

Mathématiques appliquées : Utilisation pratique des nombres complexes en Electricité et Electronique

Version 1.0.8

Sommaire

- 1- Forme algébrique (ou forme cartésienne)
- 2- Partie réelle et partie imaginaire
- 3- Addition ou soustraction des nombres complexes
- 4- Multiplication d'un nombre réel et d'un nombre complexe
- 5- Multiplication de deux nombres complexes
- 6- Forme trigonométrique (ou forme polaire) d'un nombre complexe
- 7- Module et argument
- 8- Passage de la forme trigonométrique à la forme algébrique
- 9- Passage de la forme algébrique à la forme trigonométrique
 - 9-1- Plan complexe
 - 9-2- Module
 - 9-3- Argument
- 10- Multiplication de deux nombres complexes avec la forme trigonométrique
- 11- Division de deux nombres complexes
- 12- Nombre complexe conjugué
- 13- Exemples d'application en électricité : les impédances complexes
 - 13-1- Exemple n°1 : Circuit RLC série
 - 13-2- Exemple n°2 : Circuit RL parallèle
- 14- Exemple d'application en électronique : fonction de transfert d'un filtre
- 15- Réponse aux questions

1- Forme algébrique (ou forme cartésienne)

Voici un nombre complexe que nous appellerons \underline{Z} (avec une barre en dessous pour bien montrer qu'il s'agit d'un nombre complexe).

La forme algébrique est une façon de représenter un nombre complexe :

$$\underline{Z} = 2 + 3j$$

(ou $2 + 3 \times j$)

\underline{Z} se lit « Z complexe » ou « nombre complexe Z »

$2 + 3j$ se lit « deux plus trois j »

Remarque :

En mathématiques, on utilise i à la place de j :

$$\underline{Z} = 2 + 3i \quad \text{« deux plus trois i »}$$

2- Partie réelle et partie imaginaire

Un nombre complexe possède une **partie réelle** et une **partie imaginaire** :

$$\underline{Z} = \underbrace{2}_{\text{partie réelle}} + \underbrace{3}_{\text{partie imaginaire}} \times j$$

j est le nombre imaginaire unité.

Remarques :

- Un nombre réel est un nombre complexe qui n'a pas de partie imaginaire :

$$-12,5 + 0j$$

ou plus simplement :

$$-12,5$$

- Un nombre imaginaire est un nombre complexe qui n'a pas de partie réelle :

$$0 + 3j$$

ou plus simplement :

$$3j$$

Question n°1 : Que valent la partie réelle et la partie imaginaire du nombre complexe :

$$5,2j - 2,5 \quad ?$$

Question n°2 : Que valent la partie réelle et la partie imaginaire du nombre réel π ?

Question n°3 : Que valent la partie réelle et la partie imaginaire du nombre imaginaire j ?

(Solution à la fin)

3- Addition ou soustraction des nombres complexes

Les parties réelles s'additionnent (ou se soustraient).

Les parties imaginaires s'additionnent (ou se soustraient).

$$\text{Soit : } \underline{Z}_1 = 5 + 7j$$

$$\text{et : } \underline{Z}_2 = -2 + j$$

Addition :

$$\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 = 5 + 7j - 2 + j = (5 - 2) + (7 + 1)j = 3 + 8j$$

Soustraction :

$$\underline{Z}_1 - \underline{Z}_2 = 5 + 7j - (-2 + j) = 5 + 7j + 2 - j = (5 + 2) + (7 - 1)j = 7 + 6j$$

Question n°4 : Additionner les nombres complexes $3 - 4j$ et $3 + 4j$.

Question n°5 : Soustraire les nombres complexes $3 - 4j$ et $3 + 4j$.

