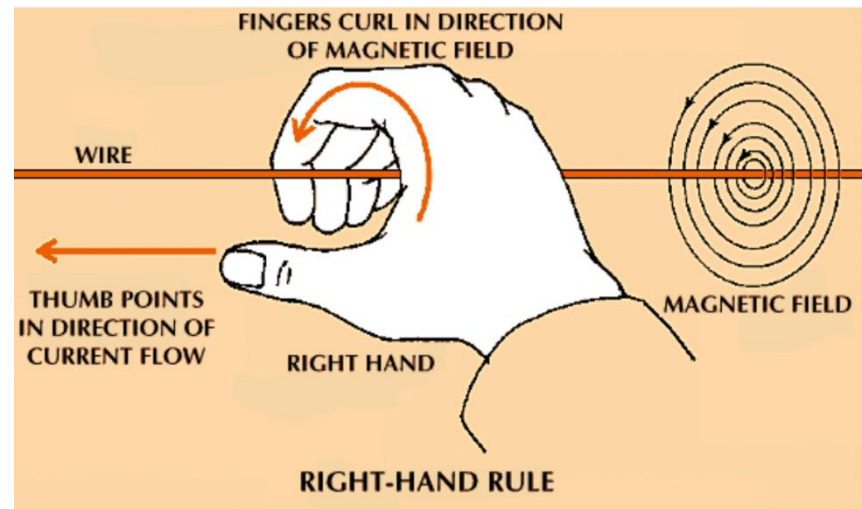
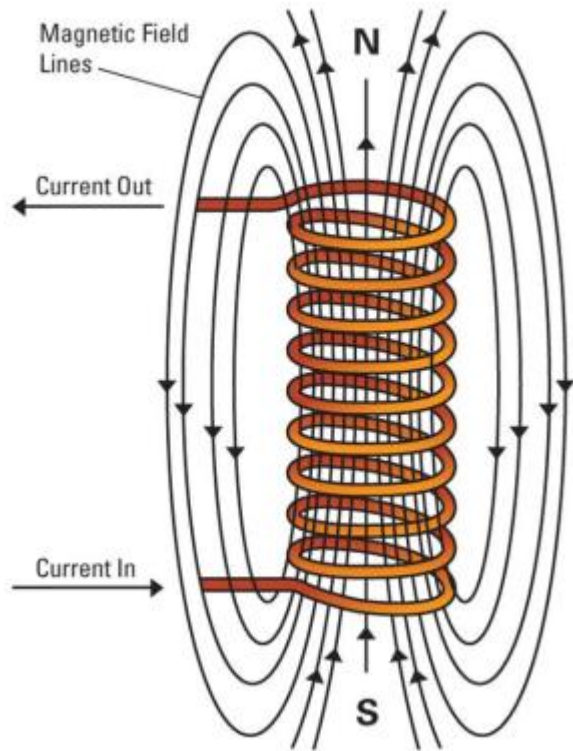
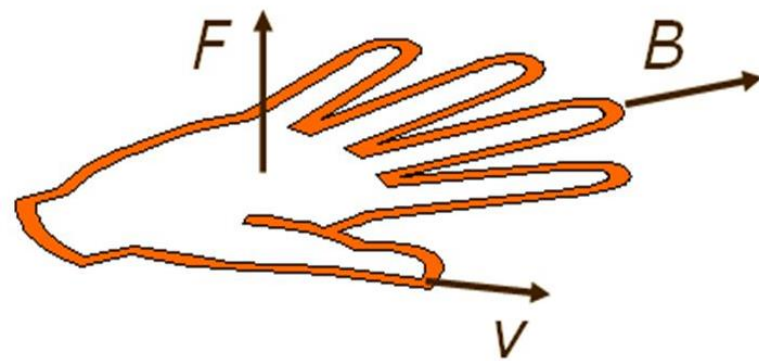
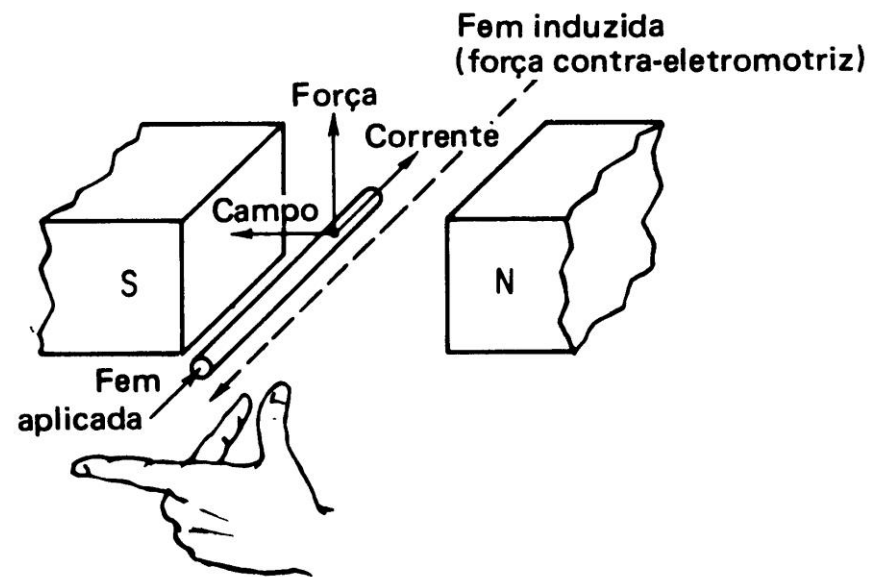
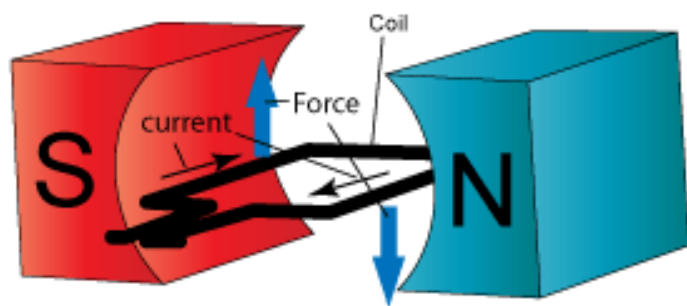


SEL 404 – ELETRICIDADE II

Aula 14

- Enrolamento distribuído
- Máquinas de corrente alternada
 - Campo Magnético Girante

