SUL ROCCHETTO D'INDUZIONE.

Nota di O. M. CORBINO ¹⁾.

Il principio fondamentale su cui riposa il funzionamento del rocchetto di induzione è rimasto immutato da Rumkorff e Fizeau in poi, malgrado i perfezionamenti costruttivi arrecati all'apparecchio più per suggerimento della pratica che per risultato della teoria, ancora imperfettamente stabilita.

Siamo quindi ancora all'originale rottura del circuito primario avvolgente un nucleo magnetico aperto, con l'attenuazione degli effetti dovuti alla scintilla primaria mercè la produzione della rottura in un liquido isolante e l'inserzione del condensatore. Nè dall'impiego razionale di tutte le nozioni acquisite si può sperare, nella costruzione del rocchetto, di oltrepassare i risultati conseguiti dal Klingelfuss col suo trasformatore a scintille che si presenta già così meravigliosamente progredito rispetto ai modelli anteriori.

A eliminare l'inconveniente della scintilla primaria rivolge la sua attenzione, in uno studio recentissimo, l'Ingegnere Lori ²⁾, suggerendo due dispositivi di cui il secondo permetterebbe inoltre di ricorrere a un circuito magnetico chiuso.

Il primo artificio consiste nel caricare un condensatore e scaricarlo subito dopo in un circuito contenente il primario del rocchetto. Questo dispositivo fu veramente già adottato da Norton e Lawrence ³⁾ e da Tesla ⁴⁾ che ne studiarono sperimentalmente l'efficacia. Il Lori si limita a ricercare teoricamente le condizioni più favorevoli per ottenere una forza e. m.

1) *Atti della Associazione Elettrotecnica Italiana*, Vol. X, fasc. 5°, pag. 123, 1906.

2) Lori, *Atti A. E. I.* Vol. X, fasc. 3-4, pag. 42, 1906.

3) Norton e Lawrence, *Electrical World*, marzo 1897, pag. 327.

4) Tesla, *The Electrical Review*, sett. 1897, pag. 327.

d'induzione molto elevata, ma sarà dimostrato più in là che il calcolo del Lori conduce a un risultato inesatto.

Un secondo dispositivo consiste nell'utilizzare il magnetismo rimanente di un circuito magnetico chiuso, per mezzo di una serie di manovre eseguite periodicamente da un particolare commutatore girante, e per le quali viene prima magnetizzato in un certo senso il nucleo di ferro dolce, quindi soppressa gradualmente la corrente magnetizzante, e allora si lancia nel primario una corrente opposta, cui corrisponde la smagnetizzazione e la magnetizzazione inversa del nucleo. A questa variazione del flusso corrisponderebbe, secondo il Lori, una intensa f. e. m. di induzione; e siccome viene con ciò utilizzata la chiusura anzichè l'apertura del primario, sarebbero soppressi gli inconvenienti della scintilla primaria.

L'efficacia di questo dispositivo sarà pure esaminata in questa Nota, e sarà dimostrato che esso è inadatto allo scopo che l'autore si propone.

Infine sarà proposto un nuovo dispositivo che non evita la scintilla primaria ma permetterebbe di ricorrere a un circuito magnetico chiuso; la discussione delle condizioni di funzionamento lascia prevedere un miglioramento non piccolo rispetto al tipo attuale del rocchetto d'induzione.

È utile anzitutto riassumere le nostre attuali conoscenze sul funzionamento del rocchetto, mettendo in luce le ipotesi che si fanno per render possibile la trattazione del problema.

La spiegazione più soddisfacente si ricava dai lavori di Colley ¹⁾ e di Armagnat; a quest'ultimo si deve inoltre una preziosa monografia « La bobine d'induction » ²⁾ nella quale è esposto con grande chiarezza tutto quanto si conosce sull'importante argomento.

