

1. $\vec{F}(H) = F_x(H) \vec{e}_x$

Avec. $\vec{H} = 2LbI \vec{e}_y$

$$= \left(\vec{M} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial x} \right) \vec{e}_x$$

Centre du dipôle

$$\cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial x} = B_0 \sin(\omega t - kx) \cdot k \vec{e}_x$$

$$\cdot x(H) = x_0 + vt$$

Donc, $\vec{F}(H) = 2LbIk B_0 \sin(\omega t - kx_0 - kvt) \vec{e}_x$

$$2. \langle F_x(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T F_x(t) dt = \frac{2LbIk B_0}{T} \int_0^T \sin(\omega t - kx_0 - kvt) dt$$

La valeur moyenne d'un sinus étant nulle, on a :

$$\langle F_x(t) \rangle = 0$$

Pour avoir $F_x(t)$ indépendant du temps, il faut que $(\omega t - kvt)$ soit nul donc, il faut que $\omega = kv$.

On aura alors

$$\vec{F} = 2LbIk B_0 \sin(-kx_0) \vec{e}_x = -2LbIk B_0 \sin(kx_0) \vec{e}_x$$

On a la valeur maximale de F lorsque le sin est maximale i.e. ± 1 donc lorsque $\pm kx_0 = \pm \frac{\pi}{2} (2\pi) = -\frac{\pi}{2} + 2n\pi$

$$\text{Donc il nous faut } x_0 = -\frac{\pi}{2k} + \frac{2n\pi}{k} \quad \text{avec } n \text{ un entier naturel}$$

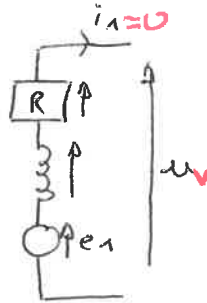
il ya plusieurs positions possibles.

⚠️ rigueur de l'écriture $K \neq k$

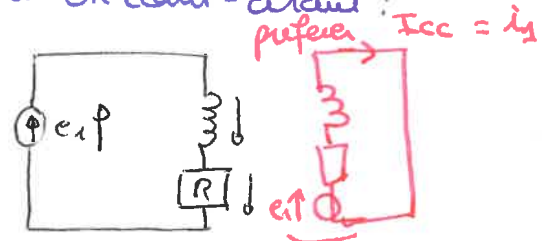
1) a. L'essai à vide consiste à faire fonctionner l'alternateur sans charge connectée à ses bornes. Autrement dit, l'alternateur produit une tension, mais aucun courant n'est tiré de ses bornes.

L'essai en court-circuit consiste à faire fonctionner l'alternateur avec un courant élevé dans le rotor, mais une faible tension aux bornes de la machine.

Schémas: Essai à vide:



Essai en court-circuit:



Pour finir, les courants de ligne correspondent aux courants dans le stator. Et les courants d'excitation correspondent aux courants dans le rotor.

b. D'après la loi de Faraday,

$$e_1(t) = -\frac{d}{dt} \phi(\vec{B}_R \rightarrow \mathcal{C}_1) \text{ avec } \mathcal{C}_1 \text{ le circuit 1 du stator et } \vec{B}_R \text{ le champ magnétique du rotor.}$$

$$\text{Et } \phi(\vec{B}_R \rightarrow \mathcal{C}_1) = N_S \vec{B}_R \cdot \vec{S}_1 = N_S B_R S_1 \cos(\theta_R) \text{ car } B_R \text{ est uniforme.}$$

$$\text{Ainsi } e_1(t) = -\frac{d}{dt} (N_S B_R S_1 \cos(\omega t + \alpha_0)) \text{ avec } \alpha_0 \text{ le déphasage entre } e(t) \text{ et } i(t).$$

$$\text{Pour finir, } e_1(t) = N_S N_R I S_1 \omega \sin(\omega t + \alpha_0) \text{ car } B_R = \frac{N_R I}{l} \text{ d'après le théorème d'Ampère}$$

$$= N_S N_R I_E \sqrt{2} \omega \cos(\omega t + \alpha) \text{ car par définition, } I = I_E \sqrt{2}$$

$$e_1(t) = E \sqrt{2} \cos(\omega t + \alpha) \text{ avec } E = K I_E \omega \text{ et } K = N_S N_R S_1$$

c. Avec l'essai à vide:

