ERSITARIO
AVIA

IL NUOVO CIMENTO

GIORNALE FONDATO PER LA FISICA E LA CHIMICA

DA C. MATTEUCCI E R. PIRIA

CONTINUATO

PER LA FISICA ESPERIMENTALE E MATEMATICA

da E. BETTI e R. FELICI

Terza serie Tomo XXIII.



PISA

TIP. PIERACCINI DIR. DA P. SALVIONI

1888

ERSITARIO
AVIA

IL NUOVO CIMENTO

GIORNALE FONDATO PER LA FISICA E LA CHIMICA

DA C. MATTEUCCI E R. PIRIA

CONTINUATO

PER LA FISICA ESPERIMENTALE E MATEMATICA

da E. BETTI e R. FELICI

Terza serie Tomo XXIII.

ISTITUTO DI FISICA
R. UNIVERSITÀ
PAVIA

PISA

TIP. PIERACCINI DIR. DA P. SALVIONI

1888

gnetizzazione, mantenendo la H sempre contraria alla F, non si constata più l'*isteresi*.

6. Se invece di tenere la corrente in H costantemente chiusa si apre ogni volta, prima di chiudere la E, l'induzione ottenuta in questo caso è maggiore di quella ottenuta quando H resta sempre chiusa; e ciò fino ad una forza F doppia all'incirca di quella che si chiude in H; dopo diventa minore.

Il punto d'inflessione corrisponde in questo caso, ad una forza magnetizzante minore di quella in H: uguale a questa nel solo caso che la H sia uguale alla forza coercitiva del ferro studiato.

Terminerò questa descrizione sommaria, facendo osservare che anche debolissime forze magnetizzanti fanno sentire benissimo la loro azione sul ferro che sia sottoposto ad una magnetizzazione intensa; come del resto ha stabilito Lord Rayleigh [1]).

È mia intenzione di proseguire l'esperienze su questo soggetto, per poter coordinare i fatti sopra esposti tra loro e con altri che per brevità ho tralasciato di qui riferire; riunirò poi tutto in un unico lavoro, corredandolo di tutti i dati numerici e di tutte le curve.

Ringrazio intanto infinitamente il prof. Roiti, che mi è stato, come sempre, largo di consigli, e mi ha fornito tutti i mezzi per eseguire questo lavoro.

Firenze, R. Istituto di Studi Superiori, Scuola di Fisica
Maggio 1888.

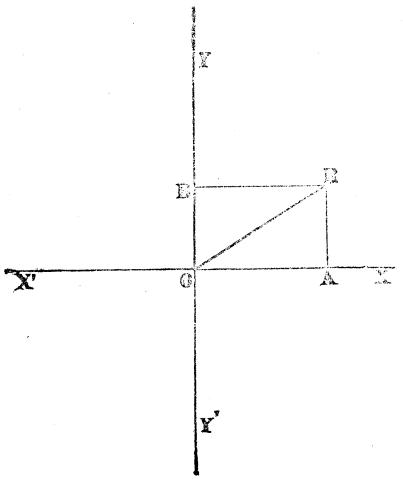
ROTAZIONI ELETTRODINAMICHE PRODOTTE PER MEZZO DI CORRENTI ALTERNATE; NOTA DEL PROF. GALILEO FERRARIS.

1. Sia O un punto di uno spazio nel quale si sovrappongono i campi magnetici prodotti da due correnti elettriche; le direzioni OX ed OY che hanno i due campi magnetici nel punto O sieno diverse, sieno per esempio perpendicolari l'una all'altra.

1) *Phil. Mag.* Vol. 23, 1887, pag. 225.

Se si rappresentano con lunghezze OA ed OB portate su OX ed OY le intensità dei due campi, la diagonale OR del paralle-

Fig. 1.



logrammo OARB dà colla propria lunghezza e colla propria direzione l'intensità e la direzione del campo magnetico risultante. Se le intensità dei campi magnetici componenti variano col tempo, il punto R si muove, e percorre una linea, la forma della quale è determinata dalla legge con cui variano OA ed OB; ma in ogni istante il raggio vettore OR rappresenta colla sua lunghezza e colla sua direzione l'intensità che nello stesso istante il campo magnetico risultante ha nel punto O.

Se le due correnti sono alternate e sinusoidali col medesimo periodo, anche le intensità OA ed OB dei due campi magnetici componenti sono tali; se si rappresentano rispettivamente con x e con y, esse si possono esprimere in funzione del tempo t colle uguaglianze

$$x = \mathrm{A} \operatorname{sen} \frac{2\pi}{\mathrm{T}} t, \qquad y = \mathrm{B} \operatorname{sen} \frac{2\pi}{\mathrm{T}} (t + \beta),$$

ove si indichino con A e con B i valori massimi di esse, con T

la durata del periodo e con $\frac{\beta}{T}$ la differenza di fase fra le due correnti. Eliminando t fra queste due equazioni, si ottiene una relazione fra x ed y, che è l'equazione della linea percorsa dal punto R riferita alle rette OX, OY prese come assi di coordinate.