Stabilita la necessità della derivazione di un condensatore ai poli dell'interruttore e riconosciuto, dopo le ricerche di Armagnat, che la rottura *geometrica* del circuito primario precede di alcuni istanti la scintilla all'interruttore, risulta

1) Colley, *Wied. Ann.* t. 44, pag. 109, 1891.

2) Armagnat, *Le Bobine d'induction*, Gauthier-Villars, Paris.

chiaro che dal momento della rottura geometrica nel sistema formato dal primario e dal condensatore si determinano delle oscillazioni elettriche, aventi per fase iniziale il valore zero della differenza di potenziale ai poli del condensatore, cioè il valore zero dell'energia elettrostatica del sistema, e il valore massimo I_0 della corrente, cioè il valore massimo dell'energia elettromagnetica.

Cominciata la prima oscillazione cresce, con legge approssimativamente sinusoidale, la differenza di potenziale ai poli comuni del condensatore e dell'interruttore, come pure quella ai poli del secondario che è eguale al prodotto della prima per il coefficiente di moltiplicazione del rocchetto. Se la distanza tra i poli del secondario è troppo grande, a un certo punto scocca una prima scintilla nell'interruttore, la quale annulla la differenza di potenziale ai poli del condensatore; il fenomeno ricomincia sulla base dell'attuale valore della corrente, minore di quello iniziale; e dopo un certo numero di tali ripetizioni, dipendente dalla velocità di allontanamento del pezzo mobile dell'interruttore, quando la resistenza alla scintilla primaria è divenuta, per l'aumentata distanza degli estremi dell'interruttore, più grande di quella relativa al secondario, scocca la prima scintilla in quest'ultimo, mentre le oscillazioni nel circuito primario proseguono senza ulteriori scintille primarie.

Dallo istante in cui cessa l'ultima scintilla all'interruttore il fenomeno adunque procede come se, nel primario, fossero solo presenti un'induttanza e una capacità, di cui la prima tiene immagazzinata un'energia elettromagnetica $L \frac{I_1^2}{2}$ indicando con I_1 l'intensità della corrente nell'istante medesimo; cominciano cioè delle oscillazioni rette dalle equazioni differenziali:

$$r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C_1} \int i_1 dt = 0$$

$$r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C_2} \int i_2 dt = 0$$

nelle quali le varie lettere hanno il significato consueto e gli indici 1 e 2 si riferiscono al primario e al secondario.

L'integrazione di queste equazioni non presenta teoricamente alcuna difficoltà nell'ipotesi che r_2 sia costante ¹⁾; in pratica però riesce tutt'altro che facile, dipendendo dalla risoluzione di una complessa equazione di 4° grado.

Una prima semplificazione viene introdotta nella teoria del Colley; egli ammette che sia trascurabile il termine $M \frac{di_2}{dt}$, cioè la reazione del secondario sul primario, con che la prima equazione acquista la forma classica di lord Kelvin; il valore ottenuto per i_2 , riportato nella seconda equazione, permette la risoluzione di questa ultima, facilitata da una seconda ipotesi, che cioè i coefficienti di smorzamento $\frac{r_1}{2L_1}$ e $\frac{r_2}{2L_2}$ del primario e del secondario siano dello stesso ordine di grandezza e molto piccoli di fronte alla pulsazione $\frac{2\pi}{T}$ della corrente oscillante primaria. Malgrado tutte queste semplificazioni, e la ipotesi fondamentale che i coefficienti L_1 , L_2 , M , siano costanti, la equazione finale che dà i_2 è abbastanza complessa. Inoltre, volendo tener conto della scintilla primaria, resta sconosciuto il valore I_1 della corrente all'istante in cui scocca la prima scintilla al secondario.

Se per quest'ultimo si ricerca solo la f. e. m. di induzione in esso agente per virtù del primario, cioè $M \frac{di_1}{dt}$, la teoria si semplifica ancora di molto. Ciò venne fatto dall'Armagnat, e dal medesimo punto di vista si pone il Lori.

