

DISPOSITIVI PER OTTENERE DA CORRENTI TRIFASI CORRENTI UNIDIREZIONALI DI ALTA TENSIONE.

O. M. CORBINO e G. C. TRABACCHI.

Sono già conosciuti dei dispositivi che, utilizzando le correnti trifasi di una rete di distribuzione stradale, permettono di lanciare correnti unilaterali periodicamente interrotte nel primario di un rocchetto di induzione, e di ottenere così dal secondario una successione di scariche indotte, delle quali un selettore, che ruota sincronicamente con l'interruttore, invia nel ricevitore, per esempio un tubo per raggi X, le sole scariche di apertura.

Questi apparecchi, che funzionano assai bene quando si tratta di alimentare uno o più tubi duri con regolazione indipendente, non consentono che in un unico tubo molle si lancino le correnti di grandissima intensità richieste per la radiografia a brevissima posa.

Ciò è dovuto alle inevitabili limitazioni della potenza che si può ricavare da un rocchetto di induzione anche se provvisto di selettore per le correnti di apertura, quando le successive correnti nel primario magnetizzano il nucleo sempre nello stesso senso.

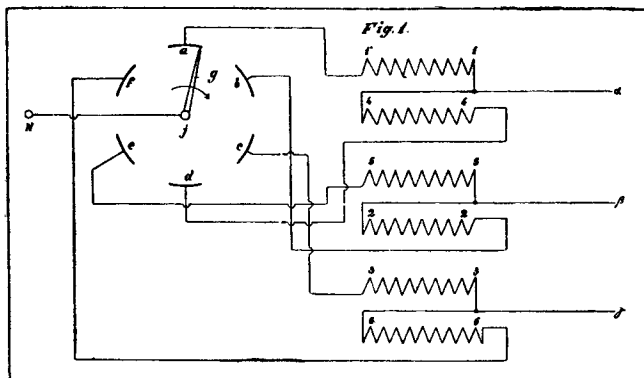
Allo scopo di eliminare questa limitazione si è studiato e realizzato un gruppo di dispositivi tali da permettere, usando le correnti trifasi, periodicamente interrotte, di far seguire ad ogni rottura, dopo un conveniente intervallo, la chiusura di una corrente che magnetizzi il nucleo in senso opposto al precedente. I due impulsi di ugual senso, dovuti alla rottura e alla chiusura seguente cui si fa corrispondere un'alta tensione al secondario, vengono inviati al ricevitore attraverso a uno speciale commutatore sincrono di alta tensione, che inverte

le comunicazioni tra il secondario e il ricevitore quando alla successiva rottura è anche invertita l'alta tensione del secondario.

Gli apparecchi destinati a far conseguire questo risultato possono essere costruiti secondo varie forme di esecuzione adatte ai vari casi, a seconda cioè che esista o no il neutro nella rete di alimentazione, e si vogliano scariche assai frequenti, da produrre quasi una corrente continua, ovvero che sia opportuno far seguire le scariche indotte a intervalli meno frequenti, conservando in tutti i casi la possibilità di fornire correnti molto intense, come sono richieste per la radiografia ultrapotente, o correnti di altissima tensione, come occorrono nei tubi duri per radioterapia profonda.

* * *

Quando esista un neutro nella rete di alimentazione o sia conveniente costruire un neutro artificiale, si ricorre alla disposizione dell'apparecchio schematicamente illustrata dalla fig. 1. Si ha:



un rocchetto a coefficiente di moltiplicazione elevatissimo, il cui nucleo di ferro porta sei primari 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5, 6-6, avvolti tutti nel medesimo senso;

un interruttore rotativo J a getto di mercurio e a gas inerte del tipo dell'interruttore Ropiquet, ma avente sei lamine a, b, c, d, e, f , isolate fra loro e dal supporto. Il getto di mercurio g è unico e lambisce successivamente le sei lamine, collegandole in tal modo una ad una colla massa. L'asse della turbina è azionato da un motore sincrono, che compie un giro ad ogni due periodi della corrente che lo alimenta;

un selettore, avente la proprietà di invertire le connessioni fra il tubo e il rocchetto ad ogni terzo di periodo; e ciò mentre esso è azionato dallo stesso motore che tiene in rotazione la turbina del mercurio.