Quando la differenza di fase tra le due correnti è uguale a zero, oppure corrisponde ad un numero intiero di semiperiodi, la linea percorsa dal punto R è una retta passante per O, e su questa retta il punto R percorre spazi proporzionali a quelli percorsi nel medesimo tempo dai punti A e B su OX ed OY. Allora il campo magnetico risultante ha una direzione costante ed una intensità variabile colla legge sinusoidale come i campi magnetici componenti.

In tutti gli altri casi, quando cioè le due correnti non si invertono simultaneamente, la linea percorsa dal punto R è una ellisse di centro O. Allora il raggio vettore OR che rappresenta l'intensità e la direzione del campo magnetico risultante, si mantiene costantemente diversa da zero, e ruota nel piano XOY attorno al punto O; in altri termini si ha allora un campo magnetico che non si annulla mai e che gira attorno ad O. Il campo magnetico girante compie la propria rivoluzione nella durata T di un periodo delle correnti. Il senso della rotazione si inverte se la fase di una delle correnti si fa variare di un mezzo periodo o di un numero intero di mezzi periodi.

Se in particolare le direzioni OX ed OY dei campi magnetici componenti sono perpendicolari l'una all'altra, se le intensità massime A e B dei due campi sono uguali tra di loro, e se la differenza di fase $\frac{\beta}{T}$ è uguale ad $\frac{1}{4}$ si ha

$$x = A \operatorname{sen} \frac{2\pi}{T} t, \qquad y = A \cos \frac{2\pi}{T} t;$$

quindi

$$OR = A \qquad \text{ed} \qquad \widehat{AOR} = \frac{2\pi}{T} t.$$

Allora la traiettoria del punto R è una circonferenza di raggio A, ed il punto R la percorre colla velocità angolare co-

stante $\frac{2\pi}{T}$; in altri termini, si ha allora un campo magnetico di intensità costante, il quale gira attorno ad O con velocità uniforme.

Gli effetti sovra descritti si possono produrre per mezzo di una sola corrente alternativa. È infatti sempre possibile, ed in più modi, per mezzo di una corrente alternativa data ottenere le due correnti necessarie per produrre le forze magnetiche componenti OA ed OB, e far variare, fra certi limiti, la differenza, di fase fra le medesime. Un modo per fare ciò consiste nel far passare la corrente data nella spirale primaria di un trasformatore. Allora si hanno a disposizione la corrente data e la corrente secondaria da essa prodotta nel trasformatore. Facendo passare le due correnti in due spirali aventi gli assi sulle rette OX ed OY, si può far servire la prima a produrre la forza magnetica OA, e la seconda a produrre la forza magnetica OB. Acciocchè le due correnti presentino la voluta differenza di fase basta inserire una conveniente resistenza nel circuito secondario; la differenza di fase che così si ottiene, tende verso un quarto di periodo se la resistenza del circuito secondario si fa crescere fino all' infinito. Col crescere della resistenza, il rapporto tra la intensità media della corrente secondaria e quella della primaria diminuisce; ma calcolando convenientemente il numero delle spire nelle due spirali destinate a produrre le forze magnetiche OA ed OB, è possibile far sì che risulti $A = B$, e realizzare approssimativamente le condizioni nelle quali il campo magnetico risultante mantiene una intensità quasi costante e ruota con velocità quasi uniforme.

Un altro modo per ottenere il medesimo risultato consiste nel far servire alla produzione dei due campi magnetici oscillatorii componenti le due correnti secondarie prodotte in due trasformatori od in due porzioni d' un trasformatore ove la corrente alternativa data funzioni come corrente primaria.

Si possono finalmente adoperare per produrre le forze magnetiche OA ed OB due correnti derivate. Se nel circuito di una di tali correnti si inseriscono resistenze esenti da induzione propria, e nel circuito dell' altra si inserisce invece una spirale con piccola resistenza e con grande coefficiente di autoinduzione

si può fare sì che mentre le medie intensità delle due correnti sono uguali, oppure hanno tra di loro un rapporto prefisso, le fasi delle correnti medesime differiscano notevolmente l'una dall'altra.

Dunque per mezzo di una semplice corrente alternativa, operante in spirali immobili, è possibile produrre un campo magnetico rotante ed ottenere con questo tutti gli effetti che si potrebbero ottenere per mezzo della rotazione di una calamita.

