

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI
ANNO CCCXIV.

1917

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXVI.

1° SEMESTRE.



ROMA
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1917

uno stato continuo di vibrazione ciò che costituisce una delle cause della breve durata delle lampade a tungsteno.

Le esperienze indicate furono ripetute con le stesse lampade alimentate da corrente alternata usando come rivelatore un telefono sensibilissimo. Anche in questo caso si ha corrente apprezzabile quando si sorpassa il regime normale di funzionamento: per una lampada a filamento di carbone da 32 candele e 110 volta si comincia a sentire un suono in corrispondenza ad una differenza di potenziale ai capi del filamento di 85 volta, suono che va rapidamente aumentando d'intensità fino a percepirsi, per una differenza di potenziale di 140 volta, anche a distanza dal telefono. Usando di un trasformatore di cui il circuito di alta resistenza è inserito nel circuito termo-ionico e l'altro porta il telefono, si riesce a seguire con maggiore facilità le variazioni di corrente.

Rendo vive grazie al prof. Cantone per gli aiuti fornitimi nel corso di queste ricerche.

Matematica. — *Sul metodo di Borel per la sommazione delle serie.* Nota di GUSTAVO SANNIA, presentata dal Socio ENRICO D'OVIDIO.

Questa Nota sarà pubblicata in un prossimo fascicolo.

Fisica. — *Sulla caratteristica dell'arco cantante nei regimi cui corrispondono diverse emissioni spettrali.* Nota II di ELENA FREDA e NELLA MORTARA, presentata dal Socio BLASERNA.

4. Per interpretare i risultati sperimentali riferiti nel precedente paragrafo ⁽¹⁾, occorre tener presenti le proprietà caratteristiche dell'arco.

Come è noto, se si alimenta l'arco con corrente continua, e lasciando costante la distanza dei carboni, si fa variare di tempo in tempo l'intensità della corrente, in corrispondenza ad ogni valore dell'intensità, la superficie del cratere negativo, la massa gassosa interessata alla scarica e la quantità di calore introdotta in ogni istante in questa massa gassosa, acquistano determinati valori, tanto maggiori, quanto più intensa è la corrente. Quindi, restando costante la distanza dei carboni, si ha per ogni valore i dell'intensità della corrente un determinato valore V della tensione ai poli dell'arco,

(1) Vedi la prima Nota in questi Rendiconti, vol. XXV, sem 2°, pag. 438.

e questo secondo valore è tanto minore quanto maggiore è il primo. La caratteristica statica dell'arco è perciò una caratteristica calante, gode cioè della proprietà espressa dalla disequaglianza $\frac{dV}{di} < 0$.

Se invece si fa passare nell'arco una corrente la cui intensità varia abbastanza rapidamente, la temperatura e lo spessore dell'arco non possono acquistare in corrispondenza ad ogni valore istantaneo della corrente quei valori che acquisterebbero se la corrente restasse costante per un certo tempo. Quindi i valori della tensione ai poli dell'arco, corrispondenti, nella caratteristica statica e in quella dinamica, ad uno stesso valore dell'intensità della corrente, non coincidono. Se la corrente assume due valori diversi in due istanti molto vicini, le condizioni dell'arco nel primo istante si ritrovano, più o meno modificate, nel secondo istante; contribuiscono quindi a determinare il valore della conducibilità corrispondente al secondo valore di i . Nella caratteristica dinamica il valore in ogni istante della tensione ai poli dell'arco non dipende dunque soltanto dal valore contemporaneo della corrente, ma anche dai valori di questa negli istanti precedenti; in corrispondenza ad un determinato valore della corrente, si ha un valore maggiore o minore della tensione ai poli dell'arco, secondo che la corrente è crescente o decrescente; l'arco presenta cioè isteresi.

Tenendo presenti queste considerazioni, possiamo renderci conto di alcune delle modificazioni osservate nella caratteristica dell'arco cantante, al variare delle condizioni di esperienza.

Per una stessa forma, una stessa ampiezza ed uno stesso periodo della corrente i_1 è evidente che le variazioni di intensità di quest'ultima possono tanto più prontamente e meglio essere seguite dalle corrispondenti variazioni della sezione dell'arco e della quantità di calore posseduta in ogni istante da quest'ultimo (quindi dalle corrispondenti variazioni della tensione V), quanto minore è la distanza dei carboni. Si comprende perciò perchè l'isteresi sia affatto trascurabile nelle caratteristiche riprodotte dalle figure 2 e 3 e cominci ad avvertirsi in quelle riprodotte dalle figure 5 e 6; perchè manchi nella figura 4 e sia invece sensibile nelle figure 7, 8, 9.

