G. LAVAGNOLO
Casa Editrice dei Mestieri e Professioni
delle Industrie e Scienze
Corso Vittorio Emanuele, 123 - TORINO

10000

PREZZO NETTO
L. 900

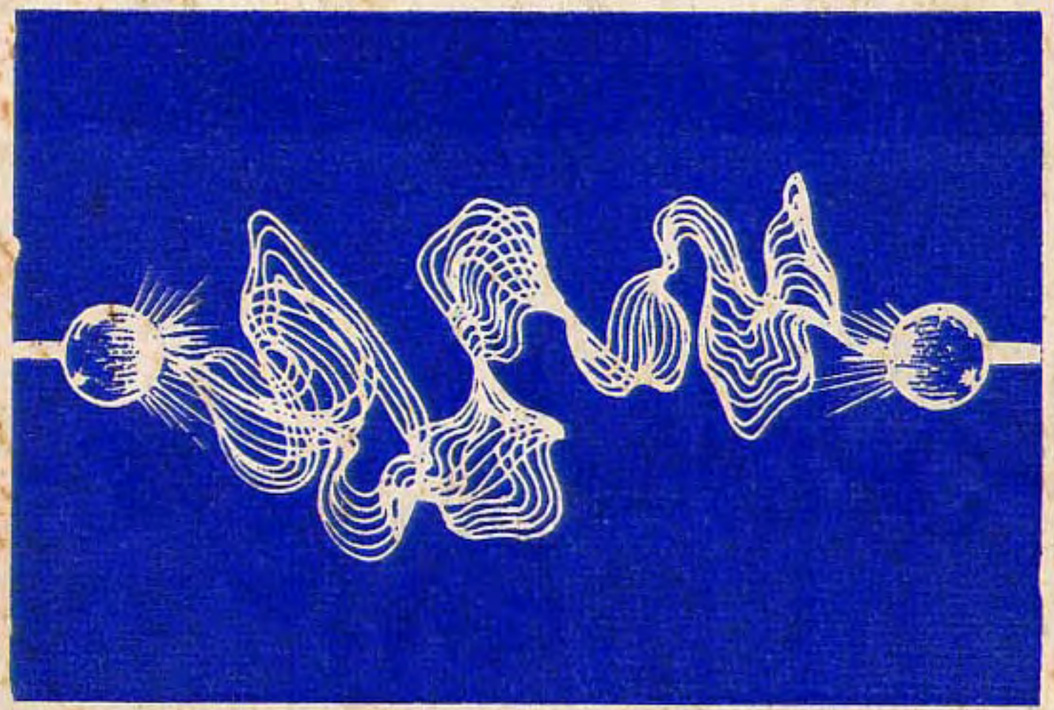
Ing. L. BONACOSSA

Il Rocchetto di Ruhmkorff

TEORIA - PRATICA - COSTRUZIONE

IV EDIZIONE AMPLIATA

161 FIGURE



G. LAVAGNOLO
Editore - Torino

Ing. LUCIANO BONACOSSA

IL ROCCHETTO DI RUHMKORFF

TEORIA, PRATICA E COSTRUZIONI

G. LAVAGNOLO - Editore
Corso Vittorio Emanuele, 123
TORINO

Proprietà letteraria

Tipografia Francesco Mittone, Corso Principe Oddone 34, Torino.

PREFAZIONE ALLA PRIMA EDIZIONE

In queste brevi nozioni ho cercato di raccogliere tutto ciò che concerne il Rocchetto di Ruhmkorff, badando di essere essenzialmente pratico, per facilitare il compito del dilettante che vuole accingersi a tali costruzioni.

Appunto per questo sono stato molto conciso nella parte riguardante la teoria, soffermandomi invece sugli esempi e sulla pratica.

Parecchie delle costruzioni insegnate sono state eseguite con pieno esito da me stesso, di modo che verranno evitati — almeno in parte — i pericoli d'insuccesso.

Sarò grato a coloro che vorranno indicarmi errori o manchevolezze in cui fossi involontariamente incorso, onde poter presentare ai lettori — nel caso che il manuale venisse favorevolmente accolto — un'opera sempre migliore.

Colgo qui l'occasione per ringraziare la Ditta Emilio Balzarini di Milano, alla quale appartengono le fotografie degli apparecchi illustrati nel testo del presente volumetto.

— Luciano Bonacossa.

PREFAZIONE ALLA PRESENTE EDIZIONE

In questa nuova edizione ho particolarmente curato la parte teorica riguardante il funzionamento del Rocchetto di Ruhmkorff, onde meglio condurre la trattazione secondo i suoi vari aspetti.

Non sono però stato eccessivamente teorico poichè non era tanto necessario giungere a delle formule concrete (che d'altronde non servono per impostare un calcolo) quanto riuscire a condurre la trattazione analitica in un punto dal quale si potessero prevedere i fenomeni più importanti e dedurne quindi di conseguenza gli ammaestramenti per la pratica.

Mi sembra che come è adesso, questo volumetto — benchè senza pretese eccessive — sia più completo ed omogeneo, e possa recare soddisfazione tanto a chi ama le discussioni teoriche quanto a chi bada solo ai procedimenti costruttivi.

Ho pure corretto e riparato a qualcuna delle manchevolezze sfuggite nelle precedenti edizioni, ed ho aggiunto nuovo testo e nuove illustrazioni a maggior charimento degli argomenti trattati.

LUCIANO BONACOSSA.

ENRICO DANIELE RUHMKORFF

Enrico Daniele Ruhmkorff è nato ad Hannover il 15 gennaio 1803. Suo padre era reggente di un ufficio postale ed aveva una numerosissima famiglia da mantenere (10 figli, di cui 6 femmine) così, benchè Daniele dimostrasse buona volontà ed attitudine per lo studio, non appena terminate le scuole elementari dovette lavorare per non pesare sul magro bilancio della famiglia, e si occupò presso un tornitore.

Dopo qualche anno però si trasferiva a Stoccarda per studiare la meccanica e perfezionarsi così in quello che rappresentava la sua grande passione, ed a 20 anni si recò a Parigi ove riuscì a completare la sua vasta cultura teorica e pratica.

Alla passione per lo studio, egli univa una volontà di riuscire veramente notevole per un giovinetto, ed a questo proposito si racconta che un giorno uno dei suoi professori ricevette da Londra un delicatissimo apparecchio, ma di costruzione assai difettosa, ed il Ruhmkorff si offerse subito per la riparazione, affermando di sentirsi in grado di apportare tutte le necessarie modificazioni e miglioramenti onde renderlo atto ad essere usato. Ciononostante gli venne negato il permesso di toccare l'apparecchio, ed allora piuttosto di darsi per vinto, il giovane allievo riuscì a portare al suo professore — dopo alcuni giorni — una copia forse migliore dell'originale

dell'apparecchio in questione, da lui stesso costrutta. Per la bravura dimostrata venne pubblicamente elogiato e naturalmente si ebbe l' incarico ambito di riparare l'apparecchio inglese.

Ruhmkorff era però ancor troppo giovane per pensare di stabilirsi definitivamente a Parigi, ed il suo spirito vivace ed avido di cose nuove lo spinse a viaggiare per l'Europa in cerca di novità da imparare.

Di tutti i suoi soggiorni, quello che più lo attrasse fu Londra, ove lavorò nelle officine di Brahama, il famoso inventore e costruttore di serrature e più tardi di presse idrauliche. A quell'epoca a Londra viveva un gruppo di famosi scienziati quali Davy, Herschell, Faraday, Brewster e qualche altro, e Ruhmkorff seguiva con attenzione estrema e con passione e profitto le loro conferenze.

All'età di 24 anni, lo prese la nostalgia del paese natìo ed ebbe così un breve soggiorno presso la sua famiglia, poscia pensò di recarsi in Russia. A Swinemunde avrebbe dovuto imbarcarsi, ma si attardò con alcuni amici e non fece in tempo a giungere sul battello per l'ora della partenza. Buon per lui che la fortuna lo protesse, perchè quel battello affondò prima di giungere a destino, e dei passeggeri nessuno potè salvarsi!

Si fermò qualche tempo a Celle in un laboratorio di strumenti di precisione, poscia tornò a Parigi per perfezionarsi nei vari rami della fisica, e dopo questo nuovo periodo di studio tenace si mise da solo — nel 1839 — a costruire apparecchi di fisica.

Le sue risorse materiali erano alquanto limitate, ma in compenso egli possedeva un bagaglio scientifico di incomparabile ricchezza. La sua piccola officina era posta proprio di fronte alla Sorbona, ed in breve i più eminenti fisici francesi lo conobbero, e volentieri si intrattenevano con questo giovane biondo dal volto rischiarato da due occhi intelligenti e profondi, così che il modesto laboratorio divenne un vero ritrovo di persone colte, ed in esso si fecero delle appassionate discussioni scientifiche. Egli cominciò allora ad aprirsi una strada ed a farsi conoscere grazie alla sua grande forza di volontà. Nel 1842 il suo nome fu per la prima volta pronunciato nei *Comptes Rendus* dell'Accademia delle Scienze e nel 1844 Melloni gli diede l'incarico di costruire il suo banco per le esperienze sul calore, che gli valse una medaglia d'argento.

La stessa distinzione gli venne assegnata nel 1849 per un apparecchio destinato a verificare la scoperta di Faraday sulla rotazione del piano di polarizzazione della luce sotto l'azione del campo magnetico.

È nel suo 40° anno di età che incominciò i lavori per la costruzione della bobina che porta ora il suo nome e che lo rese celebre, quantunque — come vedremo in seguito — la questione della priorità in questa faccenda sia stata discussa per molto tempo senza tuttavia giungere ad una netta decisione.

L'Uppenborn, nella sua *Storia dei Trasformatori* racconta e dimostra che fin dal 1836 gli americani Henry e Page avevano costruito degli apparecchi per la *scossa elettrica* e più tardi delle bobine vere e proprie che però avevano rispetto a quella del Ruhmkorff la differenza di non comprendere il condensatore derivato fra i punti nei quali avviene l'interruzione del circuito primario, condensatore che venne per la prima volta applicato dal Ruhmkorff su consiglio di Fizeau.

Lo stesso Uppenborn si meraviglia come nel 1851 si ignori ancora in Europa la portata dei lavori del Page, dato che la bobina di Ruhmkorff — iniziata seriamente verso il 1848 — nel 1851 non era ancora stata condotta a termine.

*
* *

Per continuare la storia del Rocchetto costruito da Ruhmkorff, diremo che questi lavorò attivamente per parecchi anni attorno al primo modello, e finitolo, partecipò nel 1855 all'Esposizione di Parigi ed ottenne il primo premio e la croce della Legion d'Onore. La giuria incaricata di distribuire i premi, comprendeva fra altri Poncelet, Morin e Ponillet, ed il rapporto ufficiale riassume in poche parole la geniale opera del Ruhmkorff. Testualmente esso dice: « Quest'uomo ha saputo farsi apprezzare dagli scienziati e dagli studiosi del mondo intero, che avevano bisogno di un apparecchio nuovo per le loro ricerche. Poche parole lo presentano: basta dire che si è certi di trovare in lui una profonda conoscenza della materia che vuole di tutto rendersi conto, il più delle volte associata ad uno spirito di disinteresse quasi senza esempio.

« Quando si ricorre a lui, è principalmente la Scienza che egli pensa a servire.

« La sua bobina d' induzione era d' interesse puramente teorico al principio, ora egli l'ha saputa perfezionare e le ha aperto un vasto campo di applicazioni. Essa costituisce indubbiamente per la Scienza un progresso assai importante, e condurrà a dei risultati di alto valore teorico e pratico ».

Nel 1864, Ruhmkorff ottenne il premio Volta di 50.000 franchi che Napoleone III volle assegnare a chi avesse trovato la migliore applicazione della Pila, e Dumas, che con Becquerel, Regnault, Jamin ed altri aveva redatto la motivazione per l'assegnazione del premio, accennando alla grande importanza del nuovo apparecchio, prevedeva che sarebbe stato senza dubbio

fecondo di trovate e di applicazioni in molti campi scientifici.

Noi possiamo facilmente giudicare come questa profezia si sia realizzata!

Allo scoppio della guerra 1870-71 contro la Germania, Ruhmkorff ebbe un grande dolore nell'anima sua perchè mentre professava a Parigi ed aveva per la Francia una grande affezione, tuttavia non poteva aver dimenticato il culto per la Patria. Costretto a lasciare ogni cosa, tornò ad Hannover dove cadde ammalato per molto tempo.

Passate le ostilità ritornò a Parigi nei suoi vecchi e pur cari laboratori, e morì il 20 dicembre 1877.

La sua salma venne trasportata con pompa nel cimitero di Montparnasse e molti scienziati accorsero da ogni parte d'Europa per rendergli le estreme onoranze e portargli l'ultimo omaggio.

Jamin pronunciò sulla tomba l'elogio funebre, ed il 24 dicembre dello stesso anno Dumas fece davanti all'Accademia delle Scienze il panegirico di questo prezioso collaboratore così universalmente compianto.

Nell'anno 1903, nel primo centenario della nascita di Enrico Daniele Ruhmkorff, la Società degli Elettricisti di Hannover ha celebrato questa data scoprendo una lapide commemorativa nella casa ove Egli nacque, ed intestando al Suo nome una via della città.

Parigi, città di adozione del Ruhmkorff, non si era dimenticata dell'affetto dimostratole e già da tempo Gli aveva reso questo omaggio.

Capitolo I.

MAGNETISMO ED ELETTROMAGNETISMO

1. — *Campo magnetico.*

Alcuni corpi hanno *naturalmente* la proprietà di attirare il ferro e di essere da questo attirati e si chiamano *magnetizzati;* altri corpi possono *artificialmente* acquistare detta proprietà e prendono il nome di *magnetici.*

Il *magnetismo* è dunque la causa che dà luogo a questo fenomeno, e di esso si parla e se ne misurano in certo modo delle *quantità* (confrontando gli effetti da uno stesso fenomeno prodotti) pur senza nulla conoscere della sua intima essenza e della natura dei fenomeni provocati.

Non è qui opportuno sviluppare od anche semplicemente accennare a teorie o a concetti per svolgere l'argomento che ci interessa e per farlo comprendere, perciò richiameremo solo brevemente le nozioni principali che in seguito ci potranno servire, sorvolando su quanto riguarda gli elementi ed i principî perchè immaginiamo siano presenti nella mente del lettore.

Si intende col nome di *campo magnetico* quello spazio nel quale sono sensibili tutte le azioni dovute alle masse magnetiche che ivi si trovano; azioni che si manifestano nella attrazione o repulsione delle masse stesse fra di loro.

Teoricamente questo spazio dovrebbe essere infinito, invece in pratica le azioni magnetiche si fanno sentire solo entro un certo spazio al di là del quale si annullano.

Immaginiamo di collocare una massa magnetica unitaria positiva (nord) in un campo magnetico; vedremo che una forza solleciterà detta massa a muoversi in una

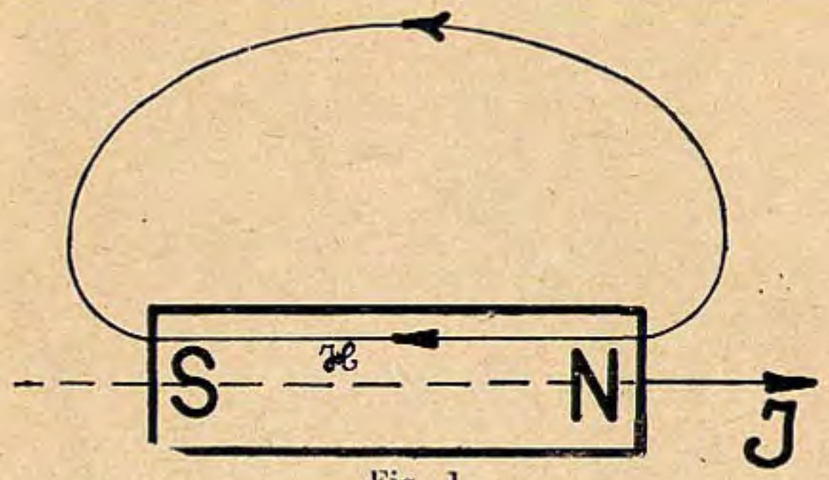


Fig. 1.

certa direzione, che chiameremo *direzione del campo magnetico* nel punto considerato. Se la massa di poco prima è una massa unitaria, o *massa di prova*, la forza che la sollecita a muoversi viene definita come l'intensità del campo o *forza magnetica* in quel punto.

Un campo magnetico si dice *uniforme* quando in tutti i suoi punti ha ugual direzione ed intensità.

Le linee di forza di un campo magnetico rappresentano il cammino percorso dalla massa di prova come venne dianzi spiegato, e per renderci conto che quanto si è detto non è frutto di immaginazione, bensì corrisponde alla realtà dei fatti, consideriamo (fig. 1) un magnete dotato d'una magnetizzazione uniforme nella direzione I.

Se collochiamo la massa di prova (unitaria) in un

qualsiasi punto esterno al magnete, vicino alla faccia Nord di esso, osserveremo una repulsione, mentre al contrario avverrà l'attrazione se detta massa unitaria vien posta in prossimità della faccia Sud.

Concluderemo quindi che all'esterno dei magneti le linee di forza sono dirette dal polo Nord a quello Sud,

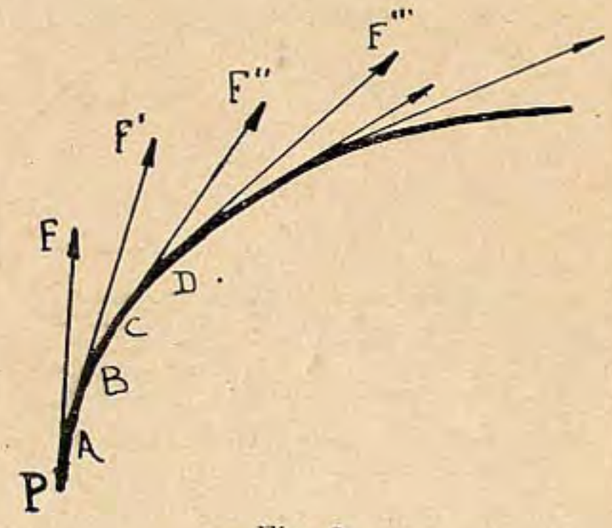


Fig. 2.

e per ben comprendere la loro funzione, immaginiamo di avere una massa magnetica in un campo, libera di muoversi secondo la direzione della forza che agisce su di esso. In un primo tempo essa sarà in P (fig. 2) e la forza che agisce sarà rappresentata dal vettore F. Percorriamo ora nella direzione P F uno spazio infinitesimo P A e soffermiamoci in A. In questo punto la forza che agisce avrà direzione ed intensità diversi dai valori di prima; rappresentiamo detta forza nel vettore A F'. La massa magnetica seguirà per uno spazio infinitesimo la direzione del nuovo vettore, e giungerà per esempio in B: anche qui la nuova forza cambierà sia direzione che intensità, e così via.

La linea P A B C... che la massa magnetica P ha percorso, costituisce una linea di forza del campo, e si vede chiaramente da quanto detto che la direzione e l'intensità del campo in ogni punto sono rappresentate dalla tangente condotta alla linea di forza passante per quel punto.

L'esistenza delle linee di forza si può dimostrare sperimentalmente con gli spettri magnetici. Se disponiamo

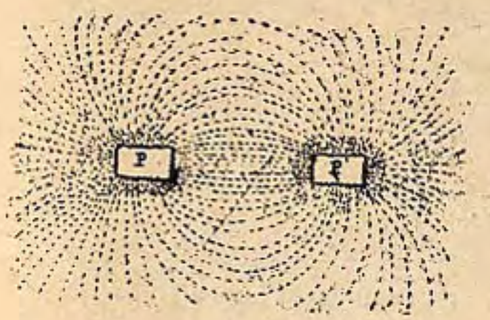


Fig. 3.

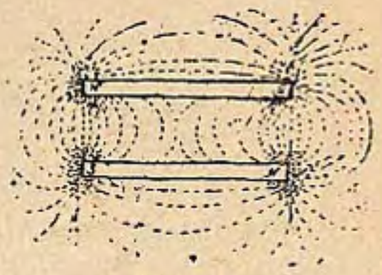


Fig. 4.

un cartone sopra una calamita e vi lasciamo cader sopra con uno staccio della limatura di ferro, la vedremo distribuirsi in filamenti che convergono verso i poli P, P' (fig. 3) e formano degli archi attraverso la superficie neutra. Per facilitare la formazione di queste figure, sarà bene imprimere colla mano leggere vibrazioni al cartone. Ciascun granellino di ferro si magnetizza per conto suo comportandosi come un vero e proprio magnete, il suo asse si dispone secondo la risultante magnetica, ed agendo sui granellini vicini contribuisce a riunirli in quei filamenti che seguono le linee di forza.

Se noi prendiamo ora due calamite e le disponiamo secondo la stessa direzione, ma in modo di avere affacciati i poli di nome contrario vediamo che le linee di forza sono ripartite nel piano, estendendosi dal polo

nord di una calamita al polo sud dell'altra (fig. 4). Mettendo invece di fronte i poli di ugual nome (fig. 5) le linee di forza si ripartiscono diversamente, e precisamente tendono ad allontanarsi nella regione dei poli omonimi, e questo in concordanza colla nota legge: poli omonimi si respingono, poli eteronimi si attraggono.

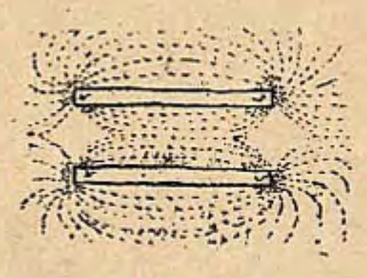


Fig. 5.

Un poco più complicata è invece la ricerca dell'andamento delle linee di forza nell'interno del magnete, in quanto che per far ciò è necessario immaginare di togliere tutto il materiale magnetico prima esistente e lasciar occupare il suo posto dall'aria, senza però che con questo cessino di esistere le due distribuzioni estreme di magnetismo.

Immaginando di far questo, e collocando la massa di prova nelle vicinanze della faccia Nord (parte interna dello spazio prima occupato dal magnete) si vedrà che essa sarà respinta da qui, ed attratta invece dalla opposta faccia, per cui concluderemo che anche nell'interno del magnete (fig. 1) l'andamento delle linee di forza è pure da Nord a Sud, e perciò le linee di forza all'esterno ed all'interno dei magneti hanno sensi opposti.

Questo avviene perchè — essendovi alle superfici estreme dei magneti delle distribuzioni di magnetismo libero — queste superfici stesse costituiscono delle soluzioni di continuità.

Anche il vettore I — chiamato intensità della magnetizzazione — non è continuo in tutto il campo magnetico poichè evidentemente esso non può esistere dove non vi sono masse magnetiche.

Invece di studiare i campi magnetici dal punto di vista delle forze che possono originare, cerchiamo di renderci ragione della essenza fisica di dette forze, ammettendo cioè — come Faraday, Lord Kelvin e Maxwell immaginarono a proposito delle forze elettriche — che la sede dei fenomeni magnetici venga estesa a tutto il



Fig. 6.

campo e non sia unicamente ristretta al limitato spazio materialmente occupato dai magneti.

Questa concezione è ammissibile perchè è risaputo e verificato che non solamente il ferro ed i materiali ferrosi in genere, bensì tutti quanti i corpi sono in grado di presentare dei fenomeni magnetici qualora circostanze speciali ne determinino l'adatto ambiente.

Si ammette quindi che nell'istante della magnetizzazione di un corpo, si origina uno spostamento o *flusso* delle masse magnetiche positive nella direzione secondo la quale si produce la magnetizzazione del corpo in esame. Tali masse magnetiche erano già presenti nel corpo prima che avvenisse la magnetizzazione, e pel fatto di esistere in ciascun punto due uguali quantità di magnetismo positivo e negativo, si aveva l'equilibrio perfetto in quanto che gli effetti che separatamente

potevano esser provocati da ciascuna quantità di magnetismo si elidevano.

In altre parole, la teoria ora succintamente presentata ammette che quando il corpo non è magnetizzato, le masse magnetiche (che si possono considerare come

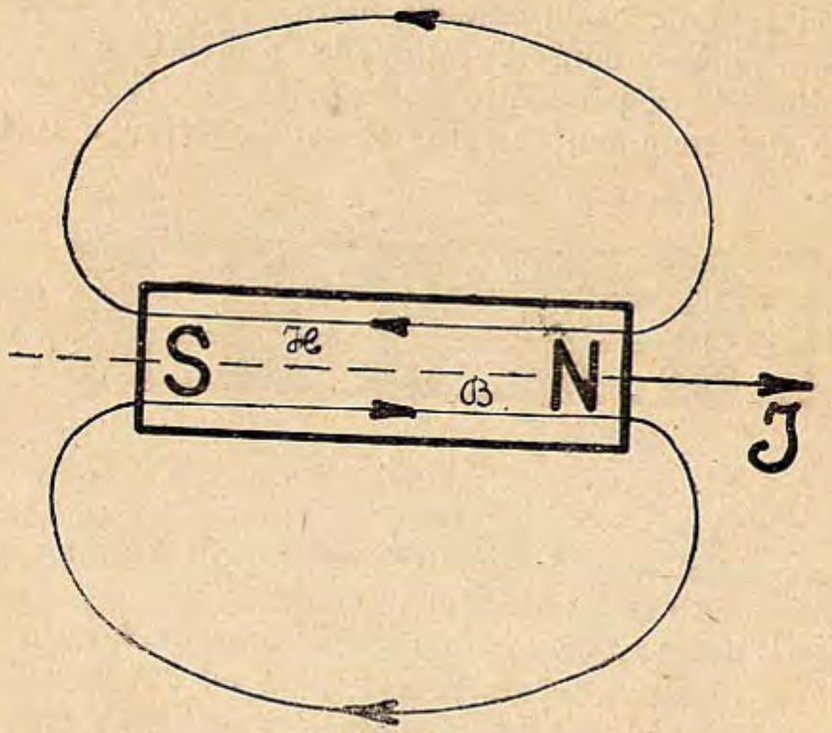


Fig. 7.

tanti piccoli magneti) sono orientate secondo diverse direzioni in modo che vengono ad essere annullati il magnetismo complessivo e l'azione totale risultante, mentre quando il corpo si magnetizza, questi singoli magnetini vengono ad orientarsi presso a poco nella medesima direzione (fig. 6) in modo da sommare la loro potenzialità.

Lo spostamento — che in ultima analisi viene appunto a costituire il flusso — non è quindi una forza,

bensì ne è l'effetto, e risulta chiaro — per quanto ammesso prima di iniziare questo ragionamento — che le linee di flusso sono chiuse e non hanno soluzioni di continuità nel passaggio attraverso gli estremi del magnete.

Nella figura 7 sono riportate le linee di forza del magnete come è stato spiegato in figura 1, ed in più vien fatto vedere l'andamento delle linee di flusso B che — è bene ricordarlo — nell'interno sono in numero maggiore delle linee di forza a causa della discontinuità che per queste ultime si verifica nel passaggio attraverso la faccia Sud del magnete mentre all'esterno sono dello stesso numero delle linee di forza stesse. Un campo magnetico può essere considerato come formato da tante linee di flusso anzi, siccome al concetto di flusso si accoppia facilmente quello di spostamento, è più evidente pensare alla costituzione di un campo magnetico con tubi di induzione attraverso i quali passa un costante quantitativo di flusso.

2. - *Alcune definizioni.*

La legge fondamentale del magnetismo è espressa dalla formula di Coulomb:

$$F = k \frac{M\,M'}{d^2}$$

che ci rappresenta la forza che due masse magnetiche M ed M' esercitano fra di loro quando sono poste alla distanza *d*.

Per ottenere l'unità di misura delle masse magnetiche M ed M', è necessario definire le altre quantità che intervengono nella formula precedente ed è evidente che il sistema più semplice è quello di porre uguale

all'unità il valore della costante k che dipende dal mezzo nel quale avviene il fenomeno. Con ciò si immagina di far avvenire nell'aria le reciproche azioni delle masse magnetiche.

La relazione diventa dunque:

$$F = \frac{M\,M'}{d^2}$$

e prendendo a base il sistema C. G. S. nel quale la forza si misura in *dine* e d in centimetri, si deduce che « l'unità di magnetismo è quella massa magnetica che respinge colla forza unitaria (dina) un'uguale massa posta alla distanza unitaria ».

Si deduce finalmente da quanto detto che in un punto di un campo magnetico nel quale l'intensità ha il valore H e la massa magnetica M è attratta o respinta con una forza F, sussiste la relazione:

$$F = M\,H$$

e quindi si può dire che « l'intensità unitaria in un punto di un campo magnetico si ha quando viene esercitata la forza attrattiva o repulsiva unitaria (dina) sulla massa magnetica unitaria collocata in quel punto ».

L' unità di intensità del campo magnetico ha preso il nome di *gauss* e per convenzione un campo avente l'intensità di 1 gauss è quello avente una linea di flusso per ciascuna unità di superficie (centimetro quadrato) considerata normalmente alla direzione del flusso stesso.

Nell'aria, il campo viene definito col simbolo H, e l'induzione nell'interno dei materiali colla lettera B, ed ambedue rappresentano il numero delle linee di flusso che attraversa 1 centimetro quadrato di superficie presa in senso normale alla direzione del flusso stesso.

Il flusso totale che emana da un polo magnetico, è costituito dal complesso delle linee di forza che attra-

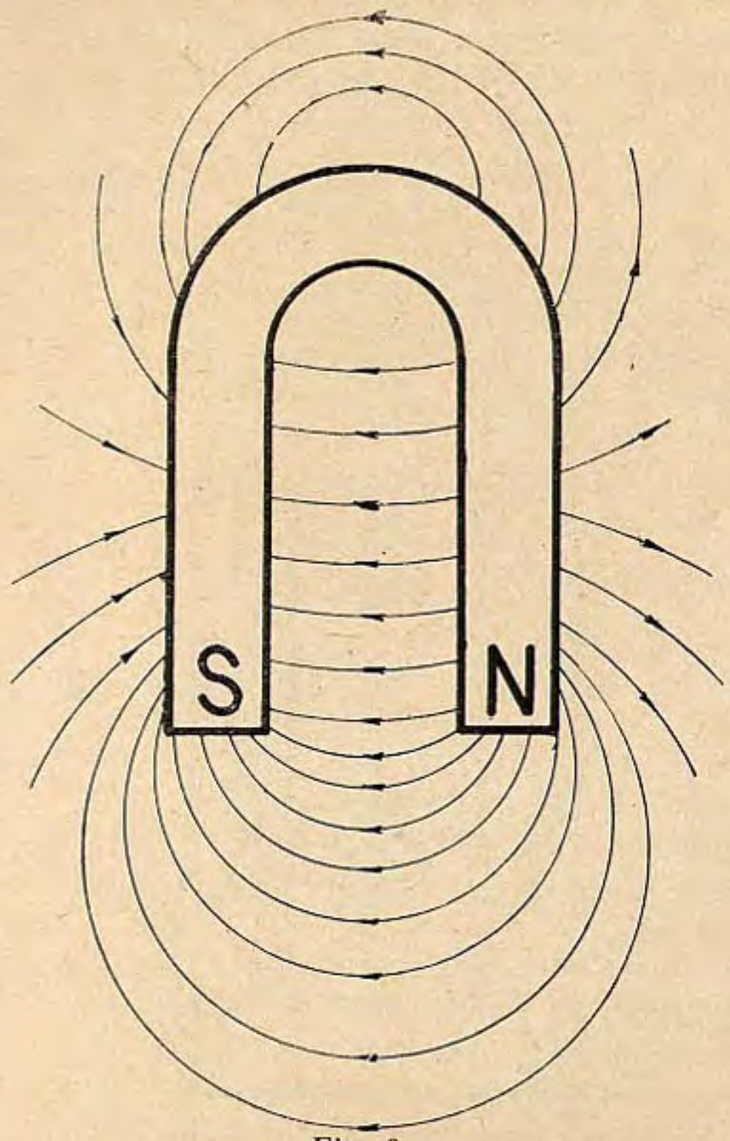


Fig. 8.

versano una data superficie normale alla sua direzione, e quindi nel caso di campo uniforme si avrà in generale:

$\Phi = H\,S$ per l'aria

oppure:

$$\Phi = B\,S \quad \text{per i materiali magnetici}$$

in cui S è la superficie considerata.

Ne dedurremo che il « flusso unitario di forza magnetica è quello che attraversa la superficie unitaria disposta perpendicolarmente alla direzione del flusso in un campo magnetico uniforme di intensità unitaria ».

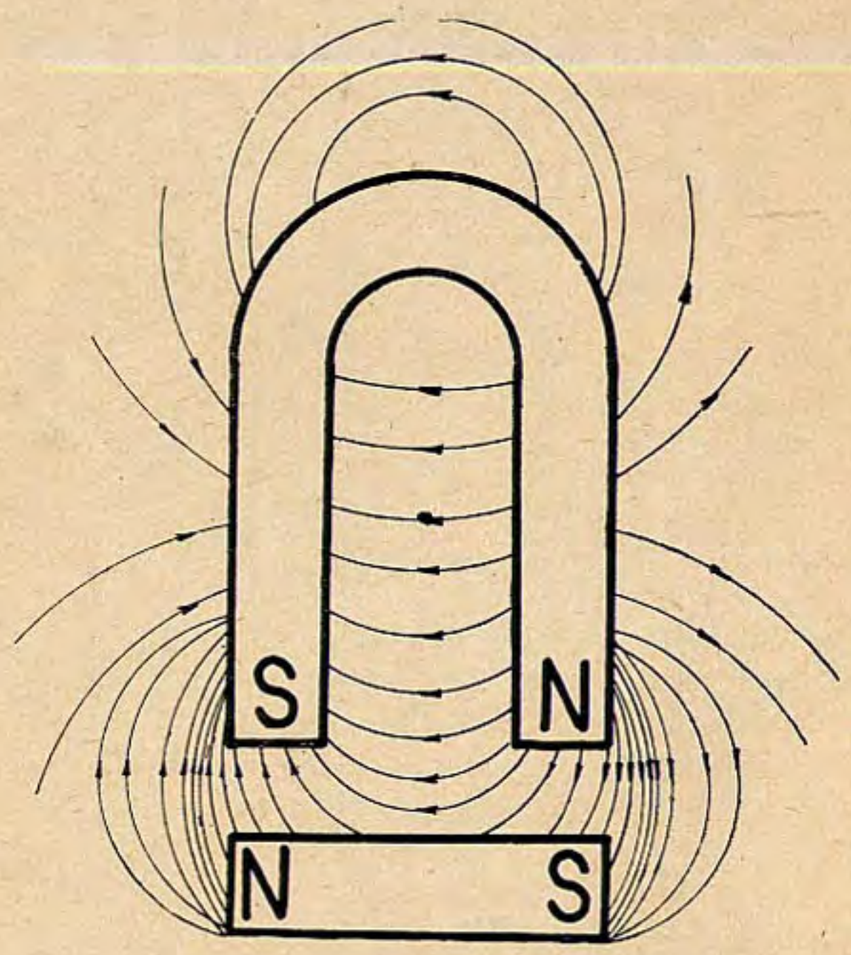


Fig. 9.

3. - *Magnetizzazione per induzione.*

Un pezzo di ferro immerso in un campo magnetico diventa una calamita, ed assume polarità dipendente dall'andamento delle linee di forza che l'investono.

Per comprendere questo fenomeno, pensiamo di porre un pezzo di ferro in un campo magnetico originato per
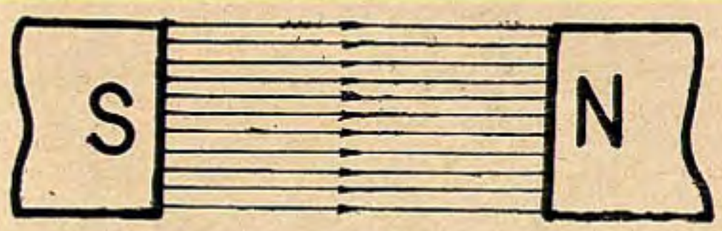


Fig. 10.

esempio da un magnete a ferro di cavallo: le linee del campo che prima avevano l'andamento segnato in fig. 8, assumeranno quelle della figura 9, ossia si addenseranno in maggior copia nel ferro.

Il passaggio di queste linee nell'interno del ferro, provocano appunto l' orientamento delle masse magnetiche elementari come è stato detto in precedenza (fig. 6) e questo spiega il motivo della sua magnetizzazione.

Lo stesso fenomeno si può osservare in un campo uniforme (fig 10) nel quale le linee di forza sono rette parallele distribuite con uniformità. Dopo aver collocato un pezzo di ferro, dette linee tendono a convergere verso di esso e mentre al di là di due piani A B e C D (fig. 11) non si osserva perturbazione alcuna, nello spazio A B C D l'andamento regolare di prima è ora tutto sconvolto.

Questo fatto viene spiegato coll'ammettere per i materiali ferrosi una maggior facilità di passaggio delle

linee di flusso attraverso ad essi, e tale influenza si fa sentire nelle sostanze magnetiche in modo differente cioè, mentre alcune rimangono magnetizzate anche quando è cessata l'azione inducente altre perdono ogni proprietà magnetica al cessare dell'influenza.

L'acciaio si comporta come nel primo caso, ed il ferro dolce come nel secondo; quindi un magnete ottenuto col

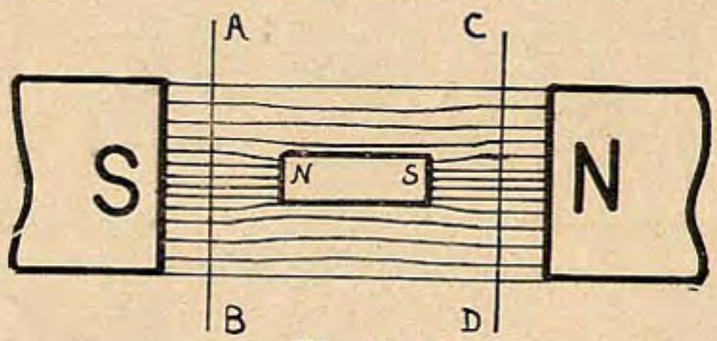


Fig. 11.

primo modo chiamasi *permanente* ed un magnete ottenuto col secondo metodo dicesi *temporaneo*.

L'induzione magnetica si comporta diversamente con i vari metalli, e precisamente si chiamano *paramagnetiche* quelle sostanze di comportamento simile a quello del ferro (come la ghisa, l'acciaio, il nichel, il cobalto ecc.) e *diamagnetiche* quei metalli che come il bismuto, il piombo, lo stagno, ecc. non si lasciano attirare dalla calamita.

I materiali possono quindi essere più o meno *permeabili*.

4. - *Variazione della magnetizzazione colla forza magnetica.*

Vogliamo ora cercare la legge colla quale la intensità della magnetizzazione varia col variare della forza magnetica.

Non preoccupiamoci del modo col quale le esperienze si possono condurre; supponiamo soltanto d'avere un mezzo per far variare la forza magnetica H e per misurare l'intensità di magnetizzazione I. Rappresentiamo graficamente il risultato delle esperienze riferendoci ad un sistema di assi cartesiani ortogonali H - B. Su H

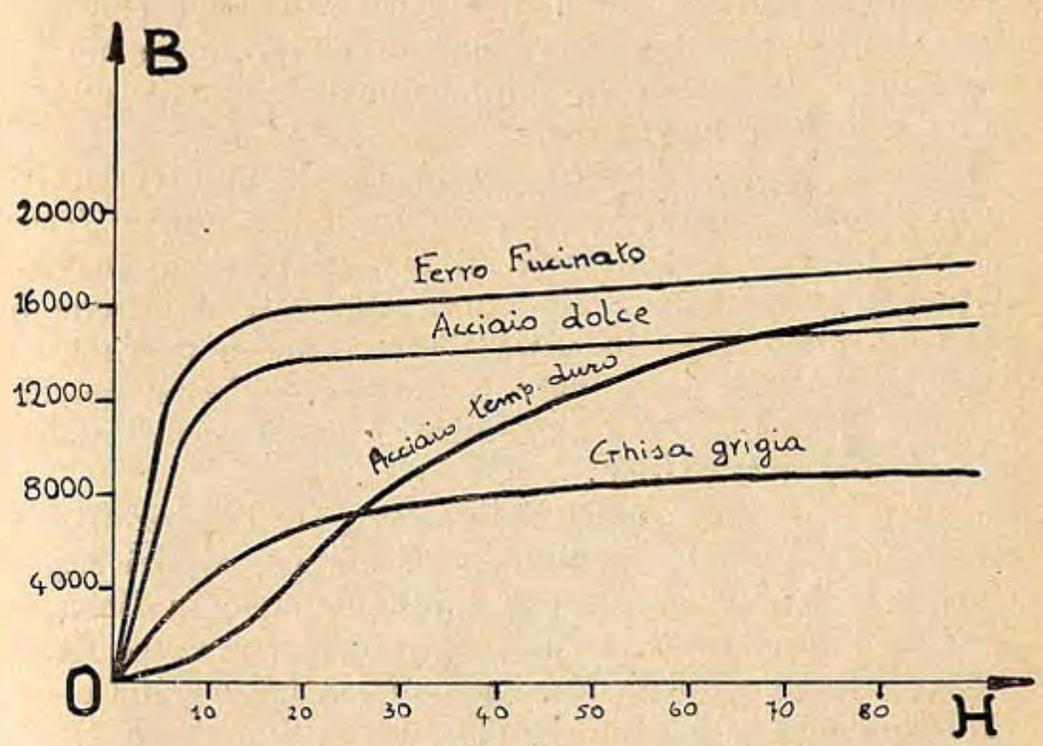


Fig. 12.

portiamo, a partire dall'origine O, come ascisse, lunghezze che rappresentino in una scala scelta opportunamente i valori dati successivamente alla forza magnetica H, e sull'asse B portiamo pure, a partire da O, come ordinate dei segmenti, che riferiti a scala scelta a piacimento, ci indichino i valori della induzione magnetica ordinatamente corrispondente ai detti valori di H (vedi fig. 12). Assumiamo però scale diverse per le

ascisse e le ordinate, perchè a piccolissime variazioni della forza magnetica corrispondono grandi variazioni dell'induzione magnetica. Con ogni coppia di coordinate esprimenti i valori della forza magnetica e delle corrispondenti induzioni, definiamo sul piano un punto.

Se disegniamo tutti i valori definiti dalle varie coppie di punti segnati sui due assi, e li congiungiamo con una linea, otteniamo una curva che ci dà graficamente la legge della variazione dell' intensità di magnetizzazione con l'induzione magnetica.

Immaginiamo di sperimentare su di una verga di ferro lunga e sottile, preparata in modo d'aver fatto sparire da essa ogni traccia di magnetizzazione preesistente. L'andamento della curva che così si ottiene è presso a poco indicato dalla figura. Questa curva esce dall'origine delle coordinate, e questo è evidente, poichè quando è zero la forza magnetica, è anche zero l'intensità di magnetizzazione.

Per piccolissimi valori della forza H, l'induzione B cresce quasi con la legge lineare. Ma per valori superiori, l'induzione cresce più rapidamente e la linea si incurva presentando la sua concavità verso l'asse delle ascisse. Quando poi la forza magnetica ha raggiunto un valore ancora più alto, la curvatura diminuisce ed il grafico continua con un segmento quasi rettilineo tendente assintoticamente ad una ordinata costante, che sarà raggiunta quando l'ascissa crescerà indefinitamente. Avviene cioè, che quando il valore della forza magnetica supera un certo limite, qualunque aumento dato ad essa, non produce sensibili variazioni sull'induzione, la quale può allora considerarsi costante.

Il ferro, che subisce questo, si accosta sempre più a quello stato speciale per cui non può aumentare la sua condizione di magnetizzazione e che vien detto perciò stato di *saturazione*.

5. - *Permeabilità magnetica.*

Riprendiamo il concetto svolto in fine del paragrafo 3 e pensiamo alla *permeabilità* come rapporto tra il flusso di forza magnetica che attraversa un dato materiale magnetico, ed il flusso di forza magnetica che attraverserebbe nelle stesse condizioni il medesimo circuito nel

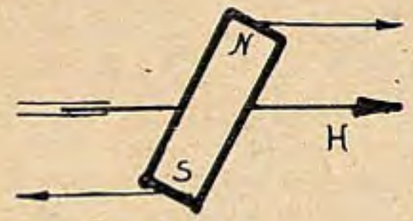


Fig. 13.

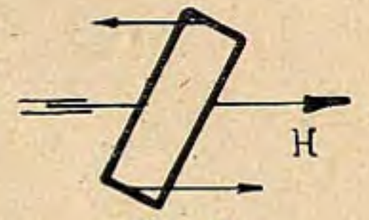


Fig. 14.

quale però al materiale magnetico fosse sostituita l'aria.

Il simbolo adottato per individuare la permeabilità, è μ, e la sua espressione sarà:

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Nei corpi *paramagnetici* si ha $\mu > 1$ ed in quelli *diamagnetici* $\mu < 1$ e la differenza del loro comportamento si manifesta quando essi vengono sottoposti all'azione di un campo magnetico, dato che i corpi paramagnetici immersi in un corpo di intensità H si magnetizzano nella stessa direzione di H (fig. 13) e perciò tendono a disporsi secondo questa stessa direzione, mentre i corpi diamagnetici posti nello stesso campo magnetico si magnetizzano in direzione opposta (fig. 14) e tendono a disporsi in direzione normale a quella di H.

Nei materiali ferrosi, si hanno valori di μ maggiori per il ferro che non per l'acciaio e la ghisa, e ciò può

essere chiaramente osservato dall'esame della figura 15 che dà appunto la variazione della permeabilità in funzione dell'induzione B del campo e fa inoltre vedere come dopo un certo valore massimo le curve tendono assintoticamente al valore unitario.

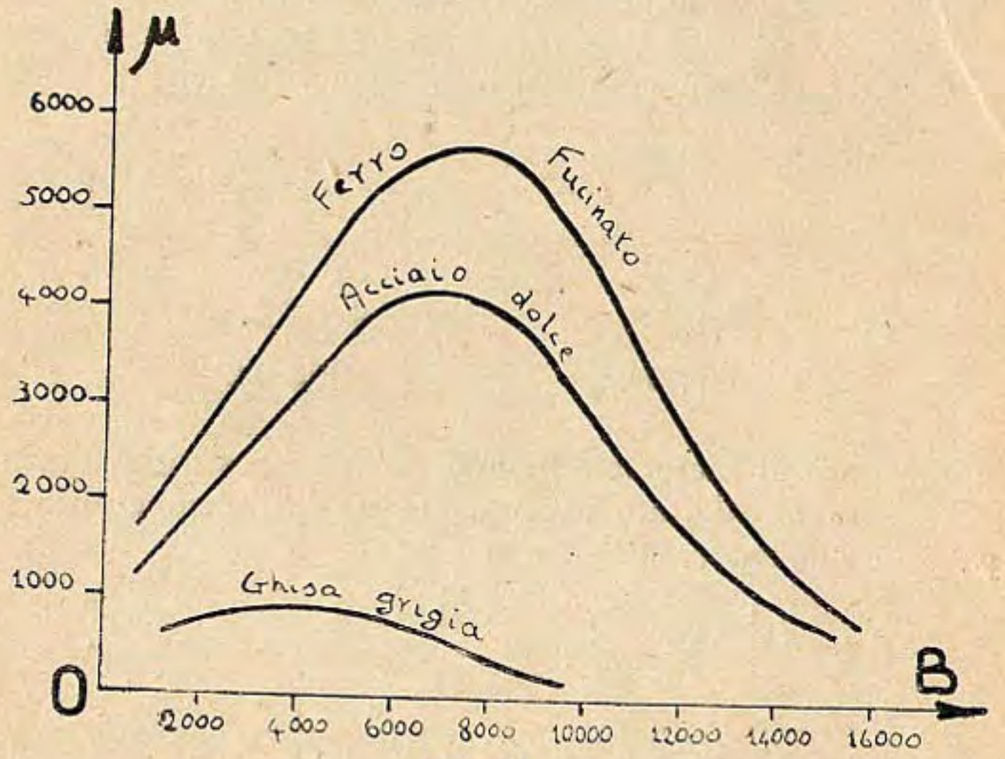


Fig. 15.

La tabella I porta la permeabilità magnetica delle varie qualità commerciali di materiali magnetici, e dato che in essa si raggiunge per il ferro dolce il valor massimo B = 20000, per eseguire calcoli superiori a questo valore, si tenga conto che μ varia pochissimo, avendo il valore 3 per B = 40000 (H = 133333) e mantenendosi pressochè costante per valori di B superiori a questo.

La ghisa, invece, mantiene il suo valor minimo 58 per B = 11000.

TABELLA I.

Permeabilità magnetica nei più comuni materiali magnetici.

Ferro Dolce			Ghisa			Acciaio		
μ	H	B	μ	H	B	μ	H	B
2500	2	5000	200	10	5000	2700	2.22	6000
2350	2 5	6000	170	20	6000	2580	3.1	8000
2325	3.38	7000	140	46.6	7000	2350	3.8	9000
2250	4	9000	115	72.7	8000	2060	4.8	10000
2025	4,6	9500	90	112.5	9000	1720	6.99	12000
2000	5	10000	80	143.3	9500	1220	10.9	13300
1900	5.82	10500	72	181.8	10000	905	24.5	14000
1825	5.99	10800	67	218.9	10300	423	39	15575
1672	6.5	11000	59	257.15	10500	370	43.2	16000
1500	7.7	11600	58	314.3	11000	280	60.7	17000
1412	8.5	12000	—	—	—	150	116.66	17500
1083	12	13000	—	—	—	96	188.5	18100
1000	13.78	13780						
880	16.6	14000						
823	17.4	14350						
625	24	15000						
526	30.4	15900						
320	51.2	16500						
200	87	17400						
161	110.5	17800						
100	180	18000						
90	205.5	18600						
54	351.8	19000						
25	800	20000						

Osservando le curve della figura 12, è evidente come non sia conveniente oltrepassare, nelle applicazioni industriali, il *ginocchio* poichè sarebbe in tal caso neces-

sario incrementare notevolmente l'eccitazione per ottenere degli aumenti pressochè insensibili nell'induzione magnetica.

6. - *Ciclo magnetico - Isteresi.*

Nello studio delle proprietà magnetiche di una sostanza magnetica, noi abbiamo supposto che il corpo non sia mai stato magnetizzato. Qualche cosa di più complicato si presenta quando dopo aver fatto crescere la forza magnetica fino ad un certo valore e di averne tracciato la curva di magnetizzazione, si fa diminuire la forza fino allo zero, indi si fa crescere fino ad un valore negativo numericamente uguale a quello positivo prima raggiunto, per riportarla di nuovo allo zero, al massimo positivo e così continuare.

Sperimentando sopra un pezzo di ferro, si osserva che mentre la forza magnetica H va diminuendo dal valore massimo che si considera, la curva dell'intensità non segue, non coincide, con quella O M ottenuta partendo da H_0 a H_M, ma sta completamente al disopra di essa e quandoH va di nuovo allo zero, I ha un certo valore O R (fig. 16). Per ridurre anche I allo zero, occorre agire con una certa forza magnetica negativa, rappresentata dal segmento O A'. Continuando a dare alla forza valori negativi crescenti, cresce pure negativamente anche la I e si ottiene così una curva simmetrica rispetto all' asse delle ascisse fino al raggiungimento del punto M' simmetrico di M. Diminuendo allora i valori della forza H, la curva ritorna indietro e quando si ha H = O, abbiamo per I un segmento O R' negativo, ma numericamente uguale a O R. Dando poi valori crescenti ad H, si ottiene I = O per H = O A, segmento opposto, ma numericamente uguale a O A'.

Per valori crescenti di H, cresce anche I fino ad allacciarne la nuova curva primitiva sul punto M. Continuando a variare H, viene percorso sempre il diagramma M R A' M' R' A M, senza avere alcuna variazione, e si dice che si compie il *ciclo magnetico*.

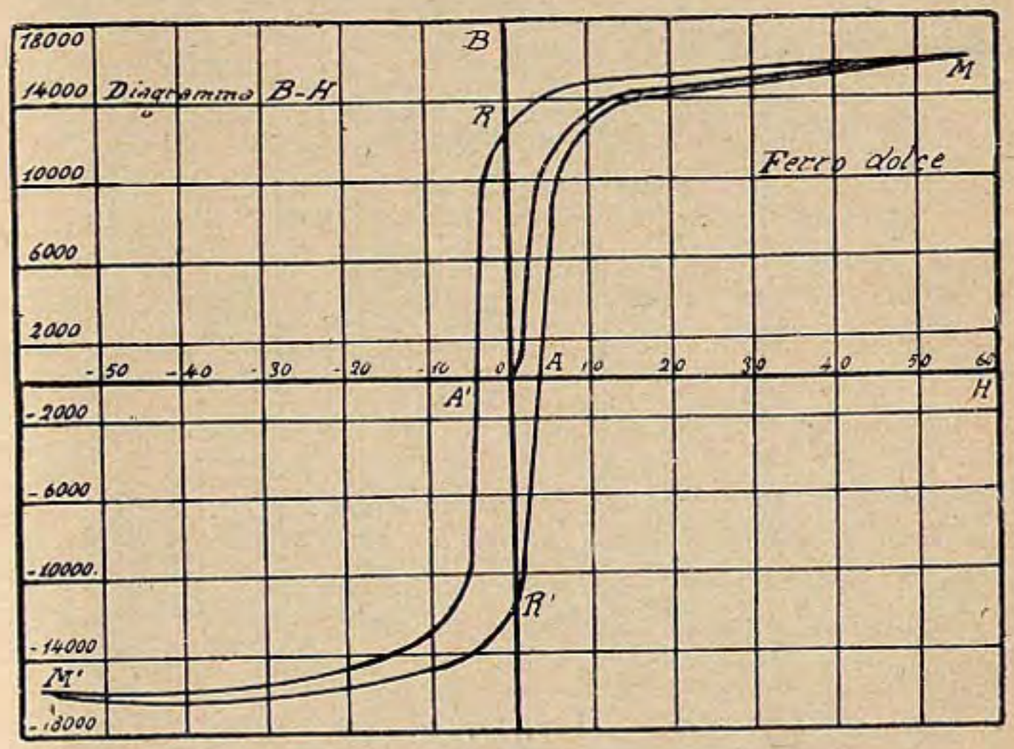


Fig. 16.

La considerazione del ciclo magnetico, è della massima importanza, perchè questo ci fa vedere come la magnetizzazione non sia semplicemente una funzione della forza magnetica, bensì vari, in certi intervalli, in modo indipendente.

Il valore corrispondente al segmento O R (magnetismo residuo) venne dall'Hopkinson chiamato *ritentiva* e la forza magnetica O A' necessaria per annullare i

valori dell' induzione, si disse *forza coercitiva*, e delle loro reciproche dipendenze diremo ora.

Facendo descrivere ad un pezzo di materiale magnetico un ciclo magnetico, vengono a nascere alle sue estremità due opposte polarità, che al cessare della

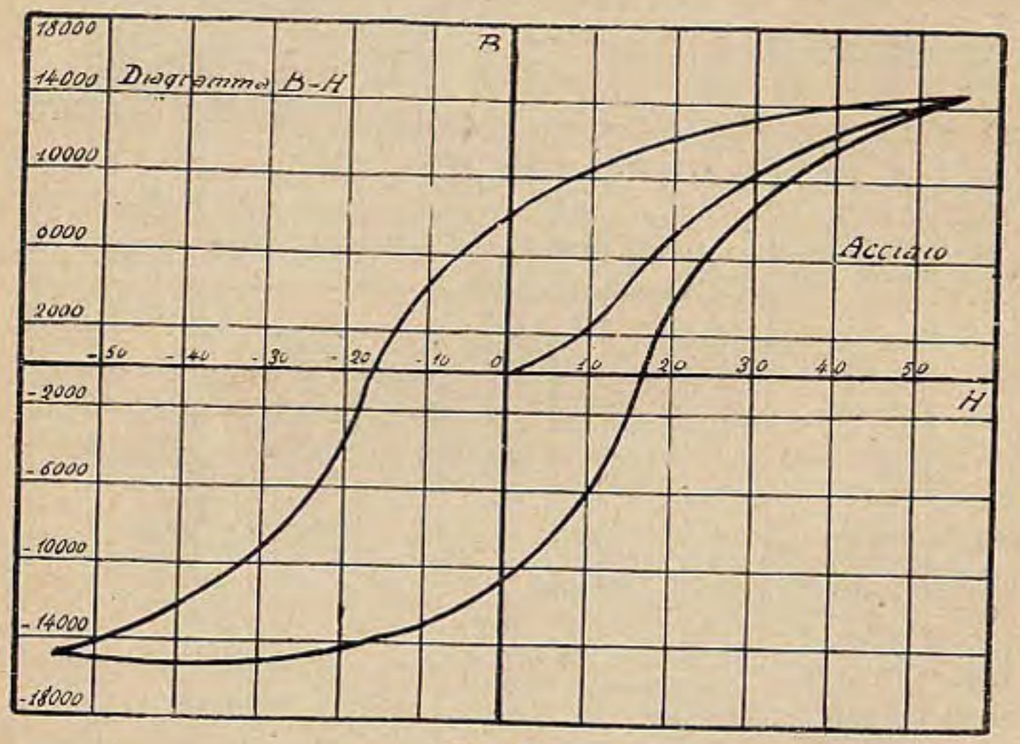


Fig. 17.

causa principale che produce la magnetizzazione, provocano un'azione demagnetizzante che confondendosi con la *forza coercitiva* può anche annullare il valore della *ritentiva*.

È precisamente per questo fatto che il ferro e l'acciaio dimostrano due diversi comportamenti dopo essere stati sottoposti all'influsso di un corpo magnetico. Per avere una forza coercitiva bassa, la smagnetizzazione può facilmente annullare il suo valore nel ferro

dolce, quindi al cessare della causa magnetizzante, vengono a cessare gli effetti magnetici, mentre nel caso dell'acciaio, avendosi un valore più elevato nella forza coercitiva (fig. 17), col cessare della causa magnetizzante permangono dei residui d'induzione. L'acciaio è quindi indicato per la costruzione dei magneti, ed il ferro dolce per le elettrocalamite.