Si possono fra gli altri, riprodurre per mezzo di una semplice corrente alternata i fenomeni di induzione che si hanno quando si fa rotare una calamita in vicinanza di una massa conduttrice; e per tal modo si possono ripetere sotto una forma nuova le antiche esperienze sul magnetismo di rotazione. Se nello spazio ove si sovrappongono i campi magnetici alternativi si ha un corpo conduttore, la rotazione del campo magnetico risultante produce in tale corpo correnti indotte, che per la legge di Lenz si oppongono alla rotazione del campo magnetico, e sulle quali il campo magnetico reagisce con forze che tendono a trascinare il conduttore nella propria rotazione. Se il conduttore è mobile attorno all'asse O (fig. 1ª) esso si mette in movimento e prende a rotare come farebbe quando esso si trovasse fra i poli di una calamita rotante attorno all'asse O medesimo.

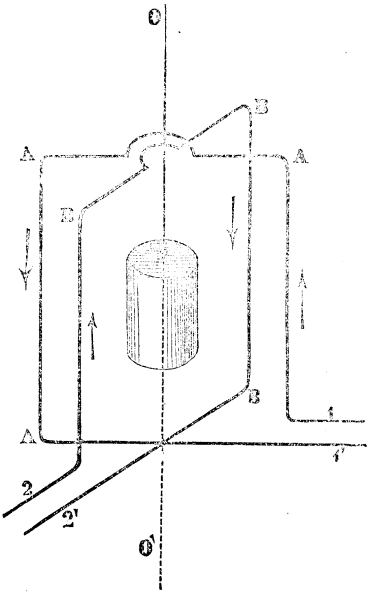
2. Descrivo alcuni degli esperimenti coi quali ho verificato ed utilizzato questo fatto [1]).

La fig. 2 rappresenta schematicamente in prospettiva la disposizione di una prima esperienza. Con 1AAA1' e con 2BBB2', sono rappresentate due spirali piatte, delle quali la prima è formata con poche spire di grosso filo, e la seconda contiene un numero più grande di spire fatte con un filo più sottile. Per rendere semplice la figura si è rappresentata una sola spira per ciascuna spirale, e si sono indicati in 1, 1' ed in 2, 2' i reofori ai quali le due spirali sono collegate. I piani delle spire delle due spirali sono verticali e perpendicolari tra di loro; essi si tagliano secondo la verticale OO' che rappresenta l'asse dell'apparecchio. La spirale 1AAA1' di filo grosso è inserita nel circuito primario di un trasformatore di Gaulard e Gibbs; la spi-

1) Le esperienze, delle quali si fa cenno furono eseguite nell'autunno del 1885.

rale 2BBB2' di filo sottile è inserita nel circuito secondario del trasformatore medesimo. Nello stesso circuito secondario è inserita una resistenza variabile priva di induzione propria, per mezzo della quale si può far variare il rapporto tra le intensità medie della corrente primaria e della secondaria, e con esso la differenza di fase tra le due correnti.

Fig. 2.



Il trasformatore è disposto per un rapporto di trasformazione uguale ad *uno*, ossia ha un medesimo numero di spire nelle due eliche primaria e secondaria: ma siccome per produrre una grande differenza di fase fra le due correnti conviene inserire nel circuito secondario una resistenza alquanto grande, così l'intensità della corrente secondaria risulta notevolmente minore di quella della primaria. Il maggior numero di spire esistente nella spirale 2BBB2' compensa questa differenza. Determinando convenientemente la resistenza inserita nel circuito secondario si può far sì che, pur avendo una notevole differenza di fase, le intensità medie dei campi magnetici prodotti dalle due correnti nel centro comune C delle due spirali sieno sensibilmente uguali. Questa

condizione si può verificare facilmente per tentativi. Quando essa è verificata, si ha nello spazio compreso nelle due spirali un campo magnetico di intensità approssimativamente costante, il quale gira uniformemente attorno all'asse OO' compiendo un giro intiero per ogni periodo della corrente alternativa. In tale spazio è sospeso un piccolo cilindro C di rame, vuoto e chiuso, sostenuto da un filo O.

Se si fa passare la corrente soltanto in una delle spirali, il cilindretto rimane immobile, ma se si fanno passare le correnti in entrambe le spirali, nel modo suddetto, il piccolo cilindro incomincia subito a rotare attorno al proprio asse, torcendo il filo di sospensione per molte decine di giri. Se per mezzo di un commutatore inserito nel circuito secondario si invertono le congiunzioni delle estremità 2 e 2' della spirale BBB coi capi dell'elica secondaria del trasformatore, colla qual cosa si fa variare di un mezzo periodo la fase della corrente in BBB, la rotazione del cilindretto C si inverte. Se l'inversione del commutatore si opera mentre il cilindretto sta girando in un certo verso, si vede la rotazione rallentarsi rapidamente ed estinguersi quasi subito per ricominciare nel verso opposto.