I sei primari del rocchetto sono collegati a due a due in serie; i punti di unione di ciascuna coppia fanno capo alle singole fasi α, β, γ . I sei estremi liberi sono collegati alle lamine in modo che le lamine a, c, e , sono connesse a tre primari, che determinerebbero, se percorsi da corrente continua proveniente dai fili di alimentazione, una magnetizzazione che diremo diretta; le lamine b, d, f , sono connesse agli altri tre primari, i quali, se fossero percorsi dalla stessa corrente sopra considerata, determinerebbero una magnetizzazione inversa. La massa dell'interruttore, e quindi il getto di mercurio, è collegata al neutro.

Allorchè il getto di mercurio, rotante alla velocità di un giro ogni due periodi, investe la lamina a , si determina nel primario ad essa collegato il passaggio di una corrente, la cui intensità, assunta nel tempo che il mercurio lambisce la lamina, dipende, oltre che dalle condizioni del circuito, anche dalla fase in cui viene colta la tensione del filo α della linea.

Tale fase si può scegliere come conviene rotando lo statore del motore che aziona l'interruttore.

Quando tale corrente si interrompe, si determina al secondario una tensione elevatissima, la quale potrà produrre nel circuito di utilizzazione, per es. un tubo per raggi X, una corrente che tende a durare per un tempo notevole, dipendente dalle condizioni dell'utilizzatore.

Il getto di mercurio che abbandona la lamina a , dopo una conveniente pausa e a distanza di $\frac{1}{3}$ di periodo dalla chiusura su a , investe la lamina b , azionando così il primario 2-2, il quale, essendo collegato alla fase β , che ha assunto in tale istante il valore che prima sí era scelto per la α , sarà percorso dalla stessa corrente del numero 1-1. Però, essendo esso percorso, per i collegamenti sopra descritti, in senso opposto al precedente, determinerà una magnetizzazione opposta del nucleo.

Tale chiusura determinerà pertanto una tensione secondaria dello stesso senso di quella prodotta dalla rottura del primario 1-1, e poichè essa si determina non prima che la tensione dovuta alla precedente rottura sia scesa ad un valore inferiore a quello della tensione di chiusura, si produce una nuova elevazione della tensione e della corrente secondaria, con tutti i vantaggi già altrove rilevati a questo proposito. ¹⁾

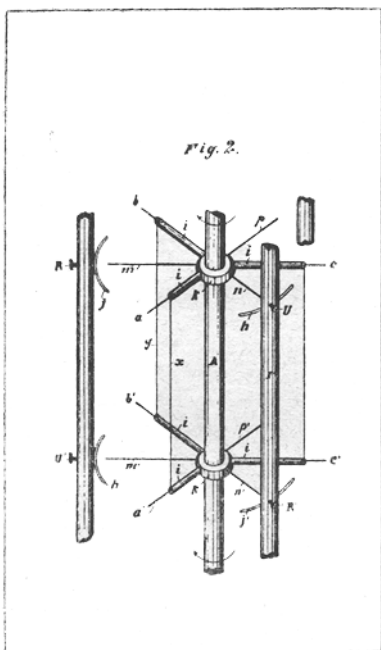
Come si può facilmente vedere, continuando a seguire nella figura la rotazione del getto di mercurio, si hanno durante un giro sei impulsi analoghi a quello sopra considerato, seguiti ad intervalli di $\frac{1}{3}$ di periodo e a polarità successivamente invertite nel secondario del rocchetto.

È pertanto necessario che tra il rocchetto e l'utilizzatore sia interposto un commutatore che inverta le connessioni ad ogni terzo di periodo. Provvede a tale scopo l'apparecchio rappresentato nella fig. 2.

Una gabbia a tre colonne erette sui vertici di un triangolo equilatero, è fissata sopra il motore sincrono in modo che l'asse di esso traversi il triangolo basale nel suo centro. All'asse del motore è connesso rigidamente un asse A di materiale isolante, che è sopportato nella parte superiore da un cuscinetto tenuto nel centro del triangolo superiore della gabbia.

¹⁾ O. M. Corbino — *Nuovo Cimento*, 2.° sem. 1917. — G. C. Trabacchi. — *Nuovo Cimento*, 2.° sem. 1917.

Lungo due delle colonne I, I', che sono di sostanza isolante, sono disposti, come nella figura, quattro archi di metallo j, j', h, h' , aventi la curvatura del cerchio che ha per raggio la loro distanza dall'asse sopra accennato; essi sono orientati lungo tale circonferenza.



