

カスケードコンバーターの自働制御

黒 岩 和 五 郎

(Fusi Denki Seizo K. K. Kawasaki Works)

カスケードコンバーターは電動発電機と同期廻轉變流機との中間の構造を有し、一部直流発電機として、又一部は同期廻轉變流機として働き、その交流部は非同期電動機に變壓機をかねた役目をしてゐる。従つて能率は電動発電機よりは優り、同期廻轉變流機よりは劣つてゐる。直流側の磁極数は廻轉變流機の如く全然交流側の周波数と廻轉數に支配されるものでない。直流用磁極数と交流用磁極数との和が、その周波数及び廻轉數に依り制限されるのであるから重量並に据付面、値段等廻轉變流機に及ばないが電動発電機の如く高壓が出せる事と現在の所では交流側へ15000 ボルト位直接使用され變壓機を必要としない點に於て便利で且つ安價となるのである。

カスケードコンバーターの廻轉數は次の如くして決定する、即ち

$$2 \times pg = \text{直流側の極數}$$

$$2 \times pd = \text{交流側の極數}$$

$$f = \text{交流側の周波數}$$

$$s = \text{交流側廻轉子のスリップ}$$

とすれば任意の廻轉數 n に於て直流側では

$$sf = pg \frac{n}{60}$$

交流側では

$$f - s \cdot f = pd \frac{n}{60}$$

それ故にカスケードコンバーターの同期速度は

$$n_s = \frac{60 \times f}{pd + pg}$$

となり、丁度同期機の極數 $2 \times (pg + pd)$ のものと等しい廻轉數となる。交流側及直流側が同じ極數を有してゐる時は、カスケードコンバーターは $\frac{1}{2}$ の廻轉數となる。(交流又は直流部が同期速度にて單獨運轉すると假定する時の)。従つて交流部より直流部へのエネルギーの傳達は半ば電氣的で半ばは機械的である。極數が異つて居れば電氣的並に機械的エネルギーの傳達はその極數 pd 及 pg の比となる。

茲に電氣的のエネルギーに就て考へると、交流側は一種の變壓機として働き、その低壓側は6,9又は12相の捲線となり第一圖に示す通りである。交流側廻轉子の各相捲線は一端は直流部の捲線

へ他端はコンタクトブロックに導かれ、運轉狀態に於ては共同の短絡リングに依りて、スターポイントへ接續せられる。(第一圖には點線に依り各相の終點が接續され、それを示してゐる)。短絡リングは機軸に沿ふて、手働又はモートル操作の短絡設備に依り、起動時は接續を開き、その中の對稱的三相のみが更にスリップリングへ接續せられる、そして 120° 位相異なる三相システムを得られる如くする、

