^2 = \frac{1}{1+\varepsilon^2 \cdot \Omega^{2n}}$$

$\varepsilon$ : amplitude de l'ondulation dans la bande passante.

$\Omega$ : pulsation normalisée.

$n$ : ordre du filtre.

$$\varepsilon^2 = 10^{\frac{-G_P}{10}} - 1$$

si $\varepsilon \neq 1$ ($G_P \neq -3$ dB), il faut faire le changement de variable : $\Omega' = \sqrt[n]{\varepsilon} \cdot \Omega$

$$n \geq \frac{\ln\left(10^{\frac{-G_A}{10}} - 1\right) - \ln\left(10^{\frac{-G_P}{10}} - 1\right)}{2 \cdot \ln \Omega_A}$$

| n | $g_1$ | $g_2$ | $g_3$ | $g_4$ | $g_5$ | $g_6$ | $g_7$ | $g_8$ | $g_9$ | $g_{10}$ | $g_{11}$ | $g_{12}$ | $g_{13}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1,414 | 1,414 | 1 | | | | | | | | | | |
| 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | |
| 4 | 0,7654 | 1,848 | 1,848 | 0,7654 | 1 | | | | | | | | |
| 5 | 0,618 | 1,618 | 2 | 1,618 | 0,618 | 1 | | | | | | | |
| 6 | 0,5176 | 1,414 | 1,932 | 1,932 | 1,414 | 0,5176 | 1 | | | | | | |
| 7 | 0,445 | 1,247 | 1,802 | 2 | 1,802 | 1,247 | 0,445 | 1 | | | | | |
| 8 | 0,3902 | 1,111 | 1,663 | 1,962 | 1,962 | 1,663 | 1,111 | 0,3902 | 1 | | | | |
| 9 | 0,3473 | 1 | 1,532 | 1,879 | 2 | 1,879 | 1,532 | 1 | 0,3473 | 1 | | | |
| 10 | 0,3129 | 0,908 | 1,414 | 1,782 | 1,975 | 1,975 | 1,782 | 1,414 | 0,908 | 0,3129 | 1 | | |
| 11 | 0,2846 | 0,8308 | 1,3097 | 1,6825 | 1,9189 | 2 | 1,9189 | 1,6825 | 1,3097 | 0,8308 | 0,2846 | 1 | |
| 12 | 0,261 | 0,7653 | 1,2175 | 1,5867 | 1,8477 | 1,9828 | 1,9828 | 1,8477 | 1,5867 | 1,2175 | 0,7653 | 0,261 | 1 |

**Tableau 1** : valeurs normalisées des impédances pour un filtre passif passe bas de Butterworth.
Le point à $\Omega_0$ = 1 rd/s donne une atténuation de –3dB.

Polynôme d'approximation de **Chebychev**

pour $\Omega \leq 1$

$$T_{n(\Omega)} = \cos(n \cdot \arccos(\Omega))$$

pour $\Omega \geq 1$

$$T_{n(\Omega)} = \cosh(n \cdot \arccos\mathrm{h}(\Omega))$$

$$\left|H_{(j\Omega)}\right|^2 = \frac{1}{1+\varepsilon^2 \cdot T^2_{n(\Omega)}}$$

$\varepsilon$ ondulation dans la bande passante.

$T^2_{n(\Omega)}$ carré du polynôme de Chebychev.

$$n \geq \frac{\arccos\mathrm{h}\sqrt{\dfrac{10^{-\frac{Ga}{10}}-1}{\varepsilon^2}}}{\arccos\mathrm{h}(\Omega_a)}$$