L'asse di materiale isolante A, all'altezza di ciascuna coppia di archi, porta un anello metallico K, munito di tre bacchette radiali di alluminio, disposte a 120° fra loro.

Le bacchette superiori m, n, p , sono parallele e sovrapposte alle inferiori m', n', p' . Tra l'una e l'altra bacchetta di alluminio è fissata una bacchetta di materiale isolante, i , di conveniente lunghezza, terminata anche essa da una breve asticella di alluminio.

Le sei estremità di tali bacchette di sostanza isolante sono collegate da asticelle verticali x, y, z , elettricamente connesse con le brevi bacchette orizzontali a, b, c, a', b', c' .

Seguendo tale apparecchio nella sua rotazione, si vede che, se in una posizione sono collegati gli archetti orizzontalmente, e cioè U con R e U' con R', dopo $\frac{1}{6}$ di giro (corrispondente ad $\frac{1}{3}$ di periodo) sono stabilite le connessioni secondo le verticali, e cioè U va con R' e U' con R.

Il rocchetto è connesso ad un archetto superiore di una colonna R e a quello inferiore dell'altra R', l'utilizzatore agli altri due U e U', e perciò le loro connessioni si invertono ad ogni terzo di periodo. L'ampiezza degli archetti è tale che la

connessione dura per tutto il tempo in cui la tensione è utile e cioè durante la *rottura*, la *pausa*, e *buona parte della susseguente chiusura*, e la commutazione si compie quando la tensione secondaria è molto bassa.

Il selettore viene calettato una volta per tutte sull'asse, in modo che una delle connessioni si stabilisca al momento di una rottura.

Poichè il motore di cui si fa uso per azionare l'asse del selettore e dell'interruttore è tetrapolare, potrebbero esservi per esso quattro posizioni ortogonali di sincronismo; quelle a 180° sono equivalenti nei riguardi della corrente lungo il neutro: quelle a 90° determinano una inversione nel senso di tale corrente e quindi in quella che attraversa l'utilizzatore. La posizione assunta dal motore, che, essendo trifase, prende rapidamente il sincronismo, è segnalata da uno dei soliti indicatori.

Il raddrizzamento si fa mediante un commutatore che scambia le connessioni fra le coppie dei fili che fanno capo alle lamine.

Sopprimendo le connessioni di tre primari con tre lamine, scelte alternativamente, e cioè le pari o le dispari secondo la posizione scelta inizialmente per il selettore, gli impulsi di rottura per ogni giro si riducono a tre.

Con tali connessioni primarie, si potrà usare la sola parte superiore del selettore, portando uno dei poli del rocchetto direttamente al tubo, mentre l'altro polo fa capo ad uno degli archetti superiori, dei quali l'altro comunica con il tubo. Siccome le tre rotture utilizzate si verificano ad intervalli di $\frac{2}{3}$ di periodo, e precisamente ad ogni $\frac{2}{3}$ di periodo si effettuano le connessioni fra gli archi superiori, il tubo è attraversato da tutti e soli gli impulsi unidirezionali corrispondenti a dette rotture.

Disponendo di tre interruttori separati, disposti sulle tre fasi, o sui tre fili che conducono alle lamine impiegate, i tre impulsi si possono ridurre a due ed anche ad uno per ogni giro.

Questa disposizione è conveniente per i tubi duri e durissimi da radioscopia e radioterapia, ed è ovvio che essa è efficacissima per regolare la intensità in essi, essendo possibile modificare il numero degli impulsi (per una frequenza di 50 periodi) da 25 a 75.

* * *

L'uso di un neutro *artificiale* (autotrasformatore a stella) ha dato in pratica così buona prova da consigliarne l'adozione in ogni caso; specialmente perchè, costruendolo opportunamente, come sarà appresso indicato, si può ridurre a uno il numero degli avvolgimenti del primario, con notevole facilitazione della costruzione e semplificazione delle connessioni e del quadro di manovra: tutto ciò senza nulla perdere dei vantaggi pratici dell'apparecchio e della sua facilità di applicazione a tutte le esigenze della radiologia (radiografia intensiva, radioterapia profonda, radioscopia a lampi radi o frequenti).

