

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI
ANNO CCXCVI.

1899

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME VIII.

2° SEMESTRE.



ROMA
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1899

peso di acqua, il numero delle interruzioni è all'incirca una volta e mezza maggiore che adoperando una soluzione di solo acido solforico al 10 %.

6.° Oltre a ciò, con l'uso del bicromato potassico, il liquido non s'intorbida, l'agitazione per lo sviluppo gassoso è minima, e viene anche ridotto il riscaldamento, il quale si effettua assai lentamente.

Fisica. — *Sull'interruttore di Wehnelt.* Nota del dott. O. M. CORBINO (1), presentata dal Socio BLASERNA.

1. Sembra ormai fuori dubbio che nell'interruttore di Wehnelt più che l'azione elettrolitica intervenga l'azione termica della corrente. L'idea, messa già innanzi dallo stesso Wehnelt, è stata sviluppata analiticamente in un pregevole studio del Simon (2).

Questi ebbe a constatare che, per un dato interruttore, al variare delle condizioni del circuito (autoinduzione e resistenza) e della forza elettromotrice agente, il numero di interruzioni per secondo si modifica in modo che la quantità di calore svolta all'anodo a ogni periodo è una quantità costante.

Partendo da questo fatto e ammettendo che la costante di tempo del circuito sia una frazione piccolissima del periodo di interruzione, egli pervenne alla espressione seguente per la durata

$$T = \frac{3}{2} \frac{L}{w} + \frac{C_1 w}{E^2} + T_2$$

ove L indica l'autoinduzione e w la resistenza del circuito, E la forza elettromotrice agente, C_1 una costante per un dato interruttore e T_2 il tempo durante il quale la corrente resta interrotta. La formula può essere semplificata osservando che, secondo l'esperienza, T_2 è nullo.

L'influenza dell'autoinduzione, oltre che dal Simon, era stata già segnalata non solo dal Wehnelt, ma da tutti coloro che si occuparono dell'argomento; ed era stato trovato che il numero d'interruzioni diminuisce al crescere dell'autoinduzione del circuito, e, veramente, non dell'autoinduzione propria (del solo circuito primario con o senza ferro) ma dell'apparente, cioè di quella che dipende anche dalla presenza di altri circuiti o di masse metalliche che reagiscono su quello da cui subiscono l'induzione.

Quando il circuito secondario o altri circuiti parassiti sono in presenza, non è possibile determinare a priori il valore dell'autoinduzione apparente del primario, poichè essa dipende, oltre che dalla posizione, dalle dimensioni e dalla natura dei primi, anche dal periodo, in modo calcolabile solo quando le correnti sono sinusoidali. Si potrebbe in questi casi ricorrere, per tale determinazione, a un metodo di sostituzione. Se infatti all'autoinduzione

(1) Lavoro eseguito nel laboratorio di Fisica della R. Università di Palermo, diretto dal prof. D. Macaluso.

(2) Wied. Ann. 68, pag. 273, 1899.

ignota si sostituisce un'autoinduzione che possa variare in modo misurabile (rocchetti senza ferro e senza masse metalliche), e si rende la resistenza ohmica complessiva del circuito eguale alla primitiva, si avrà un suono della stessa altezza di prima solo quando l'autoinduzione variabile sarà eguale a quella cercata. Si può a questo modo facilmente determinare l'influenza che sull'autoinduzione ha la presenza del ferro.

L'effetto dell'autoinduzione sul numero di interruzioni non può essere però, anche seguendo le idee del Simon, solo quello esplicitamente indicato dalla sua formola; e infatti al variare dell'autoinduzione L varia anche la quantità di calore sviluppata, nell'atto della interruzione, all'anodo, sotto forma di scintilla di apertura; questa diviene p. es., più rumorosa e brillante al crescere dell'autoinduzione; e tale riscaldamento prodotto a intervalli rapidissimi all'anodo, deve modificare la C_1 che sarà perciò funzione di L . La formola del Simon non si presta quindi a un controllo sperimentale per quanto si riferisce ad L , e la sua teoria resta perciò incompleta su questo punto.

