

IV) O gerador assíncrono auto-excitado funcionando com uma freqüência independente da velocidade angular do rotor

Vamos em primeiro lugar estudar a possibilidade teórica para depois passarmos ao estudo da possibilidade prática dêste funcionamento do gerador.

Consideremos um ponto do diagrama de impedância do gerador, correspondente ao funcionamento do mesmo conservando constantes as grandezas: $\omega = \text{const.}$, $C = \text{const.}$

A êste ponto de funcionamento corresponde uma certa impedância \mathfrak{Z}_B do circuito de carga que por sua vez determina a impedância do gerador assíncrono

$$\mathfrak{Z}_A = -a + jb.$$

Interessa-nos, agora, estudar a possibilidade teórica de, não modificando o circuito de carga nem o dos condensadores, conseguir manter constante a freqüência das oscilações do estator, quando se faz variar a velocidade angular do rotor.

Deseja-se portanto, nestas condições, manter a pulsação ω constante e independente da variação de ω_r .

Uma constância da pulsação ω implica, no caso presente, a constância do vector impedância do gerador \mathfrak{Z}_A , e portanto dos módulos a e b das suas componentes (equação 53). Êste resultado acarreta, por sua vez, [relações (68), (73) e (76)], a constância das grandezas

$$\left. \begin{aligned} x &= \omega L_{ss\Delta} = \text{const.} \\ \mathfrak{Z}_s &= \text{const.} \end{aligned} \right\} (1)$$

qualquer que seja o valor da resistência r_R dos circuitos do rotor. Estas relações exprimem que, no caso presente, a corrente por fase do estator e o estado de saturação do circuito magnético do gerador se mantêm constantes qualquer que seja a resistência das fases do rotor, desde que tenha logar a constância da pulsação ω .

Por outro lado, a equação (24) mostra-nos que para manter

a pulsação ω constante e independente das variações de ω_r , é necessário fazer variar, no mesmo sentido, o valor absoluto do escorregamento S . A equação (64) indica-nos a única possibilidade de provocar esta variação do valor absoluto do escorregamento. Este valor depende, no caso presente, segundo a expressão (64), sómente da resistência dos circuitos do rotor e é directamente proporcional a esta resistência. O problema em questão exige portanto uma variação da resistência dos circuitos do rotor que é possível obter por meio da introdução de resistências exteriores nos mesmos circuitos. Designando por r_e o valor da resistência adicionada a cada uma das resistências r_R das fases do rotor obtém-se para a resistência total de cada circuito do rotor a expressão

$$r'_R = r_R + r_e. \quad (2)$$

Da equação (64) resulta para o valor do escorregamento a expressão :

$$S = B \cdot r'_R$$

em que, no caso presente, B é uma constante.

Desta última expressão resulta, como característica do estado de funcionamento que estamos a estudar, a relação :

$$\frac{r'_R}{S} = \frac{1}{B} = \text{const.} \quad (3)$$

Atendendo às relações (1) e (3) deste capítulo e à equação (41) do capítulo I, que neste caso toma a forma

$$\mathfrak{I}_R = - \frac{j \omega L_{SR\Delta}}{\left(\frac{r'_R}{S}\right) + j \omega L_{RR\Delta}} \mathfrak{I}_S, \quad (4)$$

conclui-se finalmente que, para obter o estado de funcionamento em questão — pulsação ω independente de ω_r —, é necessário fazer variar a resistência dos circuitos do rotor de maneira que tenha lugar a relação :

$$\mathfrak{I}_R = \text{const.} \quad (5)$$

que exprime a constância do vector corrente do rotor.

Demonstra-se facilmente que a expressão (5) além de ser condição necessária é também condição suficiente para se obter o estado de funcionamento que pretendemos estudar.

Conservando-se constantes, neste estado de funcionamento, os vectores \mathfrak{F}_S e \mathfrak{F}_R , conclui-se que o campo girante da máquina assíncrona também se mantém constante, em grandeza e velocidade, e independente de ω_r . O vector força electromotriz \mathfrak{E}_{OR} induzida numa fase do rotor pelo campo girante tem por expressão

$$\mathfrak{E}_{OR} = \mathfrak{F}_R \mathfrak{B}_R \quad (6)$$

em que

$$\mathfrak{B}_R = r'_R + j S \omega L_{RR\Delta} \quad (7)$$

representa a impediência de cada circuito por fase do rotor.

Das últimas expressões (3) e (7) conclui-se que, no caso presente, o vector impediência do rotor se mantém constante em direcção e sentido variando porém o seu módulo proporcionalmente ao escorregamento. Atendendo à relação (5) conclui-se que o mesmo acontece à força electromotriz definida pela equação (6).

A tensão por fase do rotor \mathfrak{E}_{IR} é definida pela equação $\mathfrak{E}_{IR} = \mathfrak{F}_R \cdot r_e$ que evidencia a sua proporcionalidade com a resistência r_e .

Chegamos portanto à conclusão de que o estado de funcionamento em questão é teóricamente possível e, para o obter, é necessário e basta acompanhar as variações de ω_r com variações de r'_R de maneira a manter constante a corrente \mathfrak{F}_R dos circuitos do rotor.

Nestas circunstâncias não só se mantém constante a frequência das oscilações auto-excitadas do estator mas também a sua amplitude. O valor da corrente do rotor correspondente à frequência que desejamos manter constante obtém-se a partir das expressões (68), (75), (76), (64) e (62) do capítulo I.

Depois do que fica exposto, é claro que também existe a possibilidade prática deste funcionamento. Basta fazer variar ω_r e r'_R de maneira que a corrente do rotor se mantenha constante.

O problema prático a resolver, resume-se portanto no seguinte: manter constante, por meio de resistências, a corrente num circuito ligado a uma tensão variável. Basta portanto, para cada valor de ω_r , fazer variar a resistência adicional de maneira

que a corrente do rotor se mantenha constante. Praticamente existe um meio de, entre certos limites, tornar, por assim dizer, automática a variação desejada da resistência adicional. São as resistências de fio de ferro cuja característica é de molde a manter praticamente constante a corrente num circuito em que a tensão aplicada varia num certo intervalo.

Ligando portanto os circuitos do rotor a um sistema trifásico de resistências de fio de ferro, fica a máquina assíncrona convertida num gerador cuja frequência e amplitude das oscilações auto-excitadas se mantêm, dentro de certos limites, praticamente constantes e independentes da velocidade angular do rotor. Esta conclusão levou-nos a realizar experiências com o fim de verificar a teoria exposta.