Questi risultati si raggiungono costruendo il neutro artificiale con uno speciale autotrasformatore (fig. 3), consistente in

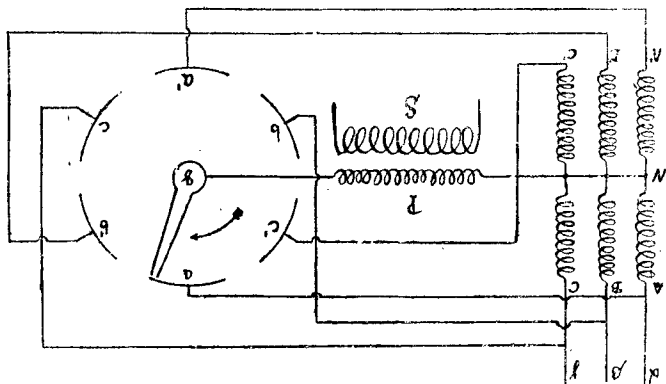


Fig. 3

un sistema di tre sbarre di ferro connesse magneticamente come negli ordinari trasformatori, e su cui sono distribuiti tre avvolgimenti calcolati per una tensione doppia di quella di linea.

I tre punti di mezzo dei tre avvolgimenti sono collegati insieme e costituiscono il neutro N del sistema. I capi liberi A, B, C sono connessi alle fasi α, β, γ , e si riconosce facilmente che negli altri capi A', B', C' esistono in ogni istante tensioni eguali e contrarie, rispettivamente, a quelle delle fasi.

Il neutro N si collega, attraverso un unico primario P, con un getto radiale, come nell'apparecchio precedente; mentre le lamine successive sono riunite ai capi degli avvolgimenti A, B', C, A', B, C'. Se il motore che aziona l'interruttore compie un giro ad ogni due periodi ad ogni rottura seguirà una chiusura del neutro attraverso al primario su una tensione opposta, e si avranno le stesse vicissitudini che sono state descritte precedentemente. Sopprimendo i contatti tra A', B', C' e le corrispondenti lamine, e facendo contemporaneamente le opportune e già descritte connessioni al selettore, si realizzano le condizioni adatte per le scariche di altissima tensione, che servono ad esempio per la terapia; sopprimendo inoltre uno o due contatti fra A, B, C e le lamine corrispondenti, si può ridurre il numero delle scariche per ogni giro.

* * *

Quando non esiste un neutro di città e non è conveniente di fabbricarne uno artificiale l'apparecchio rimane nelle parti essenziali eguale ai precedenti, tranne che nell'interruttore, invece di un solo getto, se ne hanno due g' e g'' , disposti a 60° fra loro, come mostra la figura 4.

Nulla è pure mutato nelle connessioni fra primari, lamine e linea, tranne che, non esistendo il neutro, la massa dell'interruttore e i beccucci dei getti sono, come in tutti gli apparecchi ordinari, isolati.

Seguendo la coppia di beccucci nella sua rotazione, si vede che essi chiudono e interrompono successivamente la corrente tra due fasi contigue a intervalli di $\frac{1}{3}$ di periodo, lanciando tali correnti (che sono unidirezionali nel getto rotante) in coppie di primari, che risultano avvolti in serie e in modo tale che,

se ad una chiusura si determina una magnetizzazione in un senso, alla chiusura successiva se ne determina una invertita.

Ne risulta un funzionamento analogo a quello degli apparecchi precedentemente descritti, e cioè la successione, per ogni giro, di sei coppie di impulsi, invertiti ad ogni terzo di pe-

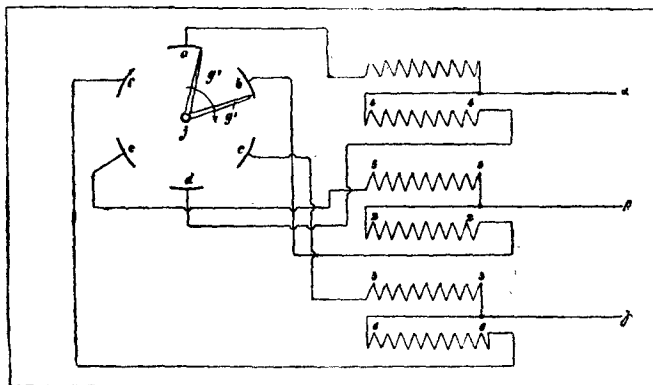


Fig. 4.

riodo, che il selettore già descritto e sempre disposto nello stesso modo, lancia nell'utilizzatore tutti nello stesso senso.

