

MAQUINAS DE INDUCCION O ASINCRONAS

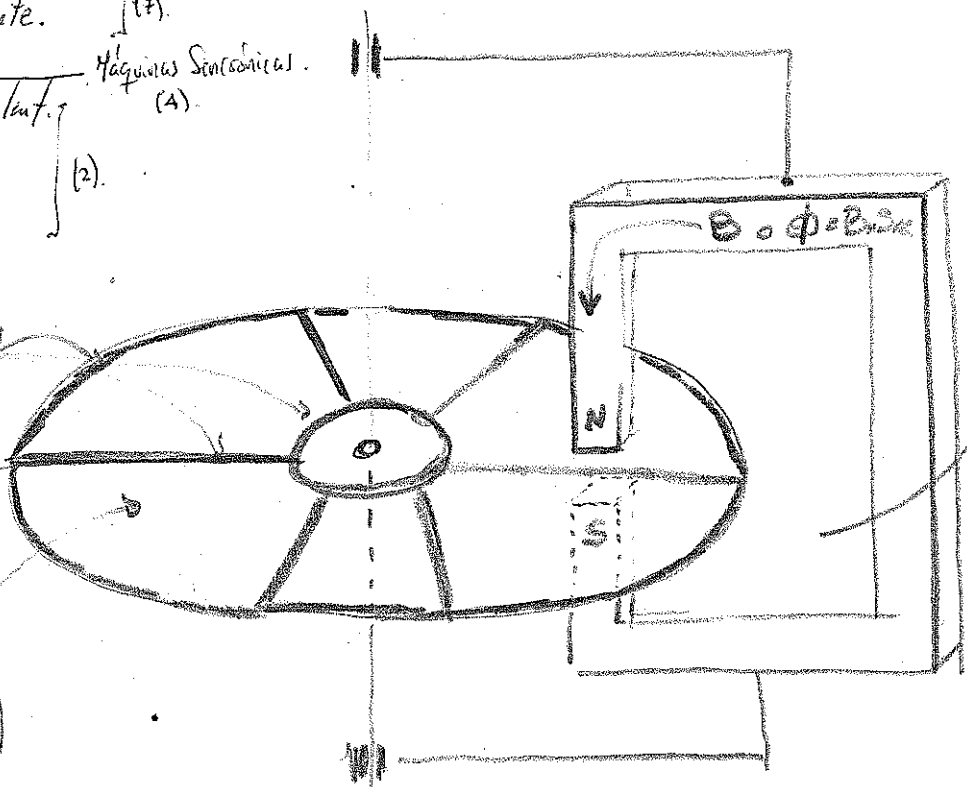
- Plan:
- Principio de funcionamiento
 - Modelo Equivalente.
 - Arrangos.
 - Monofásico y trifásico
 - Inst. eléctrica.
 - Separación.
 - Detalles.

(1) Máquinas Síncronas.
(4)

(2)

Conductores de Cu o Al.
Firmemente apoyados al disco.
(p chica)

Disco Fe
(μ alto)
(ρ alto)

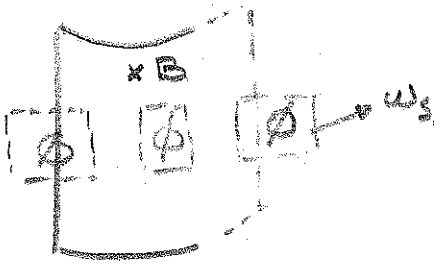


IMPONGO un giro al imán a ω_s

(+ Desprecio pérdidas mecánicas y magnéticas)

* QUE LE PASA AL DISCO?

* Gira siguiendo al imán! Por que?

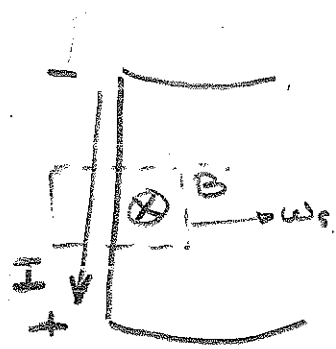


⇒ Varía el ϕ que atraviesa la espira
↓ L (Faraday)

$$e = -d\phi/dt$$

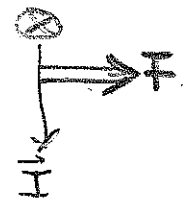
(oponerse a la causa que lo genera)

