Cuaderno 4.º

Proyecto de un alternador

1899

1899.

M. Laugreo

Proyecto de un alternador trifásico, tipo Siemens, de potencia eléctrica útil de 60 Kilowatts, inducido de tambor devanado en estrella, fijo, que dé entre el centro y el extremo de cada brazo una diferencia de potencial de 2000 volts eficaces. Oscilación de 10 % entre circuito abierto y corto circuito. Excitación constante é independiente.

Datos.	Frecuencia	$f = 50$
	Número de polos	$p = 12$
	Potencia útil	$3 A V_{ef} I_{ef} = 60$ Kilowatts
	Factor de potencia	$A = \cos\varphi = 0,80$.
	Potencia en cada brazo	$A . V_{ef} . I_{ef} = 20$ Kwatts
	Velocidad periférica	$v = 20 \frac{mts}{}$ por 1''
	Densidad de corriente	$\delta = 4,5$ amp. por mm^2
	Inducción magnética	$\mathcal{B} = 5000$ C. G. S.
	Entre hierro	$h = 8 \, m/m$
	Valor de φ	$\varphi = 36° 55'$

Número de vueltas.

Habiendo 12 polos alternativamente Norte y Sur, el núm.º de campos del mismo sentido será $\frac{p}{2} = \frac{12}{2}$ en una vuelta, en N vueltas será $\frac{12N}{2}$ y cómo ésta frecuencia ha de ser igual á 50, igualando y despejando queda

$$\frac{12N}{2} = 50 \quad ,, \quad 12N = 100 \quad ,, \quad N = \frac{100}{12} = 8,33 \text{ vueltas por } 1''$$

multiplicando por 60 tendremos $N_1 = N \cdot 60 = 499,8$ vueltas por 1'

Diámetro exterior del inductor

Siendo D este diámetro, en una vuelta un punto de la circunferencia recorre un camino πD en 1'' recorrerá $N\pi D$, ésto ha de ser igual á la velocidad admitida luego:

$$\pi D N = v \text{, ósea, } 3,14 \cdot D \cdot 8,33 = 20 \text{. de donde } D = \frac{20}{3,14 \cdot 8,33} = \frac{20}{26,156} = 0^{mts},765$$

Diámetro interior del inducido

Siendo el entrehierro 8 $^m/_m$, dicho diámetro será igual al del inductor más el doble de dicho entrehierro, por lo tanto:

$$D_i = D + 2h = 0^m,765 + 0^m,016 = 0^{mts},781$$

Cálculo del inducido

Potencia en cada brazo

Según los datos es $\frac{1}{3}$ 60 K.wtt = 20 Kwtt = 20000 watts.

Intensidad eficaz

Según los datos $A\,V_{ef}\,I_{ef} = 20000$ ∴ de donde $I_{ef} = \frac{20000}{A\ V_{ef}}$ y sustituyendo valores: $I_{ef} = \frac{20000}{0,80 \cdot 2000} = \frac{20000}{1600} = \frac{200}{16} = 12,5$ amperes.

Sección del hilo y diámetro

Llamándola s_i tendremos $s_i = \frac{I_{ef}}{5} = \frac{12,5}{4,5} = 2,78\ mm^2$ y $s_i = \frac{\pi d_i^2}{4} = 2,78$ de donde el diámetro $d_i^2 = \frac{2,78 \cdot 4}{3,14} = \frac{11,12}{3,14} = 3,54\ mm^2$ y $d_i = 1,88\ \text{m/m}$. Cómo se le han de poner 2 ó 3 capas de aislante podemos tomar para diámetro total del hilo $d = 2,6\ \text{m/m}$

Flujos producido y aprovechado

Si los llamamos respectivamente N_1 y N, teniendo en cuenta que se ha de perder un 15 % por causa de las dispersiones, y si llamamos s la sección real de hierro que tiene el polo inductor tendremos:

$$N_1 = 1,15\,N = Bs = 5000\,s \quad \text{de donde} \quad N = \frac{5000\,s}{1,15}$$

En cuanto á la sección del inductor s es el área de un rectángulo cuyas dimensiones son: paralelamente al eje del alternador 50 c/m valor medio de las maquinas construidas sin perjuicio de variarlo si nos conduce á resultados exagerados, en cuánto á la otra dimension su pondremos que el espacio comprendido entre 2 polos consecutivos es igual al ancho de uno de éstos polos. éste será por lo tanto igual á 1/24 de la circunferencia cuyo diámetro conocemos, y es 0,m765, por lo tanto ésta dimensión será $\frac{0^m,765 \cdot 3,14}{24} = \frac{2,400}{24} = 0^m,10$

Sustituyendo valores tendremos:

$$N_1 = 5000 \cdot 50 \cdot 10 = 2'500'000 \quad y \quad N = \frac{2'500'000}{1,15} = 2'173'913$$

Número de hilos para un brazo

Aplicaremos la fórmula $E_y = K \cdot p \cdot n \cdot N \cdot \mathcal{N} \cdot 10^{-8}$ volts. en la cuál; con la oscilación de un 10% $E_y = 2000 + 0,10 \cdot 2000$ v. = 2200 volts., el coeficiente $K = 2,83$ según las tablas de Kapp en el caso adoptado, $p = 12$, $N = 8.33$, $\mathcal{N} = 2\,173\,913$, sustituyendo resulta:

$$2200 = 2{,}83 \cdot 12 \cdot 8{,}33 \cdot 2\,173\,913 \cdot 10^{-8} \cdot n \quad \text{ó sea}$$

$2200 = 6{,}14971292\ n$. de donde $n = \frac{2200}{6{,}14} = 358{,}3$ hilos por exceso.