Questo fenomeno, studiato fin dal 1886 dall'Ewing, venne chiamato *isteresi* ed in certo modo, esso sarebbe una specie di attrito che ritarda l'azione della forza magnetizzante.

In pratica viene considerata l'isteresi *rotante* e quella *alternata*, e come è spiegato dai nomi stessi, la prima si verifica quando per esempio un nucleo di materiale ferroso viene posto in movimento in un campo magnetico ,e la seconda si ha invece quando un nucleo di ferro è sottoposto all'azione di un campo magnetico alternato.

Un ciclo di magnetizzazione, è caratterizzato dal valore massimo della induzione al quale viene sottoposto il materiale in questione, e come si è detto il ciclo si ripete identicamente per il medesimo materiale e per la stessa forza magnetica.

Agendo con differenti valori massimi della forza magnetica, si descriveranno dei cicli di diversa ampiezza.

La magnetizzazione ha l'effetto di scaldare il ferro ad essa sottoposto, quindi assorbe energia, e ciò fu dimostrato dall'Ewing, il quale provò altresì che l'area racchiusa dal ciclo magnetico è proporzionale al lavoro speso per far compiere al materiale magnetico un ciclo completo.

La magnetizzazione scompare quando il materiale viene riscaldato al calore rosso vivo; la smagnetizzazione del ferro avviene intorno ai 785°, quella del ferro

dolce a 880° e quella dell'acciaio a 690°. L'azione smagnetizzante del calore si spiega perchè a quelle temperature il ferro viene portato in condizioni tali da potersi cambiare in una modificazione meno paramagnetica.

Se la magnetizzazione del corpo magnetico è prodotta, come abbiamo supposto, da uno speciale orientamento delle sue molecole, è chiaro che la magnetizzazione sarà più facile e più intensa, quando tale orientamento sarà facilitato. Difatti in pratica, un corpo in vibrazione si magnetizza facilmente. Le curve di isteresi hanno in tal caso aree minori, ed il magnetismo residuo diventa tanto minore quanto più intense sono le vibrazioni. Però l'elemento che ha maggior influenza sulla magnetizzazione è la temperatura. A 0° il ferro assume una curva analoga alla figura 16. Aumentando la temperatura da 0° a 300° si hanno variazioni trascurabili in pratica, ma già sensibili. A 500°, 700°, 760° le variazioni sono sensibilissime anche nella pratica. A temperature superiori, il diagramma si scosta pochissimo dall'asse delle ascisse, ossia si hanno valori trascurabili della forza magnetica. Nella lavorazione dei metalli bisogna tener conto di queste condizioni e variarle quindi a seconda dell'uso a cui è destinato il materiale stesso.

7. - *Campo prodotto da una corrente.*

Vediamo ora l'andamento delle linee di forza e la direzione che assume il campo magnetico creato da una corrente elettrica, ed all'uopo prendiamo un grosso filo di rame e disponiamolo attraverso un pezzo di cartone come indica la figura 18. Immettendo corrente nel filo e cospargendo il cartone di limatura di ferro, osserveremo che si disegnano tanti circoli concentrici al filo.

Dunque le linee di forza nel filo sono come tanti cilindri concentrici che hanno per asse il filo stesso. L'ampiezza va sempre aumentando fino ad annullarsi completamente per una grande distanza dal filo.

Qualora la corrente anzichè percorrere un filo diretto, percorresse un filo circolare, il campo si muterebbe alquanto. Osserviamo nella figura 19 la spira A percorsa da corrente.



Fig. 18.

Evidentemente essa si comporta come un magnete lamellare, cioè come un magnete nel quale le espansioni polari sono le aree abbracciate dalla spira, e lo spessore è il diametro del filo. Quindi abbiamo da una parte il polo Nord e dall'altra quello Sud. Possiamo naturalmente invertirli cambiando il senso della corrente nella spirale.

Le linee di forza si manifestano sotto forma di ellissi che abbracciano il filo spingendosi all'infuori, e sono sempre chiuse su sè stesse.

Una regola molto semplice per distinguere la polarità della lamina magnetica equivalente alla spira, è spiegata nella fig. 20 ,e dal suo esame si può subito e facilmente comprenderla.

Per comodità di disegno e di comprensione, si è convenuto di rappresentare con un punto la corrente

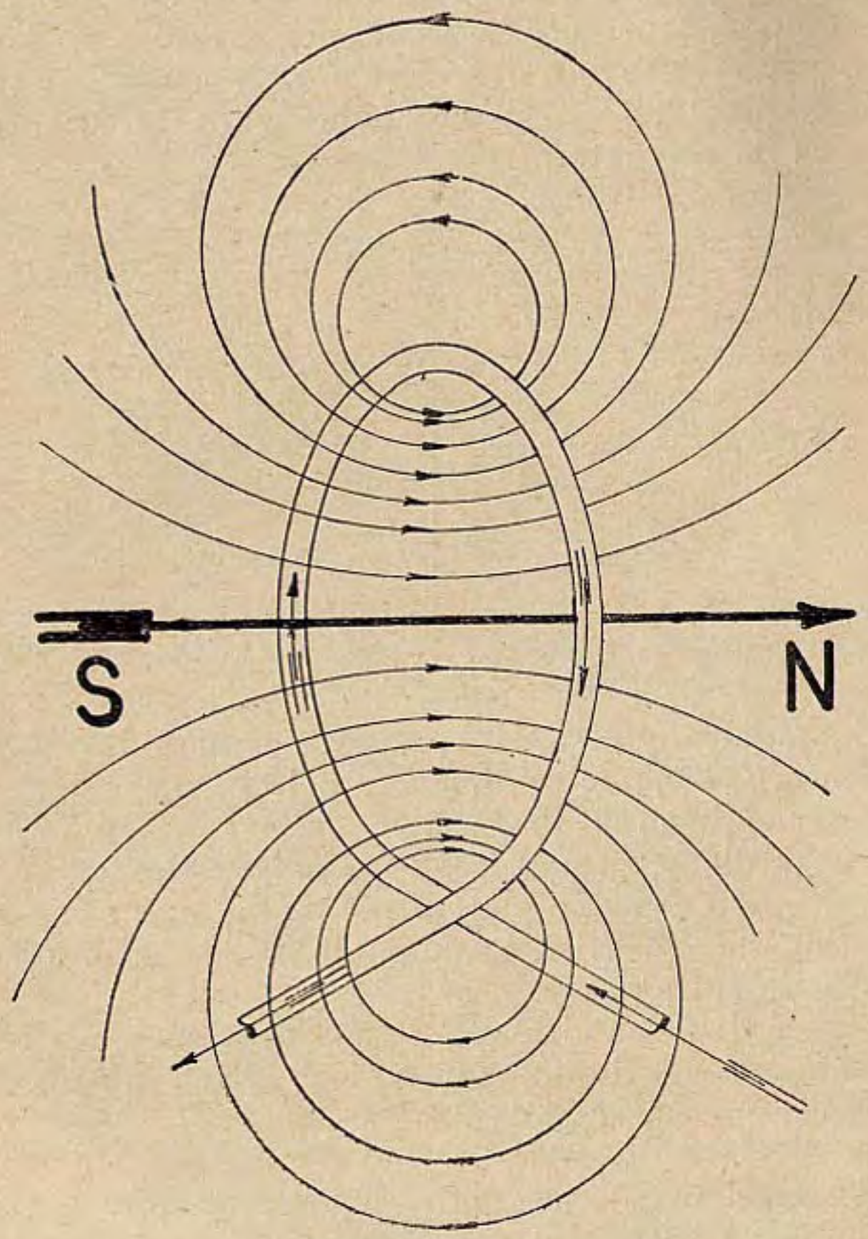


Fig. 19.

uscente da un conduttore, e con una *croce* la corrente *entrante*, e la fig. 21 spiega anche il motivo di questa scelta.

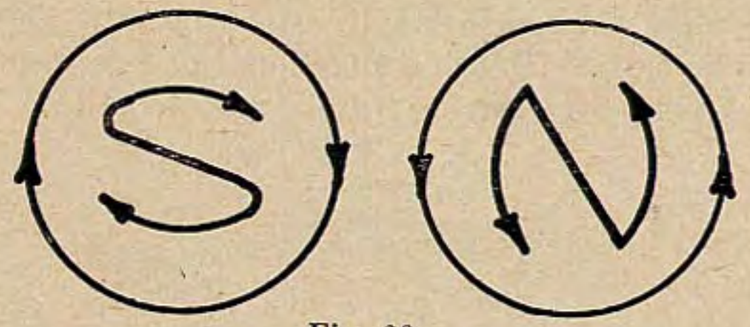


Fig. 20.

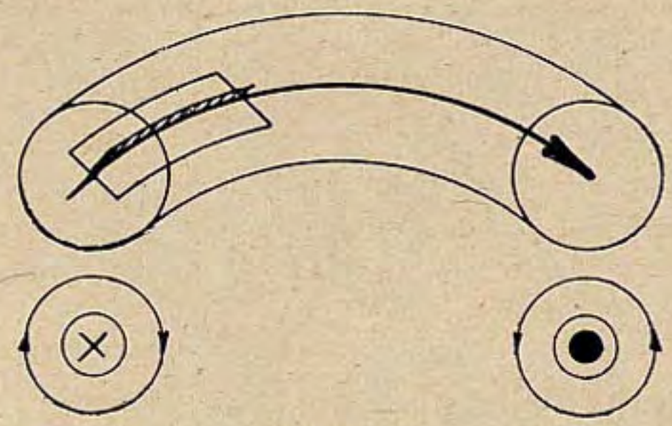


Fig. 21.

8. - *Solenoide.*

Riunendo più spirali in modo da mantenere nella stessa direzione il senso di avvolgimento, si ha il solenoide. Ciascuna spirale genera un campo simile a quello precedentemente studiato, salvo che le linee di forza anzichè abbracciare la spira che le emette, vengono quasi tutte succhiate dalla seguente e così via sino all'ultima.

Il campo è rappresentato come in fig. 22 e si rileva subito come, rispetto alla linee di forza, il solenoide si comporti come un magnete vero e proprio, con polarità di nome contrario negli estremi, dato che le polarità delle singole lamine magnetiche si annullano due a due salvo naturalmente quelle d'estremità.

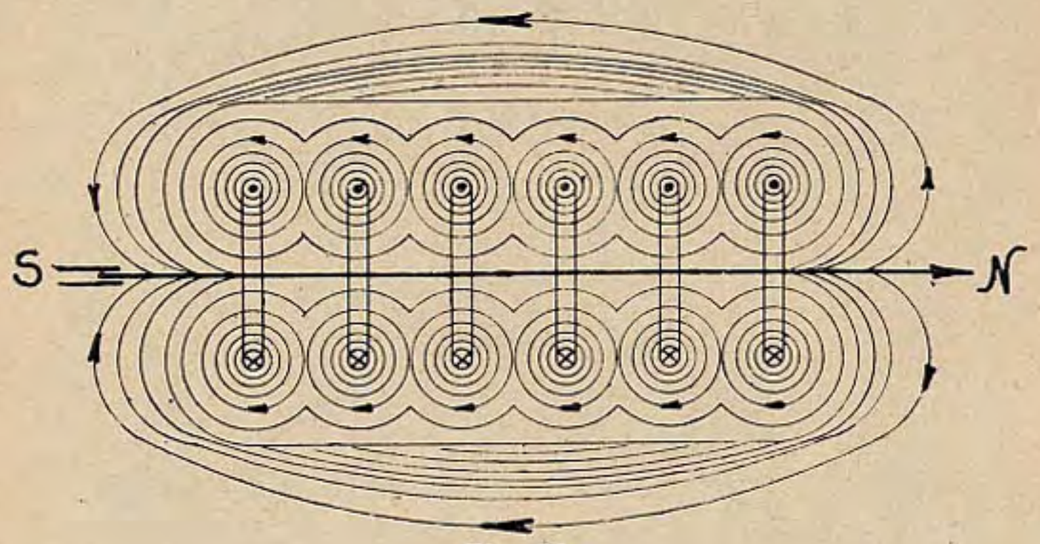


Fig. 22.

Come risulta dalla stessa fig. 22, si hanno delle linee che si chiudono prima di giungere agli estremi del solenoide, e danno perciò origine a dei disperdimenti.

Piegando invece il sistema ad anello (fig. 23) tali disperdimenti non potranno evidentemente più avvenire, e ciascuna sezione sarà percorsa dallo stesso flusso magnetico che attraversa le altre sezioni.

In queste condizioni, il campo nell' interno del solenoide, assume un' intensità, espressa in gauss dalla formula:

$$H = 0{,}4\ \pi \frac{N\,I}{l} = 1{,}25 \frac{N\,I}{l}$$

in cui N è il numero delle spire di cui si compone il solenoide, I è l'intensità della corrente ed l la lunghezza media (segnata nella figura con punto e tratto).

Nella relazione precedente, il termine:

$$\frac{N\,I}{l}$$

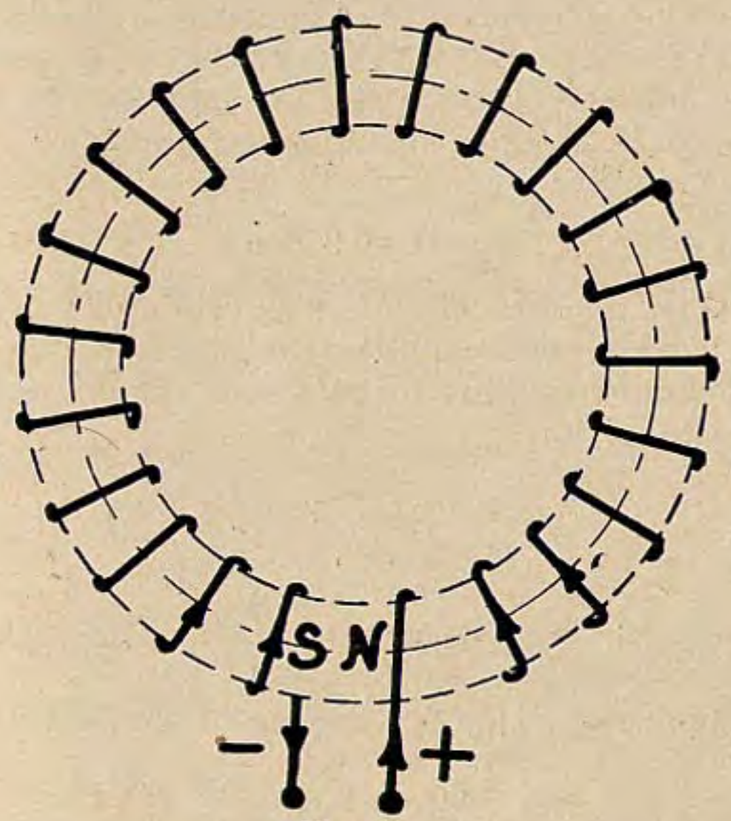


Fig. 23.

può essere concepito come il numero delle *Ampere-spire* che agiscono sopra un centimetro di lunghezza del circuito, per cui potranno essere chiamate *Ampere-spire per centimetro* (Asc) e si potrà scrivere:

$$H = 1{,}25\ Asc$$
$$Asc = 0{,}8\ H$$

9. - *Circuiti magnetici.*

Quando nell'interno di un solenoide si introduce un nucleo di ferro, il flusso magnetico acquista un valore considerevolmente maggiore di quello che aveva prima pel fatto che mentre il numero H che esprime l'intensità del campo magnetico indica il numero delle linee di flusso che attraversano il solenoide quando nel suo interno vi è aria, essendo il ferro molto più permeabile dell'aria, passerà entro di esso in ogni sezione unitaria, un numero B di linee d'induzione maggiore di H.

Si avrà perciò:

$$B = \mu H$$

in cui μ in questo caso è maggiore dell'unità ed assume i valori indicati nella tabella precedente.

Paragonando questa formula con quelle precedentemente viste, si ha:

$$B = 1{,}25\ \mu\ Asc$$

ossia:

$$Asc = 0{,}8\ \frac{B}{\mu}$$

Ricordando poi che è:

$$\Phi = B \times S$$

potremo scrivere:

$$\Phi = 1.25\ \mu\ Asc\ S = 1{,}25\ \mu\ \frac{N\,I}{l}\ S$$

ed anche:

$$\Phi = \frac{1{,}25\ N\,I}{\frac{l}{\mu\ S}}$$

ed è appunto da questa formula ricavata dall'Hopkinson che venne trovata la grande analogia colla relazione di Ohm per i circuiti elettrici.

Se si indica infatti con:

$$r = \frac{l}{\mu\ s}$$

la *resistenza magnetica* o *riluttanza* del circuito magnetico, si vede la rassomiglianza che essa ha con la relazione:

$$R = k < \frac{l}{s}$$

inerente alla resistenza elettrica dei conduttori.

Se poniamo ora:

$$M = 1{,}25\ N\,I$$

la formula di Hopkinson diventa:

$$\Phi = \frac{M}{r}$$

ed esprime che:

$$\textit{Flusso magnetico} = \frac{\textit{Forza magnetomotrice}}{\textit{Riluttanza}}$$

Considerando quindi un circuito magnetico chiuso (immaginando per esempio di riempire con ferro il vano del solenoide a fig. 23) si potrà dalla relazione precedente ricavare la sezione da assegnare al toro per avere — con una certa intensità di corrente — una certa induzione B, oppure — inversamente — si potrà determinare il numero delle Ampere-spire che si devono avvolgere per avere il flusso richiesto.

Nel caso che il circuito fosse interrotto da uno spazio d'aria *(traferro)* si dovrà calcolarne la riluttanza, e sapendo che la permeabilità del mezzo è uguale all'unità, avremo in generale:

$$\Phi = \frac{1{,}25\ N\ I}{\frac{l}{\mu\ s} + \frac{l'}{s}}$$

da cui si ottiene:

$$N\ I = As = 0{,}8\ \Phi\ \frac{l}{\mu\ s} + 0{,}8\ \Phi\ \frac{l'}{s} = 0{,}8\ \frac{B\ l}{\mu} + 0{,}8\ B\ l'$$

ossia:

$$N\ I = A\ s = Asc \times l + Asc \times l'$$

in cui la quantità Asc ed *Asc* sono le Ampere-spire per centimetro relative al circuito magnetico che si attraversa, ed il loro valore può essere desunto facilmente dalla tabella qui riportata.

TABELLA II.

Valore delle Ampere-spire per centimetro.

Ghisa		Ferro fucinato ed acciaio fuso		Lamiera normale di ferro Spess. 5/10 mm.		Lamiera al silicio. Spessore 3/10 ÷ 5/10	
B	Asc	B	Asc.	B	Asc	B	Asc
1000	2	1000	0.7	1000	0.45	1000	0.8
2000	4.5	2000	0.9	2000	0.5	2000	1
3000	8	3000	1	3000	0.6	3000	1.25
4000	13	4000	1.2	4000	0.7	4000	1.45
5000	20	5000	1.4	5000	0.9	5000	1.6
6000	28	6000	1.7	6000	1.3	6000	1.8
7000	40	7000	2.2	7000	1.7	7000	2
8000	55	8000	2.7	8000	2.3	8000	2.5
9000	80	9000	3.2	9000	3.3	9000	3.1
10000	110	10000	4	10000	4.7	10000	4
11000	150	11000	5	11000	6.3	11000	5
12000	200	12000	6.2	12000	8	12000	7
		13000	8.5	13000	10.5	13000	12
		14000	12	14000	13.5	14000	27
		15000	20	15000	18	15000	40
		16000	35	16000	35	16000	80
		17000	65	17000	62	17000	140
		18000	100	18000	90	18000	240
		19000	160	19000	170		
		20000	250	20000	300		
		21000	400	21000	400		
		22000	850	22000	670		
		23000	1300	23000	920		
		24000	2100	24000	1200		
		25000	3000	25000	1500		

Vediamo un esempio numerico per chiarire quanto si è detto.

Si abbia un toro di lamiera normale di ferro, col diametro medio di 50 cm., la sezione di 10 cmq. ed un traferro di 5 mm., e si voglia calcolare il numero di Ampere-spire necessarie per ottenere un' induzione B = 10.000.

Dall'ultima formula scritta otteniamo senz'altro:

$$N\,I = As = Asc \times l + Asc\,l' = Asc \times l + 0{,}8\ B\ l'$$

e dalla tabella ricaviamo i valori che ci necessitano.

Avremo:

$$N\,I = As = 4{,}7 \times \pi \times 50 + 0{,}8 \times 10.000 \times 0{,}5$$
$$As = 4738$$

che potranno essere ottenute per esempio con 10 Ampere e 437.8 spire, ecc.

Il flusso complessivo risulterà:

$$\Phi = B \times S = 10.000 \times 10 = 100.000 \text{ unità.}$$

Capitolo II.

INDUZIONE ELETTROMAGNETICA E CORRENTI VARIABILI

10. - *Esperimenti di Faraday.*

Pensando alle proprietà manifestate dalla corrente elettrica di magnetizzare il ferro, Faraday si convinse anche del reciproco, ossia che lo spostamento di un circuito chiuso rispetto ad un magnete — o viceversa — suscitasse nel circuito stesso una f. e. m. indotta.

La scoperta dell'induzione risale al 1831. Undici anni prima, Oersted di Copenaghen aveva trovato che quando una corrente elettrica passa attraverso ad un filo metallico, produce un campo magnetico creando attorno al filo delle linee di forza chiuse e circolari (fig. 18) e Faraday si chiedeva se fosse altresì possibile che questo campo sviluppasse una f. e. m. indotta in un circuito vicino.

Gli esperimenti intrapresi nell'intento di giungere ad una conclusione in merito a questa sua idea, vennero dal Faraday condotti con tenacità, e nel 1831 i risultati gli diedero perfettamente ragione. Così egli descrisse per la *Royal Institution* le sue esperienze:

« Avevo costruito un anello di ferro dolce del diametro esterno di circa 150 mm., con un tondino da 22 mm. e sopra una metà della circonferenza avvolsi parecchi strati di filo di rame, intercalando fra i vari

strati della tela di cotone. In totale erano avvolti tre tratti di filo di 7,5 m. ognuno, messi in modo da poterli collegare in serie per disporre di un unico circuito, oppure di usarli separatamente. Chiamiamo A questo primo avvolgimento.

« Sulla rimanente mezza circonferenza, con un piccolo intervallo rispetto al filo precedentemente avvolto, posi due tratti di filo di rame della lunghezza totale di circa 18 m., avvolti nello stesso senso degli altri. Chiameremo B questo avvolgimento.

« Funzionava da generatore di corrente elettrica una batteria composta di 10 elementi voltaici con elettrodi di 28 cmq.

« Connettendo le estremità del circuito B con un filo di rame abbastanza lungo per passare un po' lontano dal nucleo, condotto in modo da essere disposto sopra un ago magnetico, ed unendo gli estremi dei tratti dell'avvolgimento A colla batteria, si notava subito un movimento dell'ago. Questo oscillava e si stabiliva infine nella posizione di prima anche se la corrente continuava a passare nel circuito A.

Togliendo il contatto con la batteria di pile, si notava un nuovo sussulto dell'ago magnetico ».

Questi esperimenti permettevano già di intravedere le leggi dell'induzione, che vennero però desunte più tardi quando Faraday stesso eseguì due avvolgimenti uno sopra l'altro con un nucleo di legno che faceva da sostegno, ed immettendo corrente in uno di essi notava le deviazioni che la corrente indotta nell' altro produceva nell'ago di un galvanometro al quale era collegato. Notò pure che il senso di deviazione dell'ago dello strumento era diverso a seconda che il circuito primario veniva aperto oppure chiuso.

La f. e. m. indotta permane fino a quando vi è variazione di flusso concatenato col circuito secondario, ed il suo valore dipende dal modo secondo il quale varia questo flusso concatenato, mentre il valore medio, è dato dalla variazione totale di flusso diviso per il tempo in secondi nel quale dura detta variazione.

Supponiamo quindi che in un istante t_1 si abbia il flusso Φ_1 ed in un istante t_2 un flusso Φ_2, allora la f. e. m. indotta sarà, in unità assolute C. G. S.:

$$e = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Phi}{t}$$

ponendo

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \varphi$$

e

$$t_2 - t_1 = t$$

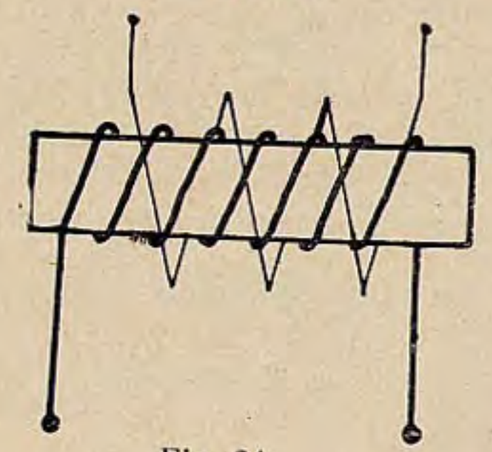


Fig. 24.

Naturalmente, per ottenere un valore di *e* corrispondente al vero dovremo fare piccoli tanto φ quanto *t*, cioè ridurli ai rispettivi differenziali.

Avremo allora:

$$e = \frac{d\ \varphi}{d\ t}$$

Cioè e è uguale alla derivata del flusso rispetto al tempo. Sapendo che la corrente indotta si oppone a quella che la genera, scriveremo:

$$e = -\frac{d\varphi}{dt}$$

Per avere e in volt anzichè in *unità assolute C. G. S.* faremo:

$$e = -\frac{d\varphi}{dt} 10^{-8}$$

Esempio. - Si abbia un nucleo di ferro della lunghezza di 40 cm. e sezione di 6 cmq., con un avvolgimento composto di 500 spire di filo di rame isolato e percorso da un'intensità di corrente di 8 Ampère. Interrompendo il circuito 50 volte al minuto secondo, calcoliamo quale sarebbe la f. e. m. indotta nel circuito secondario supponendolo formato da 10.000 spire (vedi fig. 24).

Le Ampere-spire per centimetro, risultano:

$$Asc = \frac{N\,I}{l} = \frac{500 \times 8}{40} = 100$$

Dalla tabella II si ricava per:

$$Asc = 100 \qquad B = 18000$$

e quindi il flusso che attraverso la spira abbraccerà il nucleo di ferro sarà:

$$\Phi = B\,S = 18000 \times 6 = 108000 \text{ unità.}$$

Poichè abbiamo supposto di interrompere il circuito inducente 50 volte al minuto secondo, la variazione di

flusso in tal periodo è di 108.000 unità, e quindi la f. e. m. indotta in una spira secondaria avrà il valore in volt:

$$e = \frac{108000}{\frac{1}{50}} 10^{-8} = 0{,}05$$

e perciò in tutto l'avvolgimento secondario:

$$E = 10000 \times 0{,}05 = 500 \text{ volt}$$

L'intensità della corrente indotta ubbidirà naturalmente alla legge di Ohm, ossia dipenderà dalla resistenza del circuito secondario.

11. — *Induzione elettro-magnetica.*

Supponiamo di avere due circuiti (fig. 25) di cui uno A percorso da una corrente elettrica, e l'altro B vicino

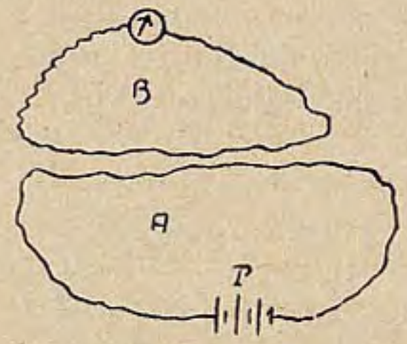


Fig. 25.

al primo e collegato ad un galvanometro che ci indichi colla variazione dell'ago verso destra o verso sinistra, il senso della corrente che lo percorre.

Nel primo circuito A, la corrente genererà il campo magnetico come già venne spiegato, e le linee di forza, abbracciando il filo, si concateneranno col secondo circuito B.

Il circuito A sia percorso costantemente dalla corrente della batteria P; l'ago del galvanometro non devierà, segno che non si genera alcuna f. e. m. indotta.

Spostando uno dei due circuiti in modo da tagliare le linee di forza, noteremo una deviazione dell'ago in un certo senso, deviazione che si annullerà non appena il circuito prima in movimento verrà fermato. Portando ora il medesimo circuito allo stesso posto di prima, si avrà una deviazione in senso contrario al precedente, quindi le due f. e. m. generate per induzione dal flusso di forza concatenato sono di senso opposto. Il circuito A chiamasi inducente, quello B indotto.

Si vede pertanto che per ottenere f. e. m. indotte è necessario provocare una variazione nel flusso concatenato, e ciò si può anche ottenere — oltre che col sistema del movimento come abbiamo ora spiegato — provocando nel circuito inducente delle variazioni nella corrente che lo percorre, per esempio mediante continue aperture e chiusure del circuito stesso.

Se sopra un nucleo di ferro avvolgiamo separatamente due circuiti come è indicato nella figura 26 e facciamo percorrere il *primario* (quello che riceve l' energia *prima*) da una corrente variabile ottenuta aprendo e chiudendo l'interruttore I, il flusso magnetico attraverserà anche l'avvolgimento *secondario* e darà origine ad una f. e. m. indotta che potrà essere facilmente rilevata in grandezza e direzione mediante il galvanometro G.

Dalle indicazioni dello strumento, vedremo che la f. e. m. indotta nell'avvolgimento secondario esiste solamente quando vi è variazione di flusso concatenato, ossia quando l'interruttore viene chiuso od aperto.

Per il principio dell'azione e reazione (legge di Lenz sulle correnti indotte) la corrente indotta avrà sempre andamento tale da opporsi alla variazione del flusso che la provoca, e quindi nel caso della chiusura del circuito essa sarà diretta in senso inverso a quella inducente (dato che il flusso concatenato è in aumento) mentre

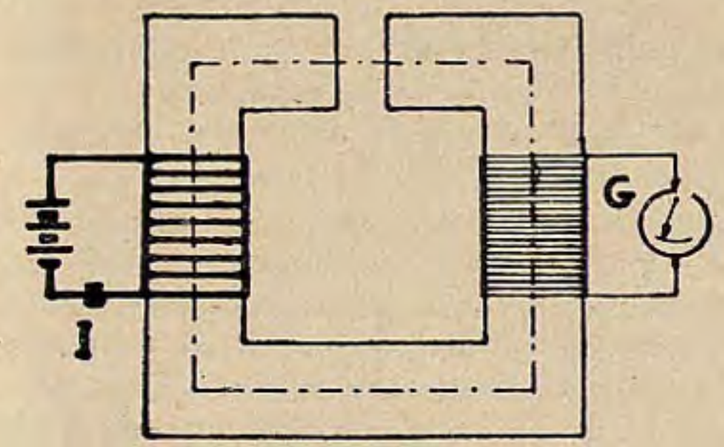


Fig. 26.

quando avviene l'apertura del circuito, il flusso concatenato diminuisce e perciò la corrente indotta sarà diretta come quella primaria dovendosi opporre al suo spegnimento.

Chiamando con Φ il flusso concatenato coi due circuiti e con I l'intensità della corrente nel circuito A, si ottiene:

$$\Phi = M I$$

dove M è un coefficiente di proporzionalità che prende il nome di coefficiente di *induzione mutua* e dipende dalla reciproca posizione dei due circuiti A e B.

In altre parole, esso sarebbe « il flusso d'induzione

che attraverserebbe uno dei due circuiti quando l'altro fosse percorso da una corrente di intensità unitaria ».

Ma le linee di forza che escono da A, abbracciano B, e si concatenano pure con il proprio circuito, quindi destano un certo flusso di forza dato dalla relazione:

$$\Phi' = L\,I$$

dove L è un coefficiente detto di *autoinduzione* o di *self-induzione*.

« Un circuito presenta dunque l'autoinduzione unitaria quando in esso si induce la f. e. m. unitaria per la variazione unitaria della corrente inducente nell'unità di tempo ».

Per ben comprendere questi due fenomeni importantissimi per l'argomento che vogliamo studiare, supponiamo di avere due circuiti, di tenerne uno immobile ed invariabile, e di accostare l'altro circuito spostandolo di quantità infinitesime e modificandolo contemporaneamente di forma per gradi insensibili, per modo da avvicinarsi sempre più alla forma ed alle dimensioni del primo. Se col pensiero immaginiamo questo spostamento arrestato quando il secondo circuito è venuto a coincidere col primo, o meglio ancora quando questi due circuiti si sono confusi uno coll'altro, l'induzione mutua avrà assunto un valore speciale, che è precisamente il limite verso cui tende l'induzione mutua fra i due circuiti, considerata quando essi vengono a confondersi un con l'altro. Di modo che, se in un circuito avente una induttanza L si ha una corrente che varia col tempo, si ottiene la f. e. m. di self-induzione che dipende da L, dall'intensità e dal campo.

Quindi, in un circuito in cui I varii col tempo ed L abbia un valore non trascurabile, si dovrà tener conto anche di questa f. e. m.

Potremo trascurarla soltanto quando L ha valori molto bassi.

I fenomeni induttivi manifestano azioni più o meno intense a seconda della suscettibilità del circuito di creare o meno un campo magnetico di notevole intensità.

Così in un conduttore rettilineo, gli effetti dell'induzione saranno assai deboli; mentre non saranno trascurabili se lo stesso conduttore verrà avvolto a spirale, perchè in tal caso la corrente in esso circolante darà luogo ad un considerevole campo magnetico

Se in presenza dei circuiti vi sono delle masse magnetiche, o nel solenoide si introduce un nucleo di ferro, in virtù della grande permeabilità di tal materiale, si avrà il flusso d'induzione più grande per la corrente unitaria e quindi i fenomeni di induzione saranno più marcati e non si potranno trascurare.

Vediamo ora di ricavare i valori dei coefficienti L ed M, ed all'uopo si consideri una bobina ad anello di sezione S, senza nucleo di materiale magnetico, composta di N spire di filo di rame.

Nell' interno del solenoide, il valore del campo è espresso dalla formula:

$$H = \frac{4\,\pi\,N\,I}{l}$$

ed il flusso attraverso le N spire di sezione S sarà quindi:

$$\Phi = \frac{4\,\pi\,N\,I}{l}\,S\,N = \frac{4\,\pi\,N^2\,I}{l}\,S = \frac{4\,\pi N^2\,I}{\frac{l}{s}}$$

Se si suppone esista il nucleo di materiale magnetico, chiamando con μ la sua permeabilità, avremo:

$$\Phi = \frac{4\pi N^2 I}{\frac{l}{\mu s}} = \frac{4\pi N^2 I}{r}$$

in cui r è la resistenza magnetica del circuito (§ 9).

Ricordando ora che è:

$$\Phi = L I$$

si avrà:

$$L = \frac{4\pi N^2}{r}$$

L'unità pratica di misura del coefficiente di induzione è l'*henry*, che vale 10^9 unità C. G. S.

La formula suesposta può ritenersi valida anche nel caso di un solenoide rettilineo, quando però la sua lunghezza sia considerevole rispetto al diametro.

Esempio. - Trovare il valore del coefficiente di autoinduzione di un elettromagnete composto di 400 spire di filo di rame avvolte sopra un nucleo di ferro dolce lungo 50 centimetri, e della sezione di 20 cmq., ammessa una permeabilità $\mu = 800$.

Con questi dati, si ricava subito:

$$r = \frac{l}{\mu s} = \frac{50}{800 \times 20} = \frac{1}{320}$$

e quindi si ottiene:

$$L = \frac{4\pi N^2}{R} = \frac{4\pi\, 400^2}{\frac{1}{320}} = 0{,}645 \text{ henry}$$

Nel caso che il rocchetto cilindrico contenesse parecchi strati uniformi di spire avvolte, chiamando rispettivamente con r ed r' i raggi interno ed esterno, si può usare la formula seguente:

$$L = \frac{4\pi N^2}{r}\left(1 + \frac{2}{3}\,\frac{r' - r}{r} + \frac{1}{2}\,\frac{(r' - r)^2}{r^2}\right)$$

Per ricavare l'espressione del coefficiente d'induzione mutua M, immaginiamo la stessa bobina ad anello di poco prima, unita però di due avvolgimenti rispettivamente di N_1 ed N_2 spire.

I flussi magnetici unitari Φ e Φ' dovuti a ciascuno dei due avvolgimenti supposti funzionanti uno dopo l'altro da primario, saranno dati da:

$$\Phi = \frac{4\pi N_1}{R}$$

$$\Phi' = \frac{4\pi N_2}{R}$$

Sappiamo ora che è:

$$M = \Phi N_2 = \Phi' N_1 \frac{16\pi N_1^2 N_2^2}{r^2}$$

ossia:

$$M = \sqrt{L_1 L_2}$$

essendo precisamente:

$$L_1 = \frac{4\pi N_1^2}{r} \quad \text{e} \quad L_2 = \frac{4\pi N_2^2}{r}$$

Non tutto il flusso creato da un avvolgimento, abbraccia l'altro, e quindi si avrà in pratica:

$$M < \sqrt{L_1 L_2}$$

Esempio. - Ricerchiamo il valore del coefficiente M per un sistema avente le caratteristiche e le dimensioni di quello dell' esempio precedente, salvo possedere un secondo avvolgimento di 1000 spire.

Precedentemente si era trovato:

$$r = \frac{1}{320}$$

e perciò si otterrà facilmente:

$$M = \frac{4\pi N_1 N_2}{r} = \frac{4\pi 400 \times 1000}{\frac{1}{320}} = 1{,}607 \text{ henry}$$

12. — *Chiusura ed apertura del circuito.*

Per il fenomeno dell'autoinduzione, se in una spira si manda una corrente elettrica, sappiamo che emana da essa un flusso che si fa più intenso se la spira è avvolta sopra un nucleo di materiale magnetico.

Per la legge di Lenz, la f. e. m. d'autoinduzione, sarà diretta in senso opposto alla corrente primaria inducente nel periodo in cui il flusso è in aumento, e nello stesso senso quando il flusso è in diminuzione.

In altre parole, lanciando corrente in un circuito induttivo, questa non tocca subito il suo valore dato dalla formula:

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

bensì ne raggiunge uno inferiore:

$$I' = \frac{V - E}{R}$$

che va rapidamente crescendo perchè man mano che la corrente si stabilisce nel circuito, la E cade fino ad annullarsi.

Si vede chiaramente che una parte della f. e. m. agente deve annullare quella di autoinduzione, e quindi si può concludere che la f. e. m. d'autoinduzione, e quindi si può concludere che la f. e. m. d'autoinduzione genera una propria corrente che si sovrappone alla corrente principale e tende ad impedire — o almeno a diminuire — le variazioni d' intensità, indebolendo quindi la corrente che cresce e rafforzando quella che decresce.

Allora, col variare della corrente, varia anche il flusso concatenato col circuito stesso. Appena si chiude il circuito, il flusso concatenato — originato dalla rapida variazione — cresce fino ad un dato valore, ostacolato però in questa sua ascesa dalla estracorrente che si sviluppa e che, come abbiamo detto, ha per effetto di diminuire l'intensità della corrente principale. Questa prima parte della f. e. m. di autoinduzione chiamasi *estracorrente di chiusura,* appunto perchè si sviluppa all'atto della chiusura del circuito stesso. Quando poi, per effetto della variazione della corrente, il circuito si apre, si genera una certa f. e. m. indotta che, essendo dello stesso senso di quella che percorre il circuito principale nel periodo di apertura, si somma e ne aumenta l'intensità *(estracorrente di apertura)*. La estracorrente non deve essere trascurata quando in circuito ci sono degli apparecchi ad induzione o comunque funzionanti con rapide interruzioni del circuito stesso, poichè essa dà origine a scintille vivissime che deteriorano rapidamente i contatti.

Per eliminare in parte — se non completamente — questo inconveniente, s'inserisce un condensatore di data capacità fra i due contatti attraversati dalla scintilla

dell' estracorrente. Di questo verrà più estesamente parlato in seguito.
Per osservare bene il fenomeno descritto, formiamo il circuito della figura 27, ossia alimentiamo con gli elementi della batteria B un rocchetto induttivo R,

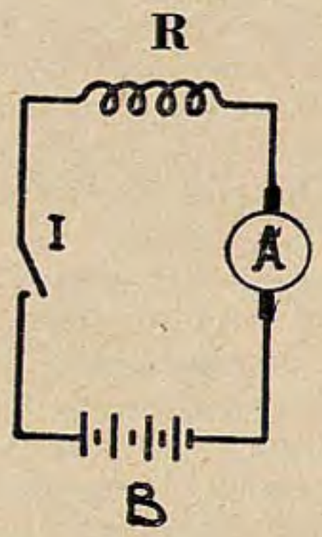


Fig. 27.

intercalando nel circuito un amperometro A ed un interruttore I.

Chiudendo il circuito mediante l'interruttore, il valore della corrente dovrebbe salire a:

$$\frac{E}{R}$$

ed invece osserveremo che l'ago dell' istrumento raggiunge detto valore molto lentamente, appunto perchè la corrente principale deve vincere in questo periodo la corrente di autoinduzione diretta in senso opposto al suo.

Aprendo il circuito, la corrente decresce con notevole rapidità e perciò — nascendo una rapida variazione di flusso — si originerà pure una forte *estracorrente* di apertura che sovrapponendosi alla corrente principale darà luogo a scintillio nel punto in cui è avvenuta l'apertura del circuito.

Vediamo ora brevemente di trattare analiticamente questo argomento che ci servirà in seguito per sviluppare la teoria della bobina d'induzione.

Trattandosi di circuito induttivo di caratteristiche R ed L, quando si applica la f. e. m. E, alla chiusura la corrente deve necessariamente passare dal valore zero a quello normale e perciò si manifesterà autoinduzione esistendo variazione di intensità e quindi di flusso.

L'equazione applicata al circuito sarà data dall'applicazione della legge di Ohm. Avremo:

$$R\,i + L\frac{d\,i}{d\,t} = E$$

e per ricavare la legge di variazione della corrente I, procediamo nell' integrazione della equazione differenziale separandone le variabili. Si otterrà:

$$\frac{R\,d\,i}{E - R\,i} = \frac{R}{L}\,d\,t$$

I limiti ai quali si estendono i due integrali sono dati rispettivamente da zero ed L per l'intensità, e da zero e t per il tempo, per cui:

$$\log\frac{E - R\,I}{R} = -\frac{R\,t}{L} + \text{cost.}$$

Il valore della costante può essere facilmente ricavato ponendo $t = 0$, nel qual caso, avendosi anche $I = 0$ sarà:

$$\log \frac{E}{R} = \text{cost.}$$

e perciò si otterrà l'equazione completa:

$$\log. \left(\frac{E - R\,I}{R} \; \frac{R}{E} \right) = - \frac{R\,t}{L}$$

da cui scende:

$$\frac{E - R\,I}{E} = e \; - \frac{R\,t}{L}$$

ossia in definitiva:

$$I = \frac{E}{R} \left(1 - e \; - \frac{R\,t}{L} \right)$$

Da cui si vede che l'intensità va aumentando molto rapidamente per toccare il massimo suo valore, benchè teoricamente ciò non dovrebbe avvenire che per t infinito.

Nel periodo dell'apertura del circuito, la f. e. m. di autoinduzione è diretta nello stesso senso della tensione agente e se si hanno notevoli valori della corrente e dell'induzione, la f. e. m. indotta può essere grande e tale da sorpassare anche la stessa tensione agente.

L'andamento della corrente durante questo periodo, è difficile da stabilire a causa della variazione prodotta dalla scintilla (ambiente di vapori metallici) nella resistenza del circuito.

Sia il circuito inducente percorso da una f. e. m. E di intensità I; togliendo la E, I non va immediatamente a zero, poichè rimane la corrente dovuta all'autoinduzione, e si avrà quindi:

$$- L \frac{d\,i}{d\,t} = R\,i$$

dove R è la resistenza ohmica del circuito.

Integrando l' equazione differenziale così ottenuta, si ha:

$$- \frac{d\,i}{i} = \frac{R}{L}\,d\,t$$

cioè:

$$- \int \frac{d\,i}{i} = \int \frac{R}{L}\,d\,t + \text{cost}$$

quindi:

$$- \log\, i = \frac{R\,t}{L} + \text{cost.}$$

Il valore della costante si ha a partire dall'istante $t = 0$ cioè al momento in cui si è tolta la f. e. m. E, lasciando agire solo la corrente di self-induzione. Per $e = 0$ otteniamo $- \log\, i = \text{cost}$. Ma in quell'istante la corrente non aveva intensità i, ma bensì I, quindi:

$$- \log.\, I = \text{cost.}$$

Sostituendo abbiamo:

$$- \log i = \frac{R\,t}{L} - \log I \qquad - \log i + \log I = \frac{R\,t}{L}$$

$$\log \frac{i}{I} - = \frac{R}{L}\,t \qquad - \frac{R}{L}\,t$$

$$i = I\,e$$

dove e è la base dei logaritmi neperiani ($e = 2{,}7182\ldots$).

Si vede dunque che la corrente varia d'intensità proporzionalmente alla curva logaritmica, quindi dovrebbe annullarsi per $t = \infty$.

Praticamente s'annulla dopo un certo tempo in quanto che col cessare della f. e. m. E, quella di self-indu-

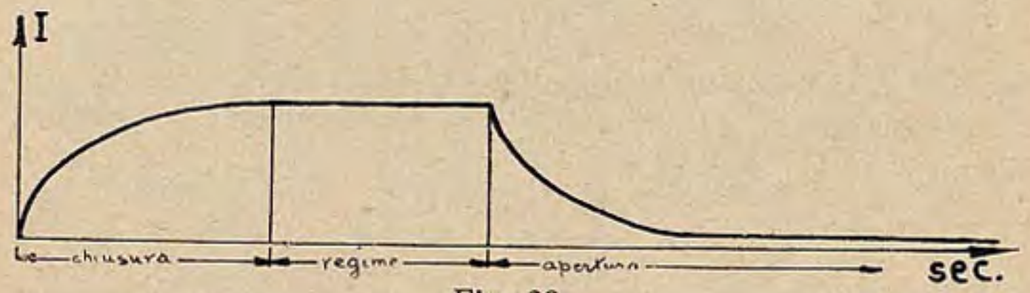


Fig. 28.

zione *e*, si perde poichè genera induzione anche nel circuito indotto e compie così un lavoro a proprie spese. Nei calcoli ora fatti si è considerato come costante il valore di L, ciò che in pratica non è, specialmente quando i circuiti sono in presenza di masse di ferro. Dato però che negli apparecchi che hanno nucleo di ferro, si opera la magnetizzazione fino ad un certo limite finito e quasi mai fino a saturazione (limite infinito) possiamo con grande approssimazione, ritenere L costante.

Il grafico della figura 28 dà un'idea dell'andamento del fenomeno ora studiato.

13. — *Correnti parassite.*

Quando una massa metallica è sottoposta a rapide variazioni di flusso di forza magnetica, si generano in essa delle correnti parassite che, opponendosi all'azione della corrente principale, ne diminuiscono l'efficacia.

Tali correnti prendono il nome di *correnti di Foucault* dal nome del fisico che per primo studiò la reciprocità fra lavoro speso nel moto e correnti indotte nella massa in movimento.

La classica esperienza di Foucault consisteva nel far velocemente ruotare un disco di rame fra le espansioni di un potente elettromagnete: quando questo non è eccitato da corrente alcuna, dopo averlo mosso, il disco continuerà a girare per inerzia, mentre se si eccitava l'elettromagnete, in pochi istanti il disco si fermava perchè le correnti indotte per la legge di Lenz reagiscono sulla causa che le produce.

Si cercò praticamente di ridurre al minimo i dannosi effetti di queste correnti parassite suddividendo le masse metalliche che devono sottostare alle variazioni di flusso, in lamine od in fili isolati fra di loro mediante sottili fogli di carta o strati di vernice.

14. — *Corrente alternata.*

Le correnti alternate sono quelle che cambiano periodicamente il loro senso, e graficamente si rappresentano con una curva sinussoidale simile a quella della figura 29, ottenuta portando sulle ascisse i tempi impiegati dalla spira generatrice per passare dall'una alle

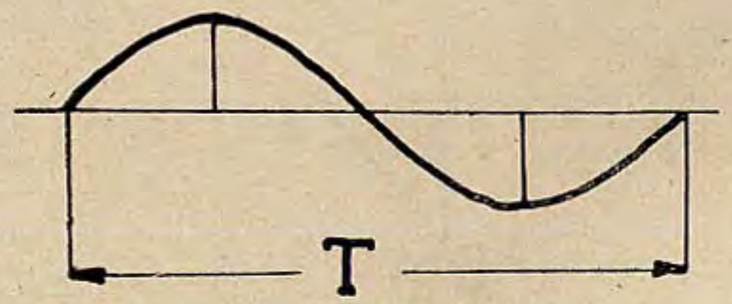


Fig. 29.

successive posizioni nel campo magnetico inducente, e per ordinate i valori della f. e. m. indotta.

È noto che vien chiamato *periodo* il tempo T (espresso in minuti secondi) impiegato per generare un'onda completa, ma siccome detto tempo è assai piccolo, si convenne di assumere il suo inverso, ossia il numero

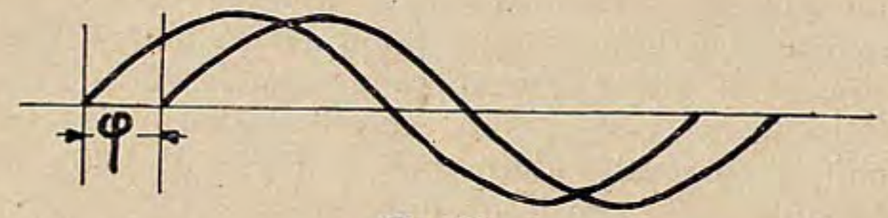


Fig. 30.

delle onde descritte nell'unità di tempo. La frequenza *f* ha perciò l'espressione:

$$f = \frac{1}{T}$$

Per la loro stessa natura, le correnti alternate che percorrono un dato circuito dànno luogo continuamente a variazioni di flusso ed a f. e. m. d'autoinduzione, e gli effetti che ne derivano non possono essere trascurati.

Ricorderemo brevemente che le variazioni di flusso

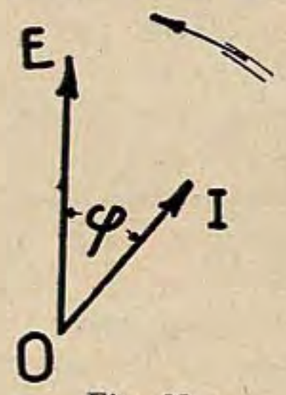


Fig. 31.

alle quali si è accennato, dànno origine ad una f. e. m. di *autoinduzione* o di *self-induzione* che diminuisce il valore della f. e. m. applicata.

Ne deriva che l'intensità della corrente sviluppata dalla f. e. m. risultante — pur seguendo sempre la legge sinussoidale — non è in *coincidenza* (in fase) con la sinussoide relativa alla f. e. m. principale, bensì è spostata in ritardo di una quantità maggiore o minore

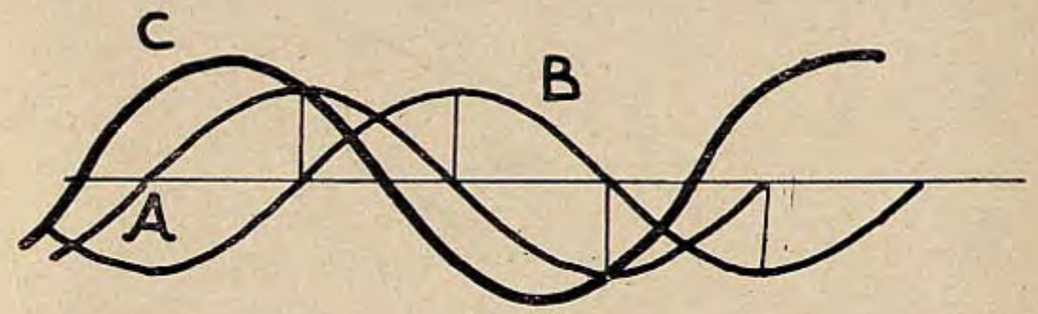


Fig. 32.

a seconda della preponderanza che la f. e. m. di self-induzione ha sulla f. e. m. totale. La figura 30 illustra appunto le sinussoidi E ed I con lo *sfasamento* φ, e riferendoci al fenomeno rotatorio che dà luogo a questa rappresentazione grafica, potremo altresì disegnare come in figura 31 i due vettori E ed I spostati dall'angolo φ, avendo immaginato di considerare contrario a quello delle lancette dell'orologio il senso di rotazione dei due vettori (deliberazione della Commissione Elettrotecnica Internazionale al Congresso di Torino del 1911).

L'effetto dell' autoinduzione ha un duplice aspetto, poichè provoca una diminuzione nell' efficacia della f. e. m. principale, e ritarda la fase della corrente rispetto a quest'ultima.

Vediamo ora di chiarire questi effetti.

La sinussoide della corrente (A) sia riprodotta nella figura 32; manifestamente essa ci rappresenterà anche

la variazione del flusso. Volendo tracciare ora la curva della f. e. m. di autoinduzione, dovremo tener presente la legge di Lenz secondo la quale una f. e. m. indotta ha sempre direzione tale da reagire sulle variazioni che la provocano, e quindi nel presente caso la curva che cerchiamo dovrà essere spostata di 90° (un quarto di periodo) in ritardo (curva B).

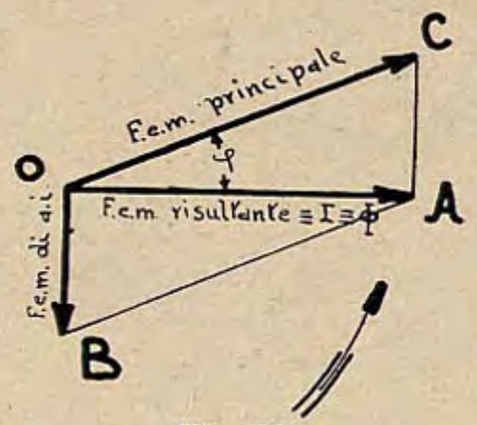


Fig. 33.

La f. e. m. principale (C) sarà quindi segnata in modo che composta colla B dia come risultante la A, e come si vede dalla figura è spostata in anticipo dell'angolo φ sulla sinussoide della corrente (o f. e. m. risultante colla quale la corrente è sempre in fase).

Vettorialmente (fig. 33) disegnando i due vettori OA ed OB, cercheremo il vettore OC che composto con OB dia OA. Il triangolo OAC ci rappresenta con:

OC la f. e. m. principale;
AC = OB la f. e. m. d'autoinduzione (reattiva);
OA la f. e. m. risultante (attiva);
φ lo spostamento di fase fra OA ed OC.

È evidente che fra questi elementi debbono sussistere le relazioni di distanza sui triangoli rettangoli.

Questo triangolo è detto *triangolo delle f. e. m.* e se immaginiamo di dividere i tre lati pel valore dell'intensità I della corrente, otterremo un triangolo simile detto *delle resistenze* (fig. 34) nel quale i due cateti sono rispettivamente dati dalla *resistenza ohmica* (R) e dalla *reattanza* (X) e l'ipotenusa è data dall' *impedenza* (Z) o *resistenza apparente* che è la risultante delle due pre-



Fig. 34.

cedenti. La reattanza sarebbe l'aumento di resistenza provocato dalla f. e. m. di autoinduzione.

L'angolo φ è naturalmente quello precedentemente considerato (fig. 33) ed anche qui valgono le note relazioni sui triangoli rettangoli.

Dal calcolo risulta:

$$X = \omega L = 2 \pi f L$$

per cui:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + 4 \pi^2 f^2 L^2}$$

in cui L è il coefficiente di autoinduzione del circuito.

Lo spostamento di fase viene ricavato dalle formule seguenti:

$$\text{tag } \varphi = \frac{X}{R} = \frac{\omega L}{R}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

e di queste espressioni, l'ultima è più usata perchè il *cos* φ — o fattore di potenza — è quello che indica col suo valore la maggiore o minore induzione del circuito, e di più serve direttamente per il calcolo della componente *I cos* φ o *corrente attiva* che realmente circola nel circuito, a differenza dell'altra componente *I sen* φ — o *corrente reattiva* — che è spostata di 90° sulla precedente e quindi sulla f. e. m. risultante, e produce calore senza sviluppare lavoro alcuno.

È evidente che in un circuito nel quale si ha cos φ = O è φ = 90° e quindi l'autoinduzione è fortissima, mentre nel caso opposto (cos φ = 1, φ = 0°) il circuito è formato puramente da resistenze ohmiche ossia antinduttive.

*
* *

Collegando un condensatore sopra un circuito percorso da corrente alternata, a differenza di quanto succederebbe se il circuito fosse percorso da corrente continua, non viene creato un ostacolo al passaggio della corrente, bensì per effetto delle cariche e scariche provocate nel condensatore stesso ad ogni cambiamento di segno della corrente alternata agente, è come se il dielettrico venisse attraversato senza costituire ostacolo di sorta.

Alle armature, la corrente e la differenza di potenziale assumono ugual segno se quest'ultima aumenta e segno opposto se diminuisce, e quando la differenza di potenziale passa pel suo valore massimo, l' intensità della corrente si annulla. La figura 35 è disegnata col sistema della figura 32 e fa vedere la sinussoide A della f. e. m. risultante e la differenza di potenziale B del condensatore spostata in anticipo di 90° sulla precedente. La sinussoide C è ottenuta come è stato spiegato, e si vede che in questo caso essa è in ritardo dell'angolo φ sulla corrente (sempre in fase colla f. e. m. risultante).