Pero la espira es cerrada ⇒ aparece una corriente $I \approx e/R_{eq}$



⇒

Aparece $F \therefore F \approx I \cdot B$



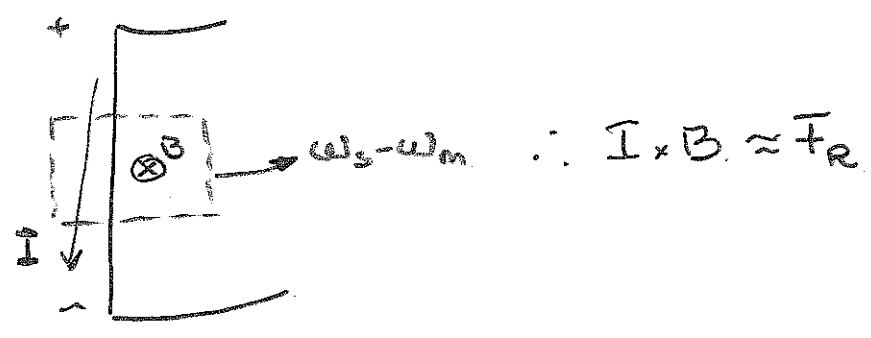
⇒ El conductor "arrastra" al disco siguiendo al imán a velocidad ω_m

* Que velocidad toma el disco si Z pérdidas ni pares resistentes?

$$\omega_m = \omega_s$$

* Que pasa si le aplico al disco un par resistente mediante F_R

* Se equilibrará a $\omega_m < \omega_s$.:



Luego.

Genera un Par motor que será proporcional a $\omega_s - \omega_m$

Interpreto.

El disco "desliza" ($\omega_s - \omega_m$) del campo a velocidad ω_s (impuesta y fija) y genera un par motor proporcional a $\frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s}$

Defino.

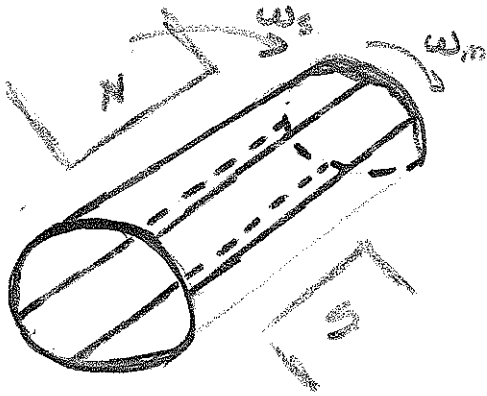
| |
|---|
| DESLIZAMIENTO $g(s) = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s}$ |
|---|

| |
|-------------------------------------|
| VELOCIDAD DE SINCRONISMO ω_s |
|-------------------------------------|

| |
|--|
| VELOCIDAD MECANICA ω_m o ω . |
|--|

Como hago esto posible en la practica ?