Estudo experimental

Ligações do rotor: As fases do rotor encontram-se ligadas a um sistema de três resistências iguais, de fio de ferro segundo o esquema da fig. 21. Este esquema permite medir a corrente e

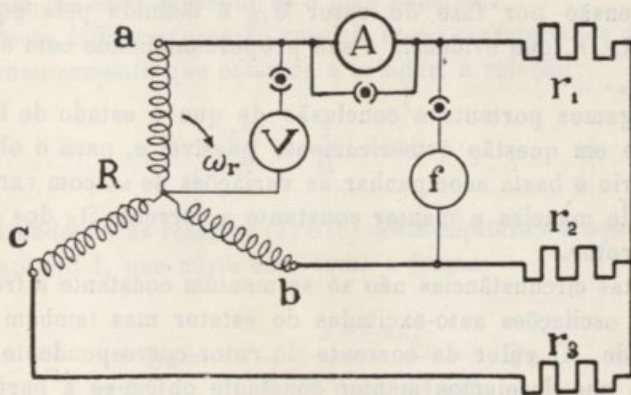


FIG. 21

tensão por fase e bem assim a sua frequência. As resistências de fio de ferro possuem uma característica de molde a manter a corrente do rotor praticamente constante e igual a cerca de 0,70 Amperes quando a tensão por fase varia entre cerca de 26 e 32 Volts.

Ligações do estator: Para os circuitos do estator utilizámos o esquema representado na fig. 5. A experiência foi feita com uma capacidade $C_{\Delta} = 34 \mu F$ e o circuito de carga aberto, isto é, trabalhando o gerador em vazio. O número de voltas do rotor fez-se variar entre 1480 e 1960 voltas por minuto.

Medidas efectuadas nos circuitos do rotor: Corrente por fase I_R , tensão por fase E_{IR} e frequência f_R .

Medidas efectuadas nos circuitos do estator: Corrente por fase I_S , tensão por fase E_{IS} e frequência f_S .

Além destas medidas eléctricas efectuou-se, para cada um dos pontos de funcionamento, a medida do número de rotações, por minuto, do rotor. Os valores medidos constam da Tabela IX e encontram-se marcados na fig. 22.

TABELA IX

Experiência efectuada estando os circuitos do rotor ligados a resistências de fio de ferro e funcionando o gerador em vazio

$$C_{\Delta} = \text{const} = 34 \mu F, \quad n = \text{variável.}$$

Nr.	n	f_S	f_R	$S \%$	E_{IS}	I_S	E_{IR}	I_R
	$\frac{\text{voltas}}{\text{min.}}$	Hz	Hz	—	V	A	V	A
1	1480	29,7	19,3	65,0	119,0	2,29	19,1	0,680
2	1534	29,8	21,0	70,5	120,0	2,30	20,8	0,684
3	1600	29,8	23,3	78,1	120,2	2,31	23,1	0,684
4	1684	30,0	26,0	87,0	120,4	2,33	26,0	0,694
5	1740	30,0	27,7	92,4	120,4	2,33	27,8	0,694
6	1800	30,0	30,0	100,0	120,4	2,33	30,0	0,694
7	1830	30,0	31,0	103,2	121,2	2,35	30,6	0,695
8	1874	30,0	32,0	106,8	122,0	2,36	32,0	0,696
9	1900	30,0	33,0	110,0	122,2	2,37	32,5	0,697
10	1930	30,1	34,0	113,1	122,6	2,38	33,8	0,698
11	1960	30,2	35,0	116,6	124,0	2,40	35,0	0,699

Aumentando o número de rotações desde 1684 até 1900 voltas por minuto, o que corresponde a uma variação de 216 voltas, a tensão por fase do rotor aumenta mantendo-se porém praticamente constantes a corrente do rotor, e a frequência das oscilações do estator $f_S = 30 \text{ Hz}$. O mesmo acontece aos valo-

res da corrente e tensão por fase do estator. A frequência das oscilações do rotor aumenta sempre com o número de voltas. Para $n=1800$ a frequência das oscilações do rotor atinge o mesmo valor da frequência das oscilações do estator $f_R = f_S = 30$ Hz sendo portanto o escorregamento S igual à unidade.

Rotor ligado a resistências de fio de ferro

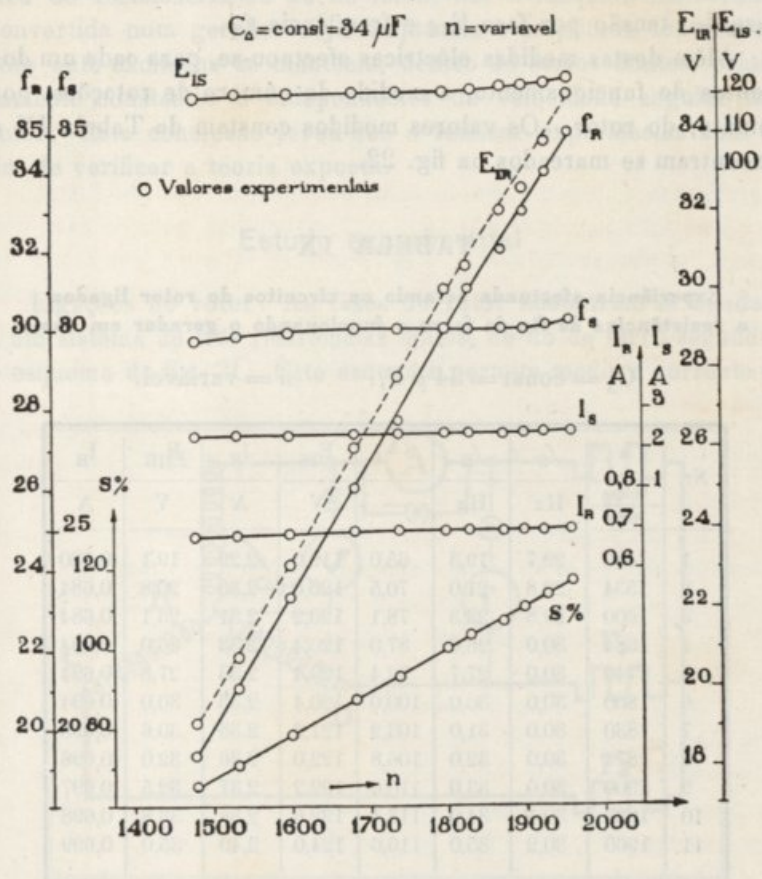


Fig. 22

Aumentando ainda o número de voltas, a frequência das oscilações do rotor e o seu escorregamento continuam a aumentar.