Esto es para cada fase, para un carrete. cómo hay 6 carretes por fase será $\frac{358{,}3}{6} = 59{,}72$

Cómo cada carrete comprende 2 ranuras, el número de hilos por ranura será $\frac{59{,}72}{2} = 29{,}86$ pondremos 30. ó sean, cómo las ranuras son rectangulares 5 en el sentido de la circumferencia y $\frac{30}{5} = 6$ en sentido radiál.

Las dimensiones de las ranuras serán, teniendo en cuenta que el diámetro totál del hilo es 2,6 m/m $5 \cdot 2{,}6 = 13$ m/m y $6 \cdot 2{,}6 = 15{,}6$ m/m. Estas ranuras se hacen con los bordes interiores redondeados y abiertos, y distantes de la superficie interior 1 m/m. cómo indica la (figura 1ª); en ésta tambien se indican cómo van alineados los carretes entre 2 ranuras. La (figura 2ª) es un esquema del devanado en estrella.

Longitud del hilo por fase

Suponiendo que el aislante interpuesto entre las chapas de palastro que forman nuestra máquina ocupe un 25%, siendo 50 c/m el espesor del hierro, el total será $50 + 50 \times 0{,}25 = 50 + 12{,}5 = 62{,}5$ c/m. Ésta será la longitud de las ranuras.

La longitud del hilo será por cada carrete igual á la longitud de la ranura multiplicado por el número de hilos por 2 ranuras, y para los 6 carretes ésto multiplicado por 6, ó sea $30 \times 62{,}5 \times 12 = 1875 \times 12 = \underline{22500}$ c/m.

Éste será el hilo útil, pero además en cada carrete hay dos trozos inútiles á cada lado, y entre 2 carretes hay un hilo que los une puesto que están en serie

La distancia entre los centros de 2 ranuras será teniendo en cuenta que distan 1 m/m del borde interior y que la mitad de su altura es 0,78 m/m „ $78,1 + 1,56 + 0,2 = 79,86$ el diámetro, y la distancia buscada $\frac{79,86 \times \pi}{12} = 20,89$ m/m

Por lo tanto las longitudes buscadas serán
$30 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 20,89 = \underline{7520,4}$ m/m y $6 \cdot 20,89 = \underline{125,34}$ m/m

La longitud total del hilo será por lo tanto.
$l = 22500 + 7520,4 + 125,34 = 30145,74$ m/m

Resistencia del hilo

La resistencia será $R = \frac{l}{s} \rho = \frac{30145,74}{0,0278} \cdot 1,65 =$
$= 1084379 \times 1,65 = 1789225,35$ microhoms $= 1,789$ ohms.

Caida de potencial

Sera $R\, I_{ef} = 1,789^{oh} \cdot 12,5^{amp} = 22,3625$ volts.

Ésta caida de potencial debe ser menor que la hallada por el método de Behn-Eschenburg (Bhen-Schenbourg) puésto que en ésta vá incluida la pérdida debida á las corrientes Foucault. Para comprobarlo hacemos la figura (13ª) en que 1 c/m representa 100 volts.

Para ello con un radio de 2200 volts = E_{ef} trazo una circumferencia, el radio horizontal $\underline{oa}$ representa la corriente I., trazo $\underline{oh}$ que forme con ésta el angulo φ y de longitud 2000 volts, desde el punto $\underline{h}$ trazo su vertical $\underline{hv}$ y la recta $\underline{hK}$ paralela á $\underline{h_1 K_1}$ que forma con la horizontal el ángulo α tal que $tg\,\alpha = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{L}{r} = 10$ de donde $\alpha = 84^\circ 15' 20''$ valór admitido y desde $\underline{K}$ trazo el radio $\underline{oK}$ que representa E_{ef} y la horizontal $\underline{Kv}$ que representa la caida de potencial debida á la resistencia óhmica más la debida á las corrientes Foucault. Cómo vemos su magnitud es de 3 c/m ó sea 30 volts, valór mayor del obtenido en teriormente, luego aquél es aceptable así como las dimensiones que hemos tomado arbitrariamente.

Pérdida por efecto Joule

Será $RI^2 = R.I \cdot I = 22,3625 \cdot 12,5 = 279,53125$ watts

Pérdida debida á la histéresis

Aplicando la fórmula de Steinmetz (Gerard 572)

$$P_h = V \cdot W_h \qquad y \qquad W_h = 10^{-7} \eta (pN) \mathcal{B}^{1,6}$$

tomando para η el valor 0.0033 sustituyendo resulta:

$$W_h = 10^{-7} \cdot 0,0033 \cdot 6 \cdot 8,33 \cdot 5000^{1,6} = 0,0000000164934 \times 5000^{1,6} =$$

$$= 0,0000000164934 \cdot 828500 = 0,013661965.$$

El volúmen de hierro será; dando á la armadura un espesor de 10 c/m

$$V = 50^{cm} \cdot \frac{\pi (88{,}1^2 - 78{,}1^2)}{4} = \frac{50 \cdot 3{,}14 \cdot 1662}{4} = \frac{260934}{4} = 65233{,}5^{\,cm^3}$$

Por lo tanto

$$P_h = 65233{,}5 \cdot 0{,}0137 = 893{,}7 \text{ watts.}$$

Pérdidas por corrientes Foucault.