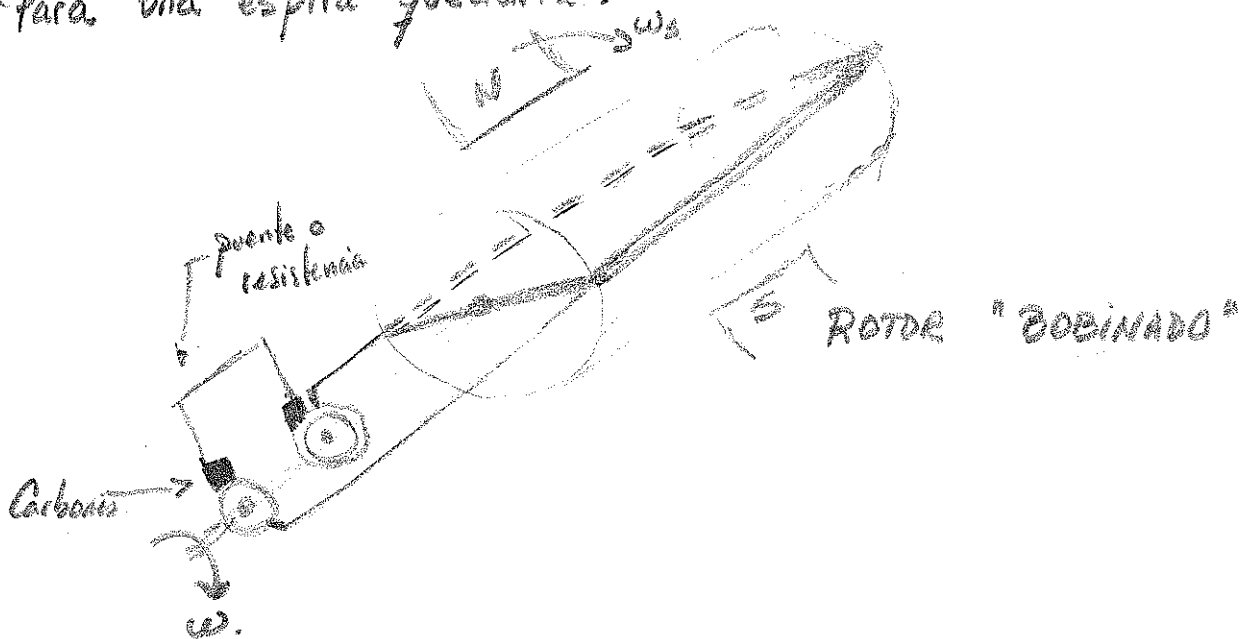
3



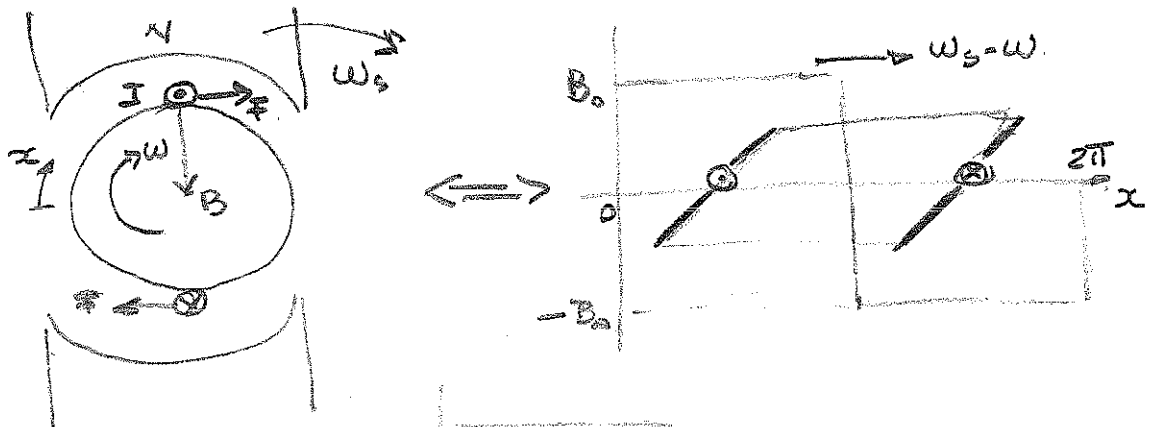
ROTOR EN "JAULA DE ARDILLA"

o bobinando espiras y cortocircuitandolas "afuera"

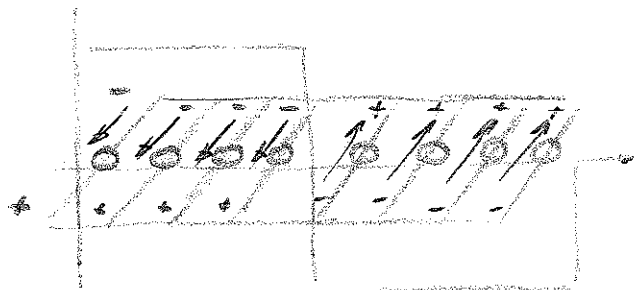
Para una espira quedaria:



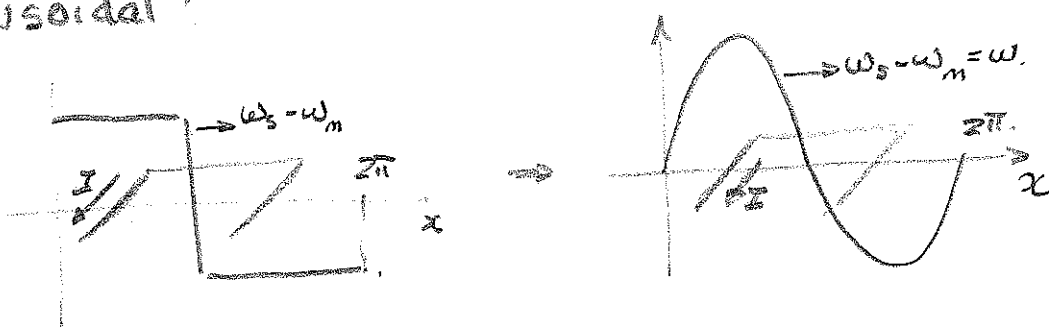
Las relaciones vectoriales para cada lado de la espira queda:



o con varias espiras (regulariza el giro)

