

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI
ANNO CCLXXXIX.
1892

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME I.

2° SEMESTRE



ROMA
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1892

ed il minimo nel ponte, per metterli in confronto con quelli che si producono usando il massimo numero di elementi nel ponte ed il minimo nel rocchetto, e per mostrare come la corrente che passa lungo il filo non influisca in modo sensibile sulle variazioni di resistenza.

- Resta poi escluso che si abbiano valori di \mathcal{A} negativi, e questo non solo per le esperienze cui si riferiscono le precedenti tabelle, ma anche per altre nelle quali operando con forze magnetizzanti inferiori a 4 unità si sono avute variazioni di resistenza appena apprezzabili, peraltro mai negative.

- Se l'Auerbach ha trovato che la resistenza in taluni casi diminuisce è da pensare che qualche grave causa di errore abbia dovuto alterare i risultati delle di lui esperienze, e questo sospetto viene avvalorato per ciò che i limiti di variazioni di resistenza cui egli perviene (da $\mathcal{A} = -0,0186$ a $\mathcal{A} = 0,0281$), sono assai maggiori di quelli che darebbero le più accurate esperienze odierne.

- Vero si è che il prof. Tomlinson⁽¹⁾ perviene a limiti ancora più elevati, ma appunto per tale circostanza i di lui risultati sono accolti con poca fiducia dai fisici, compreso l'Auerbach; per cui è da sospettare che le diminuzioni di resistenza trovate dal Tomlinson nell'acciaio magnetizzato longitudinalmente, sieno anch'esse dovute a cause di errori.

Elettricità. — *Campo elettrico rotante e rotazioni dovute all'isteresi elettrostatica* ⁽²⁾. Nota dell'ing. RICCARDO ARNÒ, presentata dal Socio G. FERRARIS.

- Nelle note sue ricerche sulle *rotazioni elettrodinamiche prodotte per mezzo di correnti alternate* ⁽³⁾ il prof. Galileo Ferraris dimostrava che per mezzo di due semplici correnti alternate, operanti in spirali immobili, si può generare un campo magnetico rotante ed ottenere quindi, in grazia degli stessi fenomeni d'induzione che si presentano nell'antica e classica esperienza di Arago, la rotazione di un corpo conduttore, per esempio di un cilindro di rame, collocato in quel campo. In una delle sue esperienze fondamentali il Ferraris dimostrava però ancora che in un campo magnetico rotante un cilindro di ferro si pone in rotazione, anche quando esso è sezionato per modo che non si possano produrre correnti indotte di Foucault: in questo caso egli notava essere la rotazione dovuta all'isteresi magnetica, al ritardo, cioè, col quale la magnetizzazione del ferro segue la rotazione del campo magnetico.

⁽¹⁾ Proc. R. Soc. 27, pag. 109, 1878.

⁽²⁾ Lavoro eseguito nel Laboratorio di Elettrotecnica del R. Museo Industriale Italiano in Torino.

⁽³⁾ Atti della R. Accademia delle Scienze di Torino, vol. XXIII, p. 360.

« Le mie esperienze furono intraprese seguendo quest'ordine d'idee e mettono in chiaro che fenomeni corrispondenti a quelli che si verificano nell'esperimento del cilindro di ferro sezionato, si presentano allorchando si sostituiscono alle forze magnetiche forze elettriche ed ai corpi magnetici corpi dielettrici.

« Che nei mezzi dielettrici, sotto l'influenza di un campo elettrostatico alternativo, si verifichi un fenomeno di *isteresi elettrostatica*, analogo a quello di isteresi magnetica, che si presenta nei corpi magnetici collocati in un campo magnetico alternativo, risultava di già, anche prima delle esperienze del sig. Proteus Steinmetz ⁽¹⁾, per il semplice fatto che nel dielettrico di un condensatore, inserito nel circuito di una forza elettromotrice alternativa, avviene un consumo di energia, che si manifesta con una produzione di calore nel coibente. Era quindi facile prevedere che un fenomeno analogo a quello della rotazione di un cilindro sezionato di materia magnetica si sarebbe dovuto ottenere sperimentando sopra un cilindro di materia isolante collocato in un *campo elettrico rotante*. Anche in questo caso la rotazione del cilindro dovrebbe infatti avvenire in grazia del ritardo con cui la polarizzazione del dielettrico segue la rotazione del campo elettrico a cui è dovuta.