Come è noto, quanto minore è L , tanto più difficilmente si ottiene per l'arco cantante il regime sinusoidale; con induttanza molto piccola il solo regime possibile è quello tronco-sinusoidale. In tale regime, al diminuire di L , diminuisce la frazione di periodo durante la quale l'arco è acceso ed aumenta l'ampiezza massima della corrente i_1 . Nella frazione di periodo in cui l'arco è spento, i carboni e il gas fra essi interposto si raffreddano; quanto maggiore è questo raffreddamento, quanto più rapidamente cresce i_1 e quanto più sono distanti i carboni, tanto minori diventano la quantità di calore posseduta dall'arco e la sezione di esso, in corrispondenza ai diversi valori dell'intensità i_1 , mentre questa aumenta.

Si comprende perciò perchè, per L molto piccola, ai diversi valori di i_1 , crescente corrispondano valori di V più elevati di quelli che si hanno per L più grande (a parità delle altre condizioni). Si comprende pure perchè, posta nel circuito derivato la bobina di autoinduzione trascurabile, il tratto della caratteristica corrispondente ad i_1 crescente si sposti verso la regione delle tensioni più alte, quando si allontanino i carboni e quando si diminuisca i_0 . (Diminuendo i_0 , aumenta l'intervallo di tempo durante il quale l'arco è spento, aumenta quindi il raffreddamento di quest'ultimo). Quando i_1 comincia a decrescere, i suoi valori antecedenti hanno già determinato un aumento della quantità di calore e della sezione che l'arco aveva nei primi istanti della scarica. L'influenza dei valori antecedenti di i_1 s'indebolisce ben poco

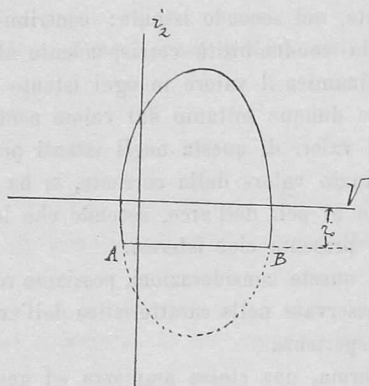


FIG. 16.

nel brevissimo intervallo di tempo durante il quale i_1 decresce; perciò in tale intervallo la tensione V continua a diminuire.

Se, conservando piccola l'induttanza del circuito derivato, si diminuisce la capacità, diminuiscono tanto l'ampiezza massima della corrente i_1 , quanto l'intervallo di tempo durante il quale si ha $i_1 > 0$; la velocità con cui varia la corrente nell'arco si mantiene perciò molto grande e l'isteresi si mantiene notevole.

Termineremo questo paragrafo facendo qualche osservazione sulla legge secondo cui varia la tensione ai poli dell'arco cantante nel regime tronco-sinusoidale. Per maggiore chiarezza è bene aver presente la caratteristica del condensatore inserito nel circuito derivato. Tale caratteristica, nel regime tronco-sinusoidale, ha la forma di una ellisse troncata, col centro sul semiasse positivo $i_2 = 0$, come indica la figura 16 (se lo smorzamento è forte, l'ellisse è un po' schiacciata dalla parte delle tensioni minori).

Detta W la differenza di potenziale tra l'armatura del condensatore collegata al polo positivo dell'arco e l'altra armatura, tra V , W e la tensione agli estremi della bobina d'induttanza L passa la relazione

$$V = W - L \frac{di_2}{dt}.$$

Nella frazione di periodo durante la quale l'arco è spento, durante la quale si ha cioè $i_2 = -i_0$, la differenza di potenziale V fra i poli dell'arco e quella W tra le armature del condensatore coincidono, poichè si ha $L \frac{di_2}{dt} = 0$ (¹); V e W aumentano fino ad acquistare un valore che determina la riaccensione dell'arco (La riaccensione corrisponde all'estremo di destra del tratto rettilineo orizzontale della figura 16 e delle caratteristiche, relative al regime tronco-sinusoidale, riprodotte nel paragrafo precedente).

Appena l'arco si accende, la tensione ai suoi poli, come è noto, si abbassa bruscamente. La tensione $-L \frac{di_2}{dt}$, agli estremi della bobina d'induttanza L , ha segno negativo o positivo a seconda che i_1 è crescente o decrescente; perciò nel primo caso si ha $V < W$, nel secondo $V > W$. In corrispondenza al valore massimo di i_1 si ha $V = W$. Appena i_1 si annulla, si annulla pure $L \frac{di_2}{dt}$; quindi la tensione V passa bruscamente dal valore che aveva raggiunto variando con continuità, al valore che la tensione W ha in quell'istante (cioè al valore corrispondente al punto A della figura 16). Così, per es., nel caso corrispondente alla figura 2, nel quale manca l'isteresi, la tensione V , che al diminuire di i_1 cresce fino a riassumere il valore massimo corrispondente all'inizio della scarica, salta istantaneamente da questo valore massimo al valore minimo, appena i_1 si annulla.