(a) 起 動 方 式

カスケードコンバーターの起動法としては、二つの根本的に異なる方式があり、これはE.T.Z. 1913に Jensen 氏に依り詳述せられてある。

(1) 同期化用抵抗を使用する方式

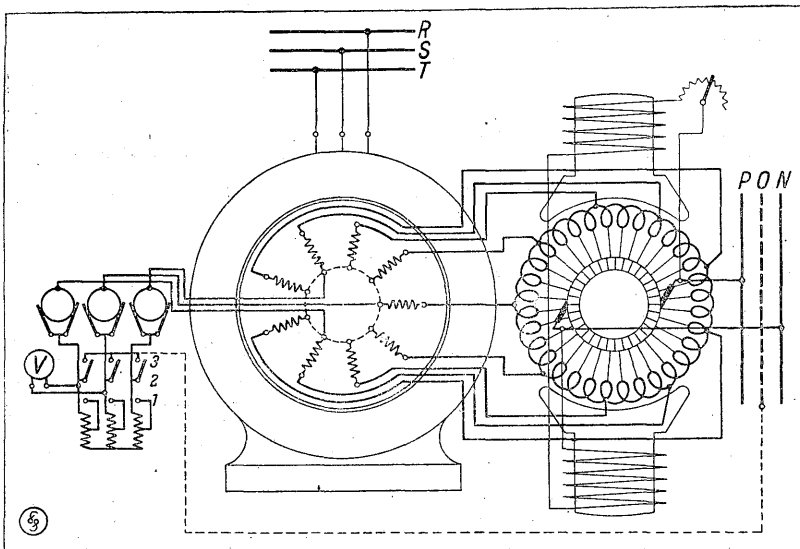
第一圖に示す如く廻轉子電路へ抵抗を入れる所の古い方式である、起動廻轉力を大きくする爲に、始めはこの抵抗の一部分を短絡し、一定の速度に達したる後開路する、然る時は大なる同期化用抵抗の爲めに廻轉機がスピードアップすること遅く或は全然起動しないと云ふ様なことがなくなる。そこで起動は三段に分たれることになる。(第三段はスターポイントへの接續) 三極起動切換スイッチが必要である。非同期電動機として起動し同期速度近くになると主磁極は残留磁氣に依り勵磁せられる。變流機電壓並に交流廻轉子電壓は後に詳述する通り廻轉子へ電流を生ぜしめ、瞬間の廻轉が同期速度より早く或は遅きかに従ひ、變流機の廻轉速度を減じ、或は加速する様に働く。同期速度が得られても、まだ全勵磁を受けてない爲に、加速度に依り 20 % 位速度大となり直流側の勵磁と同時に再び原速度に歸る。若し或る原因の爲に勵磁し得ざる場合は、交流側の磁極數に相當する廻轉數に達せんとする故、セントリフューガルスイッチに依り油入遮斷器を開路しなくてはならぬ。然し變流機が常規のスリップを以つて廻轉する場合は、第一圖に示す電壓計Vがゼロを指示する瞬間に三極切換スイッチを以つて、スリップリングを短絡せねばならぬ。此の時既に述べた通り、交流側廻轉子の各相端を一つのスターポイントに接續し、若し直流電壓の分割が不必要であれば、スリップリングを同時に引揚げると。此の方法に於ては同期化用抵抗及び分捲勵磁の調整抵抗の値を適當に定むることに依り理想的の條件を見出すことが出来るけれ共、實際に於ては文句で書いたよりは、はるかに困難がある。ゼロボルトメーターは普通二三回ゼロの方に振れる丈で而もそれが非常に早い爲めに多くの熟練と沈着がなくては正しい瞬間に短絡することは六ヶ敷い。この正しい瞬間を失すれば幾回も繰返し起動しなくてはならぬ、そうになると起動抵抗が加熱せられ、益々困難が増して来る。時機を失して短絡すれば、電源にサージを起すのみならず、スリップリング及びコミュテーターに火花を起す、即ち經驗の多少に依るのみであることが認められてゐる。そこで變流機が同期速度になつたらリングの短絡は任意の時機で差支へない様な起動法が自然と要求されて來るわけである。

自働制御に於ては唯油入遮斷器を閉路するのみで足りる安全且つ正確なる方法であらまはは次

の如くである。

(2) 同期化用塞流線輪を使用する方式

廻轉子の電路へ無誘導及誘導抵抗を直列に挿入するもので第一段には(第二圖)塞流線輪が短絡せられる、變流機は非同期機として廻轉子電路に抵抗(c)を挿入したる状態に於て起動し、任意あらかじめ決定したる同期速度の50—75%に達すれば、起動切換スイッチ(d)は第二段の同期化の位置に切換へ、起動抵抗の一部分と直列に塞流線輪を接續する。變流機はかくて自働的に同期速度に達し過速度となることなく、リングを開路のまゝ任意いつまでも同期速度にて廻轉する。それ故リングの短絡は或る瞬間に限定されることなく任意である、リングは起動スイッチ又は短絡用スイッチに依り直接短絡せられる。



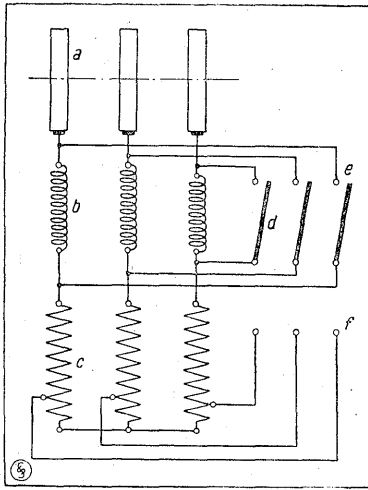
第一圖 同期化用起動抵抗を有するカスケードコンバーターの結線圖

シーメンスの Dr. Liwschütz 氏の考案せる起動方式に於ては小型の空氣冷却式三相塞流線輪が使用せられてゐる。第三圖に示す所のものはこれと起動切換スイッチの配置を示し、電路を開くことなく切換を行はしめる爲に、小型となり、安價であり得ると共に、スライドコンタクトに於て電路を開く時そこに火花を生ぜず従て損傷を起すことも少なくなる。