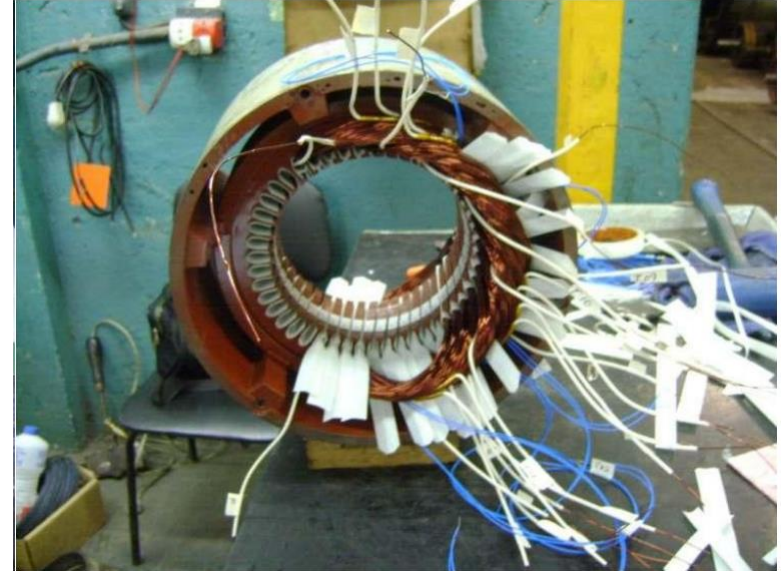




Enrolamento Distribuído



Bobinas

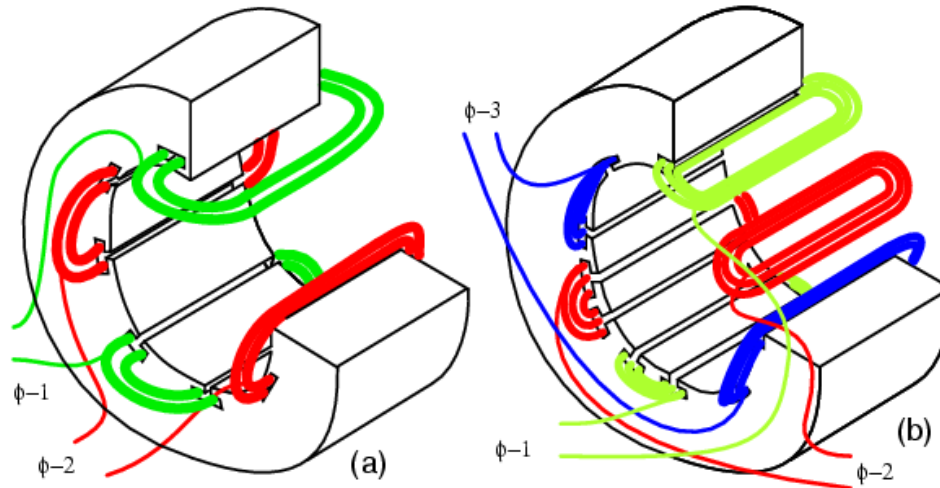
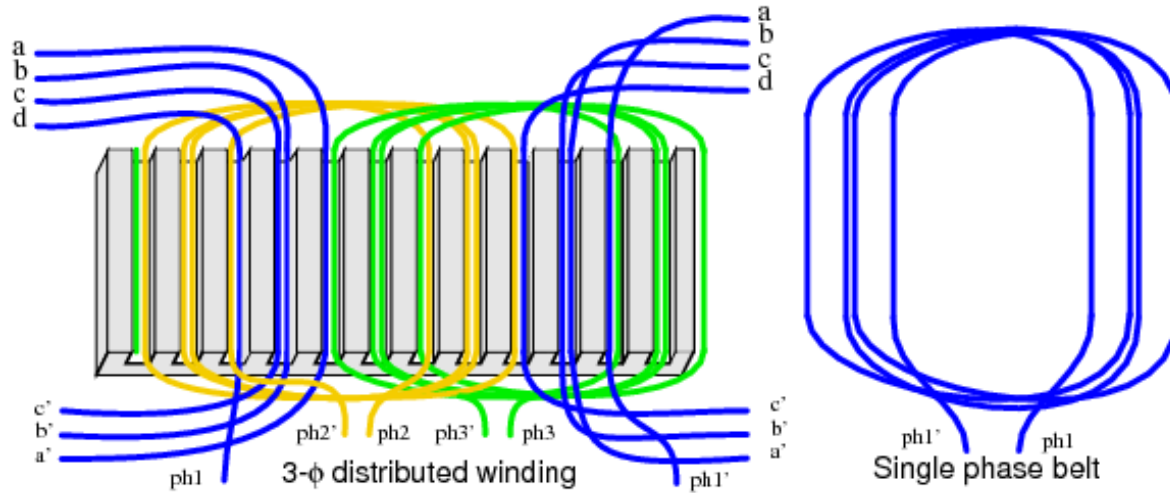


Montagem do Enrolamento

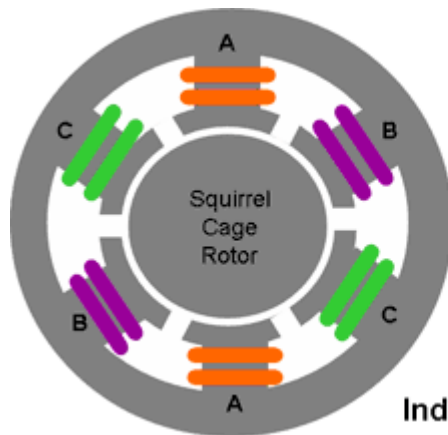
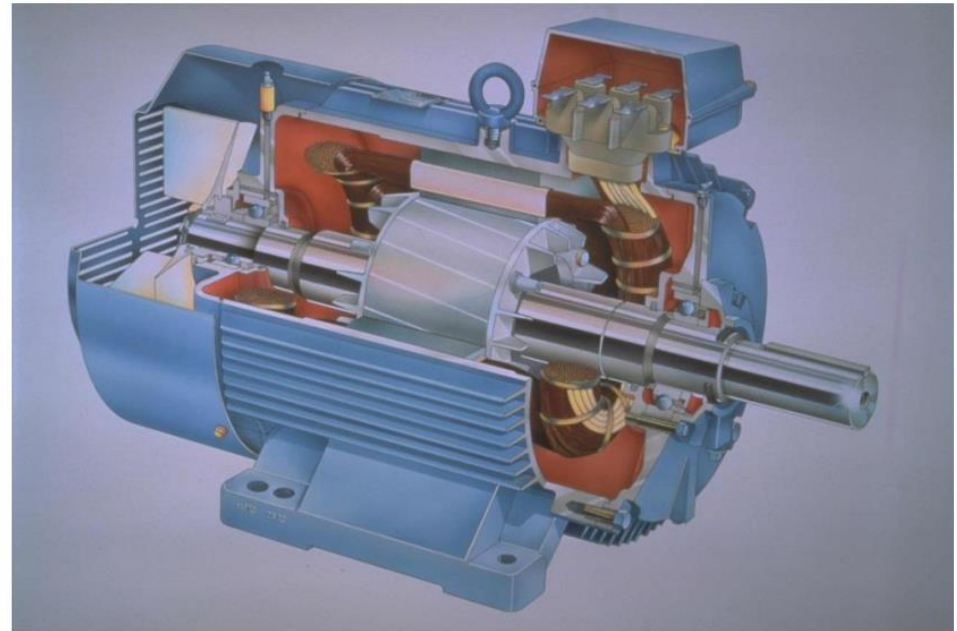