O oscilograma da fig. 23 representa simultaneamente para o ponto de funcionamento já citado, ($n=1800$, $f_S = f_R = 30$ Hz),

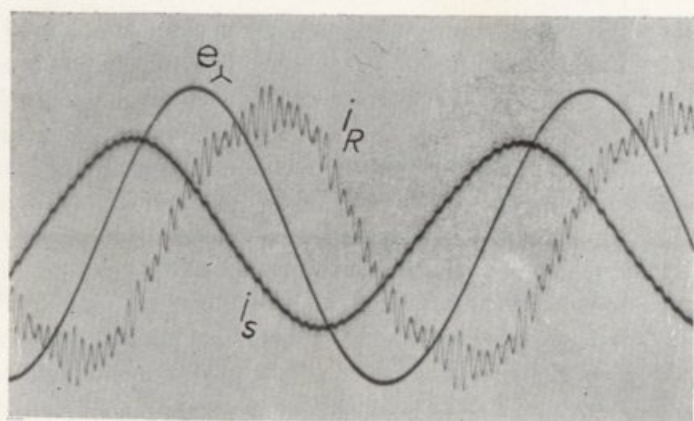
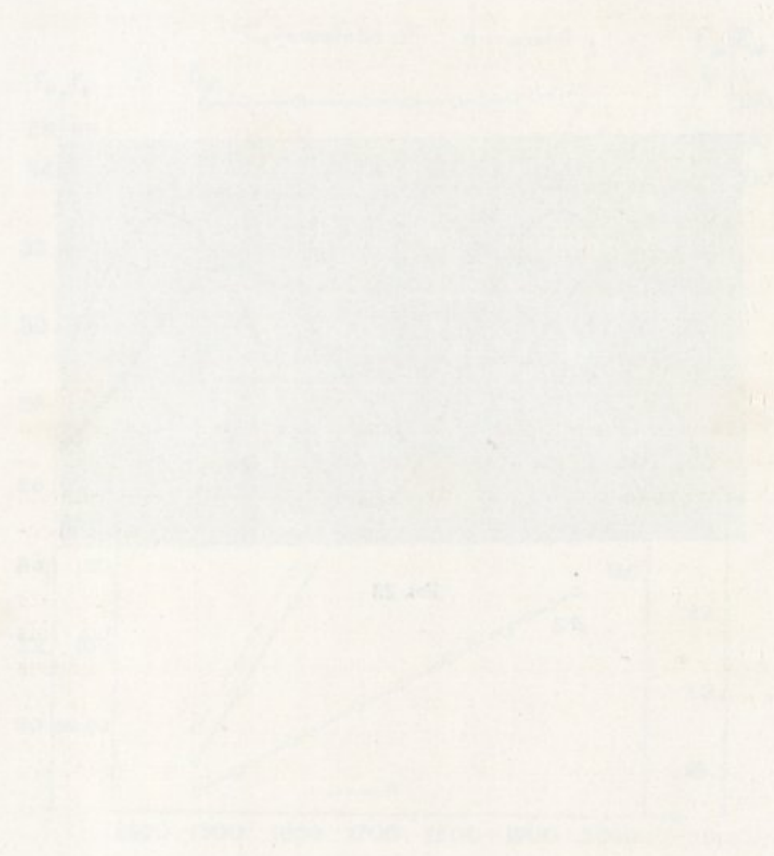


FIG. 23

The first part of the paper is devoted to the study of the
 properties of the function $f(x)$ defined by the
 equation $f(x) = \int_0^x f(t) dt$. It is shown that
 this function is the only solution of the equation
 $f(x) = \int_0^x f(t) dt$ which is continuous at
 the origin.

The second part of the paper is devoted to the study of
 the properties of the function $f(x)$ defined by the
 equation $f(x) = \int_0^x f(t) dt$. It is shown that
 this function is the only solution of the equation
 $f(x) = \int_0^x f(t) dt$ which is continuous at
 the origin.



The third part of the paper is devoted to the study of
 the properties of the function $f(x)$ defined by the
 equation $f(x) = \int_0^x f(t) dt$. It is shown that
 this function is the only solution of the equation
 $f(x) = \int_0^x f(t) dt$ which is continuous at
 the origin.

as curvas da tensão entre fases e_λ e da corrente por fase i_s do estator e bem assim a curva da corrente por fase i_R do rotor. A parte experimental deste estudo representa uma boa confirmação da teoria exposta.

V) O curto-circuito trifásico instantâneo do gerador assíncrono auto-excitado

Funcionando o gerador em vazio, podemos realizar praticamente o seu curto-circuito trifásico, pondo em primeiro lugar as resistências do circuito de carga em curto-circuito e ligando depois o respectivo interruptor tripolar. Para isso, podemos utilizar o esquema da fig. 5, desde que se tomem as devidas precauções com os instrumentos de medida. A experiência mostra-nos que, logo após o curto-circuito, o gerador perde a sua excitação e a corrente do circuito de carga torna-se nula.

Para obter as equações diferenciais necessárias para o estudo teórico dos fenómenos transitórios que se passam, entre o momento da realização do curto-circuito e a perda completa de excitação do gerador, basta introduzir nas equações diferenciais (17) do capítulo I os valores $R_B=0$, $L_B=0$, $C_B=\infty$ que traduzem a condição do curto-circuito do circuito de carga. As equações (18) do mesmo capítulo não se modificam. Os dois sistemas de equações assim obtidos representam as equações diferenciais relativas aos campos girantes livres na máquina trifásica com estator e rotor simétrico.

O estudo teórico destas oscilações livres e a sua aplicação ao curto-circuito instantâneo da máquina assíncrona funcionando como motor é já conhecido (1).

Como o caso presente conduz às mesmas equações diferenciais dum problema que já está resolvido, não nos ocupamos aqui do seu estudo teórico e supomo-lo conhecido para a apreciação de alguns oscilogramas que tivemos ocasião de tirar e

(1) Veja-se, por exemplo, Dr. Ing. RÜDENBERG — *Elektrische Schaltvorgänge*, Berlin, 1923.

representam estados transitórios relativos ao curto-circuito instantâneo do gerador assíncrono auto-excitado.

A fig. 24 representa as três correntes por fase do estator em regime auto-excitado, antes do início do curto-circuito, e em regime livre durante o período que se segue. O valor máximo da corrente do curto-circuito é atingido cerca de meio período depois da realização do mesmo.

No próprio oscilograma encontra-se uma escala em ampères para as correntes e está indicado o tempo em segundos, que decorreu desde o momento da realização do curto-circuito até que as correntes praticamente se anularam.

A fig. 25 representa um oscilograma nas mesmas condições do anterior, mas relativo às oscilações livres nos circuitos do rotor. As correntes tomam aqui valores superiores aos valores das correntes dos circuitos do estator devido ao facto de o coeficiente de indução trifásica do rotor ser inferior ao seu correspondente do estator.

A fig. 26 representa, nas condições já indicadas, as três correntes livres dos circuitos do estator, a saber: i_s corrente de uma fase do estator; i_c corrente correspondente do circuito dos condensadores e i_B , igual à soma das duas últimas, corrente correspondente do circuito de carga que neste caso está em curto-circuito.