Ugualmente discutibile è la ipotesi secondo la quale la costante di tempo del circuito sarebbe una piccola frazione del periodo. Infatti, se nelle esperienze del Simon, in cui la resistenza del circuito era molto grande, ciò è ammissibile, non lo è più nei casi, che sono i più comuni, in cui la corrente viene interrotta prima che sia cessato il periodo variabile di chiusura.

2. Mettendo per ora da parte tale questione che sarebbe prematuro discutere completamente, l'uso dell'interruttore si presta per delle esperienze che possono presentare, da per sè, un certo interesse.

ESPERIENZA 1^a. — In un circuito del quale facevano parte una batteria di accumulatori e l'interruttore di Wehnelt, era inserito un rocchetto di tre strati (filo di 2mm) nella cui cavità veniva secondo i casi introdotto un fascio di fili di ferro dolce avente il diametro di 5 cm. circa. Introducendo il ferro nella cavità, e facendo crescere la resistenza del circuito, il numero delle interruzioni decresce, e in tal modo si può perfino avere una interruzione ogni *cinque o sei* minuti secondi. Ciascuna interruzione è accompagnata da un colpo secco, analogo a quello che si ha con gli ordinari interruttori, mentre l'ago dell'amperometro segna una lieve perturbazione e riprende subito la posizione di prima. Aumentando ancora per poco la resistenza, la corrente passa in modo continuo nella vaschetta con elettrolisi silenziosa. Ciò avviene quando il calore svolto all'anodo non è più sufficiente a provocare l'evaporazione del liquido, perchè assorbito dalla intera massa. Facendo crescere, anche di pochissimo, l'intensità limite tra il passaggio continuo e il passaggio intermittente della corrente, intensità che chiamerò critica, le interruzioni aumentano rapidamente di numero. Questi fatti servono a precisare le idee del Simon, risultando da essi che già un piccolo eccesso sul calore propagato a tutta la massa con l'intensità critica, è sufficiente a produrre l'interruzione.

ESPERIENZA 2^a. — Ripetendo l'esperienza prima senza il nucleo di ferro si può anche ottenere, per un valore opportuno della resistenza, elettrolisi silenziosa senza interruzioni; aumentando un poco l'intensità corrispondente, le interruzioni cominciano meno rumorose che nel caso precedente, per la diminuita auto-induzione del circuito, ma tuttavia abbastanza nette; però, se mentre passa la corrente senza interruzioni si introduce nella cavità il nucleo di ferro, anche lentissimamente, cominciano le interruzioni che arrivano a cinque o sei per secondo quando il ferro è totalmente introdotto. Portando via il ferro, le interruzioni cessano di prodursi. Or che il ferro modifichi la frequenza e il carattere delle interruzioni che si producono anche senza di esso si capisce; ma non mi sembra facile spiegare con la teoria termica, che esso provochi la produzione delle interruzioni nella corrente continua, che sarà solo indebolita durante l'introduzione del ferro, quando la quantità di calore svolta all'anodo non è maggiore di quella di prima.

ESPERIENZA 3^a. — Sullo stesso nucleo di ferro sono avvolti due strati di filo grosso, i quali fan parte di un circuito che contiene anche una batteria di 50 accumulatori, l'interruttore di Wehnelt, e una resistenza non induttiva. — Le interruzioni producono un certo suono di cui si nota l'altezza.

Si sostituisce allora alla resistenza addizionale una resistenza eguale, avente però una induttanza di circa 46 millihenry (un rocchetto senza ferro). — Il suono si abbassa di una terza minore.

Quindi si dispone attorno al primo nucleo una spira circolare di filo di rame (di mm. 2,5) avente il diametro di 8 cm. Il suono riprende l'altezza di prima; basta cioè la presenza di una spira secondaria per diminuire la autoinduzione apparente del circuito avvolgente il nucleo di una quantità eguale a 46 millihenry, mentre essa era di circa 118 millihenry, come fu determinato col metodo esposto a pag. 13.