I medesimi effetti si ottengono se si inseriscono le due spirali AAA e BBB in due circuiti derivati, uno dei quali contenga una resistenza ma sia esente da induzione propria, mentre l'altro presenti soltanto una piccola resistenza, ma contenga una spirale con nucleo di ferro e con un notevole coefficiente di induzione propria.

Le esperienze furono ripetute coi medesimi risultati sostituendo al cilindretto di rame un uguale cilindretto di ferro. Se il cilindro adoperato è piccolo ed occupa solamente una piccola parte dello spazio che si ha nell'interno delle spirali, l'esperienza riesce facilmente tanto col ferro quanto col rame. Quando invece si adoperano cilindri grandi riempienti per una grande parte l'interno delle spirali, l'esperienza riesce meno facilmente col ferro che col rame. Ciò in causa dei grandi coefficienti di induzione propria che allora acquistano le spirali. Quando infatti le spirali AAA e BBB dell'apparecchio presentano grandi coefficienti di induzione, non si può provocare nelle due correnti la differenza di fase di cui si ha bisogno, se non alla condizione di inserire

nei circuiti esterni resistenze considerevoli, le quali consumano inutilmente una notevole parte dell'energia di cui si dispone.

In una esperienza ho adoperato un cilindretto di ferro formato con tanti dischi uguali di lastra sottile separati ed isolati per mezzo di dischetti di carta frapposti. In un tale cilindretto non si possono produrre le correnti indotte per mezzo delle quali si spiegano i risultati ottenuti col rame; tuttavia l'esperienza riuscì come prima. In questo caso la rotazione è dovuta al ritardo col quale la magnetizzazione dei dischetti di ferro segue la rotazione del campo magnetico a cui è dovuta.

Le esperienze sovradescritte, ad eseguire le quali bastano apparecchi grossolani ed improvvisati, possono servire nei corsi non solo come modificazione delle antiche e classiche esperienze di Arago e di Babbage ed Herschel, ma sovratutto come mezzo per porre in evidenza l'esistenza delle differenze di fase fra le correnti primaria e secondaria di un trasformatore, o quella delle differenze di fase che si hanno tra le correnti derivate alternative, o quelle che possono esistere fra due correnti alternative qualunque di ugual periodo. È anzi facile disporre le esperienze in modo tale che esse valgano a porre in chiaro il modo di variare delle differenze di fase col variare delle resistenze dei circuiti e dei coefficienti di induzione esistenti nei medesimi.

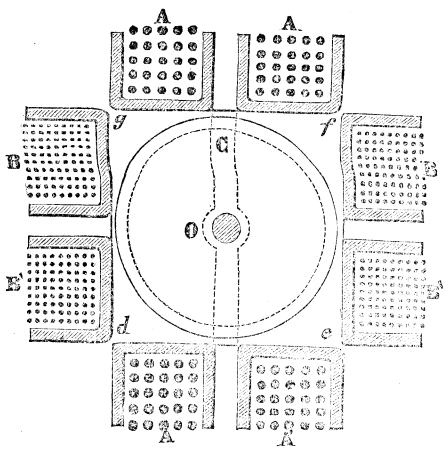
Se poi si adopera un leggiero cilindretto di rame riempiente quasi completamente l'interno di due moltiplicatori incrociati, portato da una lunga sospensione bifilare e munito di uno specchietto per le letture col cannocchiale e colla scala, si può formare uno strumento molto sensibile, atto ad attestare, anche con correnti di debole intensità, piccolissime differenze di fase.

3. Invece di appendere il cilindro conduttore mobile ad un filo o ad una sospensione bifilare, lo si può far portare da un albero metallico appoggiato su cuscinetti; ed allora, dando all'apparecchio maggiori dimensioni, se ne può formare un motore elettrico per correnti alternative. È evidente *a priori*, e risulterà anche dalle considerazioni che farò più sotto, che un motore così fatto non potrebbe avere importanza come mezzo di trasformazione industriale di energia, ma per la sua semplicità e per le sue proprietà esso potrebbe tuttavia servire ad utili applicazioni. Io ho combinato un modello provvisorio di motore, ed ho eseguito su di esso alcuni esperimenti.

La fig. 3 è una sezione del motore fatta con un piano perpendicolare all' asse di rotazione; essa può servire a dare un' idea della disposizione delle parti principali dell' apparecchio.

La parte mobile della macchina consiste in un cilindro di rame C, centrato su di un albero di ferro O, col quale è solidario. Il cilindro di rame è vuoto, ma è chiuso, con fondi pure di rame, alle due estremità; ha il diametro esterno di 8, 9 centimetri e la lunghezza di 18 centimetri; pesa 4, 9 chilogrammi. L' albero O ha il diametro di un centimetro, è orizzontale e si appoggia sopra due cuscinetti.

Fig. 3.