4- Multiplication d'un nombre réel et d'un nombre complexe

Soit : $\underline{Z} = 3 + 5j$

Multiplions le nombre complexe \underline{Z} par le nombre réel 8 :

$$8 \times \underline{Z} = 8 \times (3 + 5j)$$

On développe :

$$\begin{aligned} 8 \times (3 + 5j) &= 8 \times 3 + 8 \times 5j \\ &= 24 + 40j \end{aligned}$$

5- Multiplication de deux nombres complexes

Les choses se compliquent !

j , le nombre imaginaire unité, a la propriété étonnante suivante :

$j \times j = -1$
ou
$j^2 = -1$
ou
$\frac{1}{j} = -j$

« j fois j est égal à -1 »

« j au carré est égal à -1 »

Soit : $\underline{Z}_1 = 6 + 3j$

et : $\underline{Z}_2 = 5 + 2j$

Multiplication :

$$\underline{Z}_1 \times \underline{Z}_2 = (6 + 3j) \times (5 + 2j)$$

On développe :

$$\begin{aligned} (6 + 3j) \times (5 + 2j) &= 6 \times 5 + 6 \times 2j + 3j \times 5 + 3j \times 2j \\ &= 30 + 12j + 15j + 6j^2 \quad \text{avec : } j^2 = -1 \\ &= 30 + 12j + 15j - 6 \\ &= (30 - 6) + (12 + 15)j \\ &= 24 + 27j \end{aligned}$$

Question n°6 : Multiplier les nombres complexes $1 - j$ et $4 + 2j$.

Question n°7 : Multiplier les nombres complexes $3 - 4j$ et $3 + 4j$.

Question n°8 : Multiplier les nombres complexes j et $3 + 4j$.

6- Forme trigonométrique (ou forme polaire) d'un nombre complexe

La forme trigonométrique est une autre façon de représenter un nombre complexe :

Exemple :

$$\underline{Z} = \left(2 ; + \frac{\pi}{3} \text{ rad} \right)$$

ou : $\underline{Z} = (2 ; + 60^\circ)$

7- Module et argument

Un nombre complexe possède un module et un argument :

$$\underline{Z} = \left(\underbrace{2}_{\text{module}} ; + \underbrace{\frac{\pi}{3}}_{\text{argument}} \text{ rad} \right)$$

Le module du nombre complexe \underline{Z} se note : $|\underline{Z}|$ ou Z

Ici : $|\underline{Z}| = 2$

Le module est un nombre réel positif ou nul.

L'argument d'un nombre complexe est un angle que l'on peut exprimer en degrés ($^\circ$) ou en radians ($180^\circ = \pi$ radians).

L'argument du nombre complexe \underline{Z} se note : $\arg(\underline{Z})$

Ici : $\arg(\underline{Z}) = + \frac{\pi}{3} \text{ rad}$

8- Passage de la forme trigonométrique à la forme algébrique

C'est très simple :

partie réelle = module \times cosinus de l'argument
partie imaginaire = module \times sinus de l'argument

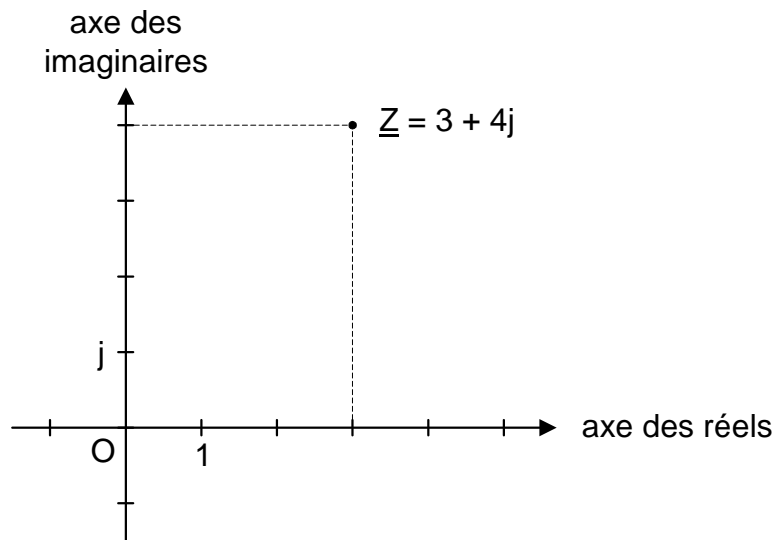
$$\begin{aligned}\underline{Z} &= \left(2 ; + \frac{\pi}{3} \text{ rad} \right) \\ &= 2 \times \cos\left(+ \frac{\pi}{3} \text{ rad}\right) + 2 \times \sin\left(+ \frac{\pi}{3} \text{ rad}\right) j \\ &= 2 \times \frac{1}{2} + 2 \times \frac{\sqrt{3}}{2} j \\ &= 1 + \sqrt{3} j\end{aligned}$$