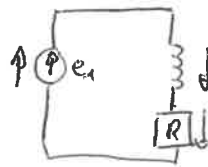
On a vu dans la question précédente que $E = K I_E \omega$

Or lors de l'essai à vide, il n'y a pas de courants internes d'après la question a. Donc $E = U_V$

$$\text{Ainsi, } K\omega = \frac{U_V}{I_E} = \frac{220}{4} = 55 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1} \text{ unité.}$$

pour 1 alternateur
 $-\pi < \alpha_0 < 0$
 $-\pi/2 < \alpha < \pi/2$

d) Essai en court-circuit:



$$E_{cc} = k\omega I_{ecc} \\ = 55 \times 1 \\ = 55 \text{ V}$$

Par définition, $\underline{Z} = R + jL\omega$ et $I_{cc}^2 = \frac{E_{cc}^2}{R^2 + (L\omega)^2}$

Ainsi $R^2 + (L\omega)^2 = \left(\frac{E_{cc}}{I_{cc}}\right)^2$, et par suite, $L\omega = \sqrt{\left(\frac{U_v}{I_{cc}}\right)^2 - R^2}$

AN: $L\omega = \sqrt{\left(\frac{220}{3,5}\right)^2 - 0,9^2} = \boxed{62,85 \Omega} \quad 15,7 \Omega < 0,9 \Omega$

Et $0,9 \times 10 = 9 < 62,85$, donc $0,9 \ll 62,85 \Omega$ par définition

Par suite, on a donc bien $R \ll L\omega$.

2) a. Par définition, $P = U \times I \times \cos \varphi$

Ainsi, $I = \frac{P}{U \times \cos \varphi} = \frac{1 \times 10^3}{190 \times 0,87} = \boxed{6,05 \text{ A}}$

on est en moteur



car 2 phases au stator.

b. Par définition, $P_{m\acute{e}canique} = C \times \omega$ avec C le couple électromagnétique appliqué à l'arbre moteur.

Ainsi $C = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi f} = \frac{1 \times 10^3}{2 \times \pi \times 50} = \boxed{3,18 \text{ N.m}}$

Bilan de puissance

$$P_{alim} = P_s + P_{f\acute{e}c\acute{e}m}$$

= 0 car négligé

c. D'après la loi de Faraday, $e_1(t) = - \frac{d\phi(\vec{B}_R \rightarrow \vec{C}_1)}{dt}$

Ainsi, $\underline{E} = j\omega \phi(\vec{B}_R \rightarrow \vec{C}_1)$
 $= j\omega N_s B_R S_1 e^{+j\alpha}$
 $= \omega N_s B_R S_1 e^{j(\frac{\pi}{2} + \alpha)}$

car $\phi(\vec{B}_R \rightarrow \vec{C}_1) = N_s B_R S_1 e^{j\alpha} e^{j\omega t}$

d'après la question 1. b.

On en déduit un déphasage de $\frac{\pi}{2} + \alpha$ entre e_1 et I .

On peut donc construire le diagramme de Fresnel.

On peut écrire $\underline{U} = j\omega L \underline{I} + R_s \underline{I} + \underline{E}$

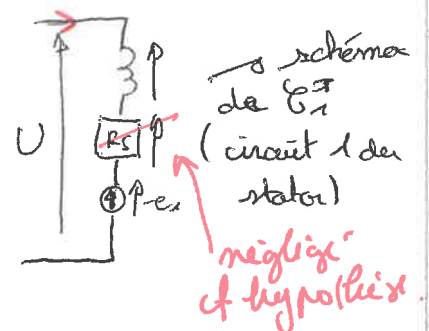
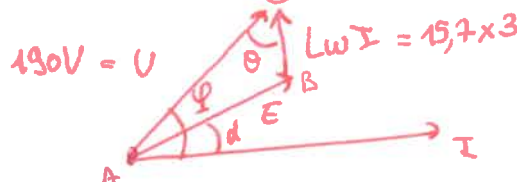
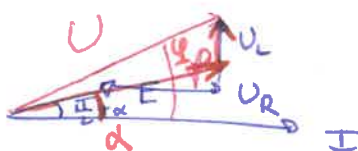