La trattazione vettoriale è analoga a quella vista (fig. 33) salvo l'anticipo della f. e. m. di capacità sulla

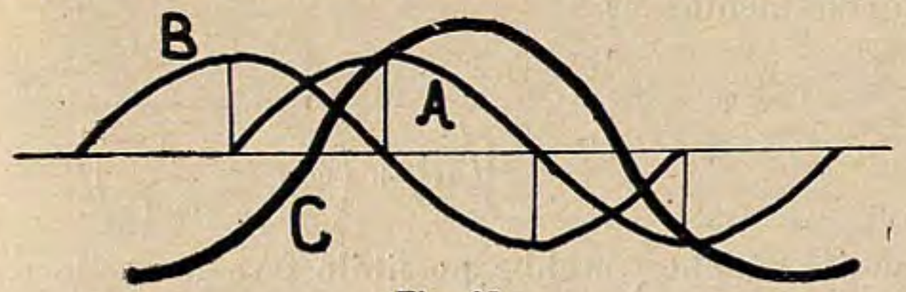


Fig. 35.

d. d. f. agente sulle armature, ed il calcolo dimostra che — chiamando con C la capacità del condensatore — la *reattanza* X è in questo caso data da:

$$X = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2 \pi f C}$$

e quindi l'*impedenza* ha l'espressione:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{4 \pi^2 f^2 C^2 \infty}}$$

Lo spostamento di fase sarà:

$$\text{tang } \varphi = \frac{X}{R} = \frac{1}{\omega C R}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

Se in uno stesso circuito fossero collegati in serie delle capacità e delle induttanze, l' impedenza totale sarebbe data dall'espressione:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

e lo sfasamento da:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

e manifestamente sarebbe possibile fare in modo d'annullare reciprocamente gli effetti della capacità e dell'induttanza qualora fosse:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

nel qual caso si otterrebbe:

$$\cos \varphi = 1 \qquad \varphi = 0°$$

ossia non si avrebbe alcuna differenza di fase tra f. e. m. e corrente; la resistenza apparente avrebbe il valore minimo possibile e l'intensità quello massimo compatibile con un dato valore di f. e. m.

La relazione precedente dà la *condizione di risonanza:*

$$\omega^2 L C = 4 \pi^2 f^2 L C = 1$$

e si vede da qui che in qualsiasi circuito si può ottenere tale condizione purchè la frequenza soddisfi la relazione:

$$f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L C}}$$

ossia:

$$T = \frac{1}{f} = 2 \pi \sqrt{L C}$$

Questa compensazione di effetti è dovuta al fatto che la f. e. m. di autoinduzione — spostata in ritardo di 1/4 di periodo rispetto alla f. e. m. risultante — è contraria alla tensione alle armature del condensatore, e se in qualche caso particolare i loro valori diventano uguali, gli effetti vengono ad annullarsi e l'impedenza si riduce alla pura e semplice resistenza ohmica del circuito.

Esempio. - Calcoliamo quale deve essere la capacità di un condensatore perchè collegato in serie con un solenoide in un circuito alla tensione alternata di 1000 volt e frequenza di 50 periodi al secondo, produca la condizione di risonanza. Il solenoide sia formato da 200 spire di filo avvolto sopra un nucleo di ferro della lunghezza di 20 cm. e sezione di 5 cmq.

Ricaviamo il valore del coefficiente L (paragrafo 11) ponendo $\mu = 1000$:

$$L = \frac{4 \pi n^2}{r} = \frac{4 \pi \times 4000}{\frac{l}{\mu S}} = 4 \pi 10^{-2} \text{ henry}$$

Dalla condizione di risonanza:

$$\omega^2 L C = 1$$

si ricava:

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{4 \pi^2 f^2 L} = \frac{1}{4 \pi^2 2500 \times 4 \pi 10^{-2}}$$

$$C = \frac{1}{15000} \frac{1}{9 \times 10^5} \text{ microfarad}$$

Capitolo III.

CENNI STORICI

15. — *La bobina d'induzione.*

L'anello costruito da Faraday per le sue esperienze sull'induzione elettromagnetica (paragrafo 10) potrebbe sembrare l'antenato dei moderni trasformatori, invece il prototipo di questi fu l'apparecchio Henry, professore di *Natural Philosophy* al Collegio di New Jersey, Princetown.

Nel 1832, precisamente l'anno dopo della scoperta di Faraday, il prof. Joseph Henry, nel *Silliman's American Journal of Science* parlava di alcune esperienze da lui stesso condotte, esperienze che gli avevano permesso di constatare come collegando i poli di una batteria di pile con un breve tratto di filo, nessuna scintilla era visibile alla rottura del circuito, mentre se detto filo aveva una lunghezza maggiore — e particolarmente se era avvolto a spirale — la rottura del circuito dava luogo a scintille nel punto di rottura. Trovò inoltre che tale effetto era maggiore se del ferro veniva introdotto al centro della spirale.

Nel 1835 lo stesso Henry descriveva nel *Journal of the Franklin Institute* un apparecchio da lui costruito

che permetteva di dare *scosse* elettriche mediante due manopole; questo è il prototipo dei moderni rocchetti e trasformatori, benchè abbia un solo rudimentale avvolgimento formato da una spirale piatta di rame e riposi il suo funzionamento sul fenomeno della extracorrente.

L'anno seguente, nel 1836, il prof. C. G. Page di Washington dava notizia sul *Silliman's Journal of Science* di un apparecchio simile a quello dell'Henry, che permetteva però di regolare gli effetti della *scossa* mediante parecchi contatti opportunamente derivati sulla lunghezza della spirale di rame.

La prima costruzione avente un poco la forma di vera bobina, fu quella eseguita nel 1836 dal rev. N. J. Callan del Maynooth College, e di ciò diedero notizia gli *Annales of Electricity*. Il Callan prese una barra di ferro come nucleo, e sopra vi avvolse 15 m. di grosso filo di rame da 20/10 di mm. di diametro e 390 metri di filo da 6/10, entrambi i fili isolati con copertura di cotone. I due capi interni degli avvolgimenti erano però collegati fra di loro.

Mandando attraverso il filo grosso la corrente di una batteria di pile ad alta intensità, e stringendo in mano le manopole collegate ai capi dell'avvolgimento a filo sottile, si sentiva una forte scossa elettrica negli istanti di apertura e di chiusura del circuito della batteria.

Nel 1837 si progredisce ancora nella forma; lo Sturgeon costruisce prima un'ossatura di legno con un foro centrale per il nucleo di ferro massiccio e due flange laterali per trattenere gli avvolgimenti formati rispettivamente da 78 metri di filo grosso e 390 di filo più fino. I due capi interni sono ancora saldati assieme, ed il circuito primario viene interrotto 37 volte al minuto secondo mediante una punta che pesca ad intermittenza in una vaschetta di mercurio. Anche questo era in

embrione l'interruttore di Foucault che doveva più tardi avere grandissima fortuna!

Lo Sturgeon ebbe il merito di comprendere che con un nucleo massiccio la *scossa* era debole, specie quando il numero delle interruzioni del circuito primario oltrepassava un certo limite. Dopo molte prove e vani tentativi, sostituì un fascetto di fili di ferro al tondino, ed ebbe subito migliori risultati.

Più tardi cambiò il suo interruttore a mercurio con un altro formato da una ruota dentata alla cui periferia appoggiava una spazzola flessibile; la ruota era mossa a mano con una manovella, ed il numero delle interruzioni che così si poteva ottenere era grandissimo.

Il Page, dopo i primi esperimenti del 1836, continuò le ricerche, ed ancora nel 1836 descrisse sul *Silliman's Journal of Science* un « Method of Increasiny Shocks and Experiments with prof. Henry's Apparatus for obtaining Sparks and Shoks from the Calorimeter » e ce ne dà notizia lo Sturgeon nei suoi *Annales of Electricity*.

In sostanza si tratta di un apparato simile a quello di prima, ma di dimensioni molto più grandi (è un nastro di rame di 96 cm. di lunghezza e 25 cm. di larghezza, arrotolato a spirali isolate le une dalle altre e con 10 diverse prese di corrente) il che gli permise di ripetere con maggior precisione, ampliandone gli effetti, le esperienze già fatte.

Nel 1839 lo stesso Page descrive un apparato che si avvicina moltissimo come forma a quelli moderni, ed è costituito da un nucleo di fili di ferro dolce, con un primario ed un secondario avvolti uno sopra l'altro ed isolati accuratamente con carta e vernice. Anche l'interruttore assomiglia molto a quelli a martello consistendo (fig. 36) in un bilanciere fulcronato in A che da una parte pesca in un pozzetto di mercurio P e

dall'altra termina con una sfera di ferro che può essere attirata dal nucleo magnetizzato del rocchetto.

Le vibrazioni della sfera e quindi del bilanciere, interrompono e chiudono il circuito, ed il funzionamento del sistema è ovvio.

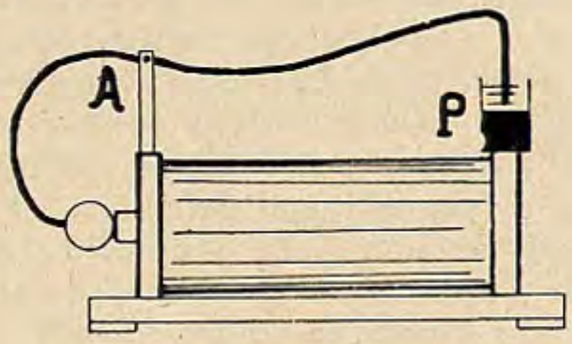


Fig. 36.

Page notò che la deflagrazione del mercurio con la punta di interruzione aveva l'effetto di prolungare la durata del contatto, dato che la corrente primaria continuava a passare attraverso l'atmosfera di vapori di mercurio che così si formava attorno alla punta, e per evitare ciò versò uno strato di alcool sul mercurio, ottenendo l'effetto di smorzare le scintille appena venivano ad originarsi.

Fra il 1838 ed il 1850, Page costruì molti rocchetti d'induzione e ripetè con successo le esperienze che prima aveva eseguito con la macchina elettrostatica, quali cariche di bottiglie di Leyda, repulsione delle foglie dell'elettroscopio, ecc.

Secondo notizie non controllabili, il Page sarebbe riuscito ad ottenere delle scintille della lunghezza di 12 cm. fra gli estremi del circuito secondario, e francamente ciò sembra strano se si pensa che a quell'epoca non si era ancora pensato all'applicazione del condensatore per assorbire l'estracorrente.

16. — *Il Rocchetto di Ruhmkorff.*

Giungiamo con questi precedenti all'epoca del Ruhmkorff e dobbiano dire per la verità che la questione della priorità sull'invenzione del rocchetto d'induzione (intendendo con questo nome l'apparecchio usato per creare delle scintille ai capi dell'avvolgimento secondario, e non per produrre delle scosse elettriche per scopi medicali) fu molto discussa perchè mentre prima del 1867 si era concordi nell' attribuire al Ruhmkorff tutto il merito se non della scoperta almeno quello della sapiente applicazione pratica di tanti principî e dati di esperienze, nel 1867 il Du Moncel fa conoscere nel secondo volume della sua opera *Exposé des Applications de l'Electricité* un libretto del prof. C. G. Page intitolato: *Hystory of induction*, nel quale sono descritte le esperienze e le costruzioni che il Page stesso dimostra di aver eseguito prima del Ruhmkorff. Questo libro è in fondo un panegirico che l'autore fa a sè stesso, con lo scopo recondito di elevare protesta per l'usurpazione al Ruhmkorff del premio Volta di 50.000 franchi.

Comunque ora esporremo quello che è saputo dell'attività tecnica del Ruhmkorff in questo campo.

Nel 1851, profittando degli esperimenti di Masson e Breguet, e probabilmente all'oscuro di quanto avevano già ottenuto Callan e Page, Ruhmkorff si dedicò alla soluzione del problema della produzione della scintilla col rocchetto d'induzione, col proposito di ottenere dei risultati ben maggiori di quelli avuti dal Masson e dal Breguet.

Egli pose grande cura nell' isolamento delle varie parti costituenti la costruzione, e quindi usò del filo di rame ben coperto da filo di cotone ed ulteriormente

verniciato con gomma lacca, ed anche usò dei fogli di carta arrotolati più volte fra ciascun strato dell'avvolgimento secondario onde evitare il pericolo che eventuali scariche interne potessero distruggere la bobina od almeno metterla fuori uso.

L'avvolgimento secondario veniva eseguito e collocato sopra un tubo di vetro di dimensioni tali da poter contenere nel suo foro il nucleo di ferro con l'avvolgimento primario completo, ed agli estremi di detto tubo apposite rondelle di legno paraffinato tenevano bene a posto tutto quanto l'avvolgimento. I due estremi dell'avvolgimento secondario erano collegati coi reofori dello spinterometro portati da due colonnine di vetro.

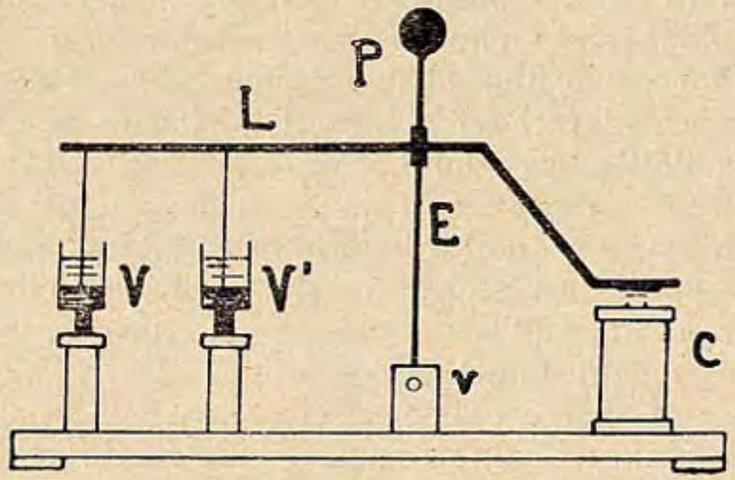


Fig. 37.

Il Fizeau gli consigliò più tardi l'uso del condensatore derivato fra le lamine dell'interruttore, e questo migliorò di molto i risultati.

Anche il geniale trovato del Foucault segnò dei veri progressi e così, aiutato dal condensatore e da un ottimo interruttore a mercurio, Ruhmkorff potè ottenere

delle scintille di parecchie decine di centimetri di lunghezza.

L'interruttore del Foucault consta (fig. 37) di una specie di leva orizzontale L portata da una lama elastica E verticale che ad un estremo è munita di un peso P regolabile in altezza, ed all'altro estremo si connette col supporto che permette di alzarla ed abbassarla per mezzo dell'apposita vite V. Ad un'estremità di L vi è un'àncora di ferro dolce che può essere attratta dall'elettrocalamita C, ed all'altra estremità si trovano due punte che pescano in due vasi V e V' pieni di mercurio fino ad una certa altezza. Questi possono essere sollevati od abbassati a piacere per variare la durata dell'interruzione.

Le punte appartengono rispettivamente al circuito della bobina ed a quello dell'elettrocalamita pel funzionamento dell'interruttore, e talvolta il secondo viene soppresso usando pel movimento dell'àncora il medesimo nucleo della bobina.

Col perfezionarsi nella costruzione dei grandi rocchetti, Ruhmkorff comprese la grande facilità che qualche scintilla interna potesse ugualmente scoccare in qualche punto della massa dell'avvolgimento secondario, facilità che aumentava col crescere delle dimensioni dei rocchetti, motivo per cui negli ultimi modelli applicò i suggerimenti del Poggendorff consistenti nel suddividere il secondario in parecchie sezioni onde evitare che fra due strati consecutivi di filo esistesse una grande differenza di potenziale.

Uno degli apparecchi più potenti costruiti dal Ruhmkorff coll' applicazione di tutti questi nuovi concetti venne terminato nel 1867, ed aveva un primario della lunghezza di 52 centimetri con un secondario composto di 80 bobinette ciascuna di lunghezza tale da contenere solamente 6 spire di filo finissimo ed isolato. Tale avvolgimento comprendeva 100.000 metri di filo di 1/10 di mm. di diametro, mentre il primario era formato da quattro strati di filo di 3 mm. di diametro.

L'isolamento fra i due avvolgimenti era dato da un grosso tubo di vetro, e fra le bobinette secondarie erano infilate delle rondelle di legno paraffinato.

Con questo rocchetto si ottenevano scintille della lunghezza di 40 centimetri con una batteria di 6 pile Bunsen grande modello.

17. — *Ulteriori perfezionamenti.*

Per aumentare l'isolamento delle bobine d'induzione, un meccanico parigino — Jean — immerse la costruzione completa in un recipiente contenente dell'olio di trementina, ottenendo la possibilità di aumentare notevolmente la lunghezza della scintilla.

I rocchetti di Jean erano così costruiti: primario di 4 strati di filo di 15/10 di mm. e secondario con 50 strati di filo da 25/100 di mm., con fogli di carta assorbente fra due strati consecutivi. L'insieme era immerso nell'olio di trementina e gli estremi dell'avvolgimento secondario si infilavano in due tubetti di vetro ed uscivano all'esterno.

Negli anni che seguirono si ebbero tentativi da parte di numerosissime persone per ottenere sempre maggiori lunghezze di scintille, e parecchi studiosi elaborarono la teoria della bobina d' induzione e fecero ricerche d'indole varia allo scopo di migliorare qualche parte o di spiegare qualche fenomeno. Fra questi sono degni di menzione il Poggendorff (1855) col suo studio sull'azione del condensatore, lo Stohrer ed il Foucault (1855) colle esperienze di due bobine in serie, e l'Hearder (1857), il Ritchie (1857-59) ed il Gassiot

(1858) con le loro costruzioni colossali che raggiunsero delle lunghezze di circa 1 metro nella scintilla.

Giungiamo così al Grove che escogitò di impiegare la corrente alternata per l'alimentazione del rocchetto.

Egli usò una comune macchina magneto-elettrica, e ne commise i reofori con gli estremi del circuito pri-

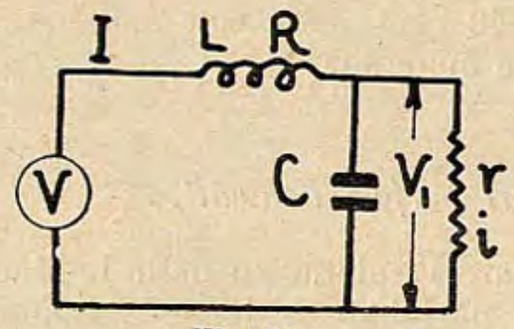


Fig. 38.

mario di un rocchetto munito di condensatori fra le lamine dell' interruttore, trovando che chiudendo in corto circuito il condensatore (ossia eliminandolo dal circuito) non otteneva scintille agli estremi del secondario, mentre lasciandolo inserito si producevano scintille ben visibili.

Maxwell diede la spiegazione di questo fatto considerando il circuito riprodotto nella figura 38, nel quale l'avvolgimento primario ha le caratteristiche R ed L, ed il condensatore di capacità C è in derivazione assieme ad una pura resistenza ohmica *r* in un circuito alimentato alla tensione alternata V.

Chiamando con V_1 la tensione agli estremi delle due derivazioni, la legge di Ohm ci permette di scrivere:

$$V + R\,I + \omega\,L\,I + V_1 = 0$$

essendo manifestamente I la corrente che circola nel circuito.

Chiamando ora con *i* la corrente che circola nella resistenza *r*, sarà:

$$I - i$$

quella che attraversa il ramo del condensatore, onde potremo scrivere:

$$V_1 = r\,i$$

ed anche:

$$V_1 = \frac{I - i}{\omega\,C} = \frac{I - \dfrac{V_1}{r}}{\omega\,C}$$

da cui scende facilmente:

$$V_1 = \frac{I\,r}{1 + \omega\,C\,r}$$

L'equazione del circuito diventa dunque:

$$V + R\,I + \omega\,L\,I + \frac{I\,r}{1 \times \omega\,C\,r} = 0$$

Ad uso dello studioso diamo ora lo svolgimento completo di questa equazione vettoriale, avvertendo però che le conclusioni alle quali perverremo potranno benissimo essere comprese dal solo esame della formula finale.

Per metterci nelle condizioni più comode di risolvere un circuito composto di elementi in serie, determineremo le caratteristiche che dovrebbe avere un circuito ideale che potesse completamente sostituire quello formato dal condensatore e dalla resistenza *r* disposti in parallelo, e poichè sappiamo che — chiamando con

g la conduttanza e con b la suscettanza — si può scrivere:

$$X' = \frac{b}{g^2 + b^2} \quad e \quad R' = \frac{g}{g^2 + b^2}$$

in cui X' ed R' sono rispettivamente la reattanza e la resistenza del circuito ideale equivalente a quello che ora vogliamo sostituire, avremo:

$$b = \omega C \qquad g = \frac{1}{r}$$

$$X' = \frac{\omega C}{\omega^2 C^2 + \frac{1}{r^2}} = \frac{\gamma^2 \omega C}{1 + \omega C^2 r^2}$$

$$R' = \frac{\frac{1}{r}}{r C^2 + \frac{1}{r^2}} = \frac{r}{1 + \omega^2 C^2 r^2}$$

L' equazione vettoriale fondamentale si trasforma perciò nella seguente relazione geometrica:

$$V^2 = I^2 \left\{ (R + R')^2 + (X - X^1)^2 \right\}$$

ossia:

$$V^2 = I^2 \left\{ \left(R + \frac{r}{1 + \omega^2 C^2 r^2} \right)^2 + \left(\omega L - \frac{r^2 \omega C}{1 + \omega^2 C^2 r^2} \right)^2 \right\}$$

da cui scende facilmente:

$$I^2 = \frac{V^2 (1 + r^2 \omega^2 C^2 V)}{r^2 \left\{ (1 - L C \omega)^2 - C^2 R^2 \omega^2 \right\} - 2 R r + R^2 + L^2 \omega^2}$$

Se chiudiamo il condensatore in corto circuito, è come porre:

$$r = o$$

e perciò la formula precedente si trasforma in:

$$I^2 = \frac{V^2}{R^2 + L^2 \omega^2} \qquad (1)$$

mentre se il condensatore vien lasciato quando il circuito è aperto, è come fosse:

$$r = \infty$$

ossia:

$$I^2 = \frac{V^2}{R^2 + \left(L \omega - \frac{1}{C \omega} \right)^2} \qquad (2)$$

In questo caso quando è:

$$\frac{1}{C^2 \omega^2} - \frac{2 L}{C} > o$$

ossia:

$$2 L C \omega^2 > 1$$

la I (2) è maggiore di I (1) e la corrente primaria è aumentata per l' introduzione del condensatore nel circuito.

Se poi fosse:

$$C L \omega^2 = 1$$

si avrebbe:

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

ossia l'induttanza del primario sarebbe completamente annullata e la corrente avrebbe il suo massimo valore.

Maxwell è in tal modo riuscito a dimostrare il modo da seguire per ottenere la massima corrente primaria, ed ha inoltre chiarito la ragione per la quale con l'interposizione di un condensatore d' adatta capacità si abbia la possibilità di aumentare la corrente primaria e di conseguenza anche la f. e. m. del secondario.

Egli quindi aveva bene intuito il fenomeno quando pensava che non ottenendo scintille agli estremi del secondario quando il condensatore era posto in corto circuito e così la macchina magneto-elettrica era direttamente connessa col primario del rocchetto, la ragione era probabilmente da ricercarsi nel fatto che la self-induzione del primario stesso riduceva di molto la corrente del generatore di modo che una piccola quantità di essa poteva circolare nel filo.

Quando poi il condensatore veniva lasciato nel circuito, la sua capacità neutralizzava almeno in parte l'azione della self dell'avvolgimento primario, di modo che ai capi del secondario si poteva ottenere corrente indotta.

I calcoli gli diedero appunto ragione.

Dopo il 1860, l'Apps è stato il costruttore e l'ideatore dei più grandi rocchetti d'induzione, ed a titolo di informazione daremo alcune notizie di quello commissionato dall'*Istituzione Politecnica di Londra.*

Questo rocchetto è fornito di due primari indipendenti e con un nucleo proprio, e ciascuno può essere in pochi minuti sostituito all'altro.

Uno di questi serve per la produzione di lunghe scintille ed ha un nucleo di fili di ferro del diametro di 8/10 di mm., delle complessive dimensioni di mm. 90 × 1100. Il suo peso è di circa 30 kg. Il filo avvolto è da 24/10 di mm. e forma 1344 spire ripartite in 6 strati coi capi separati e comunicanti con appositi commutatori per variarne il collegamento.

L'altro primario viene usato con le batterie ad alta intensità, e quindi serve per la produzione di scintille corte, ma grosse. Il nucleo di ferro pesa 40 kg. ed ha le dimensioni esterne di mm. 95 × 1100 e l' avvolgimento consta di 3 paia di strati di filo da 24/10 di mm. Per quanto riguarda i collegamenti interni, è come se l'avvolgimento fosse formato di soli 3 strati.

Il secondario consiste di circa 400 km. di filo isolato avvolto in quattro sezioni della lunghezza complessiva di 950 mm., ed ogni sezione è formata di parecchi dischi piatti di circa 200 strati e pochissime spire per ciascun strato.

Il totale delle spire secondarie è di 341850.

Il condensatore venne determinato per tentativi, e quello più favorevole risultò composto di 120 fogli di stagnola delle dimensioni di cm. 45 × 20 separati da due fogli di finissima carta verniciata dello spessore complessivo di 28/100 di mm.

Usando il primo nucleo con relativo avvolgimento, questo rocchetto — alimentato da una batteria di 5 celle Grove — dava una scintilla della lunghezza di 70 cm., che poteva salire a cm. 88 e 93 se la batteria era formata rispettivamente di 10 oppure di 20 celle Grove.

La massima lunghezza di scintilla ottenuta con questo apparecchio fu di 104 cm., e non è impossibile che si potesse ottenere di più, salvo però il rischio che si correva di bruciare l'avvolgimento secondario.

Con la scintilla di 70 cm. un blocco di vetro *flint* dello spessore di 75 mm. era forato in pochi istanti, e con 100 cm. di scintilla si forava lo spessore di 150 mm.

Dopo questo rocchetto, lo stesso Apps ne costruì altri simili, e fra tanti ricorderemo quello eseguito per il *Framjee Kawasjee Institut* di Bombay che però non raggiunse la potenzialità di quello di prima.

Il rocchetto di Ruhmkorff ebbe più tardi un buon impulso per merito del Rontgen che nel 1896 lo applicò alla sua geniale invenzione e più tardi ancora il rocchetto trovò un nuovo sbocco nella telegrafia senza fili.

Quali saranno le future sue applicazioni? Probabilmente nessuna, però resterà sempre il ricordo delle applicazioni che ebbe, e lascierà certamente nell'animo del dilettante un sentimento nostalgico per la soddisfazione di averne costruito qualche modello e di aver potuto eseguire tante belle esperienze che potevano sembrare nate da un regno di fantasia!

Capitolo IV.

CENNI TEORICI SUL FUNZIONAMENTO DEL ROCCHETTO DI RUHMKORFF

Funzionamento del rocchetto con interruttori meccanici.

18. - *Schema con secondario aperto.*

Inizieremo questo studio prendendo in considerazione lo schema della fig. 39 che ci rappresenta un rocchetto costituito dall'avvolgimento primario P alimentato dalla batteria B di pile attraverso all'interruttore I sul quale è derivato il condensatore C per l'estracorrente come già venne accennato. Il secondario S è chiuso sopra un condensatore *c* che ci rappresenta la capacità propria di questo avvolgimento, e come diremo meglio in seguito, tale capacità non può essere trascurata, specie nei rocchetti di piccolo e medio modello.

Sappiamo che all'apertura del circuito primario, fra le punte, scocca una scintilla che può essere più o meno intensa a seconda del valore dell'estracorrente relativa (paragrafo 12) ma nei nostri calcoli tale scintilla non può essere presa in considerazione, e quindi agiremo come se non ci fosse.

Prima di procedere, avvertiamo che — salvo contrarie indicazioni caso per caso — useremo gli indici

1 e 2 per le grandezze riferentesi rispettivamente al primario ed al secondario. Per le grandezze che non ammettono valori massimi e valori istantanei, useremo di preferenza le maiuscole per il primario e le minuscole per il secondario.

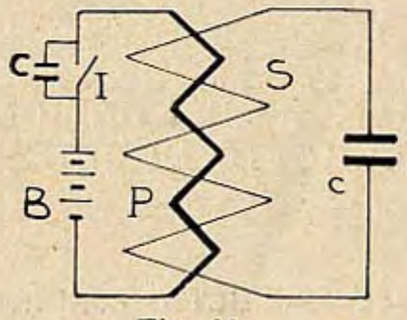


Fig. 39.

La legge di Ohm ci permette senz'altro di stabilire le seguenti equazioni generali per i circuiti rappresentati dallo schema della fig. 39:

a) circuito primario

$$R\,I_1 + L\frac{d\,I_1}{d\,t} + M\frac{d\,I_2}{d\,t} + V_1 = E$$

b) circuito secondario

$$r\,I_2 + l\frac{d\,I_2}{d\,t} + M\frac{d\,I_1}{d\,t} + V_2 = o$$

nelle quali le lettere hanno i significati ed i valori ormai noti, e V_1 e V_2 — inerenti ai due condensatori — sono legati alle relazioni:

$$V_1 = \frac{Q}{C} \qquad V_2 = -\frac{q}{c}$$

Vediamo separatamente l' andamento dei fenomeni nei due casi della chiusura e dell'apertura del circuito primario.

Chiusura del circuito. - Le esperienze di Walter sulle oscillazioni del campo magnetico hanno permesso di giungere alla conclusione che dette oscillazioni non differiscono sensibilmente quando si opera col solo primario completo di nucleo oppure col primario e col secondario, per cui è lecito pensare che l'avvolgimento secondario non eserciti una reazione apprezzabile sul primario, e di conseguenza sia possibile trascurare nei calcoli i termini:

$$M\frac{d\,I_2}{d\,t} \quad \text{e} \quad l\frac{d\,I_2}{d\,t}$$

Tenendo presente che nel caso della chiusura del circuito il condensatore C viene ad essere in corto-circuito, l'equazione *a*) diventa:

$$R\,I_1 + L\frac{d\,I_1}{d\,t} = E$$

che risolta (paragrafo 12) dà:

$$I_1 = \frac{E}{R}\left(1 - e^{\frac{-Rt}{L}}\right)$$

ossia:

$$I_1 = I_o\left(1 - e^{\frac{-Rt}{L}}\right)$$

Si deduce facilmente che la lunghezza della scintilla secondaria è proporzionale alla intensità massima I_o che

la corrente primaria possiede all'istante nel quale avviene la rottura del circuito, e l'equazione soprascritta permette di calcolare quando l' interruttore raggiunge questo valore I_0 e di conseguenza quale deve essere il periodo dell' interruttore pel quale la lunghezza della scintilla secondaria assume il valore massimo.

Vediamo ora quali valori assumono le f. e. m. indotte E_1 ed E_2. Trascurando come prima si è fatto l'azione del secondario sul primario, potremo scrivere:

$$E'_1 = -L\frac{dI_1}{dt} \qquad E'_2 = -M\frac{dI_1}{dt}$$

nelle quali equazioni il segno *meno* ci ricorda la legge di Lenz.

Derivando la precedente equazione che ci dà il valore di I, otterremo:

$$\frac{dI_1}{dt} = \frac{E}{R}\,\frac{R}{L}\,e^{\frac{-Rt}{L}} = \frac{E}{L}\,e^{\frac{-Rt}{L}}$$

e sostituendo questa espressione nelle precedenti:

$$E'_1 = -E\,e^{\frac{-Rt}{L}} = -RI_0\,e^{\frac{-Rt}{L}}$$

$$E'_2 = -M\frac{E}{L}\,e^{\frac{-Rt}{L}} = -MI_0\frac{R}{L}\,e^{\frac{-Rt}{L}}$$

I valori massimi si avranno per t = o, ossia:

$$\Sigma'_1 = -E = -RI_0$$

$$\Sigma'_2 = -M\frac{E}{L} = -MI_0\frac{R}{L}$$

e le esperienze di Beattie sulla ricerca dell' influenza delle lamine dell' interruttore sulla lunghezza della scintilla ottenibile ai capi del secondario, confermano queste formule.

Apertura del circuito. - Questa è la fase più importante, e per studiarne l'andamento cominceremo a considerare l'avvolgimento primario aiutandoci con quello che si è raggiunto nello studio della scarica dei condensatori.

Quando un condensatore è carico, si può provocare la scarica connettendo le sue armature per mezzo di un filo conduttore. Se però il filo non è continuo, bensì lascia un breve intervallo d'aria, può darsi che la scarica avvenga ugualmente e oltrepassi questo *intervallo esplosivo* mediante una scintilla.

Naturalmente per essere sorpassato, tale intervallo ha bisogno di una certa differenza di potenziale, ed è chiaro che quanto più grande sarà questa differenza di potenziale tanto più grande potrà essere l'intervallo da vincere.

Lo studio di questo circuito implica la conoscenza dell'andamento del fenomeno anche nello spazio occupato dall'aria, e mentre nei calcoli si considera come costante tale resistenza, in generale questo non avviene in pratica perchè la prima scarica altera il dielettrico e lo rende più conduttivo.

Alcune esperienze condotte a questo riguardo hanno permesso di giungere ad alcune importanti deduzioni che ora brevemente esporremo.

Lo Slaby ha esperimentato sopra condensatori della capacità di 0,0004 μf e trovò i seguenti valori:

Lunghezza della scintilla	Resistenza della scintilla
mm.	ohm
1	0,25
2	0,90
3	2,30
4	5,00

e questo ci dice che la resistenza aumenta in un rapporto molto più rapido di quello inerente all'aumento della distanza esplosiva.

La resistenza è poi diversa a seconda che le scintille scoccano separate oppure a brevi intervalli da costituire quasi un arco, ed evidentemente in questo secondo caso i valori della resistenza saranno inferiori a quelli del primo caso perchè il dielettrico si scalda maggiormente.

La resistenza diminuisce coll' aumentare della frequenza usata.

Ha una certa influenza anche la natura degli elettrodi coi quali si fanno le prove, e la tabella che segue riporta alcuni risultati dello Slaby ottenuti con sferette del diametro di 1 cm.

TABELLA III.

Resistenza della scintilla con elettrodi di varia natura

Lunghezza della scintilla	Resistenza in ohm con elettrodi di:					
	Ottone	Rame	Piombo	Ferro	Argento	Alluminio
0.5	0.9	1.3	0.9	0.9	0.6	1.3
1.0	2.4	2.8	1.8	2.2	1.5	2.8
1.5	4	4.4	3.3	4.5	2.5	4.6
2.0	5.9	6.4	5.5	7.7	3.8	7.1
2.5	8.9	9.3	9.3	11.8	5.8	10.6
3.0	12.8	12.6	14.6	16.4	8.9	15.5

Nella scarica dei condensatori, si possono avere delle correnti oscillatorie ad altissima frequenza.

Nel caso di bottiglie di Leyda scaricate attraverso ad un circuito breve, la frequenza può raggiungere milioni di periodi al minuto secondo, e poichè la frequenza delle vibrazioni luminose varia da 400 a 700 bilioni di periodi al secondo, le oscillazioni prodotte dalla scarica di un condensatore vengono ad essere comprese fra le vibrazioni acustiche e quelle luminose.

Esse però non sono percepibili dal nostro occhio, poichè le lunghezze d'onda relative non sono abbastanza corte.

Nel caso delle vibrazioni luminose dell'etere, che si trasmettono colla velocità di 3×10^{10} centimetri al secondo, la lunghezza d'onda è di $0{,}075 \div 0{,}043$ cm., e sperimentalmente, con scariche elettriche fra sfere di 60 centimetri di diametro, si sono raggiunte delle frequenze dell'ordine di 3×10^{8} periodi al secondo, con lunghezza d'onda di circa 1 metro.

L' Hertz nelle sue esperienze raggiunse le frequenze di 6×10 ed il Righi quelle dell'ordine di 5×10^{10}.

Come si è detto, considerando nei nostri calcoli il caso in cui la resistenza non varia sensibilmente di valore (e così pure l'induttanza del circuito) e trascurando ancora dalle equazioni fondamentali l'azione del secondario sul primario, si giunge ad un risultato legato ai valori della seguente espressione:

$$\sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{CL}}$$

Si possono ora presentare i seguenti tre casi:

$$\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{CL} \gtrless 0$$

ossia:

$$R \gtrless 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

Nel primo caso la scarica è continua o *aperiodica* perchè l'ordinata diminuisce più o meno rapidamente e si annulla teoricamente per $t = \infty$, essendo la curva assintotica all'asse dei tempi.

In generale, coi valori di R, L e C che si presentano nei casi pratici, si verifica la terza condizione:

$$R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

ed in questo caso, ponendo:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

si giunge alla espressione:

$$I_1 = I_0\, e^{\frac{-Rt}{2L}}\left[\cos \alpha t + \frac{R}{2\alpha t}\operatorname{sen} \alpha t\right]$$

L'esame di questa relazione ci permette di dedurre che il valore di I è dato dal prodotto del coefficiente:

$$e^{\frac{-Rt}{2L}}$$

decrescente coll'aumentare del tempo, per la sinussoide:

$$I_0\left(\cos \alpha t + \frac{R}{2\alpha t}\operatorname{sen} \alpha t\right)$$

e perciò la rappresentazione grafica, essendo ciascuna ordinata data dal prodotto delle ordinate di una sinussoide per una quantità in continua diminuzione, sarà del tipo rappresentato in figura 40, ossia l'andamento dello scarico è *oscillante*.

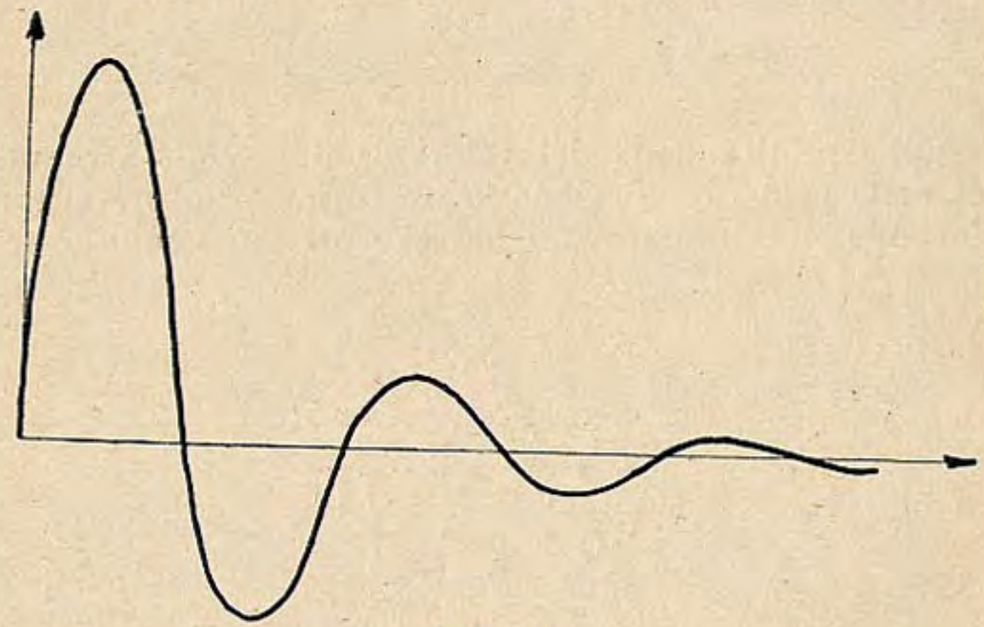


Fig. 40.

Il periodo è costante ed uguale a quello della sinussoide, e le ordinate massime e minime — equidistanti fra di loro — presentano l'una dall'altra l'intervallo di un semiperiodo, ma sono spostate verso sinistra rispetto al punto di mezzo del segmento compreso fra due punti di ordinata nulla.

Il periodo T di oscillazione, ha il valore:

$$T = \frac{2\pi}{\alpha} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$$

e la frequenza:

$$f = \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4\,2^2}}$$

Il termine:

$$\frac{R}{2\,L}$$

assume praticamente dei valori assai piccoli, e quindi se nella prima oscillazione lo trascuriamo, le precedenti formule si riducono a quelle seguenti più semplificate:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{L\,C}}$$

$$T = \frac{2\,\pi}{\alpha} = 2\,\pi\sqrt{L\,C}$$

$$f = \frac{\alpha}{2\,\pi} = \frac{1}{2\,\pi\sqrt{L\,C}}$$

e l'equazione generale diventa:

$$I_1 = I_0 \cos\frac{t}{\sqrt{L\,C}}$$

Abbiamo inoltre:

$$\frac{d\,I_1}{d\,t} = -\,I_0\,\frac{1}{\sqrt{L\,C}}\,\text{sen}\,\frac{t}{\sqrt{L\,C}}$$

e quindi essendo:

$$E_1'' = -\,L\,\frac{d\,I_1}{d\,t} \qquad E_2'' = -\,M\,\frac{d\,I_1}{d\,t}$$

otterremo:

$$E_1'' = \frac{L\,I_0}{\sqrt{L\,C}}\,\text{sen}\,\frac{t}{\sqrt{L\,C}}$$

$$E_2' = \frac{M\,I_0}{\sqrt{L\,C}}\,\text{sen}\,\frac{t}{\sqrt{L\,C}}$$

I valori massimi saranno:

$$\Sigma_1'' = I_0\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{2\,\pi\,L\,I_0}{T}$$

$$\Sigma_2'' = I_0\,\frac{M}{\sqrt{L\,C}} = \frac{2\,\pi\,M\,I_0}{T}$$

Secondo l'Armagnat, nel caso di una bobina a circuito magnetico chiuso e con i due circuiti presso a poco ugualmente ripartiti su di esso in modo che il flusso generato da uno attraversi anche l'altro, i coefficienti d'induzione possono esprimersi colle seguenti relazioni:

$$L = A\,N^2$$
$$l = A\,n^2$$
$$M = A\,N\,n$$

in cui N ed *n* sono le spire rispettivamente primarie e secondarie.

La formula precedente diventa dunque (Walter):

$$\Sigma_2'' = \frac{M\,I_0}{\sqrt{L\,C}} = \frac{I_0\sqrt{L\,l}}{\sqrt{L\,C}} = I_0\sqrt{\frac{l}{C}}$$

ed il rapporto fra le due f. e. m. sarà:

$$\frac{\Sigma_2''}{\Sigma_1''} = \sqrt{\frac{l}{L}} = \frac{n}{N}$$

Si deduce da questa relazione che:

1) la f. e. m. secondaria è proporzionale all'intensità della corrente primaria I_0 al momento della rottura, ed è inversamente proporzionale alla radice quadrata della capacità primaria;

2) il rapporto fra le due f. e. m. primaria e secondaria è uguale al rapporto fra le spire che compongono i due avvolgimenti (rapporto di trasformazione).

Riassumendo, si è giunti alle seguenti conclusioni:

a) circuito chiuso.

$$\Sigma_1' = -R\,I_0 = -E$$

$$\Sigma_2' = -M\,I_0\frac{R}{L} = -\frac{M}{L}E$$

b) circuito aperto.

$$\Sigma_1'' = I_0\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\Sigma_2'' = I_0\frac{M}{\sqrt{L\,C}}$$

ed i rapporti fra le tensioni primarie e quelle secondarie nei due periodi, sono uguali. Abbiamo cioè:

$$\frac{\Sigma_1'}{\Sigma_1''} = \frac{-E}{I_0\sqrt{\frac{L}{C}}} = -R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\frac{\Sigma_2'}{E_{12}''} = \frac{-\frac{M}{L}E}{I_0\frac{M}{\sqrt{L\,C}}} = -R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

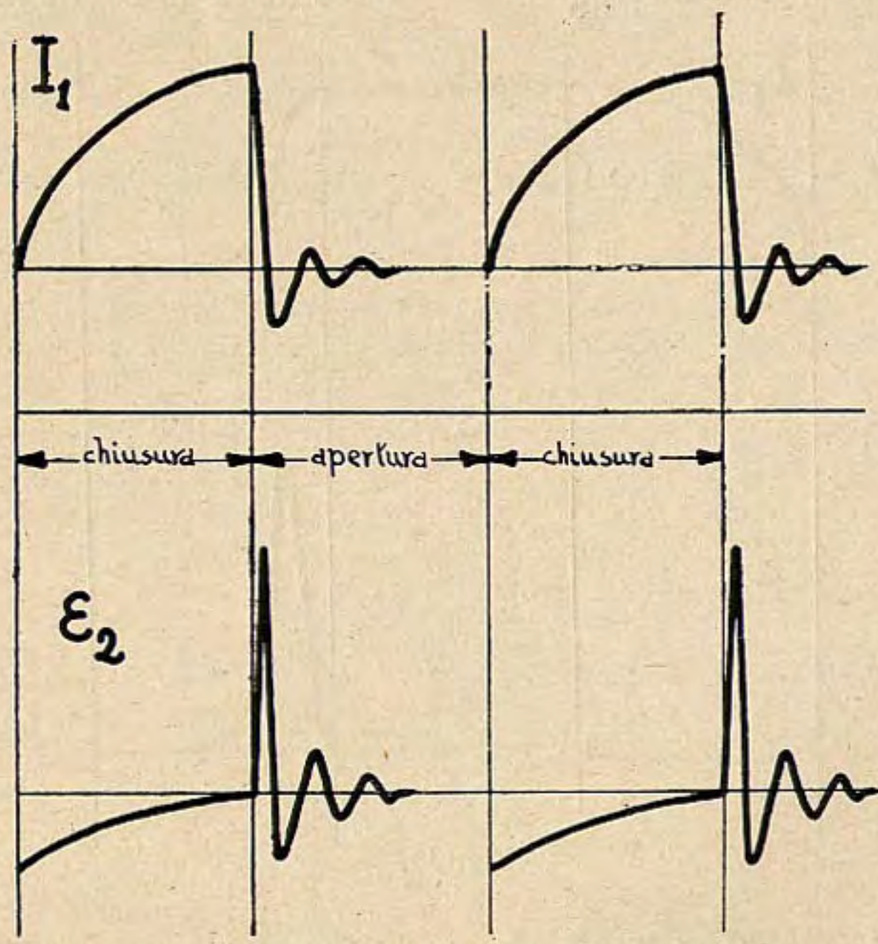


Fig. 41.

Nei casi pratici, il termine R^2 è trascurabile a confronto di $\frac{L}{C}$ e quindi si può concludere che i rapporti

sopra scritti sono molto piccoli, per cui si avranno dei valori molto alti nelle tensioni durante il periodo dell'apertura del circuito primario.

La figura 41 riproduce l'andamento della I_1 e della E_2 nei due periodi ora studiati.

La f. e. m. indotta nel secondario, dovrebbe teoricamente essere alternata, ma in realtà le onde indotte,

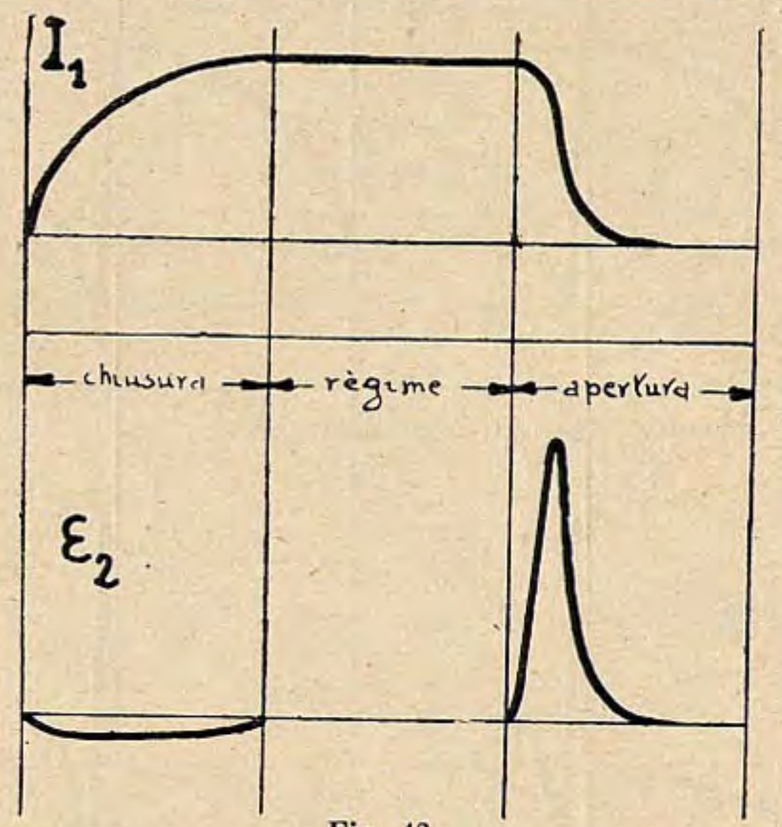


Fig. 42.

specie quando i due estremi dell'avvolgimento sono un poco distanti l'uno dall'altro, hanno ugual senso.

Questo si spiega col fatto che un comune interruttore meccanico può dare da 30 a 50 chiusure ed aperture al minuto secondo, e perciò ne risulta un periodo pari a $1/30 \div 1/50$ di secondo.

In tale periodo però, non si ha continua variazione di flusso, bensì fra due inversioni successive intercede un tempo non trascurabile, così per esempio se l'apertura avviene in 1/10000 di secondo si può avere un conseguente periodo di reazione di $3/100 \div \frac{1,8}{100}$ di secondo.

Il diagramma sarà perciò come quello rappresentato nella figura 42, dato che come venne spiegato l'apertura avviene istantaneamente o quasi, e perciò è solamente la f. e. m. indotta durante questa fase che è capace di vincere lo spessore d'aria interposto fra gli estremi secondari.

In altre parole, trattandosi di un circuito molto induttivo, alla chiusura la corrente raggiunge molto lentamente il suo valore normale, e lo stesso avviene per il flusso e la f. e. m. indotta, mentre all'apertura la corrente si annulla prestissimo intervenendo anche la resistenza dell' intervallo d'aria, e quindi la f. e. m. secondaria è altissima.

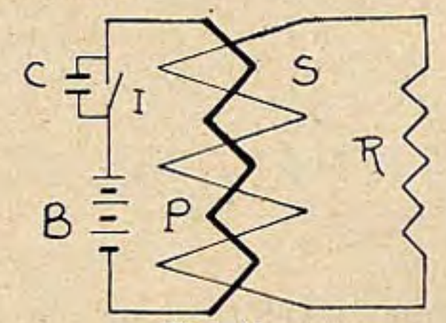


Fig. 43.

19. — *Schema con resistenza grandissima al secondario.*

È il caso degli apparecchi medicali, e risponde allo schema riprodotto in figura 43 nel quale cioè gli estremi dell' avvolgimento secondario sono chiusi sopra una grande resistenza ohmica.

In questo caso il periodo di stabilizzazione della corrente è analogo a quello trattato precedentemente, e quando avviene la rottura si fanno delle ipotesi più o meno rispondenti al vero non potendo mettere in equazione quello che realmente si produce.

Supponiamo che il primario sia aperto e che durante un tempo piccolissimo $\delta\ t$ sia avvenuta la variazione del flusso concatenato col secondario. Durante questo tempo $\delta\ t$ agirà nell'avvolgimento secondario una f. e. m. di valore:

$$-\ M\ \frac{I_1}{\delta\ t}$$

e siccome ci troviamo nelle condizioni volute dal paragrafo 12, quando cioè una f. e. m. e agisce sopra un circuito d'induttanza l e resistenza r, la corrente i in ciascun tempo t dopo che detta f. e. m. ha incominciato a nascere nel circuito sarà data dall'espressione:

$$i = \frac{e}{r}\left(1 - e^{\frac{-r}{l}t}\right)$$

ossia:

$$i = -\ \frac{M\ I_1}{\delta\ t\ r}\left(1 - e^{-\frac{r}{l}\ t}\right)$$

Questo è dunque il valore della corrente indotta in ciascun istante durante l'apertura del circuito, e sviluppando in serie, si avrà:

$$i = -\frac{M}{l} I_1 + \frac{M}{l^2}\frac{r\,\delta\,t}{1\times 2} - \frac{M}{l^3}\frac{r^2\,\delta\,t^2}{1\times 2\times 3} \ldots\ldots$$

e supponendo che la rottura del circuito primario avvenga in un tempo brevissimo tanto da porre $\delta\ t = 0$, si potrà scrivere:

$$i = -\ \frac{M}{l}\ I_1$$

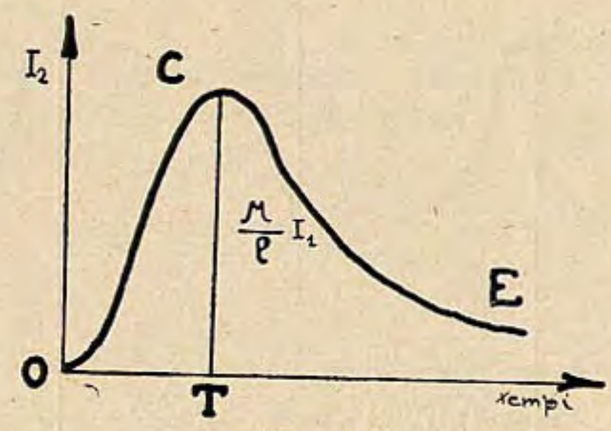


Fig. 44.

Dopo la rottura, la corrente secondaria dovrà naturalmente decrescere, e siccome in tal caso la legge di Ohm ci permette di scrivere:

$$l\ \frac{d\ i}{d\ t} + r\ i = 0$$

avremo subito (vedi paragrafo 12):

$$i = \frac{M}{l}\ I_1\ e^{-\ \frac{r}{l}t}$$

e quest'equazione ci dà il valore della corrente nel secondario in ogni istante dopo l'apertura del primario.

Graficamente, quanto abbiamo detto può essere rappresentato come in figura 44. Durante il tempo OT nel

quale è stata effettuata l' apertura del primario, la corrente indotta segue la curva ascendente OC finchè — esaurito il tempuscolo $\delta t = OT$ — si raggiunge il valore massimo segnato in figura. Naturalmente se il

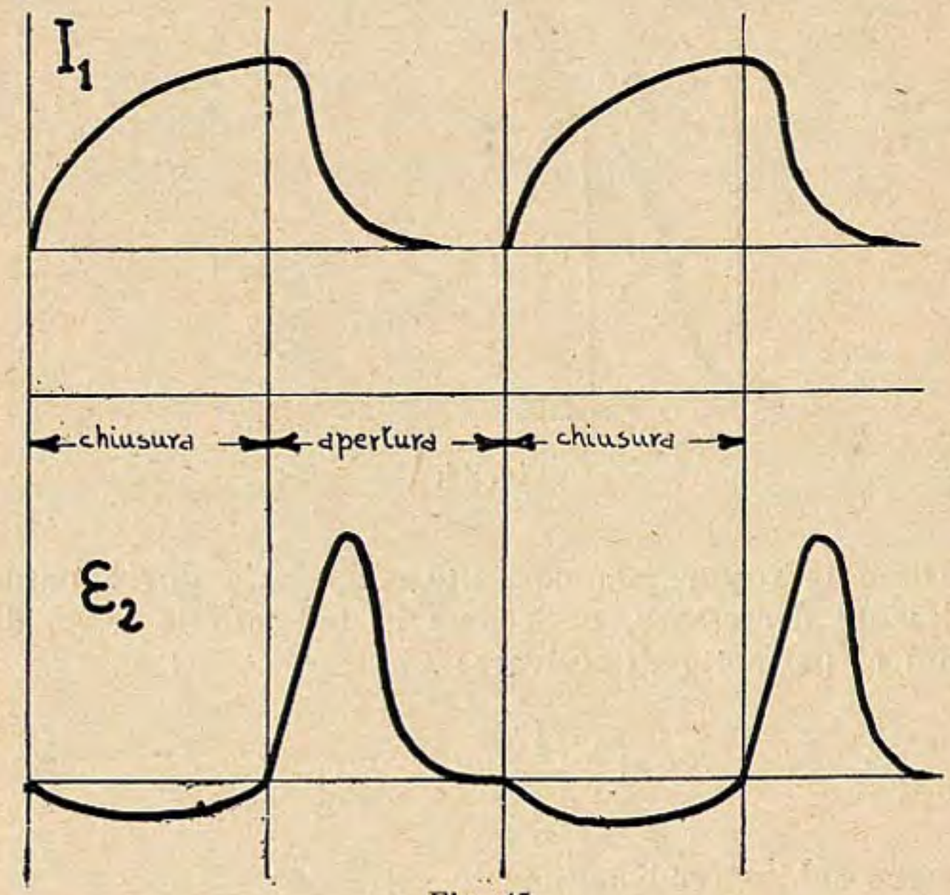


Fig. 45.

tratto OT è molto grande, la massima ordinata avrà un valore inferiore a quello massimo.

Dopo l'apertura del primario, la corrente decrescerà secondo la linea CE e va a zero dopo un tempo teoricamente infinito.

L' andamento della f. e. m. indotta sarà indubbiamente analogo.

Il diagramma 45 dà gli andamenti relativi ad I_1 ed E_2 durante il periodo completo per questo schema di funzionamento.

20. — *Funzionamento del rocchetto con interruttori elettrolitici.*

Quando si immergono due elettrodi di dimensioni molto disuguali in uno stesso elettrolito e si stabilisce

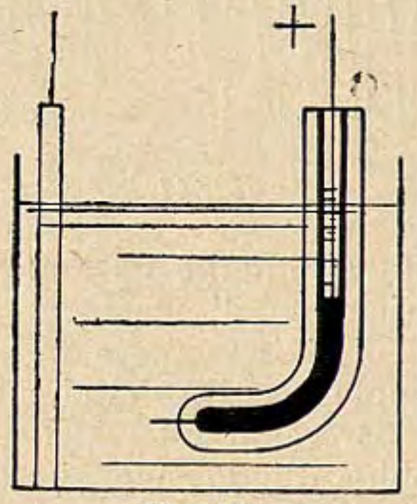


Fig. 46.

fra di essi una differenza di potenziale maggiore della f. e. m. di polarizzazione, l'elettrodo più piccolo diventa sede di fenomeni termici e luminosi.

Per la prima volta questi fenomeni vennero segnalati dal Davy, ed in seguito furono studiati da Planté, Braun, Hoho e principalmente da Violle e Chassagny, che rilevarono come una corrente intermittente passasse attraverso il circuito.