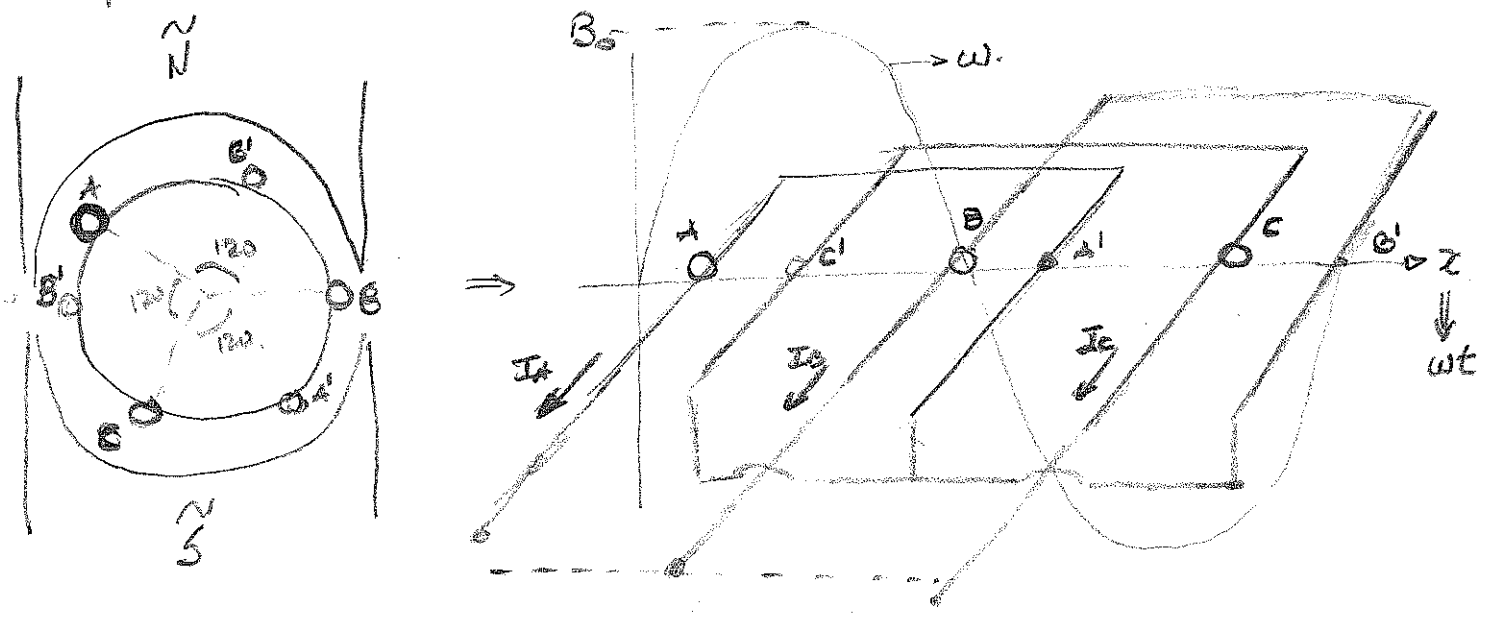


* Que pasaria si el campo en lugar de una onda cuadrada fuera sinusoidal?



La $e = -\frac{d\phi}{dt}$ seria sinusoidal \Rightarrow las I serian sinusoidales

* Que pasaria si en lugar de una espira en el rotor formo la "maquina elemental" con 3 espiras separadas 120° "grados" respecto a la onda del campo (grados que le llamo electricos)



* Como son las corrientes?

TRIFASICAS EQUILIBRADAS!

Pues $e = \text{Sec.} \frac{d\phi}{dt}$ pero $B = B_0 \text{ Sen } x = B_0 \text{ Sen } \omega t$.

$I \propto e/R$

\Rightarrow

- $I_A \propto \frac{d \text{Sen } \omega t}{dt} \propto \text{cos } \omega t$
- $I_B \propto \frac{d \text{Sen } (\omega t + 120)}{dt} \propto \text{cos } (\omega t + 120)$
- $I_C \propto \frac{d \text{Sen } (\omega t - 120)}{dt} \propto \text{cos } (\omega t - 120)$

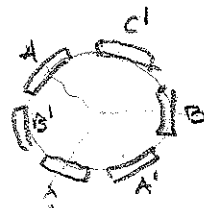
$\vec{I}_A = I \angle 0$
 $\vec{I}_B = I \angle 120$
 $\vec{I}_C = I \angle -120$

* Que frecuencia tiene la corriente del rotor?