Posto ciò il dispositivo di Norton e Lawrence, adesso nuovamente proposto dal Lori, e consistente nel caricare un condensatore con una f. e. m. costante e scaricarlo subito dopo nel primario del rocchetto, si riconduce al caso precedente, del quale è perfettamente analogo. Anche adesso il sistema primario-condensatore viene posto in oscillazione, solo che la fase iniziale coincide con la massima differenza di potenziale

1) Corbino, *Atti A. E. I.*, Vol. VII, fasc. 6^a, pag. 654, anno 1908.

al condensatore, anzichè con la massima magnetizzazione del nucleo; e quindi, con le solite semplificazioni, l'intensità nel primario è espressa da

$$(3) \quad i_1 = \frac{V}{L_1 \beta} e^{-\alpha t} \sin \beta t$$

anzichè da

$$i_1 = I_1 e^{-\alpha t} (\cos \beta t - \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta t)$$

nelle quali relazioni V è il potenziale iniziale di carica del condensatore e inoltre si ha

$$\alpha = \frac{r_1}{2 L_1}, \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1} - \frac{r_1^2}{4 L_1^2}}.$$

Il Lori, partendo dalla (3), discute le condizioni perchè si abbia la massima f. e. m. di induzione $M \frac{di_1}{dt}$ al secondario, cioè il valore massimo di $\frac{di_1}{dt}$; e perviene alla conclusione, con un calcolo molto laborioso, che si deve avere $\beta = 0$, cioè

$$(4) \quad \frac{r_1^2}{4 L_1^2} = \frac{1}{L_1 C_1}$$

questa condizione egli chiama *condizione di risonanza*. Il valore massimo corrispondente della $\frac{di_1}{dt}$ sarebbe con ciò

$$\left(\frac{di_1}{dt}\right)_m = \frac{V}{L_1} e^{-\alpha t}.$$

Questo risultato è inesatto, poichè se si suppone invece trascurabile la resistenza r_1 , con che la (3) diviene, per i primi istanti almeno,

$$i_1 = \frac{V}{L_1 \beta} \sin \beta t$$

si ottiene

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{V}{L_1} \cos \beta t$$

il cui massimo, per $t=0$, è dato da

$$\left(\frac{di_1}{dt}\right)_m = \frac{V}{L_1}.$$

Adunque non è vero che alla condizione (4) corrisponda il massimo valore di $\frac{di_1}{dt}$, poichè l'ultimo è più che sette volte maggiore di quello calcolato dal Lori.

Del resto partendo dalla sua formola (35)

$$\left(\frac{di_1}{dt}\right)_m = \frac{V}{L_1} e^{-\frac{\alpha}{\beta} \arcsen \frac{2\alpha\beta}{\alpha^2+\beta^2}}$$

che dà il valore massimo di $\frac{di_1}{dt}$ nelle sue variazioni col tempo, e considerando questo valore come funzione della resistenza r_1 , da cui dipendono α e β , si riconosce subito che il massimo valore di $\left(\frac{di_1}{dt}\right)_m$, rispetto a r_1 si ha per $\alpha=0$, cioè per $r_1=0$, mentre al crescere di r_1 l'esponente aumenta in valore assoluto, con che diminuisce il primo membro.

Non conviene adunque accrescere la resistenza del primario fino a farla raggiungere il valore richiesto dalla (4).

Alcune esperienze da me eseguite in proposito, ricorrendo a un rocchetto di 35 centim. di scintilla e a un condensatore di 10 microfarad, caricato alla tensione della conduttura stradale (150 volt) mi hanno appunto confermato che la massima distanza esplosiva al secondario si ottiene quando la resistenza del primario ha il minimo valore possibile.

Prima di esaminare il secondo dispositivo proposto dal Lori è utile ricercare l'energia sviluppata nel secondario, supposto rilegato a una resistenza ohmica, nel periodo variabile di chiusura della corrente primaria; il calcolo può essere con-

dotto indipendentemente dall'ipotesi che i coefficienti di induzione siano costanti.