La fórmula de Steinmetz es:

$$P_f = V \cdot W_f = 65233{,}5\ W_f \quad | \quad y$$

$W_f = 10^{-11} \cdot 1{,}645 \cdot d^2 (pN)^2 \cdot B^2$ en que **d** es el espesor de los palastros que forman la armadura, suponiendo dicho espesor igual á $0{,}5\ ^m/_m$ y sustituyendo resulta:

$$W_f = 10^{-11} \cdot 1{,}645 \cdot 0{,}0025 \cdot 2497{,}0004 \cdot 25'000'000. \qquad y$$

$$P_f = 65233{,}5 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}645 \cdot 0{,}0025 \cdot 2497{,}0004 \cdot 25'000'000 = 167{,}65 \text{ wts}$$

Pérdida totál

La suma de todas las pérdidas halladas es

$$279{,}53125 + 893{,}7 + 167{,}65 = 1340{,}88125 \text{ watts}$$

Pero además se pierde por corrientes Foucault en el hilo, en las piezas de consolidacion etc. y la pérdida es mucho mayor, pudiendo calcularse por la fórmula $I^2R + 4 \cdot W_h V$ (Gerard 572) sustituyendo valores resulta:

$$P = 279{,}5 + 4 \cdot 893{,}7 = 279{,}5 + 3574{,}8 = 3854{,}3 \text{ watts.}$$

Cálculo del inductor

Amperes-vueltas á devanar

Empleando la fórmula de Hopkinson

$$4\pi\, mi\, 10^{-1} = N(R_a + R_e) + \nu N(R_i + R_p + R_c)$$

en la cuál mi son los amperes vueltas; $N = 2179913$;

R_a resistencia magnética de la armadura del inducido

R_e id id del entre-hierro

R_i id id del núcleo del inductor

R_p id id de las piezas polares

R_c id id de la culata del inductor

$\nu N = N_1 = 2500000$

Substituyendo valores resulta:

$$12,57 \cdot ni \cdot 10^{-1} = 2173913 \, (R_a + R_e) +$$
$$+ 2500000 \, (R_i + R_p + R_c) \quad [1]$$

Las diversas resistencias tienen por valores

$$R_a = \frac{l_a}{\mu_a s_a} \;,\; R_e = \frac{l_e}{s_e} \;,\; R_i = \frac{l_i}{\mu_i s_i} \;,\; R_p = \frac{l_p}{\mu_p s_p} \;,\; R_c = \frac{l_c}{\mu_c s_c} \quad [2]$$

y las permeabilidades μ corresponden á las inducciones:

$$B_a = \frac{N_a}{s_a} \;,\; B_p = \frac{N_p}{s_p} \;,\; B_i = \frac{N_i}{s_i} \;,\; B_c = \frac{N_c}{s_c} \quad [3]$$

en que $N_a = \underline{N}$ y $N_p = N_i = N_c = \underline{N_1}$

Para poderlas calcular haremos las siguientes hipótesis conformes con los tipos corrientes: espesor de las expansiones polares $5 \, \%_m$; ancho de éstas, el del núcleo del inductor $+ 15 \, \%_m$ á cada lado; longitud radial del núcleo $16 \, \%_m$; espesor de la culata en el sentido radial 12 $^c/_m$; todo ello indicado en la fig.ª (4.ª) así como el recorrido medio de las líneas de flujo.

Las diferentes secciones tendrán por valores;

$s_a = 10 \cdot 50 = 500\ ^c/_m$ „ $s_p = 50 \cdot (10 + 2 \cdot 1{,}5) = 50 \cdot 13 = 650\ ^c/_m$ „

$s_c = 50 \cdot 12 = 600\ ^c/_m$ „ $s_i = 10 \cdot 50 = 500\ ^c/_m$.

y sustituyendo estos valores en las fórmulas (3) queda:

$$B_a = \frac{2173913}{500} = 4347{,}82 \text{ „ } B_p = \frac{2500000}{650} = 3846$$

$$B_i = \frac{2500000}{500} = 5000 \text{ „ } B_e = \frac{2500000}{600} = 4166.$$

y hallando en la tabla (Gerard - 67) los valores de μ, directamente los que en ella se encuentran, é interpolando para los demás, se encuentra:

para $\mu_a = 1471$ „ $\mu_p = 1363$ „ $\mu_i = 1600$ „ y $\mu_c = 1423$

por lo tanto se tendrá:

$$M_a S_a = 1471 \cdot 500 = 735500$$

$$M_p S_p = 1363 \cdot 650 = 885950$$

$$M_i S_i = 1600 \cdot 500 = 800000$$

$$M_c S_c = 1433 \cdot 600 = 859800$$

En cuánto á S_e según Hopkinson es igual á la longitud de las piezas polarasep, en sentido normal al eje, más 0,8 del espesor del entrehierro, ó sea,

$$S_e = (13 + 1,28)\, 50 = 14,28 \cdot 50 = 714 \text{ cm}^2$$

En cuánto á los valores de l serán (fig.ª 4.ª)

$$l_e = 2h = 1,6 \text{ c/m} \quad ,, \quad l_a = a + 2b = \frac{\pi(781+10)}{12} + 2b = \frac{276,8}{12} + 10 =$$
$$= 23,06 + 10 = 33,06 \text{ c/m} \quad ,, \quad l_p = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ c/m} \quad ,, \quad l_i = 2 \cdot 16 = 32 \text{ c/m} \quad ,,$$
$$l_c = d + 2c = \frac{\pi \cdot 31,5}{12} + 12 = \frac{98,76}{12} + 12 = 8,24 + 12 = 20,24 \text{ c/m}$$

Y sustituyendo valores en las fórmulas (2)

$$R_a = \frac{33,06}{735500} = 0,000044 \quad ,, \quad R_e = \frac{1,6}{714} = 0,0022 \quad ,,$$

$R_i = \frac{32}{800000} = 0{,}00004$,, $R_p = \frac{1}{885950} = 0{,}0000011$,, $R_e = \frac{20{,}24}{859800} = 0{,}000023$

Y sustituyendo en la fórmula [1]

$12{,}57 \cdot mi \cdot 10^{-1} = 2173913 \cdot 0{,}002244 + 2500000 \cdot 0{,}0000641 =$
$= 4878{,}260772 + 160{,}25 = 5038{,}510772$,, de donde
$1{,}257 \cdot mi = 5038{,}510772$ que se tomó por equivocación $5057{,}260772$ y en esta hipótesis se dedujo,

$$mi = \frac{5057{,}260772}{1{,}257} = 4023{,}28.$$

Número de vueltas

Estando los inductores devanados en série el número de amperes-vueltas de cada uno de ellos será:

$$\frac{mi}{12} = \frac{4023{,}28}{12} = 335{,}273$$

Para calcular las vueltas necesitamos fijar un dato, por ejemplo, el diámetro del hilo, supon

gamos sea éste de 3 $^m/_m$ su sección será: $\frac{\pi \cdot 9}{4} =$
$= 7,0686\ mm^2$

Con dos envolventes aislantes de 1 $^m/_m$ de grueso tendrá un diámetro total de 5 $^m/_m$.

