

ATTI  
DELLA  
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCXII.

1915

---

SERIE QUINTA

---

RENDICONTI

---

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

---

VOLUME XXIV.

2° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1915

Ma, evidentemente,  $n \geq 2$ : dunque, infine,

$$k \leq 2p - 3.$$

Di qua segue che:

*Se una varietà algebrica di irregolarità superficiale  $p$  non contiene che un numero finito di sistemi regolari di integrali riducibili, il suo indice di singolarità non può superare  $2p - 3$ ;*

e inoltre che:

*Se una varietà algebrica di irregolarità superficiale  $p$  ha l'indice di singolarità  $2p - 2$  e contiene qualche sistema regolare di integrali riducibili, ne contiene senz'altro infiniti (1°).*

Queste ultime due proposizioni danno, per  $p = 2$ , dei teoremi ben noti, dovuti al sig. Humbert.

**Meccanica.** — *Profili di pelo libero in canali di profondità finita.* Nota di U. CRISOTTI, presentata dal Socio T. LEVI-CIVITA.

Questa Nota sarà pubblicata nel prossimo fascicolo.

**Fisica.** — *Sul funzionamento del rocchetto di Ruhmkorff con gli interruttori elettrolitici (1°).* Nota di O. M. CORBINO e G. C. TRABACCHI, presentata dal Socio P. BLASERNA.

In una precedente Nota (2°) sono stati esposti i risultati di uno studio sul funzionamento, con corrente alternata, di un interruttore elettrolitico costituito da una punta di ferro, di nickel o di platino, e una lamina di alluminio in una soluzione di sale di Seignette; è stato posto in rilievo che con tale interruttore inserito nel primario di un rocchetto, destinato ad alimentare un tubo generatore di raggi X, il funzionamento di questo era molto regolare e che le correnti inverse nocive erano evitabili con facilità di gran lunga superiore che non nel caso della corrente continua impiegata con l'ordinario interruttore di Wehnelt.

Che con la corrente alternata si ottengano i migliori risultati ricorrendo all'interruttore modificato, è cosa evidente: potrebbe però nascere il dubbio

(1°) Si ricordi che per il teorema, cui si riferisce la cit. 2°, ove l'indice di singolarità fosse  $\geq 2p - 1$ , la varietà ammetterebbe senz'altro infiniti sistemi regolari di integrali riducibili.

(1) Lavoro eseguito nell'Istituto fisico della R. Università di Roma.

(2°) G. C. Trabacchi, *Interruttore elettrolitico per la corrente alternata*, Rend. R. Accad. Lincei, 1915, 2° sem., pag. 126.

che, quando è arbitraria la scelta del tipo di corrente (alternata o continua) e l'uso dell'interruttore elettrolitico s'impone per ragioni di semplicità, non sia abbastanza giustificata la scelta della corrente alternata.

Avendo istituito nuove ricerche, che hanno pienamente confermato i primitivi risultati, e ne facilitano la interpretazione, crediamo utile di riferirne in questa Nota.

Per le ricerche ci siamo serviti di un buon rocchetto intensivo da 30 cm. di scintilla, che corrisponde al modello più generalmente usato negli impianti radiologici di media potenza. Gli elementi da studiare sono: la corrente primaria, la corrente secondaria che attraversa il tubo, la forza elettromotrice agente nel secondario; occorre seguire questi elementi nelle loro rapidissime variazioni col tempo, poichè ben poco insegnerebbe, ai fini della nostra ricerca, l'osservazione dei valori medi o efficaci forniti dai comuni strumenti di misura.

Si prestava invece assai bene lo studio col tubo di Braun della deviazione del fascio catodico prodotta dall'elemento elettrico da misurare, specialmente utilizzando l'artificio già adoperato da molto tempo da uno di noi <sup>(1)</sup>, di combinare cioè ortogonalmente gli spostamenti dovuti a due elementi elettrici che nello stesso tempo variano con lo stesso ritmo; con che si ottengono, sul disco fluorescente, dei diagrammi stabili di cui è agevole la interpretazione.

