

DIAGRAMMA VETTORIALE

DELLA MACCHINA SINCRONA
ISOTROPA

(COSTRUZIONE DI BEHN-ESHEMBURG)

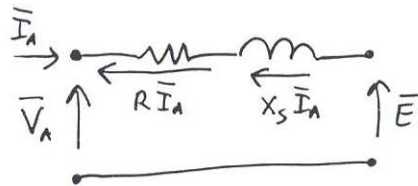
$$\begin{cases} V_D = R I_D - X_S I_Q \\ V_Q = R I_Q + X_S I_D + E \end{cases}$$

$X_D = X_Q = X_S$
REATTANZA
SINCRONA

$$\bar{V}_A = V_D + j V_Q$$

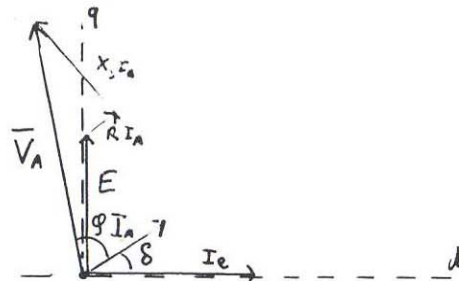
$$\bar{I}_A = I_D + j I_Q$$

$$\bar{V}_A = R \bar{I}_A + j X_S \bar{I}_A + \bar{E}$$



CONVENZIONE
DEGLI UTILIZZATORI

MOTORE
IN
SOTTOECCITAZIONE



MS-17

LA COPPIA IN FUNZIONE DI I_D E I_Q

$$C_e = (PP)3 \left[(L_D - L_Q) I_D I_Q + \frac{M_{oe} i_e I_Q}{\sqrt{3}} \right]$$

COPPIA DI ANISOTROPIA COPPIA CILINDRICA

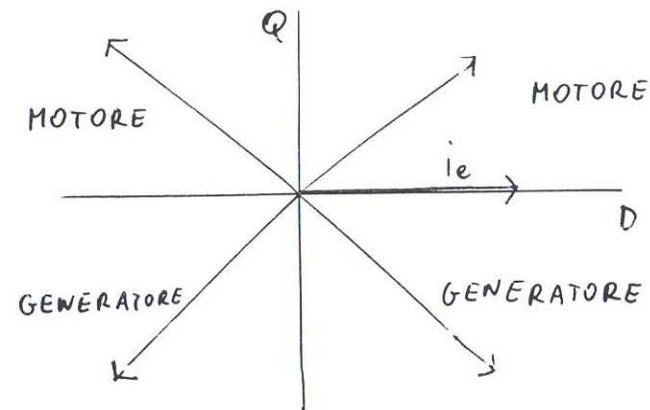
LA COPPIA CILINDRICA È IL TERMINE PREVALENTE

- FISSATO IL VALORE DI i_e IL SEGNO DELLA COPPIA
DIPENDE DA I_Q

SE $i_e > 0$

$I_Q > 0$ $C_e > 0$ MOTORE

$I_Q < 0$ $C_e < 0$ GENERATORE



MS-18

IL SIGNIFICATO DELLA COMPONENTE I_D

- MACCHINA COLLEGATA A UNA RETE DI POTENZA INFINITA (TENSIONE E FREQUENZA COSTANTI)
- FUNZIONAMENTO A VUOTO

$$\begin{cases} V_D = 0 \\ V_Q = E = \frac{\omega M_{re} I_e}{\sqrt{2}} \end{cases}$$

$$V_A = V_Q = \text{costante} = \frac{\omega M_{re} I_e}{\sqrt{2}} \quad I_e = I_{en} = \frac{V_A \sqrt{2}}{\omega M_{re}}$$