Enrolamento finalizado

Enrolamento Distribuído



Motor de Indução Trifásico



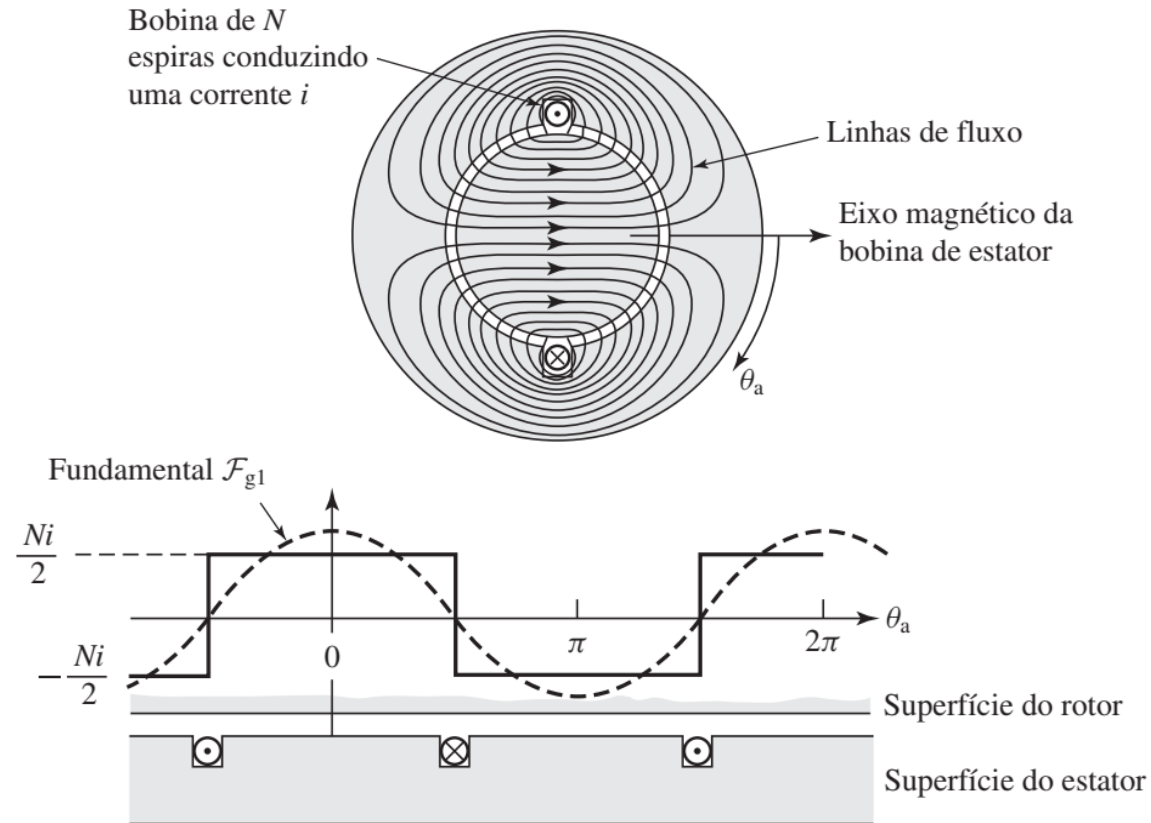
Field Windings

-  Phase 1 (reference)
-  Phase 2 (+ 120°)
-  Phase 3 (+ 240°)

Rotating magnetic field created by the sequential excitation of the pole pairs by the 3 phase supply

Induction Motor

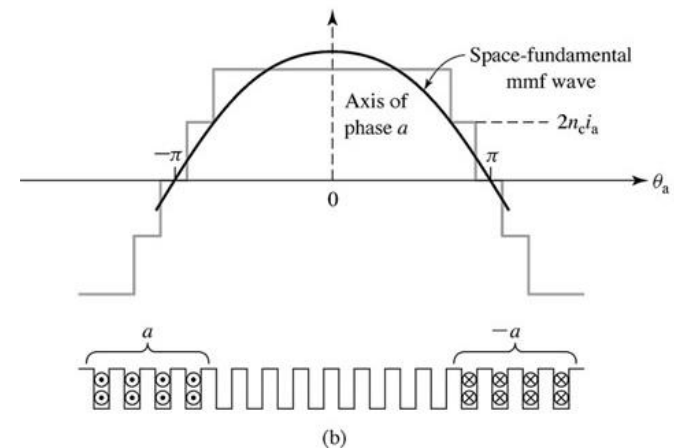
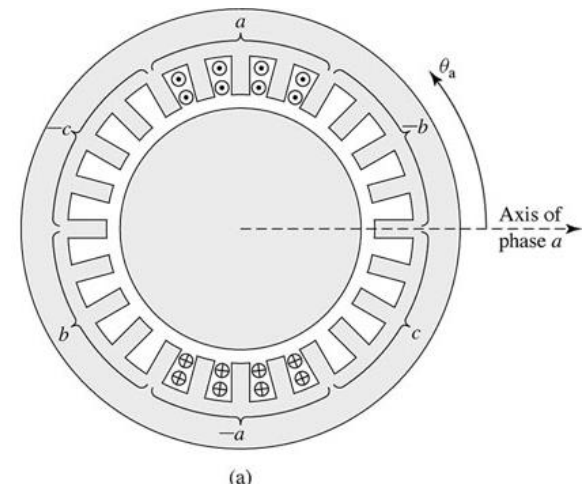
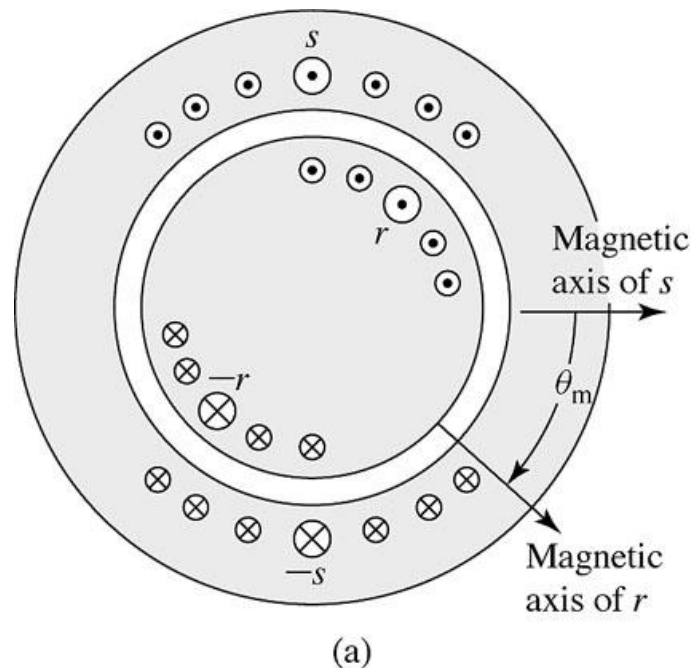
Campo Magnético Produzido por uma Bobina



