

1- الجذران المربعان لعدد حقيقي غير منعدم :

-a تعريف :

نقول أن العدد العقدي z جذرا مربعا للعدد الحقيقي Z إذا وفقط إذا كان : $z^2 = Z$.

-b تحديد الجذرين المربعين لعدد حقيقي غير منعدم :

- حالة 1 : $Z \in \mathbb{R}_+^*$

الجذران المربعان للعدد Z هما \sqrt{Z} و $-\sqrt{Z}$.

- حالة 2 : $Z \in \mathbb{R}_-^*$

لدينا : $Z = -(-Z)$

$$= i^2 (-Z)$$

$$= (\sqrt{-Z} - i)^2$$

إذن : الجذران المربعان للعدد Z هما $\sqrt{-Z} i$ و $-\sqrt{-Z} i$

مثال : $Z = -3$

$$= 3 i^2$$

إذن الجذران المربعان للعدد -3 هما $\sqrt{3} i$ و $-\sqrt{3} i$.

خاصية :

لكل عدد حقيقي غير منعدم جذران مربعان مختلفان ومتقابلان.

2- المعادلات من الدرجة الثانية في \mathbb{C}

- تعريف :

المعادلة التي تكتب على شكل $a z^2 + b z + c = 0$ حيث : a, b, c أعداد حقيقية و $a \neq 0$ و z عدد عقدي مجهول ، تسمى معادلة من الدرجة الثانية في \mathbb{C} .

- حل المعادلات من الدرجة الثانية في \mathbb{C} :

لتكن a, b, c أعداد حقيقية حيث $a \neq 0$.

لدينا : $(E) : a z^2 + b z + c = 0 \Leftrightarrow z^2 + \frac{b}{a} z + \frac{c}{a} = 0$

$$\Leftrightarrow z^2 + 2 \frac{b}{2a} z + \frac{b^2}{4a^2} - \frac{b^2}{4a^2} + \frac{c}{a} = 0$$

$$\Leftrightarrow \left(z + \frac{b}{2a} \right)^2 = \frac{b^2}{4a^2} - \frac{4ac}{4a^2}$$

$$\Leftrightarrow \left(z + \frac{b}{2a} \right)^2 = \frac{b^2 - 4ac}{4a^2}$$

$$\Delta = b^2 - 4ac \quad \text{نضع :}$$

وليكّن δ أحد الجذرين المربعين للمميز Δ .

$$(E) : \Leftrightarrow \left(z + \frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{\Delta}{4a^2} = \frac{\delta^2}{4a^2} \quad \text{إنن :}$$

$$\Leftrightarrow \left(z + \frac{b}{2a}\right)^2 = \left(\frac{\delta}{2a}\right)^2$$

$$\Leftrightarrow z + \frac{b}{2a} = \frac{\delta}{2a} \quad \text{أو} \quad z + \frac{b}{2a} = \frac{-\delta}{2a}$$

$$\Leftrightarrow z = \frac{-b + \delta}{2a} \quad \text{أو} \quad z = \frac{-b - \delta}{2a}$$

$$(E) : az^2 + bz + c = 0 \quad \text{ومنه : حل المعادلة}$$

$$S = \left\{ \frac{-b + \delta}{2a} ; \frac{-b - \delta}{2a} \right\} \quad \text{هو :}$$

خاصية :

حلي المعادلة $az^2 + bz + c = 0$ حيث $a \neq 0$ و $(a, b, c) \in \mathbb{R}^3$ هما :

$$z_1 = \frac{-b - \delta}{2a} \quad \text{و} \quad z_2 = \frac{-b + \delta}{2a}$$

تطبيقات :