Esaminando lo schema di questo caso, si vede con facilità che, se ai primari 1, 3, 5, si sostituiscono dei semplici fili, l'apparecchio funziona egualmente. Si avrebbe così una semplificazione nel numero dei primari; la ragione per cui si preferisce averne sei, come nello schema, è per rendere possibile e comodo l'uso del dispositivo nel caso della terapia.

Infatti, allo scopo di rendere possibile anche con questa disposizione l'utilizzazione di correnti unidirezionali, susseguentisi ad intervalli di $\frac{1}{3}$ di periodo, e cioè in numero di tre per ogni giro, in modo tale che, utilizzando il selettore come nella disposizione descritta nel primo caso per l'alimentazione dei tubi durissimi, si possano lanciare in un tubo una, due o tre scariche per ogni giro, si usano due commutatori interruttori tripolari, disposti come segue ed è indicato nella figura 5.

I tre fili di alimentazione fanno capo a tre doppi coltelli α, β, γ di un ordinario commutatore interruttore tripolare, in modo tale che è resa possibile la connessione di detti fili α, β, γ , sia con i punti 1-4, 5-2, 3-6, come nella disposizione ultima descritta, sia con i soli estremi 4, 2, 6, dei primari omonimi.

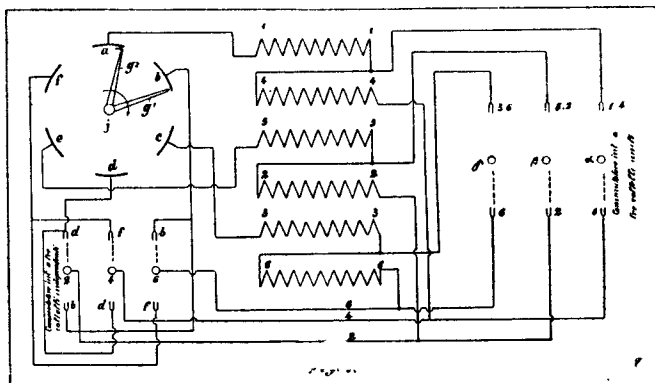


Fig. 5.

Un altro interruttore tripolare, ma avente i tre coltelli indipendenti fra loro, è inserito in modo che ai tre coltelli fanno capo gli estremi esterni dei primari 2, 4, 6. Chiudendo i tre coltelli di quest'ultimo tutti dalla parte inferiore, mentre quelli dell'altro sono chiusi dalla parte superiore, si stabiliscono le connessioni come nella disposizione ultima descritta, e cioè gli estremi dei primari 6, 4, 2, comunicano con le lamine f, d, b , e le fasi coi nodi 1-4, 5-2 e 3-6. Invece, se si portano tutti i coltelli dalla parte opposta, si sarà effettuata, come è facile vedere, una permutazione circolare nei contatti di detti primari con le lamine ad essi connesse, e si saranno riunite le fasi con gli estremi dei primari 4, 2, 6. Così stando le comunicazioni, e cioè come sono indicate nella figura 5, accadrà che, trovandosi la coppia di beccucci dell'interruttore nella posizione da interrompere il contatto fra le lamine a e b , sarà interrotta nella coppia di primari 1-4 una corrente, che, supposta proveniente da α , avrà percorso detti primari da destra

a sinistra. Passando i beccucci a far contatto fra b e c , non si stabilisce, e perciò non si interrompe, nessuna corrente, perchè le lamine b e c fanno capo alla medesima fase. Passando ora alla connessione cd , si lancerà, e quindi si interromperà, una corrente, la quale, poichè è presa fra γ e β , la cui differenza di potenziale, nei $\frac{2}{3}$ di periodo trascorsi è diventata uguale a quella esistente tra α e γ all'atto del contatto ab , attraverserà la coppia di primari in serie 3-6 nel medesimo senso del caso precedente.

Continuando la rotazione della coppia di beccucci, si vede che fra d ed e , e tra f ed a non si avrà corrente, mentre, dopo gli impulsi già considerati, verificatisi fra a e b e fra c e d , se ne ripeterà un altro identico tra e ed f , in modo da realizzare i tre, separati dall'intervallo di $\frac{2}{3}$ di periodo.