Para um dado instante de tempo, se a bobina de cada fase for concentrada em uma única ranhura, a distribuição espacial de força magnetomotriz será não-senoidal, induzindo tensões altamente distorcidas no enrolamento do rotor;

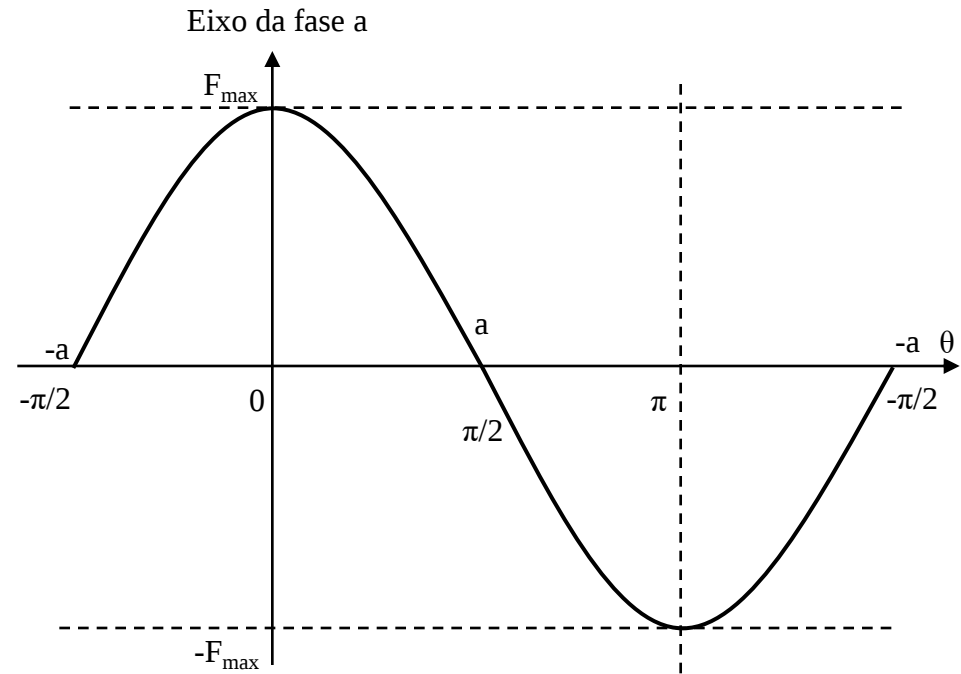
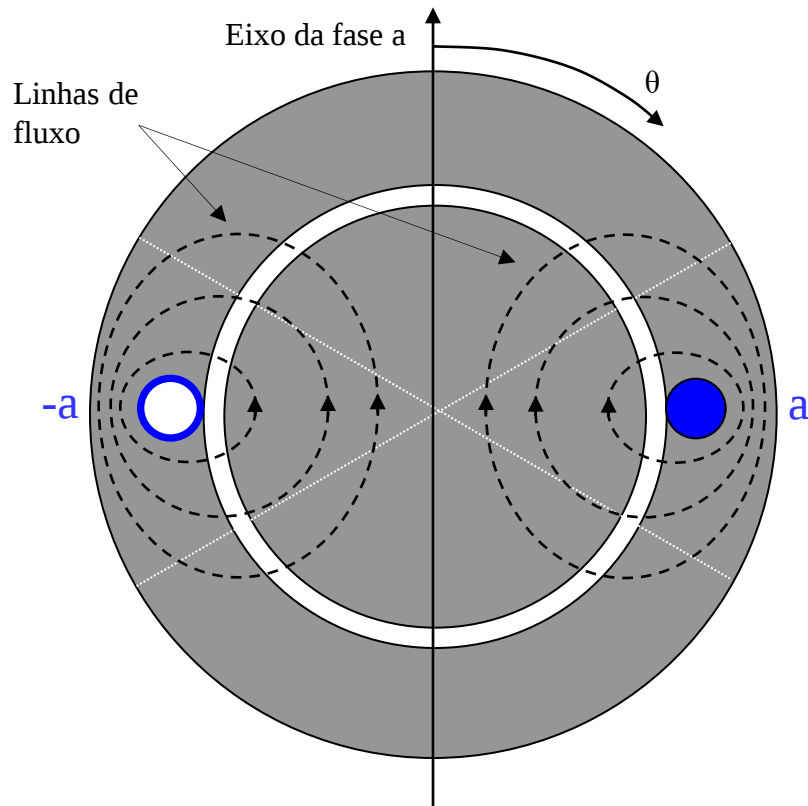
Campo Magnético Produzido por uma Bobina

- Para resolver este problema, a bobina é distribuída de forma senoidal em ranhuras sobre toda a periferia do estator, resultando em distribuição espacial de força magnetomotriz aproximadamente senoidal;