Per la osservazione della corrente primaria bastava un rocchetto di poche spire traversato dalla corrente medesima e agente sul tubo.

Per lo studio della corrente secondaria, ci siamo serviti di un rocchettino a molte spire di filo fine e isolato, senza ferro, inserito fra un polo del rocchetto, messo a terra, e un elettrodo del tubo. Infine per la f. e. m. attiva nel secondario ci siamo serviti di uno dei frazionamenti del circuito primario che forma uno strato isolato ricoprente l'intero nucleo. Rilegando ai poli di questo avvolgimento una molto elevata resistenza non induttiva e una piccola bobina agente sul tubo Braun, la corrente ottenuta può ritenersi proporzionale alla f. e. m. agente, la quale, a sua volta, è proporzionale alla derivata dell'induzione magnetica nel nucleo, e quindi alla f. e. m. attiva nel secondario a circuito aperto.

Non è però da confondere questa f. e. m. con la tensione reale esistente ai poli del tubo, la quale ne differisce per la perdita di tensione ohmica lungo il secondario e per la differenza di potenziale elettrostatica o di capacità dovuta alle spire del secondario stesso, che fra loro e rispetto al primario agiscono come un condensatore a capacità distribuita. La perdita di tensione ohmica può essere trascurata, poichè non raggiunge, con la massima corrente

<sup>(1)</sup> O. M. Corbino, *Ricerche teoriche e sperimentali sul rocchetto Ruhmkorff*. Ass. elettr. ital., Atti, 1907.

avuta nel tubo, se non una piccolissima frazione della totale tensione attiva. Più difficile a determinare è l'effetto dovuto alla funzione di condensatore; ma, come sarà visto più in là, è possibile di discutere il problema che ci occupa tenendone il debito conto.

I tre rocchetti rivelatori della corrente primaria, della corrente secondaria e della f. e. m. attiva nel secondario agivano sul tubo Braun o separatamente, per le osservazioni allo specchio girante, o combinandoli due per volta ortogonalmente per lo studio dei diagrammi stabili. Il tubo Braun era di grande modello, e lo si alimentava con una macchina elettrostatica a molti dischi.

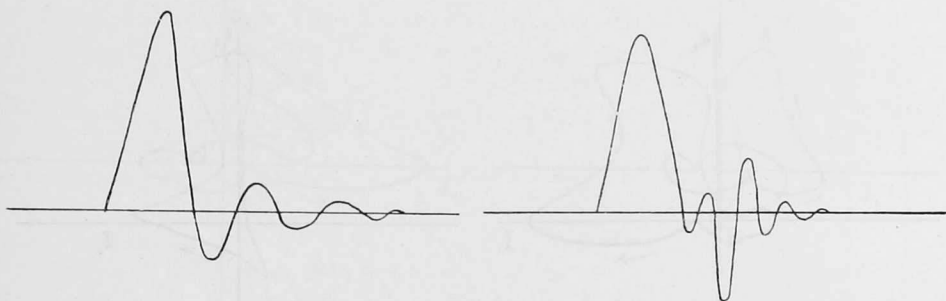


FIG. 1.

FIG. 2.

Dovendosi procedere al confronto tra il funzionamento del rocchetto con corrente continua e col Wehnelt ordinario, ovvero con corrente alternata e con l'interruttore modificato, si cercò anzitutto di realizzare le migliori condizioni possibili per entrambi i casi, modificando opportunamente la f. e. m. agente nel primario e il numero di spire di questo; il che era reso possibile dal fatto che il rocchetto usato, come tutti i rocchetti moderni, ha l'avvolgimento di filo grosso diviso in alquante sezioni.

La corrente secondaria attraversante il tubo è rappresentata, come si osserva allo specchio girante, dalle figg. 1 e 2.