È ovvio, che, essendo i tre coltelli del secondo commutatore indipendenti, lasciandone uno o due nella posizione neutra, gli impulsi per ogni giro potranno esser ridotti a due o anche ad uno.

* * *

Quando si vogliano ottenere delle correnti secondarie intense o di alta tensione con impulsi meno frequenti e minore velocità angolare degli organi rotativi, si ricorre alla disposizione mostrata dalla figura 6.

Dai tre fili di linea α, β, γ si ricavano staticamente con le note disposizioni, per esempio col sistema Scott, rappresentato nella figura, due tensioni difasate in avvolgimenti distinti, cosicchè, unendo i centri di questi con un filo neutro N , si abbiano disponibili nei fili A, B, C, D , rispetto al neutro N , quattro tensioni alternative succedentisi a intervalli di $\frac{1}{4}$ di periodo nell'ordine letterale.

Il filo N è collegato attraverso il primario p del rocchetto con un unico getto di mercurio g rotante del solito interruttore J . In questo si hanno quattro lamine isolate a, b, c, d , connesse rispettivamente coi fili A, B, C, D .

Il motore che trascina il getto è a tre coppie di poli, così da compiere un giro ad ogni tre periodi. Ne risulta che il getto chiude le lamine sul neutro, attraverso al primario, ad intervalli di $\frac{3}{4}$ di periodo.

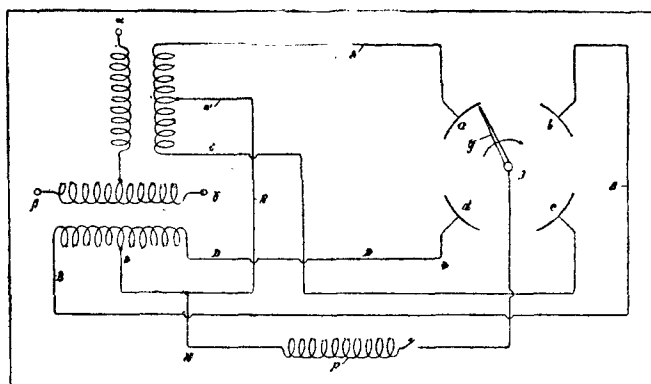


Fig. 6.

Nella posizione della figura il getto chiude sul neutro la fase A; segue una rottura, e alla susseguente chiusura su B, dopo $\frac{3}{4}$ di periodo dalla chiusura anteriore, si avrà in B la stessa tensione che in A, ma di segno opposto. Dopo la nuova rottura, la lamina c e la fase C entreranno in funzione a distanza di $\frac{6}{4}$ di periodo dall'entrata in funzione di A, e invieranno nel primario una corrente invertita rispetto a quella derivante da B; così alla rottura in c seguirà una corrente nuovamente invertita nella fase D, riproducendosi in seguito la stessa serie di vicissitudini e compendosi perciò ad ogni giro quattro rotture, seguite da quattro chiusure di correnti opposte.

L'ampiezza dell'intervallo vuoto fra le lamine e il coefficiente di moltiplicazione del rocchetto si sono scelti in modo che la nuova chiusura, pur determinando tensioni secondarie dello stesso senso, non possa attenuare gli effetti della precedente rottura. Si hanno perciò, se ad esempio la corrente ha 45 periodi, e il motore fa in conseguenza 15 giri al secondo,

60 rotture e 60 chiusure al secondo. Esse si susseguono in tale senso che le scariche di una rottura e della seguente chiusura sono dello stesso senso; ma alla rottura e alla chiusura successiva il senso della scarica indotta è invertito, in altri termini la polarità del secondario del rocchetto si inverte durante ogni chiusura.

Occorre adunque durante la fase della chiusura e poco prima che si determini la rottura invertire le comunicazioni tra il secondario del rocchetto e il ricevitore. Si ottiene questo risultato con uno dei noti commutatori di alta tensione trascinato solidalmente col getto dallo stesso motore, e capace di invertire le connessioni ad ogni quarto di giro.

Con l'uso del tipo particolare di commutatore d'alta tensione da noi altrove descritto, ⁽¹⁾ viene accresciuta la tensione utilizzabile per date dimensioni e velocità delle parti rotanti in confronto degli altri commutatori esistenti.

* * *

Volendo rallentare ulteriormente la velocità delle parti mobili dell'apparecchio, il che può essere utile in molti casi, si ricorre alla disposizione che segue e che è attuabile dove è possibile usare il neutro.