schéma de $\vec{C}_1$ (circuit 1 du stator)

négligé et hypothèse

d. En se basant sur les résultats de la question précédente, on peut affirmer que $e_1(t) = \sqrt{2} E \cos(\omega t + (\frac{\pi}{2} + \alpha))$

car $\varphi = \text{angle}(u(t); i(t))$
 $\alpha = \text{angle}(e(t); i(t))$

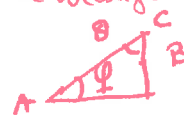
Ainsi E est proportionnel à $\omega = \Omega_R$

Groupe 2

3

On peut donc poser $E = \phi \times \omega$

comme $\cos \varphi = 0,87$ $\varphi = 30^\circ$ Produit scalaire dans le triangle



$$\vec{AB} = \vec{AC} + \vec{CB}$$

$$AB^2 = AC^2 + CB^2 + 2 \vec{AC} \cdot \vec{CB}$$

$$E^2 = U^2 + (L\omega I)^2 + 2U(-L\omega I) \cos \theta$$

$$\text{or } \varphi + \theta = \pi/2$$

$$\cos \theta = \cos(\pi/2 - \varphi)$$

$$= U^2 + (L\omega I)^2 - 2UL\omega I \sin \varphi$$

$$E^2 = 190^2 + (15,7 \times 3)^2 - 2 \times 190 \times 15,7 \times 3 \times \sin 30^\circ$$

$$E = 171V$$

e) On fonctionne en circuit ouvert: $\underline{U} = \underline{E}$ car le courant est nul.

$$\underline{U} e^{j\frac{\pi}{2} + \varphi} = \underline{E} e^{j\frac{\pi}{2} + \alpha}$$

on n'est pas en circuit ouvert
ici

$$\Leftrightarrow U \cos(\varphi) = E \cos(\alpha)$$

$$\Leftrightarrow \frac{U \cos(\varphi)}{E} = \cos(\alpha)$$

$$\Leftrightarrow \arccos\left(\frac{U \cos(\varphi)}{E}\right) = \alpha$$

cf diag. de Fresnel

AN $\cos \alpha = \frac{190 \times 0,87}{171}$

$$= 0,972$$

$$\alpha = 13,5^\circ$$

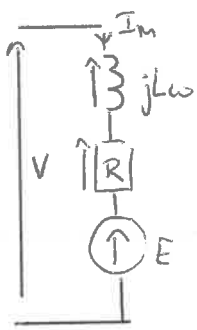
1. La condition de synchronisme pour une machine à p paires de pôles est $\omega = p\Omega$

↑
pulsation des courants dans l'induit [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]
↑
vitesse de rotation du rotor [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]

Ainsi si $n = 1500 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$, $\Omega = \frac{1500 \cdot 2\pi}{60} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Ainsi comme ici $p = 4$; $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{4 \cdot 1500 \cdot 2\pi}{2\pi \cdot 60} = 100 \text{ Hz}$

2. Représentons une phase du stator lors de l'essai 2:

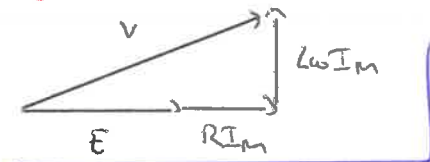


Ainsi, une loi des mailles nous indique que $\rightarrow$ variable en complexe!

$$V = E + RI_m + jL\omega I_m \quad (\text{en valeur maximale})$$

$\rightarrow$ ou en grandeurs instantanées $v(t) = e(t) + R i_m(t) + L \frac{di_m(t)}{dt}$

D'où le diagramme suivant:
(car $\psi = 0$ donc $i_m(t)$ et $e(t)$ sont en phase.)