La parte fissa della macchina è costituita semplicemente da due coppie di spirali, che nella figura si vedono sezionate in AA, A'A' ed in BB, B'B'. Una di queste coppie di spirali, la AA, A'A', è disposta colle sue spire in piani verticali, e quando è percorsa da una corrente produce nel proprio interno, nello spazio ove si trova il cilindro di rame, un campo magnetico di direzione media orizzontale. L' altra coppia, la BB, B'B' invece ha le sue spire in piani orizzontali, e quando è percorsa da una corrente produce nello spazio occupato dal cilindro di rame un campo magnetico, del quale la direzione media è verticale. Le spirali sono contenute in telarini di legno di forma rettangolare. Due di questi telarini, quelli delle spirali orizzontali BB, B'B' hanno

le dimensioni appena sufficienti per lasciare al cilindro C il giuoco necessario pel movimento, la larghezza e la lunghezza del loro vano superano soltanto di un centimetro il diametro e la lunghezza del cilindro di rame. Gli Altri due telarini, quelli delle spirali verticali AA, A'A' hanno la medesima larghezza ed una lunghezza maggiore, in modo che essi abbracciano i due telarini BB, B'B' e li contengono esattamente. Quando i quattro telarini sono in posto essi chiudono uno spazio parallelepipedo *d e f g*, che, a meno del piccolo giuoco necessario per la libertà del movimento è circoscritto al cilindro C. La fessura lasciata tra le spirali A ed A' e quella lasciata tra B e B' hanno la larghezza strettamente necessaria per lasciar passare l' albero O.

Le spirali AA, A'A' sono fatte con filo di rame del diametro di millimetri 1,92; ciascuna di esse contiene 96 spire; esse sono collegate tra di loro in serie in modo da formare una spirale unica di 192 spire; la resistenza totale delle due spirali collegate in serie è di 0,844 ohm.

Le spirali BB, B'B' sono fatte con filo di rame del diametro di 0,97 millimetri, e ciascuna di esse contiene 504 spire. Le due spirali sono collegate in circuiti paralleli, in modo da equivalere ad una spirale unica di 504 spire fatta con filo di sezione doppia. Le resistenze delle singole spirali sono uguali a 7,12 ohm ed a 6,63 ohm; la resistenza delle due spirali riunite è di 3,43 ohm.

Per mettere in azione il piccolo motore che ho descritto mi servii di un generatore secondario di Gaulard e Gibbs. Inserii le spirali di filo grosso AA, A'A' nel circuito primario e le spirali di filo sottile BB, B'B' nel circuito secondario. Nello stesso circuito secondario era pure inserito un reostato industriale a filo di pakfong, esente da induzione propria, per mezzo del quale si potevano far variare l'intensità e la fase della corrente secondaria. La resistenza alla quale corrispondeva il migliore funzionamento del piccolo motore si poteva così determinare praticamente per tentativi. Tale resistenza dipende naturalmente dai coefficienti di induzione del trasformatore e dalla durata del periodo della corrente adoperata. Nelle mie esperienze la spirale secondaria del trasformatore era uguale alla primaria, e quindi praticamente il

coefficiente di autoinduzione della spirale secondaria era uguale a quello mutuo tra la spirale medesima e la primaria.

Le inversioni della corrente erano circa 80 per minuto secondo; ed in base a questi dati risultava da esperienze anteriormente eseguite sul trasformatore, che la resistenza apparente dovuta all' induzione della spirale secondaria su se stessa era di circa 8 ohm. In queste condizioni l' esperienza dimostrò che il migliore funzionamento del piccolo motore si aveva quando col reostato si introduceva nel circuito secondario una resistenza di 15 a 18 ohm. Coi dati numerici sovrariferiti si può calcolare che appunto fra tali limiti è compresa la resistenza necessaria per fare sì che l' intensità media del campo magnetico prodotto dalle spirali BB, B'B' percorse dalla corrente secondaria sia uguale a quella del campo magnetico prodotto dalle spirali AA, A'A' percorse dalla corrente primaria. Si può poi calcolare che coi sovraindicati valori della resistenza inserita nel circuito secondario, la differenza di fase tra la corrente secondaria e la primaria doveva corrispondere a poco meno di un quinto di periodo.

Colle cose disposte nel modo descritto, il cilindro di rame del piccolo motore cominciava a mettersi in movimento spontaneamente quando la corrente nel circuito primario raggiungeva una intensità media di circa 5 ampère. Con correnti di intensità superiore a questo limite il cilindro di rame prendeva una velocita, la quale poteva crescere fino a 900 giri per minuto. Al di là di questo limite l' imperfetto centramento del cilindro sul suo asse dava luogo a scosse troppo violenti per poter continuare l' esperimento.