A corrente i_c representa uma descarga oscilante dos condensadores sobre o circuito de carga. Como neste circuito só se encontram os fios de ligação, cujo coeficiente de auto-indução é muito pequeno, esta descarga oscilante tem uma frequência elevada. O oscilograma mostra que esta frequência é de cerca de mil períodos por segundo.

A fig. 27 representa simultaneamente a tensão entre fases e_A , a corrente por fase i_s e a corrente i_c no circuito dos condensadores. Este oscilograma mostra que as oscilações da tensão entre fases, antes de atingir o valor nulo, são devidas à descarga oscilante dos condensadores.

A fig. 28 representa igualmente a tensão entre fases e a corrente por fase dos circuitos do estator e além disso a corrente por fase dos circuitos do rotor. Aqui notam-se bem as oscilações de alta frequência na curva da tensão entre fases logo após o curto-circuito. Nota-se igualmente que a corrente por fase do rotor atinge valores superiores à corrente por fase

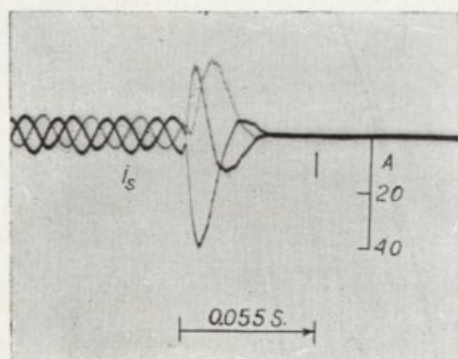


FIG. 24

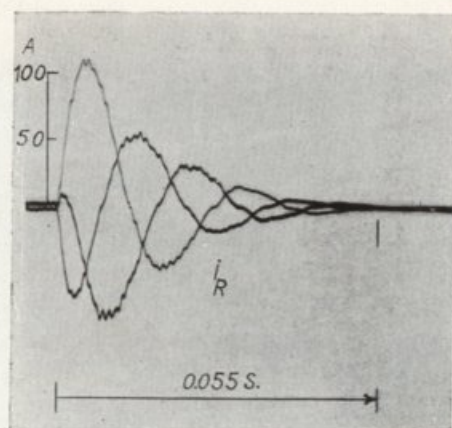


FIG. 25

representative of the profession, and it is the duty of the
medical profession to support such a measure.

A. B. C. The medical profession is the only one in the
country that is not organized on a national basis. It is
the duty of the medical profession to organize on a
national basis, and to support such a measure.

The medical profession is the only one in the
country that is not organized on a national basis. It is
the duty of the medical profession to organize on a
national basis, and to support such a measure.

A. B. C. The medical profession is the only one in the
country that is not organized on a national basis. It is
the duty of the medical profession to organize on a
national basis, and to support such a measure.

A. B. C. The medical profession is the only one in the
country that is not organized on a national basis. It is
the duty of the medical profession to organize on a
national basis, and to support such a measure.

A. B. C. The medical profession is the only one in the
country that is not organized on a national basis. It is
the duty of the medical profession to organize on a
national basis, and to support such a measure.

A. B. C. The medical profession is the only one in the
country that is not organized on a national basis. It is
the duty of the medical profession to organize on a
national basis, and to support such a measure.

A. B. C. The medical profession is the only one in the
country that is not organized on a national basis. It is
the duty of the medical profession to organize on a
national basis, and to support such a measure.

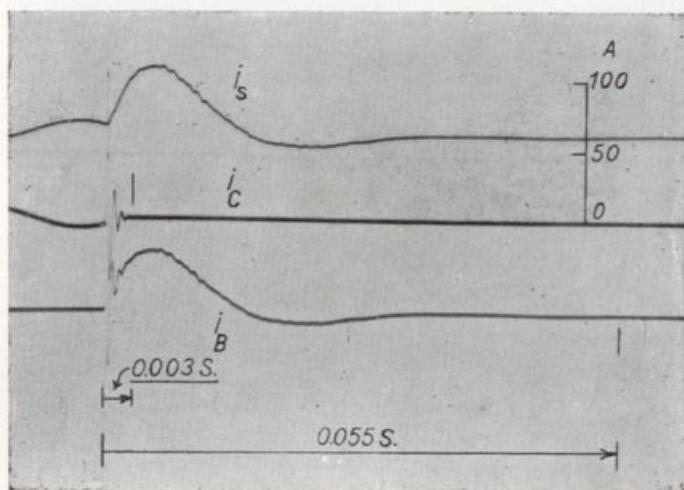


FIG. 26

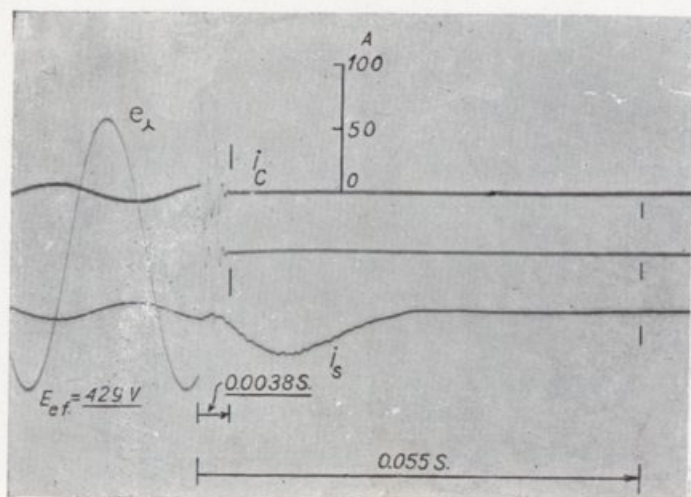
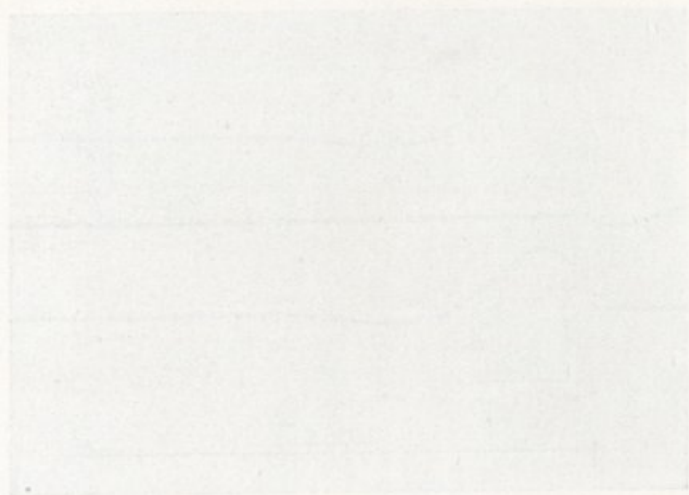