Ainsi, d'après le théorème de Pythagore:

$$L\omega I_m = \sqrt{V^2 - (E + RI_m)^2}$$

$I = 0$ donc $V = E = 57 \text{ V}$
à $1500 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$
tension obtenue avec l'essai 1 à vide.

$$\text{Donc } L = \frac{1}{\omega I_m} \sqrt{V^2 - (E + RI_m)^2} = \frac{1}{185 \cdot 2\pi \cdot 100} \sqrt{72^2 - (57 + 0,03 \cdot 185)^2} = 57 \text{ mH} \quad \rightarrow 0,31 \text{ mH}$$

3. Si $E = \Phi_0 \omega$

$$[E] = [\Phi_0] \cdot [\omega]$$

$$\Rightarrow [\Phi_0] = [E][\omega]^{-1} = \text{V} \cdot \text{s} = \text{Wb}$$

$\rightarrow \Phi_0$ représente la constante du moteur,

$\rightarrow \Phi_0$ (dépend du flux magnétique qui traverse les bobines du moteur), du nombre de spires de l'induit (sic.) $\rightarrow$ bob, du matériau utilisé, de la géométrie de la machine.

Ici en utilisant la condition $\omega = p\Omega$; $E = \Phi_0 p \Omega$ donc $A = p \Phi_0$

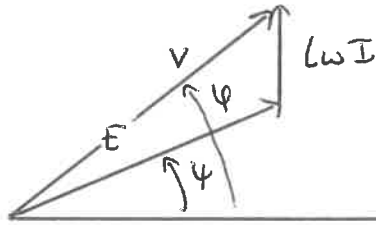
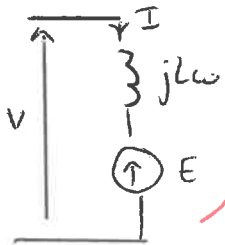
On a donc $\phi_0 = \frac{E}{p\Omega}$.

En utilisant l'essai à vide, $\phi_0 = \frac{57 \cdot 60}{4 \cdot 1500 \cdot 2\pi} = 0,05 \text{ Wb}$

Ainsi, $A = 4\phi_0 = 0,36 \text{ Wb}$ oui

4. représentons la phase avec cette nouvelle modélisation:
 (R négligé)

On a donc le schéma suivant:



$$\underline{V} = \underline{E} + jLw\underline{I}$$

On remarque que les projections sur I de E et V sont identiques, donc $E \cos(\varphi) = V \cos(\varphi)$

5.

On sait que la puissance P_a est: $P_a = V \cdot I \cdot \cos(\varphi)$

car la bobine n'absorbe pas de puissance.

On $V \cos(\varphi) = E \cos(\varphi)$, donc $P_a = E \cdot I \cdot \cos(\varphi)$

Comme on modélise ce moteur comme un moteur di-phase (cf. énoncé), on a $P_m = 2P_a$.

6. On sait que $P_m = C \cdot \Omega = 2 \cdot E \cdot I \cdot \cos(\varphi) \rightarrow$

Ainsi $C = 2AI \cos(\varphi)$

avec $E = A \cdot \Omega$

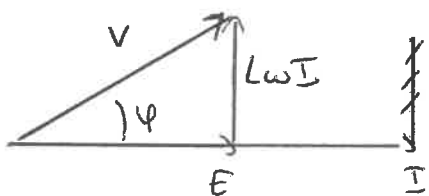
$\Rightarrow C_{max} = 2AI$

Pour que $C = C_{max}$ il faut que $\varphi = 0$ ($\varphi \in [0, \pi]$ a priori)

Si on le couple ne dépend que du courant I, comporterait "analogie" à la machine à courant continu.

7. Dans ces conditions, $C = 2AI \cos(0) = 2 \cdot 155 \cdot 0,36 = 112 \text{ Nm}$

Ainsi on a le diagramme suivant:



Dac on obtient

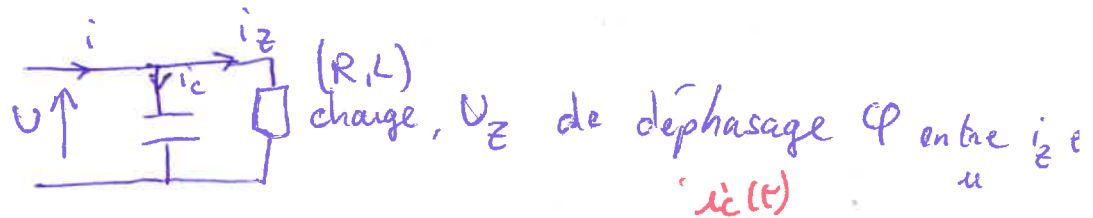
$$\varphi = \arctan\left(\frac{LwI}{E}\right) = \arctan\left(\frac{0,31 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot 100 \cdot 155}{57}\right)$$