Nel circuito secondario era inserito un commutatore, col quale si potevano invertire le congiunzioni delle spirali BB, B'B' colle estremità della spirale secondaria del trasformatore. Invertendo le congiunzioni si invertiva il senso della rotazione; operando l'inversione del commutatore mentre il cilindro girava con grande velocità in un verso, lo si vedeva arrestarsi rapidamente come se fosse stato stretto in un freno, e poi mettersi in rotazione nel verso opposto.

Fu applicato all' albero dell' apparecchio un piccolo freno dinamometrico equilibrato, collegato con una bilancia e sospensione inferiore, il quale servì a dare un' idea dell' ordine di grandezza

del lavoro meccanico ottenibile e del modo di variare del medesimo. Qui sotto sono registrati i valori ottenuti. Nella prima colonna sono indicati i numeri di giri per minuto primo che l'albero compieva nelle successive esperienze; nella seconda colonna sono indicati i corrispondenti lavori meccanici misurati col freno ed espressi in watt.

Giri in 1'	Watt.	Giri in 1'	Watt.
262	1,32	722	2,55
400	2,12	770	2,40
546	2,65	772	2,04
653	2,77	900	0

L'intensità media della corrente primaria era di circa 9 ampère; le inversioni di essa erano 80 per 1".

Vedesi che il lavoro cresce col crescere della velocità finchè questa non ha raggiunto il valore corrispondente a circa 650 giri al minuto; per tale velocità il lavoro è massimo; per velocità maggiori esso diminuisce con rapidità crescente, finchè per una velocità di 900 giri al minuto il lavoro utilizzabile si riduce a zero. Questa rapida decrescenza del lavoro utilizzabile è dovuta in gran parte all'imperfetto centramento della parte rotante: gli urti dovuti a questa causa dànno luogo a perdite di energia crescenti, al crescere della velocità, con progressione rapidissima. Portando in un disegno come ascisse i numeri di giri per minuto, e come ordinate i valori del lavoro misurato, e congiungendo con una linea i punti così ottenuti, si trova una linea, la quale da principio, e fino al punto corrispondente ad una velocità di circa 500 giri per minuto, si confonde sensibilmente con una retta passante per l'origine, ma in seguito si ripiega verso l'asse delle ascisse, verso il quale discende rapidissimamente. Questa forma della linea giustifica la spiegazione precedente. Senza gli effetti degli urti, dei quali abbiamo parlato, la linea dei lavori ottenuti andrebbe innalzandosi fino al punto corrispondente all'ascissa 1200 circa e discenderebbe poscia regolarmente per incontrare l'asse delle ascisse in vicinanza dell'ascissa 2400, che corrisponde alla velocità di rotazione del campo magnetico.

4. Le relazioni esistenti tra il momento della coppia che fa rotare il tamburo, il lavoro meccanico utilizzabile, l'energia che si trasforma in calore nel cilindro di rame e le velocità di rotazione del campo magnetico e del tamburo si possono stabilire facilmente se si suppone la macchina nelle condizioni ideali migliori, se cioè si suppone che i campi magnetici sinusoidali prodotti dalle due correnti alternative abbiano uguali intensità massime e presentino una differenza di fase corrispondente ad un quarto di periodo.

In questo caso il campo magnetico risultante ha una intensità invariabile e ruota attorno all'asse dell'apparecchio con una velocità angolare uniforme. Noi rappresenteremo questa velocità angolare del campo magnetico colla lettera Ω, e rappresenteremo invece con ω la velocità angolare del tamburo di rame; la velocità angolare del moto relativo del campo magnetico rispetto al tamburo sarà allora $\Omega - \omega$.

Se diciamo M il momento della coppia, colla quale il campo magnetico rotante agisce sulle correnti indotte nel tamburo di rame e tende a trascinare questo nella propria rotazione, possiamo esprimere subito il valore del lavoro meccanico prodotto dal motore, e quello della energia che viene trasformata in calore nel tamburo in causa delle correnti in esso indotte. Rappresentando con W il lavoro meccanico prodotto dal motore in una unità di tempo, e intendendo che in esso sia compresa quella parte che è consumata dalle resistenze passive, abbiamo

$$W = M\omega , \tag{1}$$

Rappresentando invece con P l'energia che in ogni unità di tempo si trasforma in calore dentro al tamburo in causa delle correnti che vi sono prodotte per induzione dal campo magnetico rotante, abbiamo:

$$P = M(\Omega - \omega) . \tag{2}$$

Quest'ultima relazione si dimostra osservando che l'energia trasformata in calore in causa delle correnti esistenti nel tamburo è uguale a quella che si spende per produrre le correnti medesime, e questa è uguale al lavoro necessario per mantenere il

moto relativo, colla velocità $\Omega - \omega$, tra l'indotto ed il campo magnetico induttore.

