

談交磁電力放大机

張关鳴編著



內 容 提 要

本书介绍交磁电力放大机的原理、性能、结构和特点，并叙及自动控制系统的基本概念和电力放大机在自动控制系统中的作用。书中研究了四种常用的基本反馈方式，并举例说明交磁电力放大机在机床上的应用和带有交磁电力放大机的自动化电力驱动线路的调整方法。书末附有ZKK系列交磁电力放大机的技术数据，供实用参考。

本书可供初级电工阅读。

編著者：張美鳴

NO. 3204

1960年3月第一版 1960年3月第一版第一次印刷

787×1092 $1/32$ 字数 27 千字 印張 $1\frac{3}{16}$ 0,001—7,050 册

机械工业出版社(北京阜成门外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业
許可証出字第 008 号

統一書号 T15033·2116
定 价 (9) 0.14 元

一 現代電力驅動的幾個性能要求

現代機床的電氣化，就是採用電力驅動來代替過去利用機械的傳動和調節。如此非但省去許多複雜的齒輪傳動、滑輪、摩擦聯結器、曲柄機構等等，因而使機床的速度調節範圍擴大、調節特性平滑、生產過程能自動調整、生產率提高、電力消耗節省、維護與修理容易、結構簡單緊湊、操作可靠，並且使設備費用低廉，這樣就符合了多快好省的原則。

近廿年來，在機床中除了用接觸器的自動控制外，還廣泛地應用電機控制驅動。這樣就簡化了電力驅動的控制，創造了對過渡歷程有利的條件。電力放大機在電機控制驅動中起了主要作用，它具有許多特點，它本身可作為供電的發電機來直接驅動電動機，也可作為串級系統中發電機的激磁機。

軋鋼機、造紙機、印染機、電弧煉鋼爐、高頻加熱設備、建築機械、化工機械以及一些聯合機組都普遍應用電力放大機。車床、龍門刨床等機床也應用它。

電力放大機有交磁及自激二種不同的型式，基本原理相似，結構各異，本書只談交磁電力放大機。

二 交磁電力放大機的原理

1 什麼是交磁電力放大機 交磁電力放大機就是一種直流發電機，不過它的構造特殊，它具有縱軸磁場和橫軸磁場，起二級放大的作用，因而有很大的放大能力。縱軸磁場和橫軸磁場互相垂直，所以又稱為正交磁場電力放大機，或交磁電力放大機（以

后简称电力放大机)。我国产品 ZKK 系列的电力放大机便是这类电机，相当于苏联产品 ЭМВ 1 仟瓦系列。

2 什么叫二級放大作用 通常用的他激直流发电机，也可說是一个电力放大机，不过是一級放大而已。

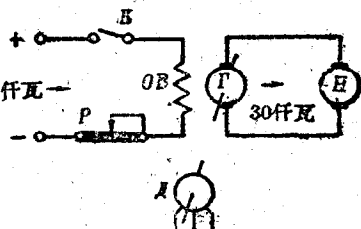


图 1 他激直流发电机的电路图。

如图 1，在他激直流发电机 Γ 的激磁繞組 OB 上，接以直流电源使产生磁場。再以感应电动机 A 轉动发电机 Γ 的电樞，則根据导体在磁場中运动时，要产生电流的道理，发电机 Γ 就有电流产生，从电樞上出来到負荷 H 。

倘若我們將变阻器 P 的电阻值减少，激磁电流就增大，那么发电机所发出的功率亦随之增加。若增大变阻器的电阻值，激磁电流就减少，发电机所发出的功率也随之减少，这說明了我們可用变阻器来改变激磁电流，以控制发电机所发出的电流。通常激磁繞組所需的功率，約为发电机发出到負荷电路內的功率的 $\frac{1}{30} \sim \frac{1}{40}$ 。譬如把 30~40 仟瓦的直流电动机当作負荷 H ，接在发电机輸出端上，那末就要 1 仟瓦的激磁功率来控制它。

倘若仍以 1 仟瓦的激磁功率要来控制几百或上千仟瓦的电动机时，按照图 1 的电路图就不行了，因为放大的倍数不够。要增加放大倍数，可以再加一級激磁，成为二級激磁，如图 2 所示。

图中 Γ 为他激直流发电机，它的激磁繞組为 $OB\Gamma$ ， B 为激磁机，它的激磁繞組为 OBB 。在激磁机 B 的激磁繞組 OBB 电路中，接上額定直流电源，变动变阻器 P 来改变激磁机 B 的激磁电流，于是激磁机 B 的輸出亦因而改变，这是第一級放大作用。由于激磁