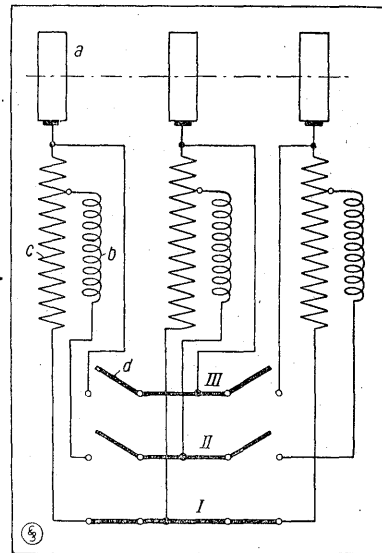
(3) 兩起動方式の比較

Jensen 氏は兩起動法に大なる差異のある理由は廻轉子電流の電壓の位相の異動に依るものとしてゐる。説明に便宜のため、變流機は既に起動して同期速度近くになつて居り、直流側は勵磁されてゐるものと假定する。

ステーターにはロータリーフィールド Φ_{st} を生じて廻轉子に電壓 E_L を誘起し、無誘導及び誘導抵抗を有する廻轉子線輪は電流 J_L を得、電壓電流の相角は α であるとする、 J_L に依り直流側



第二圖 同期化用塞流線輪及び
切換スイッチを使用する時の結
線圖



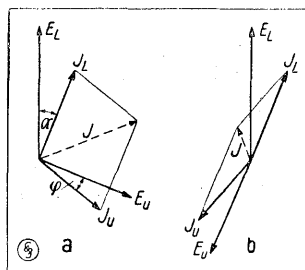
第三圖 同期化用塞流線輪及びス
ターポイントスイッチを使用する
時の結線圖

にロータリーフィールド Φ_L を生じアーマチュアの廻轉と反對の方向に生るものとする。 Φ_L は同期速度に於ては空間に對して、靜止の位置に在り主磁極と關聯す。

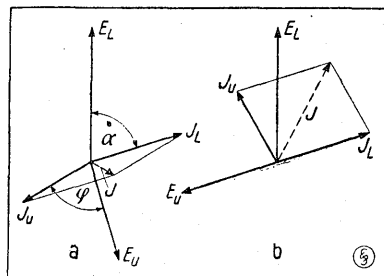
直流側から考へると又同様の現象を呈する。即ち主磁極の Φ_{HP} に依りアーマチュアに電壓 U_a を誘起し電流 J_a を起す。 J_a 及び U_a は相角 φ を有し一般に J_a の相は後れてゐる。これは交流側に Φ_a を生じ同期速度に於てはステーターフィールド Φ_{st} と關聯し電源の周波數を以つて同期廻轉をなす。斯の如く所謂二重の第一次及第二次のフィールドを有し互に相關聯してゐる、茲には直流部分に於ける關係文が必要であるから Φ_L 及び Φ_{HP} が問題となつて来る。

或る瞬時に於けるフィールドの空間的位置に關せず、サージを起さない様スリッピングを短絡することが出来る、その時は廻轉子の電流の和が幾何學的に最少値を取ればいい。丁度二つの電壓を抵抗を以つて連結し電流のない時にその兩電壓間の抵抗を短絡するのと全く同様である。ゼロボルトメーターは起動抵抗器のターミナルの電壓を測定するものであるからゼロ附近の値を指示するよりも最高電壓附近の値を指示する時の方がより長く續く、即ち針の振れの速度の變化は一定でない。廻轉子は Φ_L と Φ_{HP} とが互に補け合ふ時に多分速度は減ぜんとし若しこの瞬間に最少電流の條件が合致すれば自動的に同期速度に在り得るのである(廻轉力がないから) Jensen 氏は Φ_L の四つの位置に就て電流の値を見出してゐる、正弦波電壓たることを假定し直流側のアーマチュア電壓 U_L をその瞬間不變と見做してからのことである。これによると無誘導抵抗起動に際し、最少電流の起るのはロータリーフィールドが同性の主極をはなれ次の極との中間に來た時である。而もアーマチュアのスリップが急速である場合でなくてはならぬ。誘導抵抗を接續することによ