حل في \mathbb{C} المعادلات التالية :

$$z^2 + z + 1 = 0 \quad (1)$$

$$\Delta = b^2 - 4ac \quad \text{لدينا :}$$

$$= 1 - 4$$

$$= -3$$

$$= 3i^2$$

$$= (\sqrt{3}i)^2$$

$$S = \sqrt{3}i \quad \text{إنن :}$$

ومنه حلي المعادلة هما :

$$z_1 = \frac{-1 - \sqrt{3}i}{2} \quad \text{و} \quad z_2 = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}$$

$$S = \left\{ \frac{-1 - \sqrt{3}i}{2} ; \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2} \right\} \quad \text{ومنه :}$$

$$z^2 + 2z + \frac{1}{\cos^2 \theta} = 0 \quad (2)$$

$$0 < \theta < \frac{\pi}{2} \quad \text{حيث :}$$

الأستاذ محمد الرقية الأعداد العقدية

$$z^2 + 2z + \frac{1}{\cos^2 \theta} = 0$$

$$\begin{aligned}\Delta &= 4 - \frac{4}{\cos^2 \theta} \\ &= 4 \left(1 - \frac{1}{\cos^2 \theta} \right) \\ &= 4 \left(\frac{\cos^2 \theta - 1}{\cos^2 \theta} \right) \\ &= 4 \left(\frac{-\sin^2 \theta}{\cos^2 \theta} \right) \\ &= -4 \tan^2 \theta \\ &= (2i \tan \theta)^2\end{aligned}$$

$$\delta = 2i \tan \theta \quad \text{إذن :}$$

ومنه : الحلين هما :

$$z_1 = \frac{2 - 2i \tan \theta}{2} = 1 - i \tan \theta$$

$$z_2 = \frac{+2 + 2i \tan \theta}{2} = +1 + i \tan \theta$$

$$S = \{1 - i \tan \theta ; 1 + i \tan \theta\} \quad \text{إذن :}$$

طريقة 2 :

$$z^2 - 2z + \frac{1}{\cos \theta} = 0 \quad \text{لدينا :}$$

$$z^2 - 2z + 1 + \tan^2 \theta = 0 \quad \text{أي :}$$

$$(z-1)^2 = -\tan^2 \theta \quad \text{إذن :}$$

$$(z-1)^2 = (i \tan \theta)^2$$

$$z-1 = i \tan \theta \quad \text{أو} \quad z-1 = -i \tan \theta \quad \text{إذن :}$$

$$z = 1 + i \tan \theta \quad \text{أو} \quad z = 1 - i \tan \theta$$

$$S = \{1 - i \tan \theta ; 1 + i \tan \theta\} \quad \text{إذن :}$$

أكتب الحلين على الشكل المثالي.

$$z_1 = 1 - i \tan \theta \quad \text{لدينا :}$$

$$= 1 - i \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

$$= \frac{1}{\cos \theta} (\cos \theta - i \sin \theta)$$

الأستاذ محمد الرقية الأعداد العقدية

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{\cos \theta} (\cos(-\theta) + i \sin(-\theta)) \\ &= \left[\frac{1}{\cos \theta}, -\theta \right] \quad \text{لأن } 0 < \cos \theta \end{aligned}$$

$z_2 = 1 + i \tan \theta$ ولدينا :

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{\cos \theta} (\cos \theta + i \sin \theta) \\ &= \left[\frac{1}{\cos \theta}, \theta \right] \end{aligned}$$

ملاحظة :

$$\frac{\pi}{2} < \theta < \pi$$

إذا كانت :

$$\cos \theta < 0$$

فإن :

إذن : $z_1 = \frac{1}{\cos \theta} (\cos \theta + i \sin \theta)$

$$= \frac{-1}{\cos \theta} (-1) (\cos \theta + i \sin \theta)$$

$$= \frac{-1}{\cos \theta} [1, \pi] [1, \theta]$$

$$= \frac{-1}{\cos \theta} [1, \pi + \theta]$$

$$= \left[\frac{-1}{\cos \theta}, \pi + \theta \right]$$

$$\begin{aligned} R \cdot [r, \theta] &= R (r (\cos \theta + i \sin \theta)) \\ &= R \cdot r (\cos \theta + i \sin \theta) \\ &= [R r, \theta] \end{aligned}$$

-II صيغة موافر وصيغتا أولير :

1. صيغة Moivre

ليكن $u = [r, \theta]$

نعلم أن $|u^n| = |u|^n = 1$

$$\arg u^n = n \theta [2 \pi]$$

$$[1, \theta]^m = [1, m \theta]$$

يعني أن :

$$(\cos \theta + i \sin \theta)^n = \cos n \theta + i \sin n \theta$$

تسمى هذه المتساوية بصيغة موافر.