Tale fenomeno venne sfruttato dal Wehnelt pel suo interruttore mediante una ingegnosa e semplicissima disposizione. L'apparecchio originario consisteva infatti

(fig. 46) in un vaso di vetro contenente acqua acidulata con acido solforico (densità 1,16 ÷ 1,20) ed in due elettrodi di cui uno costituito da una lamina di piombo (catodo) e l'altro formato da un tubetto ricurvo di vetro avente un filo di platino saldato in modo da sporgere sia

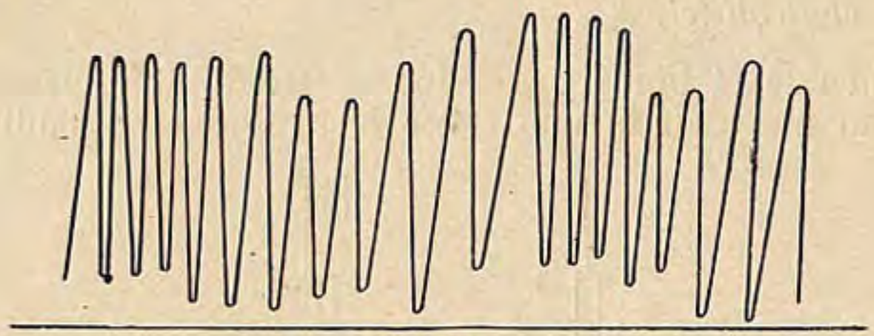


Fig. 47.

all'esterno quanto all'interno da detto tubo. La cavità di esso veniva riempita di mercurio fino ad un dato livello, e dentro ci si immergeva un filo di rame pel collegamento al polo positivo del circuito.

Con questo apparecchio intercalato sul circuito primario di una bobina d'induzione, si ottennero dei risultati soddisfacenti, come per esempio quello di avere

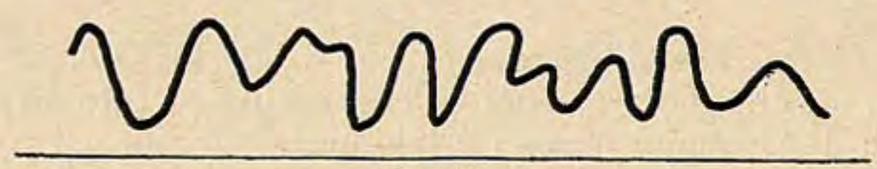


Fig. 48.

delle scintille di 7 cm. sotto forma di flusso luminoso quasi continuo da un rocchetto che normalmente dava scintille di 3 cm. di lunghezza. Questo con una corrente di 3 ampere e 80 volt.

La frequenza delle interruzioni dipende dal valore della differenza di potenziale esistente fra i due elettrodi, e per una tensione di un centinaio di volt si può contare sopra circa 1500 interruzioni al secondo.

La rottura avviene in modo molto brusco, tanto che è inutile inserire il condensatore, anzi la differenza fra gli interruttori elettrici e quelli meccanici è precisamente questa: quando la corrente primaria si annulla, nei primi l'energia va istantaneamente a zero perchè non vi è capacità primaria per immagazzinarne, mentre nei secondi questo non può avvenire come si è visto.

Questo interruttore è suscettibile di una regolazione quanto mai semplice, bastando aumentare la tensione per aumentare la frequenza, ed aumentare la superficie dell'anodo per aumentare l'intensità della corrente.

Le curve della corrente sono riprodotte nelle figure 47 e 48 e da esse si vede come il valore della corrente non si abbassi mai fino allo zero. La forma più o meno aguzza del diagramma dipende dal valore della resistenza che si intercala nel circuito, così nel caso della figura 48 la resistenza raggiunta è maggiore di quella agente nel caso della figura 47.

Il funzionamento dell'interruttore Wehnelt deve essere distinto in tre fasi a seconda della tensione usata, e cioè:

1) a bassa tensione e temperatura ambiente si produce l'elettrolisi del liquido;

2) con tensione maggiore della f. e. m. di polarizzazione del liquido si provocano le interruzioni del circuito;

3) oltre un certo valore della tensione non si verificano più interruzioni nel circuito, se non a patto di aumentare l'autoinduzione del circuito.

Interessanti esperienze con questo apparecchio vennero eseguite dal Le Roy variando la pressione dell'atmosfera gassosa sovrastante al liquido. Si trovò che sia una diminuzione quanto un aumento di pressione provo-

cavano l'arresto delle interruzioni di corrente, e venne spiegato tal fatto col dire che nel primo caso vengono impediti i fenomeni dovuti al riscaldamento, mentre nel secondo i gas elettrolitici s'accumulano sull'anodo.

Un'ottima modificazione di questo interruttore è stata studiata dal Simon e dal Caldwell quasi contemporaneamente dando una disposizione simmetrica al complesso

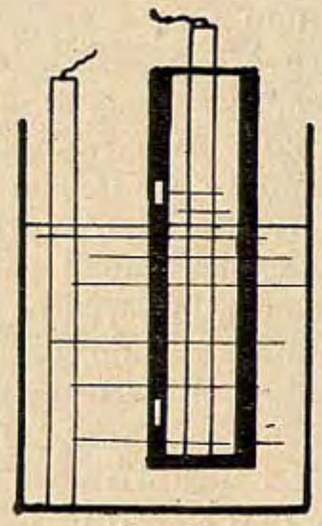


Fig. 49.

per modo di avere i due elettrodi presso a poco delle stesse dimensioni. La disposizione seguita è quella rappresentata nella figura 49, e si vede che uno degli elettrodi è messo in un vaso collocato internamente al primo e con esso comunicante attraverso un forellino inferiore. Per uno strano fenomeno, nell' interno del vaso piccolo, il liquido sale durante il funzionamento dell'apparecchio, quindi si deve provvedere la parete del tubo di un secondo foro per lo scarico del liquido

La teoria sul funzionamento degli interruttori elettrolitici al servizio delle bobine d' induzione, è ancora dibattuta ed oscura. Esperienze accuratamente condotte

hanno permesso di ammettere che fra l'anodo ed il liquido esiste una resistenza talora notevole, ma la sua natura non è peraltro conosciuta, e si ammette che possa essere espressa dalla relazione:

$$f\left(\frac{I\ t\ \Theta}{S}\right)$$

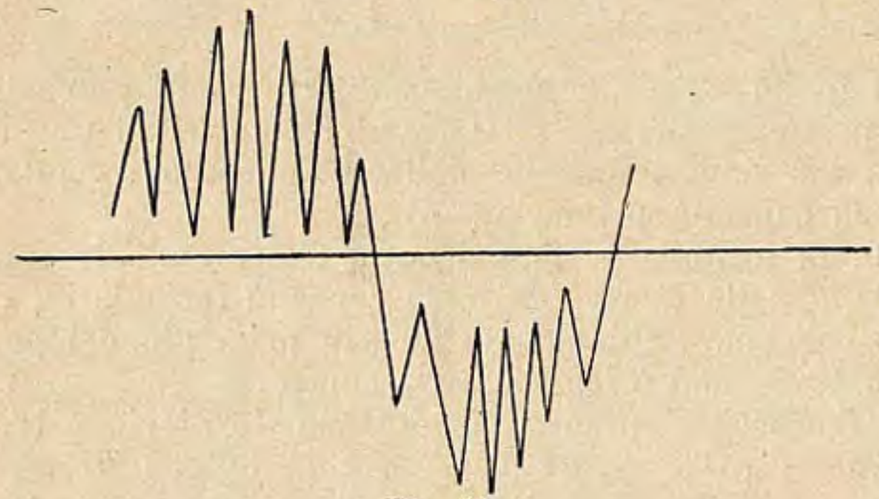


Fig. 50.

in cui I è l'intensità della corrente, S la superficie dell'elettrodo, Θ la temperatura del bagno e t il tempo di durata dell'interruzione.

L'interruttore Wehnelt è stato anche usato per correnti alternate, ma in questo caso le intensità di corrente che lo attraversano sono molto basse specie nella fase negativa, e la figura 50 fa chiaramente vedere la differenza fra le due fasi nelle variazioni di corrente.

Di più può facilmente accadere che il platino fonda quando viene usato come catodo, ma per questo inconveniente si è potuto studiare la modificazione che vedremo in seguito.

Usando l'interruttore Simon colla corrente alternata, non si hanno anomalie durante il funzionamento.

21. — *Capacità secondaria.*

Riprendiamo un momento a considerare la formula di Walter (vedi paragrafo 18):

$$\Sigma_2'' = I_0 \sqrt{\frac{l}{C}}$$

nella quale Σ_2'' è la massima differenza di potenziale che può ottenersi fra gli estremi secondari di una bobina, l è l'autoinduzione dell'avvolgimento secondario e C la capacità primaria.

Questa formula è stata dedotta trascurando lo smorzamento delle oscillazioni e la capacità secondaria, che però — come abbiamo avvisato in principio del paragrafo 18 — non è legittimo trascurare.

L'Oberneck si preoccupò giustamente di ciò e trovò un valore di 5×10^{-4} μf per una bobina di medie dimensioni, valore però che Walter trovò esagerato, e dimostrò infatti ch'era troppo discosto dai valori reali.

Per convincersi di queste idee, Walter collegò gli estremi del secondario della sua bobina alle armature di un condensatore della capacità di $1,4 \times 10^{-4}$ μf, e constatò una diminuzione della scintilla dalla lunghezza di 20 cm. a 9,6 cm. Già una capacità di $9,9 \times 10^{-6}$ μf riduceva tale lunghezza a 18,7 cm. Questi risultati lo convinsero che se realmente il secondario avesse avuto una capacità dell'ordine di quella enunciata dall'Oberneck, non si avrebbero avuto delle simili influenze con condensatori così piccoli introdotti in circuito.

Per osservare più da vicino la capacità secondaria, Walter pensò di misurare le oscillazioni risultanti da essa capacità medesima e dall'autoinduzione del secondario, indipendentemente dalle oscillazioni del primario, togliendo però a quest'ultimo il condensatore onde non essere condotto fuori strada dai risultati.

Questo esame venne condotto col tubo di Braun, e si trovò che la corrente nel secondario è oscillante, il che non potrebbe avvenire se la capacità fosse nulla.

Per confronto con le oscillazioni che si producevano nel sistema quando il condensatore primario era inserito, si dedusse che l'ampiezza delle oscillazioni proprie del secondario era circa la metà di quelle primarie, e quanto al periodo venne trovato di $2,70 \times 10^{-4}$ secondi per le oscillazioni secondarie e di $1,5 \times 10^{-4}$ per quelle primarie.

Siccome il valore di l è compreso fra 380 e 620 henry (media 500) si può dedurre che la capacità dell'avvolgimento secondario si aggira intorno ad $1,1 \times 10^{-6}$ μf, ossia circa 450 volte più piccola di quella trovata da Oberneck.

In un'altra bobina più grande della precedente (circa 60 cm. di scintilla) si trovò $T = 4,8 \times 10^{-4}$ ed essendo in media $l = 9000$ henry ne venne $C = 6,5 \times 10^{-6}$, valore di molto inferiore a quello di Oberneck.

Praticamente, secondo le risultanze di Walter, si hanno i migliori risultati ottenendo la risonanza fra i due circuiti primario e secondario per quanto riguarda le grandi bobine, mentre per le bobine medie e specialmente piccole il periodo del primario deve essere più lungo di quello secondario. Sembra dunque che i due sistemi riposino sopra diversi concetti costruttivi, ma non è così, poichè questa apparente diversità proviene senza dubbio dall'isteresi del nucleo di ferro, isteresi che è molto più sensibile nelle piccole bobine che non in quelle grandi.

Si può quindi concludere che ci sarà vantaggio nella costruzione delle grandi bobine a diminuire quanto più sarà possibile il valore della capacità secondaria mediante un'accurata scelta del sistema di avvolgimento e

del materiale isolante, e si potrà in tal modo ottenere di accelerare la variazione del campo magnetico usando un nucleo che presenti grande permeabilità e debole isteresi.

22. — *Il condensatore al primario.*

Il condensatore che secondo le indicazioni di Foucault si deriva fra i due punti dell'interruttore meccanico fra i quali avviene la rottura del circuito primario, permette di aumentare in modo considerevole il rendimento di una bobina d'induzione.

La funzione del condensatore non è conosciuta completamente ed esattamente, e l'opinione accettata dai più è quella che l'estracorrente primaria, anzichè passare attraverso l'intervallo d'aria dell'interruttore e provocare la scintilla, preferisca andare nel condensatore affrettando in tal modo la diminuzione della corrente primaria e di conseguenza aumentando la tensione indotta al secondario.

Dato poi che durante l'interruzione dell'avvolgimento primario il condensatore continua ad essere caricato, si pensa che ad un certo punto esso si scarichi sul circuito medesimo di modo che la f. e. m. indotta nel secondario è dovuta in primo luogo alla subitanea interruzione del circuito primario e conseguente repentina caduta dell'intensità della corrente, ed in secondo luogo ad un immediato cambiamento di senso di essa corrente medesima.

Il Mizuno si propose di studiare a fondo la questione, onde mettere in chiaro, se non teoricamente, almeno praticamente la funzione del condensatore.

Egli usò una bobina della lunghezza di 21 cm. funzionante con interruttore a mercurio, alla quale tolse

il condensatore ordinario sostituendolo con un altro a capacità variabile onde poter misurare l'effetto che la variazione della capacità primaria provoca sulla lunghezza della scintilla secondaria.

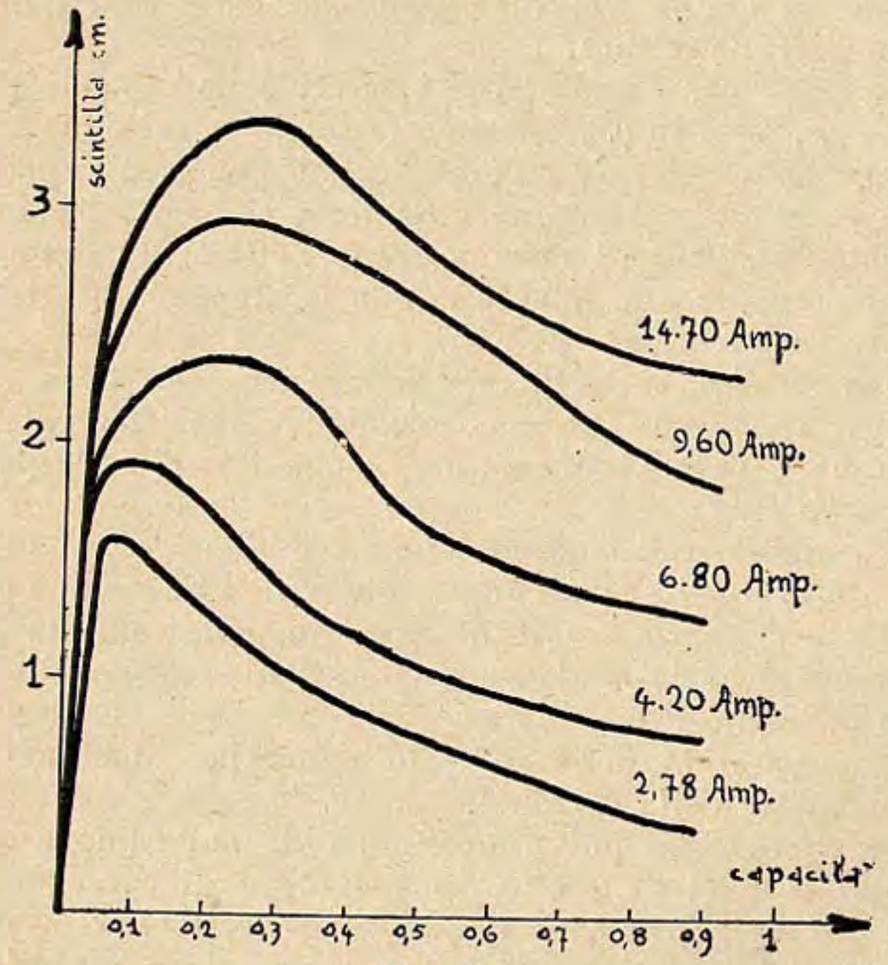


Fig. 51.

La corrente primaria era fornita da una batteria di 9 accumulatori, ed un reostato permetteva di variarne l'intensità, il cui valore veniva misurato per mezzo di un galvanometro di lord Kelvin collegato in serie nel circuito.

La lunghezza della scintilla era misurata fra punta e disco, e siccome tale lunghezza dipende molto dallo stato della superficie dei conduttori fra i quali scocca la scintilla medesima — e segnatamente dallo stato della punta — questa veniva pulita con carta smerigliata dopo ciascuna misura.

Portando ora come ascisse i valori delle capacità primarie espresse in μf, e come ordinate le massime lunghezze delle scintille secondarie che con esse capacità e con costante corrente si ottennero, si hanno le curve segnate in figura 51 che mostrano nettamente il modo con cui queste due quantità sono legate per uno stesso valore della corrente primaria.

Una seconda serie di esperienze, eseguite sopra una bobina lunga cm. 21,5 e funzionante con interruttore a molla e contatti di platino, diede i risultati esposti in figura 52.

Osservando bene queste due serie di curve, si comprende che — per un dato valore dell'intensità della corrente primaria — esiste un valore delle capacità per la quale si ha la massima lunghezza di scintilla ai capi dell'avvolgimento secondario. Si vede pure che questo valore *optimum* della capacità primaria aumenta coll'aumentare della corrente.

Le curve sono poi piuttosto ripide nel ramo ascendente; e dolci in quello discendente e di conseguenza l'effetto della capacità è quello di accrescere la lunghezza della scintilla fino a che il suo valore è inferiore a quello che corrisponde alla capacità massima.

Se in una bobina si colloca un condensatore di grande capacità, si può facilmente ottenere l'effetto opposto a quello che si desidera, e quindi viene spontanea la domanda: qual'è la capacità da usare in una data bobina?

Direttamente non è possibile dare una risposta precisa perchè il calcolo non ci aiuta, però si può dire

che conoscendo ora qualche cosa di più grazie a questi risultati delle esperienze di Mizuno, è facile scegliere un conveniente punto di partenza e per tentativi giungere a ricavare il valore *optimum* della capacità.

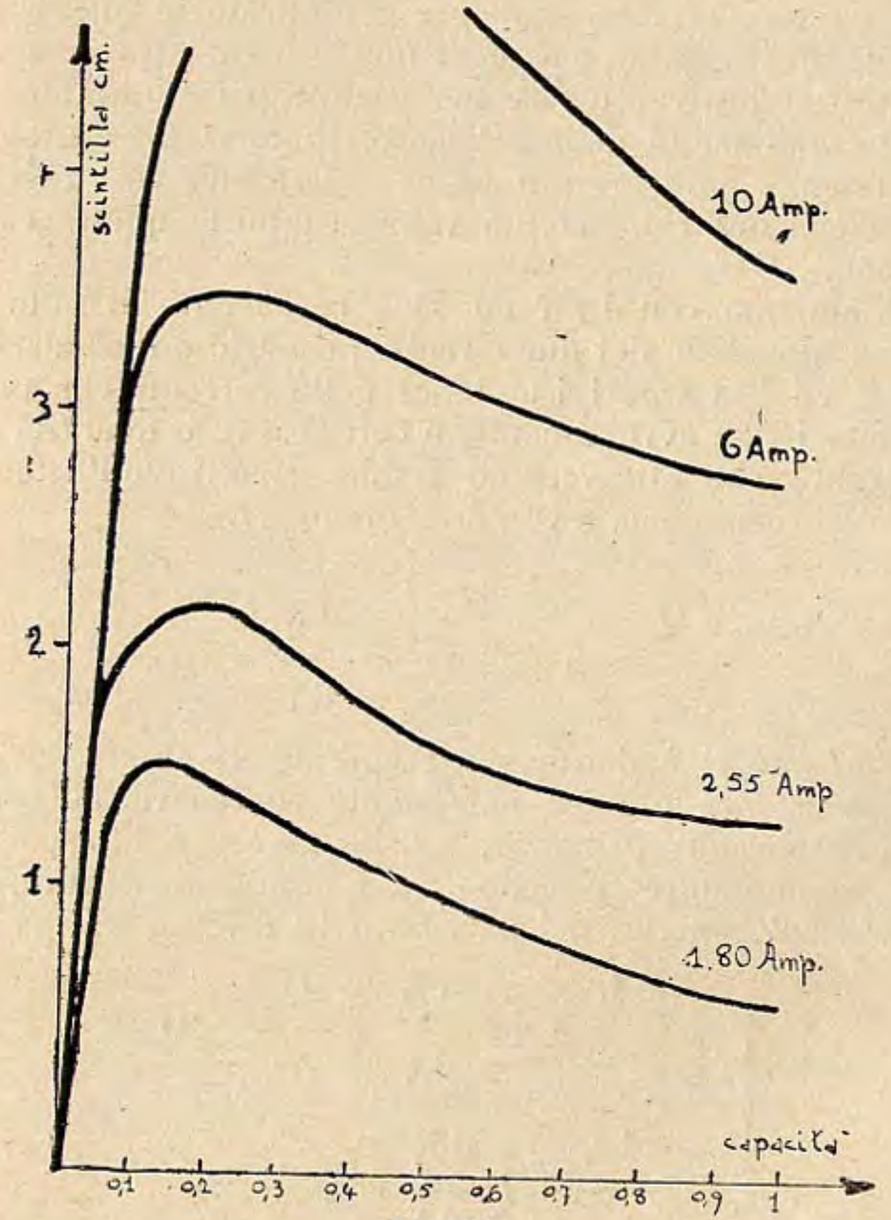


Fig. 52.

Un soddisfacente esame teorico della funzione del condensatore intercalato fra i punti di rottura del circuito primario di un rocchetto di Ruhmkorff venne dato da lord Rayleigh.

Manifestamente un esame completo dell' azione del condensatore sarebbe stato più complicato di quello riguardante il semplice caso di una scarica attraverso un circuito induttivo, e siccome d'altra parte durante le prime oscillazioni della scarica oscillatoria la resistenza del circuito può sempre essere trascurata, così nell'analisi che ora riporteremo venne supposta questa condizione.

Chiamiamo con L, l ed M i coefficienti di auto e mutua induzione dei due circuiti primario e secondario, con i_1 ed i_2 i valori istantanei delle correnti che percorrono i due avvolgimenti, e con Q e q le quantità di elettricità che attraversano i due circuiti nell' istante in cui si incomincia a contare il tempo t.

Sarà quindi:

$$\frac{dQ}{dt} = i_1 \qquad e \qquad \frac{dq}{dt} = i_2$$

Se, come si è detto, si trascurano gli effetti dovuti alla resistenza ohmica nell'istante successivo all'apertura del circuito primario, e si indica con C la capacità del condensatore inserito fra i punti di rottura, le espressioni generali del paragrafo 18 diventano:

$$\begin{cases} L\frac{di_1}{dt} + M\frac{di_2}{dt} + \frac{Q}{C} = 0 \\ M\frac{di_1}{dt} + l\frac{di_2}{dt} = 0 \end{cases}$$

È facile eliminare i_2 da questo sistema di equazioni, ottenendo:

$$\frac{di_2}{dt} = -\frac{M}{l}\frac{di_1}{dt}$$

$$\left(L - \frac{M^2}{l}\right)\frac{di_1}{dt} + \frac{Q}{C} = 0$$

Ricordando che:

$$\frac{dQ}{dt} = i_1$$

sarà:

$$\frac{d^2Q}{dt^2} = -\frac{di_1}{dt}$$

e quindi l'equazione precedente diventerà:

$$\left(L - \frac{M^2}{l}\right)\frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{Q}{C} = 0$$

che ha il vantaggio sulla precedente di riferirsi unicamente a Q.

Questa è l'espressione delle oscillazioni della corrente primaria, e per convincersi basta considerare l'equazione:

$$y = X \operatorname{sen} \omega t$$

che evidentemente si riferisce ad una sinussoide di frequenza:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

La derivata prima sarà:

$$\frac{d\,y}{d\,t} = \omega\, X \text{ sen } p\,t$$

e la derivata seconda:

$$\frac{d^2\,y}{d\,t^2} = -\,\omega^2\, X \text{ sen } p\,t$$

Si può scrivere inoltre:

$$\frac{d^2\,y}{d\,t^2} + \omega^2\, y = 0$$

e constatare che quest'espressione è simile a quella del caso nostro.

Si deduce quindi che una delle sue soluzioni è:

$$y = X \text{ sen } \omega\, t$$

e ciò convince del nostro asserto circa la natura oscillatoria della corrente primaria dopo la rottura del circuito.

Per paragonare le due equazioni, dobbiamo evidentemente porre:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C\left(L - \frac{M^2}{l}\right)}}$$

e quindi il periodo delle oscillazioni primarie avrà l'espressione:

$$T = 2\,\pi \sqrt{C - \left(L - \frac{M^2}{l}\right)}$$

solamente però — giova ripeterlo — durante i primi istanti dopo la rottura del circuito.

L'equazione già vista:

$$M\frac{d\,i_1}{d\,t} + l\frac{d\,i_2}{d\,t} = 0$$

integrata, dà:

$$M\,i_1 + l\,i_2 = \text{costante}$$

il che dimostra che le correnti primaria e secondaria oscillano in perfetto sincronismo, ed i valori massimi dell'una coincidono coi valori minimi dell'altra.

Se in un certo istante la corrente secondaria va a zero — e ciò avverrà nel momento dell'apertura del circuito — in quell'istante la corrente primaria avrà il suo valore massimo I_1 e perciò la corrente della precedente espressione avrà il valore MI_1.

L'espressione precedente diventerà quindi:

$$i_2 = \frac{M}{l}\left(I_1 - i_1\right)$$

così che — quando dopo mezza oscillazione si avrà i_1 uguale a $-I_1$ — la corrente i_2 raggiungerà il suo valore massimo:

$$I_2 = 2\,\frac{M}{l}\,I_1$$

Confrontando questo risultato con quello del paragrafo 19 si vede che quando il condensatore non è inse-

rito, attraverso il punto di rottura il valore iniziale della corrente secondaria indotta è:

$$I_2 = \frac{M}{l} I_1$$

mentre quando si inserisce il condensatore, come prima si è detto, la corrente secondaria indotta raggiunge il valore doppio.

Il condensatore favorisce lo stabilirsi delle oscillazioni e di più — siccome funziona come un circuito con autoinduzione negativa — nel momento dell' apertura del primario non dissipa energia in calore come se si trattasse di un conduttore qualsiasi, bensì l' accumula per rimandarla di nuovo, ma invertita, ad incrementare la corrente secondaria indotta nel breve intervallo successivo a quello della rottura.

Siccome la *distanza esplosiva* di un rocchetto di Ruhmkorff dipende dalla f. e. m. secondaria indotta, ne viene di conseguenza che l' aggiunta del condensatore al primario permette di ottenere effetti migliori.

Capitolo V.

CENNI PRATICI SULLA COSTRUZIONE DEL ROCCHETTO DI RUHMKORFF

Accenniamo brevemente alla parte costruttiva degli organi costituenti un rocchetto di Ruhmkorff.

23. — *Nucleo.*

Per le ragioni spiegate, non si costruisce il nucleo di un rocchetto con un tondino di ferro perchè troppo forte sarebbero in tal caso le perdite per isteresi e per correnti parassite.

Il nucleo viene invece formato con tanti fili di ferro ricotto (del diametro di circa 1 mm.) bene isolati fra di loro mediante abbondante verniciatura di gomma lacca. Questi fili devono essere ben diritti ed egualmente lunghi, poichè il buon rendimento di una bobina dipende molto anche dalla disposizione della sezione retta del nucleo. Quando poi i fili si riuniscono fra di loro per formare il nucleo di forma cilindrica, devono formare un tutto compatto e ben isolato.

Qualità essenziale del nucleo è quella di smagnetizzarsi completamente al cessare del passaggio della corrente. Un nucleo che non abbia questo requisito importantissimo, si può ritenere inservibile. Negli stabilimenti

specializzati in queste costruzioni, il nucleo dei rocchetti viene costruito con lamine di ferro silicio (che ha la proprietà di mantenere pochissimo magnetismo residuo), isolate le une dalle altre da sottili fogli di carta isolante e impacchettate con bulloni di rame che lo attraversano in tutto il suo spessore e vengono poi ribaditi dall'altra parte.

Per ricuocere il ferro del commercio, si deve farlo arroventare parecchie volte mettendolo in mezzo a del carbone di legna acceso, e lasciarlo raffreddare il più lentamente possibile ricoprendolo con cenere calda. Quando si fanno ricuocere i fili, si conosce se hanno subìto una sufficiente ricottura, piegandoli e osservando se oppongono pochissima resistenza.

Abbiamo insistito nella prima parte delle presenti nozioni su quello che riguardava il ferro, per far ben comprendere quale importanza abbia nella costruzione dei rocchetti di Ruhmkorff la qualità del ferro che si impiega, e abbiamo pure visto come basti una piccola quantità di magnetismo residuo per orginare l'isteresi e quindi rendere inservibile un rocchetto ben costruito in tutte le altre sue parti.

24. — *Avvolgimento primario.*

L'avvolgimento primario deve essere attraversato dalla corrente di alimentazione (pile, accumulatori, o corrente stradale).

È formato — come abbiamo già detto — da filo piuttosto grosso avvolto in più strati sul nucleo. I diametri impiegati dipendono dalla intensità della corrente disponibile, di solito variano fra 1 e 3 mm. Anche il numero degli strati è variabile da 2 a 4, di solito però, nei grandi rocchetti se ne avvolgono due, ma non si

uniscono in serie in modo d'avere due unici capi liberi, si lasciano fuori bensì tutti e quattro i capi del filo che forma i due strati e si uniscono a quattro serrafili fissati a due a due alle estremità del nucleo. Si vede quindi come si possa variare a piacimento resistenza, intensità ed autoinduzione in un medesimo rocchetto,

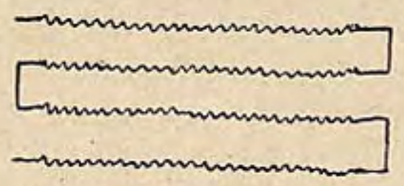


Fig. 53.

soltanto cambiando il modo di collegamento fra di loro di due strati. Infatti: quando la corrente passa attraverso ad un solo strato si ha una debole autoinduzione e una resistenza che dipende dalla lunghezza del filo e dal suo diametro. La scintilla che si ottiene in tal caso ai capi del secondario ha la massima lunghezza, ma è sottilissima; quasi filiforme. Quando la corrente passa

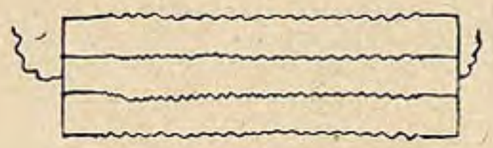


Fig. 54.

per i due strati riuniti in serie, la resistenza diventa doppia di quella del caso precedente e l'autoinduzione all'incirca si raddoppia. La scintilla in questo caso ha la minima lunghezza, ma la massima grossezza ed intensità luminosa. Finalmente, quando i due strati sono collegati in parallelo, l'autoinduzione è uguale a quella del primo caso, però la resistenza diventa la metà di quella

del secondo caso. La scintilla che si ottiene ha carattere intermedio, tanto per lunghezza quanto per intensità luminosa.

Supponiamo d'avere un primario composto di 4 strati di filo. La figura 53 ci rappresenta la disposizione in serie, la figura 54 quella in parallelo e la figura 55 quella mista, formata cioè dalla riunione in serie di due strati in parallelo.

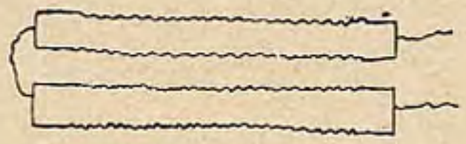


Fig. 55.

All'esterno della bobina i contatti si presentano come nella figura 56 (*a*) in cui si vedono 8 dadi metallici che comunicano cogli otto capi dei quattro strati. In *b* si ha il collegamento in parallelo riunendo, mediante apposite lastrine di ottone forate, i blocchetti superiori fra di loro e quelli inferiori pure fra di loro. In *c* abbiamo il collegamento in serie, cioè la fine di uno



Fig. 56.

strato col principio dell'altro, coll'immissione della corrente nei due contatti liberi. Finalmente in *d* abbiamo il collegamento misto, che unisce in parallelo il primo

strato col secondo ed il terzo col quarto, ed in serie i due sistemi così formati.

25. — *Avvolgimento secondario.*

L' avvolgimento secondario è la parte più delicata e difficile di un rocchetto di Ruhmkorff. È formato da moltissimi giri di filo sottilissimo di diametro variabile fra 1/10 e 2/10 di mm., isolati di solito con un solo strato di seta. Queste spire sono ripartite in un certo numero di strati, separati uno dall'altro da più giri di carta isolante e resistente, avvolta allo scopo di evitare che qualche scintilla scoccando fra uno strato e l'altro, bruci un pezzo di filo, rendendo così fuori uso tutto l'avvolgimento secondario.

Lo spessore isolante che si deve mettere fra strato e strato, varia a seconda della potenza del rocchetto, e conseguentemente secondo la f. e. m. indotta in ciascuna spira secondaria. Le spire devono essere ben serrate in modo da non lasciare spazi liberi che, se non dannosi, sarebbero inutili, poichè lasciano inutilizzato dello spazio. Quando il filo si rompe, non basta attorcigliare i capi denudati, ma occorre saldare la giuntura a stagno. Per far questo, si fa fondere un poco di stagno su una lastra di rame ben pulita, e quando è fuso si aggiunge un pezzetto di stearina che fa da mordente (non bisogna mai adoperare acidi in queste saldature) e si immerge la giuntura nella miscela fusa. Lo stagno aderirà subito. Si dovrà badare di evitare le punte, sia originate dallo stagno che dai capi del filo, per evitare dispersioni di corrente inutili e dannose.

Per incominciare l'avvolgimento, si salda il capo del filo sottile ad un pezzetto di filo di rame di mezzo millimetro di diametro, lungo una quindicina di centimetri che si fa sporgere dal rocchetto, e quindi si fissa la

giuntura — mediante una goccia di ceralacca — sul tubo sul quale si eseguisce l'avvolgimento. Meglio è però procedere nel seguente modo: Si avvolge sul tubo un anello di rame di qualche decimo di millimetro di spessore, e largo qualche millimetro. Su un punto qualunque della periferia, si salda il capo dell'avvolgimento, e in un altro posto qualsiasi si salda un pezzo di filo di rame più grosso che esce all'esterno e che costituirà un capo dell'avvolgimento secondario.

Molti tipi di rocchetti hanno i due avvolgimenti costruiti sopra un unico rocchetto. Questa disposizione presenta notevoli inconvenienti, che possono benissimo essere eliminati nel modo che diremo poi. Prima di tutto il rocchetto così costruito non può sottostare a grandi sovraccarichi di corrente, perchè il calore che si sviluppa dal primario e dal nucleo rimane localizzato nella massa dell'apparecchio, il quale impiega così un tempo lunghissimo per raffreddarsi. Specialmente quando il secondario è molto lungo, si devono mettere fra strato e strato numerosi giri di carta isolante per evitare le scariche interne, quindi il diametro del rocchetto va aumentando molto, a scapito questo del filo avvolto, poichè noi sappiamo che la corrente indotta dipende dal numero delle spire avvolte e non dalla lunghezza del filo impiegato, cioè si ha tanta corrente indotta nelle spire del primo strato che possono avere uno sviluppo di 15 cm. quanto in quelle degli ultimi strati che possono raggiungere uno sviluppo di 60 cm.

Se poi, a causa di un sovraccarico di corrente, scocca una scintilla fra due strati successivi, il rocchetto è praticamente guasto, quindi bisogna svolgere tutto il secondario, per ripararlo, operazione che porta una perdita di tempo considerevole, sia nello svolgere il filo che nell'avvolgerlo nuovamente. Specialmente quest'ultima operazione, oltre che essere noiosa, è anche molto

difficile, poichè bisogna sorvegliare che le spire siano ben serrate e che non si accavallino, riparare le rotture che incidentalmente possono avvenire nel filo ecc.

Quindi, per questi ed altri minori inconvenienti, la tecnica moderna della costruzione dei rocchetti di Rhumkorff si è arricchita di molte nozioni essenzialmente pratiche, che permettono d'eliminare una buona parte dei succitati inconvenienti.

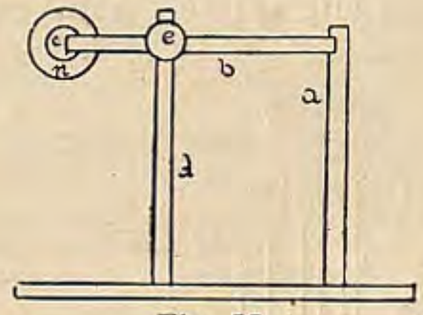


Fig. 57.

Si incomincia col costruire il primario ed il nucleo indipendente dal resto, in modo da poter essere messo all'aria dopo il funzionamento, assicurando così un buono ed abbastanza breve raffreddamento. Su questo primo avvolgimento si pone un tubo di materia isolante (vetro, ebanite, cartone paraffinato, ecc.) di spessore variabile a seconda della potenza del rocchetto; ma tale da impedire che una eventuale scintilla scocchi fra i due avvolgimenti.

Il secondario viene avvolto in molte matasse anzichè in una sola. Questa disposizione elimina in primo luogo le notevoli perdite di filo durante l'avvolgimento, poichè avendo gli strati una lunghezza di 4 o 5 centimetri, un giro o due al massimo di carta sono più che sufficienti per assicurare un ottimo isolamento fra i vari strati, di modo che il diametro massimo delle varie sezioni è relativamente piccolo e il rocchetto completo

comporta lo stesso numero di spire di quelli avvolti in una sola sezione.

Questa disposizione è vantaggiosa anche quando succede un guasto, poichè può essere facilmente localizzata la sezione che non funziona e si può così rifarla in poco tempo, data la poca quantità di filo che si impiega nell'avvolgimento. Le varie sezioni secondarie vengono infilate nel tubo isolante, e riunite in serie. I due capi estremi si uniscono allo spinterometro come si dirà poi.

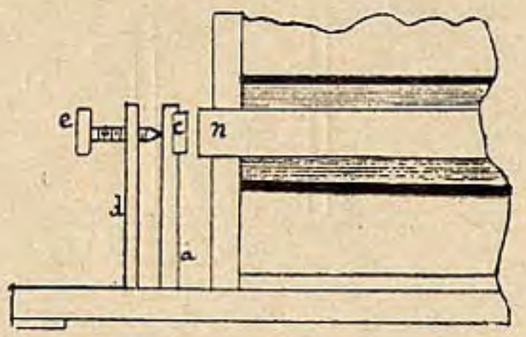


Fig. 58.

Per assicurare un maggior isolamento, si immergono, a costruzione finita, le varie sezioni in un bagno di paraffina appena tiepida, in modo da otturare completamente tutte le cavità. La carta isolante posta fra gli strati, e la copertura del filo avvolto si imbevono di paraffina, e gonfiandosi un poco, premono contro gli strati limitrofi formando così una massa unita e compatta.

26. — *Interruttore più usato: interruttore a molla.*

È rappresentato dalle figure 57, 58 e 59 nelle tre proiezioni.

Esso consta di una colonnina di ottone (*a*) che porta saldata — superiormente — una laminetta di acciaio

(*b*), all'estremità libera della quale è fissato un blocchetto cilindrico di ferro dolce (*c*).

La colonnina è fissata su una basetta di legno in modo che il blocchetto sia posto davanti al nucleo (*n*) della bobina, alla distanza di pochi millimetri da esso. Vi è poi un'altra colonnina (*d*) fissata sulla stessa base che superiormente porta una vite (*e*) che va a battere

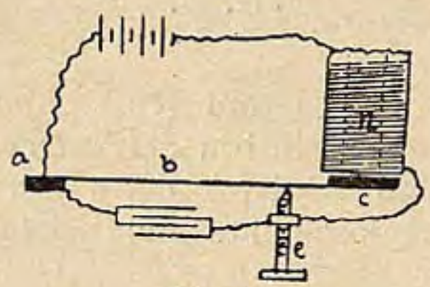


Fig. 59.

sulla lamina di acciaio (*b*). La figura 59 fa vedere chiaramente le connessioni. Quando si immette la corrente nel circuito, questa attraversa prontamente l' avvolgimento, la lamina *c* e la colonnina *d*. Allora il nucleo (*n*) si magnetizza, ed attirando a sè il blocchetto apre il circuito fra la lamina *b* e la vite *e*. Non passando quindi più corrente, si smagnetizza e lo rilascia. In virtù della molla elastica, nel ritorno viene chiuso ancora il circuito battendo sulla vite (*e*), quindi nuova attrazione da parte del nucleo, nuova repulsione e così via. La vite (*e*) vien fatta avanzare o retrocedere per regolare l'ampiezza delle vibrazioni della lamina.

L'estracorrente si manifesta con una viva scintilla fra la vite (*e*) e la lamina (*b*), quindi fra questi due punti viene inserito un condensatore come indica chiaramente la figura 59. Il condensatore in questione è formato da tante lamine di stagnola separate da fogli

di carta paraffinata un poco più larghi dei primi, e dalla riunione dei fogli di ordine dispari da una parte, e da quelli di ordine pari dall'altra (fig. 60).
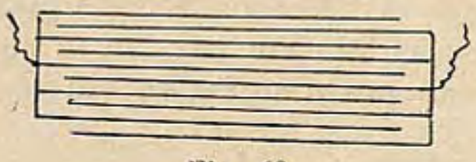


Fig. 60.

L' interruttore al platino (così chiamato perchè si suole far scoccare la scintilla dell'estracorrente tra due contatti di platino iridiato) detto anche a *martello*, può essere vantaggiosamente modificato come indica la figura 61.

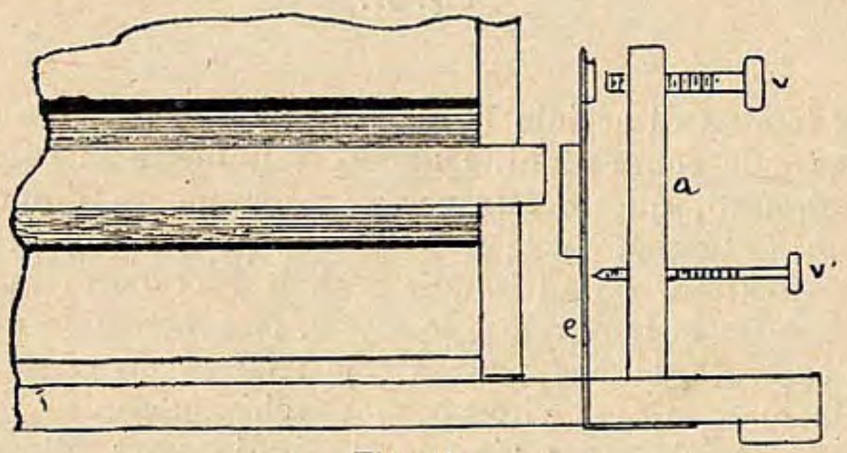


Fig. 61.

Una colonnina (*a*) di ottone porta due viti, una superiormente e l'altra a poco meno di metà altezza (*v* e *v'*). Quest'ultima termina con un pezzetto di platino (*b*) messo contro un altro contatto in platino portato da una lamina elastica (*e*) terminante in alto con un blocchetto (*b*) di ferro dolce. Tra questo e la vite superiore sta un pezzetto di cuoio od altra materia isolante che impedisce il contatto elettrico fra i due pezzi. Il funzionamento è simile all'interruttore precedentemente descritto, salvo avere il regolatore delle vibrazioni della lastrina nella vite *v*.

27. — *Interruttore Foucault.*

Venne già descritto ed illustrato a figura 37, ed in figura 62 ne diamo lo schema elettrico.

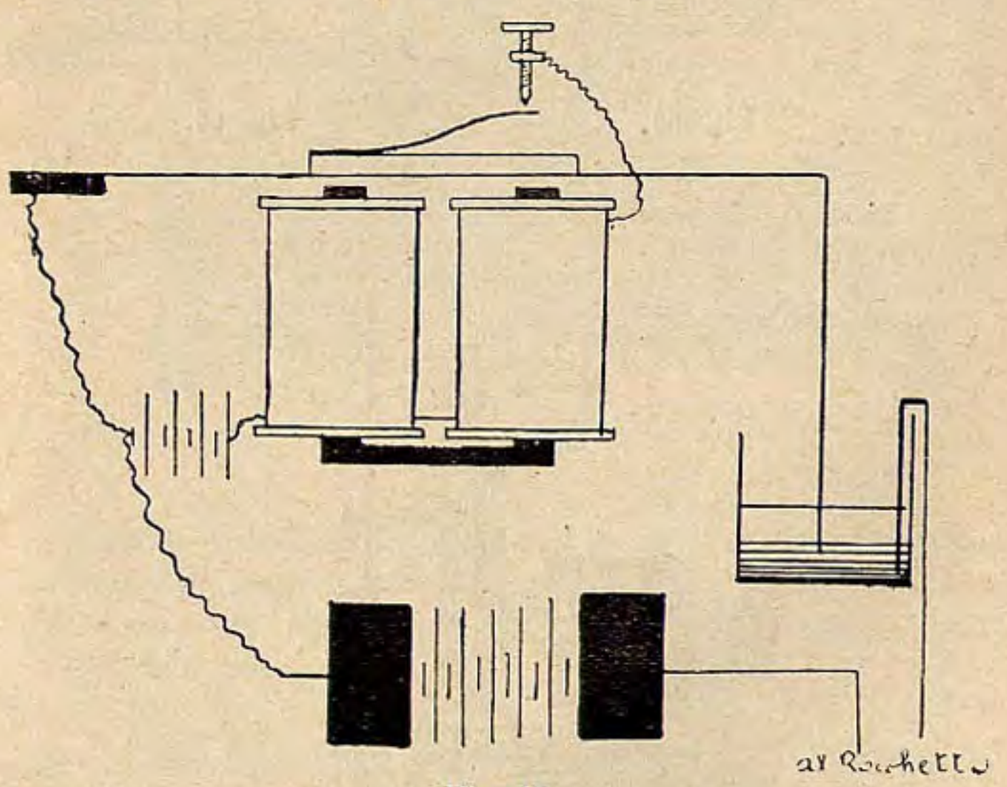


Fig. 62.

Una ingegnosa e più comoda variante di questo interruttore, è la sostituzione della elettrocalamita con un motorino elettrico, il quale aziona una manovella alla quale è unito il contatto di platino attraverso ad una biella (figg. 63 e 64).

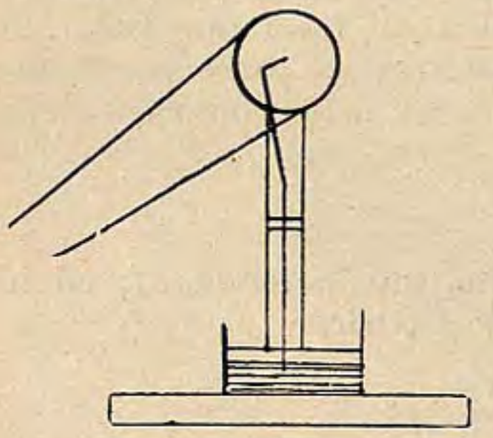


Fig. 63.

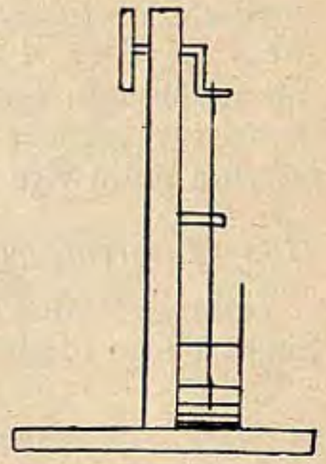


Fig. 64.

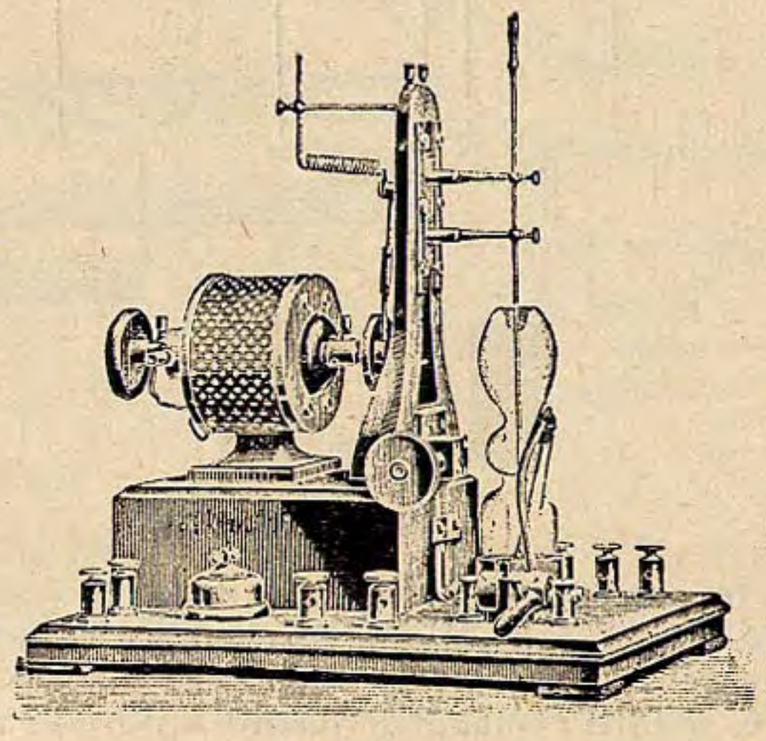


Fig. 65.

Il numero delle interruzioni può essere variato a piacimento manovrando un reostato opportunamente inserito nel circuito d'alimentazione del motorino.

La figura 65 illustra un apparecchio finito. Con un motorino unico si possono azionare due manovelle che

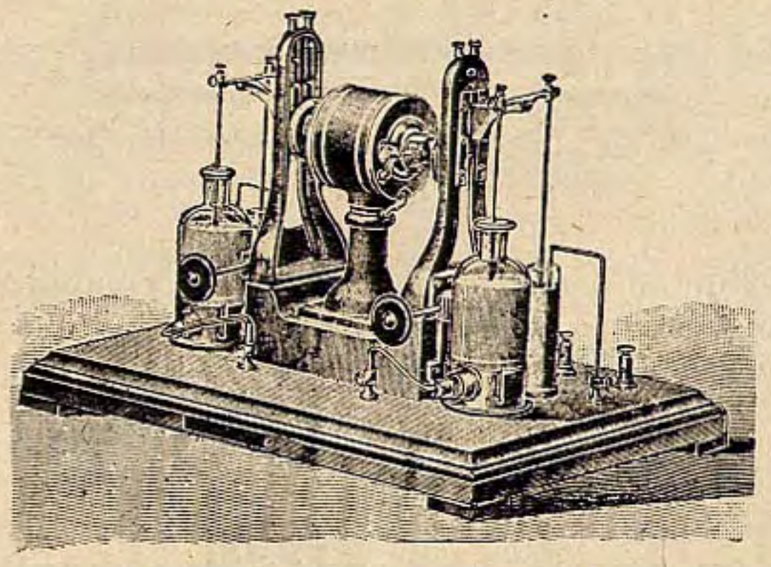


Fig. 66.

compiono movimenti opposti; in tal caso si ottiene un numero di interruzioni doppio che nel caso precedente. La figura 66 riproduce appunto uno di questi interruttori doppi.

28. — *Interruttori a turbina.*

È uno dei tipi più diffusi. L' estremità libera del primario comunica (fig. 67) con un anello A munito di fori introdotto in un recipiente di forma apposita R, in fondo al quale si trova del mercurio. Nel mercurio pesca la turbina T mossa a grande velocità da un apposito motorino. L' asse di questa turbina è un tubetto

che superiormente è ricurvo e diretto lateralmente. Per effetto della rapida rotazione, il mercurio viene sollevato dalla turbina, sale quindi nel tubetto e spruzza

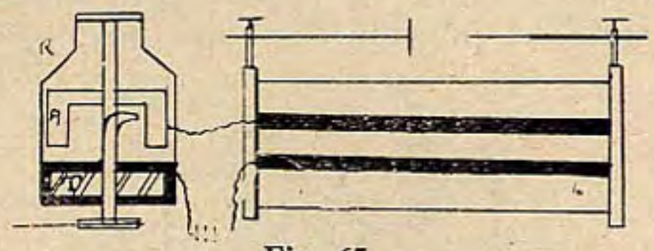


Fig. 67.

un filo liquido contro l'anello. Facendo comunicare un polo col mercurio, l'altro coll'anello, si capisce come il circuito venga aperto e chiuso continuamente a seconda

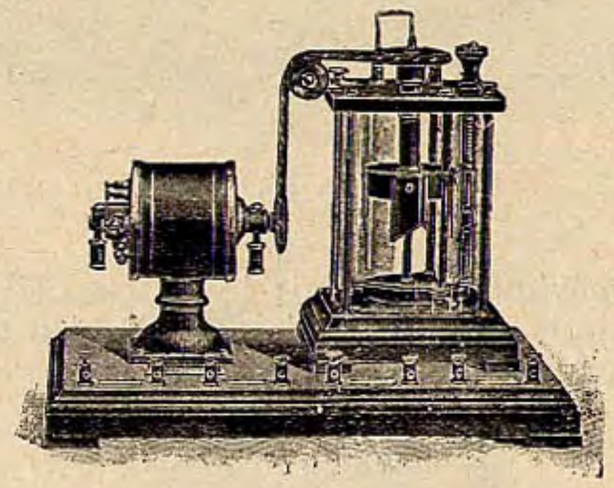


Fig. 68.

che il getto colpisce l'anello o i fori. Combinando opportunamente il numero di essi colla velocità del motore, si possono avere numerosissime interruzioni al minuto secondo. Sul mercurio si versa uno strato di liquido isolante (alcool, olio di vaselina, ecc.) in modo

che le scintille, scoccando, non deteriorino rapidamente i contatti, e non ossidino facilmente il mercurio. (Vedi anche la figura 68).

29. — *Interruttore Ruhmer.*

Consta di una lampada ad arco messa fra gli elettrodi di due potenti elettro-calamite. I carboni della lampada e le due bobine sono messe in serie col primario del rocchetto e colla corrente di alimentazione. Al passaggio della corrente, l'arco si accende; ma viene soffiato via dal potente campo magnetico che si forma attorno ad esso. Continuando il riaccendersi e lo spegnersi dell'arco, si hanno le interruzioni del circuito.

30. — *Interruttore rotativo.*

È formato da un cilindro di materia isolante sul quale sono disposte tante striscie di ottone che per mezzo

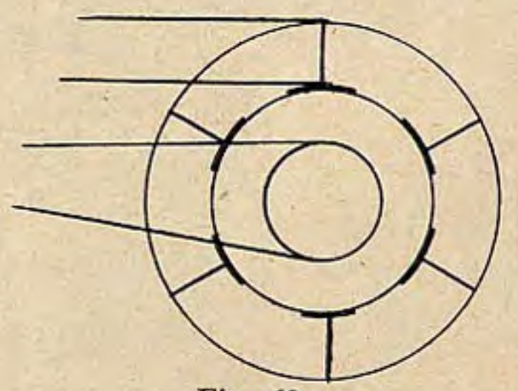


Fig. 69.

di fili si riuniscono tutte insieme in una unica striscia superiore fissata su un cilindro di diametro maggiore del primo (fig. 69). Due spazzole poggiano a dolce sfre-

gamento sui due cilindri, ed un motorino fa girare l'insieme a grande velocità. È ovvio che la spazzola inferiore compie le interruzioni strisciando un po' sulle porzioni conduttrici e un po' su quelle isolanti. Con un grande numero di striscie e un'alta velocità del motore si possono raggiungere interruzioni rapidissime.

Anche qui è impossibile evitare le scintille che sono molto dannose perchè logorano i contatti e rendono facilmente inservibile l'apparecchio.

Si elimina in parte tale inconveniente immergendo l'apparecchio completo in una miscela di olio e mercurio combinata in modo tale da riuscire isolante. Il mercurio serve ad amalgamare i contatti, e l'olio smorza un poco le scintille.

31. — *Interruttore Wehnelt.*

Del principio di funzionamento di questo apparecchio si è già parlato al paragrafo 20.

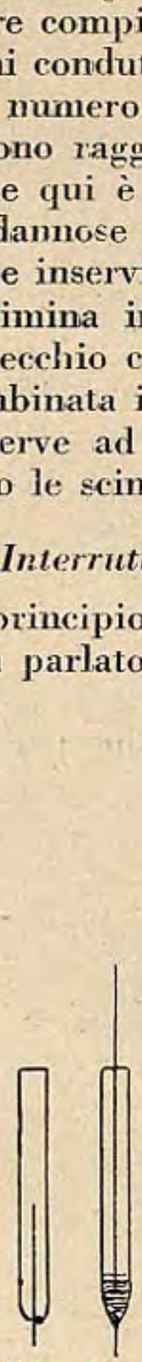


Fig. 70.



Fig. 71.

Se l' interruttore deve funzionare per corrente continua, si prendono per elettrodi una lastrina di carbone di storta e un filo di platino contenuto in un tubetto di vetro. L'elettrolito è formato da 3 o 4 litri di acido solforico al 15-20 %. La figura 70 mostra come deve essere costruito il tubetto di vetro. Lo si riscalda alla fiamma (deve essere di vetro fusibile) e quando si rammollisce, si infila con una pinzetta un filo di platino, e

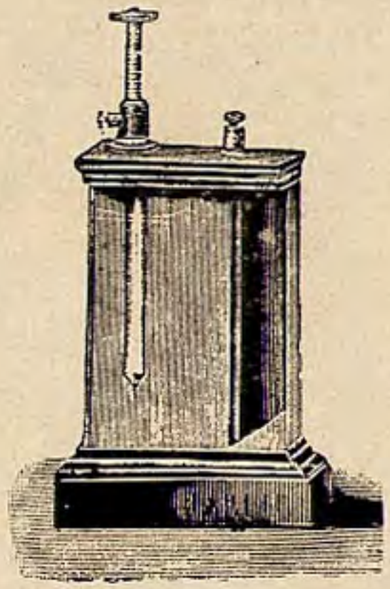


Fig. 72.

chiudendo poco a poco il tubo si ottiene l'otturazione completa. Si deve badare che all'esterno esca 1 cm. e mezzo circa di filo, ed all'interno 5 mm. Si versa allora nel tubo qualche goccia di mercurio e vi si fa pescare un filo di rame che uscirà fuori dell'apparecchio.