Quest'ultima si riferisce all'uso di una f. e. m. primaria costante e dell'interruttore Wehnelt; la prima fu invece ottenuta con una f. e. m. primaria alternativa di 45 periodi e con l'interruttore modificato. Si osserva subito, dalle figure, che la prima scarica di senso utile è seguita da oscillazioni che, nel caso della fig. 1, hanno l'aspetto consueto delle scariche oscillatorie. Lo smorzamento è piuttosto forte passando dalla prima alla seconda; ma si attenua nelle oscillazioni successive. Si tratta evidentemente di un vero processo di scarica oscillatoria proveniente dalla capacità propria del secondario che viene caricata dalla f. e. m. di rottura. Il primo semiperiodo è notevolmente più lungo dei successivi; ciò è dovuto al fatto che la prima

mezza oscillazione si svolge mentre il circuito primario è aperto, per la presenza della guaina gassosa intorno alla punta immersa; le altre si svolgono, come si vedrà in seguito, quando il contatto fra punta e liquido è ristabilito, e, per ciò, anche il primario partecipa al processo oscillatorio del secondario, reagendo su questo col diminuirne il periodo proprio. Modificando la resistenza del circuito primario e la lunghezza della punta (con che si possono avere correnti secondarie medie, misurate con il milliamperometro, d'intensità più o meno grande) si osserva che si modificano insieme l'ampiezza della prima oscillazione e la sua durata, di modo che le semionde ottenute coi vari regimi sono all'incirca *simili* fra loro.

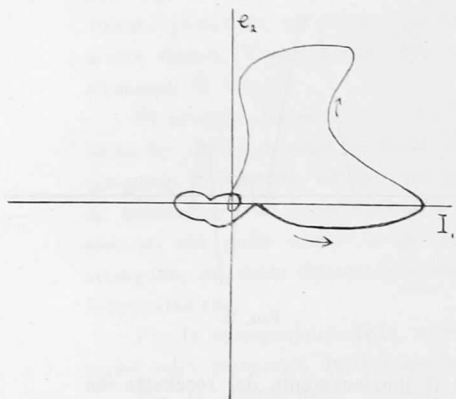


FIG. 3.

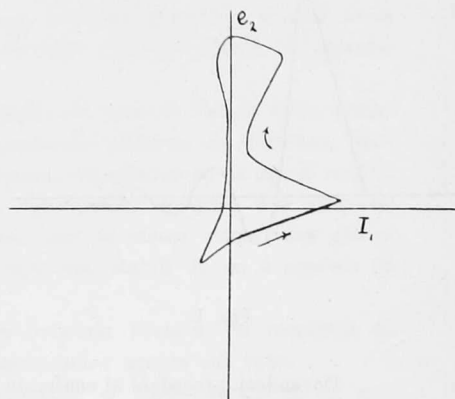


FIG. 4.

Ne risulta che se l'intensità media secondaria passa per esempio da 1 a 3 milliampères, la corrente massima aumenta da 1 a  $\sqrt[3]{3}$ , e pure da 1 a  $\sqrt[3]{3}$  aumenta la sua durata.

Dalla osservazione della fig. 1 si riconosce, inoltre, che la presenza di correnti inverse nel tubo è esclusivamente connessa col processo oscillatorio dovuto alla capacità propria del secondario, e perciò è inevitabile con qualunque mezzo d'interruzione della corrente primaria.

Queste inversioni, inevitabili anche con qualunque valvola, non sembra che abbiano azione nociva sul tubo. Manca però ogni traccia della corrente inversa dovuta alla chiusura che sussegue all'interruzione. Questa corrente di chiusura, che si sovrappone al processo oscillatorio, è invece ben evidente nella figura 2, ottenuta ricorrendo alla corrente continua ed all'interruttore Wehnelt ordinario. Essa traversa il tubo mentre ancora è adescato dal processo oscillatorio dovuto alla rottura, e perciò può essere attenuata solo con l'impiego di valvole. Questa forma della corrente secondaria conferma quel che uno di noi aveva già enunciato, fondandosi sulla semplice

osservazione dell'aspetto del tubo, la quale aveva già rivelato la mancanza delle correnti inverse, ricorrendo alle correnti alternate.