« Ciò posto, era naturale che, per verificare sperimentalmente queste previsioni, io ricorressi a considerazioni ed a disposizioni analoghe a quelle di

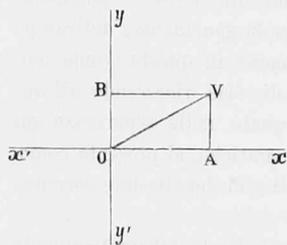


FIG. 1.

cui si servì il prof. Ferraris nelle sue esperienze sulle rotazioni elettrodinamiche. Se, infatti, in un punto O (fig. 1) si sovrappongono, invece di due campi magnetici, come faceva il Ferraris, due campi elettrici, di direzioni Ox ed Oy diverse, essi danno luogo, analogamente, ad un campo elettrico risultante, l'intensità OV del quale si ottiene componendo le intensità OA , OB dei due campi elettrici come due forze, purchè

però lo spazio, in cui i due campi si trovano, sia occupato da materia, la cui costante dielettrica abbia in tutti i punti il medesimo valore. Se poi i due campi elettrici componenti variano colla legge sinusoidale, hanno il medesimo periodo e presentano una differenza di fase, allora il punto V descrive un'ellisse di centro O , che si riduce ad un cerchio se le intensità massime dei due campi componenti sono uguali, e se, supposte normali fra di loro le direzioni dei due campi stessi, il valore angolare della differenza di fase è uguale a 90° . In questo caso particolare il campo elettrico risultante ha un'intensità costante ed una direzione rotante con velocità uniforme. E come i due campi magnetici destinati a generare un campo magnetico rotante si possono ottenere per mezzo di due

⁽¹⁾ Elektrotechnische Zeitschrift; 29 aprile 1892. Dielektrische Hysteresis, der Energieverlust in dielektrischen Medien unter dem Einfluss eines wechselnden elektrostaticischen Feldes.

correnti alternate circolanti in due spirali immobili ed incrociate, così i due campi elettrici necessari per produrre un campo elettrico rotante possono essere ottenuti mediante due differenze di potenziali alternative tra due coppie di lastre metalliche fisse ed incrociate.

Per ricavare le due differenze di potenziali necessarie per il mio esperimento, senza dover ricorrere ad una apposita macchina dinamo-elettrica od elettrostatica polifase, ricorsi ad una disposizione analoga ad una di quelle di cui si servì il prof. Ferraris, nei suoi classici esperimenti, per ricavare da un unico circuito le due correnti alternative, di cui egli abbisognava per la produzione del suo campo magnetico rotante: intendo parlare della disposizione, che consiste nell'adoperare le correnti di due circuiti derivati, nei quali sono inserite resistenze apparenti uguali, ma costituite essenzialmente l'una da una grande resistenza reale e l'altra da una grande impedenza induttiva. Le stesse considerazioni, che valgono per due tratti di circuito in parallelo, si possono infatti ripetere per due tratti di circuito in serie, purchè si considerino le differenze di potenziali, esistenti alle estremità di questi, in luogo delle correnti, da cui quelli sono percorsi: mentre nel primo caso la corrente principale si scinde in due correnti presentanti la differenza di fase necessaria per la produzione del campo magnetico rotante, nel secondo caso la differenza di potenziali data si suddivide in due differenze di potenziali spostate anch'esse nella loro fase, come conviene per la generazione del campo elettrico rotante. Giova però subito notare che anche in questo, come nell'altro caso, si può ottenere la voluta differenza di fase ricorrendo all'impiego di condensatori. Anzi, un tale impiego, il quale nelle esperienze sui campi magnetici rotanti non è scevro di difficoltà pratiche, si presenta comodissimo qui, ove, trattandosi di altissimi potenziali e di debolissime correnti, non occorrono che piccole capacità elettrostatiche.

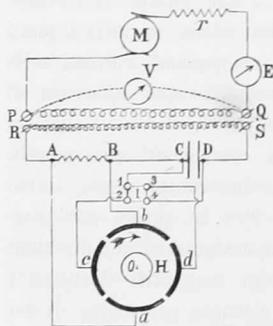


FIG. 2.

propria, ed un condensatore CD , la capacità elettrostatica del quale può anche

Nella figura 2 è indicato schematicamente il collegamento dei circuiti nelle mie esperienze. In M è rappresentata una macchina Siemens a corrente alternativa a bassa tensione, in r un reostato industriale, in E un elettrodinometro di Siemens, in V un voltmetro di Cardew ed in PQ, RS rispettivamente le spirali primaria e secondaria di un grande rocchetto di Ruhmkorff, privato del commutatore e adoperato come semplice trasformatore destinato a produrre tra i due punti R ed S una notevole differenza di potenziali, com'è necessario per l'esperimento. Nel circuito secondario di tale apparecchio sono inseriti una grande resistenza reale AB , priva di induzione

essere piccolissima. I quattro punti A, B, C, D sono messi rispettivamente in comunicazione con quattro lastre di rame verticali alquanto incurvate a, b, c, d , disposte come è indicato nello schema. Un commutatore a mercurio I serve ad invertire le congiunzioni delle due lastre c e d coi punti C e D . Un voltmetro elettrostatico di Thomson, non rappresentato in figura, serve alla