| | n | $g_1$ | $g_2$ | $g_3$ | $g_4$ | $g_5$ | $g_6$ | $g_7$ | $g_8$ | $g_9$ | $g_{10}$ | $g_{11}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ondulation 0,1 dB | 1 | 0,3052 | 1 | | | | | | | | | |
| | 2 | 0,843 | 0,622 | 1,3554 | | | | | | | | |
| | 3 | 1,0315 | 1,1474 | 1,0315 | 1 | | | | | | | |
| | 4 | 1,1088 | 1,3061 | 1,7703 | 0,818 | 1,3554 | | | | | | |
| | 5 | 1,1468 | 1,3712 | 1,975 | 1,3712 | 1,1468 | 1 | | | | | |
| | 6 | 1,1681 | 1,4039 | 2,0562 | 1,517 | 1,9029 | 0,8618 | 1,3554 | | | | |
| | 7 | 1,1811 | 1,4228 | 2,0966 | 1,5733 | 2,0966 | 1,4228 | 1,1811 | 1 | | | |
| | 8 | 1,1897 | 1,4346 | 2,1199 | 1,601 | 2,1699 | 1,564 | 1,9444 | 0,8778 | 1,3554 | | |
| | 9 | 1,1956 | 1,4425 | 2,1345 | 1,6167 | 2,2053 | 1,6167 | 2,1345 | 1,4425 | 1,1956 | 1 | |
| | 10 | 1,1999 | 1,4481 | 2,1444 | 1,6265 | 2,2253 | 1,6418 | 2,2046 | 1,5821 | 1,9628 | 0,8853 | 1,3554 |
| Ondulation 0,5 dB | 1 | 0,6986 | 1 | | | | | | | | | |
| | 2 | 1,4029 | 0,7071 | 1,9841 | | | | | | | | |
| | 3 | 1,5963 | 1,0967 | 1,5963 | 1 | | | | | | | |
| | 4 | 1,6703 | 1,1926 | 2,3661 | 0,8419 | 1,9841 | | | | | | |
| | 5 | 1,7058 | 1,2296 | 2,5408 | 1,2296 | 1,7058 | 1 | | | | | |
| | 6 | 1,7254 | 1,2479 | 2,6064 | 1,3137 | 2,4758 | 0,8696 | 1,9841 | | | | |
| | 7 | 1,7372 | 1,2583 | 2,6381 | 1,3444 | 2,6381 | 1,2583 | 1,7372 | 1 | | | |
| | 8 | 1,7451 | 1,2647 | 2,6564 | 1,359 | 2,6964 | 1,3389 | 2,5093 | 0,8796 | 1,9841 | | |
| | 9 | 1,7504 | 1,269 | 2,6678 | 1,3673 | 2,7239 | 1,3673 | 2,6678 | 1,269 | 1,7504 | 1 | |
| | 10 | 1,7543 | 1,2721 | 2,6754 | 1;3725 | 2,7392 | 1,3806 | 2,7231 | 1,3485 | 2,5239 | 0,8842 | 1,9841 |
| Ondulation 1,0 dB | 1 | 1,0177 | 1 | | | | | | | | | |
| | 2 | 1,8219 | 0,685 | 2,6599 | | | | | | | | |
| | 3 | 2,0236 | 0,9941 | 2,0236 | 1 | | | | | | | |
| | 4 | 2,0991 | 1,0644 | 2,8311 | 0,7892 | 2,6599 | | | | | | |
| | 5 | 2,1349 | 1,0911 | 3,0009 | 1,0911 | 2,1349 | 1 | | | | | |
| | 6 | 2,1546 | 1,1041 | 3,0634 | 1,1518 | 2,9367 | 0,8101 | 2,6599 | | | | |
| | 7 | 2,1664 | 1,1116 | 3,0934 | 1,1736 | 3,0934 | 1,1116 | 2,1664 | 1 | | | |
| | 8 | 2,1744 | 1,1161 | 3,1107 | 1,1839 | 3,1488 | 1,1696 | 2,9685 | 0,8175 | 2,6599 | | |
| | 9 | 2,1797 | 1,1192 | 3,1215 | 1,1897 | 3,1747 | 1,1897 | 3,1215 | 1,1192 | 2,1797 | 1 | |
| | 10 | 2,1836 | 1,1213 | 3,1286 | 1,1933 | 3,189 | 1,199 | 3,1738 | 1,1763 | 2,9824 | 0,821 | 2,6599 |
| Ondulation 3,0 dB | 1 | 1,9953 | 1 | | | | | | | | | |
| | 2 | 3,1013 | 0,5339 | 5,8095 | | | | | | | | |
| | 3 | 3,3487 | 0,7117 | 3,3487 | 1 | | | | | | | |
| | 4 | 3,4389 | 0,7483 | 4,3471 | 0,592 | 5,8095 | | | | | | |
| | 5 | 3,4817 | 0,7618 | 4,5381 | 0,7618 | 3,4817 | 1 | | | | | |
| | 6 | 3,5045 | 0,7685 | 4,6061 | 0,7929 | 4,4641 | 0,6033 | 5,8095 | | | | |
| | 7 | 3,5182 | 0,7723 | 4,6386 | 0,8039 | 4,6386 | 0,7723 | 3,5182 | 1 | | | |
| | 8 | 3,5277 | 0,7745 | 4,6575 | 0,8089 | 4,699 | 0,8018 | 4,499 | 0,6073 | 5,8095 | | |
| | 9 | 3,534 | 0,776 | 4,6692 | 0,8118 | 4,7272 | 0,8118 | 4,6692 | 0,776 | 3,534 | 1 | |
| | 10 | 3,5384 | 0,7771 | 4,6768 | 0,8136 | 4,7425 | 0,8164 | 4,726 | 0,8051 | 4,5142 | 0,6091 | 5,8095 |

**Tableau 2** : valeurs normalisées des impédances pour un filtre passif passe bas de Chebychev.
Le dernier point à -x dB (ondulation) est obtenu pour $\Omega_0$ = 1 rd/s.