Campo Magnético Produzido por uma Bobina

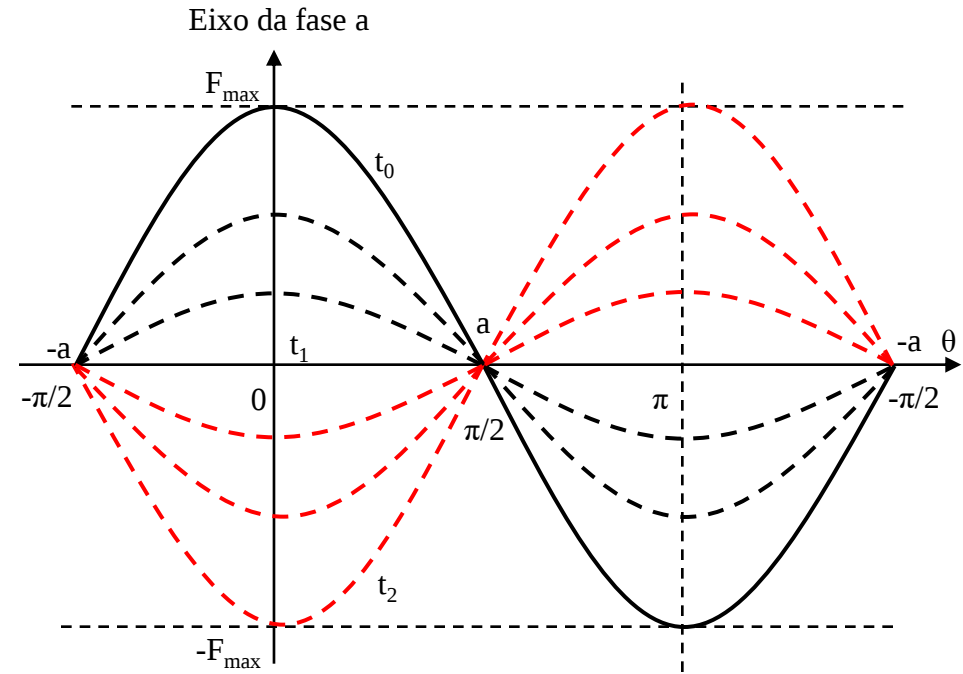
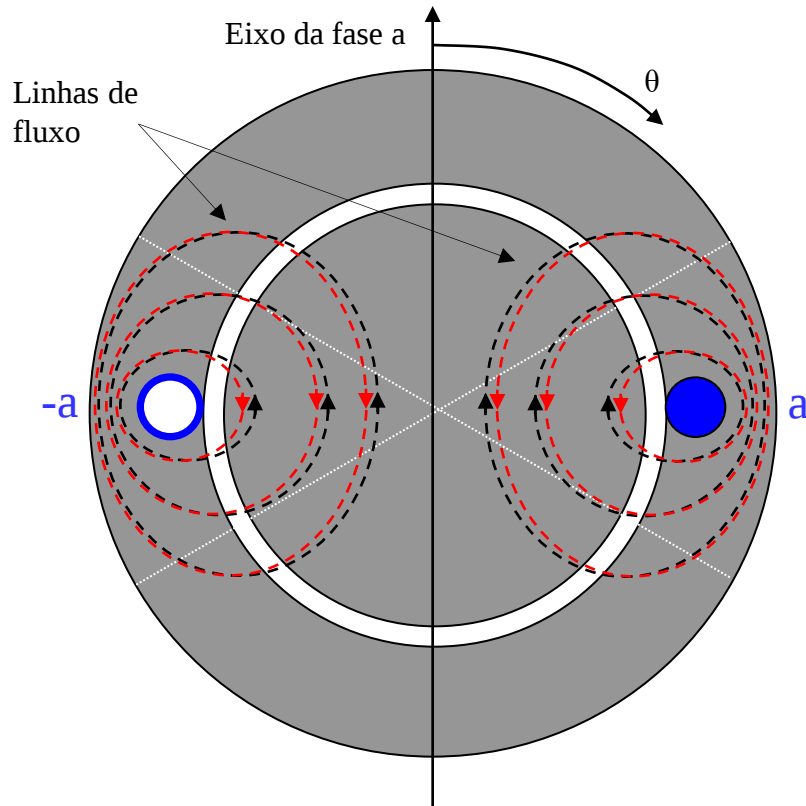
- Enrolamento monofásico excitado por uma corrente constante.



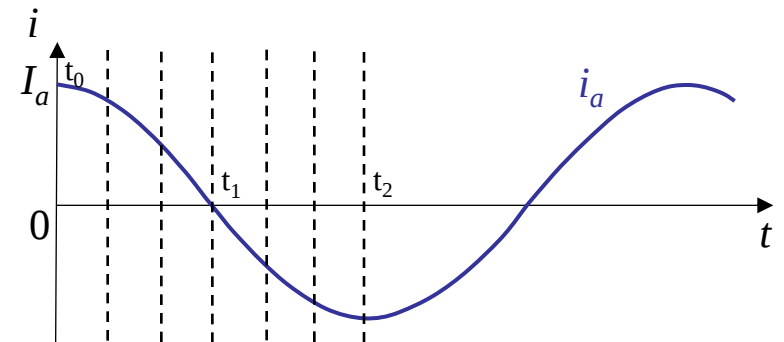
fmm estacionária no tempo e varia senoidalmente no espaço em relação a θ .

Campo Magnético Pulsante

- Enrolamento monofásico excitado por uma corrente senoidal.

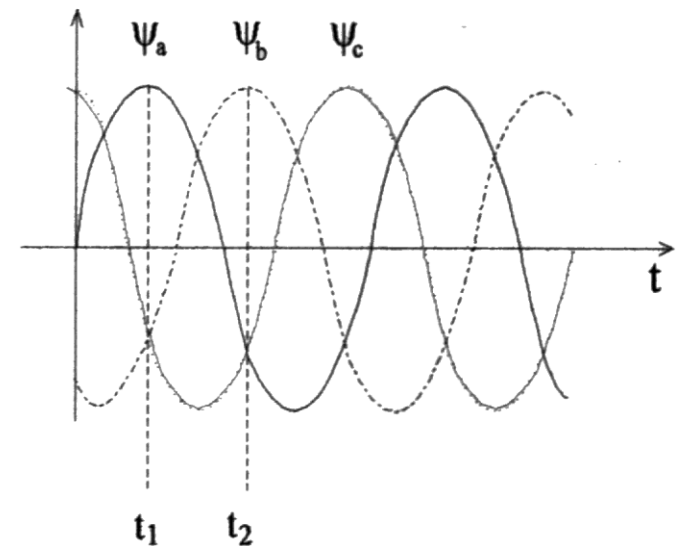
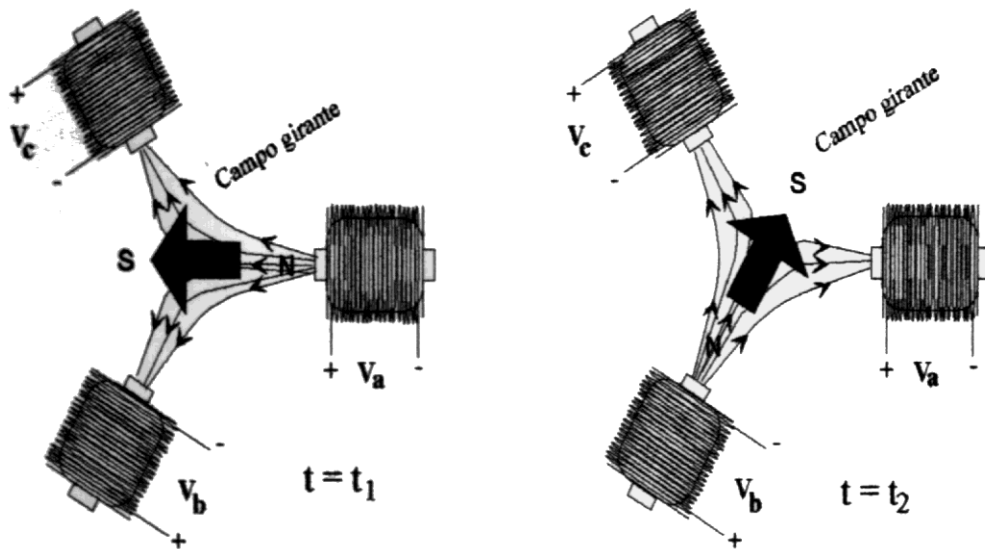


- *fmm pulsante* - varia senoidalmente em relação a θ e ao tempo. (Campo pulsante)