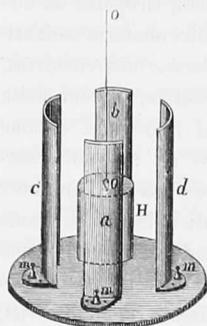


FIG. 3.

misura delle differenze di potenziali tra A, B e C, D . Nella figura 3 è rappresentata schematicamente in prospettiva la disposizione delle quattro lastre a, b, c, d , racchiudenti lo spazio in cui si vuol produrre il campo elettrico rotante, le quali, per rendere più chiara la figura, si sono supposte molto più strette di quanto esse sono effettivamente: nella verticale OO' è indicato l'asse dell'apparecchio ed in m i morsetti per mezzo dei quali le quattro lastre sono collegate coi punti A, B, C, D (fig. 2).

« Così disposte le cose, è facile prevedere quanto è stato verificato coll'esperienza. Prendiamo infatti a considerare il circuito secondario del trasformatore, comprendente la spirale secondaria RS del medesimo,

la resistenza AB ed il condensatore CD , e diciamo i l'intensità della corrente in tale circuito, V_1 e V_2 rispettivamente le differenze di potenziali esistenti fra le estremità della resistenza AB e tra le armature del condensatore CD . Sappiamo che, mentre tra la corrente i e la differenza di potenziali V_1 non vi ha differenza di fase, la corrente i precede di un quarto di periodo la differenza di potenziali V_2 . Dunque V_2 è in ritardo di un quarto di periodo rispetto a V_1 . Un semplice sguardo alla figura 2 è allora sufficiente per far prevedere che il campo elettrico, generato dalle due differenze di potenziali alternative V_1 e V_2 , nello spazio racchiuso tra le quattro lastre a, b, c, d , deve rotare nel senso delle lancette di un orologio, quando il commutatore I è nella posizione 12,34, indicata in figura, e nel senso contrario, allorchè vengono invertite, per mezzo del commutatore I , le congiunzioni delle lastre c e d coi punti C e D , il che equivale a far variare di un mezzo periodo la fase della differenza di potenziali tra c e d . Se poi la resistenza AB e la capacità elettrostatica del condensatore CD sono convenientemente determinate in guisa che, come si può sempre ottenere per tentativi, le due differenze di potenziali V_1 e V_2 , e quindi le intensità medie dei due campi elettrici componenti, risultino uguali fra di loro, il campo risultante ha un'intensità costante e ruota con velocità uniforme.

« In una prima esperienza ho sospeso nel campo elettrico rotante, per mezzo di una bava di seta, un piccolo cilindro cavo H di mica. Finchè una sola delle due coppie di lastre a, b e c, d è in comunicazione coi punti A, B o C, D , il cilindretto rimane immobile; ma allorchè entrambe le coppie di lastre

sono rispettivamente in comunicazione coi punti A, B e C, D , il piccolo cilindro incomincia subito a rotare intorno al proprio asse e nel senso indicato dalla freccia segnata in figura, se il commutatore I è nella posizione 12,34, precisamente come si era previsto. Se, mentre il cilindro sta girando in tale senso, viene invertita la posizione del commutatore I , la rotazione si estingue rapidamente e si inverte. L'esperienza fu ripetuta collo stesso risultato sostituendo al cilindretto di mica, piccoli cilindri vuoti di carta, ricoperta da uno strato di gomma-lacca, di vetro, di ebonite, di cera e di altre materie isolanti,

« In un'altra esperienza ho combinato un piccolo *motorino elettrostatico*, funzionante per mezzo di differenze di potenziali alternative, di cui nella figura 4 è indicata, nella scala di 1:6, una sezione fatta con un piano perpendicolare all'asse di rotazione O , che è verticale. La parte fissa dell'apparecchio è costituita da quattro semplici lastre di rame verticali a, b, c, d , simili a quelle adoperate nelle esperienze precedenti, separate le une dalle altre per mezzo di quattro strisce di ebonite S e fissate, mediante viti, ad un disco Z pure di ebonite: le lastre di rame ed i pezzi di ebonite costituiscono insieme un cilindro, di

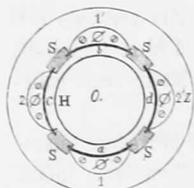


FIG. 4.

cui l'altezza è 20 cm. ed il diametro interno 10 cm. La parte mobile consiste in un cilindro di ebonite H , vuoto e chiuso, mobile intorno all'asse O e sostenuto da due punte di acciaio giranti entro fori nel vetro: tale cilindro pesa 40,330 grammi, ha la lunghezza di 18 cm. ed il diametro esterno di 8 cm.