ESPERIENZA 4^a. — Il polo positivo di una batteria di 48 accumulatori è rilegato al filino di platino dell'interruttore *W*; all'altro elettrodo di questo il conduttore si biforca: in una derivazione è inserita la solita bobina *N* che avvolge il nucleo di fili di ferro; nell'altra un amperometro ed una elettrocalamita Rumkorff *E*. L'altro estremo del circuito *E* è rilegato con la placca negativa del 6° accumulatore, mentre quello del circuito *N* può rilegarsi a volontà, o alla stessa placca, o alla negativa del 1° accumulatore. Nel primo caso la corrente interrotta dall'apparecchio di Wehnelt si biforca nei due circuiti e nella branca *E* si ha una intensità media di 6,5 ampère⁽¹⁾. Nel secondo caso si sovrappongono nella branca *E* la corrente

(1) Se le autoinduzioni dei due circuiti sono disuguali, si avrà all'atto della interruzione una corrente tra i due circuiti, diretta in quello di maggior autoinduzione, inversa nell'altro, cosicchè la intensità della corrente non raggiunge il valore zero nel primo e diventa negativa nel secondo. Le intensità medie nei due circuiti dipendono soltanto però, come dev'essere, dalle loro resistenze ohmiche.

variabile di prima e la corrente continua dovuta ai cinque accumulatori interposti tra i due circuiti derivati.

Questa seconda corrente, opposta alla prima, aveva per sè sola una intensità costante di 6,5 ampère. Per la sovrapposizione delle due si hanno nella branca *E* delle correnti alternate con circolazione nei due sensi di quantità eguali di elettricità; l'ago dell'amperometro resta a zero, e la elettrocalamita, che si magnetizzava fortemente per il passaggio dell'una o dell'altra delle due correnti, resta completamente smagnetizzata, come risulta sia dalla

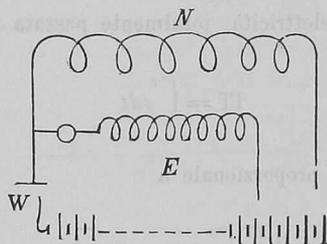


FIG. 1.

mancanza di attrazione su un fascetto di ferro dolce, sia dalla assenza del fenomeno di Faraday (rotazione magnetica del piano di polarizzazione della luce).

Disponendo i contatti in guisa che le correnti opposte, di intensità medie eguali, si sovrappongano non più nella branca *E* ma nella branca *N*, nella quale si trova, come si disse, un nucleo di fili di ferro, l'attrazione sul ferro dolce viene di molto indebolita, ma non annullata. Siccome in quest'ultimo caso erano evitate le correnti indotte nella massa, si potrebbe a prima vista attribuire la diminuzione di magnetizzazione avuta con la sovrapposizione delle due correnti a un ritardo della magnetizzazione del nucleo, per cui questo non seguirebbe le variazioni rapidissime del campo magnetizzante.

Di tale ritardo, presumibile dopo i risultati del Maurian⁽¹⁾ e di altri, non è necessario invocare l'esistenza per spiegare il fatto osservato, poichè la stessa cosa si sarebbe trovata anche se il ferro seguisse senza ritardo le vicissitudini del campo magnetizzante. Ed infatti la cosiddetta *forza portante* del nucleo essendo proporzionale al quadrato dell'intensità di magnetizzazione, sarà anche proporzionale al quadrato della intensità della corrente, se si suppone costante la suscettività del ferro. Con una corrente periodicamente

(1) Annales de Ch. e Phys. (7), XIV, pag. 282, 1898.

variabile l'attrazione, si potrà poi ritenere proporzionale all'espressione

$$\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt$$

ove T è il periodo di variazione della corrente. Aggiungendo alla corrente variabile la corrente d'intensità costante $-I$, l'attrazione sarà proporzionale a

$$\frac{1}{T} \int_0^T (i-I)^2 dt = \frac{1}{T} \left[\int_0^T i^2 dt + I(IT - 2 \int_0^T i dt) \right]$$

Siccome la quantità di elettricità totalmente passata in un senso è nulla, sarà

$$IT = \int_0^T i dt$$

Quindi l'attrazione sarà proporzionale a

$$\frac{1}{T} \left[\int_0^T i^2 dt - I^2 T \right]$$

cioè sarà eguale alla differenza tra l'attrazione che sarebbe prodotta dalla corrente variabile e quella che sarebbe prodotta dalla corrente costante.