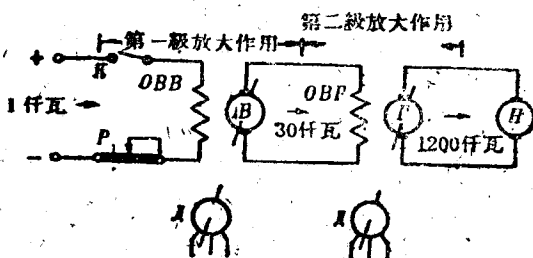


图2 发电机的二級激磁电路图。

机B的输出改变，使得发电机Γ的激磁绕组OBΓ电路中的电流也因而改变了，结果发电机Γ的输出也跟着改变了，这便是第二级放大作用。

举例来说，激磁绕组OBb以1仟瓦的功率，可以控制30仟瓦的激磁机B，激磁绕组OBΓ以1仟瓦的功率可以控制40仟瓦的发电机Γ，如果这两台电机如图2所示连接起来，那末，激磁绕组OBb输入1仟瓦，发电机Γ的输出就等于： $30 \times 40 = 1200$ 仟瓦。这就是在二级放大作用下，以很小的输入功率可以控制很大的输出功率的道理。

3 交磁电力放大机是怎样构成的 交磁电力放大机与普通直流发电机不同的地方，就在于它不仅具有激磁绕组建立的磁场，即所谓纵轴磁场，还有电枢绕组建立的磁场，即所谓横轴磁场。电力放大机的原理图如图3。激磁绕组绕在定子磁极上，此绕组称为控制绕组，在图3上只画了一个控制绕组绕在一个磁极上，事实上控制绕组可多至四个。我们把直流电源接在控制绕组上，使控制绕组有 I_c 电流通过，一般为几十毫安。电流 I_c 通过控制绕组便产生磁场，磁力线的方向根据螺钻定则^①如虚线 Φ_c 所示。

- ① 螺钻定则：如果螺钻柄旋转的方向与迴路内电流的方向相符合，那末，螺钻前进的方向就指示着贯穿迴路的磁力线的方向。

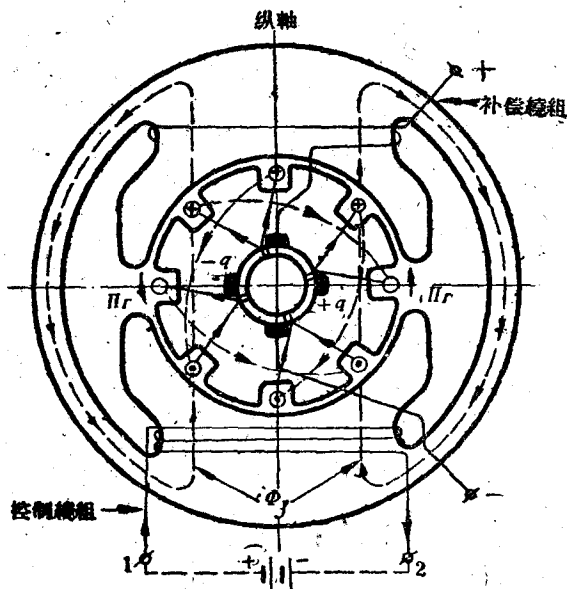


图3 电力放大机的原理图(表示纵轴磁场的产生)。

我們称 Φ_r 为纵轴磁场。

因为电力放大机是一种发电机，所以它的电枢要有电动机以恒速 Π_r 来转动它。

当电枢转动时，电枢绕组的导线便割断纵轴磁场的磁力线，于是电枢绕组各导线就产生电动势，其总电动势 E_r 。在沿电力放大机横轴分布的电刷 $q-q$ 之间，此值亦不大，一般约为几伏。

从图3中，很容易看出各单独导线之总电动势。在电枢槽中的小圆圈表示电枢绕组导线的截面，在电枢中央则有换向器，为了简化原理图，电枢绕组中导线数和换向器片数只画了少数几个，便于示意。电枢绕组导线与换向器间的连接线，以实线表示，没有换向器的另一端的电枢绕组导线间相互的连接线，以虚线表示。

轉動着的電樞繞組導線在控制磁場作用下，產生電動勢，它的方向可由右手定則[●]來決定。電動勢方向凡是由書上垂直朝書下的以(+)表示，由書下朝書上出來的以(·)表示。求得電樞繞組各導線之電動勢方向後，照上述符號畫在表示導線截面的小圓圈內。從電刷 $-q$ 到電刷 $+q$ 的電樞繞組迴路，在兩個並聯支路中的每一個支路各導線之電動勢之和，便是 $+q$ 與 $-q$ 電刷間的總電動勢 E_a 。

把橫軸電刷短路連接後，如圖4所示，則總電動勢 E_a 在電力放大機橫軸迴路中產生電流 I_a ，此電流的路徑：電樞繞組—換向器—電刷 $+q$ —連接綫—電刷 $-q$ —換向器—電樞繞組。橫軸迴路之電阻不大，它僅包括電樞繞組電阻和電刷與換向器間的接觸電阻。因此 I_a 值就很大，可建立很大的沿橫軸磁通 Φ_a ，的橫軸磁場，這個磁場便是使電力放大機起兩級放大作用的磁場。而一般的直流電機，此磁通稱為電樞反應橫軸磁場，其磁通量不大。