9- Passage de la forme algébrique à la forme trigonométrique

9-1- Plan complexe

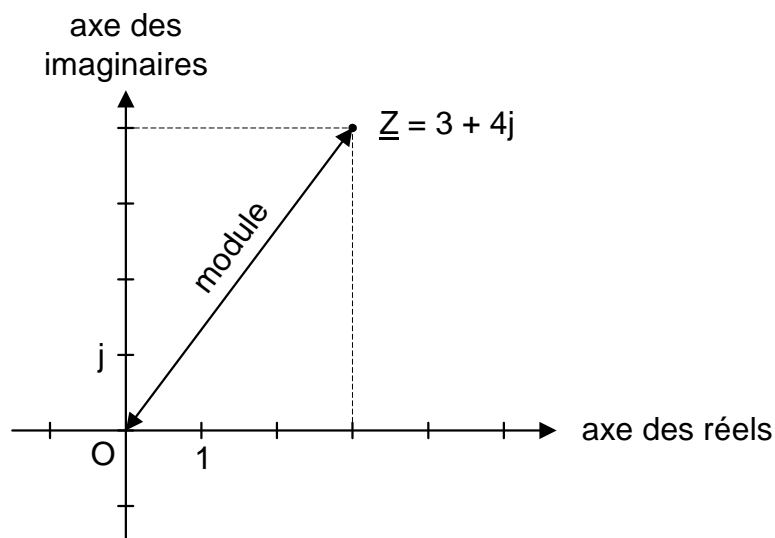
Le plan complexe désigne un plan dont chaque point est la représentation graphique d'un nombre complexe.

Exemple : $\underline{Z} = 3 + 4j$



En abscisse, nous avons la partie réelle.
En ordonnée, nous avons la partie imaginaire.

9-2- Module



$$\text{module d'un nombre complexe} = \sqrt{(\text{partie réelle})^2 + (\text{partie imaginaire})^2}$$

Le module est une grandeur réelle positive (comme la longueur).

Calculons le module du nombre : $\underline{Z} = 3 + 4j$

$$|\underline{Z}| = |3 + 4j| = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25} = 5$$

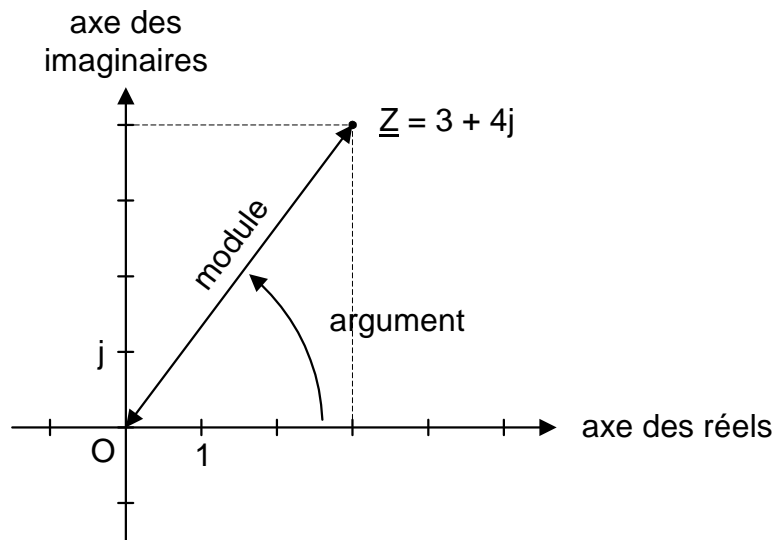
Question n°9 : Calculer le module du nombre complexe $-1 - 2j$.

Question n°10 : Calculer le module du nombre imaginaire $5j$.

Question n°11 : Calculer le module du nombre imaginaire $-7j$.

Question n°12 : Calculer le module du nombre réel $-3,93$.

9-3- Argument



L'argument d'un nombre complexe est un angle.