La interpretazione del meccanismo con cui ha luogo la constatata assenza delle correnti inverse di chiusura nella fig. 1 viene resa agevole dallo studio degli altri elementi elettrici che caratterizzano il funzionamento del rocchetto nei due casi.

Le figg. 3 e 4 rappresentano i diagrammi osservati combinando ortogonalmente la corrente primaria (orizzontale) e la f. e. m. nel secondario, quando questo è aperto.

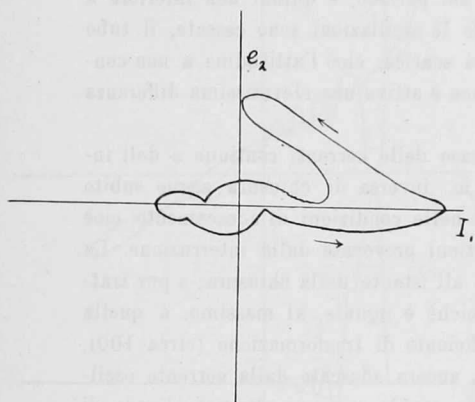


FIG. 3<sup>bis</sup>.

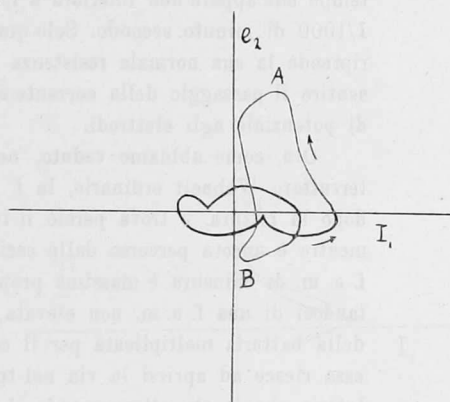


FIG. 4<sup>bis</sup>.

La prima fu ottenuta con corrente alternata; la seconda, con corrente continua. Esaminiamo dettagliatamente la prima. Quando la corrente primaria nella sua onda — che chiameremo positiva, e che può passare liberamente per l'elettrodo di alluminio — ha di poco superato l'intensità massima, prende origine la f. e. m. secondaria; e la corrente di capacità che percorre il secondario (e che, come abbiamo visto, è di tipo oscillatorio) reagisce sul primario, trasferendovi l'oscillazione. La corrente primaria poscia ricomincia nella sua onda negativa (ridotta dall'alluminio), mentre la f. e. m. secondaria è molto piccola e *dello senso senso di quella utile di apertura*.

La f. e. m. secondaria assume un senso opposto, pur restando piccolissima, solo quando la  $di_1/dt$  è positiva (ramo inferiore del diagramma 3). Questa ultima fase è inattiva, o quasi, nel tubo. Se invece si osserva la fig. 4 ottenuta con la corrente continua ed il Wehnelt ordinario, si riconosce che la f. e. m. secondaria di senso utile si manifesta, com'è naturale, durante la rottura della corrente primaria, ed è anche essa accompagnata da una oscillazione; ma la f. e. m. utile è subito seguita (per la chiusura della primaria, che avviene immediatamente dopo) da uno sbalzo notevole di f. e. m. di senso opposto, che come vedremo, determina nel tubo il passaggio della corrente nociva. Le figg. 3<sup>bis</sup> e 4<sup>bis</sup> sono corrispondenti alle 3 e 4, ma ottenute con il circuito secondario chiuso sul tubo.

Il processo che si svolge nei due casi pare adunque il seguente: Avvenuta la interruzione brusca della corrente primaria (nel caso della corrente alternata), il tubo è traversato da una scarica di tipo oscillatorio, che abbiamo osservato nella fig. 1. È però da notare che, appena iniziata la oscillazione, lo smorzamento delle successive alla prima risulta abbastanza piccolo, ciò che prova che il tubo, in queste condizioni di avvenuto adescamento, offre una resistenza ben piccola; tali condizioni, che rendono facile di far passare nel tubo correnti nei due sensi, perdurano alquanto, e precisamente per un tempo che appare non inferiore a  $1/20$  del periodo, e quindi non inferiore a  $1/1000$  di minuto secondo. Solo quando le oscillazioni sono cessate, il tubo riprende la sua normale resistenza alla scarica, cioè l'attitudine a non consentire il passaggio della corrente se non è attiva una elevatissima differenza di potenziale agli elettrodi.