La altura del núcleo es 16 $^c/_m$, en ella caben $\frac{16}{0,5} = 32$ vueltas por capa. El grueso de esta capa es 0,5 $^c/_m$ y como las expansiones polares tienen un exceso de 1,5 $^c/_m$ sobre el núcleo caben 3 capas. En total habrá $3 \times 32 = 96$ vueltas.

Intensidad y densidad de la corriente

La intensidad será por lo tanto

$$i = \frac{ni}{n} = \frac{335,270}{96} = 3,49 \text{ amperes.}$$

Y la densidad será

$$\delta_1 = \frac{3,49}{7,0686} = 0,49 \text{ amp. por } mm^2$$ lo que es ad.

visible.

Longitud del hilo

Hay 12 carretes, con 3 capas cada uno, 32 espiras cada capa, y estas espiras son rectángulos, y el de la espira media tiene por lados 62,5 + 1,5 y 10 + 1,5 por lo tanto la longitud será: [fig.ª 5ª]

$$L_i = 12 \cdot 32 \cdot 3 \times 2 [(62{,}5 + 1{,}5) + (10 + 1{,}5)] = 12 \cdot 32 \cdot 3 \cdot 151 = 173952 \ \%_m$$

Resistencia del hilo

Será $R_i = \frac{L_i}{S_i} \rho = \frac{173952^{cm}}{0{,}070686^{cm^2}} \cdot 1{,}65$ microhm-centímetro =

$= 2460911 \cdot 1{,}65 = 4060503{,}15$ microhms $= 4{,}06050315$ ohms

pero como además hay enlaces de uno á otro carrete podemos tomar $R_i = 4{,}5$ ohms

Pérdida por efecto Joule

Será: $P_1' = R_1 I_1^2 = 4,5 \cdot 12,1801 = 54,81045$ watts.

Diferencia de potencial

Haciendo la hipótesis de que la pérdida no pase de un tanto por ciento conveniente, que puede ser muy bien 7% se deducirá e de la ecuación:

$$\frac{54,81}{e \cdot 3,49} = 0,07 \text{ de donde } e = \frac{\frac{54,81}{3,49}}{0,07} = \frac{15,7}{0,07} = 224,3 \text{ volts.}$$

Superficie de enfriamiento

Será: $S_e = 16 \cdot 2(64+13) = 16 \cdot 2 \cdot 77 = 2464 \text{ cm}^2$

Elevación de temperatura sobre la del ambiente

Como el espesor no llega al límite (8 cm) se aplica ción de la fórmula de Esson tendremos:

$$t^{\circ} = \frac{355 \cdot w}{2464} = \frac{355 \cdot \frac{54,81}{12}}{2464} = \frac{355 \cdot 4,56}{2464} = \frac{1618,8}{2464} = 0,656^{\circ}\,C.$$

Trazado de las curvas de magnetismo.

La curva que representa el flujo total en el inducido en función de la fuerza magneto motriz puede trazarse directamente por medio de la ecuación de Hopkinson que es de la forma $\mathcal{F} = f(\mathcal{N})$. En lugar de trazar ésta directamente se puede descomponer en las ecuaciones

$$\mathcal{F}_a = \frac{\mathcal{N}\, l_a}{\mu_a S_a} \;,,\quad \mathcal{F}_e = \frac{\mathcal{N}\, l_e}{S_e} \;,,\quad \mathcal{F}_p = \frac{\mathcal{N}_1\, l_p}{\mu_p S_p} \;,,\quad \mathcal{F}_i = \frac{\mathcal{N}_1\, l_i}{\mu_i S_i} \;,,\quad \mathcal{F}_c = \frac{\mathcal{N}_1\, l_c}{\mu_c S_c} \;,, \qquad (\alpha)$$

Trazar éstas dando valores á $\underline{\mathcal{N}}$ que tomaremos como ordenadas, y cómo abscisas los de $\underline{\mathcal{F}}$ correspondientes

Los valores que hay que dar á N se calcularán por la fórmula $B = \frac{N}{s}$ y los de μ que función de B pudieran hallarse trazando las curvas correspondientes, pero nosotros lo haremos buscándolos en la tabla (Gerard-67).

Las fórmulas $[\alpha]$ se transforman en otras de la forma $F_e = l \cdot \frac{B}{\mu}$ y con ésta y la $[\beta]$ $N = B \cdot s$ haremos los cálculos; daremos á B valores crecientes desde o hasta 5500 (el admitido es 5000), sustituiremos éstos valores y los de s en la fórmula $[\beta]$ y tendremos las ordenadas, hallaremos en las tablas los valores de μ correspondientes y éstos con los de l los sustituiremos en las $[\alpha]$ y tendremos las abscisas correspondientes á aquellas ordenadas.