« Per azionare il motorino ora descritto ho disposto l'esperienza esattamente come è indicato nella figura 2, collegando i morsetti 1 e $1'$ delle lastre a e b coi punti A e B ed i morsetti 2 e $2'$ delle lastre c e d coi punti C e D . Il condensatore CD era costituito da un semplice bicchiere di vetro dello spessore di 1 mm., contenente internamente del mercurio e ricoperto all'esterno da un foglio di stagnola di circa 1 dm.² di superficie: la sua capacità elettrostatica era quindi piccolissima, circa $3 \cdot 10^{-4}$ microfarad. Per costituire la resistenza esente da autoinduzione AB , la quale doveva essere grandissima, ricorsi dapprima ad una piccola sbarra di legno di bosso, convenientemente essiccato, in cui erano praticati, a distanze diverse, dei piccoli pozzetti contenenti del mercurio, ed in seguito, molto meglio, ad una colonna di acqua distillata di 3,5 mm. di diametro, di cui si poteva, onde ottenere le condizioni del circuito corrispondenti al miglior funzionamento dell'apparecchio, far variare a piacimento la lunghezza. L'intensità efficace della corrente alternativa nel circuito primario era 7 ampère, la frequenza 40 e la differenza di potenziali efficace alle due estremità P e Q della spirale primaria del trasformatore 27 volt. L'esperienza ha dimostrato, come era a prevedersi, che il miglior funzionamento del piccolo motore si otteneva allorchè

la differenza di potenziali efficace fra i punti *A* e *B* era uguale a quella fra i punti *C* e *D*. Tale differenza di potenziali, misurata per mezzo del voltmetro elettrostatico di Thomson, risultava allora uguale a 3800 volt, e la colonna d'acqua inserita tra *A* e *B*, che aveva in tal caso una lunghezza di 54 cm., presentava, alla temperatura di $22^{\circ} \frac{1}{2}$, una resistenza di 13,5 megohm. In queste condizioni il cilindro di ebonite si metteva spontaneamente in moto ed acquistava, dopo alcuni minuti, una velocità di circa 250 giri al *l'*; e se, per mezzo del commutatore *I*, si invertivano le congiunzioni delle lastre *c* e *d* coi punti *C* e *D*, si invertiva il senso della rotazione.

« In altre esperienze disposi ancora un condensatore, costituito da una o più bottiglie di Leyda, in parallelo rispetto alla spirale secondaria del rochetto: così operando, potei aumentare notevolmente le differenze di potenziali esistenti fra le estremità della resistenza *AB* e tra le armature del condensatore *CD*, col che vennero accresciute le intensità dei due campi elettrici componenti e si poterono ottenere effetti maggiori.

« Finalmente, per avere un'idea dell'ordine di grandezza del momento delle coppie di rotazione che si possono ottenere, ho appeso ad una sospensione bifilare, nel campo rotante dell'esperienza precedente, un cilindro di ebonite, avente la lunghezza di 139 mm. ed il diametro esterno di 61 mm. Uno specchietto piano solidale col cilindro, serviva alla misura con cannocchiale e scala dell'angolo di rotazione. Un'indicazione approssimativa del medesimo angolo si aveva anche per mezzo di un indice e di un cerchio graduato. Questo cerchio, appoggiato alle estremità superiori delle lastre *a, b, c, d*, in guisa da chiudere completamente il cilindro da esse formato, serviva nello stesso tempo ad eliminare gli effetti perturbatori delle correnti d'aria. Il peso sostenuto dalla sospensione bifilare era 23,053 grammi = 22615 dine; la distanza dei due fili 4,6 cm.; la lunghezza dei medesimi 155 cm.; la deviazione $3^{\circ} 17'$; e quindi il momento della coppia di rotazione $176 \frac{\text{centimetro}^2 \cdot \text{grammo}}{\text{secondo}^2}$.

« Le esperienze, di cui si è fatto cenno, oltre che potersi utilizzare a dimostrare sperimentalmente il fenomeno dell'isteresi elettrostatica nei corpi dielettrici ed a porre in evidenza l'esistenza delle differenze di fase, che si possono avere fra due differenze di potenziali alternative di egual periodo, offrono un mezzo per ricerche quantitative sull'isteresi elettrostatica e sul suo modo di comportarsi per varie differenze di potenziali e per i diversi dielettrici.

« In quest'ordine d'idee sto continuando le mie ricerche.

« Intanto debbo fin d'ora attestare la più viva gratitudine al prof. Galileo Ferraris, i cui sapienti consigli potentemente coadiuvarono l'opera mia -