Dalle formole (1) e (2) si ha per divisione

$$\frac{W}{P} = \frac{\omega}{\Omega - \omega}, \tag{3}$$

od anche

$$\frac{W}{W + P} = \frac{\omega}{\Omega}. \tag{4}$$

l'energia W, che si ottiene come lavoro meccanico o come forza viva, sta alla totale energia $W + P$, che si manifesta in parte come energia meccanica ed in parte come calore, come la velocità di rotazione del cilindro sta alla velocità di rotazione del campo magnetico.

Se come abbiamo supposto nel calcolo precedente, il campo magnetico ha una intensità costante e gira con velocità uniforme, vi ha nel cilindro conduttore un sistema di correnti indotte, che conserva costantemente la stessa configurazione; questo sistema di correnti si sposta girando attorno all'asse dell'apparecchio, ma i fenomeni che in un elemento di tempo qualunque avvengono in un elemento qualunque del volume del cilindro, in un elemento di tempo successivo si riproducono esattamente in un altro elemento di volume. Il calore svolto dalle correnti nel cilindro è adunque lo stesso che si svolgerebbe se le correnti fossero costanti ed immobili. Ora in ogni elemento di volume la corrente è proporzionale ad $\frac{\Omega - \omega}{\rho}$, ove si rappresenti con ρ la resistenza specifica del metallo; quindi il calore svolto è proporzionale a $\rho\left(\frac{\Omega - \omega}{\rho}\right)^2$, ossia a $\frac{(\Omega - \omega)^2}{\rho}$. Dicendo adunque k una costante, possiamo porre

$$P = \frac{k}{\rho}(\Omega - \omega)^2.$$

Portando questo valore nelle formole (1) e (2), otteniamo

$$W = \frac{k}{\rho}(\Omega - \omega)\omega, \tag{1'}$$

ed

$$(2') \qquad M = \frac{k}{\rho}(\Omega - \omega).$$

Data la durata del periodo della corrente alternativa adoperata, Ω ha un valore determinato e costante. Allora la (1') fa vedere che l'energia W, che si manifesta come lavoro meccanico, ha un valore massimo quando

$$\omega = \frac{\Omega}{2},$$

mentre la (2') dà per M un valore massimo quando

$$\omega = 0.$$

Quando l'energia meccanica W è massima, ossia quando è $\omega = \frac{\Omega}{2}$, la (3) dà

$$W = P:$$

l'energia che si manifesta come lavoro meccanico è allora uguale a quella che si manifesta come calore nel cilindro rotante.

5. Queste relazioni ed i risultati delle esperienze riferite più sopra confermano, ciò che era evidente *a priori*, che un apparecchio fondato sul principio di quello da noi studiato non potrebbe avere alcuna importanza industriale come motore; e quantunque sia possibile studiare le dimensioni di esso in modo da aumentarne notevolmente la potenza e migliorarne moltissimo il rendimento, sarebbe inutile entrare qui in alcuna considerazione su tale problema.

Io credo tuttavia che le esperienze che ho descritto possano presentare qualche interesse.

In primo luogo un piccolo apparecchio come il descritto può servire utilmente per esperienze nei corsi. Adoperato a tale uso, esso presenta il vantaggio di funzionare per mezzo di una coppia diretta sempre nel medesimo verso, per modo che anche con le sole forze elettrodinamiche, sempre assai deboli, si possono con esso accumulare in una grande massa, come è quella del cilindro di rame da noi adoperato, notevoli quantità di energia cinetica.

In secondo luogo, e ciò è più importante, un apparecchio analogo al descritto potrebbe servire come misuratore della elettricità somministrata in una distribuzione di energia elettrica fatta con correnti alternative. Bisognerebbe a quest'uopo disporre le cose in modo, che al movimento del tamburo si opponesse una resistenza proporzionale al quadrato della velocità. Siccome il momento della coppia motrice è proporzionale al quadrato della intensità media della corrente, così la velocità di regime dell'apparecchio risulterebbe proporzionale alla intensità media della corrente; ed il numero di giri compiuto dal tamburo in un dato tempo, numero che può essere indicato da un contatore, risulterebbe proporzionale alla quantità di elettricità trasmessa nel tempo medesimo. Naturalmente converrebbe allora disporre verticalmente l'asse dello strumento onde ridurre al minimo le resistenze passive perturbatrici ed attenuare gli effetti delle imperfezioni del centramento.

6. Come già avevo fatto nelle esperienze col cilindretto sospeso, ho cercato di ripetere gli esperimenti, sostituendo al cilindro di rame un cilindro di ferro di uguali dimensioni e di peso poco diverso. Il risultato fu quasi completamente negativo: riuscii a stento a produrre una lentissima rotazione. La ragione di questo risultato sta nel fatto che col cilindro di ferro le spirali B B, B'B' assumono un grande coefficiente di induzione propria, che rende necessario introdurre nel circuito secondario del trasformatore una grande resistenza onde ottenere la voluta differenza di fase tra le correnti. Ma con questa grande resistenza in circuito la intensità della corrente secondaria riesce piccolissima. Nè la debolezza della corrente si può compensare aumentando il numero delle spire nelle eliche B B, B'B' perchè col numero delle spire cresce il coefficiente di induzione propria delle spirali medesime.