Per la corrente alternata, si usa una lamina di ferro e un filo di ferro (1 mm. di diametro) immersi in una soluzione satura di carbonato sodico (soda commerciale). Siccome qui il ferro non si salda al vetro come

il platino, si impicciolisce il foro del tubo inferiormente, e si infila il ferro. Regolando la parte che esce dal tubo, si fa variare anche la intensità della corrente che attraversa tutto l'apparecchio. Invece nel caso di corrente continua, non si può variare la lunghezza del filo di platino e quindi si costruiscono due o più tubi che lascino sporgere lunghezze variabili di filo (fig. 71).

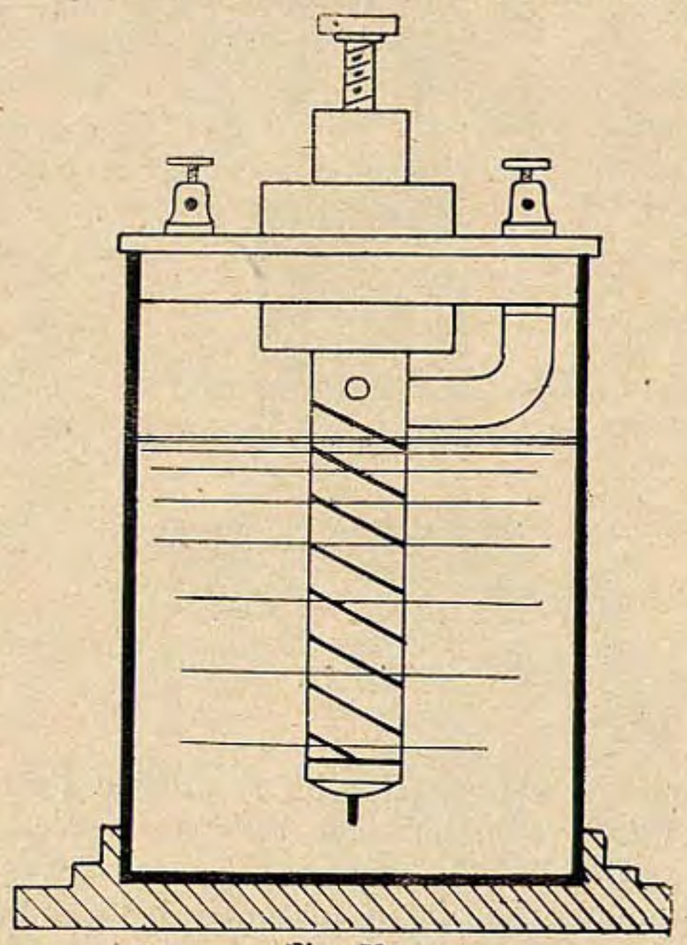


Fig. 73.

La figura 72 rappresenta un tale apparecchio per corrente alternata con un solo tubo a ferro regolabile mediante la vite superiore.

In alcuni modelli costruiti dalla Siemens-Halske, il filo di platino esce inferiormente da un tubo di porcellana attorno al quale è avvolta una lastra di piombo (fig. 73) che fa da catodo. La lunghezza del filo di platino è regolabile mediante la vite superiore. Il complesso è collocato in un vaso di vetro contenente l'elettrolito, il quale giunge ad un livello inferiore a quello di una bocchetta scavata nel tubo di porcellana, che permette al liquido interno di scaricarsi quando sale durante il funzionamento dell'apparecchio.

Siccome l'acido solforico sviluppa dei vapori corrosivi, si preferisce sostituirlo con una soluzione satura di allume o di solfato magnesiaco.

32. — *Wehnelt modificato.*

I due elettrodi sono contenuti in un vaso di vetro da pila ripieno fino a circa un terzo della sua altezza con una soluzione al 10 % di acido solforico.

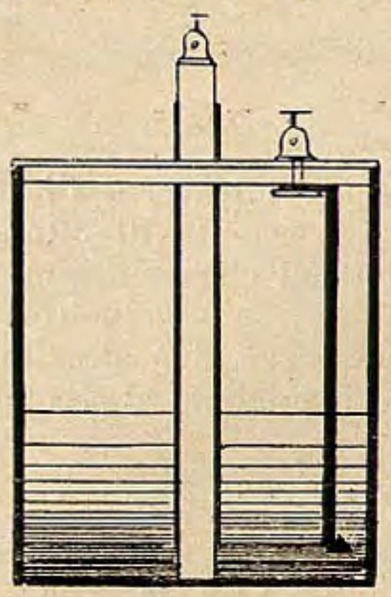


Fig. 74.

Un coperchio di legno paraffinato chiude il vaso (fig. 74) ed è attraversato lateralmente da una lastra di piombo e nel centro da un tubetto di vetro che contiene a dolce sfregamento una bacchetta di ottone del diametro di 4 o 5 mm. Detta bacchetta esce inferiormente per una lunghezza di qualche millimetro, regolabile facilmente. Una piccola molla, fissata sulla parte superiore del coperchio tiene fisso il tubetto di vetro. La verga di ottone raggiunge il fondo del vaso.

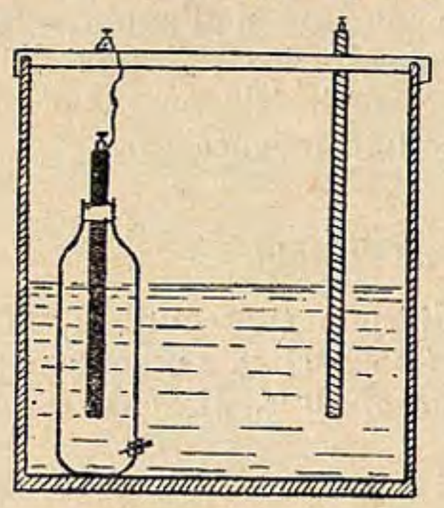


Fig. 75.

Quando la corrente attraversa l'interruttore, si formano attorno alla bacchetta di ottone delle bollicine gassose non conduttrici che interrompono per un brevissimo istante il passaggio della corrente. Anche qui il numero delle interruzioni è altissimo, potendo facilmente raggiungere il migliaio al secondo.

33. — *Interruttore Simon.*

È da poco tempo entrato nella pratica un nuovo tipo di interruttore elettrolitico, fondato sullo stesso principio di funzionamento del Wehnelt (fig. 49).

Esso differisce da quest'ultimo solamente per la forma di un elettrodo. Consta (fig. 75) di un vaso di vetro da pila, ripieno per circa metà di una soluzione al 15-30 % di acido solforico.

Uno degli elettrodi è di carbone e delle dimensioni usuali, mentre l' altro è formato da una asticina di carbone di storta alta una decina di centimetri e del diametro di 1 cm.

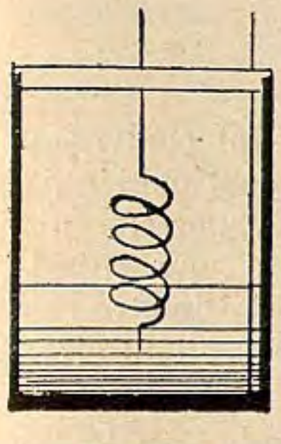


Fig. 76.

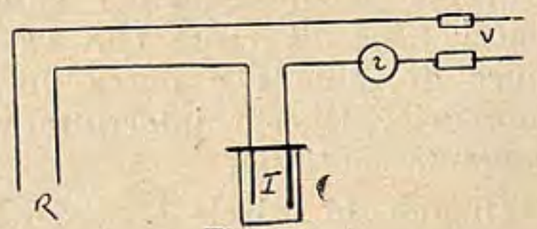


Fig. 77.

Questo elettrodo, attraversa un turacciolo di gomma (che chiude una bottiglietta) e penetra in un flaconcino di vetro contenuto nell'interno del vaso.

Detto flaconcino è stato precedentemente forato inferiormente (a circa 1-2 cm. dalla base), e porta un tubetto con foro capillare, permettendo così l'entrata del liquido nei due recipienti.

Questo nuovo tipo di interruttore ha moltissimi vantaggi sul Vehnelt, ed i principali sono:

a) non ha bisogno di sorveglianza;

b) gli elettrodi non si consumano, come avviene per la punta di ferro del Wehnelt;

c) funziona benissimo con intensità molto basse

(3-5 ampere) di modo che permette l'uso del Rocchetto di Ruhmkorff a molti dilettanti che per usare il Wehnelt debbono eseguire una apposita canalizzazione a conduttori di grande diametro.

Gli effetti che si raggiungono sono abbastanza potenti; basti dire che un Rocchetto, capace di una scintilla di 10 centimetri con Wehnelt a 15 ampere, ne può sviluppare una di 12 cm. con Simon a 10 ampere.

34. — *Interruttore Margot.*

Si compone di un vaso di vetro (fig. 76) contenente uno strato di mercurio alto un paio di centimetri. Attraverso il coperchio che chiude il vaso, passano una bacchettina di rame che va al fondo e una spirale pure di rame che pesca per qualche millimetro nel mercurio. Questo interruttore funziona soltanto con corrente continua.

Quando la spirale è percorsa da corrente, fra le sue spire si produce una attrazione per la quale essa si accorcia, ed alzandosi dal mercurio, apre il circuito. Allora, non passa più corrente, ed in virtù del proprio peso, la spirale ricade nel mercurio, per subito rialzarsi a causa di una nuova attrazione determinata dal passaggio della corrente attraverso essa.

Anche qui si versa uno strato di alcool per eliminare le scintille d'estracorrente. Con un reostato inserito nel circuito, si può regolare a volontà l'intensità della corrente, e quindi anche il numero delle interruzioni.

Le congiunzioni col circuito di questi interruttori elettrolitici sono chiaramente rappresentate dalla figura 77, nella quale R è il rocchetto di Ruhmkorff, V è la valvola, I è l'interruttore elettrolitico, *r* è il reostato regolabile e i due fili a destra vanno alla corrente di alimentazione (pile, accumulatori o corrente stradale).

35. — *Calcolo dei condensatori.*

Dato che il condensatore è indispensabile in quasi tutti gli interruttori per rocchetti (salvo gli elettrolitici), sarà bene trattarne succintamente il calcolo e la costruzione.

I condensatori vengono — nella pratica — misurati secondo la loro capacità, intendendosi per capacità la quantità di elettricità che possono immagazzinare (condensare) nelle loro armature.

La formula che ci esprime questa quantità essenziale è:

$$C = K \frac{S}{4 \pi d}$$

dove S è la superficie di una delle armature, C è la capacità, *d* è la distanza fra le armature (esprimibile in centimetri) e K è una costante detta costante dielettrica che dipende dalle sostanze impiegate per separare le armature una dall'altra (aria, vetro, ebanite, ecc.).

A temperatura ordinaria, i valori di K per le varie sostanze sono (aria = 1):

Caucciù	2,10-2,30	Porcellana	4,38
Cera	1,86	Resina	2,45-2,57
Fibra rossa	1,44	Zolfo	2,6 -4
Fibra nera	2,66	Vetro comune	5 -10
Ebanite	2 -2,8	Vetro flint	7 -38
Gomma lacca	3,10	Alcool etilico	24 -27
Mica	5,7 -8	Acqua	78 -80
Paraffina	1,90-2,30	Olio d'oliva	3 -3,16

La capacità si misura in *farad*, ma essendo questa una unità grandissima (equivale a più di 1000 volte quella del globo terrestre) si è preso il microfarad (si scrive μ farad) che vale un milionesimo di farad, ossia 9×10^5 unità assolute C. G. S.

Per trovare quindi la capacità di un condensatore in μ farad, si deve dividere il risultato che si ottiene dalla formula precedente per 9.10^5.

Per esempio, si abbia un condensatore circolare di 20 cm. di diametro nelle armature, e queste siano poste nell'aria alla distanza di 5 centimetri. Troviamo la capacità:

$$C = \frac{\pi \cdot 10^2}{4\,\pi\,5 \cdot 9 \cdot 10^5} = \frac{100}{20 \cdot 9 \cdot 10^5} = \frac{5}{9 \cdot 10^5} = 0.0000055 \text{ μ farad}$$

E inversamente, conoscendo la capacità di un condensatore, si ricava la superficie da dare alle armature sostituendo i valori noti nella formula:

$$S = \frac{k}{4\,\pi\,d\,C}$$

Per ottenere grandi capacità in piccoli volumi, si usa la disposizione della figura 60, impiegando cioè un certo numero di lamine di alluminio o di stagnola sottile e come dielettrico fogli sottili di carta paraffinata. Comprimendo poi il tutto con un ferro da stiro ben caldo, la paraffina, di cui era imbevuta la carta, si scioglie ed unendosi alla stagnola forma un insieme unico e compatto.

Si vede poi dalla prima formula come si abbia tutto il vantaggio, per aumentare la capacità di un condensatore, ad impiegare sostanze a forte potere dielettrico e di pochissimo spessore.

Naturalmente non si può giudicare subito a colpo d'occhio quale deve essere la capacità di un condensatore per una data bobina, e costruendolo come è indicato precedentemente, si può incorrere in qualche sbaglio, mettendo cioè più o meno armature del necessario. Per ovviare all'inconveniente, si costruiscono i

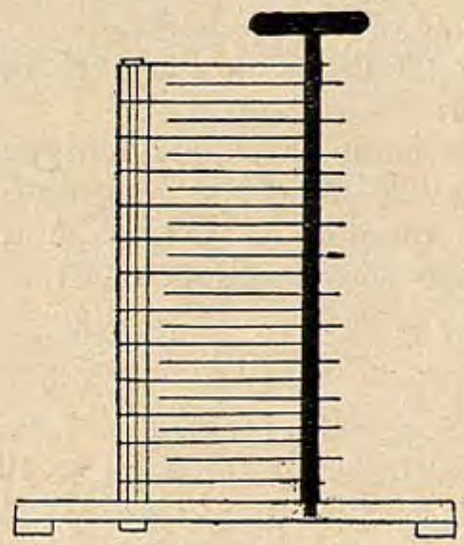


Fig. 78.

condensatori regolabili, che hanno anche il vantaggio di funzionare con molti apparecchi differenti, bastando regolare la loro capacità fino alla misura voluta.

Per far questo si costruiscano 20 semicerchi di latta sottile (dello spessore necessario per sostenersi) del diametro di 20 cm. Mediante viti e ranelle isolanti, si fissino 10 armature fra di loro alla distanza di 4 mm. una dall'altra, badando che siano perfettaente parallele. La stessa operazione si fa colle altre 10, riunendole con una vite centrale che termini superiormente con un manico isolante. Ora su una basetta di legno si fissa il primo sistema, ed al centro preciso dei semicerchi si

fissa la vite (fig. 78). Osservando anche la figura 79 si capisce come funziona l'apparecchio: Le armature dei due sistemi sono tali da entrare uno nei vani dell'altro, di modo che si hanno sempre affacciate armature di poli eteronimi. Girando poi la vite prendendola per il manico superiore, si può introdurre più o meno le armature del sistema girevole in quello fisso, variando in tal modo la capacità del condensatore.

La figura 80 dà l'idea dell'aspetto esteriore dell'apparecchio finito.

Si comprende come la capacità dipenda dalla superficie delle armature affacciate, e quindi il valore massimo si otterrà quando un sistema è tutto interno all'altro. In questo caso la capacità è:

$$C = \frac{(n-1)\frac{\pi r^2}{2}}{4\pi d\ 9\times10^5} = \frac{19\frac{\pi \times 10^2}{2}}{4\pi \times 0{,}2\times 9\times 10^5} = 0{,}0013\ \mu f.$$

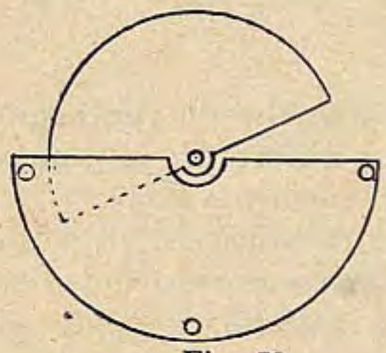


Fig. 79.

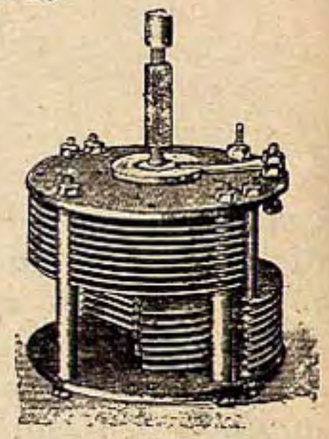


Fig. 80.

Anzichè costruire un condensatore variabile di questo tipo, è conveniente anche allestire una batteria coi collegamenti disposti in modo da poter variare a piacimento la capacità da introdurre in circuito.

Così per esempio avendo quattro condensatori con capacità proporzionali ai numeri 1, 2, 4, 8 si possono avere tutte le combinazioni da 1 a 15.

Lo schema di collegamento in tal caso è come quello indicato colla figura 81 che si presta mediante spine

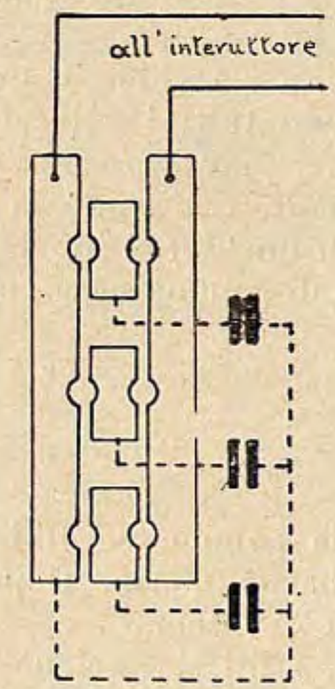


Fig. 81.

introdotte nei fori a destra a collegare col circuito un dato condensatore, oppure ad escluderlo con spine messe nei fori di sinistra.

36. — *Cenni pratici.*

La costruzione di un rocchetto di Ruhmkorff da parte di un dilettante non è cosa difficilissima. Occorre più pazienza che una grande quantità di nozioni tecniche.

Naturalmente bisogna comprenderne il funzionamento ed avere alcune nozioni elementari di elettricità.

Daremo adesso le norme fondamentali che si devono seguire quando ci si accinge ad una simile costruzione, norme alle quali bisogna attenersi per non compromettere la buona riuscita ed il funzionamento regolare dell'apparecchio.

Del *nucleo* abbiamo già abbondantemente parlato al paragrafo 23. Quando tutti i fili saranno spianati ed egualmente lunghi (si può avere un approssimativo numero di fili occorrenti, dividendo la sezione retta del nucleo per quella di un filo) si immergano per qualche minuto in un bagno di gomma lacca, così composto:

Gomma lacca	gr.	100
Alcool	gr.	1000
Benzoe	gr.	50

Si fa sciogliere la gomma ed il benzoe nell'alcool, scaldando tutto a bagno maria. Dopo si decanta e si conserva il liquido così ottenuto.

Levàti dal bagno, i fili si lasciano asciugare, quindi si mettono in un tubo di cartone, precedentemente costruito ed avente le dimensioni del nucleo progettato. Bisogna mettere il numero massimo di fili che possono entrare in detto tubo. Dopo, allo scopo di avere una massa compatta e nello stesso tempo bene isolata, si verserà su una delle teste del nucleo, una abbondante quantità di vernice lacca molto densa, in modo da riempire completamente i vani interni. Si termina di versare vernice quando essa incomincia ad uscire all'altra estremità. Si lascia allora essiccare il tubo lentamente prima di eseguire l'avvolgimento.

È bene però fargli prima un collaudo preliminare — rispetto alla magnetizzazione — avvolgendovi uno

o due strati di filo piuttosto grosso (1 a 1,5 mm.) che verrà riunito in serie con una resistenza e colla corrente (fig. 82). Dopo qualche minuto che la corrente passa, si apre il circuito, osservando se nel nucleo rimane qualche traccia di magnetismo residuo. Se dopo aver ripetuto l'operazione parecchie volte si ha sempre risultato negativo, vuol dire che il ferro è ben ricotto,

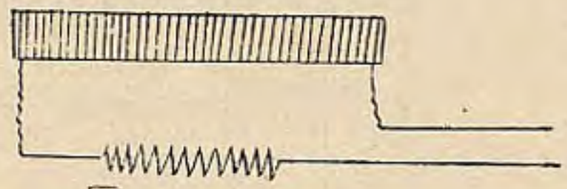


Fig. 82.

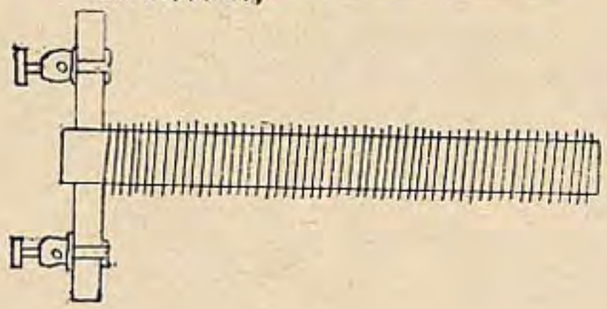


Fig. 83.

e lo si può impiegare senza timore nella costruzione. Bisogna badare che la smagnetizzazione sia *completa*, altrimenti il magnetismo residuo continua a crescere coll'uso fino a rendere inservibile l'intero nucleo.

Il filo che si adopera per l'avvolgimento primario deve essere isolato con un solo strato di cotone e deve avere un diametro tale da permettere il passaggio dell'intensità occorrente senza scaldarsi troppo. Di solito si adoperano due strati di filo di diametro compreso fra 15/10 e 30/10 di mm. Si possono così avere due aggruppamenti: quello in serie e quello in parallelo, coi vantaggi già spiegati. Quando si avvolge un solo strato, oppure

due, senza voler cambiare l'autoinduzione, si eseguisce la seguente costruzione: ad un capo del nucleo si incolla fortemente un dischetto di legno forato del diametro di 8-10 cm. e, alle estremità di un diametro ad un cm. dalla periferia, si fissano due serrafili (fig. 83). Un capo del filo da avvolgere si fissa direttamente sotto la vite

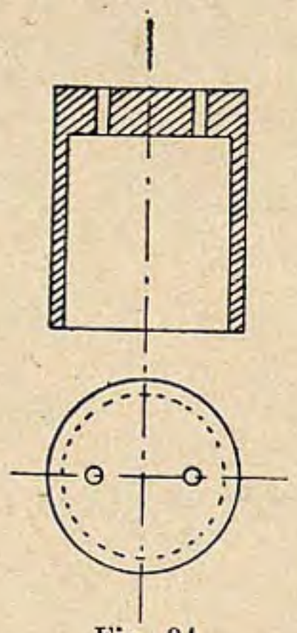


Fig. 84.

di uno dei due serrafili, si eseguisce l'avvolgimento, e l'altro capo si mette in comunicazione col serrafilo libero.

Volendo invece seguire il dispositivo illustrato nella figura 56 per variare l'autoinduzione, si costruiscono due scodelline di legno (fig. 84) di forma cilindrica aventi internamente un foro di diametro tale da poter essere infiiate all'estremità del nucleo. Si darà loro una lunghezza di circa 5 cm. Sulla testa verranno praticati due fori che ospiteranno due serrafili.

Queste scodelline verranno incollate alle estremità del

nucleo (fig. 85), ed i quattro serrafili comunicheranno coi quattro capi dei due strati di filo.

Bisogna badare che i due strati siano avvolti in *senso contrario* uno rispetto all'altro, altrimenti gli effetti di magnetismo ed induzione provocati da uno verrebbero distrutti da quelli opposti creati dall'altro.

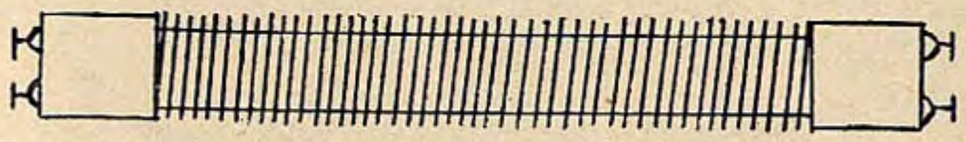


Fig. 85.

Si avrà il collegamento semplice unendo colla sorgente i serrafili comunicanti coi capi di uno strato (sarà bene dare colorazioni differenti per distinguerli) il collegamento in serie come insegna la figura 86, e quello in parallelo come indica la figura 87.

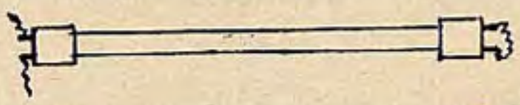


Fig. 86.



Fig. 87.

Veniamo ora all'avvolgimento secondario.

Per conseguire il massimo rendimento con una data lunghezza di filo secondario, sarebbe opportuno dare esternamente alla bobina il profilo indicato nella figura 88, ossia quello iscritto nelle linee di forza del campo magnetico generato dal nucleo di ferro. Il tubo isolato fra i due avvolgimenti avrebbe la forma teorica segnata nella stessa figura, dato che la differenza di

potenziale risulta minima in prossimità della mezzeria, e massima invece verso le estremità.

Praticamente però, si segue lo schema della figura 89 sia per il profilo dell' avvolgimento secondario quanto per quello del tubo isolante, ed in riguardo a quest'ultimo si deve calcolare uno spessore tale da esser tranquilli sulla sua rigidità elettrostatica.

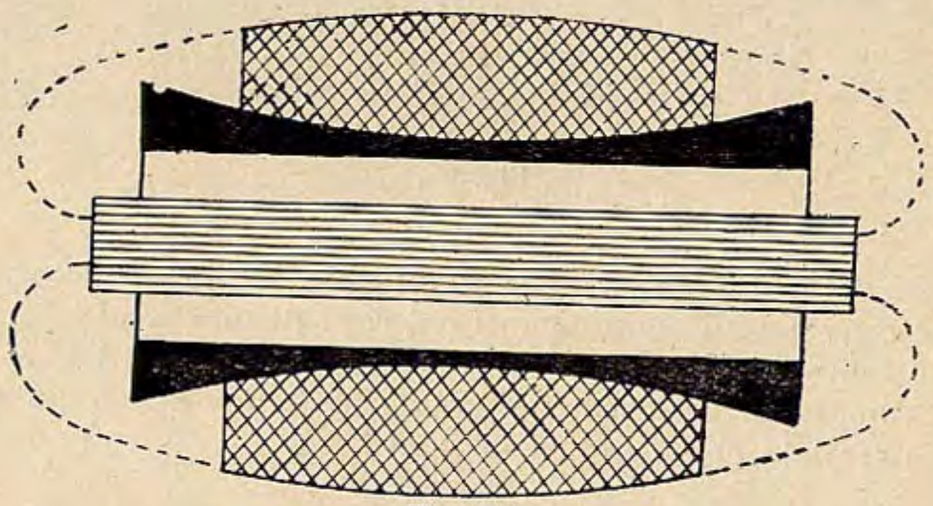


Fig. 88.

A titolo d'informazione abbiamo raccolto nel prospetto che segue i valori medi della tensione in kV (migliaia di volt) necessaria per forare lo spessore di 1 cm. dell'isolante che si considera.

Isolante	*Rigidità kV.*
Cristallo	285
Ebanite	650
Mica	2000
Carta paraffinata	350

Se in un rocchetto il tubo isolante di ebanite dovesse per esempio sopportare la tensione di 65.000 V., il suo

spessore dovrebbe approssimativamente essere dato dalla seguente proporzione:

$$10 : 650 = x : 60$$

da cui scende:

$$x = \frac{65 \times 10}{650} = 1 \text{ mm.}$$

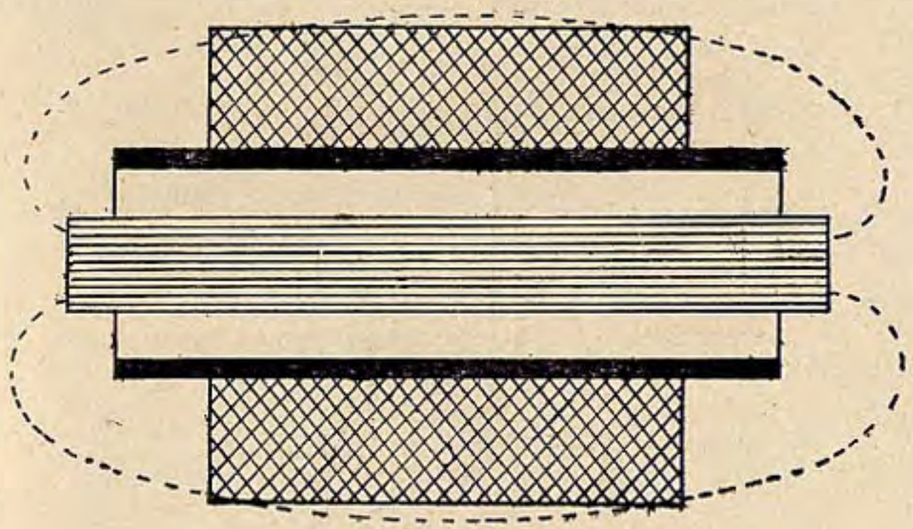


Fig. 89.

È ovvio che in questo caso si metterà un tubo almeno dello spessore di 3 mm.

Il vetro era largamente usato come dielettrico da interporre fra l'avvolgimento primario e quello secondario, ora però è sovente sostituito da ebanite o da mica, e precisamente perchè la prima oltre ad essere un buonissimo isolante offre anche una discreta resistenza meccanica, e la seconda perchè non si altera con l'ozono.

Tornando all' avvolgimento secondario, diremo che esso è la parte più delicata dell'intero apparecchio, e perciò richiede la massima attenzione.

Quando, volendo ottenere piccole potenze, si avvolge il secondario in una sola bobina, gli strati non devono essere ugualmente lunghi, ma descrescere man mano si va avanti nell'avvolgimento. Il primo strato si farà della lunghezza del nucleo, o meglio lasciando un centimetro per parte, e così per cinque o sei. Poi si accorcerà la misura di un altro centimetro e così via fino agli ultimi che saranno lunghi appena 3 o 4 centimetri.

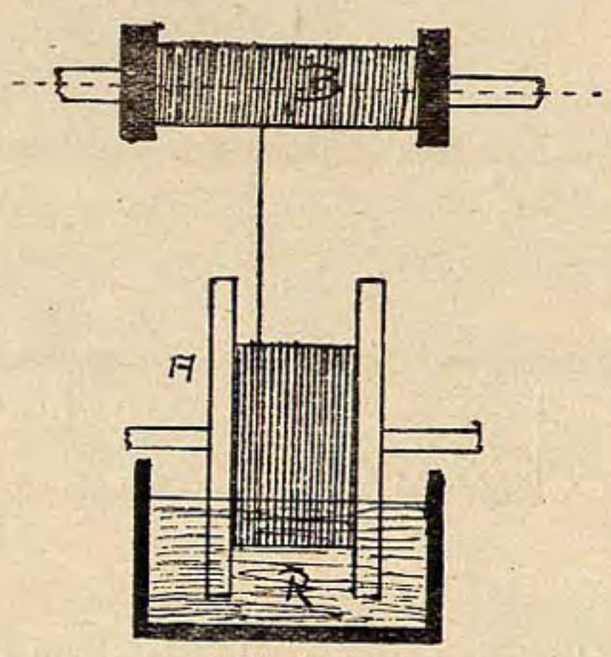


Fig. 90.

Però, come già abbiamo spiegato, si preferisce costruire il secondario di un rocchetto in tante sezioni riunite in serie, approfittando dei vantaggi che ci dà simile disposizione. In questo caso, avendo gli strati una piccola lunghezza (4 o 5 centimetri) si avvolgono sempre egualmente lunghi, e mentre nel caso precedente il numero dei fogli di carta da inserire fra uno strato e l'altro diminuiva colla lunghezza degli strati (perchè naturalmente diminuiva la differenza di potenziale), in

questo caso si avvolge sempre lo stesso numero di giri di carta isolante poichè dappertutto si deve resistere alla stessa differenza di potenziale.

Non si può dire subito quanti giri occorrono, poichè questi dipendono dalla potenza del rocchetto e da varie altre grandezze; ad ogni modo non si mettono mai meno di 2 giri di carta. Questa deve essere resistente e possi-

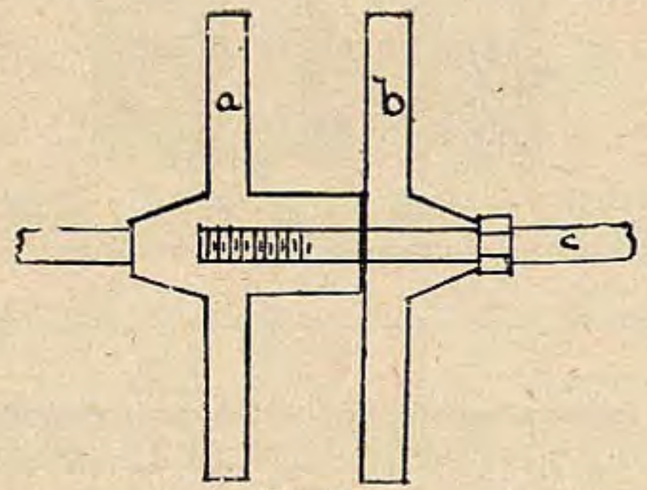


Fig. 91.

bilmente paraffinata. Per far questo, si squaglia sopra il foglio un pezzo di paraffina mediante un ferro da stiro scaldato moderatamente. La paraffina si distenderà uniformemente sulla superficie della carta e sarà assorbita. Siccome però con questa operazione si aumenta straordinariamente lo spessore dei fogli — a scapito del filo da impiegare — si preferisce paraffinare mentre si avvolge, oppure ad avvolgimento finito.

La disposizione per il primo modo è rappresentata dalla figura 90. A è la bobina da avvolgere e B è il rocchetto contenente la riserva di filo. La bobina pesca in un recipiente R contenente paraffina fusa e mantenuta calda da una fiamma a gas o ad alcool sotto-

stante. Qualche volta invece si immerge per qualche ora — a costruzione finita — tutta la sezione secondaria nella paraffina fusa e la si lascia assorbire. Quando invece l'avvolgimento viene eseguito con carta già paraffinata si colano nell' interno delle gocce di paraffina liquida allo scopo, non d'isolare, ma di riunire in una sola massa compatta tutta la bobina.

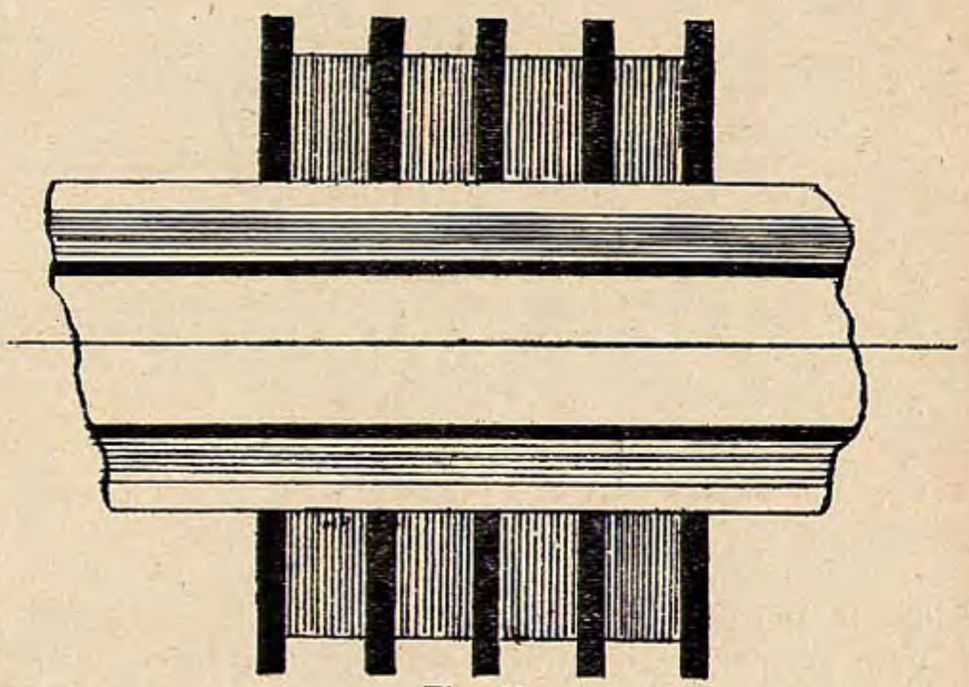


Fig. 92.

Le sezioni si costruiscono per lo più senza testate. Si costruisce sul tornio una forma in legno (fig. 91) che abbia l'anima leggermente conica con un diametro uguale a quello del tubo isolante sul quale devono essere infilate le sezioni. Delle due mascelle, una *a* è fissa e l'altra *b* è mobile, potendo essere staccata mediante la vite (*c*). Si comprende subito come, ad avvolgimento finito, non si abbia che da svitare la mascella (*b*) e

levare la sezione che uscirà senza sforzo in virtù della conicità dell'anima.

Quando queste sezioni vengono montate sull' apparecchio, si separano una dall' altra mediante rondelle

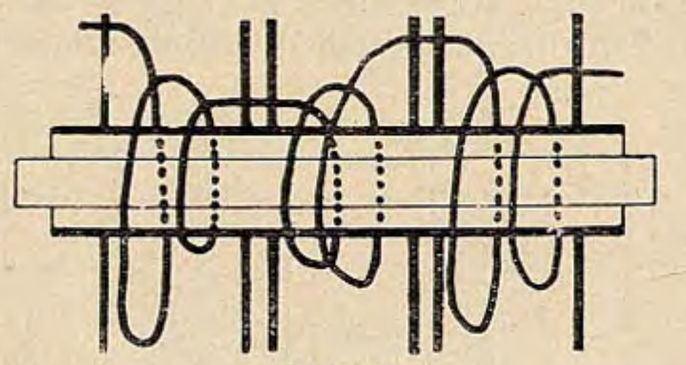


Fig. 93.

di ebanite o di fibra (fig. 92), in modo che si ha una piccolissima perdita di spazio.

Importante da stabilirsi è il *senso* dell'avvolgimento.

Le sezioni secondarie possono essere avvolte nello

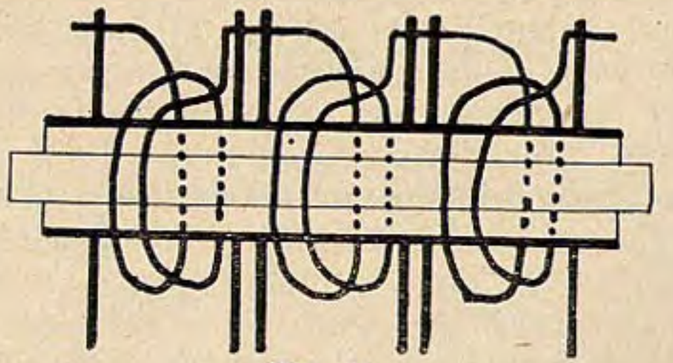


Fig. 94.

stesso senso, ed in tal caso le congiunzioni sono chiaramente rappresentate dalla figura 93. Questo sistema non è però normalmente usato, poichè si preferisce seguire lo schema segnato in figura 94 che permette di costruire le sezioni col solito sistema della forma (fig. 92) e nel

montarle sul rocchetto basta porre attenzione di capovolgere quelle di ordine pari in modo che i capi e le estremità vengano a trovarsi di fronte.

Gli avvolgimenti si fanno sul tornio. Non possedendone uno, si può costruire un avvolgitore. Si compone (figg. 95 e 96) di una basetta di legno sulla quale sono

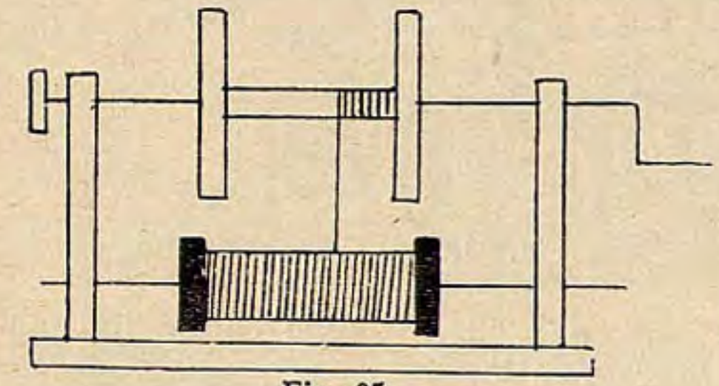


Fig. 95.

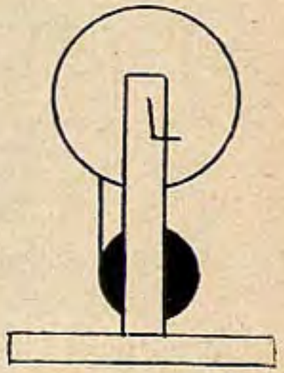


Fig. 96.

fissati due supporti che a metà circa della loro lunghezza portano un perno attorno al quale gira il rocchetto riserva, e superiormente hanno un secondo perno terminante esternamente a manovella fissata al rocchetto da avvolgere. Volendo, si può mettere all'altra estremità del perno superiore una piccola puleggia per azionare l'apparecchio con un motorino elettrico, rendendo così più facile e meno faticosa l'operazione già delicata per se stessa.

Volendo, si possono anche eseguire gli avvolgimenti mediante l'avvolgitore meccanico. Ne diamo un cenno e i dati per chi volesse costruirne uno.

Consta (fig. 97) di una base di legno sulla quale sono fissati 6 supporti di legno a due a due opposti. I due primi portano un asse che a sua volta sorregge la bobina-riserva; i due mediani sono attraversati da una

vite micrometrica unita ad una estremità ad una puleggia P munita di gola per ricevere la trasmissione da un'altra più piccola *p* solidale col rocchetto da avvolgere, portato da altri due supporti. Quest'ultimo asse termina esternamente con una manovella che comunica

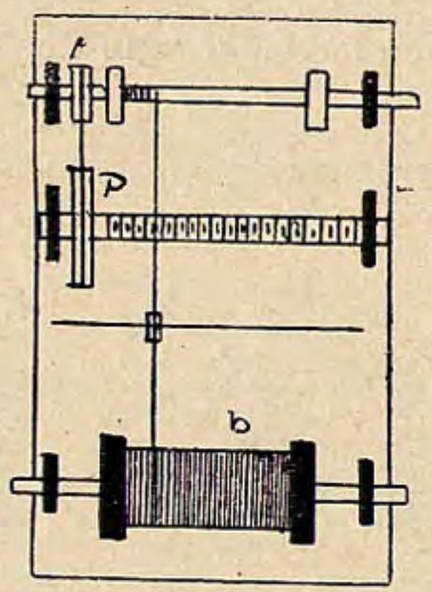


Fig. 97.

il movimento a tutto l'apparato. Il filo della bobina *b* entra sotto la gola di una puleggia folle *c*, passa sopra la vite e va al rocchetto da avvolgere. Perchè l'avvolgitore possa funzionare per tutti i diametri di filo, basta cambiare il rapporto delle due pulegge P e *p*. Infatti, supponiamo di dover avvolgere del filo che, ricoperto, abbia il diametro di 1/10 di mm. Allora daremo alla ruota *p* il diametro di 1 cm. e alla P il diametro di 10 cm. Infatti mentre il rocchetto fa 10 giri, la puleggia P ne fa 1 e uno pure la vite che avrà spostato il filo teso su di essa, di un mm. Ma in dieci giri di *p* si sono avvolte dieci spire sul rocchetto che occuperanno

esattamente il posto di 1 mm. Se invece il filo è di 2/10 di mm. di diametro, faremo per P, $d = 10$ cm. e per p, $d = 2$ cm. in modo che ogni 5 giri di p ne corrisponda 1 per P. Allora le cinque spire avvolte sul rocchetto occuperanno esattamente 1 mm., corrispondente allo spostamento di un passo della vite.

Per $\frac{1,5}{10}$ di mm. faremo $d = 10$ cm. per P e $d = 1,5$ cm. per p.

La figura 98 riproduce l'apparecchio visto di fianco anzichè dall'alto come la precedente. Per impedire dei

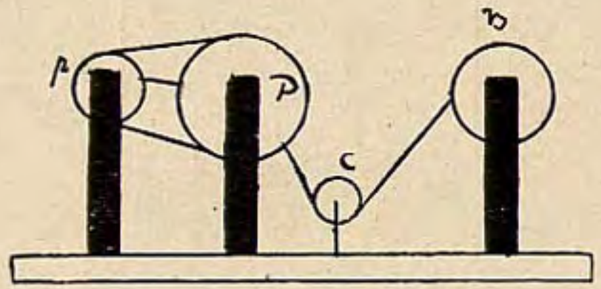


Fig. 98.

movimenti laterali dei due rocchetti, si possono mettere delle mollette di acciaio fra le mascelle ed i supporti.

Non conviene azionare il rocchetto con motore elettrico anzichè con manovella, poichè difficilmente si riesce ad ottenere un buon risultato; conviene quindi azionarlo a mano potendo più facilmente regolare l'andamento del lavoro.

È ovvio avvertire che per eseguire gli strati di ritorno, basta incrociare la cinghia che muove la vite perpetua, ed all'uopo è conveniente usare un filo elastico per la trasmissione.

Il rapporto fra il numero delle spire secondarie e

primarie, non può essere determinato nè in base a calcoli nè in base a regole empiriche; basta dire che anche fra i Costruttori possono esistere differenze notevoli. Riportiamo all'uopo nel prospetto che segue alcuni valori di questo rapporto in funzione della lunghezza della scintilla secondaria.

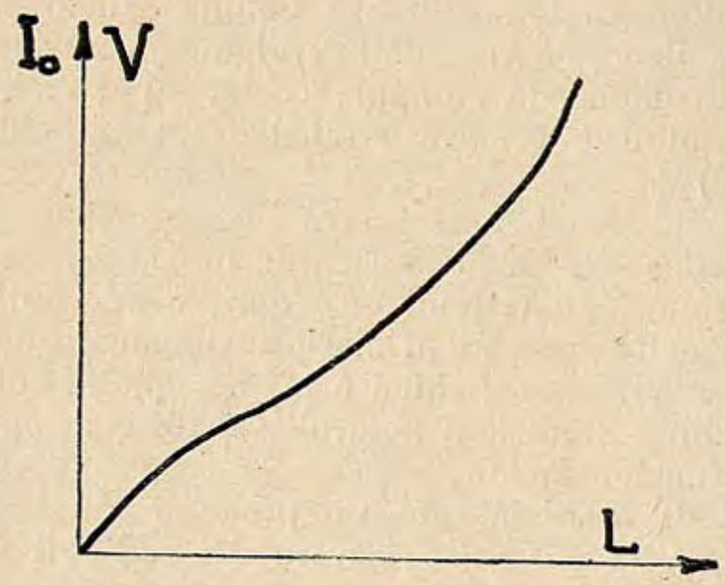


Fig. 99.

Scintilla cm.	A. E. G.	Carpentier	Rochefort
15	160	108	
20	180	157	
25	210	163	115
30	240	183	150
40	300	150	
50	350	180	
60	420	144	
70	500		

37. — *Rendimento delle bobine. - Regole generali di progetto.*

L'induzione utilizza solo una piccola parte dell'energia comunicata alla bobina, e di questa frazione una parte vien persa in calore, isteresi, ecc.

Il rendimento totale di una bobina è dato dal rapporto fra l'energia resa dall'avvolgimento secondario e l'energia comunicata all'apparecchio, e per molte cause il suo valore è sempre assai basso, aggirandosi sul (20 ÷ 30) %.

È utile in una bobina nuova ricercare il *diagramma caratteristico* che ha per ascisse le lunghezze delle scintille ottenute agli estremi secondari, e per ordinate le intensità delle correnti primarie al momento della rottura (fig. 99). Se la bobina è buona, questa curva non dovrà subire alterazioni notevoli se rilevata dopo molti anni di funzionamento.

I dati di massima per un progetto di bobina di Ruhmkorff, si possono ricavare dai seguenti ragionamenti:

a) prendendo come base la lunghezza S della scintilla che si vuole ottenere, il corpo dell'avvolgimento secondario dovrà al *minimo* essere uguale ad S, però per ovvie ragioni si aumenta tale lunghezza approssimativamente di:

$$\left(\frac{2}{10} \div \frac{4}{10}\right) S$$

di modo che il corpo secondario avrà una lunghezza:

$$S + \left(\frac{2}{10} \div \frac{4}{10}\right) S$$

b) il nucleo di ferro si assume normalmente di lunghezza pari a 2 S;

c) il diametro del nucleo di ferro vien ricavato approssimativamente dalla relazione empirica:

$$\left(\frac{2}{10} \div \frac{4}{10}\right) S$$

Spieghiamo ora brevemente come si avvolgono i fogli di carta da intercalare fra i vari strati secondari. Supponiamo di averne terminato uno. Tenendo allora fermo e tirato il filo sottile, si introduce un foglio sulla bobina, in modo che resti compreso nell'angolo formato al disopra dal filo teso e al disotto dallo strato finito (fig. 100). Tale angolo è — in figura — segnato con un

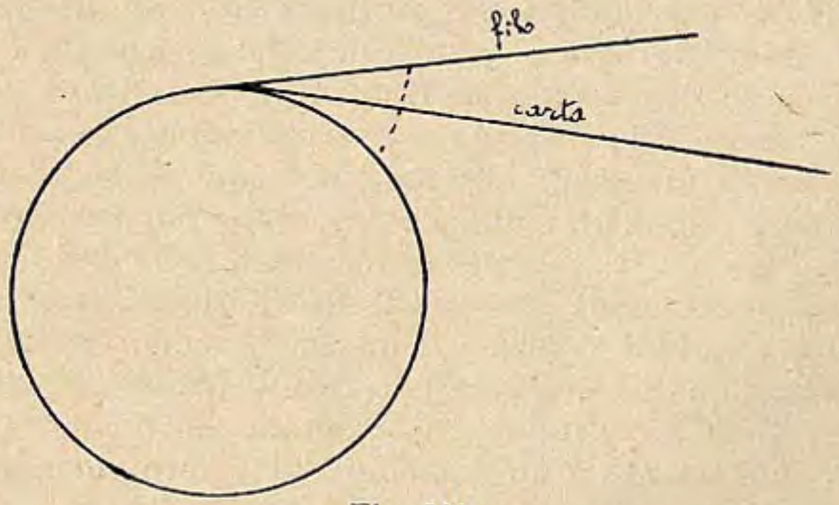


Fig. 100.

arco punteggiato. Il lato del foglio poggia allora sullo strato e basterà girare la manovella dell' avvolgitore perchè prontamente il foglio si avvolga sulla bobina.

Dopo aver compiuto il numero di giri necessari, si taglia con una forbice l'eccedente e si continua il nuovo strato di filo.

38. — *Cause d'insuccesso.*

Molte sono le cause che possono ostacolare la buona riuscita di un rocchetto di Ruhmkorff, e parecchie sono indipendenti dalla assoluta obbedienza alle regole precedentemente accennate.

1) *Scarsa corrente.* — Quando si fanno funzionare rocchetti di Ruhmkorff, bisogna disporre almeno di 8-10 ampere con un primario di 2 strati e 12-15 con un solo strato. Del resto, quando non si hanno istrumenti per misurare l'intensità della corrente che passa nel circuito, si può essere certi di averne a sufficienza quando nel Wehnelt c'è una soluzione satura e una sporgenza del filo di ferro di cm. 2-3.

2) *Cattiva qualità del ferro costituente il nucleo, ossia poca purezza e poca dolcezza.* — Questa è una delle cause più comuni e frequenti. Se il ferro non è abbastanza dolce, impiega un certo tempo a smagnetizzarsi, tanto maggiore quanto più frequenti sono le interruzioni (isteresi). Quindi non sarebbe impossibile che, data la grande frequenza nel Wehnelt (1000-2000 interruzioni al secondo) questo effetto di isteresi fosse assai sentito, e quindi riuscisse dannoso in modo superlativo all'induzione del secondario. L'effetto d'isteresi porta di conseguenza che l'induzione prodotta dal primario non passa abbastanza rapidamente dal valore massimo a zero; ora siccome — come abbiamo già detto — una condizione importante pel buon rendimento è che la continua magnetizzazione e smagnetizzazione sia brusca e *completa*, la cattiva qualità del ferro dà un rendimento minimo all'apparecchio.

Il filo di ferro ottimo all'uso deve essere pieghevolissimo, duttile; si cerchi del filo *ricotto* e lo si renda più dolce ancora nel modo già detto.

Se, dopo l'esperienza della figura 82, il nucleo attirasse ancora — senza corrente — 15 o 20 grammi di ferro lo si può senz'altro considerare inservibile.

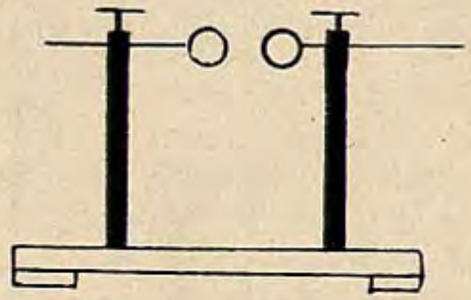


Fig. 101.

3) *Cattivo isolamento nell'avvolgimento secondario.* — Si verifichi la continuità del filo sottile con una pila e un galvanometro e durante il funzionamento si osservi se fra una bobina e l'altra, o nell'interno di qualcuna, scocchi quella scintilla dovuta ad imperfetto isolamento.

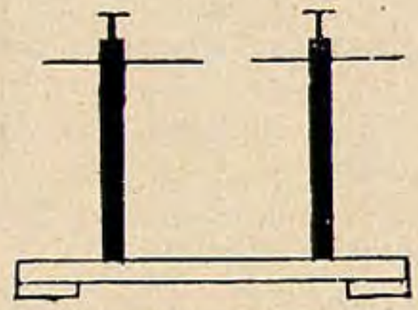


Fig. 102.

Per agevolare meglio questa ricerca, è conveniente agire in un locale buio portando il Wehnelt in un'altra camera di modo che non essendo disturbati dal suo rumore sia possibile udire il crepitìo delle scintille che

eventualmente potessero scoccare nell'interno del rocchetto.

Il numero delle giunture secondarie non ha influenza sul buon rendimento della bobina: basta che fra la saldatura e le spire vicine vi sia uno spazio di qualche millimetro.

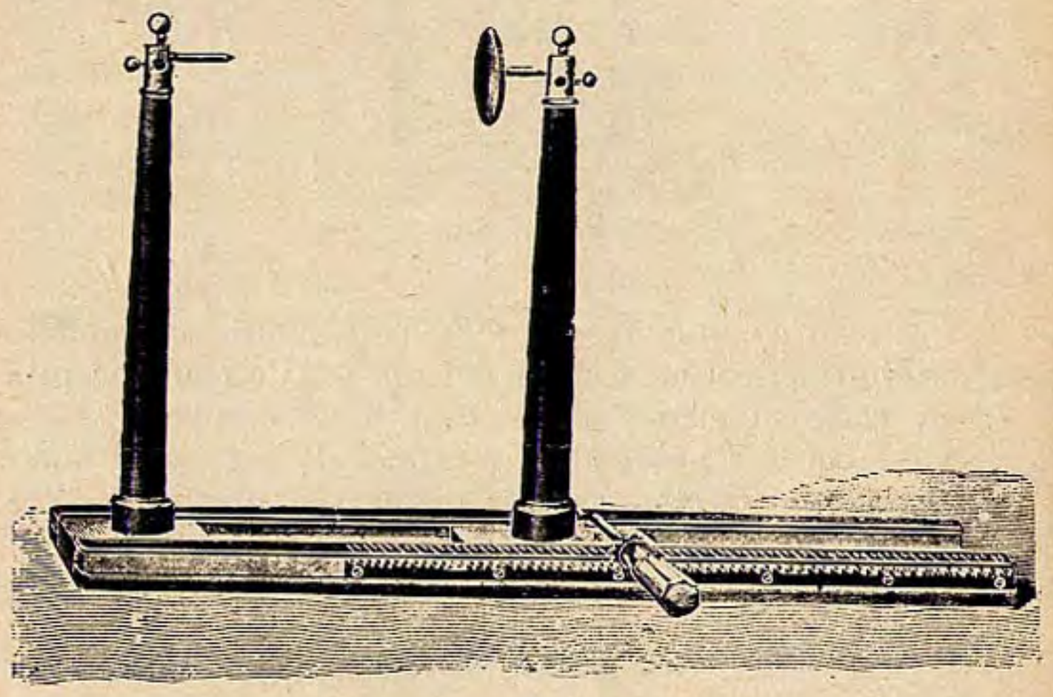


Fig. 103.

39. — *Scintille e spinterometri.*

I capi dell'avvolgimento secondario si fanno comunicare collo spinterometro per la misura delle scintille. Abbiamo tre tipi di spinterometri, a seconda che la scintilla scocca fra due sfere, due punte oppure punta e disco (vedi figg. 101, 102 e 103). Di solito si usa lo spinterometro fra punta e disco (la prima positiva e il secondo negativo) per avere la massima lunghezza

della scintilla. Invertendo invece le congiunzioni (punta negativa e disco positivo) la scintilla ha una lunghezza minore della precedente.

Nel primo caso (fig. 104) le scintille si dirigono verso il centro del disco, mentre nel secondo caso (fig. 105) vanno verso la periferia.

La scintilla può assumere diversi aspetti.



Fig. 104.



Fig. 105.

Quando la distanza esplosiva è breve, si ha un tratto rettilineo e luminoso. Con forti tensioni, la distanza esplosiva aumenta e passa prima a linea a zig-zag e poi a ramificazioni numerosissime da tutte le parti.

Aumentando la pressione, si deve aumentare anche la tensione per superare una stessa distanza, il contrario succede con una rarefazione.

La scintilla bianca e crepitante si nota quasi sempre nelle zone di contatto o di immediata vicinanza del disco, e contiene di solito i vapori del metallo costituente l'elettrodo.

Quando le scintille sono adescate, uno stesso rocchetto può superare una distanza esplosiva maggiore di quella che gli occorreva per vincere lo strato d'aria fredda, e questo lo si può dimostrare spostando a poco a poco gli elettrodi (meglio se uno di essi è provvisto del congegno della figura 103).

Per completare i dati costruttivi dei rocchetti di Ruhmkorff riportiamo la seguente tabella che dà la sezione, il diametro, il peso e la resistenza elettrica dei fili di rame.