5

$$\omega = \omega_s - \omega_m$$

Pero cada espira la puedo formar por n conductores



Recapitulo

Máquina elemental de un par de polos

Si a un rotor en jaula de ardilla ^(o bobinado) con 31 espiras enca. uniformemente espaciadas en grupos de n espiras y tal que se ubiquen a 120° (eléctricos) le impongo un campo magnético sinusoidal que gira a velocidad sincrónica ω_s a su alrededor \Rightarrow

"Arrastrará" al rotor el cual girará a una velocidad ω_m

\therefore provocará una corriente trifásica equilibrada \vec{I}

de frecuencia $(\omega_s - \omega_m)$ tal que desarrollará en su eje un par motor que equilibra al par resistente de la forma

$$C_R = C_M \propto |I| B_0 (\omega_s - \omega_m)$$

Luego

$$C_{Motor} \propto |I| g$$

$$(g = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s})$$

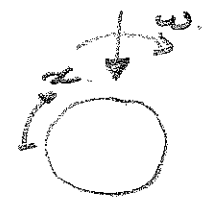
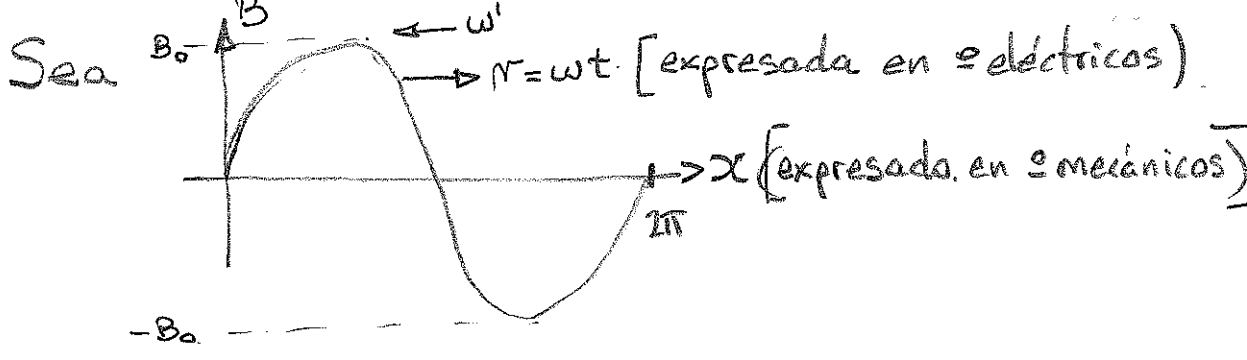
$$\propto |I| |g|$$

* Pero hay un problema práctico

* Como logro un campo sinusoidal GIRATORIO! a velocidad ω , a partir de un electroiman QUE ESTÉ FIJO!!

Antes:

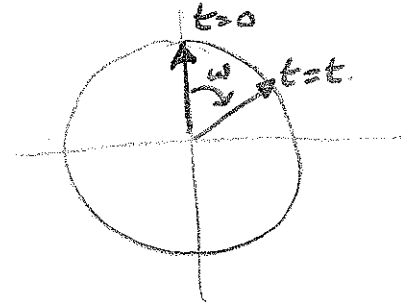
Repaso: de ondas móviles en un eje físico.



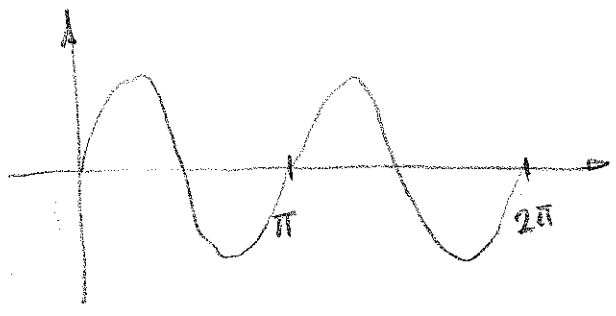
Supongamos que 1° eléctrico = 1° mecánico.

Entonces analíticamente $B(x,t) = B_0 \cos(x - \omega t)$ o $B_0 \cos(x + \omega t)$

Esto lo puedo representar para cada x como un fasor que gira a velocidad ω .



Que pasa si duplico la periodicidad de la onda.



\Rightarrow 1° eléctrico = $\frac{1}{2}$ ° mecánico

\Rightarrow por cada ω_m tengo p ° e $\Rightarrow \frac{\omega_e}{\omega_m} = p$

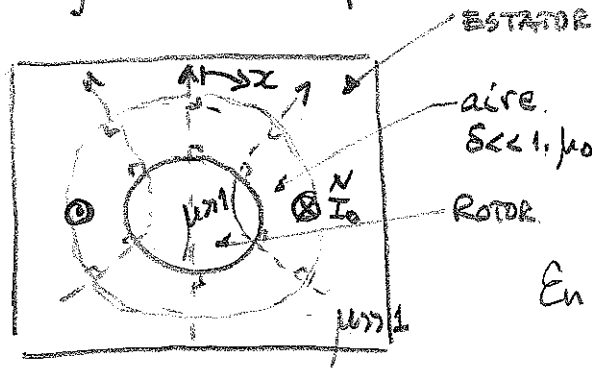
Luego si tengo "p" periodos.