り相角 α 及び φ を大きくし ϕ_L が極間に來り主極を強め最少電流が起る様にすることが出来る。



第四圖 無誘導抵抗を使用する時の電流ベクトル圖



第五圖 誘導抵抗を使用する時の電流ベクトル圖

第四圖及第五圖に於て無誘導並に誘導起動抵抗を使用する場合の電流ベクトル圖である。"a"は ϕ_L が主磁極の中央に在り ϕ_{Hp} を強むる位置を示す、これでは直流側電壓 U_n は ϕ_L を勵磁する所の J_L より 90° 後れてゐる。"b"圖は ϕ_L が相隣れる磁極の中間に在り U_n は J_L と反對の相に在るを示す。兩者とも電流及相角の量的變化は省略する、且つ全現象は茲に了解し易からしむる爲に示されてゐるものよりもつと複雑してゐる。

尙塞流線輪に依る時は%の起動抵抗を省略し得る。塞流線輪の使用は變流機の容量に依りて制限されることなく3000KWまで使用することが出来る。塞流線輪による起動方式は斯の如くして殆んどすべての場合に採用せられ既設の變流機もこの方式に改造せられつゝあり。

(b) 正極を得る方法

無誘導抵抗を用ひて起動する場合は残留磁氣に依り勵磁せられ、且つ全勵磁の状態に於て速度降下し同期速度となつた時に接續せられる故常に極性は正しい、時に依ると残留磁氣の極性が反對となることもあるがこれは例外とすべきことである、短絡等の際によく起るのであるが一時的の強勵磁に依り容易に矯正し得ることである。

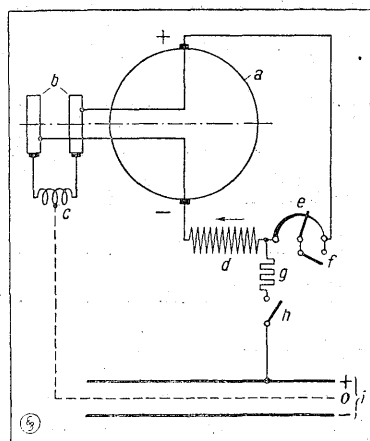
然し塞流線輪を用ひて起動する場合は、時に應じて極性が變化する、同期速度に於ては主極の勵磁は非常に弱い、何となれば最少電流であり従つて、廻轉力弱く即ち廻轉子の廻轉磁極 ϕ_L は主極を通り最大の値に達してゐるからである。

ϕ_L がどの主極を通るかは前もつて分からないのとその ϕ_L は主極の残留磁氣よりも強くして直流側の極性を定むることになつてくるのである——丁度普通の同期廻轉變流機と同様な現象である従つて極性の矯正も同様である。

勵磁用切換スイッチ又は切換式調整器を用ひて磁極を切換へる事に依りて一極だけずらせて極性を矯正することが出来る。然し自動制御に於ては他勵磁の方法を採用せられ、自勵磁の電路は常に閉路されてゐる。起動がすめばこの他勵磁の電路は開路せしむる。

特別な場合として變流機が三線式であつて補助他勵磁電源として一方が蓄電池又は直流母線で

あり中性線が起動の時變流機より切離されない場合がある。かゝる場合に於てはブラッシュは各相端の短絡後スリップリング上に在り、即ち廻轉子のスターポイントに在り、中性線は第一圖に於けるが如く三極切換スイッチの接續點よりとる。然らざる場合は特別の中性線スイッチを置き遠方制御式とし過電流繼電器を備へしむるが一般のやり方である。これにはスターポイントスイッチを採用してその第三段目を中性線スイッチに使用すれば極簡単となる、過電流繼電器の代りにはフューズを用ひねばならぬ。上述の兩者共に起動に際しては中性線を切離すのであるが、電鐵用變流機に於て片線を接地するのと