Ora, come abbiamo veduto, nel caso delle correnti continue e dell'interruttore Wehnelt ordinario, la f. e. m. inversa di chiusura segue subito dopo la rottura, e trova perciò il tubo nelle condizioni di adescamento, cioè mentre è ancora percorso dalle oscillazioni provocate dalla interruzione. La f. e. m. di chiusura è massima proprio all'istante della chiusura; e pur trattandosi di una f. e. m. non elevata, poichè è uguale, al massimo, a quella della batteria moltiplicata per il coefficiente di trasformazione (circa 100), essa riesce ad aprirsi la via nel tubo, ancora adescato dalla corrente oscillatoria che lo sta attraversando. Invece, con la corrente alternata l'onda di f. e. m. inversa è di minore intensità, ed inoltre essa comincia a esercitarsi solo dopo una buona frazione del periodo, quando cioè il tubo più non è traversato da alcuna corrente e ha ripreso la sua resistenza normale alla scarica.

Manca così la possibilità che l'onda inversa nociva trovi facile il passaggio.

Secondo questa interpretazione, l'annullarsi dell'onda inversa con le correnti alternate sarebbe dunque dovuto alle circostanze seguenti, bene illustrate dai diagrammi della fig. 5 che rappresentano le combinazioni della f. e. m. stradale  $e_0$  con la corrente primaria  $i_1$  e con la secondaria  $i_2$ .

La rottura della corrente primaria può prodursi, regolando convenientemente la lunghezza della punta, in tale fase della sinusoide che all'istante della susseguente chiusura del primario la f. e. m. agente in esso sia molto prossima a zero; ciò è reso facile dal fatto che la corrente è in ritardo sulla f. e. m., e che la rottura ha luogo poco dopo il massimo positivo della corrente. In tali condizioni, alla nuova chiusura il primario interviene solo partecipando alle oscillazioni del secondario, sul quale reagirà; ma solo dopo circa un altro mezzo periodo avrà origine la f. e. m. induttiva che tenderebbe a far passare l'onda inversa nel tubo, già diseccitato, e capace perciò di arrestarla, senza bisogno di valvole.

Come fu detto nella Nota precedente, diminuendo la lunghezza della punta si può accelerare la fase della interruzione. Con ciò la f. e. m., alla nuova chiusura, può avere un senso ed un valore nocivi; si riconosce facilmente nella fig. 6 quel che avviene in queste sfavorevoli condizioni che furono realizzate accorciando da 15 mm. a soli 5 mm. la punta di ferro dell'interruttore. Effettivamente alla f. e. m. indotta A, di senso utile, segue immediatamente, in B, un'onda inversa capace di attraversare il tubo; questo la

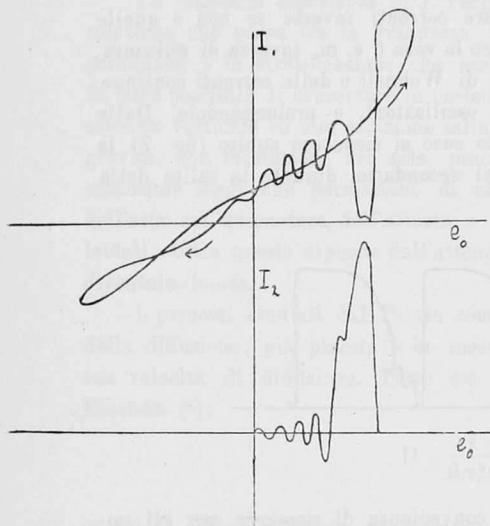


FIG. 5.