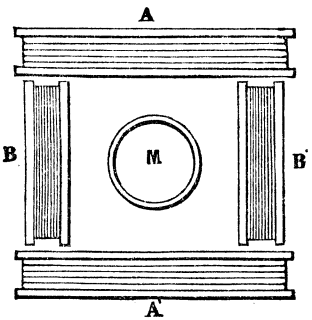
Provai pure, come già avevo fatto nelle esperienze col cilindretto di ferro massiccio, un cilindro formato con dischi situati in piani perpendicolari all'asse ed isolati con fogli di carta frapposti. Il risultato, in questo caso, fu assolutamente negativo.

Sperimentai ancora con un altro modello di motore, ove il tamburo girava su di un asse verticale ed occupava lo spazio esistente fra i poli, scavati a superficie cilindrica, di quattro elet-

tromagneti affacciati due a due. Due di questi elettromagneti, affacciati l'uno all'altro, erano eccitati dalla corrente primaria e facevano le veci delle spirali AA, A'A'; gli altri due, anch'essi affacciati l'uno all'altro, erano attivati dalla corrente secondaria, e facevano le veci delle spirali BB, B'B'. L'apparecchio funzionò, in questo caso, meglio col cilindro di ferro che con quello di rame; ma gli effetti furono con esso molto minori di quelli ottenuti coll'apparecchio precedente. La ragione del fatto è quella stessa di cui abbiamo parlato testè.

Provai finalmente a sostituire al tamburo solido un conduttore liquido, una massa di mercurio. Per fare l'esperimento bastò la disposizione semplicissima seguente. Le spirali AA, A'A' e BB, B'B', tolte dal motore che aveva servito alle esperienze sovradescritte, vennero collocate in piani verticali, due a due paralleli tra di loro e perpendicolari agli altri due, in modo da costituire le quattro faccie di un prisma a base quadrata. Nella fig. 4 le

Fig. 4.



quattro spirali sono vedute in proiezione orizzontale e sono segnate colle lettere A, A' B, B'. Le spirali furono collegate tra di loro e col generatore secondario come lo erano nel motore; le A od A' furono inserite nel circuito primario, le B, B' nel secondario insieme col reostato e col commutatore. Nello spazio circondato dalle quattro spirali si collocò un bicchiere M pieno di mercurio e si constatarono nel liquido le rotazioni prevedute. In causa della maggiore resistenza specifica le velocità acquistate dal mercurio furono, a parità delle altre circostanze, molto mi-

nori di quelle acquistate dal rame. La massima velocità ottenuta nel mercurio fu, con una corrente di 10 ampère, di circa 13 giri per minuto primo.

RIVISTA

Comptes Rendus. *(Fine del 1887).*

15. 16. — G. Lippmann. *Sulle formule delle dimensioni.* — Alcune formule di dimensioni danno l' idea di una corrispondente interpretazione fisica, ma spesso si fa uso di modi di dire inesatti, come p. es. quando si dice che la capacità elettrica è una lunghezza, o la resistenza è una velocità. La natura di una grandezza elettrica non cangia con le convenzioni che servono ad esprimerla numericamente. La formula di dimensione non ha un significato, solo; indica una delle condizioni necessarie per la interpretazione fisica, e serve di criterio per giudicare della eleganza di un metodo di misura; e qui l' A. riferisce alcuni esempi.

E. Mathieu. *Sopra un principio di elettrodinamica.* — Due punti A ed A_1 di un conduttore sono a contatto coi reofori della pila, e il potenziale V è dato dalla formula

$$V = C\left(\frac{1}{t} - \frac{1}{t'}\right) + U$$

t e t' son le distanze del punto (x, y, z) da A e da A_1, e si deve considerare questo punto nell' interno e vicinissimo alla superficie. U è il potenziale della elettricità che è sulla superficie σ del corpo. La funzione U soddisfa in tutto lo spazio alla $\Delta U = 0$, ed alla superficie si ha

$$C\frac{d}{dn}\left(\frac{1}{t} - \frac{1}{t'}\right) + \frac{dU}{dn} = 0.$$

Sia una funzione

$$P = \frac{1}{4\pi}\int \frac{dr^{-1}}{dn} \cdot V\, d\sigma\,,$$

ove r è la distanza di (x, y, z) da $d\sigma$. P rappresenterà il potenziale di un doppio strato di elettricità sulla σ. Nell' interno di σ, P è uguale ad U, e si ha: