



52101416

Agosto de 2000 ,

1/1

EXÁMEN DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS CONVERSIÓN ELECTROMECÁNICA.

PROBLEMA 1.

Se dispone de varios motores idénticos de inducción trifásico de 380V nominales, 60 Hz, 4 polos, estator en estrella y rotor de jaula.

Se dispone además de tres transformadores monofásicos, cuyas características nominales son 10 kVA, 360/220 V, 50 Hz

Se quieren utilizar los motores, pero se dispone de una red trifásica de 1kV, 50 Hz entre líneas, supuesta de potencia infinita.

- A) Indicar bajo qué conexiones de los transformadores es posible alimentar un motor a partir de la red primaria indicada, admitiendo que se tolera variaciones en la tensión aplicada al motor de hasta +/- 10% en régimen. Calcular la tensión de salida, en vacío, del transformador. Se observa que no se requiere aislamiento galvánico de los motores respecto a la red.
- B) Determinar la máxima potencia útil en régimen permanente que el motor puede entregar conectado a la red, si se mantienen inalterados los medios de enfriamiento del motor y se admite que la temperatura ambiente no superará los 40 grados centígrados.
- C) Calcular la potencia nominal que el transformador configurado como en A), puede entregar, sin que se excedan sus corrientes nominales.
- D) Estime, utilizando aproximaciones analíticas razonables, cuantos motores funcionando aproximadamente como en B) podría conectar simultáneamente sin sobrecargar el transformador o sobrepasar el límite de tensión admisible.

Datos.: Motor

Ensayos a 50Hz. Vacío: 380V, 2.3 A, potencia activa despreciable.

C.C. 100V, 6,5 A , 600

Resistencia de fase estator = 2,5 Ohm

Pérdidas mecánicas despreciables.

Máxima temperatura absoluta admisible 90 grados centígrados.

A tensión nominal y a 1453 rpm tuvo un calentamiento de 40 oC para una T_{amb} de 50 oC.

Transformador

Ensayos de los transformadores monofásicos a 50 Hz

Vacio: del lado de 360V: 100V, corriente despreciable

C.C: del lado de 220V: 60V, 30 A, 600W

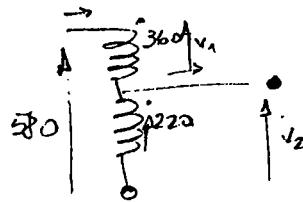
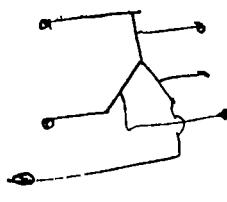
Notas:

Se admite que en cualquier condición el transformador trabaja en la zona lineal del hierro.

Se recuerda que el nivel básico de aislación en baja tensión es de 1kV.

Se admite que el modelo térmico del motor es de la forma $Q= k \cdot \Delta T$ con k constante para todo T.

a) Conecto. como auto transformador en estrella.



580 V de fase. $\Rightarrow \sqrt{3} \cdot 580 = 1004$

$$\frac{1000}{\sqrt{3}} = V_1 + V_2 \quad \therefore \frac{V_1}{360} = \frac{V_2}{220} \quad \Rightarrow V_2 = \frac{360}{220} V_1$$

$$\Rightarrow V_2 = 349.3 \approx 380 \text{ V}$$

b) Las únicas pérdidas que \exists son las \rightarrow calcule la corriente que genera cada

$$\text{pérdida} \therefore \delta T = 90 - 40 = 50^{\circ}\text{C}.$$

$$\text{Círculo equivalente: Vacio } \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 2.3} = 95.3 \text{ j} 0^{\circ}; \text{ c/c } \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6.5} \left(\text{Atmós} \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 65.100} \right) = 4.74 + j 7.52$$

$$\begin{array}{c} 380 \\ \text{---} \\ 7.52 \\ 2.5 \end{array} \quad \begin{array}{c} 95 \\ \text{---} \\ 2.24 \\ g \end{array} ; 1453 \text{ rpm} \Rightarrow g = 0.0311 \quad \Rightarrow I = \frac{380/\sqrt{3}}{7.5 + 2.24 + j 7.52} = 2.93 \text{ A} \quad \Rightarrow Q = P_d = k \cdot 40$$