Reprenons le nombre complexe : $\underline{Z} = 3 + 4j$

L'argument du nombre complexe \underline{Z} se note : $\arg(\underline{Z}) = \arg(3 + 4j)$

Dans le cas particulier où la partie réelle est strictement positive :

$$\arg(\underline{Z}) = \tan^{-1}\left(\frac{\text{partie imaginaire}}{\text{partie réelle}}\right)$$

Application numérique (avec une calculatrice) :

$$\arg(3 + 4j) = \arctan\left(\frac{4}{3}\right) \approx +53,13^\circ$$

$$\arg(3 - 4j) = \arctan\left(\frac{-4}{3}\right) \approx -53,13^\circ$$

N.B. Suivant la marque de la calculatrice, la fonction réciproque de la tangente se note :

arctan ou **Shift + tan** ou **\tan^{-1}** ou **Atn**

Dans le cas particulier où la partie réelle est positive et la partie imaginaire nulle (nombre réel positif), l'argument est nul.

$$\arg(8) = 0^\circ$$

Dans le cas particulier où la partie réelle est négative et la partie imaginaire nulle (nombre réel négatif), l'argument est 180° (ou π radians)

$$\arg(-8) = 180^\circ$$

Dans le cas particulier où la partie réelle est nulle et la partie imaginaire positive, l'argument est $+90^\circ$ (ou $\frac{\pi}{2}$ radian)

$$\arg(+2j) = +90^\circ$$

Dans le cas particulier où la partie réelle est nulle et la partie imaginaire négative, l'argument est -90° (ou $-\frac{\pi}{2}$ radians)

$$\arg(-3j) = -90^\circ$$

Dans le cas particulier où la partie réelle est strictement négative :

En degrés :

$$\arg(\underline{Z}) = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{\text{partie imaginaire}}{\text{partie réelle}}\right)$$

En radians :

$$\arg(\underline{Z}) = \pi + \tan^{-1}\left(\frac{\text{partie imaginaire}}{\text{partie réelle}}\right)$$

$$\arg(-3 + 4j) = 180^\circ + \arctan\left(\frac{4}{-3}\right) \approx 180^\circ - 53,13^\circ \approx +126,87^\circ$$

$$\arg(-3 - 4j) = 180^\circ + \arctan\left(\frac{-4}{-3}\right) \approx 180^\circ + 53,13^\circ \approx +233,13^\circ \approx -126,87^\circ$$

Question n°13 : Calculer l'argument du nombre complexe $2 + 2j$.

Question n°14 : Calculer l'argument du nombre imaginaire $5j$.

Question n°15 : Calculer l'argument du nombre imaginaire $-7j$.

Question n°16 : Calculer l'argument du nombre réel $-3,93$.

10- Multiplication de deux nombres complexes avec la forme trigonométrique

Module d'un produit = produit des modules

Argument d'un produit = somme des arguments

$$\text{Soit : } \underline{Z}_1 = \left(3; +\frac{\pi}{4} \right)$$

$$\text{et : } \underline{Z}_2 = \left(2; -\frac{\pi}{6} \right)$$

$$\underline{Z}_1 \times \underline{Z}_2 = \left(3; +\frac{\pi}{4} \right) \times \left(2; -\frac{\pi}{6} \right)$$

$$= \left(3 \times 2; +\frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{6} \right)$$

$$= \left(6; +\frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{6} \right)$$

$$= \left(6; +\frac{\pi}{12} \text{ rad} \right)$$

$$= (6; +15^\circ)$$

$$\text{Soit : } \underline{Z} = \left(1; +\frac{\pi}{2} \text{ rad} \right)$$

Calculons : \underline{Z}^2

$$\underline{Z}^2 = \left(1; +\frac{\pi}{2} \text{ rad} \right) \times \left(1; +\frac{\pi}{2} \text{ rad} \right)$$

$$= \left(1 \times 1; +\frac{\pi}{2} \text{ rad} + \frac{\pi}{2} \text{ rad} \right)$$

$$= (1; +\pi \text{ rad})$$

Remarque :