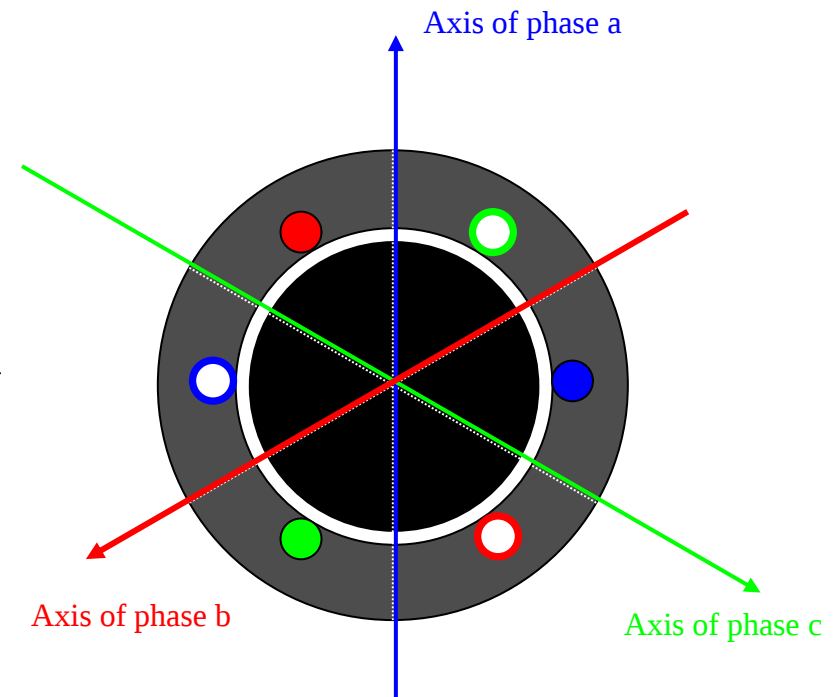
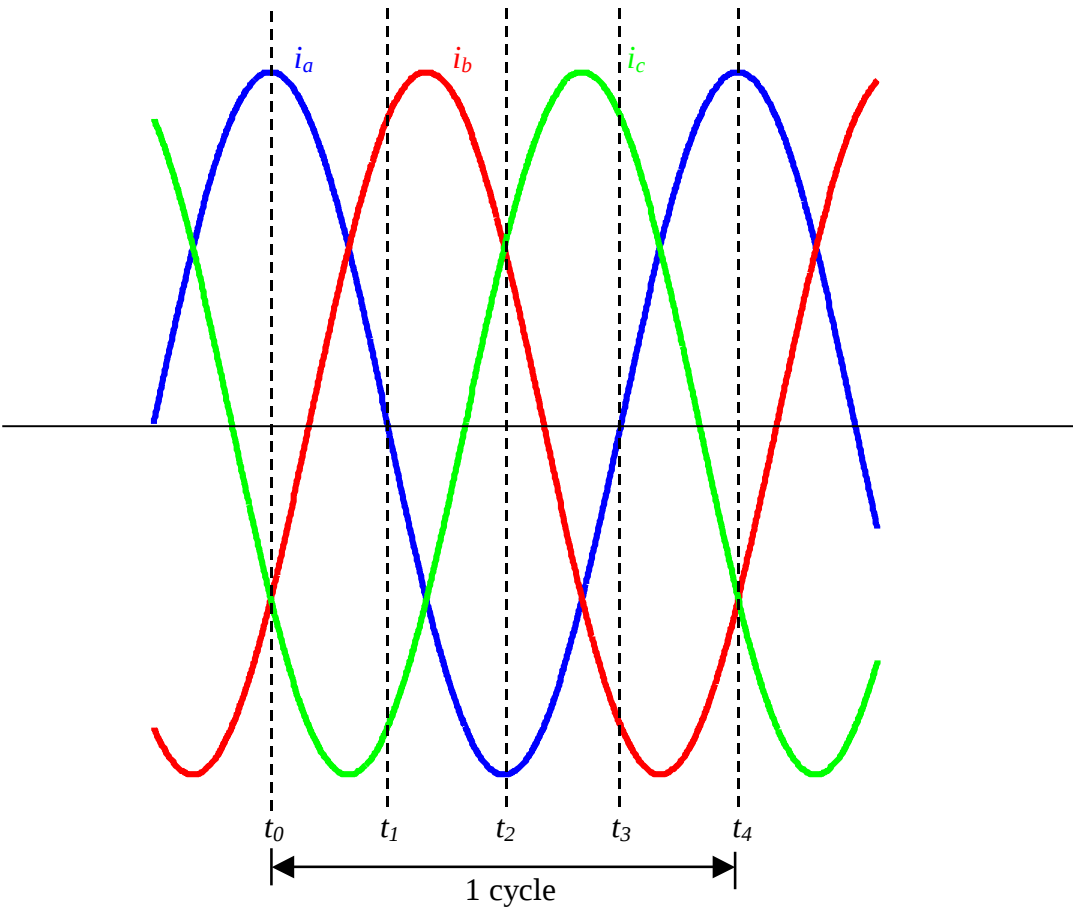
Campo Magnético Girante

Três correntes alternadas senoidais, com mesma amplitude e defasadas de 120 graus, circulando por três bobinas fixas, cujos eixos magnéticos distam 120 graus entre si, produzem um campo magnético girante de intensidade constante.