Hecho ésto tenemos los valores siguientes:

Ba	$Na = Ba \cdot 500$	Ma	$\frac{Ba}{Ma}$	$Fa = \frac{Ba}{Ma} \cdot 33,06$
500	250 000	280	1,70	56,2020
1000	500 000	560	1,76	58,1856
1500	750 000	720	2,08	68,7648
2000	1000 000	880	2,27	75,0472
2500	1250 000	1070	2,33	77,0298
3000	1500 000	1160	2,50	82,6500
3500	1750 000	1280	2,73	90,2538
4000	2000 000	1400	2,85	94,2210
4500	2250 000	1500	3,00	99,1800
5000	2500 000	1600	3,12	103,1472
5500	2750 000	1700	3,22	106,4532

B_e	$K_e = B_e \cdot 600$	$M_e = 1$	$\frac{B_e}{M_e} = B_e$	$F_e^2 = B_e \cdot 1.6$
500	300 000	„	„	800
1000	600 000	„	„	1600
1500	900 000	„	„	2400
2000	1200 000	„	„	3200
2500	1500 000	„	„	4000
3000	1800 000	„	„	4800
3500	2100 000	„	„	5600
4000	2400 000	„	„	6400
4500	2700 000	„	„	7200
5000	3000 000	„	„	8000
5500	3300 000	„	„	8800

B_r	$(K_1)_r = B_r\,650$	M_r	$\frac{B_r}{M_r}$	$\theta_r = \frac{B_r}{M_r} \cdot 1.$
500	325 000	280	1,7	1,7
1000	650 000	560	1,76	1,76
1500	975 000	720	2,08	2,08
2000	1300 000	880	2,27	2,27
2500	1625 000	1070	2,33	2,33
3000	1950 000	1160	2,50	2,50
3500	2275 000	1280	2,73	2,73
4000	2600 000	1400	2,85	2,85
4500	2925 000	1500	3,00	3,00
5000	3250 000	1600	3,12	3,12
5500	3575 000	1700	3,22	3,22

B_i	$(N_t)_i = B_i \cdot 500$	M_i	$\frac{B_i}{M_i}$	$F_i = \frac{B_i}{M_i} \cdot 32$
500	250.000	280	1,7	54,4
1000	500.000	560	1,76	56,32
1500	750.000	720	2,08	66,56
2000	1000.000	880	2,27	72,64
2500	1250.000	1070	2,33	74,56
3000	1500.000	1160	2,58	82,5
3500	1750.000	1280	2,73	87,36
4000	2000.000	1400	2,85	91,20
4500	2250.000	1500	3,00	96,00
5000	2500.000	1600	3,12	99,84
5500	2750.000	1700	3,22	103,04

B_c	$(M_1)_c = B_c \cdot 600$	M_c	$\frac{B_c}{M_c}$	$S_c = \frac{B_c}{M_c} \cdot 20,24$
500	300 000	280	1,7	34,4080
1000	600 000	560	1,76	35,6224
1500	900 000	720	2,08	42,0992
2000	1 200 000	880	2,27	45,9448
2500	1 500 000	1070	2,33	47,1592
3000	1 800 000	1160	2,50	50,6000
3500	2 100 000	1280	2,73	55,2552
4000	2 400 000	1400	2,85	57,6840
4500	2 700 000	1500	3,00	60,7200
5000	3 000 000	1600	3,12	63,1488
5500	3 300 000	1700	3,22	65,1728

Para trazar ya las curvas tomaremos dos ejes coordenados; sobre el eje de las x tomaremos una escala tal que $1^{m}/_{m}$ nos represente 4 unidades de flujo y sobre el eje de la y otra que nos represente 10000 unidades de flujo en el inducido. Tomando los números correspondientes de las tablas anteriores y uniendo los puntos obtenidos por líneas continuas hemos tenido las curvas allí representadas [fig.ª 6ª] que se han hecho de diversos colores para diferenciarlas. Por último hallando para cada ordenada la suma de las abscisas correspondientes á las diversas curvas he trazado la curva $F = f(\mathfrak{N}_e)$ en tinta negra.

Potencia que consume el alternador

Será la suma de las consumidas por la excitación y la necesaria para mover el alternador propiamente dicho.

Potencia consumida en la excitación

Ha de ofrecer 225 volts y 3,49 amperes, ó sea, $225 \times 3,49 = 785,25$ watts, y siendo 1000 w = 1,36 c.v. será 785,25 w. = 1,06794 c.v.

Esta es la potencia útil P_u, la mecánica absorvida por la dinamo excitadora será, admitiendo un rendimiento de 0,90 (Gérard-520).

$$P_m = \frac{P_u}{0,90} = \frac{1,068}{0,90} = 1,1867 \text{ c.v.}$$

que hay que tener, útiles, en el árbol de la dinamo.

Potencia ~~total~~ del alternador

Dicha potencia será $P_a = EI\cos\varphi'$ (f.ª 3ª) en que φ' vale 41° 30', E = 2200 volts é I = 12,5 amperes luego:

$$P_a = 2200 \cdot 0,748956 \cdot 12,5 = 1647,7032 \cdot 12,5 = 20596,29 \text{ watts.}$$

A ésto hay que agregar lo que se pierde por efectos Joule, histéresis, corrientes Foucault, rozamientos, etc. cuyo valor (hallado al final del cálculo del inducido) es 3857,0 watts, que aumentado al valor hallado da 24450,59 watts