$$\underline{Z} = \left(1; +\frac{\pi}{2} \text{ rad} \right)$$

$$= 1 \times \cos\left(+\frac{\pi}{2} \text{ rad}\right) + 1 \times \sin\left(+\frac{\pi}{2} \text{ rad}\right) j$$

$$= 0 + j$$

$$= j$$

$$\underline{Z}^2 = (1; +\pi \text{ rad})$$

$$= 1 \times \cos(+\pi \text{ rad}) + 1 \times \sin(+\pi \text{ rad}) j$$

$$= -1 + 0j$$

$$= -1$$

On retrouve : $j^2 = -1$

11- Division de deux nombres complexes

Module d'un quotient = quotient des modules du numérateur et du dénominateur

Argument d'un quotient = argument du numérateur – argument du dénominateur

Exemple :

$$\text{Soit : } \underline{Z}_1 = \left(3 ; +\frac{\pi}{4} \right)$$

$$\text{et : } \underline{Z}_2 = \left(2 ; -\frac{\pi}{6} \right)$$

$$\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2} = \frac{\left(3 ; +\frac{\pi}{4} \right)}{\left(2 ; -\frac{\pi}{6} \right)} = \left(\frac{3}{2} ; +\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{6} \right) = \left(\frac{3}{2} ; +\frac{5\pi}{12} \text{ rad} \right) = (1,5 ; +75^\circ)$$

Exemple :

$$\left| \frac{5+12j}{3-4j} \right| = \frac{|5+12j|}{|3-4j|} = \frac{\sqrt{(5)^2+(12)^2}}{\sqrt{(3)^2+(-4)^2}} = \frac{13}{5} = 2,6$$

$$\arg\left(\frac{5+12j}{3-4j}\right) = \arg(5+12j) - \arg(3-4j) = \tan^{-1}\left(\frac{12}{5}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{-4}{3}\right) \\ \approx 67,38^\circ + 53,13^\circ \approx +120,51^\circ$$

$$\text{Cas particulier : } \underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}}$$

$$\text{alors : } |\underline{Y}| = \frac{|1|}{|\underline{Z}|} = \frac{1}{|\underline{Z}|} \\ \arg(\underline{Y}) = -\arg(\underline{Z})$$

$$\text{Soit : } \underline{Z} = \left(1 ; +\frac{\pi}{2} \text{ rad} \right)$$

$$\frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{\left(1 ; +\frac{\pi}{2} \text{ rad} \right)} = \left(1 ; -\frac{\pi}{2} \text{ rad} \right)$$

Remarque :

$$\begin{aligned}\underline{Z} &= \left(1; +\frac{\pi}{2} \text{ rad}\right) \\ &= 1 \times \cos\left(+\frac{\pi}{2} \text{ rad}\right) + 1 \times \sin\left(+\frac{\pi}{2} \text{ rad}\right)j \\ &= 0 + j \\ &= j\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{1}{\underline{Z}} &= \left(1; -\frac{\pi}{2} \text{ rad}\right) \\ &= 1 \times \cos\left(-\frac{\pi}{2} \text{ rad}\right) + 1 \times \sin\left(-\frac{\pi}{2} \text{ rad}\right)j \\ &= -1 + 0j \\ &= -1\end{aligned}$$

On retrouve : $\frac{1}{j} = -j$

12- Nombre complexe conjugué

\underline{Z}^* désigne le conjugué du nombre complexe \underline{Z} .

Par définition :

$$\begin{aligned}\underline{Z} &= x + yj \\ \underline{Z}^* &= x - yj\end{aligned}$$

x désigne la partie réelle du nombre complexe \underline{Z} .
y désigne la partie imaginaire du nombre complexe \underline{Z} .

2 - 3j est le conjugué de 2 + 3j.

j est le conjugué de -j.

5 est le conjugué de 5.

Propriétés :

$$\underline{Z} + \underline{Z}^* = 2x$$

$$\underline{Z} - \underline{Z}^* = 2yj$$

$$|\underline{Z}| = |\underline{Z}^*| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\underline{Z} \times \underline{Z}^* = |\underline{Z}|^2 = x^2 + y^2$$

$$\arg(\underline{Z}^*) = -\arg(\underline{Z})$$

13- Exemples d'application en électricité : les impédances complexes

En électricité, on peut caractériser le comportement d'un dipôle passif linéaire en régime sinusoïdal avec un nombre complexe que l'on appelle « impédance complexe ».