$$\text{Perd} = 2.93^2 \times 3 (2.5 + 2.24) = 122.$$

$$\text{Las nuevas fases } 50 \times 3 = 150 \Rightarrow I_{2a} = \sqrt{\frac{150}{3 \cdot 4.74}} = 3.24 \text{ A}.$$

$$\text{Entonces } g: \frac{380/\sqrt{3}}{\sqrt{(2.5 + 2.24)^2 + 7.52^2}} = 3.24 \Rightarrow g \approx 0.0346 \Rightarrow P_N = 2.24 \left(\frac{1 - 0.0346}{0.0346} \right) \cdot 3.24^2 \cdot 3$$

$$\Rightarrow P_N = 1970 \text{ W}$$

c) Transf. original.

$$P_N = 10 \cdot 10^3 = \sqrt{3} \cdot 360 \cdot I \Rightarrow I = 16$$

$$\Rightarrow P_N = \sqrt{3} \cdot 1000 \cdot I = 24.778 \quad \Rightarrow P_N \approx 27.8 \text{ kVA}$$

$$\text{d) Los motores e. b) absorben } 1970 \text{ W}, Q = \frac{(380/\sqrt{3})^2}{95} \cdot 3 + 3 \cdot 7.52 \cdot 3.24^2 \approx 1750$$

$$\text{Por tanto, } \text{aprox. } S = \sqrt{1970^2 + 1750^2} \approx 2635 \text{ kVA.}$$

Para el lado de la potencia [derían 10].

Por el lado de la transformación

$$Z_{CC_{360}} = \left(\frac{220}{360} \right)^2 \frac{60}{30} \left(\text{Atmós} \frac{600}{60+30} \right) = 0.75 \left(\text{Atmós} \frac{60}{60+30} \right)$$

$$\text{La corriente de cada motor es aprox en módulo } \frac{2635}{\sqrt{3} \cdot 380} \approx 4$$

Tolerar 10% en el lado de 220 \Rightarrow Para tener 200V en la fase del secundario

debo tener una caída en la Z_{CC} , asumiendo el peor caso que ΔV sea lineal

$$\text{de: } 200 = \frac{1000/\sqrt{3} - \Delta V}{\frac{360}{220} + 1} \Rightarrow \Delta V \approx 50 \text{ V} \quad \text{Pero } I_{N \text{ max}} = 16 \text{ que provoca una}$$

caída de $16 \cdot 0.75 \approx 10 \text{ V} < 50 \text{ V.} \Rightarrow$ La restricción es la potencia.

INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA

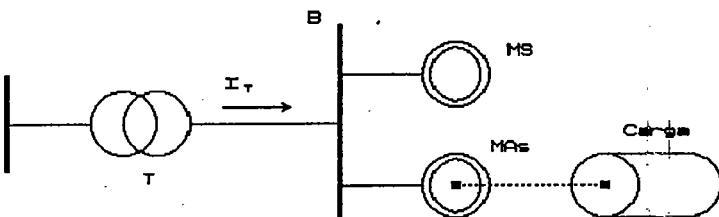
Examen de: CONVERSION ELECTROMECANICA (Opc. Plan 1991)
 MAQUINAS ELECTRICAS I (Planes 1991 y 1987)
 MAQUINAS ELECTRICAS (Plan 1974)

1 de Agosto 2000.

Problema No. 2

Se tiene una máquina sincrónica MS, que funciona sólo como compensador sincrónico, conectada a una barra B desde la que se alimenta también un motor de inducción MAs. La barra B está conectada a una red de potencia infinita, mediante un transformador T

supuesto ideal. Por lo tanto se admitirá que para cualquier régimen la barra B mantiene su tensión constante en el valor nominal de 6 kV. El esquema unifilar de esa instalación trifásica se da en la figura adjunta.