Esto para una fase, para las 3 será

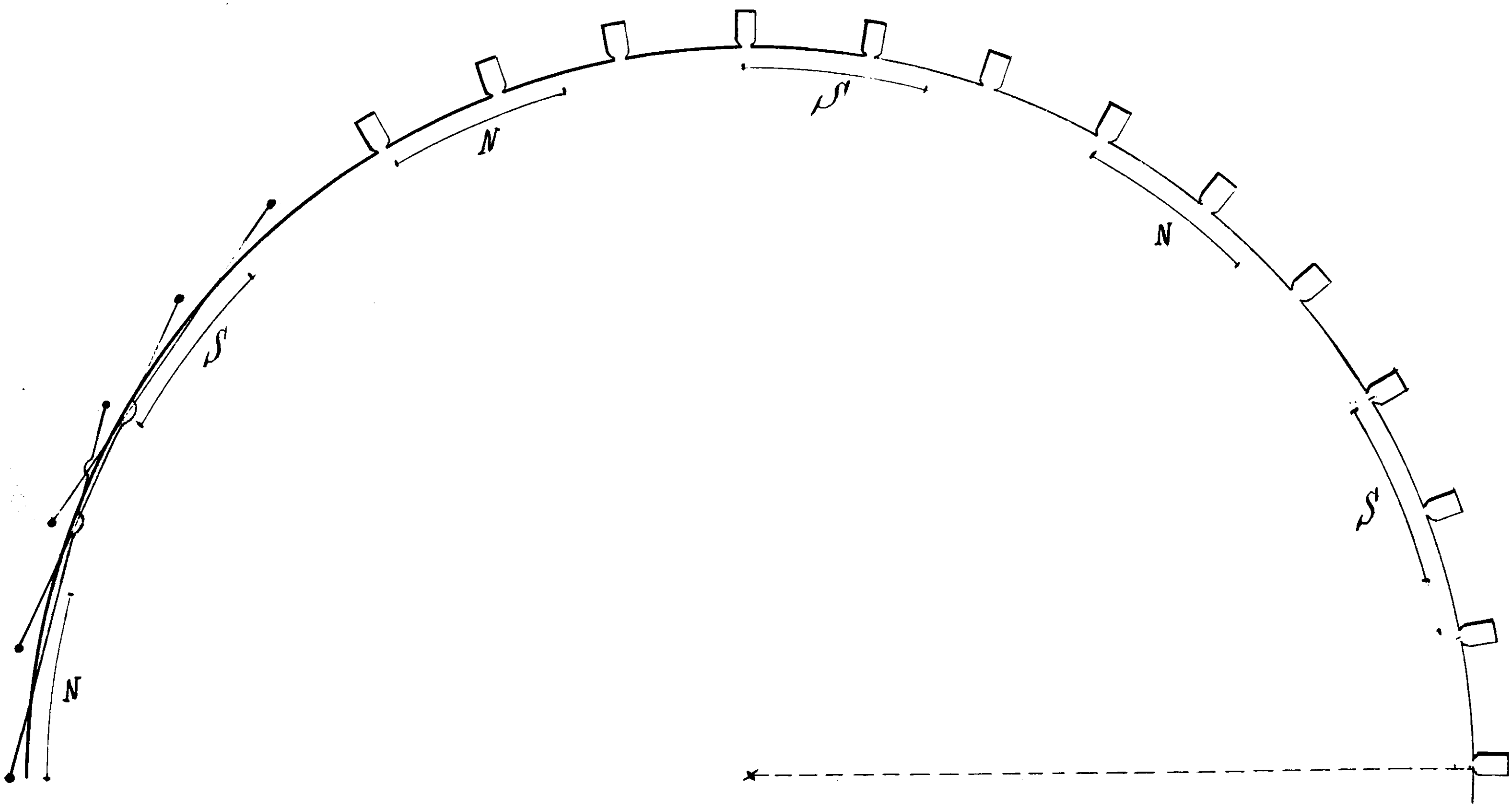
$P_m = 73351,77$ watts $= 99,7584072$ c.v.

En números redondos 100 c.v.