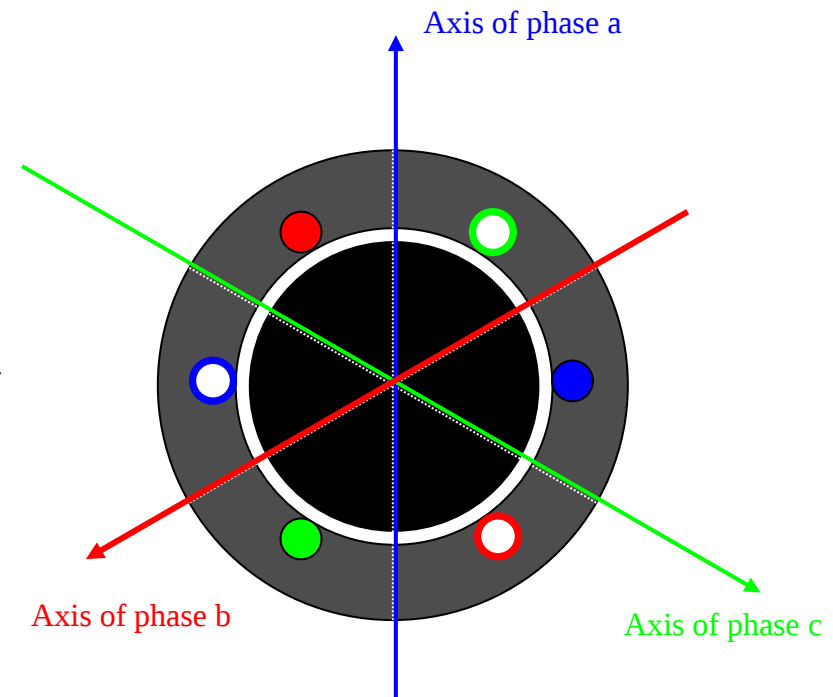
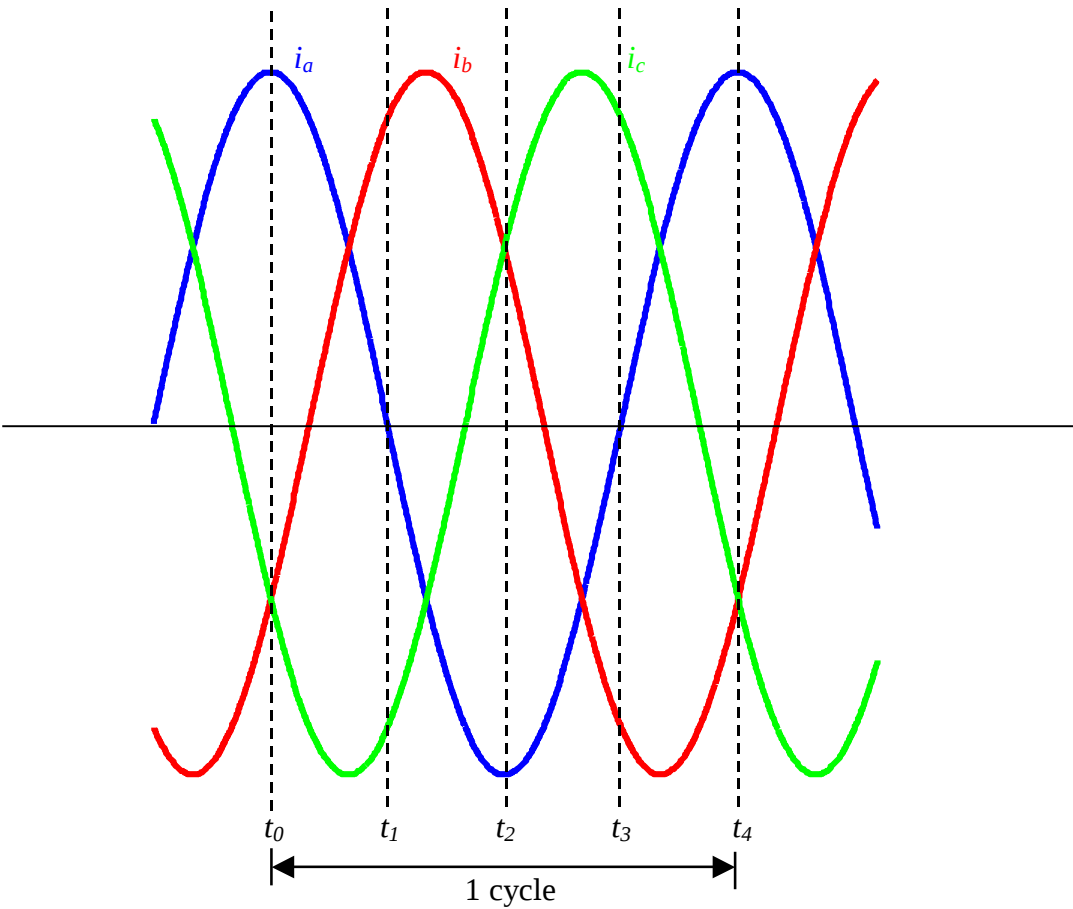
Campo Magnético Produzido por 3 Bobinas

- Campo girante (método gráfico)

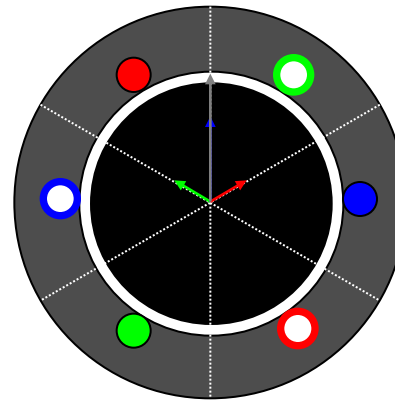
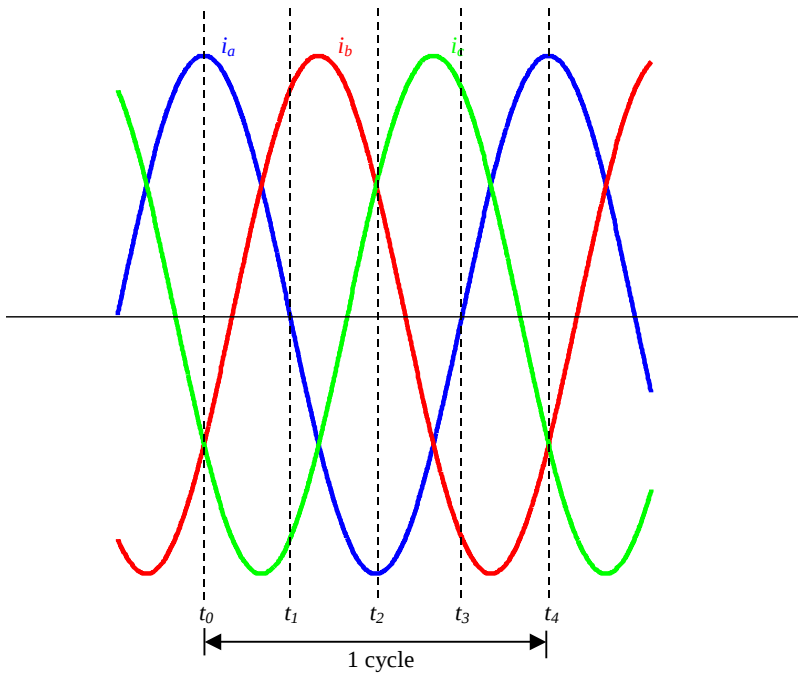


Campo Magnético Produzido por 3 Bobinas

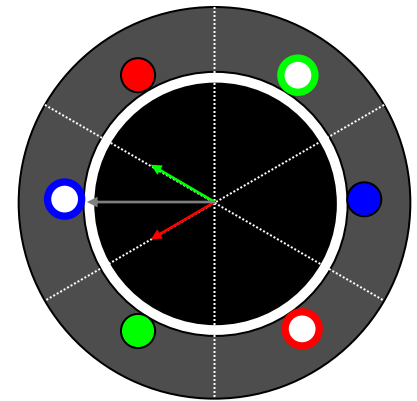
- Campo girante (método gráfico)



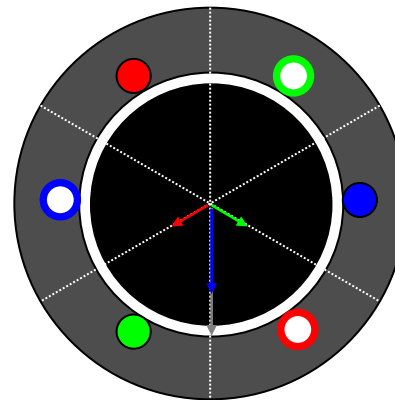
Magnitude do Campo Girante – Método Gráfico