Si spiega così la diminuzione dell'attrazione nella massima parte del periodo.

Poichè anche all'effetto Joule si possono applicare (anzi rigorosamente) queste considerazioni, se ne deduce che con una disposizione analoga alla precedente si potrebbe in un circuito (ad es. il primario di un rocchetto) avere le stesse variazioni nella intensità della corrente con riscaldamento minore che nella disposizione ordinaria.

ESPERIENZA 5^a. — Inviando nel primario di un trasformatore la corrente interrotta con l'apparecchio di Wehnelt, si ha nel secondario rilegato all'elettrocalamita una corrente alternata di circa 3 ampère d'intensità efficace, senza magnetizzazione sensibile del nucleo dell'elettrocalamita, mentre una corrente continua di pochi decimi di ampère produce una magnetizzazione notevole.

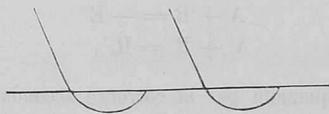
Questo fatto è da attribuirsi interamente alle correnti indotte negli strati superficiali del nucleo massiccio. Infatti, se il secondario del trasformatore è rilegato al primario di un rocchetto di Rumkorff di media grandezza (nel quale il nucleo di ferro è frazionato in fili) quando il secondario di questo è chiuso metallicamente, il nucleo non si magnetizza fortemente perchè, come è noto, i flussi magnetici creati dal primario e dal secondario sono opposti e di intensità quasi eguale; se però si portano gli estremi del secondario a

grande distanza in modo che tra loro non si abbiano scintille, il nucleo manifesta nettamente una non debole magnetizzazione.

ESPERIENZA 7^a. — Un rocchettino è inserito nel circuito del secondario del trasformatore chiuso su una resistenza qualunque.

La forma delle curve rappresentanti la intensità della corrente in funzione del tempo si è studiata con un tubo di Braun diretto perpendicolarmente all'asse del rocchettino, e nel quale passa la scarica di una macchina Toepler a quaranta dischi.

Il cerchietto fluorescente prodotto dalla scarica viene esaminato con uno specchio girante; le curve vedute nello specchio hanno all'incirca la forma disegnata qui a fianco.



La teoria permette, facendo qualche ipotesi che si presenta come abbastanza verosimile, di trovare una formola che dà la intensità nel secondario in funzione del tempo e delle costanti relative ai circuiti.

Siano L , R la induttanza e la resistenza del primario, E la forza elettromotrice agente in esso; L' , R' la induttanza e la resistenza del secondario nel quale si suppone non esistano altre forze elettromotrici; M il coefficiente di induzione mutua dei due circuiti, i ed i' le intensità delle rispettive correnti.

Le leggi dell' induzione danno

$$(1) \quad \left\{ \begin{array}{l} L \frac{di}{dt} + M \frac{di'}{dt} + Ri - E = 0 \\ L' \frac{di'}{dt} + M \frac{di}{dt} + R'i' = 0 \end{array} \right.$$

Queste equazioni ammettono, come è noto, degli integrali generali dati dalle relazioni

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} Ri - E = Ae^{\rho t} + Be^{\rho' t} \\ R'i' = A'e^{\rho t} + B'e^{\rho' t} \end{array} \right.$$

ove A , B ; A' , B' , sono costanti determinabili con l'assegnare valori particolari al tempo, e ρ , ρ' sono le due radici, entrambe negative, dell'equazione

$$(LL' - M^2)\rho^2 + (L'R + LR')\rho + RR' = 0.$$

La determinazione delle costanti può farsi nel nostro caso in base alle considerazioni seguenti.