~~1° eléctrico = 1° mecánico~~ \downarrow
 $f = p \frac{\omega_m}{\omega_e}$

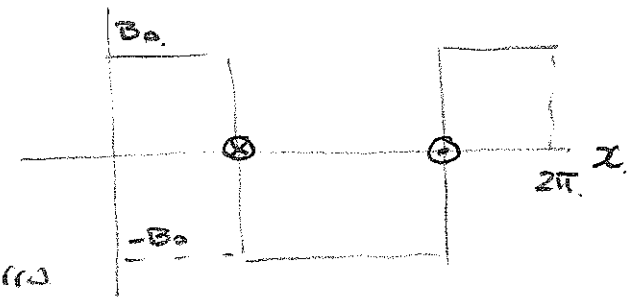
\Rightarrow En 2π ° mecánicos tengo $p \times 2\pi$ ° eléctricos.

* Como lograr un campo giratorio a partir de un bobinado fijo?

Supongamos una espira en el ESTATOR alimentada por una I continua.



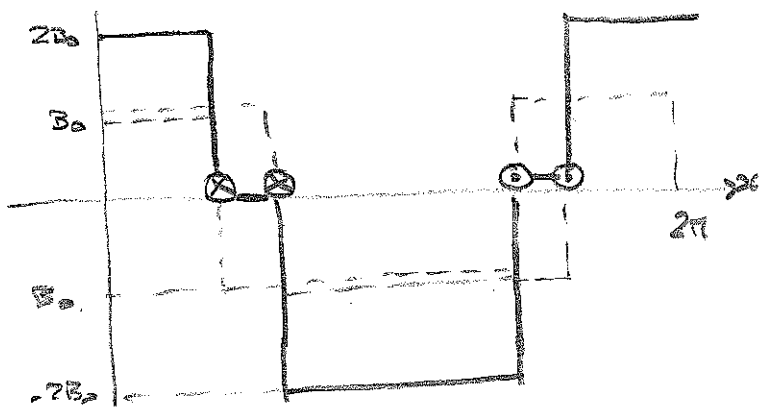
En el entrehierro \approx



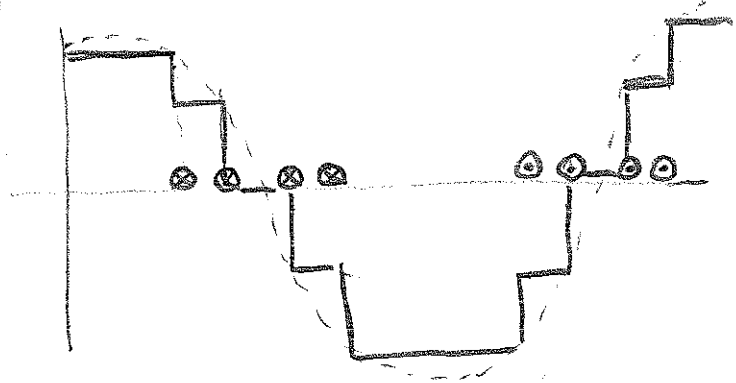
Como el entrehierro representa la mayor $\mathcal{R} \Rightarrow B_0 \frac{2\delta}{\mu_0} \approx NI_0$

Si descompongo por Fourier $B(x) = \frac{4B_0}{\pi} \left[\cos x - \frac{1}{3} \cos 3x + \frac{1}{5} \cos 5x - \dots \frac{1}{2n+1} \dots \right]$

Que pasa si pongo otra espira "un poco corrida" de la anterior.



Y Si pongo otras dos



Si sigo distribuyendo uniformemente "llenando" el estator

\Rightarrow $B \rightarrow I_0 \cos x$ (Se prueba analiticamente con Fourier) (ojo! x en mecanica)

* Que pasa ahora si en lugar $I = I_0$ (continua) hago circular $I = I_0 \cos \omega t$? (ojo! ωt = eléctricos) ⑧

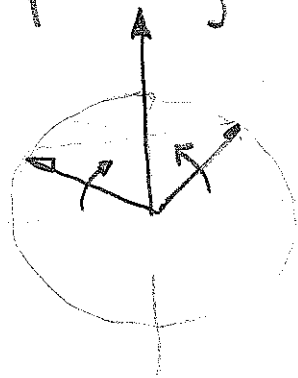
Resulta. $B \propto I_0 \cos \omega t \cos x = B_0 \cos \omega t \cos x$.