Sia E la f. e. m. agente bruscamente nel primario all'istante 0; φ il flusso che attraversa il primario, $m\varphi$ quello che attraversa il secondario, cosicchè m denota il coefficiente di moltiplicazione del rocchetto.

Si ha per i due circuiti

$$(5) \quad E = r_1 i_1 + \frac{d\Phi}{dt}$$

$$(6) \quad 0 = r_2 i_2 + m \frac{d\Phi}{dt}$$

Dalla prima si deduce

$$E i_1 dt = r_1 i_1^2 dt + i_1 \frac{d\Phi}{dt} dt$$

e indicando con W_1 l'energia sviluppata del primario durante il tempo t , cioè $\int r_1 i_1^2 dt$, e con q la totale quantità di elettricità passata sarà

$$(7) \quad E q = W_1 + \int i_1 \frac{d\Phi}{dt} dt.$$

Ma si deduce dalla (5)

$$i_1 = \frac{1}{r_1} \left(E - \frac{d\Phi}{dt} \right)$$

quindi

$$E q = W_1 + \frac{E}{r_1} \Phi - \frac{1}{r_1} \int \left(\frac{d\Phi}{dt} \right)^2 dt$$

cioè, indicando con A l'ultimo integrale e chiamando I_1 il valore finale della corrente primaria, eguale a $\frac{E}{r_1}$

$$(8) \quad E q = W_1 + I_1 \Phi - \frac{A}{r_1}.$$

Dalla (6) si deduce invece, indicando con W_2 l'energia sviluppata nel secondario,

$$W_2 = r_2 \int i_2^2 dt = \frac{m^2}{r_2} \int \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 dt$$

cioè:

$$(9) \quad W_2 = \frac{m^2 A}{r_2}.$$

Intanto il primo membro della (8) rappresenta il lavoro compiuto dalla pila; esso è eguale all'energia termica sviluppata nel primario e nel secondario, accresciuta dell'energia elettromagnetica U immagazzinata nel sistema:

$$Eq = W_1 + W_2 + U.$$

Confrontando con la (8) si deduce

$$(10) \quad W_2 = I_1 \phi - \frac{A}{r_1} - U$$

e quindi, eliminando A tra le (9) e (10)

$$(11) \quad W_2 = \frac{m^2}{m^2 + \frac{r_2^2}{r_1}} (I_1 \phi - U)$$

nella quale I_1 e ϕ denotano i valori finali dell'intensità e del flusso, e U l'energia totale richiesta per creare il flusso ϕ .

L'espressione in parentesi, se la permeabilità del ferro fosse costante, sarebbe eguale a U , poichè in tal caso è

$$\frac{I_1 \phi}{2} = \frac{L_1 I_1^2}{2} = U.$$

Invece, data la forma nota della curva di magnetizzazione del ferro, sarà

$$\frac{I_1 \phi}{2} > U.$$

Invero se la curva $A M B$ (fig. 1) rappresenta il flusso in funzione della corrente magnetizzante, l'energia spesa per produrre il flusso $\varphi = BC$ corrispondente all'intensità I_1 è data dall'area $A M B D$, mentre il valore di $\frac{I_1 \varphi}{2}$ è dato dall'area del triangolo $A B D$.

Fig. 1.

Risulta pure che l'espressione in parentesi contenuta nella (11) è rappresentata dall'area $A M B C$, per conoscere la quale basta una determinazione preliminare della curva di induzione magnetica e non occorre conoscere la legge con cui i_1 è funzione del tempo.

Supponiamo adesso, per studiare il dispositivo del Lori, che dopo l'annullamento della corrente magnetizzante, con che il flusso φ a causa dell'isteresi conserva un valore φ' poco diverso da φ , venga inserita bruscamente nel primario una f. e. m. inversa E , capace quindi di produrre alla fine del periodo variabile lo stesso valore assoluto φ del flusso.