تطبيقات صيغة موافر.

1- أنشر : $(\cos \theta + i \sin \theta)^2$

لدينا : $(\cos \theta + i \sin \theta)^2 = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta + 2i \cos \theta \sin \theta$

وبما أن : $(\cos \theta + i \sin \theta)^2 = \cos 2\theta + i \sin 2\theta$

فإن :

$\cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta$
$\sin 2\theta = 2 \cos \theta \sin \theta$

2- أنشر : $(\cos \theta + i \sin \theta)^3$

$(\cos \theta + i \sin \theta)^3 = \cos^3 \theta + 3 \cos^2 \theta \cdot i \sin \theta - 3 \cos \theta \cdot \sin^2 \theta - i \sin^3 \theta$

$= (\cos^3 \theta - 3 \cos \theta \sin^2 \theta) + i (3 \cos^2 \theta \sin \theta - \sin^3 \theta)$

وبما أن : $(\cos \theta + i \sin \theta)^3 = \cos 3\theta + i \sin 3\theta$

إذن :

$\cos 3\theta = \cos^3 \theta - 3 \cos \theta \sin^2 \theta$
$\sin 3\theta = 3 \cos^2 \theta \sin \theta - \sin^3 \theta$

تعميم :

لدينا : $(\cos \theta + i \sin \theta)^n = \cos n\theta + i \sin n\theta$

$\cos n\theta = \Re ((\cos \theta + i \sin \theta)^n)$
$\sin n\theta = \Im ((\cos \theta + i \sin \theta)^n)$

إذن :

2. صيغتا أولير :

1-2 : الترميز الأسّي لعدد عقدي غير منعدم :

نرمز بالرمز $e^{i\theta}$ حيث $\theta \in \mathbb{R}$ للعدد العقدي الذي معياره 1 وعمدته θ .

أي :

$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta = [1, \theta]$

أمثلة :

1- $e^{i\frac{\pi}{2}} = \cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} = i$

2- $e^{i\frac{\pi}{3}} = \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2} + i \frac{\sqrt{3}}{2}$

ملاحظة:

1- إذا كان : $z = [R, \theta]$

فإن : $z = R \cdot e^{i\theta}$

2- إذا كان : $\arg z_2 \equiv \alpha [2\pi] ; \arg z_1 \equiv \theta [2\pi]$

فإن : $\arg \frac{z_1}{z_2} \equiv \theta - \alpha ; \arg z_1 \times z_2 \equiv \theta + \alpha [2\pi]$

$\frac{e^{i\theta}}{e^{i\alpha}} = e^{i(\theta-\alpha)}$	$e^{i\theta} \cdot e^{i\alpha} = e^{i(\theta+\alpha)}$
--	--

$\forall n \in \mathbb{Z}$ -3

$\arg z^n = n \arg z [2\pi]$

$(e^{i\theta})^n = e^{in\theta}$

$e^0 = 1$

$e^{i\pi} = -1$

2-2 : صيغتا أولير :

لدينا : $e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$

$e^{-i\theta} = \cos \theta - i \sin \theta$

إذن :

$\cos \theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2}$
--

$\sin \theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i}$

نسمي هاتين المتساويتين بصيغتي أولير.