$$\text{On } \sin(\varphi) = \frac{LwI}{V}$$

$$\text{Donc } V = LwI / \sin(\varphi) \approx 64 \text{ V}$$

Exercice IV: TD n°13

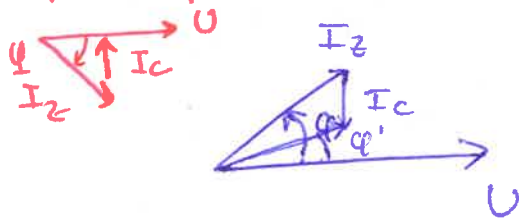
- 1) Il suffit de placer un condensateur en parallèle de la charge pour relever le facteur de puissance.
En effet, si on a:



Comme le déphasage entre le courant dans le condensateur et la tension $u(t)$ est $-\frac{\pi}{2}$

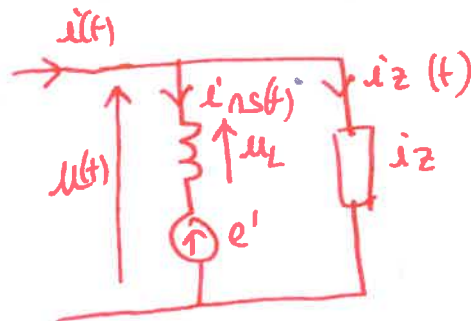
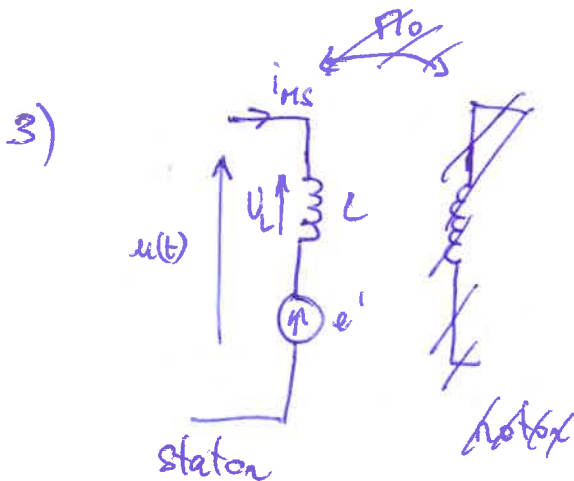
À l'aide d'un diagramme de Fresnel:

▲ pour une charge inductive $\phi_{i_z(t)/u(t)} < 0$.



On a $\phi' < \phi$ donc le facteur de puissance est bien relevé.

- 2) Par analogie, pour que la machine synchrone joue le rôle du condensateur, $\phi_{i_{ns}/u} = -\phi_{u/i_{ns}} = \frac{\pi}{2}$



$$u(t) = jL\omega i_{ns}(t) + e'(t)$$

$$U = jL\omega I_{ns} + E'$$

$$\varphi = \text{déphasage de } u(t) / i_{ms}$$

$$\psi = \text{déphasage de } e'(t) / i_{ms}$$

4) Si le moteur tourne à vide

$$P_{\text{absorbée par le moteur}} = U_{\text{eff}} I_{ms} \cos \varphi = E'_{\text{eff}} I_{ms} \cos(\psi) = 0$$

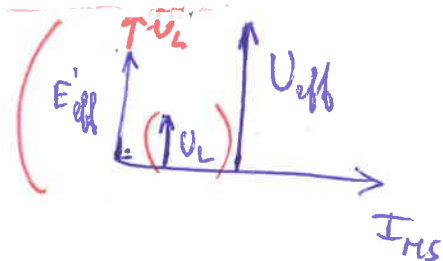
La bobine ne consomme pas de puissance en moyenne.

Ainsi, $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ et $\psi = \pm \frac{\pi}{2}$

pour relever le facteur de puissance à 1 il faut $\varphi = -\pi/2$

5) Si $E'_{\text{eff}} < U_{\text{eff}}$. Comme les dipôles constituant le moteur sont en série, on met i_{ms} en référence.