TABELLA IV.

Diametro, Sezione e Peso dei fili di rame e loro resistenza elettrica

Diam. in mm.	Sezione mmq.	Peso per 100 m. Kg.	Lunghez. per 100 Kg m.	Resistenza per Km. a 0% e 100% conduc. ohm.	Resistenza per Km. a 15° e 98 % conduc. ohm
0.1	0.0079	0.0070	14306.0	2035.2	2196.5
0,2	0.0324	0.0280	3576.5	508.23	548.77
0.3	0.0707	0.0623	1579.6	226.02	244.10
0.4	0.1217	0.1118	894.13	127.14	132.31
0.5	0.1963	0.1745	572.24	81.367	87.876
0.6	0.2827	0.2516	397.39	56.504	61.024
0.7	0.3848	0.3425	291.96	41.514	44.835
0.8	0.5027	0.4474	238.53	31.784	34.327
0.9	0.6362	0.5662	176.62	25.111	27.122
1.0	0.7854	0.6990	143.06	20.342	21.969
1.1	0.9508	0.8458	118.23	16.811	18.156
1.2	1.1310	1.0066	99.348	14.126	15.176
1.3	1.3273	1.1813	84.651	12.036	12.999
1.4	1.5394	1.3700	79.990	10.378	11.208
1.5	1.6571	1.5728	63.582	9.0407	9.7639
1 6	1.9106	1.7895	55.888	7.9460	8.5817
1.7	2.2693	2.0201	48.502	7.0386	7.6017
1.8	2.5447	2.2643	44.155	6.2783	6.7806
1.9	2.8353	2.5234	39.629	5.9348	6.0856
2.0	3.1416	2.7960	35.765	5.0854	5.4922
2.1	3.4636	3.0826	32.440	4.6127	4.9516
2.2	3.8013	3.3832	29.558	4.2028	4.5390
2.3	4.1518	3.6977	27.044	3.8463	4.1540
2.4	4.5234	4.0263	24.867	3.5815	3.8140
2.5	4.9037	4.3688	22.890	3.2547	3.5151
2.6	5.3093	4.7253	21.163	3.0091	3.2498
2.7	5.7256	5.0957	19.624	2.7904	3.0136
2.8	6.1575	5.4802	18.248	2.5946	2.8022
2.9	6.6052	5.8786	17.011	2.4188	2.6123
3.0	7.0186	6.2910	15.896	2.2550	2.4354
3.1	7.5477	6.7174	14.887	2.1167	2.2810
3.2	8.0425	7.1578	13.971	1.9865	2.1454
3.3	8.5530	7.6112	13.137	1.8679	2.0173

Segue TABELLA IV

Diam. in mm.	Sezione mmq.	Peso per 100 m. Kg.	Lunghez. per 100 Kg m.	Resistenza per Km. a 0°/₀ e 100°/₀ conduc. ohm.	Resistenza per Km. a 15 e 98 % conduc. ohm
3.4	8.0794	8.0805	12.375	1.7597	1.9005
3.5	9.6211	8.562S	11.678	1.6605	1.7933
3.6	10.179	9.0591	11.039	1.5696	1.6952
3.7	10.752	9.5694	10.451	1.4859	1.6048
3.8	11.341	10 094	9.907	1.4087	1.5014
3.9	11.946	10.632	9.406	1.3374	1.4444
4.0	12.556	11.184	8.941	1.2724	1.3731
4.1	13.202	11.250	8.510	1.2101	1.3069
4.2	13.854	12.330	8.110	1.1532	1.2455
4.3	14,522	12.924	7.737	1.1001	1.1881
4.4	15.205	13.533	7.390	1.0507	1.1348
4.5	15.904	14.155	7.065	1.0045	1.0849
4.6	16.119	14.791	6.761	0.96133	1.0382
4.7	17.349	15.441	6.476	0.92085	0 99452
4.8	18.596	16.105	6.209	0.88289	0.95352
4.9	18.857	16.783	5.958	0.84720	0.91500
5.0	19.635	17.475	5.722	0.81367	0.87876
5.1	20.428	18.181	5.500	0.78207	0.84464
5.2	21.237	18.901	5.291	0.75055	0.81059
5.3	22.062	19.635	5.093	0.72417	0 78209
5.4	22.902	20.383	4.917	0.69759	0.7534
5.5	23.758	21.145	4.729	0.67245	0.72625
5.6	24.639	21.921	4 562	0.64865	0.70054
5.7	25.518	22.711	4.403	0 62809	0.67034
5.8	26.421	23.514	4.253	0.60489	0.65328
5.9	27.340	24.332	4.110	0.58436	0.63111
6.0	28.274	25.164	3.974	0.56505	0 61025

La tabella V dà le dimenioni dei rocchetti di Ruhmkorff funzionanti con pile od accumulatori.

TABELLA V.

Dimensioni dei Rocchetti di Ruhmkoff funzionanti con pile od accumulatori.

Lunghezza scintilla mm.	Nucleo in filo di ferro		Avvolgimento primario		Avvolgimento secondario			Condensatore		Numero sezioni secondarie
	Lunghez. cm.	Diametro mm.	Strati N.	Diam. filo mm.	Lunghezza m.	Diametro mm.	Peso gr.	Numero fogli	Dimensioni fogli cm.	
4	8	10	2	0,9	400	0,10	40	30	9 X 3,5	1
6	10	10	2	0,9	450	0,10	45	32	6 X 16	1
8	13	13	2	1	600	0,10	60	40	8 X 15	1
10	15	15	2	1	650	0,10	65	50	22 X 10	1
12	18	15	2	1	800	0,12	94	58	22 X 12	1
15	18	18	2	1	1700	0,12	200	65	15 X 12	1
20	20	20	2	1,2	3000	0,12	355	80	30 X 20	2
25	20	20	2	1,2	3800	0,12	450	88	30 X 24	2
30	22	20	2	1,2	4500	0,12	690	95	35 X 24	2
35	25	20	2	1,2	5000	0,12	790	100	40 X 24	2
40	28	25	2	1,4	5500	0,12	880	110	45 X 25	3
45	32	25	2	1,5	5900	0,12	908	130	45 X 30	3
50	36	25	2	1,5	6800	0,12	1045	160	50 X 30	3
60	36	25	2	1,5	7800	0,12	1200	200	55 X 32	3
70	38	28	4	1,6	8500	0,12	1308	210	55 X 35	3
80	42	30	4	1,6	9200	0,12	1415	220	55 X 40	4
90	42	30	4	1,8	10000	0,12	1540	230	60 X 50	4
100	45	30	4	1,8	12000	0,12	1845	250	60 X 55	4

Gli avvolgimenti secondari riguardanti le bobine della tabella V, sono progettati — in massima parte — in una sola sezione. I fili più adatti sono quelli di diametro $\frac{1}{10}$, $\frac{1,2}{10}$, $\frac{1,5}{10}$ di mm. Il 2/10 è già troppo grosso col rivestimento per poter essere usato. A parità di costruzione (si capisce con isolamento appropriato ai due casi) il rendimento di una bobina funzionante con pile non può nemmeno essere messo a confronto con quello di una bobina (costruita collo stesso materiale) funzionante con corrente stradale. Per esempio: la bobina che, secondo la Tabella V dà 50 mm. di scintilla con 6800 metri nel secondario, potrebbe dare 8 cm. e forse più con corrente stradale.

40. — *Distanze esplosive.*

Il concetto di distanza esplosiva non è un concetto assoluto, tanto che da esperimenti fatti da valenti fisici non si è mai riusciti a mettersi d'accordo.

In generale il problema che lo sperimentatore si prefiggeva era la determinazione della lunghezza delle scintille nell'aria in funzione della differenza di potenziale fra gli elettrodi, ora questa lunghezza — a parità di tensione esplosiva — dipende molto dalla forma dei reofori e dallo stato di ionizzazione dell'aria, per cui è difficilissimo porsi nelle stesse condizioni in due esperienze diverse.

Con tutto ciò è però possibile giudicare la *potenza* di un rocchetto d'induzione dalla lunghezza della scintilla che esso è capace di fornire fra gli estremi dell'avvolgimento secondario con spinterometro munito di elettrodi di data forma.

Uno degli sperimentatori più attendibili, fu il compianto ing. Jona il quale lavorò con correnti alternate a frequenza industriale, e trovò che le distanze esplosive così ottenute sono maggiori di quelle riguardanti le scariche dei rocchetti d'induzione.

La distanza esplosiva non dipende soltanto dalla differenza di potenziale che esiste fra gli elettrodi dello spinterometro, bensì dipende anche dalla *forma* della tensione stessa.

Diamo nelle tabelle che seguono i risultati che ci interessano.

TABELLA VI.

Distanze esplosive nell'aria fra punta e piano (Jona).

mm.	V	mm.	V	mm.	V	mm.	V
16	10000	37	20000	63	30000	124	44000
20	12500	43,5	22500	76	35000	137	47000
30	15500	49	24000	107	60500	158	50500

TABELLA VII.

Distanze esplosive nell'aria fra due punte con angolo di 90° (Jona).

mm.	V	mm.	V	mm.	V
10.5	6750	62	23000	155	42500
20.5	10100	98	28600	171	46500
29	11450	120	34400	180	49000
40	19800	142	37100	215	57000

Nella tabella che segue sono date invece le distanze esplosive rilevate nell' aria fra due sfere di 1 cm. di diametro.

TABELLA VIII.

Distanze esplosive fra sfere di 1 cm. di diametro.

Distanza in mm.	Diff. di potenziale in volt	Distanza in mm.	Diff. di potenziale in volt
0,1	806	60	48000
0,2	1422	70	52000
0,4	2352	80	54000
0,5	2747	90	55000
1	4584	100	56000
1,5	6342	110	59000
2	8022	120	60000
2,5	9630	130	61000
3	11195	140	62000
4	14286	150	64000
5	17200	160	65000
10	25000	170	66000
15	30000	180	67000
20	33000	190	68000
24	35000	200	69000
30	39000	210	70000
40	42000	230	71000
50	45000	250	72000

La tensione necessaria per ottenere la scintilla fra due sfere di dato diametro, aumenta col diametro delle spire — naturalmente a parità di intervallo esplosivo — ed in base ad esperienze di vario genere, F. W. Peek ha potuto trovare la formula mediante la quale si può ricavare la tensione necessaria per vincere un dato intervallo d'aria fra due sfere di dato diametro.

Consideriamo due sfere di ugual raggio R (fig. 106) poste alla distanza D, e supponiamo che tra di esse

esista una differenza di potenziale E; l'equazione del *gradiente* lungo la linea che unisce i due centi è:

$$g = \frac{E}{D} f$$

in cui:

g è il gradiente come sopra è detto, espresso in kV per cm.;

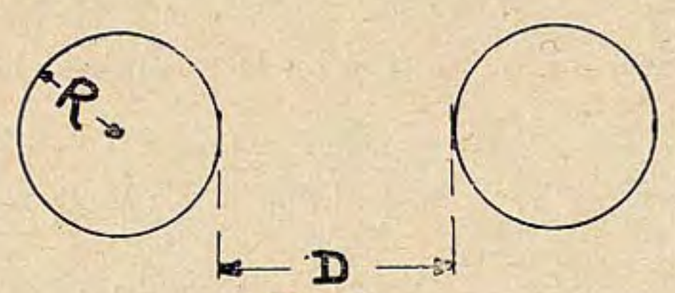


Fig. 106.

E è la differenza di potenziale fra le due sfere;
D è la minima distanza fra le due sfere;
f è un coefficiente che dipende dal valore del rapporto $\frac{R}{D}$, e precisamente è dato dall'espressione:

$$f = \frac{\frac{R}{D} + 1 + \sqrt{\left(\frac{R}{D} + 1\right)^2 + 8}}{4}$$

Nel caso che la tensione E aumenti talmente da squarciare l'aria interposta fra le sfere, la formula precedente potrebbe scriversi:

$$g_s = \frac{E_s}{D} f$$

in cui:

E_s è la tensione esplosiva in kV;

y_s è paragonabile alla resistenza apparente opposta dall'aria.

Per un dato raggio delle sfere usate, il valore di y_s è quasi costante fra i limiti:

$$D_1 = 0{,}54 \sqrt{R} \qquad e \qquad D_2 = 2\ R$$

e perciò fra questi limiti si ha la formula del gradiente medio:

$$g_s = 19{,}3 \left(1 + \frac{0.54}{\sqrt{R}}\right)$$

Per un dato sistema di sfere, si calcola il gradiente in base a questa formula, f con la formula precedente e quindi si hanno tutti gli elementi per ottenere E_s.

Esempio. — Troviamo la tensione esplosiva fra due sfere del diametro di 16 cm. poste alla distanza D = 5 cm.

La distanza data è contenuta nei limiti più sopra assegnati per l'applicabilità della formula del gradiente, e quindi si ottiene:

$$\frac{R}{D} = \frac{8}{5} = 1{,}6$$

$$f = \frac{1.6 + 1 + \sqrt{(1{,}6 + 1)^2 + 8}}{4} = 1{,}61$$

$$g_s = 19.3 \left(1 + \frac{0.54}{\sqrt{8}}\right)$$

$$E_s = \frac{D}{f}\ g_s = 19.3 \frac{5}{1{,}61}\left(1 + \frac{0{,}54}{\sqrt{8}}\right)$$

$$E_s = 120 \text{ kV}.$$

Avvertiamo che queste relazioni non sono esattamente valevoli nel caso dell' alta frequenza, però nei nostri casi possono essere ugualmente usate almeno come dati di prima approssimazione.

*
* *

La tensione alla quale incomincia a verificarsi la luminescenza in un tubo adatto, dipende solo dalla natura del gas, da quella del metallo costituente gli elettrodi e dalla forma del tubo, ed è indipendente dalla frequenza, e le esperienze di A. Palm mostrano che queste caratteristiche sono perfettamente seguite dai tubi riempiti con miscuglio di neon e di elio alla pressione di 5 a 15 mm. di mercurio e con elettrodi di alluminio.

Questa tensione di luminescenza è rigorosamente costante per una scala di frequenze variabili da 10 a 16^5 periodi per secondo.

La luminescenza esige per durare una piccola quantità di energia che deve esser a disposizione sotto forma potenziale, ed a questo scopo si utilizza un condensatore.

La Casa Hartmann e Braun ha costruito un simile apparecchio per la misura delle altissime tensioni seguendo il suesposto schema di montaggio.

La tensione V_x da misurare è applicata a due condensatori collegati in serie, di cui uno C' ha capacità fissa e l'altro ha capacità variabile ed è accoppiato in parallelo sul tubo al neon del quale si conosce la tensione V di luminescenza.

Se C'' ci indica la minima capacità che occorre assegnare al condensatore variabile per determinare la lu-

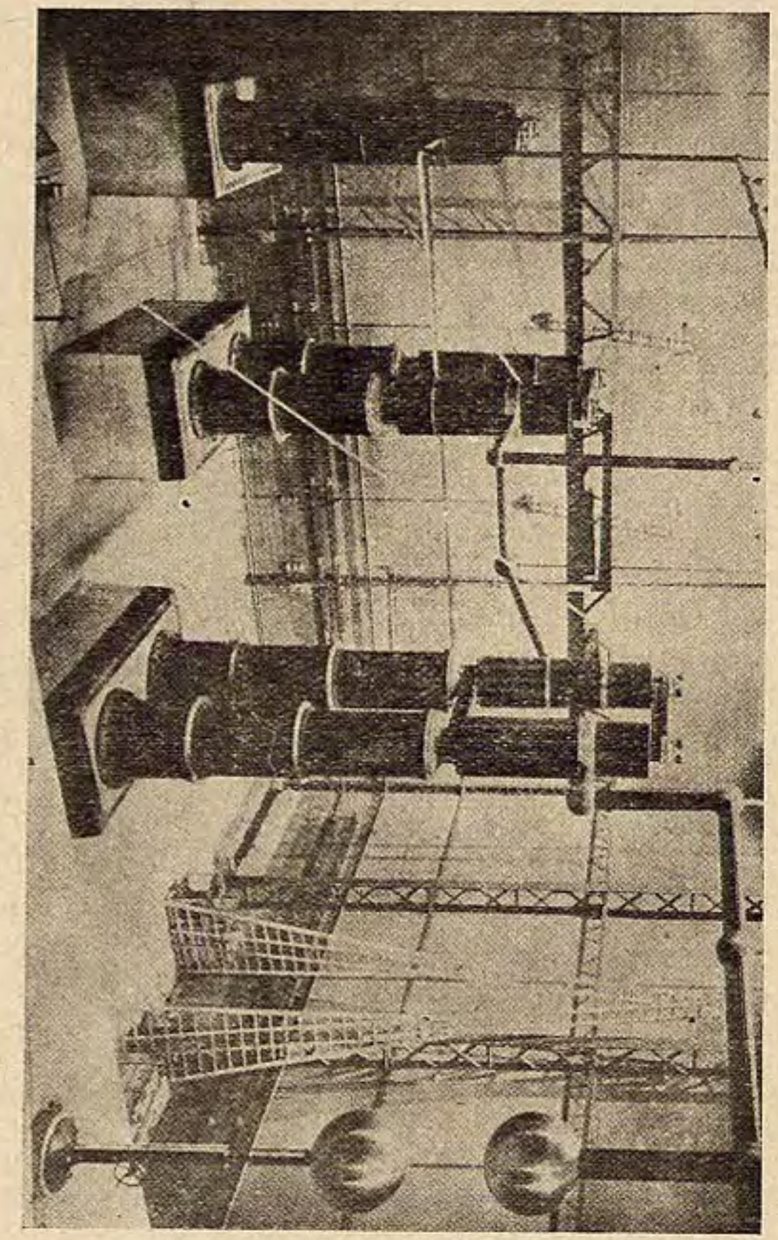


Fig. 107.

minescenza nel tubo, la tensione incognita avrà il valore:

$$V_x = V\left(\frac{C''}{C'} - 1\right)$$

*
* *

Daremo ora alcune fotografie dell'installazione elettrica del Laboratorio Ampère per prove ed esperienze alla tensione di 1.000.000 di volt, installato dalla Compagnie Générale d'Electro Céramique.

Il Laboratorio è un vasto salone di 36 × 20 m. ed alto 18 m., interamente metallico con pareti in mattoni forati e costituisce una specie di gabbia di Faraday.

Queste grandi dimensioni sono state particolarmente adottate per ridurre al minimo le influenze della terra sugli apparecchi da esperimentare.

L'apparecchiatura elettrica si compone di un gruppo convertitore, di tre trasformatori elevatori di tensione e di una balconata di comando e di regolazione degli apparecchi.

L' alimentazione è assicurata da corrente trifase a 5000 volt e 50 periodi, ridotta a 200 volt per essere usata.

Vediamo un poco dettagliatamente questi apparecchi.

Il gruppo convertitore è stato studiato per assicurare una frequenza costante con qualunque carico, ed una curva sinussoidale di tensione viene ottenuta quasi perfetta per l'alimentazione dei trasformatori.

Il motore del gruppo (200 volt, 50 periodi, 90 HP) è del tipo asíncrono trifase, e presenta tutti i vantaggi del motore sincrono senza avere l'inconveniente della difficoltà di avviarsi. L'avviamento è effettuato a ten-

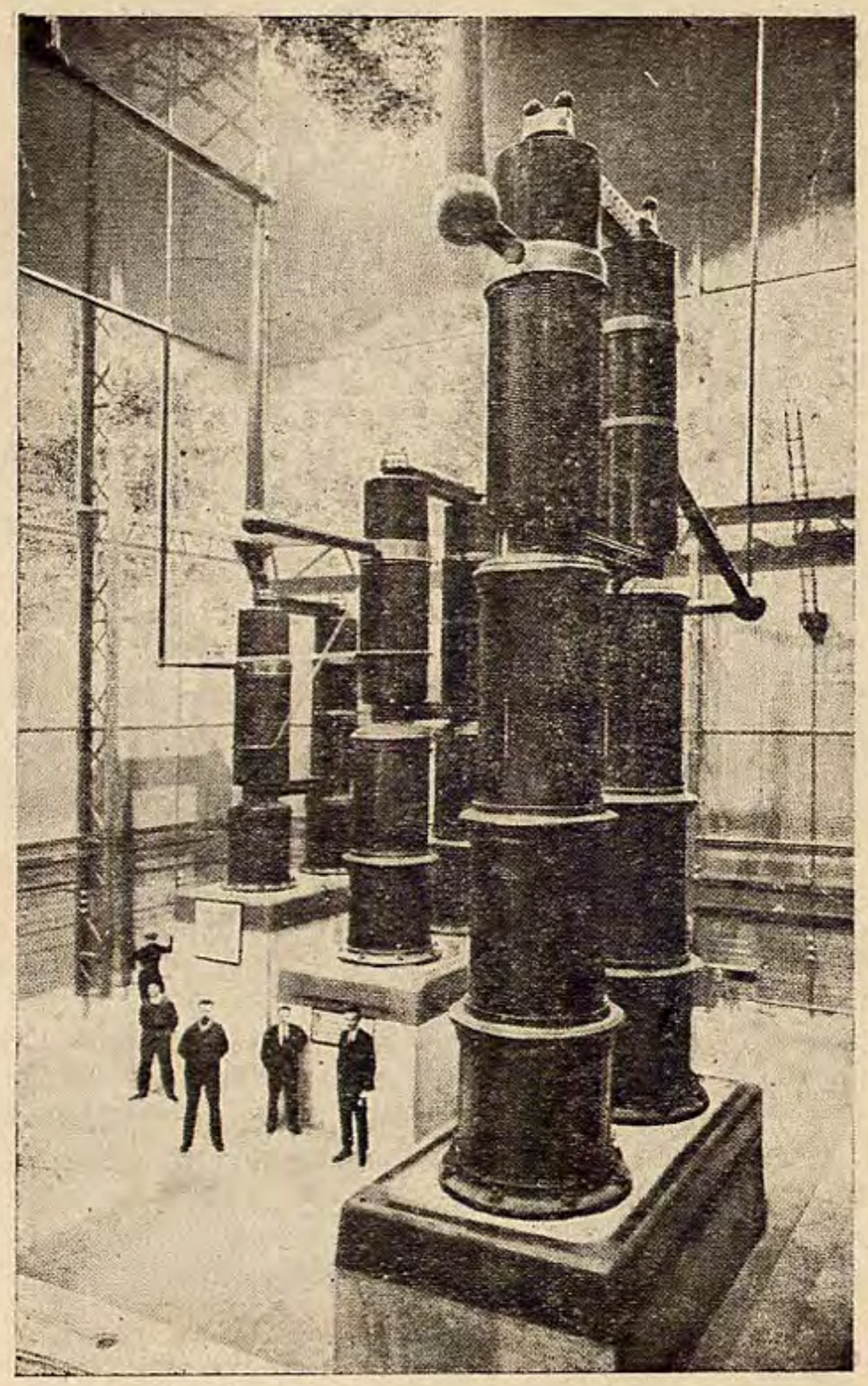


Fig. 108.

sione ridotta per mezzo di un auto-trasformatore, il rotore essendo posto in corto-circuito.

L' alternatore (8 poli, 500 volt, 50 periodi) è stato costruito in modo da assicurare una curva di tensione che differisca non più del 20 % dalla sinussoide, e per questo venne munito di speciali smorzatori di rame collocati fra le espansioni polari.

Le sei estremità degli avvolgimenti dello statore escono tutte quante, di modo che è possibile a volontà utilizzare una sola fase oppure eseguire le connessioni a stella ed a triangolo.

La tensione di 1.000.000 di volt non è conveniente ottenerla con un unico trasformatore di tipo normale, dato l'ingombro ed il peso considerevole ed anche la difficoltà di costruzione del morsetto di uscita dell'alta tensione. Si pensò quindi di suddividere la tensione totale in tre apparecchi, e si scelse il tipo Haefely con isolamento a aria che presenta su quelli ad olio i seguenti vantaggi: peso molto ridotto, soppressione della sfera di uscita, debole capacità propria, avvolgimenti ad alta tensione completamente visibili e perciò comodità di sorveglianza.

La figura 107 dà la vista d'insieme dell'installazione coi tre apparecchi e lo spinterometro formato da due sfere di 1 metro di diametro.

Questi tre apparecchi (autotrasformatori) sono assolutamente identici come si vede in figura 108 e solamente i basamenti hanno altezze crescenti colle tensioni che devono sopportare. Essi hanno la potenza di 160 kVA e rapporto di trasformazione 500/375.000 volt, e sono muniti di avvolgimenti di compensazione per ridurre i disperdimenti.

I trasformatori possono essere usati individualmente e dare la potenza di 160 kVA alla tensione di 375.000

volt tra un polo e la terra, oppure possono essere utilizzati secondo uno dei due schemi seguenti:

Il primo trasformatore è alimentato a 500 volt tra un polo e la terra (fig. 109) ed il secondo è eccitato con qualche bobina secondaria del primo che ha fra i

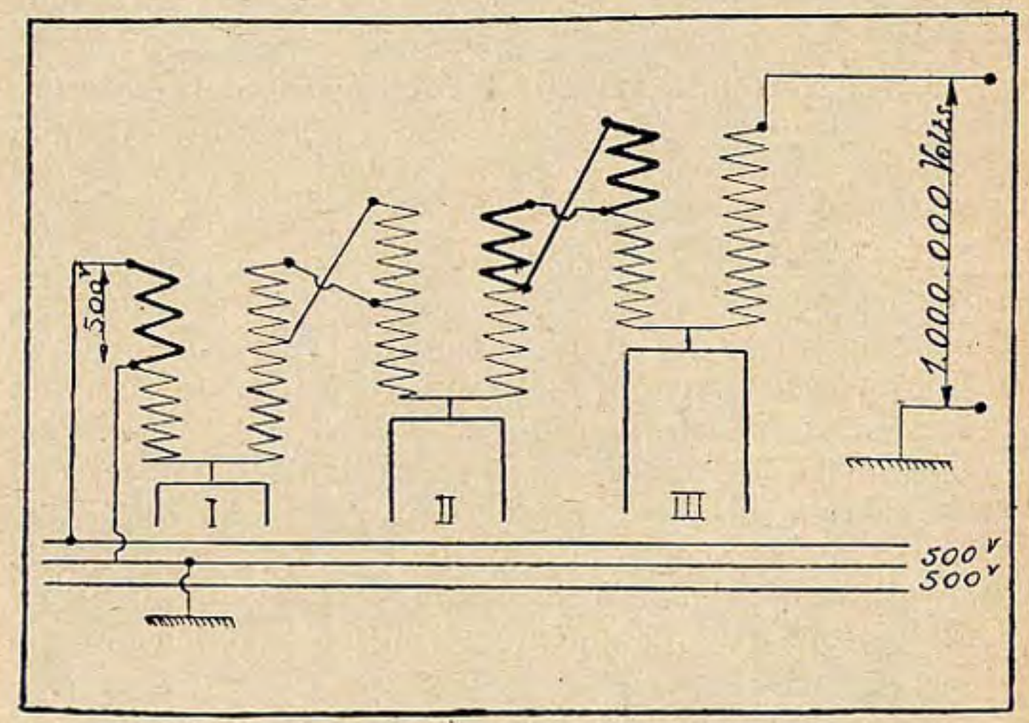


Fig. 109.

suoi capi le tensioni 250.000 e 375.000 votl; il terzo è eccitato connettendo le estremità del suo primario con quelle del primario del secondo, con una differenza di tensione di 500 volt, ma ad una tensione di 625.000 volt rispetto alla terra.

All'uscita si giunge perciò ad avere 1.000.000 di volt tra il polo dell'ultimo trasformatore e la terra.

Eccitando invece come indica lo schema 110 il primario di ciascun trasformatore con una fase dell'alter-

natore, si ottiene alle tre estremità secondarie una corrente trifase a 375.000 volt rispetto alla terra ma a 650.000 volt tra di esse.

Tutti gli organi di comando e gli apparecchi di misura sono collegati sopra una balconata posta in modo che

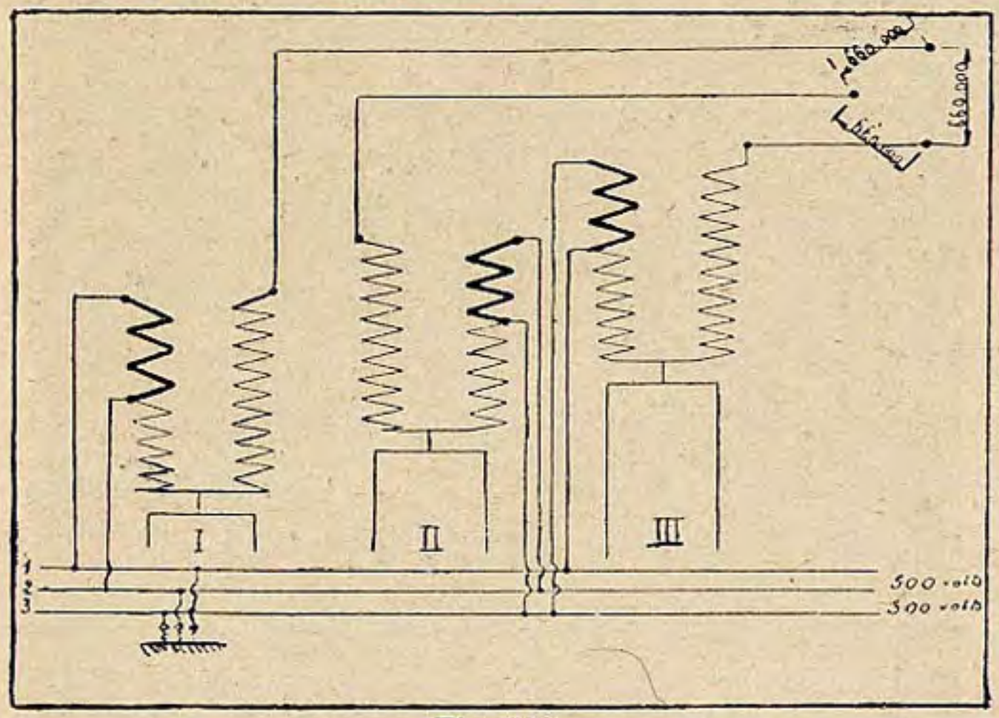


Fig. 110.

l'operatore possa agevolmente sorvegliare l'andamento delle esperienze sopra gli isolatori che si stanno provando nonchè il funzionamento del gruppo convertitore e dei trasformatori.

I pannelli del quadro sono tre: il primo comprende un voltmetro, un amperometro ed il volantino del reostato di eccitazione del motore; il secondo porta un voltmetro ed un amperometro su ciascun circuito di eccitazione ed il volante del reostato dell'eccitatrice, e finalmente il terzo comprende gli apparecchi relativi

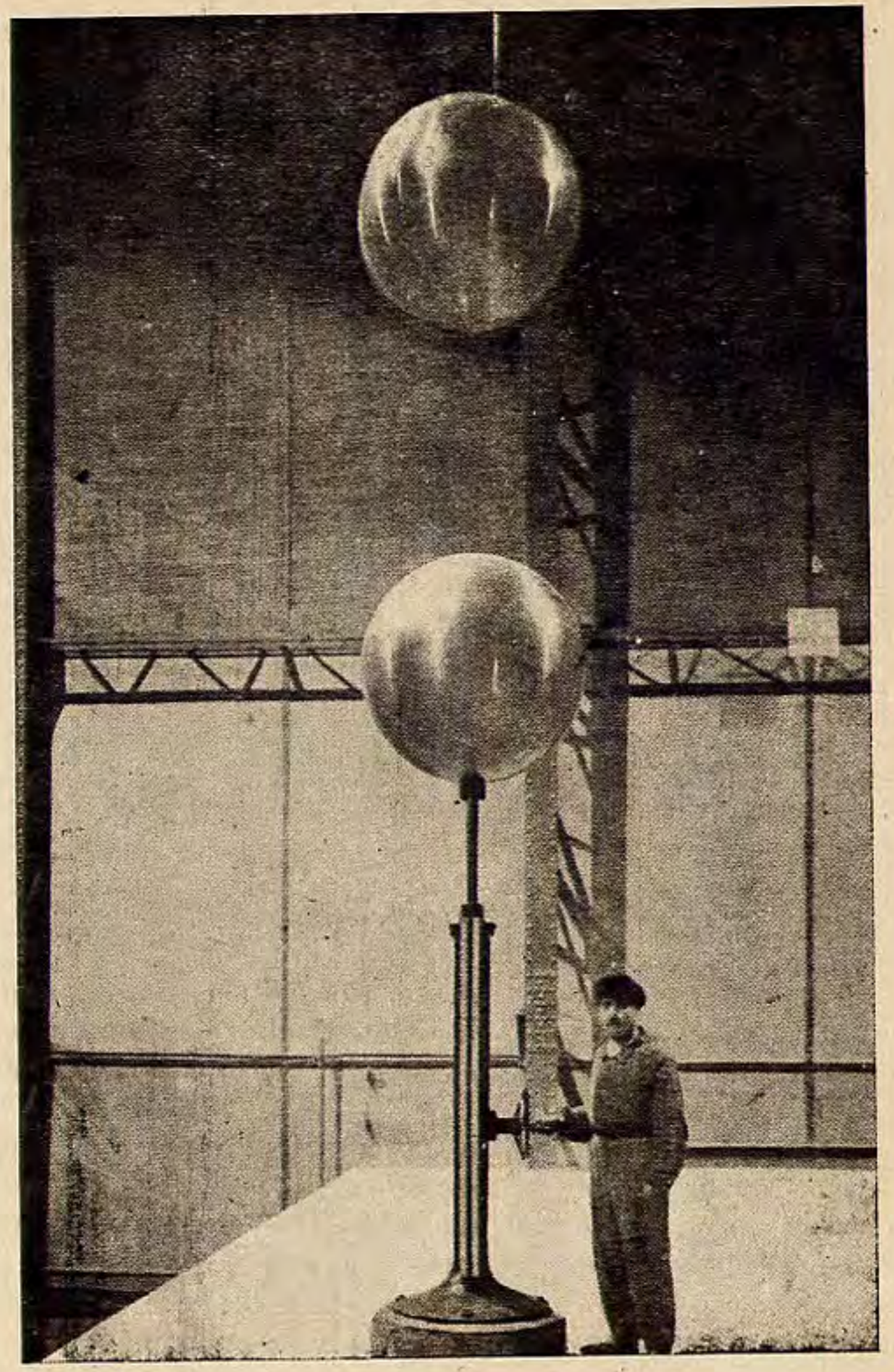


Fig. 111.

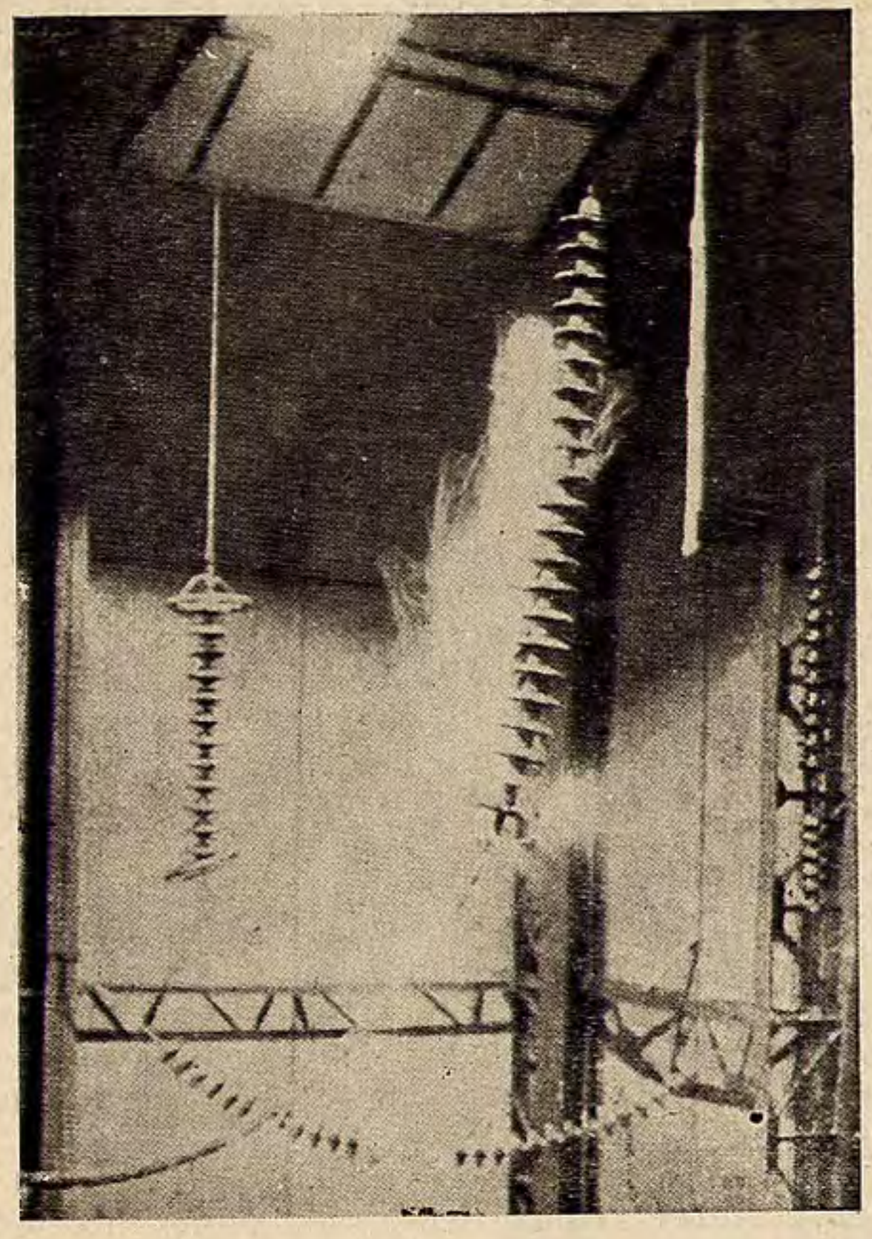


Fig. 112.

all'alternatore, vale a dire due voltmetri a sensibilità differente (300 + 600 V.) con commutatore che permette di eseguire le misure fra le varie fasi, tre amperometri a sensibilità pure diversa (uno sopra ogni fase), un frequenziometro ed un wattmetro.

La misura delle tensioni di perforazione delle porcellane è basata sul metodo seguente:

Si determina sperimentalmente il rapporto di trasformazione del sistema conoscendo i termini che sono dati rispettivamente dalla tensione secondaria e da quella primaria letta sul voltmetro. Si introduce quindi nel circuito l'isolatore da provare, e dal valore della tensione primaria si risale a quella dell'arco che le corrisponde.

Questo metodo però non è scevro di inconvenienti, poichè il rapporto di trasformazione è funzione della capacità (variabile) dei condensatori che sono in circuito, ed il suo valore viene modificato dall'introduzione della porcellana da esaminare; di più si deve tener conto delle condizioni atmosferiche in quell'istante. Infine la tensione secondaria è di solito determinata per mezzo della curva di Peek che dà relazione tra la tensione e la distanza di formazione dell'arco prodotto tra due sfere di un dato diametro, che qui sono di 1 m. e regolabili in distanza mediante un volantino ed una vite che muovono la sfera (fig. 111). Ora la formula di Peek vale solamente per tensioni medie, e non è atta a misure di extrapolazione per tensioni elevatissime come in questo caso.

Per ovviare a questi inconvenienti, si è escogitato il sistema semplice di basarsi sopra un dispositivo di misura assoluta della tensione mediante la determinazione della corrente di carica di un condensatore di capacità nota. L'intensità di questa corrente viene letta sopra un

amperometro collocato a portata dell'operatore, e direttamente graduato in kilovolt.

Il Laboratorio Ampère venne eretto collo scopo di studiare e perfezionare il materiale elettrico destinato alle applicazioni dell'alta tensione, ed in modo particolare riguarda gli isolatori in porcellana.

Le prove da eseguire riguardano le scariche superficiali a secco e sotto pioggia, e quelle di perforazione nell'olio.

Le prime vengono eseguite nel Laboratorio stesso sospendendo la catena in esame e collegando la sua estremità inferiore col conduttore ad alta tensione (fig. 112). Le prove di perforazione in olio si fanno immergendo i pezzi in un recipiente che contiene 25 tonnellate di olio; la parte inferiore di questo cassone è cilindrica e quella superiore è tronco-conica con un diametro di 5 metri, il che permette di raggiungere i 150.000 volt. Un serpentino, nel quale circola del vapore a bassa pressione, eleva uniformemente la temperatura dell'olio fino a circa 90° in modo da portare i pezzi presso a poco nelle loro condizioni di reale funzionamento.

Le prove sotto pioggia vengono condotte all'esterno del laboratorio.

Diamo nella figura 113 la fotografia di una scintilla fra punte alla tensione di 1.000.000 di volt. La sua lunghezza è di m. 2,50.

41. — *Costruzione di rocchetti di Ruhmkorff.*

Prima di cominciare questo paragrafo, diamo un esempio pratico di progetto di un rocchetto, per insegnare come si possono ottenere i dati di base per la costruzione.

Avvertiamo però che i numeri che si ricavano servono

eclusivamente di base e quindi devono essere considerati dal punto di vista di un primo orientamento prima di accingersi alla costruzione.

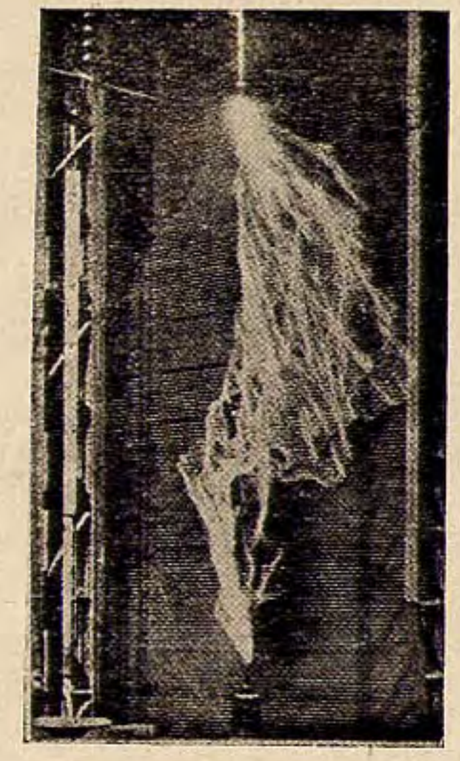


Fig. 113.

Supponiamo di voler costruire un rocchetto capace di dare 10 cm. di scintilla fra punta e disco, e funzionante con corrente alternata a 160 volt e 10 ampère.

Poniamo come base un nucleo lungo 30 cm. e del diametro di cm. 3. Faremo l'avvolgimento primario con 2 strati separati di filo del diametro di 2 mm., di modo che calcolando lo spessore delle coperture di cotone si possono calcolare 100 spire per ogni strato.

Dalla tabella VI vediamo che per ottenere la scintilla

della lunghezza prefissata occorre una tensione fra gli estremi del secondario di circa 45.000 Volt.

I dati conosciuti sono dunque:

$N = 100$ (calcolando un solo strato di filo)
$I_1 = 10$ ampere
$E_1 = 160$ volt

lunghezza del nucleo = 30 cm.
diametro del nucleo = 3 cm.

L'intensità del campo magnetico nell'interno del solenoide costituito dall'avvolgimento primario è:

$$H = \frac{0.4\,\pi\,N\,I_1}{l} = \frac{0{,}4\,\pi \times 100 \times 10}{30} = 42 \text{ gauss}$$

e ponendo, in base alla tabella I:

$$\mu = 350$$

il flusso nell'interno del nucleo di ferro sarà:

$$\Phi = \mu\,H\,S = 350 \times 42\,\frac{\pi \times 3^2}{4} = 105000 \text{ unità assolute}$$

Ponendo per il Wehnelt una media di 15000 interruzioni al minuto secondo, la f. e. m. indotta in una spira secondaria avrà il valore:

$$e = \frac{d\,\Phi}{d\,t}\,10^{-8} = \frac{105000}{\frac{1}{15000}}\,10^{-8} = 1.57 \text{ Volt}$$

e perciò l'avvolgimento secondario dovrà avere:

$$n = \frac{45000}{1{,}57} = 30000 \text{ spire circa}$$

che potranno essere avvolte in 2 sezioni di 15.000 spire l'una.

Facendo le sezioni lunghe 14 cm. ciascuna, potremo avvolgere i primi strati a cm. 1,5 dalle estremità e continuare a diminuire la lunghezza fino ad esaurimento

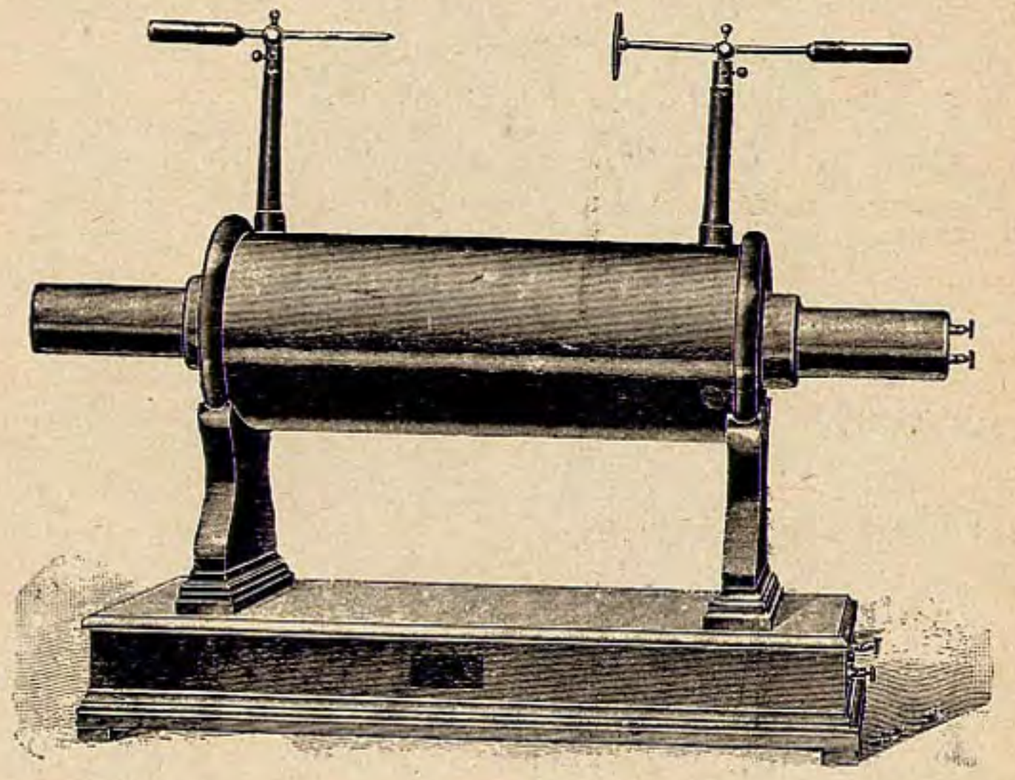


Fig. 114.

del filo. Calcolando una media di 300 spire per strato (filo da $\frac{1,5}{10}$ scoperto : $\frac{2,4}{10}$ coperto di seta), si dovranno avvolgere 50 strati per bobina. Vediamo ora quanti metri di filo occorreranno. Calcolando per le spire più piccole un diametro di cm. 5 otteniamo uno sviluppo circolare di cm. 15, e calcolando per quelle

massime d = 11 cm., si ha uno sviluppo di cm. 35. La spira media avrà perciò una lunghezza di cm. 25. Il filo occorrente avrà una lunghezza di: m. 0,25 × 30000 = = 7500 m.

A costruzione finita, si può montare l' apparecchio sopra una base isolante, avvolgendo il rocchetto con un foglio di ebanite. L'aspetto esteriore è rappresentato

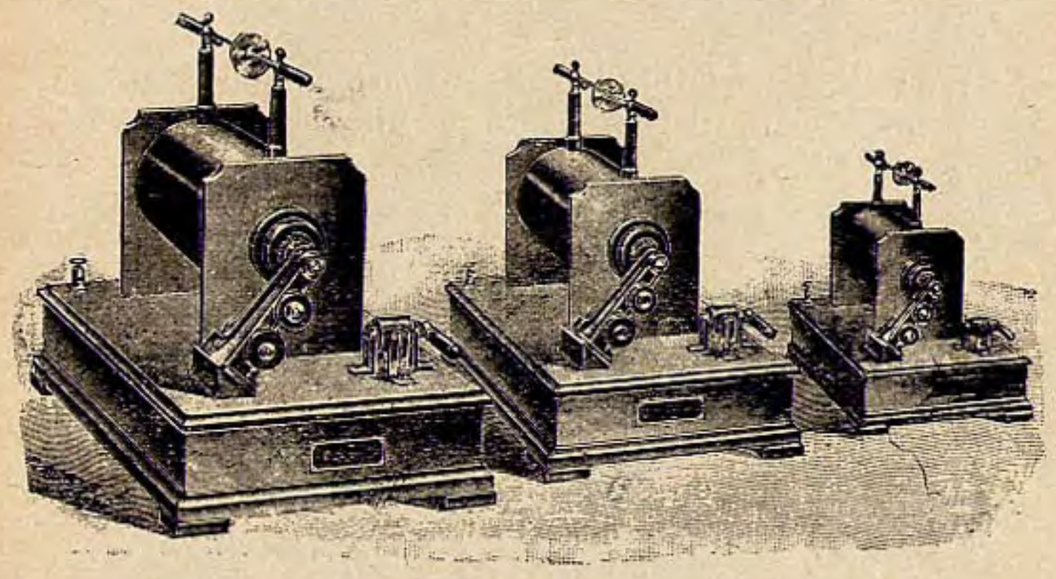


Fig. 115.

dalla figura 114. La figura 115 indica invece una serie di bobine con interruttore al platino, munite di condensatore, spinterometro e inversore di corrente.

Il calcolo precedente può essere condotto con un criterio diverso, e precisamente determinando il coefficiente M di mutua induzione fra i due circuiti primario e secondario, che sappiamo avere il valore (vedi paragrafo 11):

$$M = \frac{4 \pi N n}{\frac{l}{\mu S}}$$

ossia nel nostro caso:

$$M = \frac{4\pi \times 100 \times 30.000}{\dfrac{30}{\pi \times 9}} = 3.15 \times 10^9 \text{ u. a.} = 3.15 \text{ henry}$$
$$350 \times \frac{\pi \times 9}{4}$$

Tenendo ora conto di quanto detto al paragrafo 11, ossia che a causa delle perdite nel flusso contenuto non si ha mai:

$$M = \sqrt{L\,l}$$

porremo per sicurezza:

$$M = 2.7 \text{ henry}$$

con che si otterrà:

$$\Phi = M\, I_1 \frac{10^9}{10} = \frac{2.7 \times 10 \times 10^9}{10} = 2.7 \times 10^9 \text{ u. a.}$$

La f. e. m. secondaria indotta risulterà:

$$E_2 = \frac{d\,\Phi}{d\,t} 10^{-8} = \frac{2{,}7 \times 10^9}{\dfrac{1}{1500}} 10^{-8} = 40500 \text{ Volt}$$

Questo secondo metodo è meno approssimato del precedente a causa dell'incertezza nella valutazione delle perdite che possono influire sulla diminuzione del valore del coefficiente M, e di più richiede parecchi tentativi poichè occorre valutare almeno approssimativa-

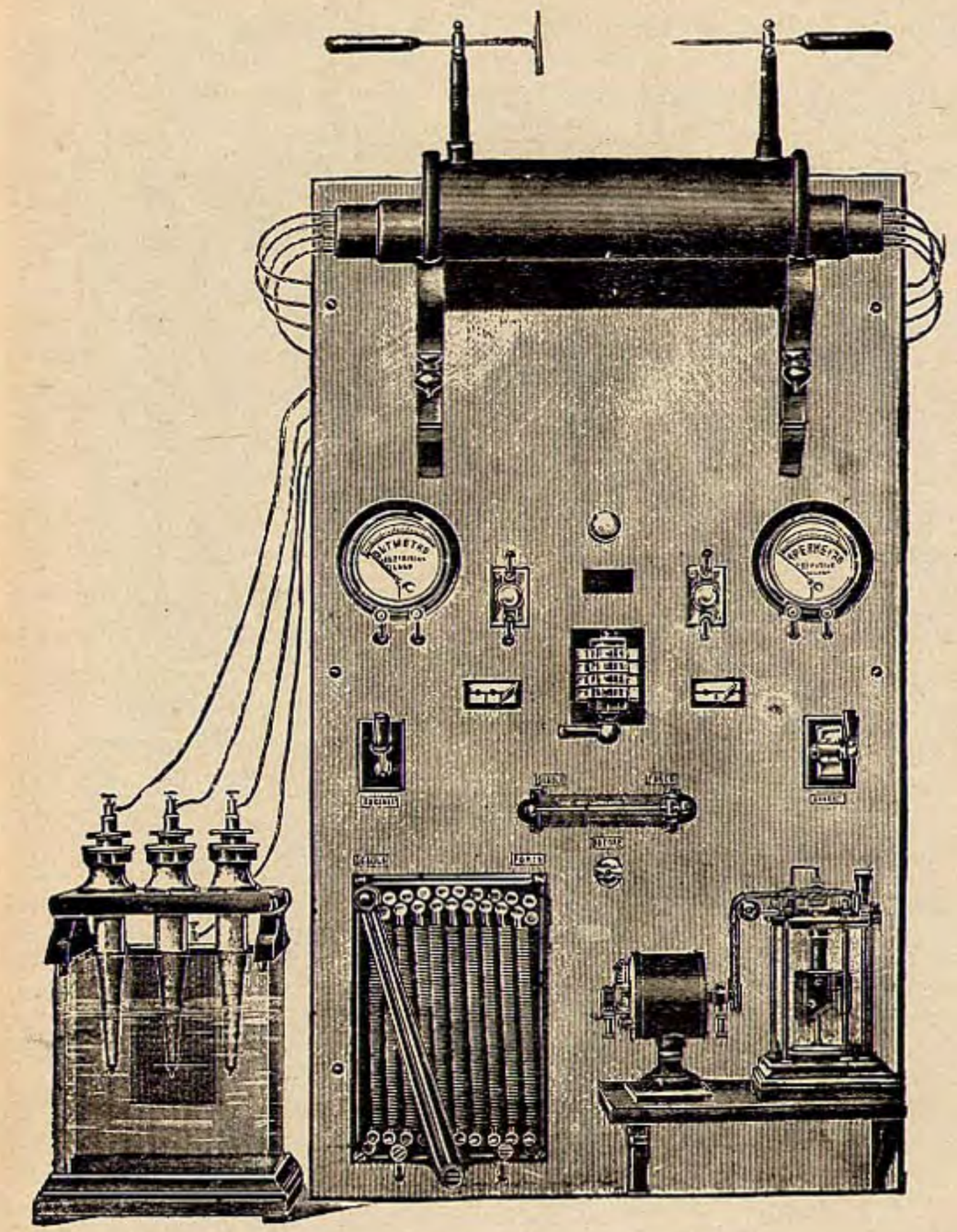


Fig. 116.

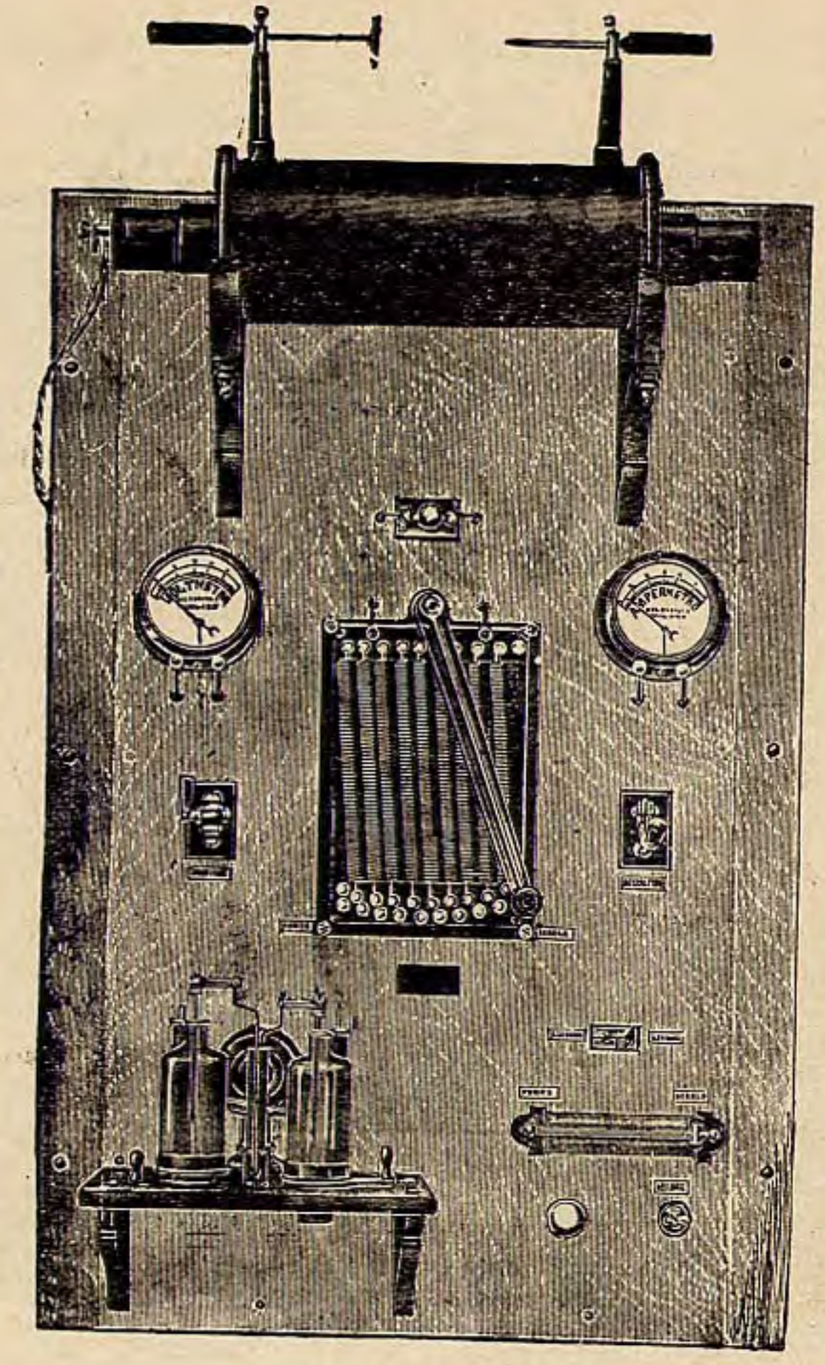


Fig. 117.

mente quasi tutte le quantità (essenziali il numero delle spire secondarie) che normalmente sono incognite.