Risulta dall'esperienza che a ogni periodo c è un istante in cui la intensità si annulla nel circuito primario, e che dopo un tempo praticamente trascurabile, la resistenza nella vaschetta riprende il suo valore normale; si prenda tale istante come origine dei tempi e sia i'_0 il valore che allora acquista i' nel secondario. Le equazioni (1) e (2) danno:

$$\begin{aligned} \frac{L}{R}(Ae + Bq') + \frac{M}{R'}(A'e + B'q') &= E \\ \frac{M}{R}(Ae + Bq') + \frac{L'}{R'}(A'e + B'q') &= -i'_0 R' \\ A + B &= -E \\ A' + B' &= Ri'_0 \end{aligned}$$

Si deduce da queste equazioni per la corrente secondaria:

$$(3) \quad A'(q' - e) = \frac{Li'_0 R' + ME}{R} e q' - R' i'_0 q'$$

e

$$(4) \quad i' = \frac{1}{R'} [A' e^{e't} + (i'_0 R' - A') e^{e''t}].$$

Per la determinazione di i' bisogna quindi conoscere i'_0 . Ora, come risulta dalle esperienze del Wehnelt, essendo il tempo in cui l'intensità passa dal valore massimo a zero, piccolissimo rispetto alle costanti di tempo dei due circuiti, si può ammettere che i'_0 differisca poco dal valore che corrisponde all'istante in cui comincia l'interruzione della corrente primaria, valore che è dato, come è noto, dall'espressione

$$i'_0 = \frac{M}{L'} I$$

indicando con i il valore dell'intensità nel primario all'istante della rottura. In questa ipotesi, le (3) e (4) divengono

$$(3') \quad A'(q' - e) = \frac{M}{L'R} [RR' + (LR' + L'R)e] I$$

e

$$(4') \quad i' = \frac{A'}{R'} (e^{e't} - e^{e''t}) + \frac{M}{L'R'} I e^{e't}.$$

Il valore di I è anch'esso ignoto. Il Simon ammette che nel primario la corrente raggiunga, anzi presto, il valore che corrisponde alla forza elettromotrice E e alla resistenza R , e ciò è probabile quando R è piuttosto grande, e la presenza del secondario attenua l'autoinduzione apparente del primario.

In tali condizioni, cioè ammettendo che sia

$$I = \frac{E}{R}$$

le (3') e (4') divengono

$$A'(e' - e) = \frac{ME}{L'R^2} [RR' + (LR' + L'R)e]$$

$$i' = \frac{A'}{R'}(e^{e't} - e^{e't'}) + \frac{ME}{L'R} e^{e't'}$$

Queste formole risolvono il problema. Esse valgono per ciascun periodo successivo.

Fisica. — *Correnti dissimetriche ottenute nel secondario di un trasformatore, interrompendo nel primario la corrente con l'apparecchio di Wehnelt* ⁽¹⁾. Nota del dott. O. M. CORBINO, presentata dal Socio BLASERNA.

1. La corrente di una batteria di accumulatori si propaghi attraverso all'interruttore di Wehnelt e al primario di un trasformatore a circuito magnetico aperto (bobina a due avvolgimenti ⁽²⁾) con nucleo di fili di ferro).

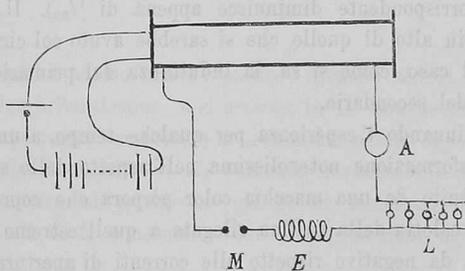


FIG. 1.

Il secondario fa parte di un circuito che comprende una elettrocalamita *E*, un micrometro a scintille *M*, un amperometro *A* ed una batteria *L* di lampade a incandescenza in derivazione. Al posto di *M*, le cui palline distano

⁽¹⁾ Lavoro eseguito nel Laboratorio di fisica della R. Università di Palermo, diretto dal prof. D. Macaluso.

⁽²⁾ Il primario ha 266 spire, il secondario 660.