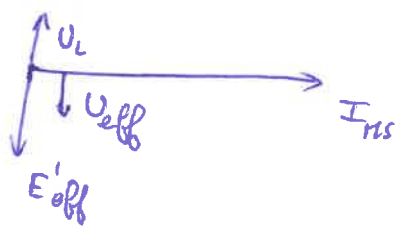
De plus, la seule possibilité pour $U_{\text{eff}} > E'_{\text{eff}}$, $\varphi = \psi = \frac{\pi}{2}$



$$U_{\text{eff}} = U_L + E'_{\text{eff}}$$

Cela ne peut pas relever le facteur de puissance car $\varphi_{u/i_{ms}} \neq -\frac{\pi}{2}$

6) Par opposition, le seul cas pour que $U_{\text{eff}} < E'_{\text{eff}}$ est $\varphi = \psi = -\frac{\pi}{2}$.



Comme $\varphi_{u/i_{ms}} = -\pi/2$, ce fonctionnement peut relever le facteur de puissance.

7) 1^{er} cas : $\varphi = \psi = \frac{\pi}{2}$

D'après la loi des mailles :

$$U_{eff} e^{j\varphi} = L\omega I_{rs} + E'_{eff} e^{j\psi}$$

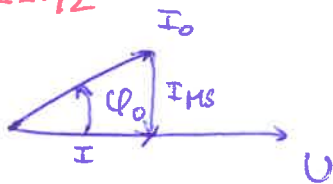
Comme $e^{j\varphi} = e^{j\psi} = e^{j\pi/2} = j$

$$U_{eff} = L\omega I_{rs} + E'_{eff}$$

Et d'après la loi des mailles :

8) Relever le facteur de puissance $\cos \varphi$

$$\Rightarrow \varphi = \psi = -\pi/2$$



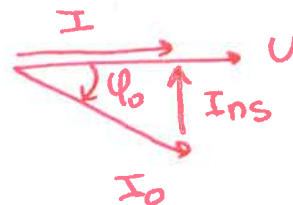
$$\sin \varphi_0 = \frac{I_{rs}}{I_0}$$

$$\text{et } I_0 = \frac{P_0}{U_{eff} \cos \varphi_0}$$

$$\text{donc } I_{rs} = \frac{P_0}{U_{eff}} \tan \varphi_0$$

$$\text{Ainsi } I_r = \frac{U_{eff} - \frac{P_0}{U_{eff}} L\omega \tan \varphi_0}{\pi_0 \omega}$$

→ Installation inductive



Notion sous-excité

$$U_{eff} > E'$$

$$U_{eff} > \pi_0 I_r \omega$$

$$\Rightarrow I_r < \frac{U_{eff}}{\pi_0 \omega}$$

Notion sur-excité

$$U_{eff} < E'$$

$$U_{eff} < \pi_0 I_r \omega$$

$$\Rightarrow I_r > \frac{U_{eff}}{\pi_0 \omega}$$

I_r est le courant d'excitation de la MS

on cherche I_r

$$E'_{eff} = \pi_0 I_r \omega$$

$$E'_{eff} = U_{eff} + L\omega I_{rs} \text{eff}$$

$$(\varphi = \psi = -\pi/2)$$

notion sur-excité

$$I_{rs} \text{eff} = \sin \varphi_0 I_0 \text{eff}$$

$$I_0 \text{eff} = \frac{P_0}{U_{eff} \cos \varphi_0} = \frac{20 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3 \times 0,71} = 14,1 \text{ A}$$

$$I_{rs} \text{eff} = \sqrt{1 - 0,71^2} \times 14,1 = 9,92 \text{ A}$$

$$E'_{eff} = 2 \times 10^3 + 0,08 \times 2\pi \times 50 \times 9,92$$

$$E'_{eff} = 2,25 \text{ kV}$$

$$I_r = \frac{E'_{eff}}{\pi_0 2\pi f} = \frac{2,25 \cdot 10^3}{0,66 \times 2\pi \times 50}$$

$$I_r = 10,8 \text{ A}$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0}$$