第六圖 他勵磁起動結線圖

は全然趣を異にしてスリップリングの一つを永久的に接地する方法がある。簡単のために第六圖 a に於て直流捲線を表はすものとする、塞流線輪 c により電壓を二分し、兩者は單捲變流機の如く作用しつゝスリップリングを通り 180° 相の異なる二點へ連結する。圖示の瞬間は丁度スリップリングに附屬せるセグメントがコミュテーターブラッシュの下に來たところである。ブラッシュに記せる附號は同期速度に於ける正しき極性である。かくて定格電壓の $\frac{1}{2}$ の電壓を以つて、コンタクターに依り抵抗 g を通り蓄電池 bus i より勵磁せられ他極はエンドセルスイッチ及び中性線を通り塞流線輪へ永久に接續せられてゐる。起動に際して、瞬間的のアーマチュア電壓は正極の方向に勵磁捲線を通り電流を取る、若しアーマチュアの極性正しければ勵磁線輪のターミナルに大なる電位差を生じ強い電流を流し極性の矯正を容易ならしむる。若しアーマチュアの極性正しらかぬ時は上述の電位差少にして分捲勵磁調整器の方へ主に電流流れ弱い主極に依る同期化は困難である。同期速度に於ては直列抵抗に依りてのみ電流を制限する。さればこの方法は同期廻轉變流機にも同様に利用せられ、實際に好成績を擧げてゐる。

(c) 起 動 操 作

第七圖に依り自勵起動の操作を説明する、この圖は動作線圖にして矢記號は動作の移り進む相互の關係を表はすものとする。カスケードコンバーターの場合は同期廻轉變流機の場合よりも餘程困難が多い。或る規定の廻轉に達せる時無誘導抵抗より誘導抵抗に切換へられなくてはならぬ、廻轉數はスリップリング電壓に比例する、このスリップリング電壓は起動時間の凡そ $\frac{1}{2}$ の期間は繼續的に降下するものであるから、かゝる條件に於て動作すべき繼電器は殘留磁氣の影響を受け殊に無電壓に於て動作すると言ふ不都合が起る。シーメンスに於て採用せられたる方法はコミュテーターの電壓を利用しカスケードコンバーターはあだかもタコメーターダイナモの様に動作せしむるものである。即ち廻轉變流器は起動の最初より他の電源に依り勵磁せられてゐる

(13)は起動位置に歸る。(18)は低電壓繼電器にしてコムミュテーター電壓が定格の20%まで降下しなくては短絡装置を開路しない様にし開路に依る火花を生じない様にする。起動切換スイッチは次の起動に際するまで運転時の位置に在り。

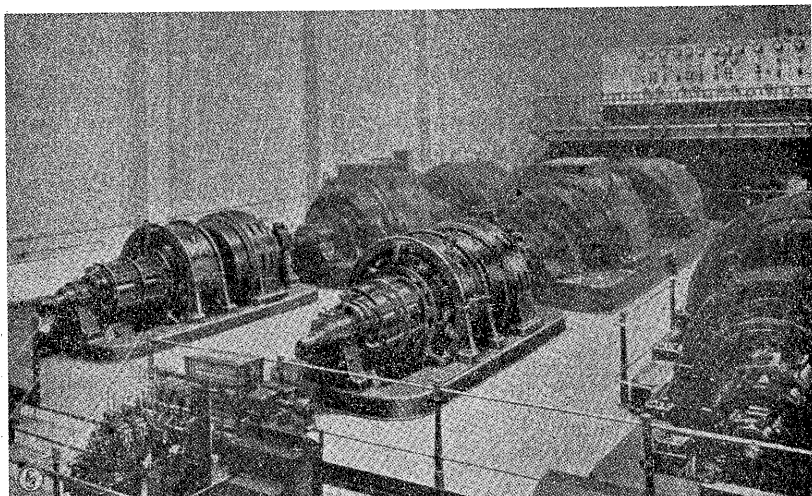
起動：——スイッチ(23)を"on"の位置へ動かす。これに依つて三つの動作が起る。先づ第一にコントロールブスより手動ドラムスイッチを経て補助コンタクト(11)より、短絡装置の補助ドラムスイッチ(14)を通り、起動スイッチは(16)なる操作用モートルによりて(I)の位置にうつる。その時補助ドラムスイッチ(17)によりて他勵磁電路のコンタクター(3)を閉路する。抵抗(2)を通り電流繼電器(1)を経て分捲勵磁線輪へ電流を生じ即ち他勵磁を始むる。電流繼電器(1)に電流生ずるや上部にコンタを生じ、油入遮斷器(9)は操作モートル(10)に依り閉路せられる。若し起動の半ばに他勵磁の故障あれば(1)は其コンタクトを開き(17)を経てスイッチモートル(10)に依り遮斷器を開く、遮斷器の補助コンタクト(12)に依り起動切換スイッチ(15)の補助ドラムスイッチ(17)を通りあらゆる起動操作が傳達せられる。この時他勵磁電路のコンタクター(3)はコントロールスイッチの手をゆるめても開路しない様になる。起動半ばに遮斷器が開路すれば(17)は電壓を失ひ他勵磁電路開かれ自動制御のすべての部分はその状態に於て停止する。