Datos:

MS Nominales: $U_n = 6 \text{ kV}$ (entre fases), $I_n = 15 \text{ A}$, 50 Hz, $\cos \varphi_n = 0.8$, estator en estrella.

Ensayo en vacío a 50 Hz:

i_{exc} (A)	5	10	15	20	25	30		39
U_0 (entre fases) (kV)	2.20	4.40	6.00	6.88	7.49	7.82		8.25

Ensayo en corto circuito: $i_{\text{exc}} = 10 \text{ A}$, $I_{cc} = 12 \text{ A}$.

Ensayo en devatado bajo tensión nominal: $i_{\text{exc}} = 32 \text{ A}$, $I_{dev} = 15 \text{ A}$.

La fuente de continua de la excitación no puede entregar más de 39 A.

La corriente de estator en ningún caso puede exceder de $2.4 \cdot I_n$.

MAs Motor de valores nominales: 160 HP, 6 kV, 50 Hz, $\cos \varphi = 0.85$, rendimiento nominal = 88.8%, rotor de jaula, estator en montaje triángulo.

En un arranque bajo tensión nominal y con el estator conectado en triángulo, consume una corriente igual a 5 veces la nominal, con factor de potencia 0.2.

Se pide:

1) Determinar la corriente de excitación de MS tal que minimice el valor eficaz de la corriente I_T en el secundario del transformador T, y calcular dicho valor $I_{T\min}$, cuando MAs trabaja cargado en su régimen nominal.

2) Para limitar la corriente de arranque de MAs, se lo conecta inicialmente en estrella y se lo pasa a triángulo al final del arranque. Con la corriente de excitación de MS fija en el valor determinado en 1), calcular la corriente I_T en el momento inicial del arranque de MAs.

3) Determinar la excitación de MS a los efectos de tener el mínimo valor posible de I_T en el instante inicial de un arranque de MAs como en 2). Calcular dicho valor de I_T mínimo.

Notas: A los efectos de la resolución, se despreciará la resistencia de estator de MS, y se admitirá la linearización por tramos de la curva de vacío.

Problema N°1 . Solución propuesta

1) Enc tal que I_T sea mínima

MAs régimen nominal: I_{Mn} , $\cos \varphi_{Mn}$

\vec{I}_c corriente (puroamente reactiva) de MS

$$(1) \boxed{\vec{I}_T + \vec{I}_c = \vec{I}_M}$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} (2) \quad Re(\vec{I}_T) + 0 = Re(\vec{I}_M) \\ (3) \quad Im(\vec{I}_T) + I_c = Im(\vec{I}_M) \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} (2)' \quad Re(\vec{I}_T) = I_{Mn} \cos \varphi_{Mn} \\ (3)' \quad Im(\vec{I}_T) = I_{Mn} \sin \varphi_{Mn} - I_c \end{array} \right\} \text{para el funcionamiento de MAs en régimen con carga nominal.}$$

$$\Rightarrow (4) \quad I_T^2 = I_{Mn}^2 \cos^2 \varphi_{Mn} + (I_{Mn} \sin \varphi_{Mn} - I_c)^2 \\ = I_{Mn}^2 + I_c^2 - 2 I_{Mn} I_c \sin \varphi_{Mn}$$

$$\Rightarrow \vec{I}_T = \sqrt{I_{Mn}^2 + I_c^2 - 2 I_{Mn} I_c \sin \varphi_{Mn}}$$

$$\text{o también } \boxed{\vec{I}_T = \sqrt{I_{Mn}^2 \cos^2 \varphi_{Mn} + (I_{Mn} \sin \varphi_{Mn} - I_c)^2}} \Rightarrow I_{T\min} \Leftrightarrow \boxed{\frac{|I_c|}{I_c} = I_{Mn} \sin \varphi_{Mn}}$$