Pero la trigonometria me dice que: $\cos \omega t \cos x = \frac{\cos(x - \omega t) + \cos(x + \omega t)}{2}$.

Luego. $B(x, t) = \frac{B_0}{2} [\cos(x - \omega t) + \cos(x + \omega t)]$

Pero esto que es? (Ver Repaso ondas móviles)

Son dos campos magnético girando a ω en sentidos opuestos.



Luego

Un bobinado estatórico como el indicado, alimentado por una corriente eléctrica sinusoidal de $\omega = 2\pi f$ da lugar (todo sucede como si) aparezcan dos campos magnéticos girando a ω en sentidos opuestos

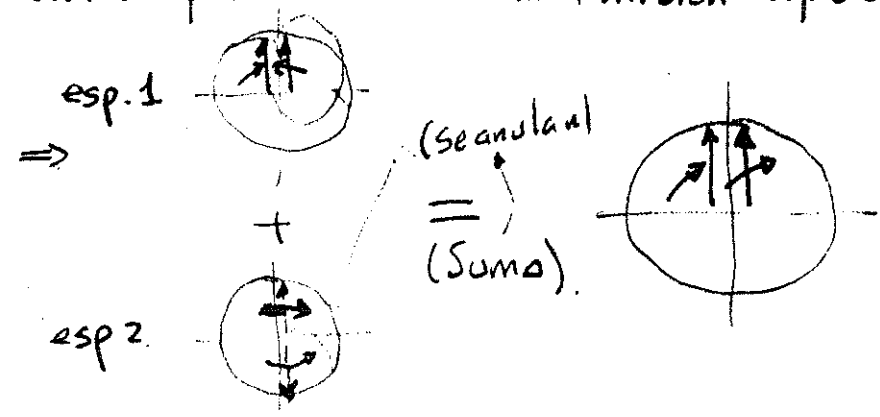
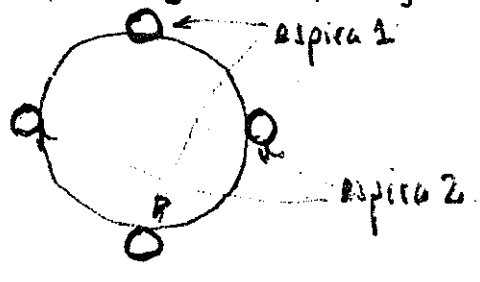
Pero:

Yo quiero un campo giratorio!

Que hago?

Tengo que buscar la manera de eliminar uno!

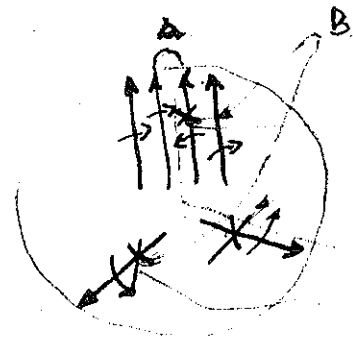
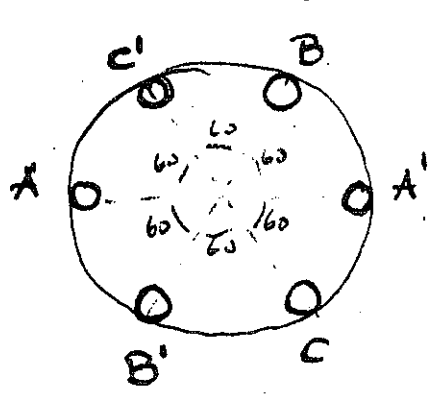
* Pongamos una espira "desfazada" en el espacio por ej a $\pi/2$ y alimentada por una corriente tambien desfazada $\pi/2$.



* Pero esta regla es general: El desfazaje de la posición de las espiras tiene que ser igual al desfazaje eléctrico de la corriente por las mismas y obtengo UN CAMPO GIRATORIO (UNICO)

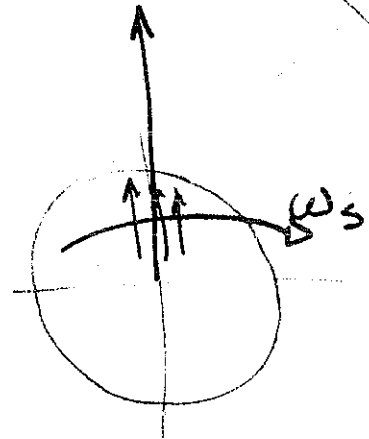
(Ejercicio: Probar la regla general) (Teorema de Fermat).