La figura 116 rappresenta un impianto completo per il funzionamento di un rocchetto. Abbiamo un Wehnelt regolabile con resistenza, interruttore a turbina pure regolabile mediante reostato, voltmetro, amperometro e interruttori per i vari organi. (Vedi anche fig. 117).

Le norme pratiche e teoriche date fino a questo punto permettono, al dilettante che le conosca perfettamente, la costruzione dei rocchetti di Ruhmkorff senza tema di cattivo esito. Come guida daremo alcuni esempi pratici con valori numerici. Per progettare rocchetti di caratteristiche non comprese in queste nozioni, si possono avere i numeri base eseguendo il calcolo analogo a quello riportato nel processo precedente, avendo però l'avvertenza di non attenervisi scrupolosamente, ma variarli entro limiti pessimistici.

Rocchetti funzionanti con pile od accumulatori. — Lunghezza massima di scintilla mm. 80. Costruiremo il nucleo della lunghezza di cm. 42 e del diametro di mm. 30. Da un foglio di cartoncino *bristol*, ritaglieremo un rettangolo delle dimensioni di cm. 42 × 25 che, arrotolato due volte su sè stesso e bene incollato ci darà un tubo delle dimensioni occorrentici.

Da una matassa di filo di ferro di 1 mm. di diametro ritaglieremo tanti pezzi lunghi 42 cm., e quando si giudica di averne un numero sufficiente per riempire completamente il tubo, si ricuociono, si raddrizzano e si mettono nel tubo con gomma lacca. Dopo un attento collaudo delle proprietà magnetiche si può dire che il nucleo sia costruito.

Trattandosi di funzionamento con pile, non si farà alcuna autoinduzione variabile. Sul nucleo verranno avvolti 4 strati di filo di rame isolato, del diametro di mm. 1,3. Il tubo isolante lo si formerà con foglietti di

carta paraffinata arrotolati su sè stessi fino a dare uno spessore di 6 mm.

Il secondario si comporrà di 9200 metri di filo da 1,5/10 di mm. (peso gr. 1415), diviso in 5 sezioni lunghe ciascuna 7 cm. Ciascuna sezione comporterà quindi 1840 metri (peso gr. 283). Gli strati avranno tutti una lunghezza costante di 5 cm., lasciando così un margine di 1 cm. per parte. Fra uno strato e l'altro si avvolgeranno 2 giri di carta. Le varie sezioni saranno avvolte

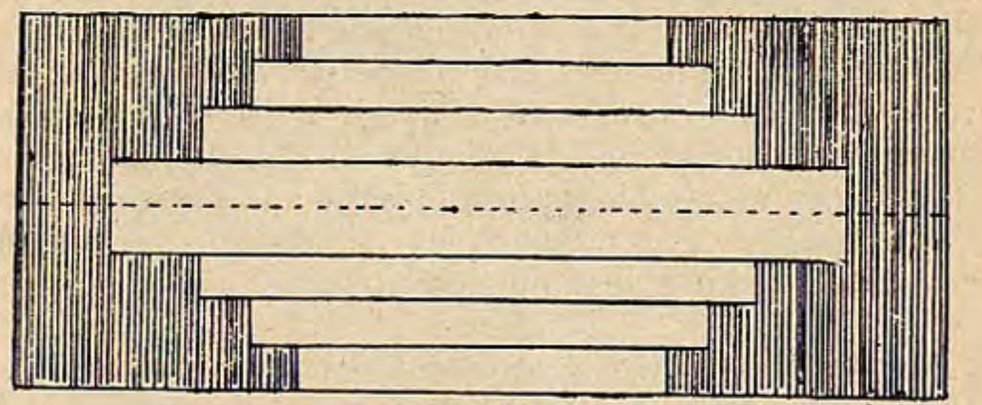


Fig. 118.

una in senso contrario all'altra, ed il collegamento è rappresentato dalla figura 94.

Ad avvolgimenti finiti, il secondario verrà collocato in un bagno di paraffina.

La bobina è così finita. Si può lasciarla allo scoperto, oppure metterla in una cassetta di legno ben lucidata, delle dimensioni interne di circa cm. $40 \times 20 \times 20$.

Il nucleo verrà introdotto nei fori fatti sui fianchi, in modo che sporga all'infuori da una parte per qualche centimetro. L'intera cassetta verrà riempita con paraffina fusa ma non bollente, perchè il suo ufficio non è di penetrare nei piccolissimi fori, bensì d'otturare le cavità principali.

Lo spinterometro sarà collocato superiormente sopra due colonnine di ebanite e i due capi del primario comunicheranno con due serrafili posti sui fianchi o sulla base. L'interruttore può essere quello al platino oppure quello Foucault (questo ultimo tipo è più consigliabile, specialmente se è azionato da motore elettrico). Fra i contatti attraversati dalla scintilla di estracorrente, si deve derivare un condensatore formato da 220 fogli di stagnola delle dimensioni di cm. 55×40, separati da altrettanti fogli di carta paraffinata di cm. 60×50. La base della bobina può essere costruita a scatola e mettervi il condensatore come alla figura 63. I due serrafili comunicano colle due armature e la scatola viene riempita di paraffina fusa.

La corrente primaria sarà a basso potenziale (10-15 volt) ma ad alta intensità.

Il secondario di questo rocchetto può essere costruito in un altro modo, e precisamente con 4 sezioni lunghe ciascuna 9 cm. Adotteremo in questo caso il sistema degli strati a lunghezza variabile.

Cominceremo col costruire le *anime* delle sezioni tagliando dei rettangoli di cartone ed incollandoli su sè stessi fino ad ottenere un tubo delle volute dimensioni. Non faremo le testate, preferendo il sistema della figura 92.

Il tubo isolante sarà come quello del tipo precedente, però se si ha a disposizione dell'ebanite o del vetro, lo si può ridurre allo spessore di 4 o 5 mm. Ogni sezione avrà quindi 2300 metri di filo (peso gr. 385).

I primi dieci strati si faranno lunghi 8 cm. e per ogni strato si interporranno 5 giri di carta. I dieci successivi si ridurranno a 6 cm. con 4 giri di carta. Gli altri 10 a 5 cm. con 3 giri ed i rimanenti a 4 cm. con 2 giri di carta. La figura 118 indica le lunghezze e la disposizione degli strati.

Non sapremmo dire quale dei due metodi di avvolgimento si può preferire. Per rendimento siamo alla pari in tutti e due. Gli stabilimenti specializzati in queste costruzioni, adottano il primo sistema (con tante sezioni) per rocchetti di grande potenza e il secondo metodo per rocchetti da dilettanti fino a 5-6 cm. di

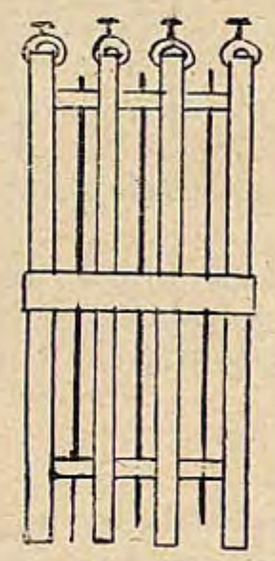


Fig. 119.

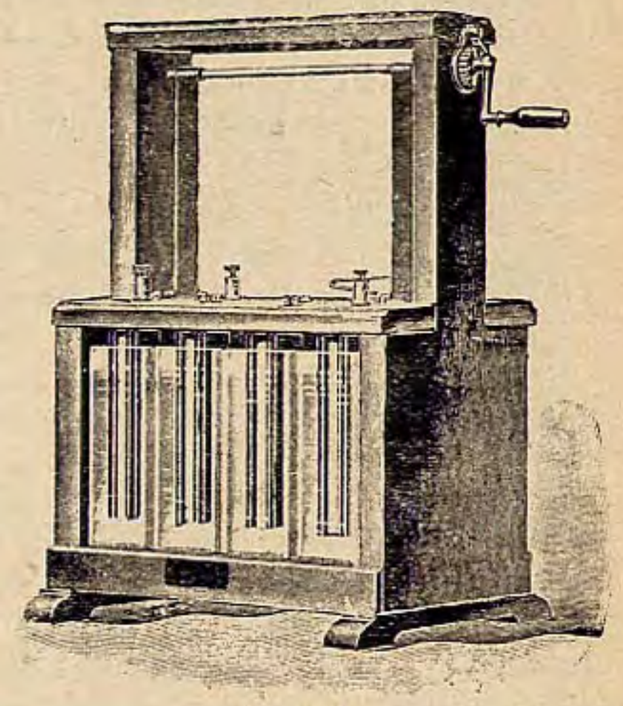


Fig. 120.

scintilla. Nel nostro caso, è consigliabile il primo modo, però si possono ottenere gli stessi risultati anche col secondo. Dal lato delle riparazioni, col primo metodo si devono svolgere ed avvolgere solo 1840 m., mentre col secondo 2300, ciò che importa maggior lavoro e maggior consumo di materiale.

Costruzione di una batteria di pile ad alta intensità.

— Per far funzionare un rocchetto di 8 cm. di scintilla, occorre avere a disposizione anche una adeguata

intensità di corrente che non si può ottenere con qualsiasi tipo di pila. Adatte sono quelle del tipo a bicromato di potassa. Potremo costruire una batteria seguendo le indicazioni che diamo qui appresso.

Si fabbricano 4 vasi di legno delle dimensioni interne di cm. 18 × 10 × 6 e si impermeabilizzano con un bagno di paraffina bollente introdotta nelle connessure e con uno strato di vernice di bitume. Dopo seccato, il vaso sarà a perfetta tenuta. Le congiunzioni fra le assicelle dovrebbero — a rigore — essere fatte ad incastro, ma con una buona impermeabilizzazione possono anche essere fatte con semplici viti mordenti.

Si può anche costruire una cassa unica delle dimensioni interne di cm. 46 × 18 × 6 e tramezzarla con 3 pareti di legno in modo d'avere le 4 cavità necessarie. Si prendano ora 16 lastre di carbone di storta di mm. 160 × 40 × 10 e 12 lastre di zinco di mm. 160 × 40 × 5 bene *amalgamate*. Ai carboni si fisserà un morsetto di ottone, ed agli zinchi si salderà una coda di rame.

Ora, come insegna la figura 119, si alterna una lastra di carbone con una di zinco in modo da averne 4 delle prime e 3 delle seconde. Fra una lastra e l'altra, si metteranno due striscie trasversali di legno paraffinato dello spessore di 1 cm. Tutto l'insieme verrà solidamente fermato con un elastico. Analogamente si procede per gli altri carboni e zinchi, in modo da ottenere 4 sistemi di elettrodi, che, messi ciascuno in un vaso ci forniranno 4 pile. Si riuniscono insieme tutti i carboni di un medesimo gruppo fra di loro e gli zinchi pure fra di loro, e i due capi per elemento così ottenuti, si riuniscono in serie.

Si avrà in questo modo una corrente di 8 volt e circa 15-20 ampere. L'elettrolito ha la seguente composizione:

acqua	litri	1
bicromato di potassio	gr.	150
acido solforico	gr.	200
bisolfato di mercurio	gr.	15

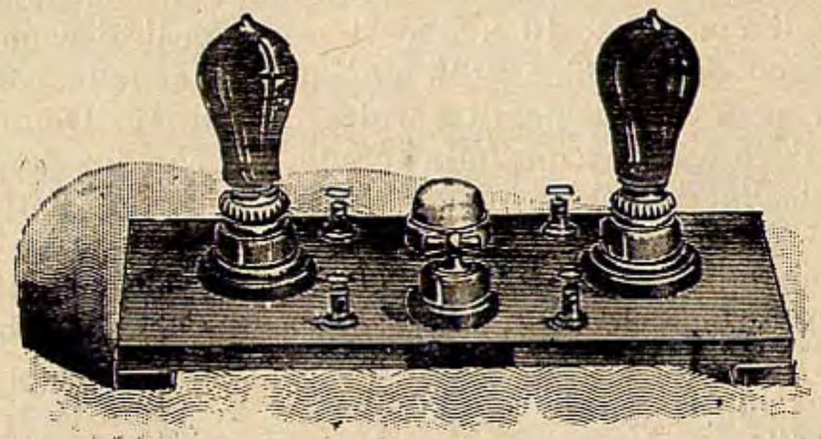


Fig. 121.

Man mano che il liquido si esaurisce, l'intensità diminuisce ,pur restando sufficiente per le esperienze che si vogliono eseguire.

Ogni tanto, conviene scuotere il liquido, per rinnovare quello che, trovandosi fra gli elettrodi, si polarizza rapidamente.

Quando la pila non funziona, è bene sollevare dal liquido gli elettrodi. L'insieme della pila completa, è rappresentato dalla figura 120.

Funzionamento con accumulatori. — Pure comodo è il funzionamento con accumulatori. Basta una batteria di 4 elementi della capacità di 60 ampere-ora uniti in serie, per avere una tensione di 8 volt e 12-15 ampere, essendo utilizzabile una scarica uguale a 1/5 della capacità totale della batteria sufficiente per alimentare il rocchetto per 5 ore. A parte la spesa d'impianto e quella per l'acquisto degli accumulatori, questo

è il sistema migliore per chi dispone di corrente stradale a bassa intensità. Infatti, questa batteria potrebbe essere comodamente caricata utilizzando la corrente con-

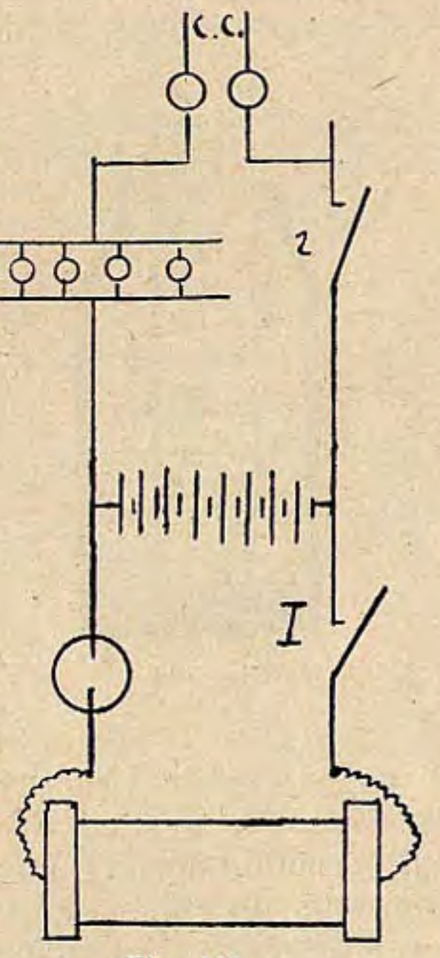


Fig. 122.

tinua stradale con una intensità di soli 2 ampere. In tal caso essendo 60 amp.-ora la capacità della intera batteria, la carica avverrebbe dopo 30 ore. Il dispositivo di carica è rappresentato dalla figura 124. La corrente continua a 120 volt, attraversa le due valvole, quindi una resistenza formata da diverse lampade in

parallelo (fig. 122) che lasciano passare l'intensità voluta (nel nostro caso 2 ampere) e vanno quindi alla batteria. Di notte, si apre l'interruttore I e la corrente carica la batteria, quando invece la batteria deve fun-



Fig. 123.

zionare, si apre *i* e si chiude I mettendo in azione la bobina.

La carica degli accumulatori si può eseguire anche con corrente alternata. In tal caso, mediante un convertitore, la si raddrizza e si opera poi come nel caso precedente. Un ottimo convertitore è la *valvola elettrolitica*, formata (figura 123) da 4 vasi di vetro riempiti d'una soluzione satura di bicarbonato di soda nella quale pescano due lastre, di piombo e di alluminio, fissate ad un coperchio di legno che chiude il vaso, munito però di uno sfiatatoio per i gas che si liberano. Per correnti di 10 ampere, occorrono vasi da 4-5 litri. Le connessioni coi due circuiti sono indicate dalla fi-

gura 124. Sappiamo che la corrente continua viene riconosciuta mediante la carta di tornasole o quella del rosso Congo .

Altro tipo di raddrizzatore facilmente costruibile da un dilettante, è quello meccanico, rappresentato dalla

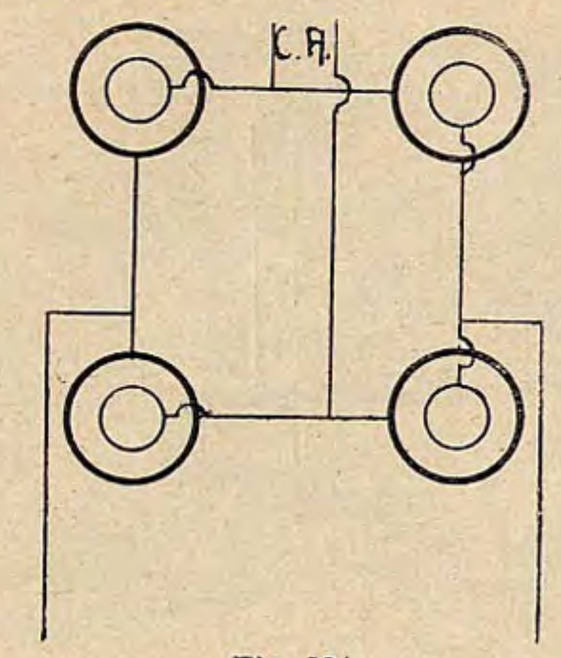


Fig. 124.

figura 125. Consta di un rocchetto R messo fra i poli N, S di una calamita. Il foro del rocchetto è abbastanza ampio da permettere il passaggio ad una lastrina di ferro dolce portata da una lamina elastica di acciaio fissata alle due estremità su due supporti mediante viti. Un contatto *c* di platino è dirimpetto ad una vite V regolabile. Il filo sottile che costituisce l'avvolgimento del rocchetto R, si immette in un autotrasformatore A che riduce la tensione della corrente stradale, al potenziale che si desidera (nel nostro caso, per la carica della batteria, bastano 10-12 volt). La figura indica chiaramente le altre congiunzioni.

Quando la corrente alternata trasformata passa nel rocchetto, magnetizza la lamina alternativamente in un senso e in un altro, per cui essa è attratta e respinta dai poli della calamita, e stabilisce il contatto colla vite solo quando la corrente passa in un unico senso.

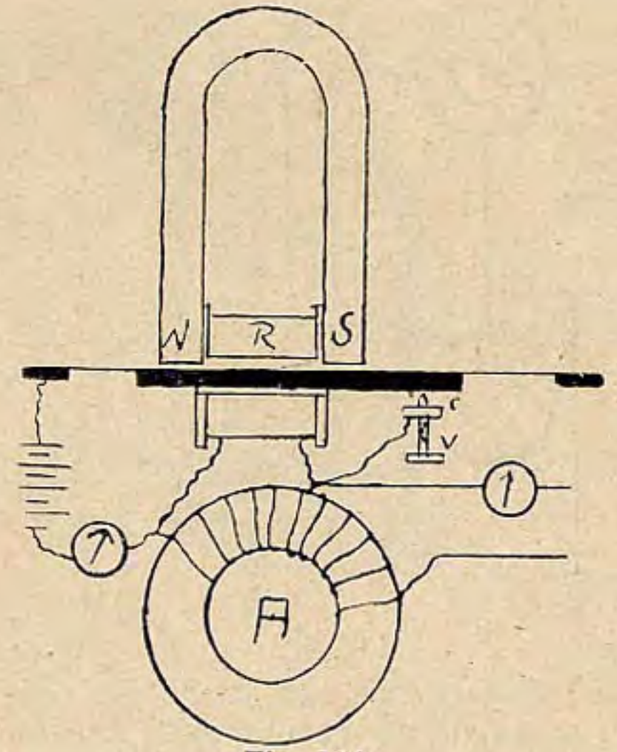


Fig. 125.

Riducendo la corrente alternata dal suo potenziale di distribuzione ad uno più basso, e quindi raddrizzandola, si ha un vantaggio. Così, per esempio, se la corrente stradale fosse a 120 volt, e si volesse utilizzare soltanto ½ ampere nella carica, si avrebbe una corrente secondaria di 12 volt e 4-5 ampere, che in sole 12 ore ci caricherebbe la batteria anzichè in 30 ore.

Si avrebbe anche il vantaggio di una assai minore spesa di corrente stradale. Infatti, senza trasformatore,

si avrebbe un consumo (supponendo la tensione a 120 volt e l'intensità di carica 2 amp.) di watt $120 \times 2 = 240$ che durante 30 ore (necessarie alla carica) porterebbero un consumo di watt $240 \times 30 = 7{,}200$ kw.-ora.

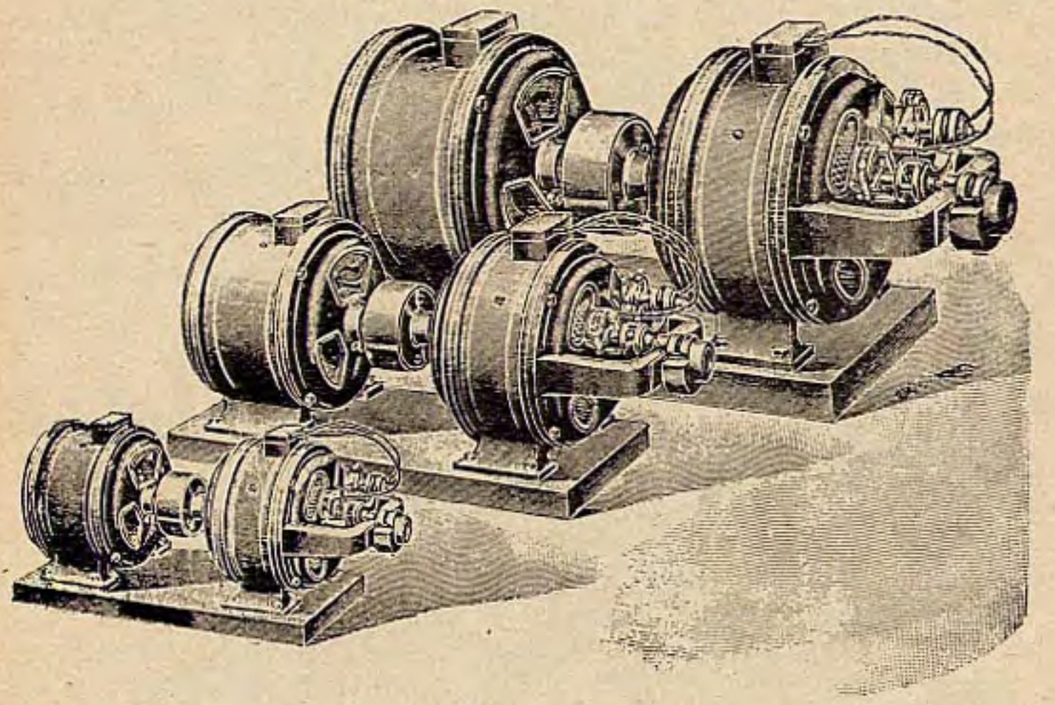


Fig. 126.

Invece, col trasformatore il consumo scenderebbe a watt $120 \times 5 = 60$, che durante 12 ore della carica dà precisamente $120 \times 12 = 0{,}720$ kw.-ora, cioè un consumo 10 volte minore. Ciò perchè la carica, invece d'essere fatta a 120 volt è eseguita a soli 12 volt. Per raggiungere l'intento, si può azionare uno dei gruppi trasformatori rappresentati dalla figura 126 che dànno corrente continua al potenziale voluto. Per chi invece disponesse d'un motore a scoppio, può accoppiarlo direttamente alla dinamo (fig. 127) e di qui caricare gli

accumulatori oppure adoperare direttamente la corrente ottenuta per azionare il rocchetto di Ruhmkorff.

Rocchetti funzionanti con corrente stradale. — Vogliamo progettarne uno che dia 10 cm. di scintilla. Da

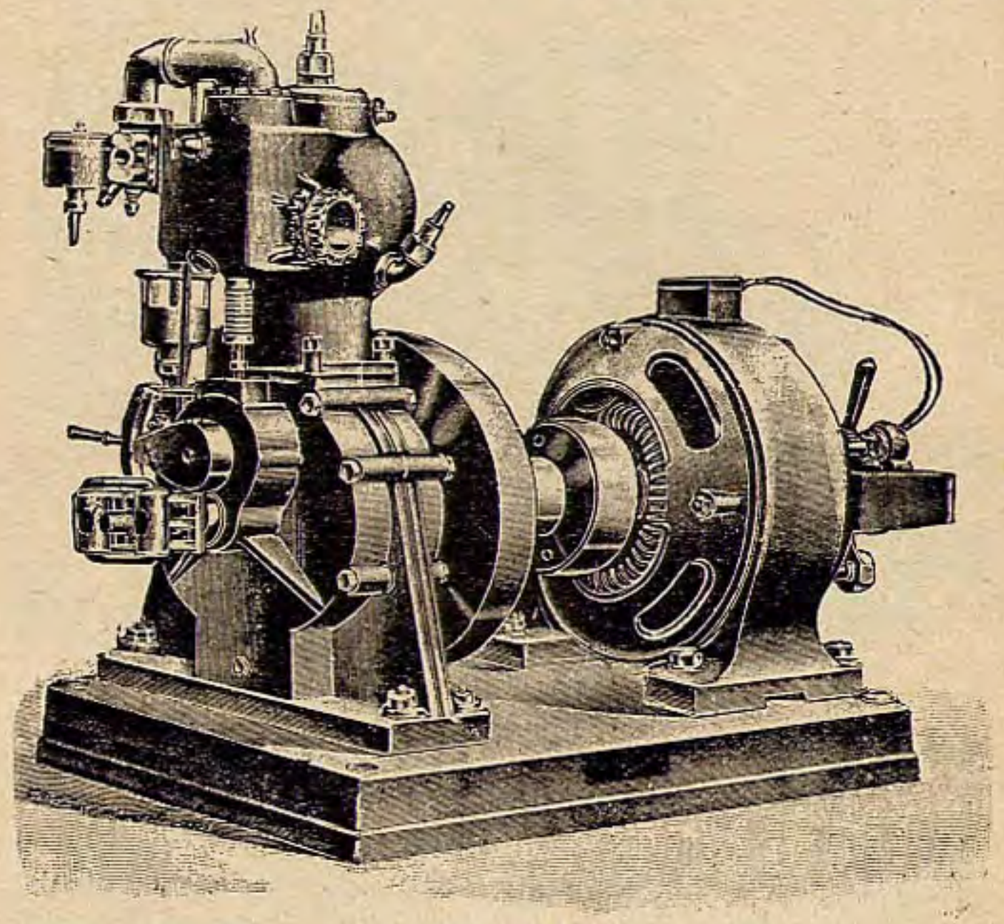


Fig. 127.

questo esempio, si vedrà quale differenza vi sia tra questi e quelli funzionanti con pile.

Il nucleo sarà lungo 30 cm. con un diametro di 25 mm. I fili del nucleo potranno avere un diametro di mm. 1-1,5. Però la misura che dà buoni risultati è

quella che si aggira sul millimetro. Il filo dell'avvolgimento primario avrà un diametro di mm. 1,5 se non si sorpassano gli 8 ampere o se si sottopone il rocchetto per breve tempo a intensità superiori. Conviene però prendere addirittura del filo da 2 mm. per evitare riscaldamenti troppo forti durante il funzionamento. Se ne avvolgeranno due strati, collegandoli come indicato al paragrafo 28 per avere autoinduzione variabile.

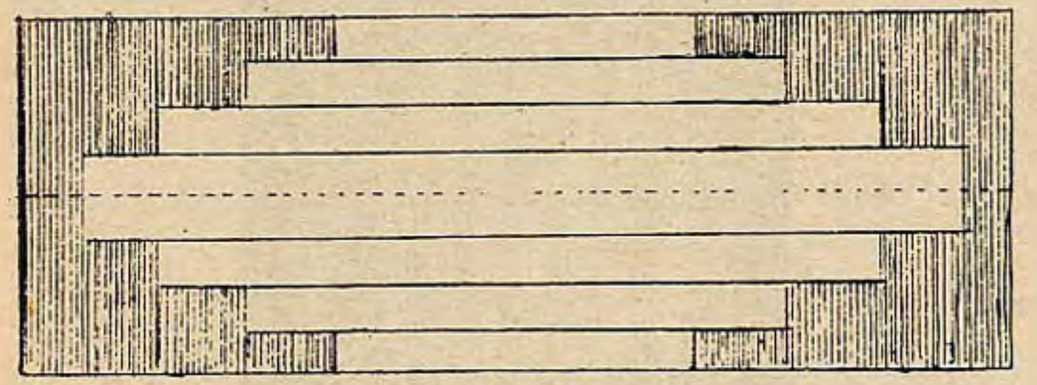


Fig. 128.

Il tubo isolante avrà lo spessore di 5 mm. se si costruiscono soltanto due bobine secondarie. Il filo da impiegare per l'altro avvolgimento sarà lungo 5000 metri, corrispondenti al peso di 500 gr. se è da 1/10 di mm.; a gr. 590 se da 1,2/10 e a gr. 770 se è da 1,5/10 di mm.

Avendo qui un secondario di lunghezza non troppo ragguardevole, si potrà avvolgere tutto il filo in due sezioni con strati a lunghezza variabile comportanti circa 2500 metri ciascuna. Queste avranno la lunghezza di cm. 12. I primi 10 strati si faranno di 10 cm. con 6 giri di carta, gli altri 10 di 8 cm. e 4 giri, quindi 6 cm. e 5 giri e da ultimo 4 cm. e 2 giri (fig. 128).

In questo caso, sarà bene adoperare della carta già paraffinata, poichè, data la lunghezza delle bobine secondarie, la paraffina del bagno, non potrebbe coprire e

otturare tutti gli interstizi, per cui, nella zona mediana si avrebbe isolamento difettoso.

Volendo, si può eseguire il secondario in 4 sezioni lunghe 6 centimetri, facendo gli strati di cm. 4 con

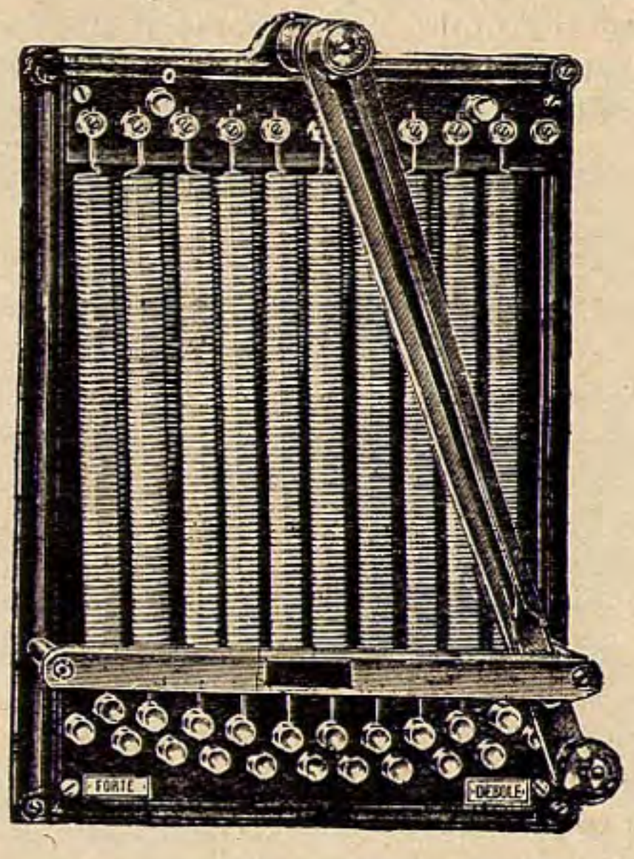


Fig. 129.

2 giri di carta. Ogni bobina avrà quindi una lunghezza di filo di m. 1250. Il tubo isolante, in questo caso, sarà bene portarlo ad uno spessore di 6 mm.

Per il rifinimento esterno, si potrà procedere come per il caso precedente, oppure avvolgere la bobina completa con un foglio di ebanite. Si ha così il vantaggio di averla meno ingombrante e di più bell'aspetto. Gli

interruttori da usare si possono scegliere nei numeri 20 a 25. Volendo regolare l' intensità di corrente, che passa nel Wehnelt o nel Margot, si può inserire nel circuito un reostato regolabile (fig. 129). Per calcolarlo, si opera nel seguente modo: sappiamo che occorrono almeno 80 volt per far funzionare gli interruttori. Quindi se la corrente stradale è a 160 volt e si vuole una intensità di 10 ampere, si inserirà sul circuito una resistenza:

$$R = \frac{160 - 80}{10} = 8 \text{ ohm}$$

che può essere costruita con argentana, costantana, ecc. Facciamo noto, però, che detta resistenza non è necessaria nello stretto senso della parola, e può essere trascurata senza alcun inconveniente.

Terminiamo il capitolo insegnando la costruzione di un rocchetto da 30 cm. di scintilla. Questi tipi di bobine a rendimento elevato, possono essere costruite dai dilettanti con probabilità di riuscita, perchè, essendo alimentate dalla corrente stradale occorre molto meno materiale che in quelle a pile, per cui gli avvolgimenti, che sono la parte più difficile, riescono molto bene, essendo di dimensioni convenienti.

Il nucleo avrà una lunghezza di cm. 65 con un diametro di 4 cm.

L'avvolgimento primario si compone di due strati, ad induzione variabile, di filo da 2,5 mm. con una copertura in cotone. Con un simile diametro, il rocchetto può arrivare senza fatica ai 15 ampere, e con un poco di riscaldamento ai 20. Daremo al tubo isolante di ebanite uno spessore di 8 mm. Il secondario sarà lungo 12.000 metri, corrispondenti a gr. 1200 da 1/10; gr. 1400 da 1,2/10 e gr. 1900 da 1,5/10 di mm.

TABELLA IX.

Bobine funzionanti con corrente stradale.

Lunghezza scintilla mm.	Nucleo		Avvolgimento primario		Avvolgimento secondario			Sezioni numero	Giri carta	Lunghezza strati cm.	Tubo isolante spessore mm.
	Larghezza cm.	Diametro mm.	Strati N.	Diametro mm.	Lunghezza m.	Diametro mm.	Peso gr				
80	30	25	2	1,5	5000	0,12	590	2	da 6 a 2	da 10 a 4	5
80	30	25	2	1,5	5000	0,12	590	4	2	4	6
120	35	25	2	2	6000	0,12	620	4	2	4	6
150	42	30	2	2	7000	0,10	700	6	2	4	8
200	45	30	2	2,5	8500	0,12	1180	6	3	4	8
250	55	35	2	2,5	10000	0,10	1000	8	3	4	10
300	70	40	2	2,5	12000	0,12	1400	12	2	3	10
350	70	40	2	3	14000	0,10	1400	12	2	3	10
400	80	40	2	3	15000	0,12	1460	14	2	3	12
500	100	45	2	3	18000	0,12	1800	15	3	3	12

N. B. — Gli avvolgimenti primari si intendono ad autoinduzione variabile e le sezioni secondarie si paraffinano dopo eseguiti gli avvolgimenti.

Le sezioni possono essere 8, ciascuna della lunghezza di cm. 7, con strati lunghi 5 cm. e separati da 3 giri di carta non paraffinata. Ogni sezione comporterà 1500 metri di filo.

Miglior disposizione è avvolgere il filo secondario in 12 sezioni lunghe ciascuna 5 cm. Si deve però allungare il nucleo fino ai 70 cm., in modo da lasciare un certo spazio libero fra bobina e bobina ed agli estremi. Gli strati si faranno lunghi 3 cm., separandoli da 2 giri di carta. Per una massa di ferro così enorme come quella del presente nucleo, sarà bene ricuocerlo varie volte e provarlo ripetutamente col metodo indicato al numero 27, poichè, se qualche imperfezione si verificasse a costruzione finita, sarebbe un lavoro enorme quello di rifarlo nuovamente.

Quest' ultima disposizione è la migliore, perchè si utilizza il massimo numero di spire con una stessa lunghezza di filo, a tutto vantaggio della corrente indotta. Variando poi le autoinduzioni, si può arrivare senza sforzo a 35-40 centimetri di scintilla se si è ben curato l'isolamento.

Riassumiamo nella tabella IX le dimensioni principali dei rocchetti di Ruhmkorff funzionanti con corrente stradale, aggiungendo, oltre ai tipi ora minutamente descritti, dati numerici per bobine di differente rendimento.

Capitolo VI.

APPLICAZIONI DEI ROCCHETTI DI RUHMKORFF

42. - *Correnti ad alta frequenza.*

Sono correnti a numerosissime inversioni al secondo, e vennero sperimentate ed ottenute per la prima volta da Nicola Tesla, che, coi suoi apparecchi, sognava di ottenere addirittura la trasmissione dell' energia elettrica senza fili. Egli progettava di produrre delle onde elettriche brevissime, come quelle luminose, in modo da ottenere sui nostri sensi l'effetto che ottengono le lampade, ed in genere tutte le varie sorgenti luminose. In pratica però, la lunghezza dell'onda luminosa, si dimostrò tanto piccola da essere irraggiungibile con mezzi elettrici.

Le esperienze del Tesla vennero eseguite su circuiti rappresentati schematicamente dalla figura 130. Un rocchetto di Ruhmkorff — R, produce corrente indotta che viene immessa in due condensatori e passa tosto al primario di un secondo trasformatore, chiamato di Tesla. Nel secondario di questo nuovo apparecchio si producono le correnti ad alta frequenza. Lo studio di questo paragrafo interesserà senza dubbio il dilettante che potrà in tal modo ripetere una serie di esperimenti dilettevoli ed interessanti. Vediamo ora come sono

disposti nell'apparecchio i vari circuiti che compongono il trasformatore Tesla.

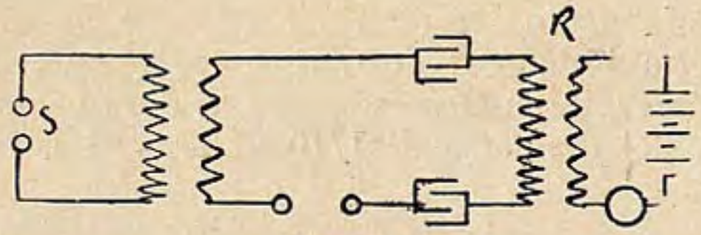


Fig. 130.

Il primario è formato (fig. 131) da un certo numero (8 a 16) di spirali di filo di rame grosso e senza coper-

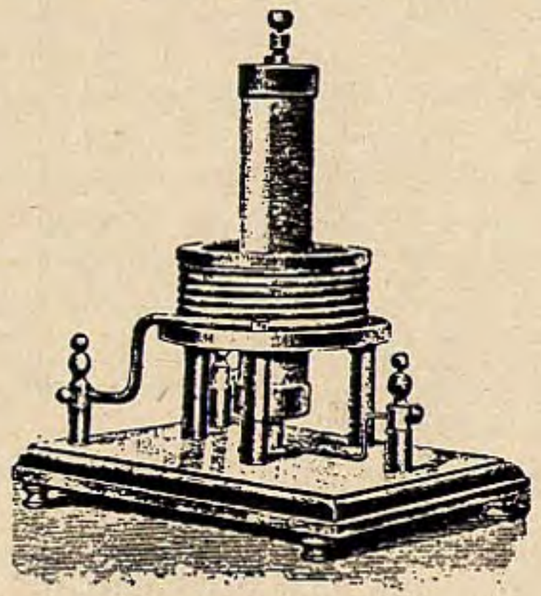


Fig. 131.

tura, fissato sopra una base di legno. Una molla può muoversi verticalmente (potendo essere fissata mediante vite al capo del solenoide appositamente piegato) in modo da includere in circuito un numero variabile di spire primarie, e questo per variare la autoinduzione.

Uno spinterometro è pure fissato sulla base, mentre sotto vi sono due condensatori formati da fogli di stagnola separati da lastre di vetro.

L'avvolgimento secondario è formato da un cilindro di materia isolante (vetro, cartone, ebanite) sul quale vengono avvolte numerose spirali di filo di rame coperto di seta, del diametro di 1/10 di mm., i cui due capi

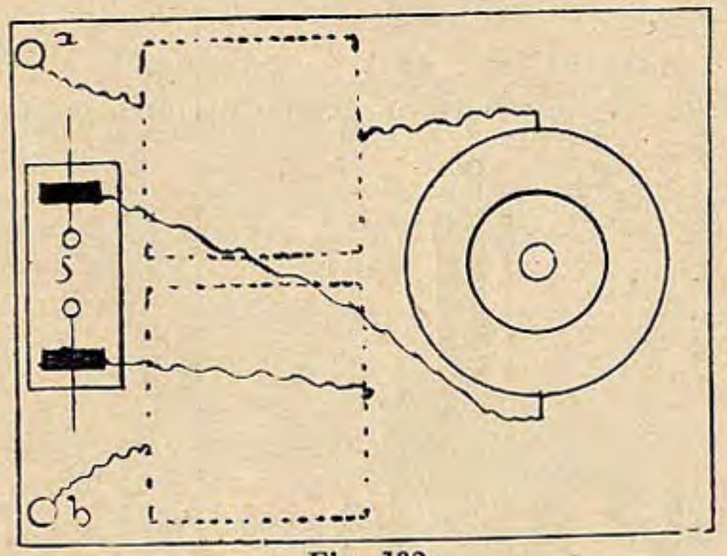


Fig. 132.



Fig. 133.

comunicano con due serrafili, uno posto superiormente e l'altro inferiormente al tubo isolante. La figura 132 rappresenta l'apparecchio visto dall'alto e ci dà anche chiaramente le congiunzioni. Lo spinterometro è formato da due sfere di ottone ed è a distanza regolabile.

La corrente indotta nel secondario d'un rocchetto di Ruhmkorff, arriva nei due serrafili *a* e *b* e carica i due condensatori, collocati sotto la base. Quando la carica ha raggiunto il massimo, percorre il solenoide che fa da primario, percorrendo il breve spazio d'aria interposto fra le due palline dello spinterometro. La corrente oscillatoria che si genera, trova altresì una grande resistenza a percorrere il solenoide e genera un potente campo elettrico. Nell' avvolgimento secondario, si genera allora una corrente a tensione e frequenza altissimi. In molti casi, dal serrafilo superiore, sfugge un effiuvio violaceo che diventa maggiormente visibile se si mette l'altro polo secondario in comunicazione col suolo.

Questo effluvio illumina i tubi privi d'aria (tubi Geissler, lampade elettriche, ecc.) anche se posti a qualche centimetro di distanza. Per avere il massimo effetto raggiungibile, si metterà le due sfere dello spinterometro alla massima distanza esplosiva consentibile dal circuito, e si regola il numero delle spire primarie mediante la molla.

Abbiamo un altro apparecchio — il Risonatore di Oudin — che permette d realizzare tutte le esperienze di correnti ad alta frequenza pur essendo di costruzione molto più semplice del trasformatore di Tesla.

Consta (fig. 133) di un cilindro di legno secco e paraffinato, sul quale sono avvolte delle spirali di grosso filo di rame. Fra una spirale e l'altra, si lascia un po' d'intervallo d'aria, trattandosi di filo nudo. Il capo inferiore si ferma con una vite a legno sul fianco del cilindro, quello superiore, invece va a comunicare con un supporto terminante con una sferetta di ottone, e fissato all'estremità superiore del cilindro. Come si vede, in questo apparecchio abbiamo una sola spirale anzichè due come nel trasformatore di Tesla, e precisamente, le spirali inferiori fanno l'ufficio del primario, e quelle superiori del secondario.

Per le esperienze si eseguiscono le connessioni come indica la figura 134.

Lo spinterometro a palline S, è ad intervallo regolabile. Una sferetta comunica, attraverso un condensatore comune o una bottiglia di Leyda, col capo inferiore del risonatore di Oudin. L'altra sfera termina con una punta di rame, che si fa muovere dalla prima spira inferiore del cilindro successivamente verso la seconda, terza ecc., in modo da inserire il numero delle spire esatto. Valutando gli effetti che si producono, si trova facilmente il numero delle spire più acconcio da mettere in circuito.

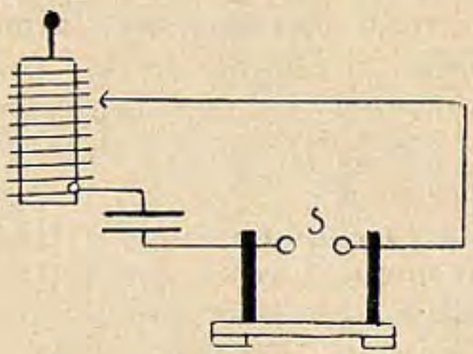


Fig. 134.

Una volta ben regolata la distanza esplosiva fra le due sfere dello spinterometro, si vedrà la sfera superiore del risonatore illuminarsi di una luce violacea ed emettere in tutte le direzioni degli effluvi violacei ben visibili nell'oscurità.

Per il risonatore, non è necessario l'isolamento completo con immersione in bagno d'olio, qualunque sia la potenza della bobina impiegata. È ovvio dire che alle due sfere dello spinterometro, arrivano i capi secondari d'un rocchetto di Ruhmkorff.

La tensione che si produce al vertice del risonatore, è veramente enorme; essa induce in tutto lo spazio circostante un campo elettrico formidabile. I tubi Tesla,

Geissler e altri privi d'aria, o contenenti gas rarefatti, vengono illuminati a distanza.

Alcuni dati costruttivi. — Passeremo ad insegnare la costruzione pratica degli elevatori Tesla che servono anche, come vedremo in seguito, negl'impianti radiote-

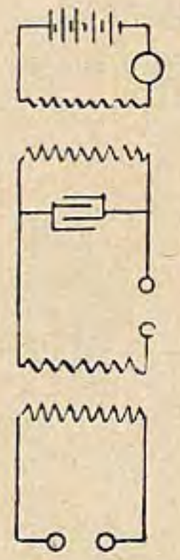


Fig. 135.

legrafici. I circuiti possono essere semplificati riducendo ad uno solo i condensatori della figura 130 (vedi figura 135), in modo da essere meno ingombrante il montaggio delle varie parti.

Si costruisca il primario di 15 spire di rame del diametro di 3 mm. Ciascuna spira avrà il diametro di 12 cm. I due capi del solenoide verranno piegati ad angolo retto verso il basso e fissati a due serrafili uniti alla base. Si prenda ora un cilindro di vetro o di legno secco e paraffinato alto 25 cm. e del diametro di 4 cm. e si avvolga sopra uno strato di filo da 1/10 o 1,2/10 di mm. in spire ben serrate. L'avvolgimento si terminerà a 2 cm. dalla base per evitare che qualche scintilla

scocchi fra i due avvolgimenti. Il capo superiore si fissa alla sommità del cilindro sotto un serrafilo con vite a capocchia rotonda per evitare dispersioni da punte metalliche. Sul gambo più lungo del primario è bene infilare un blocchetto a vite con molletta per inserire un numero variabile di spire. Si raggiunge naturalmente il massimo rendimento dell'apparecchio, regolando opportunamente la distanza esplosiva allo spinterometro e le spire primarie.

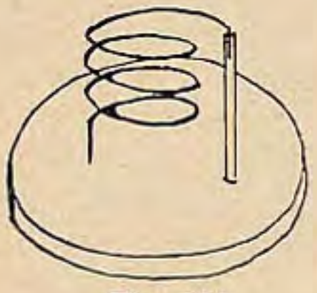


Fig. 136.



Fig. 137.

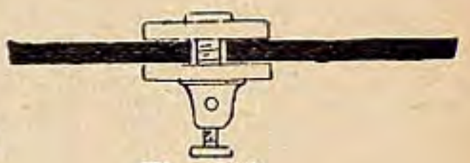


Fig. 138.

Il condensatore si costruirà con 6 lastre di vetro di cm. 10 × 20 separate da altrettanti fogli di stagnola che lascino un margine di almeno un paio di centimetri. Le lastre verranno verniciate con gomma lacca per evitare l'umidità. Non si possono dare misure esatte per il condensatore, ma solo approssimate, vuol dire che ognuno dovrà provare con un numero variabile di fogli, e per tentativi stabilire quello più conveniente.

Lo spinterometro consta di un'assicella sulla quale sono fissate due colonnine di ebanite alte 10 cm. e distanti poco più della distanza esplosiva consentita dal rocchetto che si adopera. Alla sommità si fissano due serrafili che portano due pezzi di filo di rame uniti alle sferette d'ottone.

Per ottenere un isolamento più sicuro — specie se si adoperano rocchetti di alta potenza — si interpone

fra i due avvolgimenti uno strato di olio. Il trasformatore allora si può modificare come segue.

Su una base di legno del diametro di 20 cm. e dello spessore di cm. 1,5 si fissa una spirale di filo di rame (fig. 136) curvando una estremità del filo ad uncino, e serrando tale uncino in un serrafilo.

L'altra estremità (la superiore), si piega ad angolo retto, e la parte ricurvata si fissa con mastice in un tubo di vetro del diametro interno adatto e dell'altezza di cm. 18. Tale tubo era stato precedentemente fissato in un foro della base. Il diametro della spirale è di cm. 12. Il filo occorrente, ha il diametro di 3 mm. Il solenoide consta di 16 spire ed è alto cm. 15.

Si prende poi un recipiente cilindrico di vetro del diametro di 11 cm. e dell'altezza di 30 cm., e si pratica un foro di 6 mm. alla distanza di cm. 1,5 dal fondo. Quest'operazione può essere eseguita nel seguente modo: Si prende un motorino elettrico (ottimo un ventilatore) e si applica all'asse un tubo di ottone lungo un paio di centimetri e del diametro di 6 mm. Mentre tale tubo gira a grande velocità, si avvicina il recipiente di vetro, cospargendo la zona vicina al tubo con polvere di smeriglio bagnata. Durante l' operazione, bisogna premere leggermente il motore verso il cilindro, badando che tra il tubo di ottone ed il vetro, penetri dello smeriglio. Verso la fine dell'operazione, occorre diminuire alquanto la pressione per evitare uno scrostamento della superficie interna del vetro.

Ottenuto il foro, si colloca il cilindro nell' interno della spirale, fissandolo alla base con tre o quattro grappette (fig. 137). Mediante due grosse rondelle di caucciù, si fissa un serrafilo attraverso il vetro (fig. 138) unendolo con un pezzo di filo di rame da 2/10 lungo una trentina di centimetri. Fra la rondella esterna ed il serrafilo, si infila una striscia di rame o di alluminio

sottile che porterà la comunicazione elettrica esternamente al serrafilo di base.

Bisogna ora costruire il contatto mobile per variare l'autoinduzione del primario. Si prepara una striscia d'alluminio o di rame delle dimensioni di cm. 5 × 1, che verrà forata alle estremità con fori di 2 mm. di diametro e una laminetta d' ottone o d' acciaio di

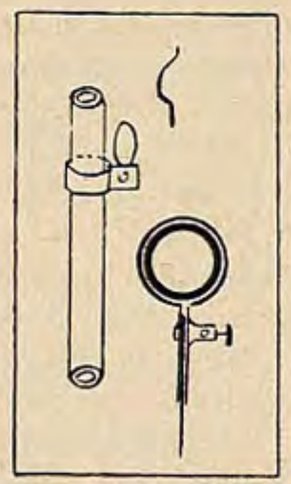


Fig. 139.



Fig. 140.

cm. 4 × 1 che verrà forata ad una estremità. La prima lamina si piega attorno al colonnino di vetro che sorregge la spirale dell'avvolgimento primario, poi attraverso i due fori delle estremità si passa la vite di un serrafilo e su questa viene infilata la seconda lamina alla quale sarà stata data la forma della figura 139 (parte superiore).

Avvitando la testa del serrafilo, la prima lamina si stringe attorno al tubo di vetro di modo che l'anello così formato potrà essere spostato in alto o in basso, mentre la seconda lamina, battendo sulle spirali, cambia il numero di quelle inserite in circuito.

Per costruire il secondario, si prende un tubo di

vetro alto cm. 30 e del diametro di 3 cm. (esternamente). Incominciando dal basso si avvolge del filo da 1 a 2 decimi di mm. coperto di seta, fissandone una estremità di un bottoncino di ottone, fissato a sua volta mediante ceralacca alla base del tubo. È meglio avvolgere filo da 1/10 potendo ottenere in un solo strato un maggior numero di spire attive. Giunti nell'avvolgimento a 2 cm. dall'estremità superiore, si fisserà il capo ad un altro bottone simile al precedente. Si prende infine un tappo di sughero, e con esso si chiude l'apertura del cilindro. Tale tappo porterà una asticina di ottone sporgente 3 o 4 cm. munita superiormente di una sferetta di ottone, che si fa comunicare — mediante un filo sottile col bottone superiore, mentre quello inferiore va ad unirsi — mediante il filo da 2/10 — al serrafilo fissato attraverso al recipiente di vetro. Tutto l'avvolgimento — compreso il tubo — viene abbondantemente verniciato con gomma lacca.

La figura 140 rappresenta il secondario finito. Si costruisce un disco di ebanite del diametro di 12 cm. che servirà a chiudere superiormente il cilindro grande. Tale disco porterà al centro un foro di diametro tale da lasciar passare appena l'estremità del filo che sorregge la sferetta.

Infine, assicurati che le rondelle di caucciù e il serrafilo del cilindro siano a perfetta tenuta, si riempie il primo recipiente di petrolio o meglio di olio di paraffina, dopo avervi immerso il secondario.

La figura 141 rappresenta l'apparecchio finito.

Bisogna ora costruire il condensatore. Si prendano 12 lastre di vetro delle dimensioni di cm. 18 × 24 e si vernicino con gomma lacca, alternandole con fogli di stagnola di cm. 10 × 20, come se si trattasse di costruire un condensatore comune. Tali stagnole devono essere disposte sulle lastre di vetro in modo che da

3 lati distino 4 cm., e dal rimanente sporgano 6 cm. (fig. 142). Poi tutte le stagnole di posto pari verranno ripiegate su sè stesse, e così pure quelle di posto dispari.

Fatto questo, si prendano 4 striscie di fibra dello

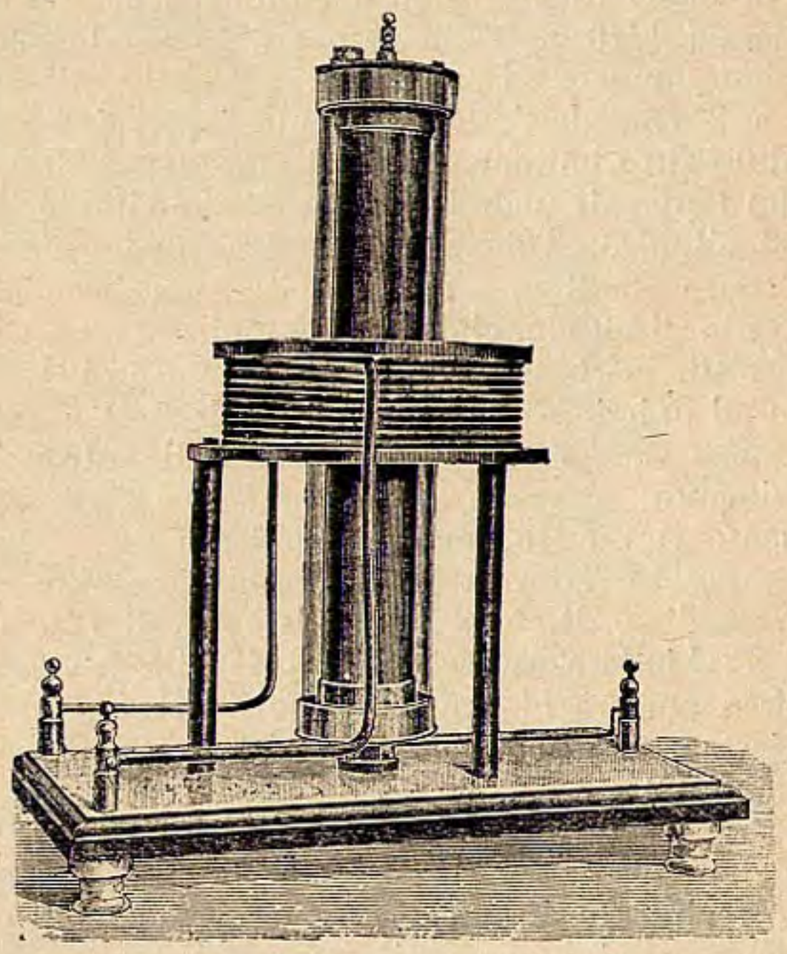


Fig. 141.

spessore di 1 cm., lunghe 25 e larghe 4. Si forano all'estremità e si dispongono 1 sopra e 2 sotto al condensatore parallelamente, a due a due.

Nei fori corrispondenti, si passano 4 bolloni di lun-

ghezza adatta che stringano bene il condensatore. Si avrà in tal modo un insieme ben solido che non si rovinerà, nè le lastre si sposteranno (fig. 143).

Le estremità delle stagnole vanno strette in due mollette che costituiranno i 2 poli dell'apparecchio. Come oscillatore, si può usare un comune spinterometro con sfere di 1 cm. di diametro.

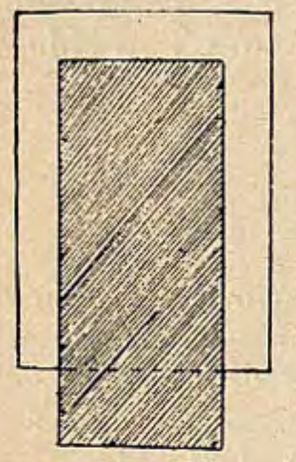


Fig. 142.

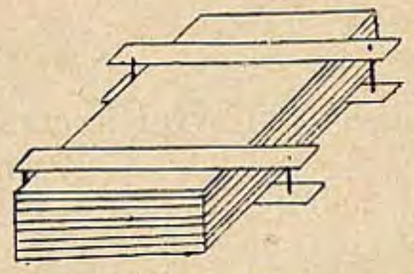


Fig. 143.