TRASCURO LA RESISTENZA $R \rightarrow 0$

CORRENTE DI ECCITAZIONE
NOMINALE

AUMENTO L'ECCITAZIONE

$$I_e > I_{en} \rightarrow E > V_Q$$

$$V_Q = \text{cost} = E + X_D I_D$$

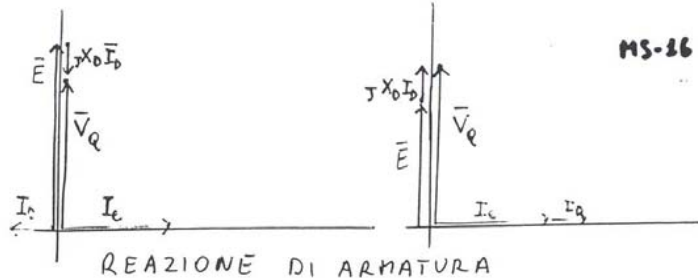
$$I_D < 0 \text{ SMAGNETIZZANTE}$$

DIMINUISCO L'ECCITAZIONE

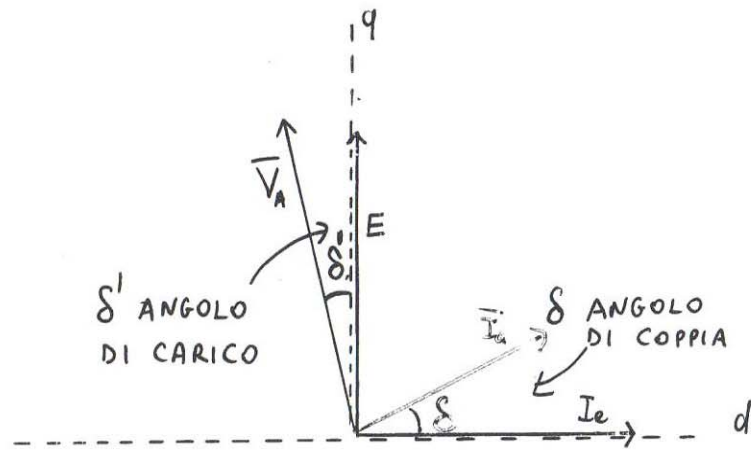
$$I_e < I_{en} \rightarrow E < V_Q$$

$$V_Q = \text{cost} = E + X_D I_D$$

$$I_D > 0 \text{ MAGNETIZZANTE}$$



POTENZA E COPPIA NELLA MACCHINA SINCRONA



LA POTENZA NELLE MACCHINE SINCRONE È TRADIZIONALMENTE ESPRESSA ATTRAVERSO L'ANGOLO DI CARICO δ'

Se si trascurano le perdite nel ferro e nei conduttori la Potenza elettrica coincide con quella meccanica ed è espressa da:

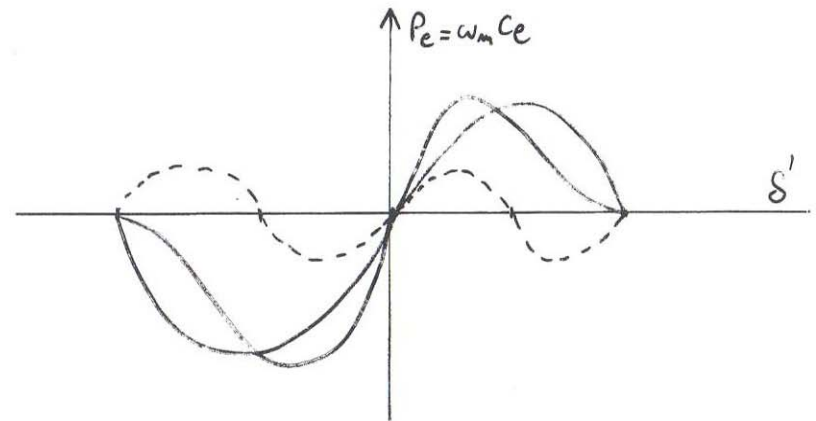
$$P_e = -P_m = 3 \frac{E V_A}{Z_s} \sin \delta' \quad \text{Potenza ATTIVA}$$

$$Q_e = 3 \frac{V_A^2}{Z_s} - 3 \frac{E V_A}{Z_s} \cos \delta' \quad \text{POTENZA REATTIVA}$$

MACCHINA ISOTROPA CON
IMPEDENZA $Z_s \equiv X_s$

$$P_e = 3 \left[\frac{V_A E}{X_D} \sin \delta' + \frac{V_A^2}{2X_D X_Q} (X_D - X_Q) \sin 2\delta' \right]$$

$$C_e = \frac{3}{\omega_m} \left[\frac{V_A E}{X_D} \sin \delta' + \frac{V_A^2}{2X_D X_Q} (X_D - X_Q) \sin 2\delta' \right]$$