* Pero entonces hagamoslo con corriente trifásica equilibrada que la tengo "en el enchufe".



Luego.

Resultado.



OBTENGO EL CAMPO GIRATORIO ω_s

Que relación hay entre la f en Hz. y la velocidad n , en rpm, del rotor cuando este gira sin par resistente alguno? (de la corriente del estator) 10

Si no hay par resistente vimos que $\omega \approx \omega_s$

Pero $\omega_s = 2\pi f$ y $\omega = \frac{2\pi n}{60}$

Luego

$$n \approx n_s = 60f$$

VELOCIDAD DE SINCRONISMO

Def: Cuando la máquina gira sin par resistente en el eje ni pérdida se le llama: VACIO PERFECTO.

Luego.

El rotor en vacío perfecto gira a $60f$ (rpm) $\leftarrow \omega_s$

En el Uruguay $f = 50 \text{ Hz} \Rightarrow n_s \approx n = 3000 \text{ rpm}$

En Brasil $f = 60 \text{ Hz} \Rightarrow n_s = n = 3600 \text{ rpm}$

OBSEVACIÓN MUY IMPORTANTE

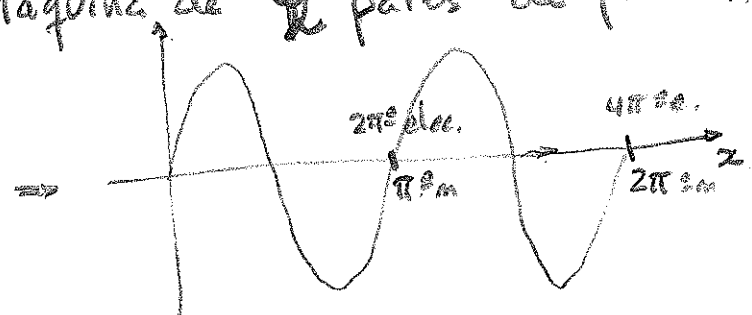
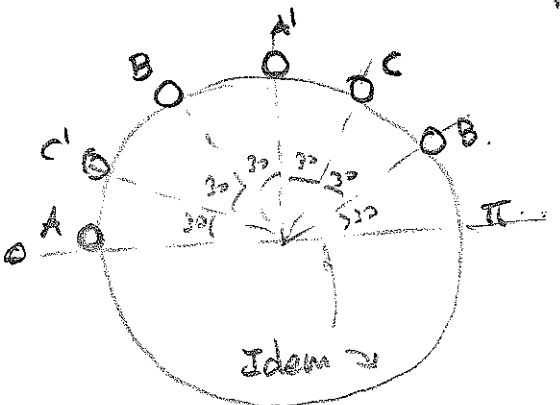
Si puedo controlar la frecuencia de alimentación eléctrica al bobinado estatórico (primario) de la máquina de Inducción puedo controlar su velocidad.

(por ahora hemos visto la máq. en vacío se cumple también para la máq. en carga como puede verse, pues por def $g = \frac{n_s - n}{n_s} \Rightarrow n = (1-g)n_s \Rightarrow n = (1-g)60f$ \leftarrow (depende del Par))

* Pero, a frecuencia fija, los motores de inducción solo pueden girar alrededor de las 3000 rpm?
 * No!

* Veamos, hemos distribuido el bobinado estatórico de tal manera que en una vuelta de rotor (o mecánicas) tiene un solo periodo el campo (o eléctricos)
 → Llamemos a esta distribución estatórica, distribución de dos polos o Máquina de "1 par" de polos

* Que pasa si distribuyo los bobinados estatóricos de tal manera que haya 2 periodos (o $m=2$) (Máquina de "2 pares" de polos)

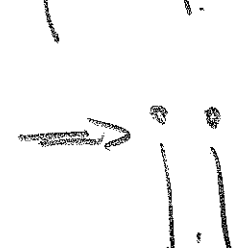


Entonces } En vacío perfecto:
 Por cada vuelta del rotor (o mecánicas) tendré dos vueltas (o eléctricas) del campo magnético

(en vacío) $\Rightarrow \omega_s(e) = 2 \omega_s(m)$, como $\begin{cases} \omega_s(e) = 2\pi f \\ \omega_s(m) = \frac{2\pi n_s}{60} \end{cases} \Rightarrow n_s = 60 \frac{f}{2}$

* Si generalizo para "p pares de polos" \Rightarrow

$n_s = 60 \frac{f}{p}$



$f = \frac{p n_s}{60}$

$p = n = \text{pares de polos}$

EXPRESIÓN QUE DA LA VELOCIDAD DE SINCRONISMO CON "f"