Madrid 10 Abril 1899

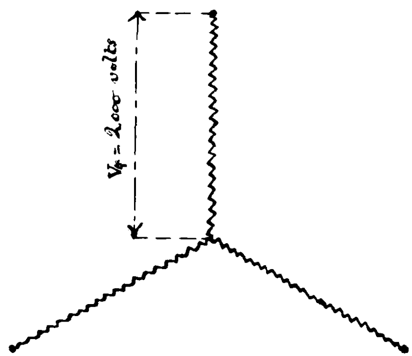
Miguel Lázaro Contreras

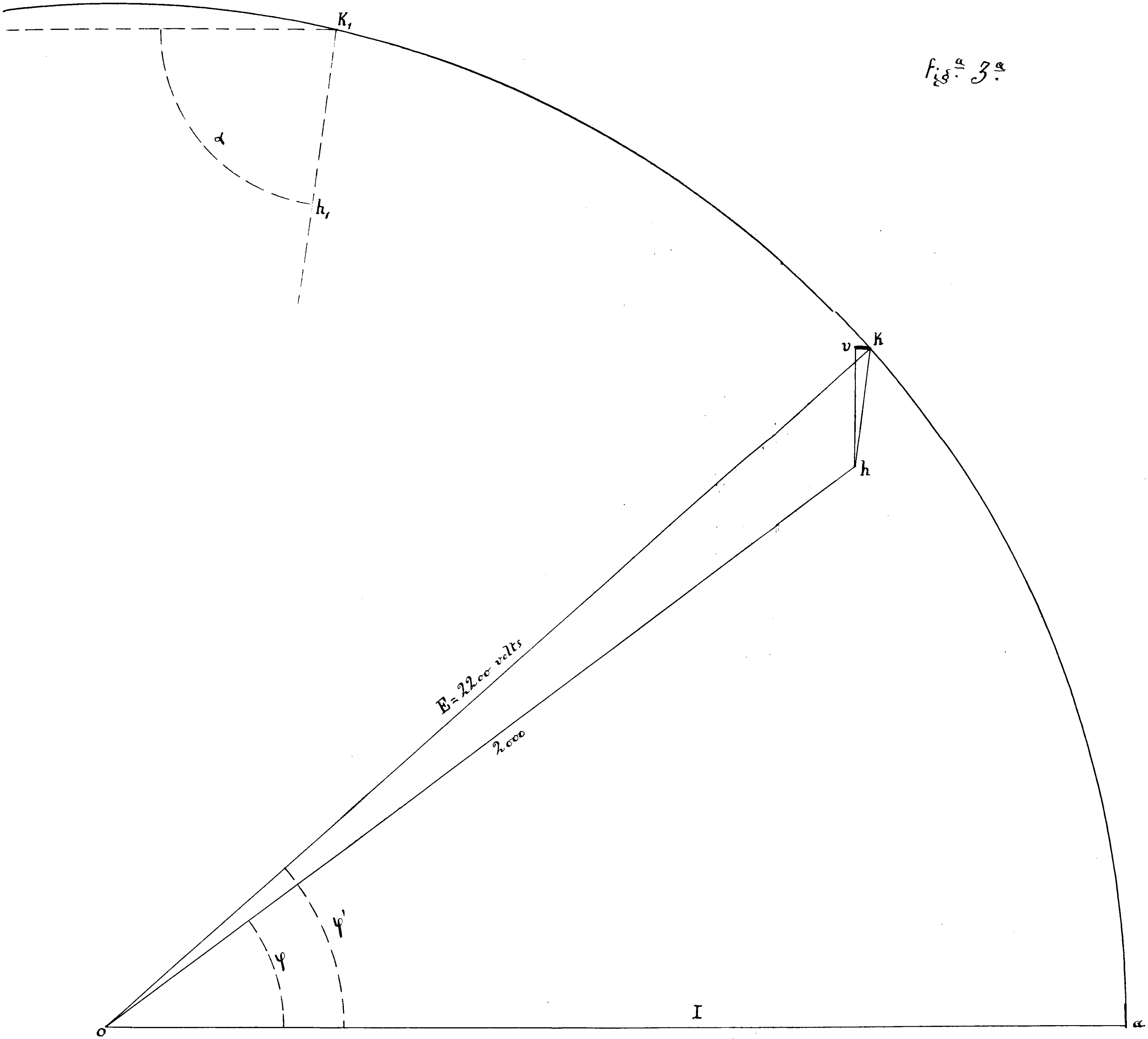
Fig.ª 1.ª



Escala 1/4

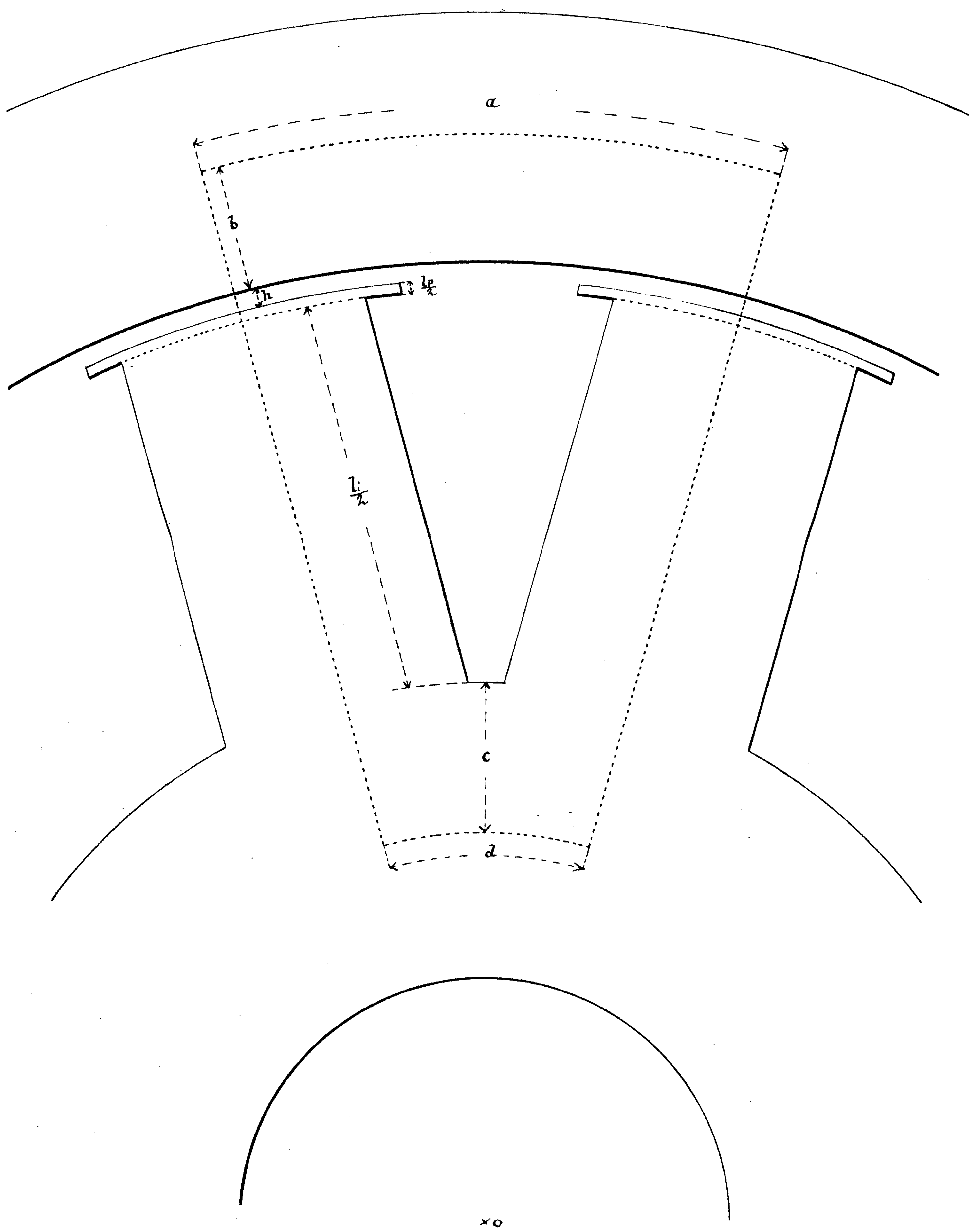
Fig.ª 2.ª





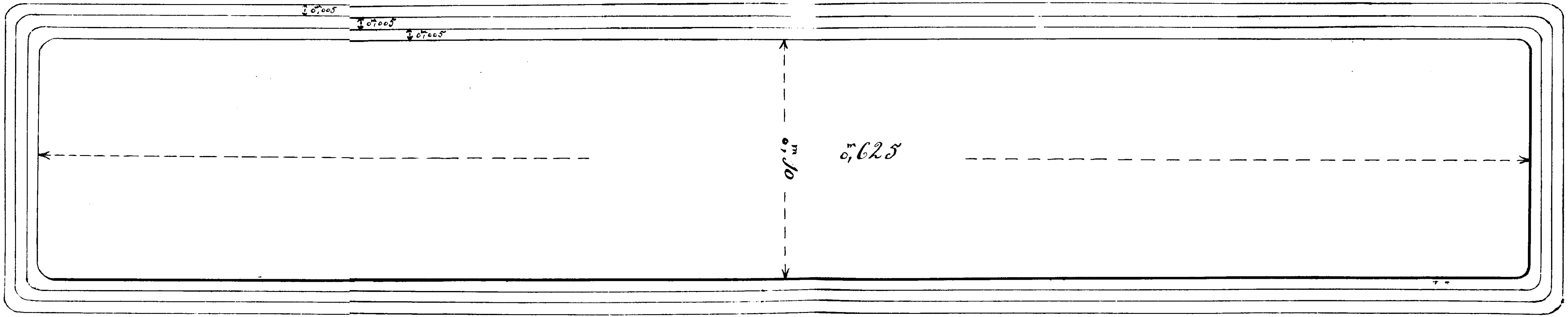
Escala $1^c/_m = 100$ volts