Ainsi l'impédance complexe d'une résistance est : $\underline{Z}_R = R$

(R est la résistance en ohms).

L'impédance complexe d'une bobine est : $\underline{Z}_L = jL\omega$

(L est l'inductance en henry, et ω la pulsation du courant en rad/s)

L'impédance complexe d'un condensateur est : $\underline{Z}_C = \frac{1}{jC\omega} = -\frac{j}{C\omega}$

(C est la capacité en farad, et ω la pulsation du courant en rad/s)

13-1- Exemple n°1 : Circuit RLC série

On associe une résistance, une bobine et un condensateur en série.

L'impédance complexe de l'association est alors :

$$\underline{Z} = \underline{Z}_R + \underline{Z}_L + \underline{Z}_C = R + jL\omega + \frac{1}{jC\omega} = R + jL\omega - \frac{j}{C\omega} = R + j\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)$$

a. Donner l'expression de la partie réelle de l'impédance complexe \underline{Z} .

Réponse : R

b. La réactance X correspond à la partie imaginaire de l'impédance complexe \underline{Z} .
Donner son expression.

Réponse : $X = L\omega - \frac{1}{C\omega}$

c. L'impédance de l'association (en ohms) correspond au module de l'impédance complexe.
Donner son expression.

Réponse :

$$\text{module} = \sqrt{(\text{partie réelle})^2 + (\text{partie imaginaire})^2}$$

$$\begin{aligned} |\underline{Z}| &= \left| R + j\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right) \right| \\ &= \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} \end{aligned}$$

d. Le déphasage entre tension et courant est donné par l'argument de l'impédance complexe.
Donner son expression.

Réponse :

$$\begin{aligned}\arg(\underline{Z}) &= \tan^{-1}\left(\frac{\text{partie imaginaire}}{\text{partie réelle}}\right) \\ &= \tan^{-1}\left(\frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}\right)\end{aligned}$$

13-2- Exemple n°2 : Circuit RL parallèle

On associe une résistance et une bobine en parallèle.
L'impédance complexe de l'association est alors :

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_R \times \underline{Z}_L}{\underline{Z}_R + \underline{Z}_L} = \frac{R \times jL\omega}{R + jL\omega} = \frac{jRL\omega}{R + jL\omega}$$

a. L'impédance de l'association (en ohms) correspond au module de l'impédance complexe.
Donner son expression.

Réponse :

$$|\underline{Z}| = \frac{|jRL\omega|}{|R + jL\omega|} = \frac{|jRL\omega|}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} = \frac{RL\omega}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}$$

b. Le déphasage entre tension et courant est donné par l'argument de l'impédance complexe.
Donner son expression.

Réponse :

$$\arg(\underline{Z}) = \arg\left(\frac{jRL\omega}{R + jL\omega}\right) = \arg(jRL\omega) - \arg(R + jL\omega) = +\frac{\pi}{2} \text{ rad} - \tan^{-1}\left(\frac{L\omega}{R}\right)$$

14- Exemple d'application en électronique : fonction de transfert d'un filtre

En électronique, on peut caractériser le comportement d'un filtre avec un nombre complexe que l'on appelle « fonction de transfert ».

Voici la fonction de transfert d'un filtre RC passe-bas du 1^{er} ordre :

$$\underline{T} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

a. L'amplification du filtre correspond au module de la fonction de transfert.
Donner son expression.

Réponse :

$$|\underline{T}| = \frac{|1|}{|1 + jRC\omega|} = \frac{|1|}{\sqrt{1^2 + (RC\omega)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}}$$

b. Le déphasage entre la sortie et l'entrée est fourni par l'argument de la fonction de transfert. Donner son expression.