Le equazioni differenziali rimangono le (5) e le (6), e rimane valida la (7), quando si tenga conto che E ha il segno cambiato

$$-E q = W_1 - \frac{E}{r_1} \int_{\varphi'}^{-\varphi} d\varphi - \frac{A}{r_1} = W_1 + \frac{E}{r_1} (\varphi + \varphi') - \frac{A}{r_1}$$

cioè

$$(8 \text{ bis}) \quad -E q = W_1 + I_1 \varphi + I_1 \varphi' - \frac{A}{r_1}$$

mentre per il secondario vale ancora la (9)

$$(9) \quad W_2 = \frac{m^2 A}{r_2}$$

Siccome in questo caso non c'è approssimativamente variazione dell'energia magnetica immagazzinata nel nucleo, il lavoro della pila sarà impiegato al riscaldamento del primario e del secondario, e a creare la totale energia elettromagnetica U del sistema, diminuita dell'energia magnetica u già posseduta; sarà quindi

$$-E q = W_1 + W_2 + U - u$$

e per confronto con la (8 bis) si ottiene

$$W_2 = -\frac{A}{r_1} + I_1 \phi + I_1 \phi' - (U - u).$$

Intanto $I_1 \phi'$ (energia mutua di un circuito percorso dalla corrente I_1 e di un campo, indipendente da I , capace di produrre nel circuito il flusso ϕ'), è eguale approssimativamente a $U - u$, poichè se si diminuisce fino a zero la corrente magnetizzante, con che sussiste alla fine il flusso permanente ϕ' , della totale energia elettromagnetica U si perde appunto $I_1 \phi$, e quindi la rimanente energia magnetica u è eguale a $U - I_1 \phi'$, cioè

$$I_1 \phi = U - u.$$

Si può quindi scrivere, senza errore grave,

$$W_2 = I_1 \phi' - \frac{A}{r_1}$$

che combinata con la (9) dà

$$W_2 = \frac{m^2}{m_2 + \frac{r_2}{r_1}} I_1 \phi$$

nella quale I_1 e ϕ hanno lo stesso valore che nella (11).

Se la permeabilità del ferro fosse costante, nel qual caso come si è visto la espressione in parentesi della (11) si riduce a $\frac{I_1 \varphi}{2}$, il nuovo valore dell'energia W_1 sarebbe doppio del primo.

Invece per l'osservazione già fatta che in realtà l'espressione in parentesi contenuta nella (11) è rappresentata dall'area $A M B C$ e poichè $I_1 \varphi$ è rappresentata dal rettangolo $A C B D$, si vede che il nuovo valore di W_1 è certamente minore del doppio del primitivo, pur essendo maggiore di questo.

Adunque con la manovra del Lori si sviluppa nel secondario una quantità di energia compresa tra una volta e due volte quella che si sviluppa alla semplice chiusura del circuito magnetizzante.

È facile inoltre riconoscere che con la manovra medesima si otterrà agli estremi del secondario una f. e. m. necessariamente limitata.

Si rappresenti, invero, nella figura 2 il ciclo d'isteresi del ferro adoperato, riferito al valore i della corrente magnetizzante; è chiaro che la manovra del Lori corrisponde essenzialmente ai tratti quasi rettilinei AB e CD della curva, nei

Fig. 2.

quali perciò $\frac{d\varphi}{di}$ ha un valore K elevato e sensibilmente costante, cosicchè si può porre

$$\frac{d\varphi}{dt} = K \frac{di}{dt}.$$

Se si trascura la reazione del secondario, la (5) diviene perciò

$$E = r_1 i_1 - K \frac{di_1}{dt}$$

che integrata darà

$$i_1 = \frac{E}{r_1} \left(1 - e^{-\frac{r_1}{K} t} \right)$$

e quindi

$$\frac{di_1}{dt} = -\frac{E}{K} e^{-\frac{r_1}{K} t}.$$

Il valore massimo di $\frac{di_1}{dt}$ sarà quindi

$$\left(\frac{di_1}{dt} \right)_m = -\frac{E}{K}$$

cioè si avrà

$$\left(\frac{d\phi}{dt} \right)_m = K \left(\frac{di_1}{dt} \right)_m = -E.$$

Adunque il valore massimo della f. e. m. al secondario che è $m \frac{d\phi}{dt}$, sarà indipendente da K, cioè dalla ripidità dei tratti di curva A B e C D ed eguale a $m E$, esso sarà quindi eguale al valore che si ottiene nella semplice chiusura del circuito con la manovra ordinaria del rocchetto, valore che, come sappiamo, è molto piccolo.