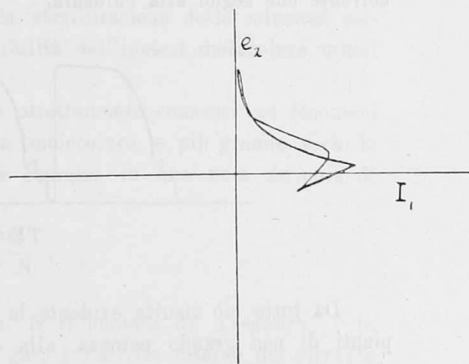


FIG. 6.

rivela immediatamente con quelle macchie caratteristiche che sono così ben note a coloro che han pratica di radiologia.

La manovra di allungare la punta quanto più è possibile, limitatamente solo al funzionamento regolare dell'interruttore, e che si manifesta così efficace per eliminare il passaggio delle onde inverse, ha quindi la funzione di spostare la fase dell'interruzione fino a che la nuova chiusura si compia quando la f. e. m. primaria ha assunto il valore opportuno. E se la autoinduzione è convenientemente scelta, questo istante può rendersi molto prossimo alla fase in cui la corrente è massima.

Resta solo da esaminare un punto, per la corretta interpretazione dei diagrammi. Le ordinate delle figg. 3-4-6 rappresentano, come si è detto, non la tensione agli estremi del secondario, ma la f. e. m. induttiva agente in esso; e la differenza fra le due costituisce l'effetto della capacità distribuita del secondario essendo trascurabile la caduta di tensione ohmica. Si può



portare in causa quest'azione osservando che, all'atto del destarsi della f. e. m. indotta per la rottura, la tensione utile al secondario andrà crescendo più lentamente, potendo l'effetto della capacità del secondario paragonarsi, in certa guisa, a quello di un condensatore derivato tra gli estremi. La elettricità accumulata si scaricherà nel tubo, quando è raggiunta una tensione sufficiente, dando origine alle oscillazioni. Ma è evidente che, se la f. e. m., che fa da generatore unico nel secondario, resta positiva in tutta la metà superiore del periodo, la presenza della capacità, che può solo ritardarne l'effetto, non può dare origine ad altre correnti inverse se non a quelle delle oscillazioni; mancherà in ogni caso la vera f. e. m. inversa di chiusura, che si rivela nel caso dell'interruttore di Wehnelt e delle correnti continue, sovrapponendosi nei suoi effetti alle oscillazioni, e prolungandole. Dalla forma della corrente primaria in questo caso si riconosce subito (fig. 7) la presenza di oscillazioni, provenienti dal secondario, durante la salita della corrente che segue alla chiusura.

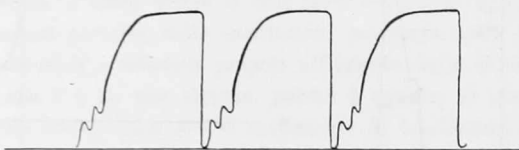


Fig. 7.

Da tutto ciò risulta evidente la convenienza di ricorrere, per gli impianti di non grande potenza, alla corrente alternata ed all'interruttore elettrolitico sincrono. Oltre alle circostanze pratiche che ne rendono minimo il costo, facile il maneggio e regolarissimo il funzionamento, questo sistema offre il vantaggio di escludere completamente la f. e. m. inversa, così come solo sarebbe capace di fare un interruttore meccanico sincrono, che, dopo l'interruzione in un punto dell'onda, vicino al valore massimo, ristabilisse la chiusura quando la f. e. m. primaria è prossima a zero; e riuscisse inoltre a rendere inattiva la semionda seguente, di corrente negativa. Il ritmo delle interruzioni, perfettamente costante anche se si modifica entro larghi limiti la lunghezza della punta, è determinato dal periodo della corrente alternata, e perciò non può essere molto elevato, ricorrendo alle reti di distribuzione ordinarie. Ciò non impedisce che anche con un rocchetto di modeste dimensioni si possano far passare in un tubo di durezza normale correnti medie di due o tre milliampère, largamente sufficienti per la radioscopia, e in tubi di grande durezza le intensità impiegate nella radioterapia.