FIG. 27



18 27



18 27

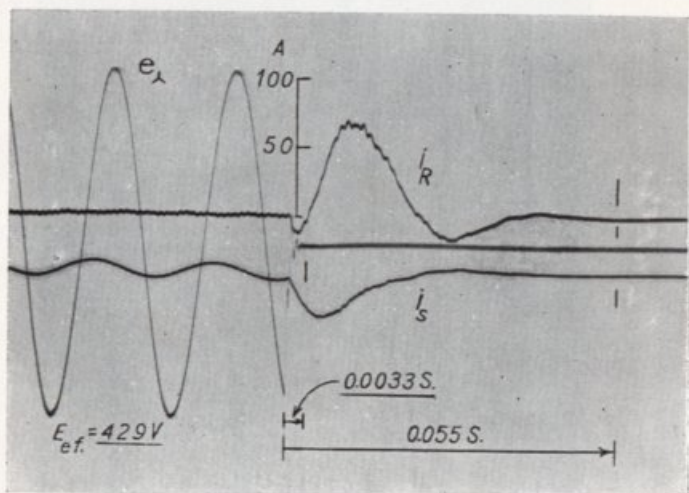


FIG 28

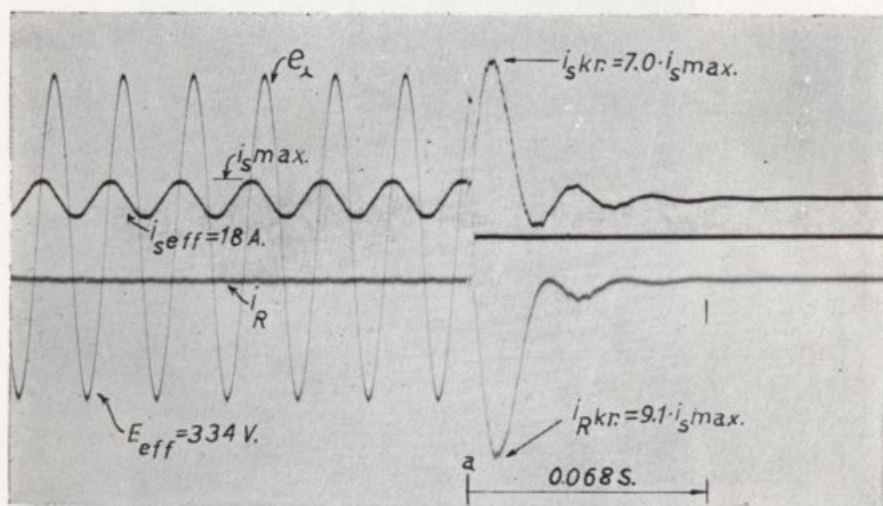


FIG. 29

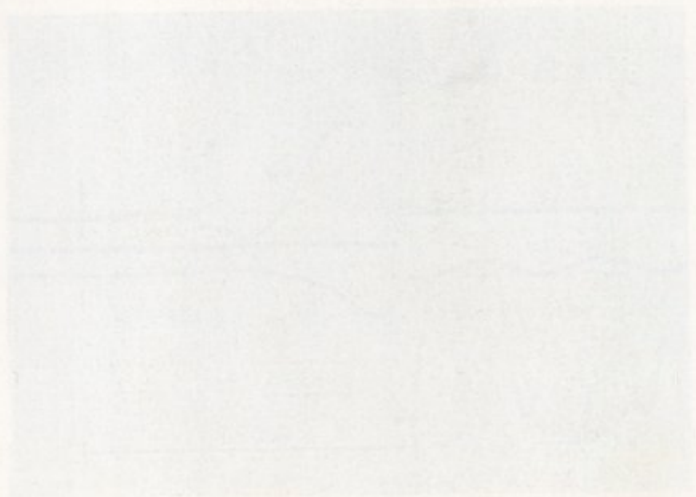


Fig. 10

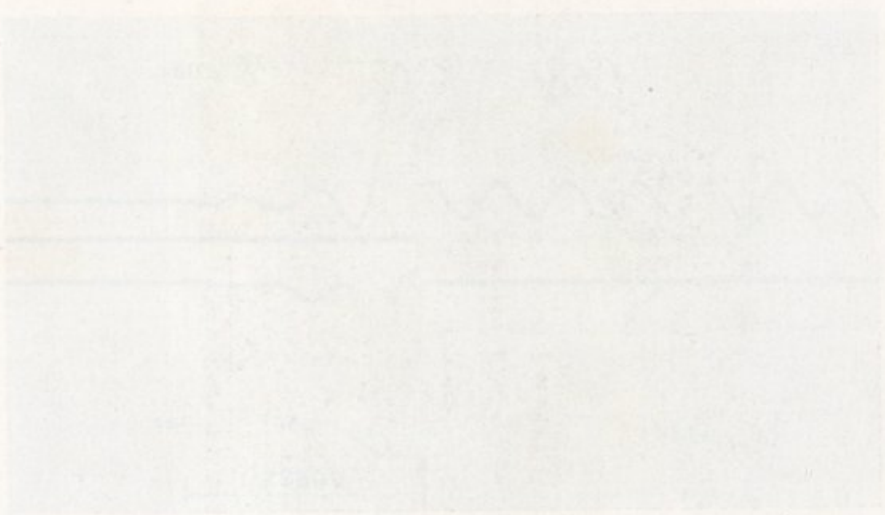


Fig. 11

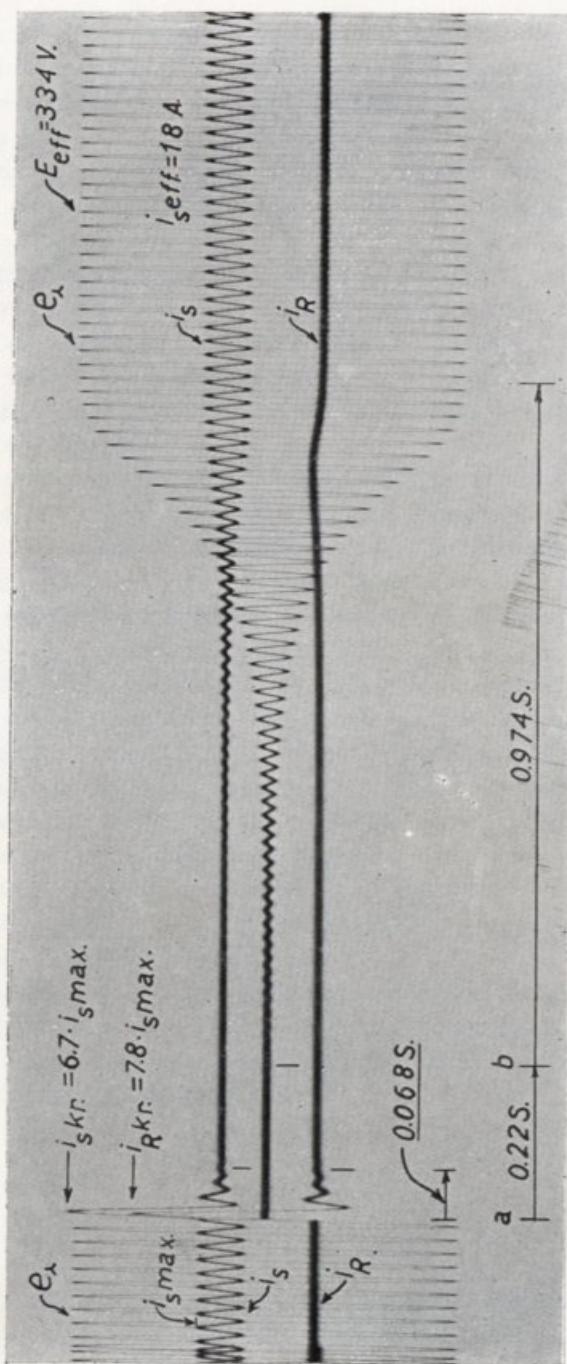
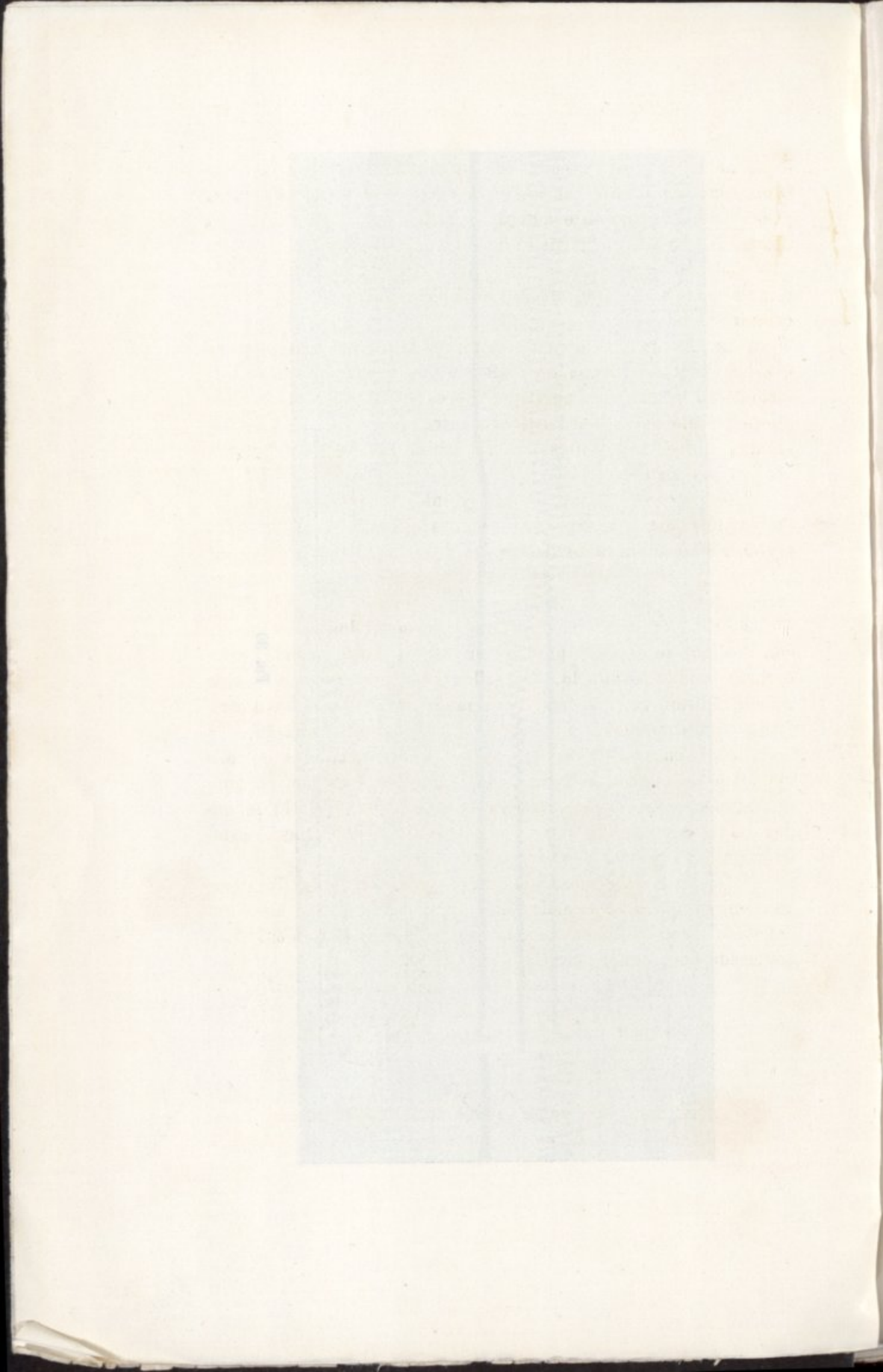


FIG. 30



do estator. Os oscilogramas enumerados dizem todos respeito à máquina assíncrona que utilizámos nas nossas experiências e possui um coeficiente de indução trifásica do rotor inferior ao coeficiente de indução trifásica do estator. Os dois oscilogramas que ainda se seguem dizem respeito a uma máquina assíncrona com o coeficiente de indução trifásica do rotor igual ao do estator.

A fig. 29 representa simultâneamente a tensão entre fases e_A e a corrente por fase i_S do estator e bem assim a corrente por fase i_R do rotor. As correntes livres do rotor e do estator diferem neste caso pouco uma da outra. Êste facto é devido à igualdade dos coeficientes de indução e das resistências dos respectivos sistemas.

O oscilograma da fig. 30 representa as mesmas grandezas do anterior mas durante dois regimes diferentes. O primeiro regímen representa as oscilações livres já mencionadas e devidas ao curto circuito. Estas oscilações livres têm um amortecimento forte e desaparecem praticamente depois de 0,068 segundos após o início do curto-circuito. Passados 0,22 segundos após êste início, desligou-se o interruptor do circuito de carga ficando assim o curto circuito levantado. O oscilograma mostra como, devido ao magnetismo remanescente, se estabelecem então de novo oscilações auto-excitadas e o gerador recupera a sua excitação.

O regímen transitório de oscilações auto-excitadas entre o momento em que se desligou o curto-circuito e o estabelecimento do regímen estacionário apresenta uma duração de 0,974 segundos. Êste regímen de excitação nascente foi detidamente estudado por nós no trabalho já citado.

Os fenómenos representados no oscilograma da fig. 30 põem bem em evidência a «elasticidade» do gerador assíncrono auto-excitado que contrasta manifestamente com a «rigidez» bem conhecida do gerador síncrono.

*

* *

As fotografias que a seguir apresentamos referem-se à instalação realizada para efectuar a parte experimental do presente trabalho.