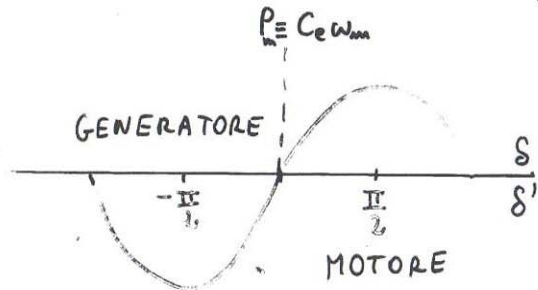


ESPRESSIONE DELLA COPPIA:

$$C_e = \frac{P_m}{\omega_m} = 3 \frac{E V_A}{\omega_m Z_s} \sin \delta' \quad \leftarrow \text{con l'ANGOLO DI CARICO}$$

$$C_e = 3 \frac{\omega_r M_{de} I_e I_q}{\omega_m \sqrt{3}} = 3 \frac{\omega_r M_{de} I_e I_A \sin \delta}{\sqrt{3} \omega_m}$$

CON L'ANGOLO DI COPPIA



- A REGIME LA MACCHINA FUNZIONA CON UN ANGOLO COSTANTE, IN FUNZIONE DEL CARICO RESISTENTE

δ' FRA \bar{V} ED \bar{E}

$\delta' = \frac{\pi}{2}$ è il limite minimo statico -

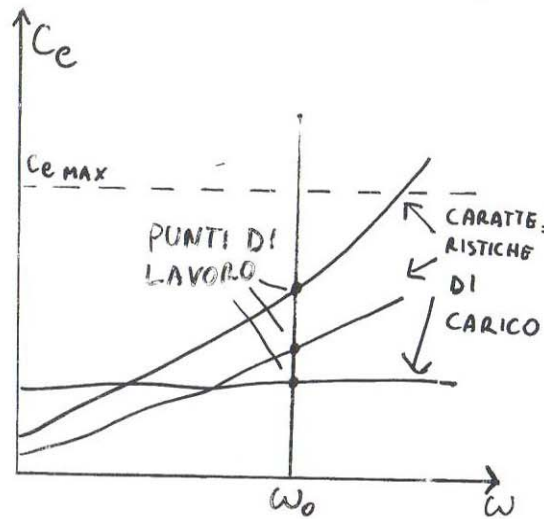
PER FUNZIONAMENTO PROSSIMO A $\delta' = \frac{\pi}{2}$ UNA PICCOLA VARIAZIONE DEL CARICO PUÒ PORTARE LA MACCHINA FUORI SINCRONISMO. (PERDITA DEL PASSO)

MS-30

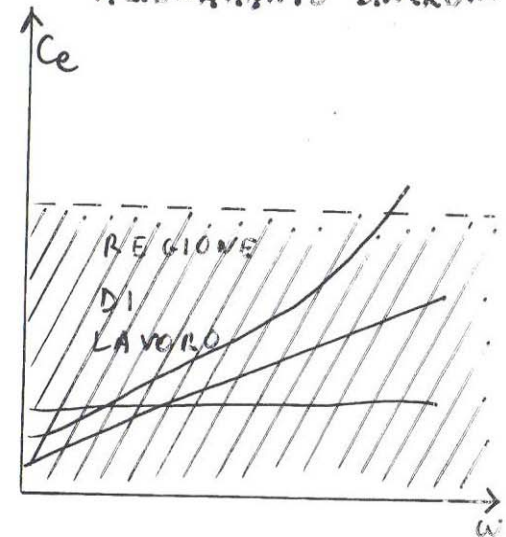
- LA POTENZA NOMINALE DI UNA MACCHINA SINCRONA VIENE EROGATA TIPICAMENTE CON $\delta' = 30-40^\circ$
- BRUSCHE VARIAZIONI DEL CARICO DETERMINANO OSCILLAZIONI DEL ROTORE INTORNO AL NUOVO VALORE DI REGIME DELL'ANGOLO δ' .
- LE OSCILLAZIONI POSSONO ESSERE SMORZATE DAGLI AVVOLGIMENTI SMORZATORI