fig.ª 4ª



Escala 1/2

Fig.ª 5.ª



Escala $\frac{1}{2}$

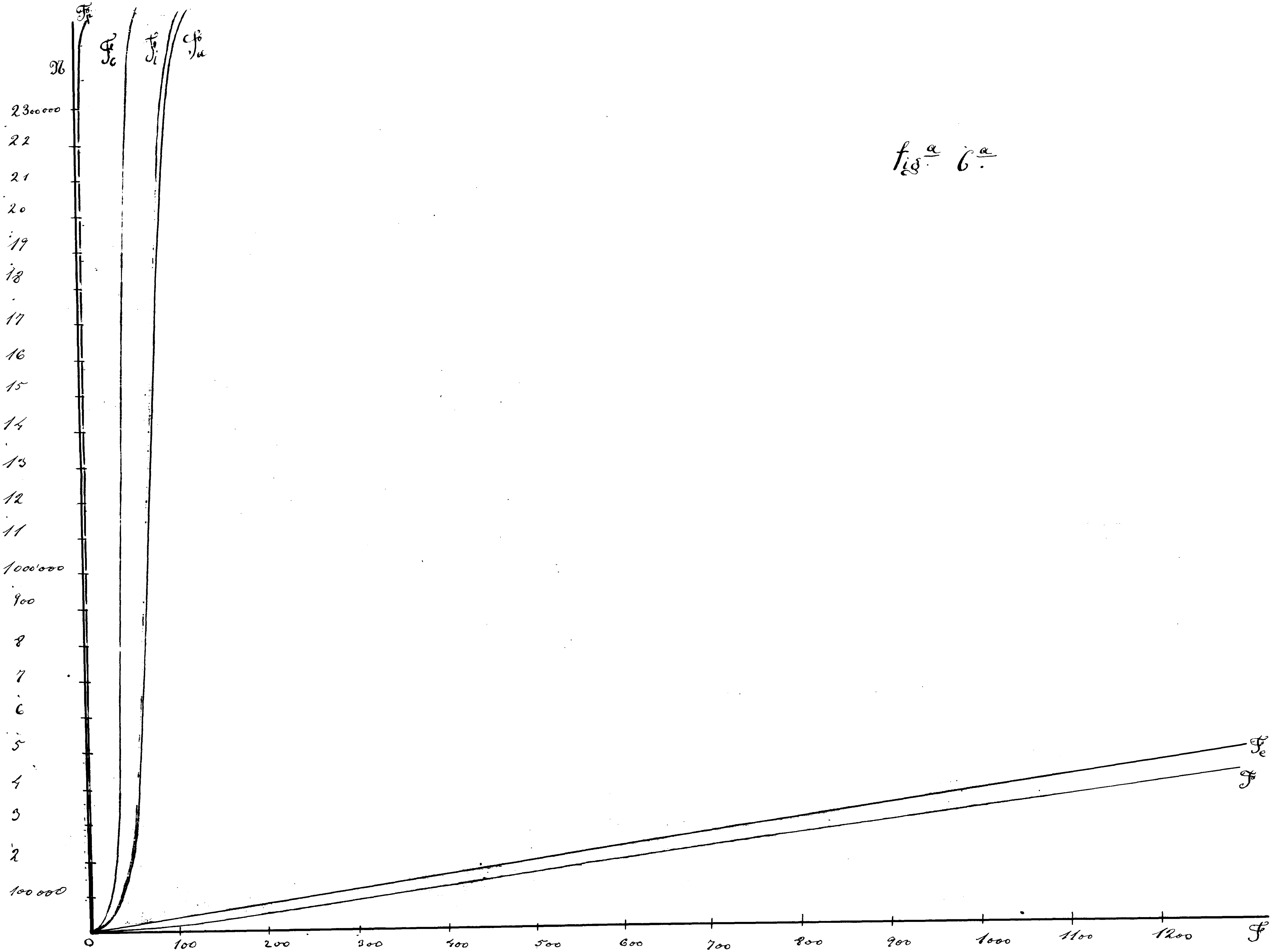


fig.a 6.a
N
23000000
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
1000'000
900
8
7
6
5
4
3
2
100000
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
F