A fig. 31 representa o grupo constituído pela máquina assíncrona que utilizámos como gerador assíncrono auto-excitado e pela máquina de corrente contínua que serviu de motor. Nesta fotografia vêem-se igualmente o comutador de voltímetro e alguns instrumentos de medida.

A fig. 32 apresenta a parte da instalação relativa ao circuito dos condensadores e circuito de carga. Na fotografia da fig. 33 distinguem-se, além do comutador de voltímetro, a lâmpada de eflúvio destinada à medida do escorregamento do gerador e o oscilógrafo. As figs. 34 e 35 representam vistas gerais da instalação.

A fig. 36 apresenta finalmente uma vista de conjunto do laboratório onde trabalhamos.

CARLOS FERRER MONCADA

BIBLIOGRAFIA

- P. STEINMETZ — refere-se ao gerador auto-excitado nos: *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers*, Vol. xxvii — 1 — 1908, pág. 239.
- U. SORDINA — Sul generatore a induzione eccitata mediante condensatori. *L'Elettrotecnica*, 1921, Nr. 14.
- LANDEBERG — Betrieb einer Asynchronmaschine als Generator in Parallelschaltung mit einem Kondensator. *Elektrotechnik und Maschinenbau* 1927, Heft 41.
- V. GENKIN — Autoamorçage d'une machine asynchrone dans les installations raccordées à un réseau de distribution d'énergie. *Revue Générale de L'Electricité* 1928. Tome xxiv, n.º 26.

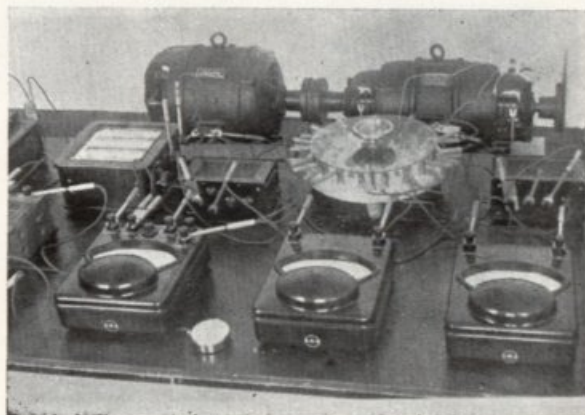


FIG. 31

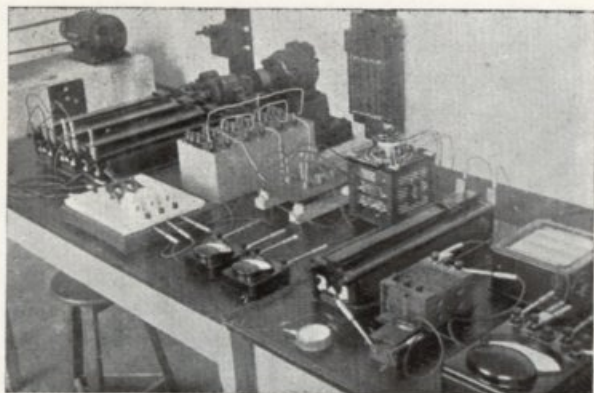
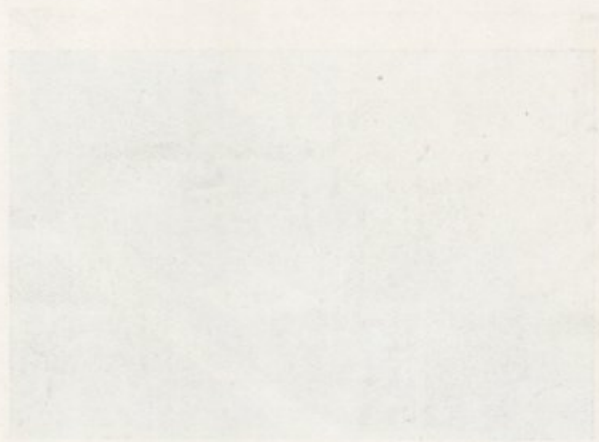


FIG. 32



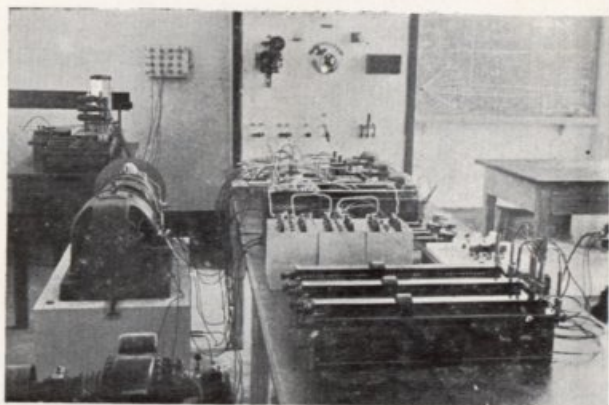


FIG. 35

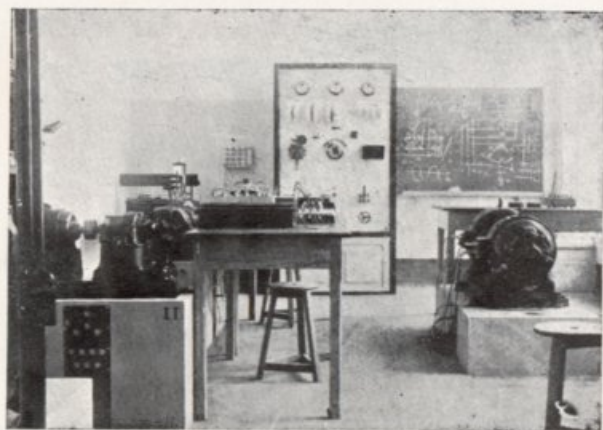
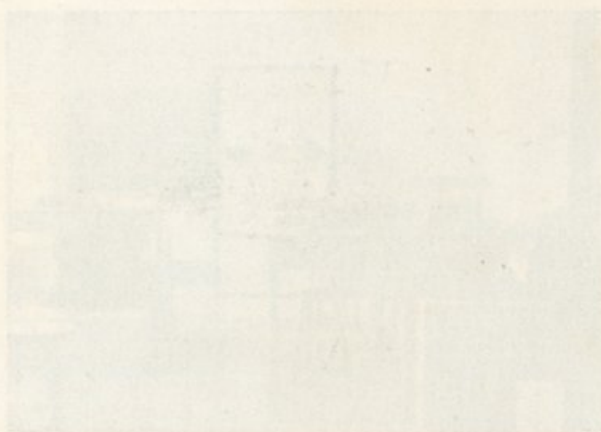


FIG. 36



1898



1898

Uma rectificação

No *Anthropologischer Anzeiger*, T. XV, Fasc. 2, pág. 156, vem uma nota bibliográfica referente ao trabalho «A autenticidade dos crânios de Timor do Museu da Universidade de Coimbra... etc.».