Se si fa crescere i_0 , lasciando inalterate le altre condizioni, è evidente che il tratto rettilineo orizzontale della figura 16 deve diventare più corto e la figura stessa più simmetrica rispetto all'asse $i_2 = 0$; si spiega perciò senz'altro la modificazione osservata, al crescere di i_0 , nelle caratteristiche dell'arco cantante corrispondenti al regime tronco-sinusoidale.

Riteniamo che la caratteristica riprodotta nella figura 4, per quanto corrisponda ad una forma di corrente sensibilmente sinusoidale, si riferisca anch'essa, come le figure 2 e 3, ad un regime tronco-sinusoidale. Altrimenti non potrebbe spiegarsi la presenza del piccolo tratto orizzontale corrispondente al valore minimo di i_1 .

(¹) Corbino, loc. cit.

5. Come si è visto, al diminuire dell'induttanza L del circuito derivato, al diminuire di i_0 e al crescere della distanza dei carboni, la caratteristica dell'arco cantante si allarga nella parte che corrisponde ad $i_1 > 0$ e il tratto di essa che corrisponde ad i_1 crescente si sposta verso la regione delle tensioni più alte.

Nel precedente paragrafo abbiamo spiegato queste modificazioni della caratteristica tenendo conto dell'isteresi dell'arco; le interpreteremo ora dal punto di vista energetico.

La seconda delle modificazioni della caratteristica sopra ricordate ci dice che, al diminuire di L , al diminuire di i_0 e al crescere della lunghezza dell'arco, aumenta il valore della potenza $i_1 V$ corrispondente ad un dato valore della corrente i_1 , nella frazione di periodo in cui quest'ultima aumenta. Un aumento anche maggiore subisce la potenza specifica (cioè la potenza spesa, in ogni istante, nell'unità di volume della massa gassosa interessata alla scarica) perchè, come già si è detto nel precedente paragrafo, quanto più piccole sono L e i_0 e quanto maggiore è la distanza dei carboni, tanto più sottile è l'arco, per uno stesso valore di i_1 crescente.

Dalle caratteristiche ottenute ponendo nel circuito derivato la piccola bobina costituita da due spire di filo da campanelli, si vede che, per valori non troppo piccoli dell'intensità di corrente i_1 , l'accrescimento di quest'ultima si effettua più rapidamente che non la diminuzione della tensione V . Dunque, se L è piccola, al crescere di i_1 aumenta il valore di $i_1 V$; la potenza specifica può perciò assumere valori elevati, anche in corrispondenza ai massimi valori di i_1 crescente (valori tanto più grandi, quanto minori sono L e i_0 e quanto maggiore è la distanza dei carboni), nonostante l'aumento della sezione dell'arco che accompagna l'aumento di i_1 .

L'allargamento che, nel regime tronco-sinusoidale, si verifica nella caratteristica, contemporaneamente allo spostamento del tratto calante di quest'ultima verso la regione delle tensioni maggiori, ci dice che le condizioni che favoriscono tale spostamento rendono più rilevante la differenza fra due valori di $i_1 V$ corrispondenti, nel ramo ascendente e nel ramo discendente della caratteristica, ad uno stesso valore di i_1 .

Anche più notevolmente aumenta la differenza fra due valori della potenza specifica corrispondenti, in uno stesso periodo, ad un medesimo valore di i_1 , poichè, al diminuire di L e di i_0 e al crescere della distanza dei carboni, aumenta anche la differenza fra le sezioni dell'arco corrispondenti, nel ramo ascendente e nel ramo discendente della caratteristica, ad uno stesso valore di i_1 .

Come già si è ricordato nel primo paragrafo, La Rosa ha potuto osservare una trasformazione graduale dello spettro d'arco in spettro di scintilla, sia facendo diminuire nel dispositivo di Duddel l'induttanza L , mentre la capacità restava grande, sia facendo crescere la capacità da 1 a 20 microfarad, mentre l'induttanza L era trascurabile.

La Rosa ha osservato che, contemporaneamente alla detta trasformazione, si aveva un aumento graduale della potenza media spesa nell'arco nella frazione di periodo in cui i_1 non era nulla; egli ha affacciata l'ipotesi che la natura dello spettro sia determinata dalla potenza specifica media spesa nell'arco nella frazione di periodo in cui esso è acceso.

Ludewig⁽¹⁾ ha potuto osservare un'analoga trasformazione dello spettro dell'arco cantante, facendo diminuire i_0 ; egli dalle sue esperienze è stato indotto ad ammettere che la detta trasformazione si verifichi tutte le volte che si favoriscano le condizioni che determinano un aumento del rapporto tra la frazione di periodo in cui l'arco è spento e la frazione di periodo in cui è acceso (l'allontanamento dei carboni è appunto una di queste condizioni).