Del resto dalla formola generale

$$i_1 = \frac{E - \frac{d\phi}{dt}}{r_1}$$

essendo i_1 e E dello stesso segno, si deduce che $\frac{d\phi}{dt}$ è minore di E ; cosicchè col dispositivo del Lori la f. e. m. induttiva

agli estremi del primario non può superare la f. e. m. E della pila, come alla chiusura; mentre con la manovra ordinaria alla rottura essa si eleva a parecchie migliaia di volt.

La soppressione, adunque, della scintilla all'interruttore non basta a compensare la notevole diminuzione della distanza esplosiva dell'apparecchio.

Il nuovo artificio che permette l'impiego di un circuito magnetico chiuso, e del quale mi propongo adesso di studiare le condizioni di funzionamento è il seguente.

Su un nucleo rettilineo di ferro siano avvolti due circuiti eguali di filo grosso, in modo che lo stesso flusso di induzione li traversi entrambi.

In uno dei due agisca la corrente di una pila, periodicamente interrotta nel modo ordinario. Gli estremi dell'altro siano rilegati al primario (filo grosso) di un trasformatore a circuito magnetico chiuso.

Il sistema dei due induttori può essere rappresentato schematicamente come nella figura 3, nella quale 1 indica il primo nucleo con due avvolgimenti eguali, 2 il trasformatore; a e b sono il primario e il secondario del primo induttore, c e d quelli del secondo.

Fig. 3.

Sia L l'induttanza di a ; sarà anche L l'induttanza di b ed L il coefficiente di induzione mutua. Inoltre sia L' l'induttanza di c ed m il coefficiente di trasformazione dell'induttore 2, i_1 la corrente nel circuito A, i_2 la corrente in B; e si supponga trascurabile di fronte al grande valore delle f. e. m. induttive, la perdita ohmica di tensione in B.

Per una legge qualsiasi di variazione di i_1 , tanto alla chiusura che alla rottura, vale nel circuito B, qualora si trascuri la reazione di d , la relazione

$$(L + L') \frac{di_2}{dt} + L \frac{di_1}{dt} = 0$$

e quindi si ha

$$(12) \quad L \frac{di_2}{dt} = - \frac{L L'}{L + L'} \frac{di_1}{dt}$$

La totale f. e. m. di autoinduzione e di induzione mutua nel circuito A sarà quindi

$$L \frac{di_1}{dt} + L' \frac{di_2}{dt} = \frac{L L'}{L + L'} \frac{di_1}{dt}$$

cioè il circuito a si comporta in tutti gli effetti come un circuito solo avente l'induttanza $\frac{L L'}{L + L'}$ e quindi l'andamento della corrente in A sarà alla chiusura e alla rottura identico a quello che si otterrebbe in un rocchetto ordinario a secondario aperto e di induttanza $\frac{L L'}{L + L'}$. Dalla (12) si ricava poi

$$i_2 = - \frac{L}{L + L'} i_1 + \text{cost.}$$

La costante è determinabile con la condizione che la quantità totale di elettricità trasportata in un periodo completo dell'interruttore sia nulla; essa è cioè eguale a una frazione nota della corrente *media* che traversa il primario a .