No fim desta nota aponta o seu autor, DR. E. BREITINGER, um erro na fórmula de PONIATOWSKI citada a pág. 370 do Vol. VI, desta revista (pág. 390 da separata).

Tem de confessar-se que é absolutamente justo o reparo: o denominador b^2 não devia estar incluído debaixo do radical.

A fórmula exacta não é pois

$$E_{(1)} = \pm 100 \sqrt{\frac{\alpha^2 b^2 + \beta^2 a^2}{b^2}}$$

mas

$$E_{(1)} = \pm 100 \frac{\sqrt{\alpha^2 b^2 + \beta^2 a^2}}{b^2}$$

equivalente a

$$E_{(1)} = \pm 100 \sqrt{\frac{\alpha^2 b^2 + \beta^2 a^2}{b^4}}$$

A mesma emenda applica-se aos denominadores da fórmula simplificada para o caso de $\alpha = \beta$ que deve ler-se

$$E_{(1)} = \pm 100 \alpha \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{b^2}$$

e, na página seguinte, ao caso concreto, em que se deve ler

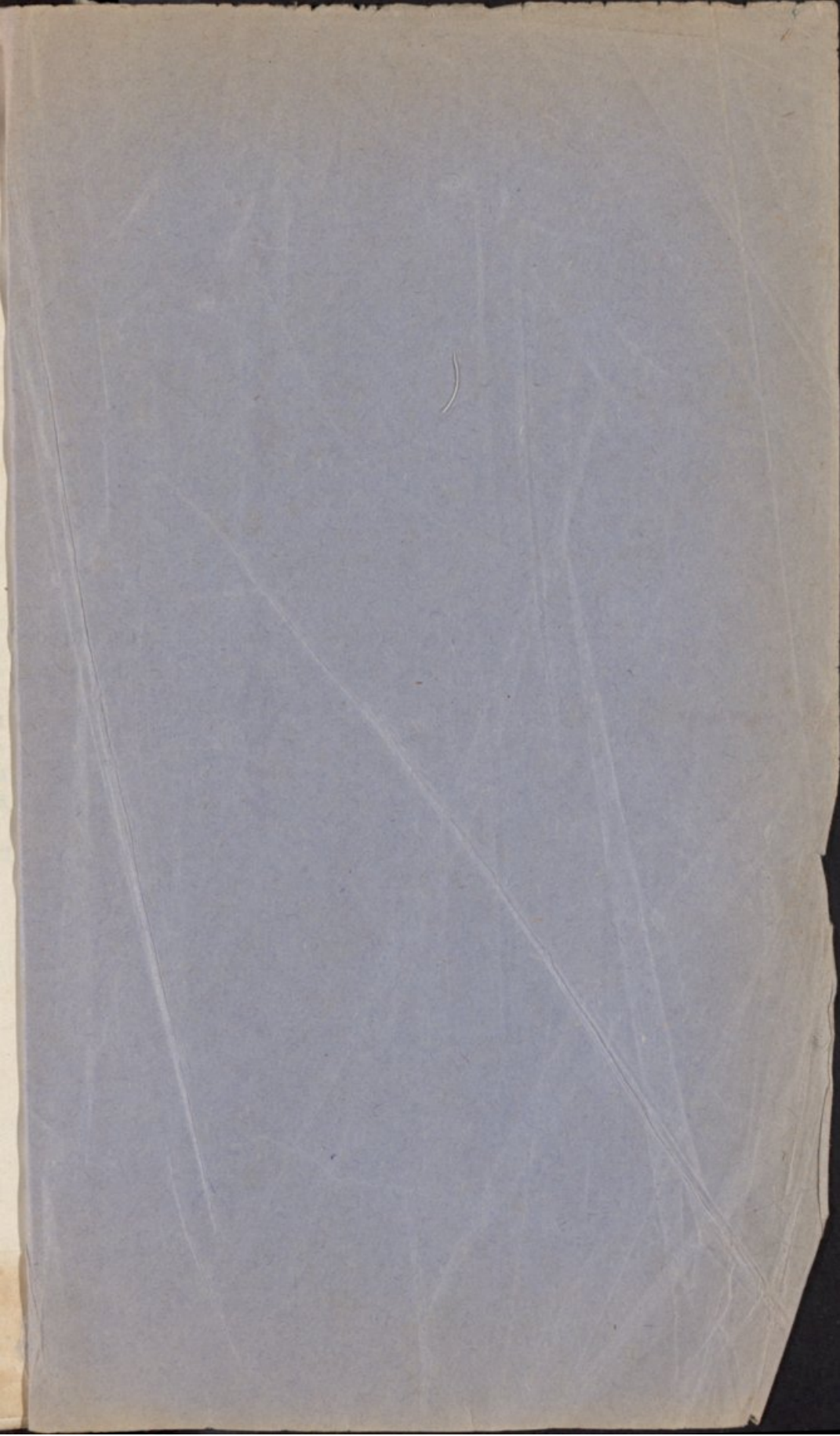
$$E_{(75,20)} = \pm 100 \frac{\sqrt{128^2 + 170^2}}{170^2} = \pm 0.74$$

Seja-me permitido acrescentar que, embora as fórmulas citadas estejam realmente inexactas, foi a fórmula exacta aquela que serviu no cálculo, e que por consequência *está certo* o resultado final: o erro provável do índice, para o crânio n.º 319, é ± 0.74 .

J. G. DE BARROS E CUNHA

ÍNDICE

	Pág.
Dr. Júlio A. Henriques — (Dr. António Xavier Pereira Coutinho).	v
O contrato do Prof. Dr. Ernst Matthes e o Laboratório Zoológico da Faculdade — (Dr. Ernst Matthes).	1
+ Missão de Estudo nos Observatórios Astronómicos de Greenwich, Uccle e Paris, em 1937 — (L.º José António Madeira).	10
+ Algumas observações sobre a língua dos Pinipédios — (Dr. Ernst Matthes)	40
+ As Focas do Museu Zoológico de Coimbra — (Dr. António Armando Themido)	46
Halos, sua relação com o tempo — (L.º Victorino de Seíça e Santos). . .	52
A Peíve nos Portugueses — (L.º J. A. Serra)	61
Estudos sobre a pigmentação melânica — (L.º J. A. Serra)	235
? + Estudos sobre o gerador assíncrono auto-excitado — Continuado do vol. vi — (Dr. Carlos Ferrer Moncada)	410
+ Uma rectificação — (Dr. J. G. de Barros e Cunha)	452



AVISO

Tôda a correspondência relativa à redacção deve ser dirigida à Direcção da Faculdade de Ciências, com a indicação de que se refere à REVISTA.