カスケードロータリーコンバーターは斯の如くして廻轉子に抵抗を挿入しながら非同期電動機として起動する。コムミュテーター電壓は段々と昇り切換の電壓に達すれば直流側の遮斷器(6)の補助コンタクト(8)を通り補助電壓繼電器(19)を勵磁する。補助ドラムスイッチ(17)手動ドラムスイッチ(22)を経て、起動切換スイッチ(15)の操作モートル(16)が動作せしめられ(15)はIIの位置に切換へられる、これに依て塞流線輪は接續せられ變流器は同期速度に達する様になる。同期速度に於て正しき極性を得たらポーラリティー繼電器(20)は動作し、時限繼電器(21)及びドラムスイッチ(22)を通り(16)に依り切換スイッチ(15)はIIIの位置に切換へられる。この時の補助ドラムスイッチ(17)の位置に依り短絡装置の操作モートルは手動ドラムスイッチ(22)を経て動作せしめられ、茲にスターポイントが短絡せられる。同時に分捲勵磁の調整器(4)の調整が利く様になる。斯くてカスケードロータリーコンバーターは負荷可能の状態となりオペレーターは電壓を點檢したる上コントロールスイッチ(24)に依り遮斷器(6)はドラムスイッチ(14)を経て閉路せしめらる。かくて負荷の状態となる。(24)を手働すると油入遮斷器が閉路し、極性正しく——繼電器(20)——短絡装置に依りスターポイントが短絡せられてゐなければ負荷出来ない様にインターロックせられてゐる。スターポイントの短絡は殊に重要である。