Per conseguenza: la curva che rappresenta la corrente i_2 è identica a quella relativa alla i_1 ; soltanto l'asse delle ascisse deve spostarsi in modo da annullare in un periodo dell'interruttore l'area compresa tra la curva e l'asse medesimo; e, come per un cambiamento di scala, le nuove ordinate devono pensarsi ridotte in un rapporto conosciuto

$$\left(\frac{L}{L + L'} \right)$$

La differenza di potenziale agli estremi del primario c del trasformatore è intanto eguale a quella induttiva esistente agli estremi di a , cioè a $-\frac{L L'}{L + L'} \frac{di_1}{dt}$ quindi nel secondario d del trasformatore si sviluppa la stessa f. e. m. che si otterrebbe in un rocchetto ordinario avente lo stesso coefficiente di trasformazione m e l'induttanza $\frac{L L'}{L + L'}$, nel primario, e i due sistemi saranno elettricamente equivalenti.

Occorre adesso esaminare se dal lato tecnico il nuovo sistema presenta vantaggi su un rocchetto ordinario.

Per poter eseguire razionalmente il confronto ammetteremo che il trasformatore 2 e il rocchetto ordinario di confronto abbiano eguali gli avvolgimenti primario e secondario, e i nuclei abbiano lo stesso volume; soltanto il nucleo è chiuso nel primo e aperto nel secondo.

Dimostreremo che è possibile costruire l'induttore 1 in modo che nei due casi la intensità i_1 nel circuito della pila sia assolutamente la medesima, il che è indispensabile per assicurare l'identità di comportamento dell'interruttore, e l'uguaglianza in tutti i tempi di $\frac{di_1}{dt}$.

Se ne dedurrà che gli effetti elettrici del nuovo e dell'antico sistema sono assolutamente identici, mentre i vantaggi d'altra natura del nuovo sistema saranno resi più evidenti.

Il semplice fatto che il trasformatore 2 è a circuito magnetico chiuso implica, a parità di condizioni geometriche dell'avvolgimento primario, un accrescimento dell'induttanza rispetto a quella che si ottiene con un nucleo aperto.

Invero le considerazioni note intorno al valore più favorevole del fattore smagnetizzante nei primari dei rocchetti conducono alla regola che per un nucleo rettangolare aperto (fig. 4), la riluttanza magnetica $\frac{\lambda}{\mu S}$ del nucleo sia eguale a quella $\frac{\lambda}{S}$ dell'interferro ¹⁾. Se questo viene soppresso la rilut-

1) Armagnat, l. c. § 13.

tanza totale si ridurrà a metà, qualora il flusso, e quindi μ , conservino lo stesso valore di prima; in ogni caso per ottenere lo stesso flusso basterà una forza magnetomotrice, o un numero di ampegiri metà.

Fig. 4.

Se la permeabilità fosse costante questo apporterebbe che con lo stesso numero di giri di un rocchetto a nucleo aperto si avrebbe un coefficiente di autoinduzione doppio. Ciò non si verificava esattamente nel nostro caso, poichè la corrente nel primario del trasformatore a nucleo chiuso è alternativa, anzichè pulsante, ed ha limiti più ristretti di variazione rispetto a quella che circolerebbe nel primario di un rocchetto a nucleo aperto inserito direttamente in A; il che apporta un accrescimento della permeabilità.

In conclusione a parità di condizioni geometriche il primario del trasformatore a nucleo chiuso inserito in B, avrà un coefficiente di autoinduzione più che doppio di quello spettante al primario di un rocchetto a nucleo aperto inserito direttamente nel circuito A — chiamiamo Λ l'induttanza di quest'ultimo, e poniamo

$$L' = p \Lambda, \text{ con } p > 2.$$

Allora con tutto il sistema complesso 1, 2, la corrente primaria in A procederà come se l'induttanza avesse il valore

$$\frac{L L'}{L + L'} = \frac{p L \Lambda}{L + p \Lambda}$$

e la forza e. m. utile in d sarà

$$m \frac{p L \Lambda}{L + p \Lambda} \frac{di_1}{dt}.$$

Invece col semplice rocchetto a nucleo aperto l'induttanza in a sarà Λ e la forza e. m. utile al secondario sarà $m \Lambda \frac{di_1}{dt}$.