I risultati sperimentali da noi ottenuti, per quanto precedentemente si è detto, rendono assai verosimile l'ipotesi che, quando l'arco cantante nel regime tronco-sinusoidale dà uno spettro di alta eccitazione (o spettro di scintilla), l'emissione di questo sia determinata dalla grande potenza specifica introdotta nell'arco nella frazione di periodo in cui i_1 cresce.

Se con piccola capacità, riducendo l'induttanza L , non si ottiene la trasformazione dello spettro d'arco in spettro di scintilla, ciò avviene probabilmente perchè, a causa della piccola ampiezza che i_1 ha sempre in queste condizioni, la potenza specifica non può raggiungere in nessun istante, valori abbastanza elevati.

Ludewig ha stabilito le seguenti condizioni per la presenza, nello spettro dell'arco, di righe di alta eccitazione:

- 1) queste righe si presentano quando la corrente nell'arco consiste in improvvisi schizzi, separati da intervalli sufficientemente lunghi;
- 2) la durata degli schizzi di corrente deve essere minore di 10^{-4} secondi.

La prima di queste condizioni è perfettamente d'accordo con quanto precedentemente si è detto; infatti, quanto maggiori sono gli intervalli durante i quali la corrente è nulla, tanto più sottile è l'arco all'inizio della scarica e quindi tanto maggiore è la potenza specifica.

Le considerazioni precedentemente fatte ci inducono a sostituire alla seconda condizione di Ludewig (che precisa troppo, nel senso quantitativo, l'influenza di un elemento, mentre è perfino discutibile se tale influenza esista), la condizione che, all'inizio della scarica, l'intensità di corrente cresca con rapidità sufficientemente grande.

Entrambe queste condizioni, in ultima analisi, rientrano nella legge generica della grande potenza specifica.

(1) Annalen der Physik, 1918, XLII, pag. 648.

6. I risultati sperimentali ottenuti ci permettono anche di rispondere alle domande che ci siamo poste alla fine del primo paragrafo.

Se si osservano, per es., le figure 5, 10, 12, corrispondenti tutte ad una capacità di 20 microfarad, si vede che la caratteristica dell'arco cantante relativa al regime tronco-sinusoidale, al diminuire dell'induttanza L del circuito derivato, resta sempre dello stesso tipo, solo la parte di essa che corrisponde ad $i_1 > 0$ si allarga e il tratto che corrisponde ad i_1 crescente si sposta verso la regione delle tensioni più alte.

La trasformazione graduale della caratteristica, corrispondente alla trasformazione graduale spettrografica osservata da La Rosa, è mostrata anche meglio dalle figure 12, 13, 14 e 15, corrispondenti tutte ad uno stesso valore, assai piccolo, di L ed a valori diversi della capacità. (Poiché le variazioni della capacità potevano effettuarsi molto rapidamente, si poteva ottenere che tutte le altre condizioni restassero invariate). Queste caratteristiche sono affatto simili; esse non differiscono che per l'ampiezza massima di i_1 .

Quando nel circuito derivato erano inserite la più piccola delle bobine da noi adoperate e una capacità di 20 microfarad, abbiamo potuto osservare, per mezzo di uno spettroscopio Hilgher, che apparivano nello spettro dell'arco le righe di alta eccitazione, tosto che si allontanavano alquanto i carboni, o si diminuiva la corrente principale i_0 . L'apparizione di queste righe non era accompagnata da un cambiamento essenziale della caratteristica; in questa si osservavano solo le seguenti modificazioni: un aumento dell'ampiezza massima della corrente i_1 e quindi un indebolimento della luminosità della porzione di caratteristica corrispondente ad $i_1 > 0$; un piccolo spostamento del tratto di caratteristica corrispondente ad i_1 crescente verso la regione delle tensioni maggiori.

Basandoci su tali risultati, possiamo asserire che, quando si facciano variare le costanti elettriche nel dispositivo di Duddel, in modo da ottenere, secondo le ricerche di La Rosa, una trasformazione graduale dello spettro d'arco in spettro di scintilla, si verifica pure una trasformazione graduale della caratteristica dell'arco; si deve quindi ammettere che anche il processo elettrico, completamente individuato dalla caratteristica, si trasformi gradualmente.

Poiché, nel fenomeno elettrico dell'arco cantante, a due forme di scarica nelle quali si ha rispettivamente l'emissione di un spettro d'arco o di uno spettro di scintilla, possono corrispondere due caratteristiche aventi perfettamente lo stesso tipo, non si può ammettere che nei due casi si tratti di processi del tutto distinti; si deve invece ammettere, con La Rosa, che le due forme di scarica costituiscano due gradazioni di uno stesso processo.