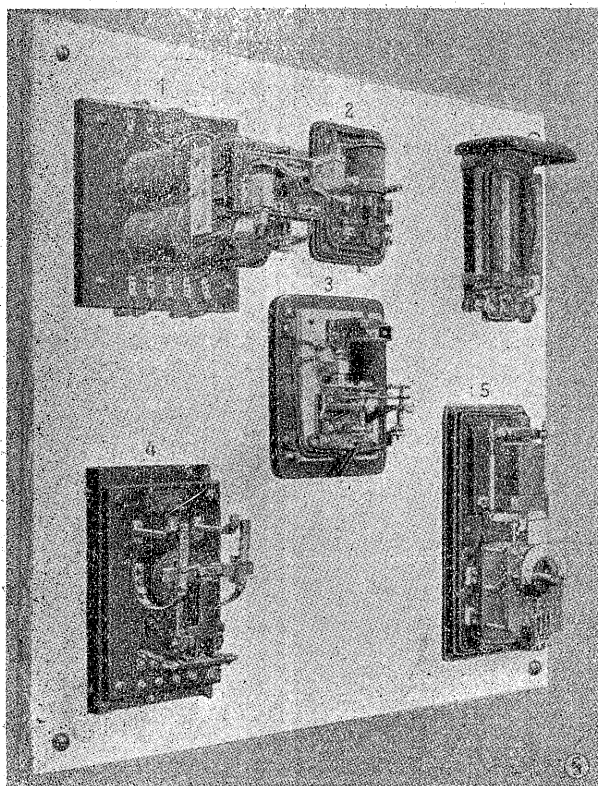
(2) 手働起動：——手動ドラムスイッチ(22)はBの位置に在り。

停止：——コントロールスイッチ(23)に依りモートル(10)の操作に依り油入遮斷器(9)を開路し、これと同時に直流遮斷器も開路する。手働コントロールスイッチ(22)を(1)の位置に動かせば直流側の電壓が定格の20%以下に降下したる時低電壓リレー(18)動作し油入遮斷器の補助コン

クト(12)を通じて短絡装置を起動位置に歸す。短絡装置開路すれば手働ドラムスイッチ(22)より油入遮斷器の補助コンタクト(11)を経て、短絡装置の補助ドラムスイッチ(14)に入り、モード(16)を操作し、起動切換スイッチ(15)を(1)の位置に歸す。



第八圖 シーメンス社自家用800kwカスケードコンバーター



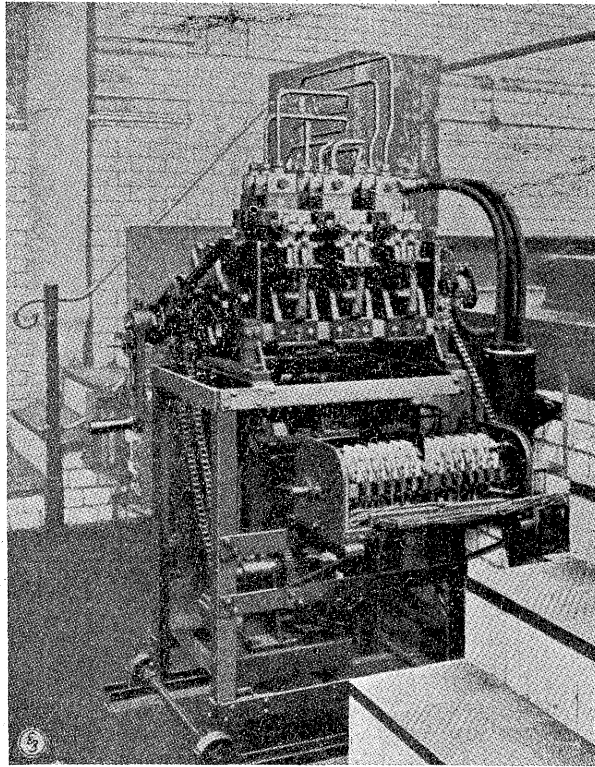
第九圖 補助繼電器パネル

起動：——油入遮斷器の操作は自動の場合と同じ。コントロールスイッチ(23)に依り他勵磁のコンタクタースイッチ(3)を閉路し、他勵磁電流に依り電流繼電器(1)を動作せめる。起動切換スイッチが(I)の位置に在る間は他勵磁電流なくなれば繼電器(1)の動作に依り油入遮斷器は開路せしめらる。自動の時はコムミューテーター側の電壓を利用し次の起動操作に進んだが手働に於ては、その電壓の降下も緩慢であるから、充分それを測定することが出来る。ある一定電壓に降下せる時、ドラムスイッチ(22)に依り切換スイッチ(15)をIIの位置に切換へる。變流機は同期速度となりゼロボルトメーターが

零を指示する時(22)を”3”の位置に廻せば切換スイッチは、IVの位置に來り三個のスリップリングは短絡せられる。次にBの位置に(22)を廻せば短絡装置を操作し茲に始めて起動操作完了し負荷し得る状態となる。

第八回はシーメンス社内の發電所に於ける800kw二臺のカスケードコンバーターである第九圖は各種の補助繼電器にあつて配電盤の背後に配置せり。第三圖の結線圖にて示す起動切換スイッチは第十圖に示す構造を有す。

カスケードコンバーターは我國に於て現在のところ餘り用ひられてゐないけれ共、用途に依り使用機の種類を撰擇するものとせば或はカスケードコンバーターの適する場合が多いことゝ信ずる。



第十圖 スターポイントスイッチ及その補助
ドラムスイッチ



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。