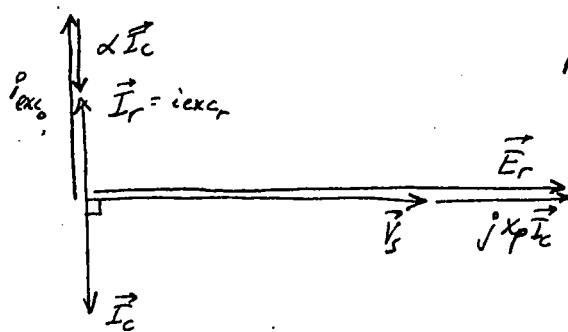
Motor MAs:

$$P_n = 160 \text{ HP}, V_n = 6 \text{ kV}, \cos \varphi_n = 0,85, \eta = 88,8\%$$

$$I_n = \eta (\sqrt{3} V_n I_{Mn} \cos \varphi_{Mn}) \Rightarrow I_{Mn} = \frac{160 \cdot 0,745 \text{ kW}}{0,888 \cdot \sqrt{3} \cdot 6 \text{ kV} \cdot 0,85} = 15,20 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_{Mn} = 0,85 \Rightarrow \sin \varphi_{Mn} = 0,527$$

$$\Rightarrow \boxed{I_c = 15,2 \text{ A} \cdot 0,527 = 8,0 \text{ A}}$$



MS debe trabajar en compensador síncrono sobre-excitado para suministrar la reactiva consumida por MAs.

Además se tiene

$$\begin{aligned} I_{T\min} &= I_{Mn} \cos \varphi_n \\ &= 15,20 \times 0,85 \end{aligned}$$

$$\boxed{I_{T\min} = 12,92 \text{ A}}$$

Determinación de la corriente de excitación de MS:

De los ensayos en vacío, dada la γ CC (Método de Pötsch) \Rightarrow
(ver solución práctica)

$$\begin{cases} \alpha = 0,66 \\ X_p = 44,26 \text{ m} \end{cases}$$

5/7

$$V_s = \frac{6000 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 3464,1 \text{ V}$$

$$X_p \cdot I_c = 44,26 \cdot 8 = 354,1 \text{ V}$$

$$E_r = V_s + X_p I_c = 3818,2 \text{ V}$$

$$\sqrt{3} E_r = 6613,3 \text{ V} \Rightarrow \boxed{i_{exc_r} = 18,5 \text{ A}} \quad (\text{corriente de vacío})$$

$$i_{exc_0} = i_{exc_r} + \alpha I_c = 18,5 + 0,66 \cdot 8 = 23,78 \approx 23,8 \text{ A}$$

$$\boxed{i_{exc_0} = 23,8 \text{ A.}}$$

2) Se tiene: $i_{exc} = 23,8 \text{ A}$ fijo, $V_s = \text{fijo} \Rightarrow I_c = 8 \text{ A}$ fijo.

$$I_{MD_\Delta} \text{ (arreglo en } \Delta) = 5 \cdot I_n = 5 \times 15,2 = 76 \text{ A}$$

$$\boxed{I_{MD_2} \text{ (arreglo en } \perp) = \frac{1}{3} I_{MD_\Delta} = \frac{76}{3} = 25,33 \text{ A}}$$

$$\cos \varphi_{MD_\Delta} = \cos \varphi_{MD_2} = 0,2 \Rightarrow \sin \varphi_{MD_2} = 0,9798$$

$$I_{TD_2} = \sqrt{I_{MD_2}^2 + I_c^2 - 2 I_{MD_2} I_c \sin \varphi_{MD_2}} =$$

$$\boxed{I_{TD_2} = \sqrt{25,33^2 + 8^2 - 2 \times 25,33 \times 8 \times 0,9798} = 17,56 \text{ A.}}$$

3) Mínimo I_T para el instante inicial de arribo:

desearía que $\boxed{I_c = I_{MD_2} \sin \varphi_{MD_2} = 25,33 \cdot 0,9798 = 24,82 \text{ A}} < 36 \text{ A}$

$\frac{2,4 \cdot I_n}{\text{m.s.}}$

En principio sería posible suministrar $I_c \sin \varphi$ sin violar la 15A
restricción de la corriente estática de MS.