ملاحظة:

$\cos n\theta = \frac{e^{in\theta} + e^{-in\theta}}{2}$

$\sin n\theta = \frac{e^{in\theta} - e^{-in\theta}}{2i}$
--

تطبيقات صيغتا أولير:

La linéarisation

الإخطاط

مثال:

1- أخطط $\cos^2 \theta$

الأستاذ محمد الرقية الأعداد العقدية

$$\cos \theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2} \quad \text{لدينا :}$$

$$\begin{aligned} \cos^2 \theta &= \frac{(e^{i\theta} + e^{-i\theta})^2}{4} \\ &= \frac{1}{4} (e^{2i\theta} + e^{-2i\theta} + 2) \quad \text{إذن :} \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{4} (2 \cos 2\theta) \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\theta \end{aligned}$$

2- أخطأ $\sin^2 \theta$

$$\sin \theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i} \quad \text{لدينا :}$$

$$\begin{aligned} \sin^2 \theta &= \frac{e^{2i\theta} + e^{-2i\theta} - 2}{-4} \quad \text{إذن :} \\ &= -\frac{1}{2} \left(\frac{e^{2i\theta} + e^{-2i\theta}}{2} \right) + \frac{1}{2} \\ &= -\frac{1}{2} \cos 2\theta + \frac{1}{2} \end{aligned}$$

3- أخطأ $\cos^3 \theta$

$$\cos \theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2}$$

$$\begin{aligned} \cos^3 \theta &= \frac{1}{8} (e^{3i\theta} + 3e^{2i\theta} \cdot e^{-i\theta} + 3e^{i\theta} \cdot e^{-2i\theta} + e^{-3i\theta}) \\ &= \frac{1}{8} (e^{3i\theta} + e^{-3i\theta} + 3(e^{i\theta} + e^{-i\theta})) \\ &= \frac{1}{8} (2 \cos 3\theta + 6 \cos \theta) \\ &= \frac{1}{4} \cos 3\theta + \frac{3}{4} \cos \theta \end{aligned}$$

إذن :

$$\cos^3 \theta = \frac{1}{4} \cos 3\theta + \frac{3}{4} \cos \theta$$

تعريف :

الإخطاط هو كتابة $\cos^n x$ و $\sin^n x$ بدلالة $\cos kx$ و $\sin kx$.

الإخطاط باستعمال صيغة **Moivre**

$$z = \cos \theta + i \sin \theta \quad \text{نضع :}$$

الأستاذ محمد الرقية الأعداد العقدية

$$\bar{z} = \cos \theta - i \sin \theta$$

$$z \bar{z} = 1$$

$$2 \cos \theta = z + \bar{z} \quad \text{و} \quad 2 i \sin \theta = z - \bar{z}$$

$$z^n = \cos n\theta + i \sin n\theta$$

$$\bar{z}^n = \cos n\theta - i \sin n\theta$$

$$z^n \cdot \bar{z}^n = 1$$

$$2 \cos n\theta = z^n + \bar{z}^n \quad \text{و} \quad 2 i \sin n\theta = z^n - \bar{z}^n$$

أخطأ $\cos^3 \theta$

$$2 \cos \theta = z + \bar{z}$$

لدينا:

$$8 \cos^3 \theta = (z + \bar{z})^3$$

$$= z^3 + 3 z^2 \bar{z} + 3 z \bar{z}^2 + \bar{z}^3$$

$$= z^3 + \bar{z}^3 + 3(z + \bar{z})$$

$$= 2 \cos 3\theta + 3 \times 2 \cos \theta$$

$$= \frac{1}{4} \cos 3\theta + \frac{3}{4} \cos \theta$$

التمثيل العقدي للدوران

المستوى العقدي منسوب الى معلم م م م
نعتبر الدوران r الذي مركزه ω وزاويته θ

$$r(M) = M' \Leftrightarrow \begin{cases} \Omega M = \Omega M' \\ \overline{(\Omega M, \Omega M')} \equiv \theta [2\pi] \end{cases} \quad \text{لدينا}$$

$$\begin{cases} |z' - \omega| = |z - \omega| \\ \arg \frac{z' - \omega}{z - \omega} \equiv \theta [2\pi] \end{cases} \quad \text{اذن}$$

$$z' - \omega = e^{i\theta} (z - \omega) \quad \text{ومنه}$$

خاصية

التمثيل العقدي للدوران الذي مركزه ω وزاويته θ

$$z' - \omega = e^{i\theta} (z - \omega) \quad \text{هو}$$