CARATTERISTICA MECCANICA

ESPRESSIONE DELLA COPPIA IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ
MOTORE SINCRONO AZIONAMENTO SINCRONO



ω_0 velocità di sincronismo



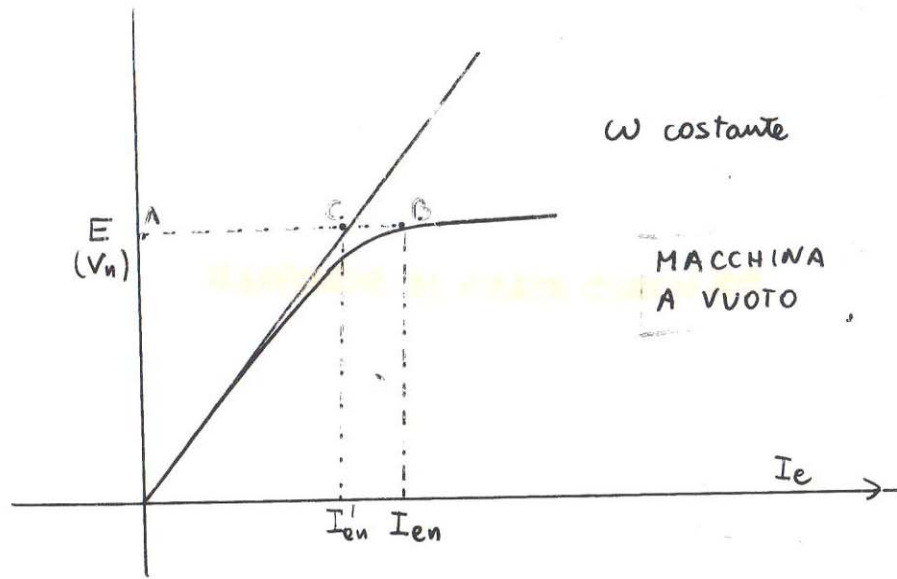
MS-30

SATURAZIONE NELLA MACCHINA SINCRONA

CARATTERISTICA A VUOTO O DI MAGNETIZZAZIONE

Definire il legame tra tensione a vuoto (f.e.m indotta) e corrente di eccitazione, a velocità ω costante.

$$E = \frac{\omega M_{de} I_e}{\sqrt{3}} = \frac{\omega M_{re} I_e}{\sqrt{2}}$$



I_{en} corrente di eccitazione nominale

EFFETTI DELLA SATURAZIONE

- Diminuzione del flusso utile risultante
- Distribuzione asimmetrica del flusso rispetto all'asse polare geometrico

$$\frac{AB}{AC} = \text{RAPPORTO DI SATURAZIONE}$$

(VALORI TIPICI 1.2, ÷ 1.3)

Serve una corrente di eccitazione 20-30% superiore per avere la tensione nominale, rispetto al caso lineare

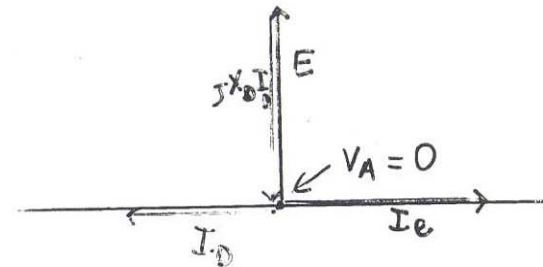
CARATTERISTICA DI CORTO CIRCUITO

Definire la corrente nella macchina in funzione di I_e in condizioni di cortocircuito - a ω costante

$$\bar{V}_A = 0 \quad \bar{V}_D = \bar{V}_Q = 0$$

$$(R \rightarrow 0) \quad X_Q I_Q = 0 \quad \rightarrow \quad I_Q = 0$$

$$X_D I_D + E = 0 \quad \rightarrow \quad X_D I_D = -E = -\frac{\omega M_{re} I_e}{\sqrt{2}}$$



La corrente di cortocircuito è I_D , ha effetto smagnetizzante - il flusso risultante della macchina tende a 0 - Comportamento lineare della corrente