6) Pero es posible encontrar una corriente de excitación de MS que
haga el funcionamiento posible?

$$V_S = 3464,1 \text{ V}$$

$$X_P I_C = 44,26 \cdot 24,82 A = 1098,5 \text{ V}$$

$$E_r = V_S + X_P I_C = 4562,6 \text{ V}$$

$$\sqrt{3} E_r = 7902,7 \text{ V} \Rightarrow \boxed{i_{exc,r} = 31,7 \text{ A}} \quad (\text{interpolando linealmente})$$

en la curva de vacío

$$\boxed{i_{exc_0} = i_{exc,r} + \alpha I_C = 31,7 + 0,66 \times 24,82 = 48,08 \text{ A} > 39 \text{ A} = i_{exc,max}}$$

No es posible obtener la corriente de excitación necesaria.

\Rightarrow Si toma $\boxed{i_{exc} = i_{exc,max} = 39 \text{ A}}$, pero no sabemos cuánto vale I_{Cmax} en este funcionamiento.

Se debe tener:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{exc_0} = i_{exc,r} + \alpha I_{Cmax} \\ E_r = V_S + X_P I_{Cmax} \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} E_r = E_r(i_{exc,r}) \leftarrow \text{curva de vacío linearizada por tramos.} \\ \Rightarrow E_r = A + B i_{exc,r} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow A + B(i_{exc_0} - \alpha I_{Cmax}) = V_S + X_P I_{Cmax}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{Cmax} = \frac{A + B i_{exc_0} - V_S}{X_P + B \alpha}}$$

pero A y B dependen del intervalo de $i_{exc,r}$, que a priori no es conocido.

Procedimiento probando por intervalos:

$$1) \boxed{30 \text{ A} < i_{exc,r} < 39 \text{ A}} \Rightarrow \sqrt{3} E_r - 7820 = \frac{8250 - 7820}{39 - 30} (i_{exc,r} - 30)$$

$$\Rightarrow \sqrt{3} E_r = \frac{6386,7}{\sqrt{3} A} + \frac{47,77}{\sqrt{3} B} i_{exc,r}$$

$$I_{Cmax} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{6386,7 + 47,77 \times 39 - 6000}{44,26 + \frac{47,77}{\sqrt{3}} \cdot 0,66} = 20,79 \text{ A}$$

$$\rightarrow i_{exc,r} = i_{exc_0} - \alpha I_{Cmax} = 39 - 0,66 \times 20,79 = 25,29 \text{ A}$$