L'interruttore (fig. 7) è perfettamente identico a quello descritto per il primo dispositivo sopra riportato, ma le coppie di lamine opposte sono riunite fra loro e ordinatamente alle tre fasi, in modo che la coppia $a-d$ è connessa alla fase α , la coppia $b-e$ alla fase β e la coppia $c-f$ alla fase γ .

La pignatta dell'interruttore, e quindi il getto g di mercurio, è connessa al neutro attraverso l'unico primario di un rocchetto analogo a quello degli altri apparecchi descritti.

Il motore che aziona l'interruttore è, come al solito, un motore sincrono trifase, ma che compie un giro ogni cinque periodi.

⁽¹⁾ Corbino e Trabacchi. — *Nuovo Cimento*, serie VI, vol. XI, 1916.

Mentre il getto rotante lambisce la lamina α , si determina un passaggio di corrente nel primario del rocchetto: alla rottura che segue, nell'istante in cui il getto abbandona la lamina stessa, si desta nel secondario una corrente che, dato il tipo di rocchetto usato e l'utilizzatore al quale è destinata, (tubi molli per radiografia) conserva per molto tempo una notevole intensità.

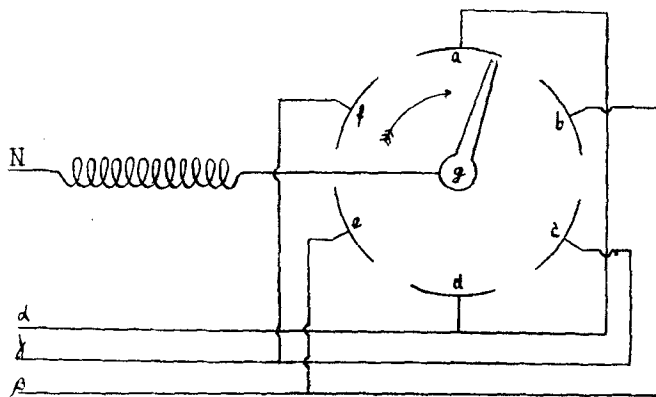


Fig. 7.

Poichè, come si è detto, il motore compie un giro ogni cinque periodi, la chiusura sulla lamina b si compirà a una distanza di $\frac{1}{6}$ di periodo da quella precedente sulla lamina a ; di modo che, essendo la fase ora impegnata la β , che dopo $\frac{1}{3}$ di periodo avrebbe assunto la stessa tensione che aveva la α al momento della chiusura sulla lamina a , dopo $\frac{1}{3} + \frac{1}{2}$ ($= \frac{5}{6}$) di periodo, avrà assunto una tensione eguale e contraria, per cui la corrente che si determina nel primario per la chiusura sulla lamina b è di senso opposto a quella che lo percorreva durante il contatto con la lamina a .

Pertanto la tensione generata nel secondario per questa chiusura è dello stesso verso di quella già esistente per la precedente rottura.

Seguendo il getto nella sua rotazione, si può facilmente riconoscere che in ciascun giro si ripetono sei doppi impulsi

analoghi a quello sopra descritto, e dovuti ciascuno alla successione di una rottura e di una chiusura; essi si seguono ad intervalli di $\frac{5}{6}$ di periodo ed hanno polarità successivamente invertite nel secondario del rocchetto, come negli altri apparecchi finora descritti.

Alla rettificazione della corrente nell'utilizzatore provvede lo stesso selettore descritto per i primi tre casi, e rappresentato nella figura 2. Esso infatti, come si è visto, inverte le connessioni fra rocchetto ed utilizzatore ad ogni sesto di giro, e cioè, in questo caso, ad ogni $\frac{5}{6}$ di periodo, come è richiesto.

Con questo tipo di apparecchio sono facili le manovre analoghe a quelle descritte per gli altri casi per l'uso di tubi da terapia; basta interrompere le connessioni con le lamine *b*, *d*, *f*, per avere le tre rotture di correnti unidirezionali seguentisi a intervalli di $\frac{1}{3}$ di giro; la disposizione già descritta per il selettore permette la utilizzazione delle correnti di altissima tensione così ottenute ¹⁾.

Roma, Istituto fisico della R. Università.

¹⁾ Altre disposizioni, che si omettono per brevità, sono descritte nella privativa n. 160610 e completivi.