Più è grande la capacità del condensatore, minore è la lunghezza di scintilla che scocca nello spinterometro, divenendo essa però più calda.

Quindi la capacità deve essere variata da rocchetto a rocchetto fino ad ottenere il massimo rendimento.

Il condensatore viene fissato, mediante gli stessi bolloni che lo stringono, alla base dell'apparecchio.

Le scintille date da questi apparecchi sono ad altissima tensione e frequenza, ed essendo molto calde infiammano la carta, il legno e portano all'incandescenza anche delle materie refrattarie come la calce, le reticelle Auer, ecc.

Il Tesla si era anzi proposto di applicare il suo apparecchio per la produzione di una nuova luce che

venne denominata *luce fredda* e sarebbe stata emessa da lampade speciali o *tubi Tesla*, formati da tubi molto lunghi e muniti di due elettrodi di platino alle estremità.

Naturalmente la trasmissione dell' energia sarebbe avvenuta senza fili conduttori, il che avrebbe rappresentato un progresso verso le più notevoli, pratiche e moderne applicazioni dell' elettricità. Disgraziatamente tutto restò solo allo stato di progetto e non ebbe alcuna notevole applicazione pratica.

*
* *

Quando un avvolgimento primario è percorso da una corrente alternata, si generano nel secondario delle correnti indotte, appunto perchè le alternazioni sostituiscono in questo caso le interruzioni del circuito per opera di un comune interruttore. Naturalmente, se si aziona uno stesso rocchetto con un Wehnelt, oppure semplicemente con corrente alternata, si ottengono risultati diversi e precisamente nel primo caso molto superiori a quelli del secondo. Poichè avviene questo, anche se la sola corrente genera correnti indotte a tensioni elevatissime? Per la diversa frequenza. Infatti, nel primo caso, compiendo il Wehnelt 1000-1500 interruzioni, si hanno elevatissime frequenze, mentre nel secondo caso, ci si deve accontentare di una misera frequenza, che essendo la stessa della corrente alternata che aziona, si aggira sui 42-50 periodi al secondo.

Si vede quindi che si può sopprimere l'interruttore sul primario di un rocchetto ed ottenere tensioni elevate; ma basse frequenze. Cambiando poi la frequenza con dispositivi speciali che vedremo in appresso, si ottengono le correnti ad alta frequenza.

Un apparecchio che risponde allo scopo, è rappresentato dalla figura 144. La corrente alternata stradale circola nel primario d'un trasformatore T, e quella indotta alimenta il primario d'un altro trasformatore T_1, caricando anche due condensatori C e C' posti in derivazione sul circuito. I due fili fanno poi capo ad uno

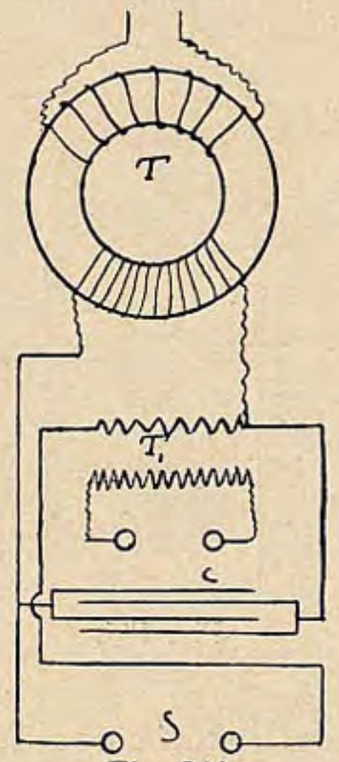


Fig. 144.

spinterometro S a palline. Costruendo i quattro avvolgimenti in modo appropriato, si possono ottenere elevatissime tensioni. Infatti, supponiamo che la corrente stradale sia a 160 volt. Con un rapporto di trasformazione sul primo apparecchio di 1 : 50 si può ottenere una corrente di 8000 volt e col rapporto di 1 : 10 nel secondo si ottengono ai due morsetti secondari di utilizzazione una tensione di 80000 volt.

Vediamo ora come avviene la formazione di corrente ad alta frequenza ai morsetti *m* e *m'*.

La corrente indotta sul secondario del trasformatore T, oltre che indurre tensione elevata in T_1, carica anche i due condensatori, e, quando tale carica ha raggiunto il massimo valore possibile, scocca una scintilla attraverso le sfere dello spinterometro, e questa cor-

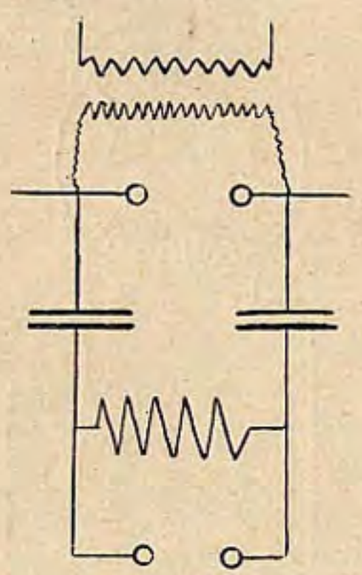


Fig. 145.

rente di scarica, oscillatoria e a frequenza altissima, percorre il primario del trasformatore T, inducendo sul secondario la corrente ad alta frequenza.

Lo spinterometro ha unicamente l'ufficio d'obbligare la carica del condensatore, prima del ritorno dalla scarica attraverso il circuito del secondo trasformatore. Però, appena una prima scintilla scocca fra le due sferette, la scarica non si arresta più e impedisce quindi la carica del condensatore. In questo caso, bisogna provvedere esternamente a sopprimere le scintille che si susseguono, ininterrottamente, e si raggiunge questo,

soffiando mediante un ventilatore un getto continuo d'aria sulla scintilla.

Naturalmente, il nostro occhio non può percepire lo spegnersi ed il riaccendersi della fiamma, poichè raggiungendo esse numeri elevati (400-600 al secondo) ci dànno l'impressione di una unica scintilla.

Lo schema precedente può essere modificato come indica la figura 145.

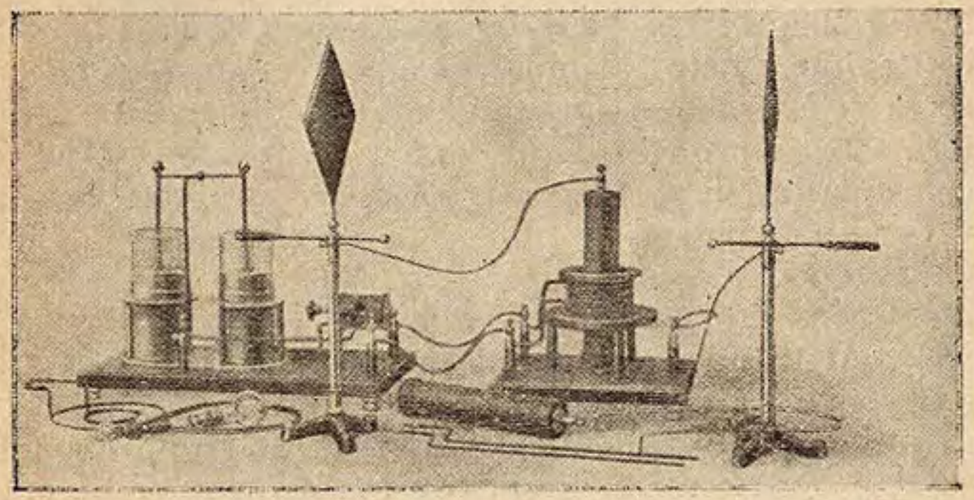


Fig. 146.

La corrente indotta sul rocchetto di Ruhmkorff carica due condensatori, che possono essere del tipo comune, oppure due grandi bottiglie di Leyda, e si scarica, al momento opportuno, attraverso lo spinterometro a sfere. Le due armature libere comunicano fra di loro per mezzo di un solenoide di grosso filo di rame, ai capi del quale sono derivati i due morsetti del circuito ad alta frequenza (A F).

Il funzionamento è identico a quello del caso precedente, poichè, quando la scarica avviene attraverso lo spinterometro, la corrente oscillatoria che così si

genera percorre il solenoide con grande sforzo, poichè alla resistenza ohmica si aggiunge quella non trascurabile di autoinduzione e si slancia quindi nel circuito di utilizzazione.

Allo scopo di riunire in un sol complesso i vari apparecchi che possono essere usati per ripetere le esperienze di Tesla le officine Galileo hanno studiato un insieme semplice che comprende i seguenti apparati (vedi la fig. 146):

1. - Una batteria di due condensatori in parallelo con spinterometro a punte di zinco. Per maggior sicurezza si è aggiunto un secondo condensatore. Lo spinterometro è protetto da un tamburo girevole di ebanite, con apertura laterale per la regolazione. Tutte le connessioni sono di grosso filo coperto e gommato e sono montate su colonnina di ebanite. La base a sua volta è montata su isolatori di porcellana.

2. - Il trasformatore, con primario costituito da poche spire (10 : 11) di grosso filo gommato, avvolte su di un rocchetto isolante. Il secondario è rappresentato da due bobine scambiabili, con avvolgimenti differenti, fatti su nuclei tubolari di carta, incollata esclusivamente con gomma lacca, e con testate di legno duro, una delle quali porta un serrafilo e l'altra un cono metallico adatto al raccordo fissato sulla base del gruppo trasformatore. In analoghi apparecchi di altre Case gli avvolgimenti sono fatti su tubi di vetro e non gommati, cosicchè al primo urto il rocchetto è perduto. Anche in questo gruppo le connessioni sono sostenute da colonnine di ebanite, e la base è isolata su porcellana.

3. - Una staffa di filo di rame di mm. 4, con lampada ad incandescenza in parallelo, da montare in serie sullo spinterometro dell'apparecchio n. 1.

4. - Un porta-lampade chiuso su due spire di filo di rame isolate e con impugnatura di ebanite.

5. - Un porta-lampade speciale a tre molle, da avvitarsi, in luogo della pallina a vite, sul serrafilo dei rocchetti secondari del trasformatore.

6. - Due sostegni isolanti con morsetti e sfere ad asta scorrevole con impugnatura di ebanite, costituenti un altro spinterometro e con supporti a foro conico per gli accessori che seguono.

7. - Due aste di rame con raccordo conico per i sostegni del n. 6.

8. - Due anelli di rame, che innestati sui sostegni risultano concentrici.

9. - Due reti quadrate di ottone da applicarsi agli stessi sostegni.

10. - Conduttori rame gommati, ed una lampada ad incandescenza.

L'apparecchio funziona bene eccitando i condensatori con un rocchetto di induzione di 10 centimetri di scintilla, possibilmente con interruttore elettrolitico. I poli del secondario si uniscono ai morsetti corrispondenti alle due armature del gruppo dei condensatori, che si scaricheranno attraverso lo spinterometro a punte di zinco. Per ogni esperienza lo spinterometro deve essere regolato in modo da dare il massimo effetto, che non si ottiene mantenendo costante la distanza tra le due punte di zinco.

Prima esperienza. - La scarica oscillatoria non segue la via di minore resistenza (fig. 147). — Sui morsetti del primo apparecchio, con lo spinterometro a punte di zinco si monta la staffa n. 3. Lo spinterometro deve essere regolato a circa 2 millimetri di scintilla. Posando i due fili della lampadina sugli appoggi sporgenti dalla staffa, si vede che, nonostante il corto circuito della staffa di rame, la lampadina si illumina. Si abbia cura di regolare lentamente lo spinterometro per non bruciare la lampadina.

Seconda esperienza. - La scarica è veramente oscillatoria. — Si unisce all'apparecchio n. 1 il trasformatore n. 2 col solo rocchetto grande, quello cioè a poche spire. Durante la scarica si avvicina gradatamente al rocchetto il circuito a due spire (n. 4) con la lampadina,

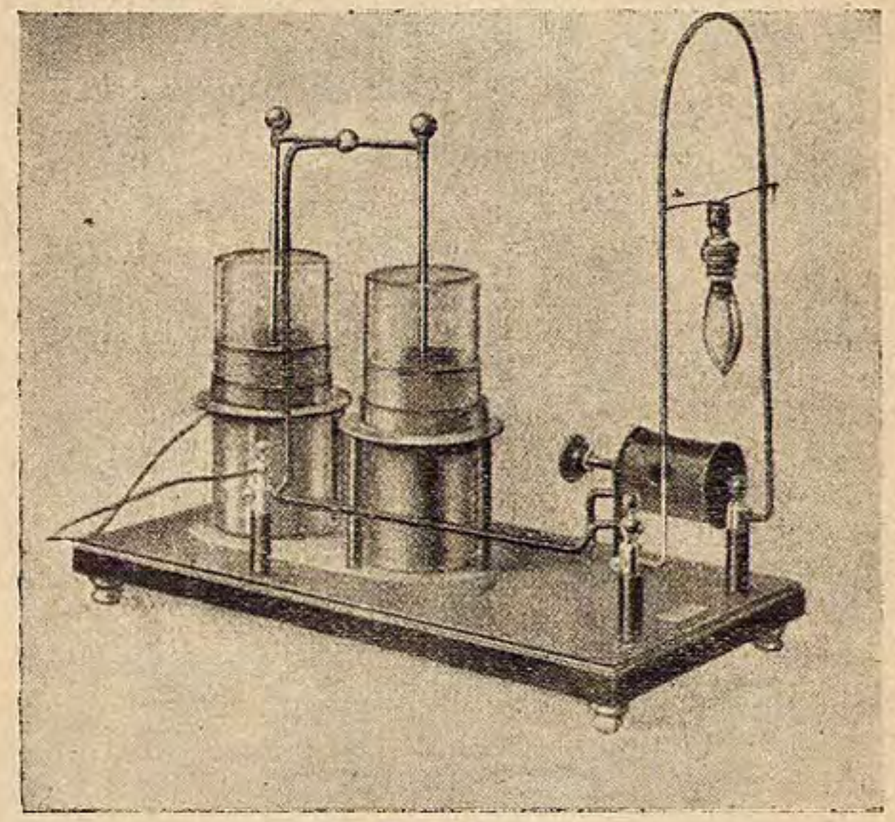


Fig. 147.

tenendolo parallelo alle spire del rocchetto. A distanza di 15-20 centimetri già si vede l'effetto dell'induzione, perchè il filamento della lampada si arroventa e si illumina sempre più col diminuire della distanza.

Inclinando il telaio n. 4 fino a portarlo normale al piano del rocchetto, l'effetto induttivo gradatamente si annulla.

Terza esperienza. - Scarica ad alta frequenza in gas rarefatti. — Ancora con i due gruppi n. 1 e n. 2 adoperando per secondario del trasformatore il rocchetto a filo più fino e avvitando sul serrafilo e in luogo della pallina il porta-lampade speciale a tre molle, di cui al n. 5.

Regolato lo spinterometro a circa 4 millimetri, si adatta al porta-lampade una lampada comune usata o con filamento rotto, di tensione o potenza qualsiasi e meglio se a filamento di carbone. In relazione al grado di rarefazione e alla natura del filamento e dei gas presenti nell'ampolla, si hanno brillanti effetti luminosi in tutta la massa. Il filamento si mette in vibrazione e si disgrega con bellissimo effetto di stelline incandescenti. Ripetendo l'esperienza con diverse lampadine, si osservano tutti i fenomeni presentati dai tubi di Geissler, e qualche volta si hanno i raggi catodici come nei tubi di Crookes.

Il secondo filo del rocchetto può essere a terra o anche libero. Accostando la mano al vetro si ha una lunga scarica innocua che perfora il vetro. Da quel momento l'aria entra lentamente nella lampada e la luminosità della massa presenta tutte le variazioni e aspetti caratteristici corrispondenti ai diversi gradi di rarefazione.

Alcune lampade, per la opportuna qualità del vetro, presentano anche un fenomeno di condensazione. Dopo aver provocata per qualche tempo la luminosità della massa, si sospende la scarica e subito si avvolge il globo con una mano e si tocca la ghiera con l'altra. La lampada si comporta come una bottiglia di Leyda carica, ed ogni scarica è accompagnata da nuova luminosità nell'interno, sempre però con intensità decrescente.

Quarta esperienza. - Scarica ad alta frequenza nell'aria (fig. 148). — Si uniscono i due capi del seconda-

rio ai due sostegni isolanti del n. 6, ai quali si applicano prima le aste parallele del n. 7 e poi i due anelli del n. 8. Tra le aste si vedrà un effluvio luminoso con forte produzione di ozono. Così tra i due anelli posti

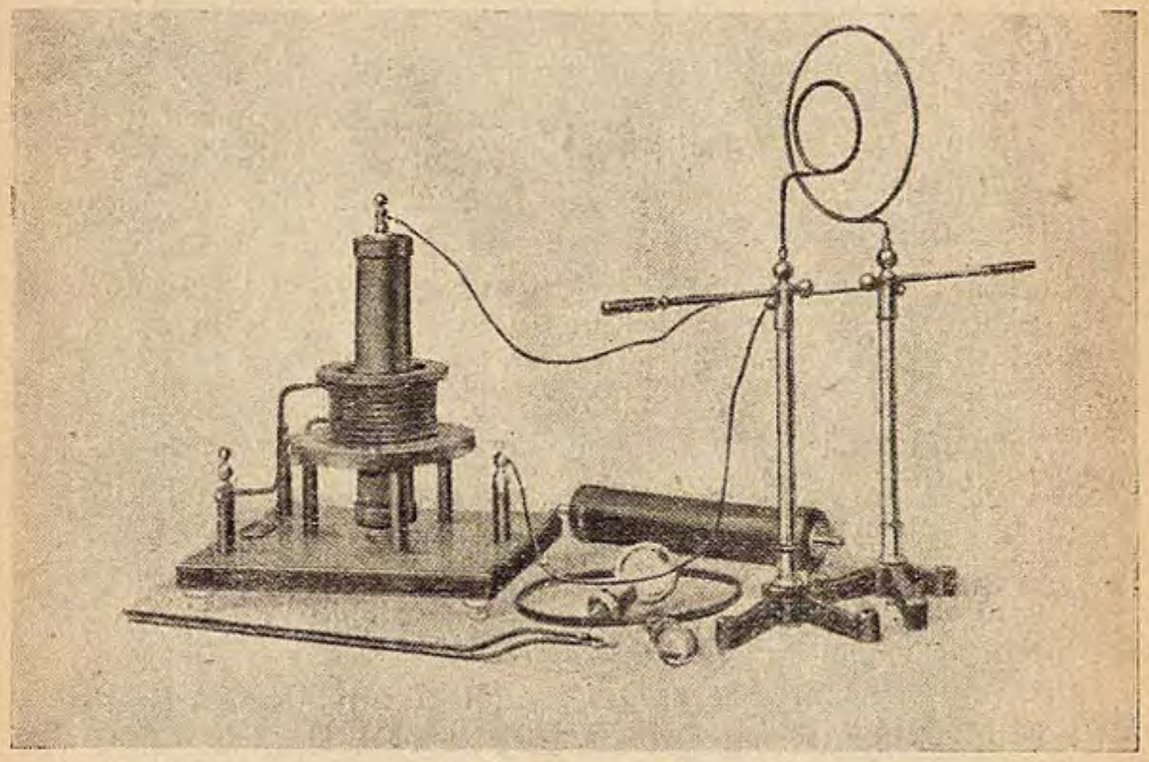


Fig. 148.

nello stesso piano o in piani diversi ma sempre paralleli, l'effluvio assume la forma di corona circolare o di superficie tronco-conica. Nell'oscurità è bello osservare i conduttori che, per quanto rivestiti di gomma, assumono l'aspetto di bruchi luminosi.

Quinta esperienza. - Campo elettrostatico rapidamente variabile. — Si montano sui due sostegni isolanti le due reti di ottone del n. 9 e si dispongono parallelamente alla distanza di 60 centimetri. Portando a mano

nello spazio compreso tra le reti un gruppo di tubi Geissler, anche contenuti in numero in una scatola, tutti si illuminano. Si raccomanda di non avvicinare troppo i tubi alla rete, perchè una scarica sul vetro li rende subito inservibili.

In queste esperienze si farà rilevare che il corpo umano può sopportare scariche a tensioue elevatissima, senza risentirne alcun danno.

Le esperienze di Tesla aprirono la strada a quelle di Hertz sulla trasmissione delle onde elettromagnetiche, e le scintille nei gas rarefatti hanno molti punti di contatto con le valvole ioniche che hanno dato il maggior impulso allo sviluppo della radiofonia; quindi possiamo concludere che i fenomeni oscillatori non devono essere considerati come un capitolo di curiosità scientifica, bensì come la base delle più moderne applicazioni dell'elettricità.

43. — *Scariche nei gas rarefatti.*

In modo speciale avviene la scarica di un rocchetto di Ruhmkorff attraverso un tubo contenente dei gas rarefatti. Anzitutto, rarefacendo l' aria, la distanza esplosiva aumenta, quindi si possono illuminare tubi molto lunghi con rocchetti a scintilla relativamente corta. Supponiamo di far comunicare un estremo di questo tubo di vetro con una pompa pneumatica, in modo da poter variare a piacimento il grado di rarefazione man mano che l'esperienza procede. Quando la rarefazione non è troppo spinta, vedremo apparire una scintilla violacea che va da un elettrodo ad un altro. Se si fa crescere poi a poco a poco la rarefazione, la luminosità si diffonde per tutto il tubo ,e si osserva uno strano particolare: la colonna luminosa si interrompe vicino al catodo e diventa oscura. Proseguendo

ancora nella rarefazione, la colonna luminosa scompare un poco per dare origine a tante parti alternativamente costituite da tratti oscuri e tratti luminosi.

Vicino al catodo però, si osserva sempre lo spazio oscuro. Col progredire della rarefazione, le stratificazioni diventano sempre più larghe e più visibili, finchè spariscono totalmente col vuoto quasi assoluto.

A questo altissimo grado di rarefazione, la parete di vetro, nella regione prospiciente il catodo, diventa fluorescente, e questo fenomeno — che sembra originato dal catodo — chiamasi emanazione catodica, e raggi catodici sono quelli che la compongono.

In un tubo di Crookes, la parte del vetro colpita dalle particelle catodiche è sede di un importantissimo fenomeno che venne scoperto dal Rontgen. Da essa partono delle emanazioni invisibili che furono chiamati:

44. — *Raggi X* o raggi Rontgen e vengono prodotti quando i raggi catodici incontrano un ostacolo. Questi nuovi raggi si propagano in linea retta, dirigendosi in

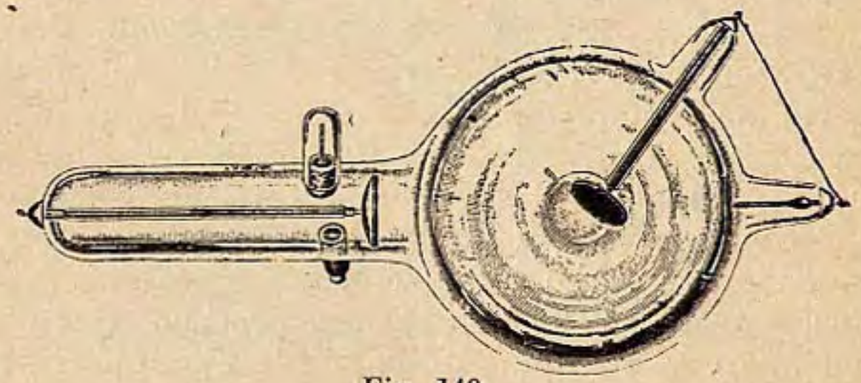


Fig. 149.

tutti i sensi. La maggior parte dei corpi sono trasparenti per essi. Soltanto i metalli pesanti e con sufficiente spessore sono opachi.

Esercitano anche un'azione fotografica sui sali di argento.

Questi raggi hanno subìto notevoli applicazioni.

L'alto grado di trasparenza che hanno molti corpi opachi per questi raggi, assieme alle proprietà di impressionare le lastre fotografiche, ha permesso la foto-

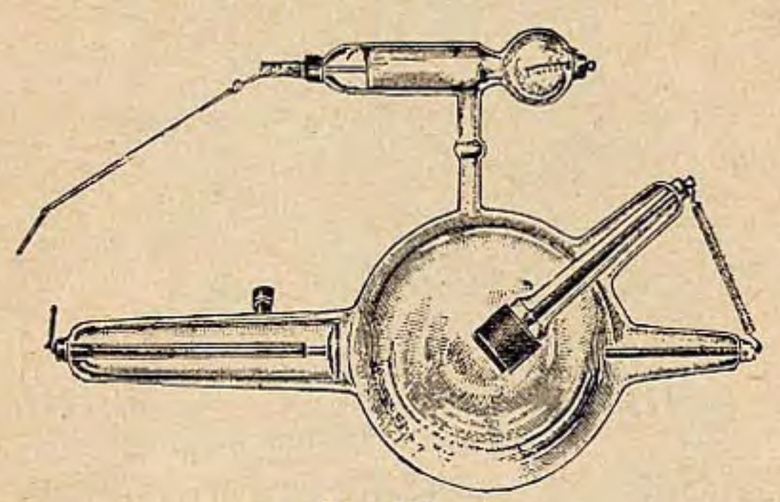


Fig. 150.

grafia (radiografia) dei corpi opachi nascosti entro involti opachi alla luce ordinaria.

La figura 149 rappresenta un tubo adatto per la formazione dei raggi X. Si vedono i due elettrodi affacciati comunicanti col secondario del rocchetto. I raggi catodici, nel loro percorso, incontrano un dischetto metallico e si trasformano in raggi X, venendo così propagati all'esterno del tubo. I tubi generalmente usati hanno forme varie che si adattano alle varie circostanze nelle quali sono usati.

La figura 150 rappresenta un tubo di Rontgen autorigenerabile durante il funzionamento, mediante spinterometro speciale, con anticatodo rinforzato (l'anticatodo è il dischetto sul quale vengono a battere i raggi

catodici per trasformarsi in raggi X) e la figura 151 un tubo dello stesso tipo del precedente, ma con raffreddamento ad acqua.

Le disposizioni generali dei circuiti per ottenere radiografie, sono rappresentate dalla figura 152, in cui R

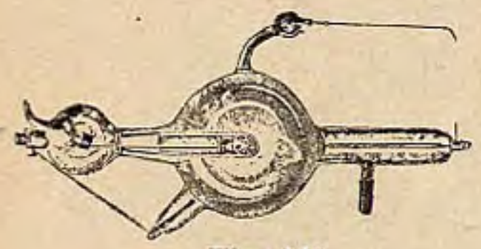


Fig. 151.

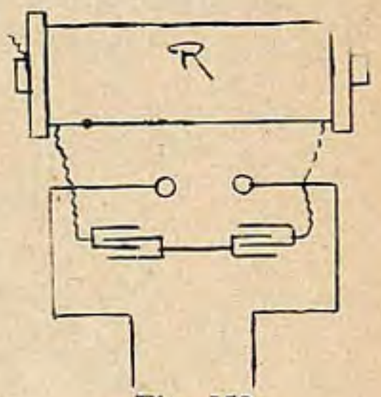


Fig. 152.

è il rocchetto nel quale arriva la corrente dei due fili *a* e *b* dopo di aver attraversato l' interruttore (non visibile in figura). I due morsetti secondari, comunicano ciascuno con una sferetta dello spinterometro e con l'armatura di un condensatore che può essere a libro, a bottiglia, ecc.

Le due altre armature comunicano pure fra di loro per mezzo di un filo di rame. Dalle due sferette dello spinterometro, partono due fili che vanno direttamente al tubo di Crookes. Per brevi esperienze da dilettante, i due condensatori possono venir tralasciati, invece per impianti stabili si deve inserirli in circuito. La figura 153 rappresenta un apparecchio completo per raggi X e per alta frequenza, adatto per grandi impianti di gabinetti radioscopici.

Si vede il rocchetto di Ruhmkorff azionabile a volontà dall'interruttore di Wehnelt, oppure da quello a

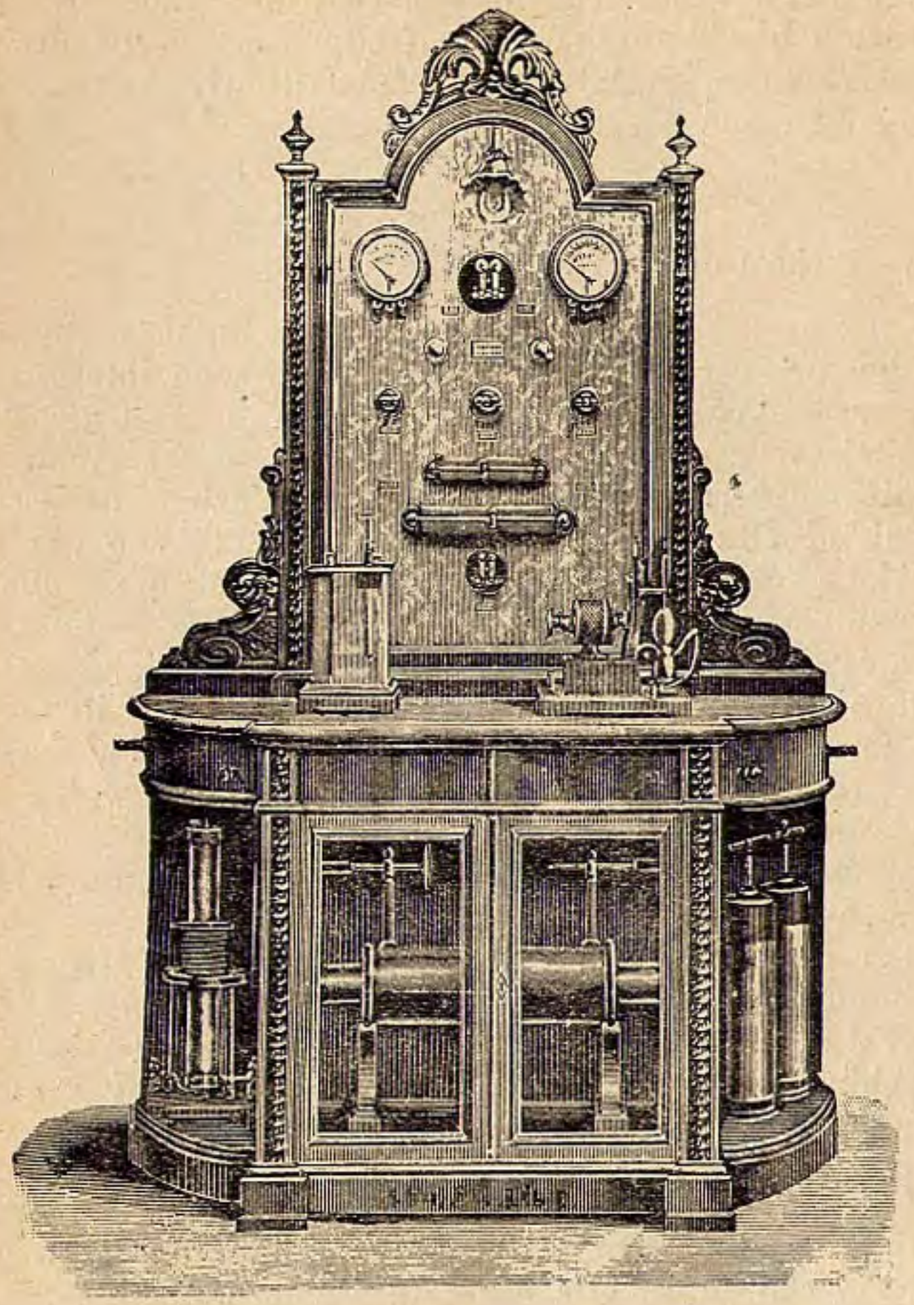


Fig. 153.

mercurio, e l'apparecchio Tesla coi due grandi condensatori a bicchiere per l'alta frequenza. Un quadro di manovra, con reostati per gli interruttori, commutatori ecc., completa l'installazione.

45. — *Cure medicali.*

Le correnti ad alta frequenza vengono usate in medicina per certe malattie, ed all'uopo sono interessanti alcune ricerche fatte dal D'Arsonval a questo proposito.

Egli aveva già trovato che le combinazioni organiche venivano incrementate se sottoposte all'azione delle correnti ad alta frequenza, sia direttamente che per induzione, e per essere certo di questo sottopose alcuni animali per lungo tempo all'influenza delle correnti ad alta frequenza introducendoli in una gabbia di legno attorniata da un grosso filo di rame disposto in modo da formare 15 o 20 spirali attraverso le quali si faceva passare le correnti ad alta frequenza. Il solenoide induce nel corpo dell'animale delle correnti pure ad alta frequenza che non recano alcun disturbo, e quindi possono essere sopportate senza alcun sforzo.

Per dimostrare che sotto l'azione dell'alta frequenza le combinazioni organiche vengono incrementate, D'Arsonval pensò che l'animale sul quale aveva sperimentato avrebbe dovuto diminuire il proprio peso più rapidamente che se non fosse stato sottoposto all' alta frequenza.

L' esperienza venne condotta sopra dei porcellini d'India e si trovò che durante un periodo di 16 ore se non sottoposto alla corrente — naturalmente senza nutrirsi — l'animale perde 6 gr. del proprio peso mentre se sottoposto a detta corrente ne perde 30.

Un coniglio in condizioni normali perdeva 23 gr.

del suo peso in 8 ore, e 48 gr. nello stesso tempo sotto l'azione dell'alta frequenza.

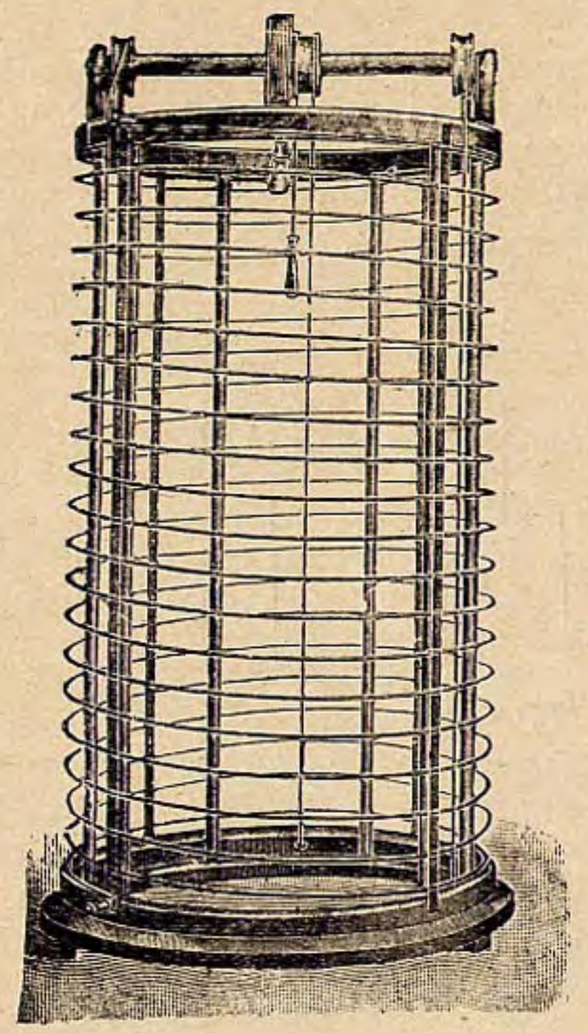


Fig. 154.

Dopo queste esperienze, D'Arsonval cercò se era possibile curare le malattie che come il diabete, l'obesità ecc. hanno attinenza colle combustioni più o meno celeri, ed all'uopo esaminò tre casi che curò facendo

attraversare i corpi con corrente d'intensità non maggiore di 500 milli-ampere.

La corrente può essere immessa nel corpo secondo tre vie:

1. - per mezzo di elettrodi di forma adatta;

2. - per mezzo di un solenoide come in figura 154, provvisto di una carrucola superiore per alzare la spirale e permettere l'entrata del paziente nell'interno;

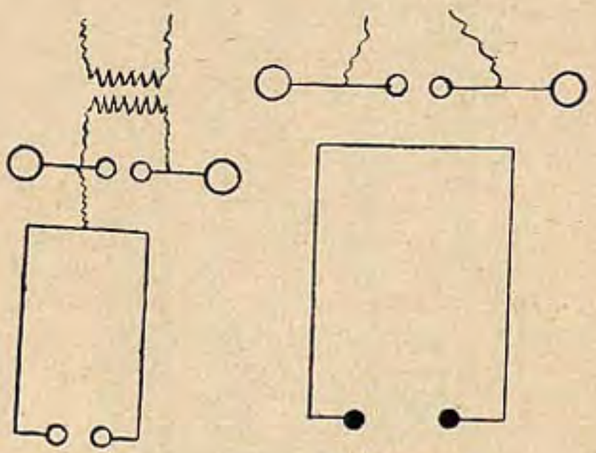


Fig. 155.

Fig. 156.

3. - facendo fare al paziente la parte d'armatura d'un condensatore caricato staticamente dal solenoide e di cui l'altra armatura è costituita da un letto metallico separato dal corpo del paziente da un materasso isolante.

Nelle osservazioni, venne seguìto il primo sistema. La corrente ad alta frequenza generata dal solenoide attraversa il corpo del paziente dai piedi (posti in un bagno d'acqua) alle mani (strette a delle manopole che vanno a collegarsi ad un unico conduttore).

La durata delle sedute quotidiane variava da 10 minuti in principio a 3 in fin di cura, e ciò a seconda della

impressionabilità dei soggetti, quantunque non si avvertisse nel corpo assolutamente nessuna sensazione.

Di tre osservazioni eseguite, due riguardanti il diabete ed uno l'obesità, nei primi due si ebbe buon esito, mentre nel terzo il paziente non risentì alcun beneficio.

46. — *Esperimenti di Hertz.*

Abbiamo detto come le scariche continue od oscillatorie dipendano unicamente dalla resistenza del circuito, ed Hertz per dimostrarlo, si servì dei seguenti dispositivi: prese un rocchetto di Ruhmkorff, del quale unì i capi secondari all'oscillatore (fig. 155), portando altresì la comunicazione da un gambo di questo ad un lato d'un rettangolo di filo di rame tagliato in un punto della periferia. Quando il contatto divide il filo in due parti uguali rispetto all'interruzione, si hanno scintille nell'oscillatore — date dal rocchetto — ma nulla di anormale. Invece, quando si fa scorrere il contatto a destra o a sinistra in modo d'aver due parti disuguali nel filo, una piccola scintilla scocca nel punto interrotto, dovuta alla differenza di potenziale che si forma a causa del diverso tempo che la scarica impiega a percorrere i due pezzi di filo.

L'esperienza riesce ugualmente anche senza il filo di unione fra oscillatore e rettangolo di filo, come alla figura 156. Hertz, che fu il primo a comprendere l'inutilità del filo, fece veramente il primo passo decisivo verso la conquista delle nuove invenzioni che ne derivarono, in quanto che subito si capì come si trattasse veramente di onde elettriche che trasmettevano la scarica.

Vediamo ora di rivelare come si propagano queste onde.

L' oscillatore hertziano, si compone (fig. 157) di due

aste metalliche ai cui estremi sono fissate due coppie uguali di sfere. Quelle affacciate sono piccole, mentre invece quelle esterne sono molto più grandi. Le due bacchette di ottone comunicano (fig. 158) col secondario di un rocchetto di Ruhmkorff.

Ad ogni apertura del primario, le due sfere grandi S e S', si caricano di una certa quantità di elettricità (dovuta alle correnti indotte), che, se è molto grande, si scarica attraverso il breve spazio lasciato libero fra

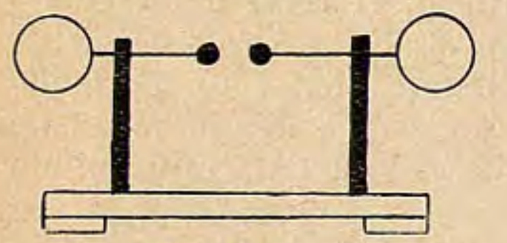


Fig. 157.

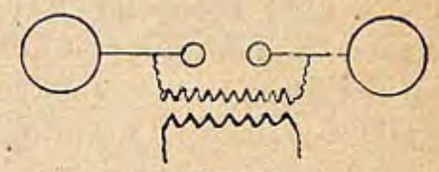


Fig. 158.

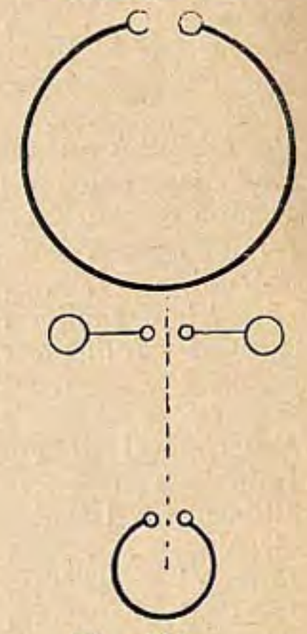
le due sfere piccole. Questa scarica è oscillatoria (poichè la resistenza dell'oscillatore e i fili che lo congiungono al rocchetto è piccolissima) e di brevissima frequenza, e forma intorno a sè un campo magnetico pure oscillante, che necessariamente oscilla col medesimo periodo della scarica. Le due masse elettriche raccolte in S e S' generano un campo elettrico oscillante, e le linee di forza elettrica generate vanno da una all'altra, invece quelle magnetiche sono circoli perpendicolari alle due aste dell'oscillatore (fig. 159).

In un punto qualunque di questi due campi, le rispettive linee di forza magnetica ed elettrica, saranno dirette in un senso o nell'altro a seconda del senso della corrente nell' istante considerato. Ma l'intensità ed il senso variano durante la scarica, e siccome queste variazioni devono sempre essere insieme e si propagano

tutto all'intorno con uguale velocità, presero il nome di onde Hertziane o elettromagnetiche.

Queste onde vengono rivelate mediante il risonatore di Hertz, che è un anello di rame (fig. 160) interrotto in un punto qualunque della periferia, e porta due sferette di ottone saldate ai due capi liberi.

Fig. 160.



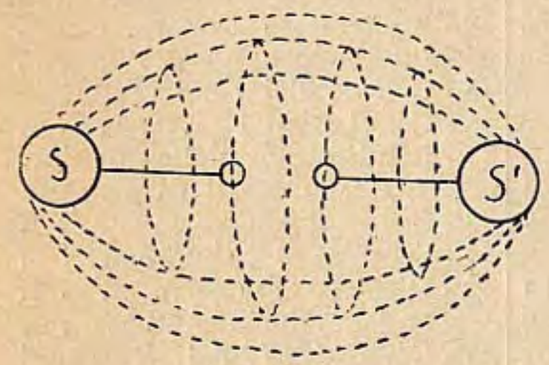


Fig. 159.

Fig. 161.

Se si dispone questo apparecchio perpendicolarmente al campo magnetico, ad ogni scintilla che scocca fra le due sfere dell'oscillatore, ne corrisponde un'altra nel risonatore (fig. 161).

Come si vede, il rocchetto di Ruhmkorff ha una grandissima applicazione in queste esperienze, che furono la base fondamentale della Telegrafia senza Fili. Naturalmente poi tutti gli apparecchi si perfezionarono, e di quelli ora descritti non si ha che un lontano ricordo, e non è certamente qui il caso di parlarne.

FINE

INDICE

	Pag.
Enrico Daniele Ruhmkorff . .	5
Capitolo I — *Magnetismo ed elettromagnetismo.*	
1 - Campo elettrico	10
2 - Alcune definizioni . . .	17
3 - Magnetizzazione per induzione	21
4 - Variazione della magnetizzazione colla forza magnetica	22
5 - Permeabilità magnetica .	25
6 - Ciclo magnetico - Isteresi .	28
7 - Campo prodotto da una corrente	32
8 - Solenoide	35
9 - Circuiti magnetici	38
Capitolo II - *Induzione elettromagnetica e correnti variabili.*	
10 - Esperimenti di Faraday .	43
11 - Induzione elettromagnetica	47
12 - Chiusura ed apertura del circuito	54
13 - Correnti parassite	60
14 - Correnti alternate	61
Capitolo III - *Cenni storici.*	
15 - La bobina d'induzione . .	70
16 - Il Rocchetto di Ruhmkorff	74
17 - Ultimi perfezionamenti . .	77
Capitolo IV - *Cenni storici sul funzionamento del Rocchetto di Ruhmkorff.*	
Funzionamento del rocchetto con interruttori meccanici.	
18 - Schema con secondario aperto	85
19 - Schema con resistenza grandissima al secondario . .	99
20 - Funzionamento del rocchetto con interruttori elettrolitici	103
21 - Capacità secondaria . . .	108
22 - Il condensatore al primario	110
Capitolo V - *Cenni pratici sulla costruzione del Rocchetto di Ruhmkorff.*	
23 - Nucleo	119
24 - Avvolgimento primario . .	120
25 - Avvolgimento secondario .	123
26 - Interruttore a molla . . .	126
27 - Interruttore Foucault . .	129
28 - Interruttori a turbina . .	131
29 - Interruttore Ruhmer . . .	133
30 - Interruttore rotativo . . .	133
31 - Interruttore Vehnelt . . .	134
32 - Vehnelt modificato . . .	137
33 - Interruttore Simon . . .	138
34 - Interruttore Margot . . .	140
35 - Calcolo dei condensatori .	141
36 - Cenni pratici	145
37 - Rendimento delle bobine. Regole generali di progetto	160
38 - Cause d'insuccesso . . .	162
39 - Scintille e spinterometri .	164
40 - Distanze esplosive . . .	170
Il laboratorio Ampère . .	177
41 - Costruzione dei Rocchetti di Ruhmkorff	185
Rocchetti funzionanti con pile od accumulatori	193
Costruzione di una batteria di pile ad alta intensità .	196
Funzionamento con accumulatori	198
Rocchetti funzionanti con corrente stradale	204
Capitolo VI - *Applicazioni dei Rocchetti di Ruhmkorff.*	
42 - Correnti ad alta frequenza	210
43 - Scariche di gas rarefatti .	231
44 - Raggi X	232
45 - Cure medicali	236
46 - Esperimenti di Hertz . .	239

INDICE DELLE TABELLE

I	- Permeabilità magnetica nei più comuni materiali magnetici	Pag. 27
II	- Valore delle Ampère-spire per centimetro . .	» 40
III	- Resistenza della scintilla con elettrodi di varia natura	» 90
IV	- Diametro, sezione e peso dei fili di rame, loro resistenza elettrica	» 167
V	- Dimensioni dei rocchetti di Ruhmkorff funzionanti con pile od accumulatori	» 169
VI	- Distanze esplosive nell'aria fra punta e piano	» 171
VII	- Distanze esplosive nell'aria fra due punte con angolo di 90°	» 171
VIII	- Distanze esplosive fra sfere di 1 cm. di diametro	» 172
IX	- Bobine funzionanti con corrente stradale . .	» 208

CASA EDITRICE - G. LAVAGNOLO

Corso Vittorio Emanuele 123, Torino

ALCUNE RECENTI EDIZIONI:

G. d. E. — **Costruzioni elettriche per dilettanti.** - 8ª Ediz., 216 pag., 191 fig. - L. 14.

Insegna a costruire in piccolo: Elettrofori - Macchine elettriche - Condensatori - Pile - Accumulatori - Galvanometri - Amperometri - Voltmetri - Wattmetri - Elettrocalamite - Dinamo - Alternatori - Ventilatori - Motori - Trasformatori - Bobine d'induzione, ecc. ecc. Le costruzioni sono tutte facili e possono essere realizzate con i mezzi più semplici.

O. Franchetti. — **L'elettricista dilettante.** - 6ª Edizione, 232 pag., 200 figure. - L. 14.

E' descritta chiaramente, con bellissimi disegni quotati, la costruzione di circa 80 macchine ed apparecchi elettrici di piccole dimensioni, con le relative esperienze che con essi si possono eseguire.

O. FRANCHETTI. — **Il Giovane Elettricista.** - 5ª Ediz. rinnovata, 280 pag., 173 fig. - L. 14.

Raccolta di facili costruzioni elettriche tutte diverse naturalmente da quelle descritte negli altri nostri libri. Sono state scelte col criterio di richiedere pochi attrezzi e spesa limitata.

O. FRANCHETTI. — **Il Meccanico dilettante.** - 5ª Ediz., 216 pag., 261 figure, 1 tavola fuori testo. - L. 14.

Tratta essenzialmente della costruzione, in piccolo, delle macchine utili in famiglia (macchine frigo, aspirapolvere, macchine per lavare la biancheria, lucidatrici per pavimenti, ecc.).

Prof. P. PORRETTI. — **Dilettevoli esperienze** - 5ª Edizione, 320 pag. grandi, 300 figure, 20 tavole. - L.30.

E' una raccolta di giuochi e di esperimenti facili ad eseguirsi, che fissano l'attenzione con la produzione di un fenomeno sensibile, talvolta curioso e sovente divertente. La fisica, l'elettricità, la meccanica, la chimica, la storia naturale, ecc. forniscono di volta in volta l'argomento di una piacevole chiacchierata, coronata da sorprendenti esperienze eseguibili in famiglia, senza apparecchi complicati e spese. L'eseguire un esperimento pratico è il miglior mezzo per imparare.

G. RIPPO. — **Il calcolo e la costruzione delle elettrocalamite.** - II Edizione, 128 pag., 43 figure. - L. 12.

Ogni elettricista, pensando alla costruzione di qualche apparecchio di sua ideazione: per una segnalazione, per aprire a distanza una porta, per far scattare un interruttore o per qualsiasi altro scopo per cui serve un'elettrocalamita, si sarà domandato: Come si calcola e come si costruisce? A questa domanda risponde questo volumetto che è stato tenuto nella forma più elementare possibile, ricco di esempi pratici, e che metterà in grado chiunque di calcolare e costruire l'elettrocalamita che gli occorre.

Ing. M. BERTOLINI. — **Il motore elettrico a corrente alternata, asincrono.** - 2ª Edizione, 184 pagine, 98 figure. - L. 14.

Questo volumetto è destinato ad operai ed allievi delle scuole profesionali ed, in generale, a quelle persone che — senza una specifica coltura elettrotecnica — possono trovarsi ad usare il motore asincrono a corrente alternata oggi così diffuso, ed a desiderare di conoscerne il funzionamento e la costruzione.

Ing. M. LANFRANCONI. — **Le frodi nei contatori elettrici.** - 5ª Edizione rinnovata, 176 pag., 101 figure. - L. 12.

Le frodi di energia elettrica, sono oggi in aumento inquietante ed i dirigenti di Esercizio cercano in tutti i modi di mettervi riparo. Il controllo dei contatori, un tempo abbandonato ai semplici letturisti è oggi esercitato da abili squadre di vigilanza che sorprendono continuamente gli incauti frodatori. A quest'opera di repressione gli utenti disonesti hanno risposto con il perfezionare le loro frodi rendendole più ingegnose e difficilissime da scoprire. Scopo di questo libro è di mettere al corrente i verificatori di tutti i sistemi possibili di frode, spiegandoli chiaramente con molti schemi, e di indicare poi i mezzi adatti a scoprire gli utenti disonesti. Un capitolo è dedicato alle sanzioni della legge contro questo reato.

D. GAMBINO. — **Misure elettriche industriali.** - 2ª Ediz. rinnovata, 168 pag., 150 fig. - L. 12.

L'argomento sarebbe vastissimo, poichè di misure elettriche se ne possono fare di ogni genere, ma l'Autore ha opportunamente scelto quelle più comuni e, aiutandosi con molti schemi pratici, le ha rese di facile esecuzione e comprensione. Nel libro sono descritti gli strumenti di misura, il loro uso pratico e i calcoli necessari nei vari casi.

Ing. G. E. GASQUY. — **L' elettricità.** - 2ª Edizione, 136 pagine grandi, 122 figure. - L. 16.

Opera di divulgazione scientifica scritta per coloro che vogliono capire qualcosa di elettricità e contiene quel minimo di cognizioni che ogni persona colta deve avere. Scritto brillantemente e ben illustrato ha avuto un meritato successo.

Ing. G. Chierchia. — **Gli apparecchi elettrici di riscaldamento.** - 8ª Edizione rinnovata, 208 pag., 158 figure. - L. 16.

Insegna a calcolare e costruire: Stufe - Caloriferi - Fornelli - Bollitori - Ferri da stiro - Saldatori e tutti gli altri apparecchi elettrotermici più comuni. 28 esempi completi di calcolo. E' un volumetto, frutto di studio e di pratica personale, ricco di consigli pratici in modo che chiunque, attenendosi alle norme in esso contenute, può intraprenderne la costruzione.

E. Lavagnolo. — **L'impianto elettrico della casa** *spiegato per essere compreso ed eseguito da tutti.* - 8ª Edizione aggiornata, 332 pag., 490 figure. - L. 20.

Questo libro si indirizza ai principianti, agli installatori elettricisti ed a coloro che vogliono eseguire gli impianti da sè. Tratta dei circuiti per impianti luce, della posa dei conduttori, della razionale disposizione delle sorgenti luminose, delle verifiche e norme di collaudo. *Ben 490 figure e schemi di impianto spiegano tutti i casi possibili.* Raramente si trova un libro così pratico e così completo. Non si acquista un libro, ma si impara una professione. Letto questo libro, ciascuno potrà dire: « D'ora innanzi il mio elettricista sono io! ».

G. Rippo. — **Il Memorandum dell'elettricista.** - 16ª Edizione riveduta, formato da portafoglio (cm. 9 × 12), 190 pagine. - L. 12.

E' il formulario che incontrò maggior successo. Contiene quelle formule e quei valori — dati da tabelle — che servono all'elettricista per risolvere quei problemi che gli si presentano sul lavoro, dove non ha a sua disposizione libri tecnici da consultare. Le edizioni si susseguono perchè dopo qualche anno coloro che se ne servono sono costretti ad acquistarne una nuova copia, aggiornata, in sostituzione di quella sgualcita dall'uso.

E. Lavagnolo. — *Tutti gli schemi per* **Suonerie elettriche** *spiegati per essere compresi ed eseguiti da tutti.* - 4ª Edizione aggiornata, 200 pagine, 248 figure. - L. 12.

Quando si ha sott'occhio un chiaro schema d'impianto anche un profano non trova difficoltà ad eseguire un impianto di suonerie. In questo libro si presuppone che il Lettore non abbia alcuna nozione nè teorica, nè pratica sulle suonerie e lo si guida con elementare chiarezza ad eseguire da sè impianti dai più semplici ai più complicati. Sono trattati anche gli apparecchi analoghi: quadri indicatori, apri-porta, apparecchi di segnalazione, ecc.

Ing. E. Marenco. — **Come si diventa elettricisti.** - 12ª Ediz. rinnovata, 416 pag. grandi, 320 figure.- L. 40.

E' un libro scritto in forma agile e piana, che si fa leggere come un romanzo. Le splendide figure ed i chiarissimi schemi rendono ancor più facile la comprensione del testo. L'opera si indirizza ai giovani che vogliono dedicarsi all'elettrotecnica ed a coloro che, pur essendo privi di ogni cultura scolastica, vogliono riuscire ugualmente a farsi un concetto esatto e ragionato dell'elettricità e delle sue applicazioni. Il Lettore è messo direttamente di fronte a cose reali, cioè a macchine ed a fenomeni, senza alcun sfoggio di erudizione e senza formule. E' un corso elementare e completo di elettricità che si inizia dallo studio dell'utilizzazione dei salti d'acqua e delle turbine, per passare poi alle dinamo e alternatori, al circuito elettrico, ai trasformatori, al trasporto, distribuzione ed utilizzazione dell'energia.

P. Bartoli. — *Manuale pratico del* **Capo elettricista.** IIª Ediz., 368 pag., 134 fig. - L. 24.

Esistono molti trattati di elettrotecnica, ma non ci risulta che nessuno di essi sia stato scritto praticamente solo per venire in aiuto al personale che giornalmente si trova alle prese con le difficoltà del lavoro. Il libro è destinato specialmente al personale delle Aziende Elettriche di Distribuzione, personale che è responsabile di un dato servizio o di una data zona, ove non ha possibilità di ricevere dei consigli e deve sbrogliarsi senza aiuto perchè tutto proceda sempre nel migliore dei modi.

G. Rippo. — **Le piccole centrali moderne.** - 128 pag., 52 figure. - L. 10.

Questo libro, destinato ai capi-centrale, capi-turno, capi-sala, quadristi, ecc. tratta parecchi argomenti nuovi e di grande interesse. Ecco il titolo dei principali capitoli: Esempi d'impianto - Parallelo e corrente di equilibramento - Ripartizione del carico nel parallelo degli alternatori - Connessioni delle fasi e parallelo - Comparatore di fase e di sincronismo - Uscita di fase - Regolatore automatico della turbina - Sincronizzazione automatica - Parallelo automatico - Funzionamento della centrale automatica - Protezione automatica delle parti meccaniche - Fattore di potenza, condensatori e rifasamento - Marcia sincrona dei motori asincroni in parallelo - Manovre e manutenzione - Segnalazione luminosa delle manovre, ecc.

Ing. P. Rossi. — *Costruzione degli* **Avvolgimenti delle macchine elettriche.** - 240 pagine grandi, 246 figure. - L. 30.

Molti lavori dell'elettrotecnica si possono eseguire anche nelle piccole officine. Tali sono ad esempio: la costruzione dei trasformatori, l'avvolgitura dei motori, dinamo, ecc. la modifica delle caratteristiche, la riparazione dell'avvolgimento, ecc. In tutti questi lavori non basta la pratica professionale, nè l'abilità manuale dell'operaio, ma occorre anche un po' di calcolo. L'elettricità è forse l'unica branca della tecnica in cui non si può far nulla « ad orecchio » Rendere facile, pur rimanendo nell'esattezza, il calcolo di una macchina elettrica, tale è stato l'obbietivo raggiunto dall'Autore.

Ad ogni ordinazione di uno o più libri aggiungere L. 1 per spedizione.

Il Catalogo Generale delle Edizioni Tecniche G. Lavagnolo contiene la dettagliata descrizione di 170 recentissimi volumi.

Si spedisce gratis a richiesta.

Finito di stampare dalla Tipografia Francesco Mittone
Corso Principe Oddone 34, Torino
il 17 Luglio 1943-XXI.