Réponse :

$$\begin{aligned}\arg(\mathbb{T}) &= \arg\left(\frac{1}{1 + jRC\omega}\right) = \arg(1) - \arg(1 + jRC\omega) = 0 - \arctan\left(\frac{RC\omega}{1}\right) \\ &= -\arctan(RC\omega)\end{aligned}$$

15- Réponse aux questions

Question n°1 : Que valent la partie réelle et la partie imaginaire du nombre complexe : $5,2j - 2,5$?

$$\begin{aligned}\text{Partie réelle :} & \quad -2,5 \\ \text{Partie imaginaire :} & \quad +5,2\end{aligned}$$

Question n°2 : Que valent la partie réelle et la partie imaginaire du nombre réel π ?

$$\begin{aligned}\pi &= \pi + 0j \\ \text{Partie réelle :} & \quad \pi \\ \text{Partie imaginaire :} & \quad 0\end{aligned}$$

Question n°3 : Que valent la partie réelle et la partie imaginaire du nombre imaginaire j ?

$$\begin{aligned}j &= 0 + 1j \\ \text{Partie réelle :} & \quad 0 \\ \text{Partie imaginaire :} & \quad 1\end{aligned}$$

Question n°4 : Additionner les nombres complexes $3 - 4j$ et $3 + 4j$.

$$\begin{aligned}(3 - 4j) + (3 + 4j) &= (3 + 3) + (-4 + 4)j = 6 + 0j = 6 \\ \text{La partie imaginaire est nulle : le résultat est un nombre réel « pur »}.\end{aligned}$$

Question n°5 : Soustraire les nombres complexes $3 - 4j$ et $3 + 4j$.

$$\begin{aligned}(3 - 4j) - (3 + 4j) &= (3 - 3) + (-4 - 4)j = 0 - 8j = -8j \\ \text{La partie réelle est nulle : le résultat est un nombre imaginaire « pur »}.\end{aligned}$$

Question n°6 : Multiplier les nombres complexes $1 - j$ et $4 + 2j$.

$$\begin{aligned}(1 - j)(4 + 2j) &= 1 \times 4 + 1 \times 2j - j \times 4 - j \times 2j = 4 + 2j - 4j - 2j^2 \\ &= 4 + 2j - 4j + 2 \quad (j^2 = -1) \\ &= 6 - 2j\end{aligned}$$

Question n°7 : Multiplier les nombres complexes $3 - 4j$ et $3 + 4j$.

$$\begin{aligned}(3 - 4j)(3 + 4j) &= 3 \times 3 + 3 \times 4j - 4j \times 3 - 4j \times 4j \\ &= 9 + 12j - 12j - 16j^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 9 + 12j - 12j + 16 && (j^2 = -1) \\
&= 25 + 0j \\
&= 25
\end{aligned}$$

La partie imaginaire est nulle : le résultat est un nombre réel « pur ».

Question n°8 : Multiplier les nombres complexes j et $3 + 4j$.

$$\begin{aligned}
j(3 + 4j) &= 3j + 4j^2 = 3j - 4 && (j^2 = -1) \\
&= -4 + 3j
\end{aligned}$$

Question n°9 : Calculer le module du nombre complexe $-1 - 2j$.

$$|-1 - 2j| = \sqrt{(-1)^2 + (-2)^2} = \sqrt{1 + 4} = \sqrt{5}$$

Question n°10 : Calculer le module du nombre imaginaire $5j$.

$$|5j| = |0 + 5j| = \sqrt{0^2 + 5^2} = \sqrt{5^2} = |5| = 5$$

Question n°11 : Calculer le module du nombre imaginaire $-7j$.

D'après la question n°10 :

$$|-7j| = |-7| = 7$$

Question n°12 : Calculer le module du nombre réel $-3,93$.

$$|-3,93| = 3,93$$

Pour un nombre réel, le module correspond à la valeur absolue.

Question n°13 : Calculer l'argument du nombre complexe $2 + 2j$.

$$\arg(2 + 2j) = \arctan\left(\frac{2}{2}\right) = +45^\circ$$

Question n°14 : Calculer l'argument du nombre imaginaire $5j$.

$$\arg(5j) = +90^\circ$$

Question n°15 : Calculer l'argument du nombre imaginaire $-7j$.

$$\arg(-7j) = -90^\circ$$

Question n°16 : Calculer l'argument du nombre réel $-3,93$.

$$\arg(-3,93) = 180^\circ$$