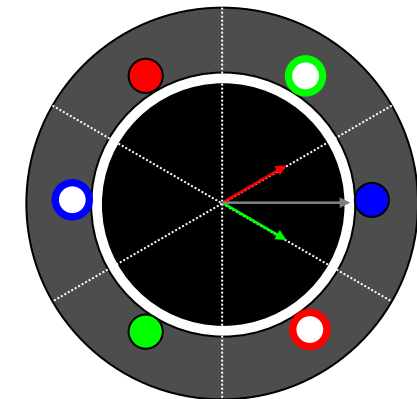
(t_0 e t_4)



(t_1)



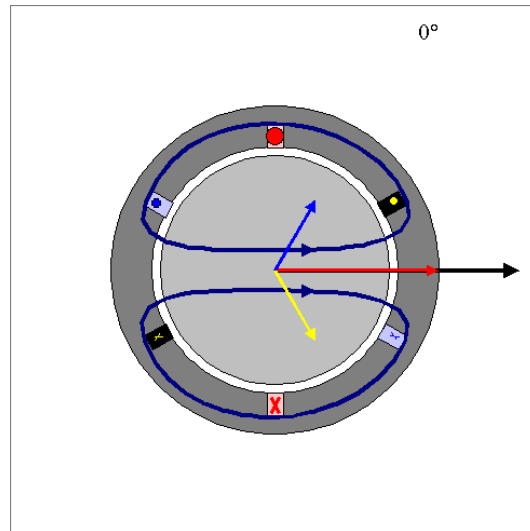
(t_2)



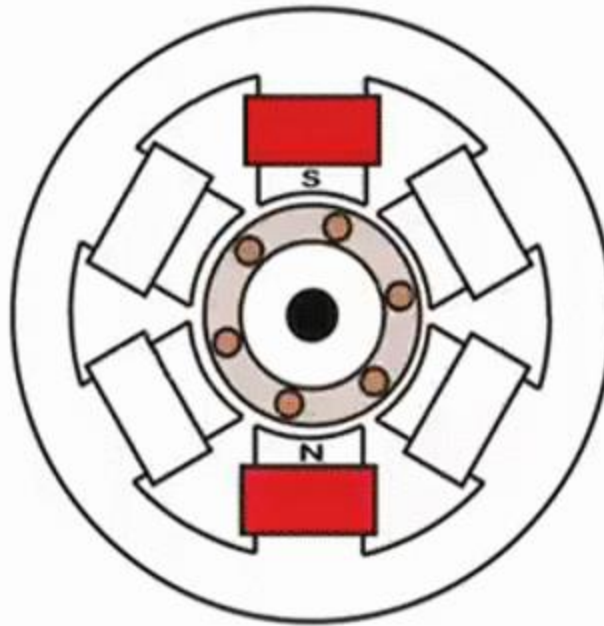
(t_3)

Magnitude do Campo Girante – Método Gráfico

- Módulo constante ($3/2 F_{\max}$)
- Velocidade depende da frequência da rede elétrica ($n = 120f/p$)
- Sequência de fase determina o sentido de rotação do campo girante



Magnitude do Campo Girante – Método Gráfico



Considerando correntes trifásicas

$$i_a = I_m \cos \omega t$$

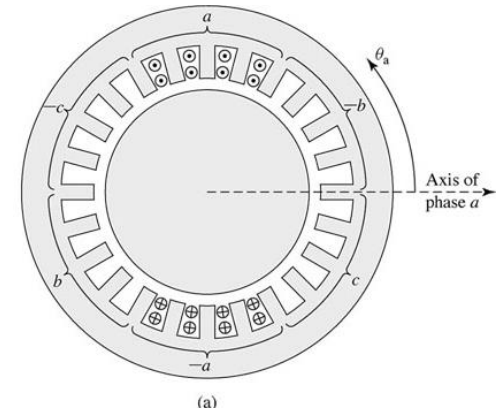
$$i_b = I_m \cos(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_c = I_m \cos(\omega t + 120^\circ)$$

Magnitude do Campo Girante – Método Analítico

- A distribuição espacial das bobinas **a**, **b** e **c**, resulta na produção de força magnetomotriz pulsante em cada fase;

$$\text{f.m.m} = Ni$$



$$\mathcal{F}_a = N \cos \theta * i_a = NI_m \cos \omega t \cos \theta$$

$$\mathcal{F}_b = N \cos(\theta - 120) * i_b = NI_m \cos(\omega t - 120^\circ) \cos(\theta - 120^\circ)$$

$$\mathcal{F}_c = N \cos(\theta + 120) * i_b = NI_m \cos(\omega t + 120^\circ) \cos(\theta + 120^\circ)$$

- **Vamos provar que a f.m.m. líquida é girante, com velocidade síncrona e amplitude constante;**

Magnitude do Campo Girante – Método Analítico

➤ A força magnetomotriz líquida é:

$$\mathcal{F}(\theta, t) = \mathcal{F}_a + \mathcal{F}_b + \mathcal{F}_c$$

$$\mathcal{F}_a = N \cos \theta * i_a = NI_m \cos \omega t \cos \theta$$

$$\mathcal{F}_b = N \cos(\theta - 120) * i_b = NI_m \cos(\omega t - 120^\circ) \cos(\theta - 120^\circ)$$

$$\mathcal{F}_c = N \cos(\theta + 120) * i_b = NI_m \cos(\omega t + 120^\circ) \cos(\theta + 120^\circ)$$

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} \cos(A - B) + \frac{1}{2} \cos(A + B)$$

tem-se

$$\begin{aligned} \mathcal{F}(\theta, t) &= \frac{1}{2} NI_m \cos(\omega t - \theta) + \frac{1}{2} NI_m \cos(\omega t + \theta) \\ &\quad + \frac{1}{2} NI_m \cos(\omega t - \theta) + \frac{1}{2} NI_m \cos(\omega t + \theta - 240^\circ) \\ &\quad + \frac{1}{2} NI_m \cos(\omega t - \theta) + \frac{1}{2} NI_m \cos(\omega t + \theta + 240^\circ) \end{aligned}$$

$$\mathcal{F}(\theta, t) = \frac{3}{2} NI_m \cos(\omega t - \theta)$$

Magnitude do Campo Girante – Método Analítico

- O que demonstra que a força magnetomotriz é girante, com velocidade $\omega=2\pi f$ e amplitude constante, igual a $3NI_m/2$;

$$\mathcal{F}(\theta, t) = \mathcal{F}_a + \mathcal{F}_b + \mathcal{F}_c$$

$$\mathcal{F}(\theta, t) = \frac{3}{2} NI_m \cos(\omega t - \theta)$$

- Máquina de indução trifásica