Se vogliamo che la legge di variazione di i_1 sia identica nei due casi, deve essere

$$\frac{p L \Lambda}{L + p \Lambda} = \Lambda$$

cioè

$$(13) \quad L = \frac{p \Lambda}{p - 1}$$

condizione che è ben facile realizzare essendo L a nostro arbitrio; con ciò i due sistemi saranno elettricamente equivalenti.

Il sistema da noi proposto richiede però l'aggiunta dell'induttore l .

Questa aggiunta non è un grave inconveniente, poichè si tratta di un volume limitato di ferro su cui vanno avvolti pochi strati di filo grosso, cosicchè il valore di L può essere reso notevole senza grave spesa.

Intanto abbiamo visto che a parità di condizioni geometriche tra il trasformatore 2 e il rocchetto ordinario di riferimento si ha

$$p > 2.$$

Se invece il trasformatore 2 avesse dimensioni minori, conservando lo stesso coefficiente di trasformazione, sarebbe ancora possibile ottenere l'equivalenza negli effetti elettrici col rocchetto Λ , purchè si modifichi l'induttore l in modo che sia ancora soddisfatta la (13); cosicchè *si potrà ridurre*

le dimensioni del trasformatore 2, purchè sia sempre, e notevolmente,

$$p > 1$$

alla quale condizione, per la (13), è subordinata la possibilità di costruzione del trasformatore 1. In altri termini, per equiparare in tutti gli effetti il sistema 1, 2 e l'unico rocchetto Λ si potrà diminuire le dimensioni del trasformatore 2, di difficile costruzione, purchè si accrescano in corrispondenza quelle del trasformatore 1 che è tanto più semplice.

Ma indipendentemente da questo vantaggio, certo non indifferente, e anche lasciando eguali le dimensioni del trasformatore 2 e del rocchetto di riferimento Λ , un vantaggio rilevante si ha nella migliore distribuzione degli avvolgimenti per l'adozione del circuito magnetico chiuso, cui corrisponde una minore dispersione del flusso.

Invero nei rocchetti ordinari l'avvolgimento secondario è *condensato* nella regione centrale del nucleo, cosicchè delle spire del primario una notevole parte, mentre accresce solo di poco il flusso utile al secondario, è interamente attiva nello elevare perniciosamente la tensione $L \frac{di_1}{dt}$ al primario, prolungando quindi la fase delle scariche all'interruttore. Invece con un circuito magnetico chiuso le spire secondarie possono essere distribuite lungo tutto il primario, cioè lungo uno spazio circa doppio, il che permette di accrescerne il numero, o di diradarle notevolmente e quindi di ricorrere a filo più grosso, accrescendo la potenza utile e facilitando la costruzione.

Complicazioni potranno sorgere per l'isteresi del ferro, in quanto nel trasformatore 2 questo seguirà cicli non simmetrici per la disuguaglianza delle correnti opposte che si hanno nel circuito B a ogni chiusura e apertura del circuito A.

Si può prevedere che all'onda generata in B dalla chiusura di A corrisponda una energica magnetizzazione permanente del nucleo chiuso con restituzione dell'energia immagazzinata alla successiva onda dovuta all'apertura di A. Si

possono ripetere adesso le considerazioni già fatte sul secondo dispositivo del Lori, con la differenza che, durante la smagnetizzazione, nel circuito B agisce la enorme f. e. m. dovuta alla rottura di A, anzichè la f. e. m. limitata della pila come nell'artificio suddetto.

Ciò adunque non può esser di danno al funzionamento dell'apparecchio, permettendo anzi di concentrare nella scarica di apertura (la sola capace di traversare il secondario *d* rilegato allo spinterometro), una più rilevante quantità di energia.

Una ulteriore discussione aprioristica di questi particolari riuscirebbe oziosa; sarebbe invece molto più conducente la prova sperimentale che io non posso tentare per deficienza di mezzi.