fuera de $(30,35)$

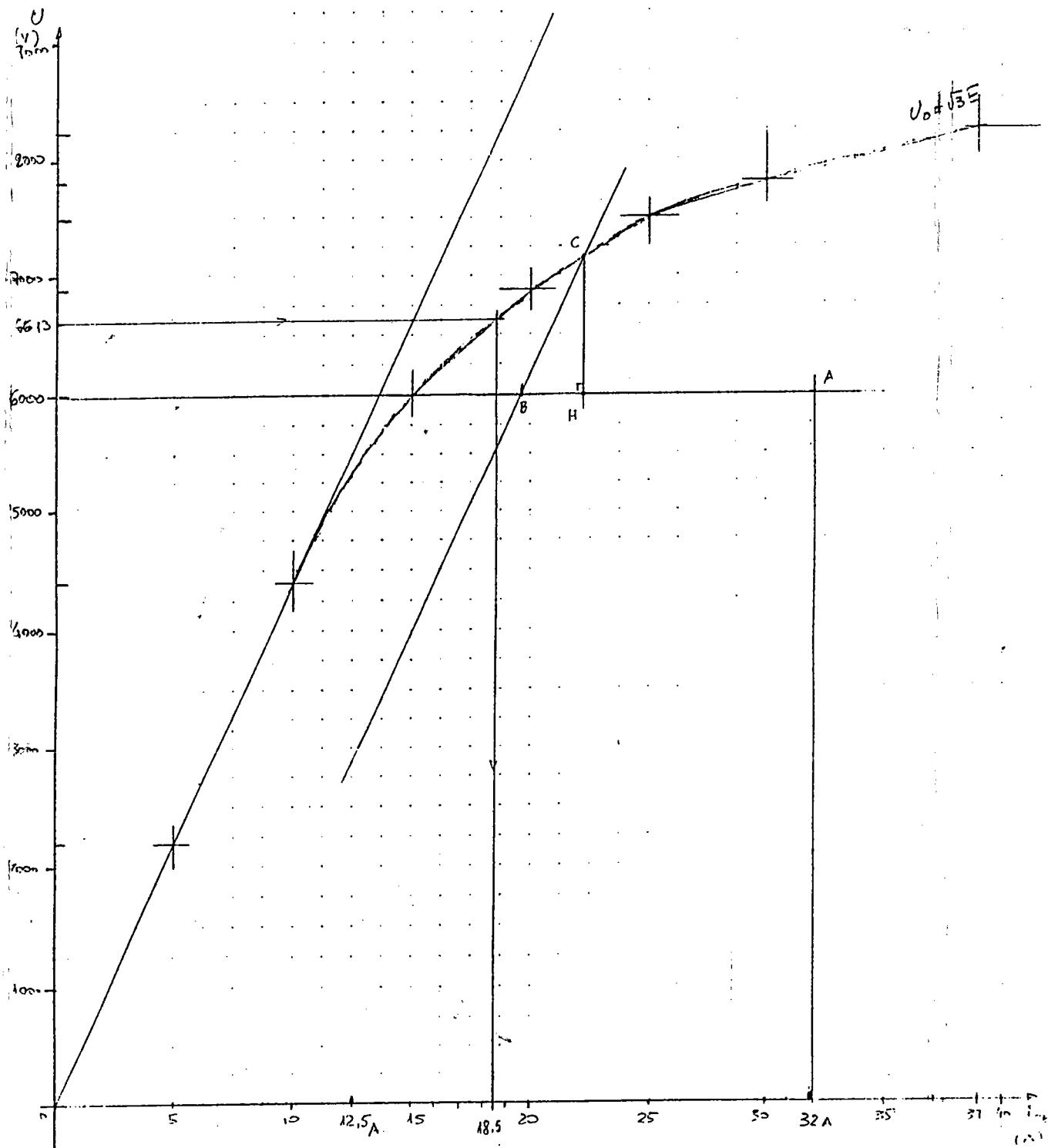
$$2) \boxed{25 \text{ A} < i_{exc,r} < 30 \text{ A}} \quad \sqrt{3} E_r - 7480 = \frac{7820 - 7480}{30 - 25} (i_{exc,r} - 25)$$

$$\sqrt{3} E_r = 5840 + 66 i_{exc,r} \Rightarrow I_{Cmax} = 20,08 \text{ A}$$

$$\Rightarrow i_{exc,r} = 39 - 0,66 \times 20,08 = 25,34 \text{ A}$$

$$\rightarrow \boxed{I_{Cmax} = 20,08 \text{ A}}$$

$$\boxed{I_{Tunel} = \sqrt{25,33^2 + 0,2^2 + (24,8 - 20,08)^2} = 6,92 \text{ A}}$$



$$\Delta H = \alpha I_{\text{sd}} = (31,5 \text{ mV}) = 9,8 \text{ A} \cdot \Omega \cdot 10 \text{ A}$$

$$CH = \sqrt{3} X_p I_{xy} = (23 \text{ mm}) = 1150 \text{ V}$$

$$I_{\text{end}} = 15 \text{ A} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \boxed{\alpha} = \frac{9,8 \text{ A}}{15 \text{ A}} = \boxed{0,653} \approx \boxed{\frac{10}{15}} = \boxed{0,667} \\ \boxed{x_p} = \frac{M50 / 1}{15 \cdot 15 \text{ A}} = \boxed{11,26 \text{ m}} \end{array} \right.$$