橫軸磁場雖由流經旋轉着的電樞繞組中的電流所產生，但它對空間而言，是靜止不動的。電樞繞組的導線轉過橫軸電刷下面的中性區域時，電動勢和電流的方向就改變了。在轉動的時候所有上半部電樞繞組的導線，電流的方向是同樣的，在下半部電樞繞組導線的電流方向也是一樣的，不過與上半部導線的電流方向相反。在圖4中，上半部的電流方向都是(+)，下半部都是(·)。因而，橫軸磁通的方向也是不變的。

橫軸磁通就是電力放大機的工作磁通，電樞繞組的導體在靜止的橫軸磁通下轉動，產生感生電動勢，它的方向畫在表示導線

● 右手定則：將右手張開，姆指向外，使磁力綫朝向掌心，姆指指向導線運動方向，則其餘四指指出感生電動勢的方向。

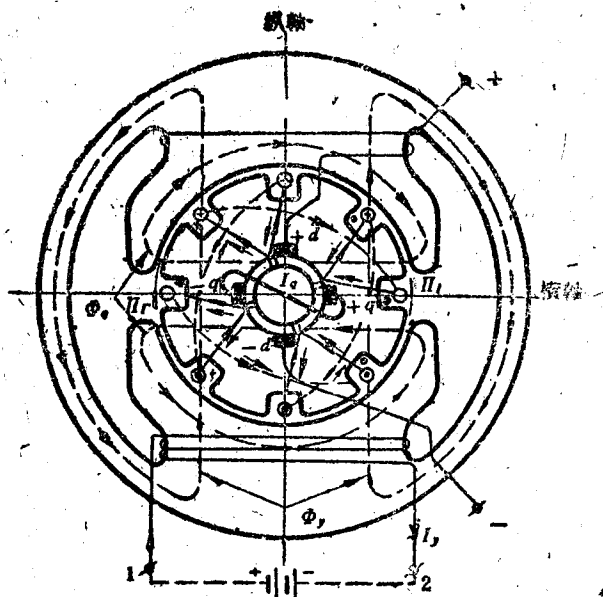


图4 电力放大机的原理图。

截面的小圓圈旁边。同样的，可求其总輸出电动势：沿两个并联支路的每一支路，即从电刷 $-d$ 到电刷 $+d$ 間求得。同时此两电刷間，由控制磁場产生的感生电动势总和为零。結果装置在电力放大机纵軸的电刷 $d-d$ 間，产生了数值显著的电动势 E_d ，所以纵軸电刷是工作电刷，負荷就可接在上面。纵軸迴路中，表示电动势方向的箭头，画在导綫連接綫的旁边。

此电动势的大小，与控制电流 I_c 成正比，并与电樞轉速 Π_r 之平方成正比。故改变控制电流的大小，即可改变电力放大机电动势的大小。

电力放大机工作电刷間的电动势方向或极性，决定于控制繞組的电流方向。如要改变极性，必須改变控制电流的方向。也就

是說改变纵軸磁場的方向，也改变了橫軸迴路电流(短路电流)的方向，跟着，改变橫軸磁場的方向，結果改变了纵軸迴路电动勢的方向，即工作电刷間的极性也改变了。

电樞迴轉的方向，对工作电刷的极性没有关系。如改变电樞迴轉方向，就是改变橫軸迴路电流及橫軸磁場的方向，于是纵軸迴路中的电动勢方向及工作电刷間的极性，保持原来的方向不变。

极性和电樞迴轉方向无关，这是电力放大机的一个有趣特性。不过在实用上，并不利用这个特性，因而电力放大机还是按照规定的方向運轉。

如果，电力放大机定子上，只有控制繞組的話，那是不能使用的。因为在空載情況下，工作电刷間，产生了电动勢。若接入了負荷，負荷电流流过电樞繞組，便产生纵軸电樞反应磁通，在电樞繞組导綫內的負荷电流的方向，应该与图 4 画在导綫旁边的电动勢方向一样。那么，纵軸电樞反应磁通的方向就与控制磁通方向相反。然而控制磁通非常小，即使負荷电流很小，也要造成很大的影响，可使纵軸总磁通及发电机电压几乎减少到零。这样一来，纵軸电樞反应使电力放大机去磁了。实际上有了負荷时，我們必須免除負荷电流对控制磁通的影响，为了这个目的，就在磁极上繞上补偿繞組。为作图簡化起見，图 4 只有上端的一个极上画出了补偿繞組。

补偿繞組的作用是补偿纵軸电樞反应磁通。补偿繞組与工作电刷串联，当有負荷电流通过时，从图 4 中可看出，因为两

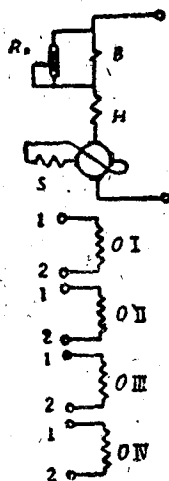


图 5 电力放大机符号。

者之方向相反，所以，它所产生的磁通抵消了纵轴电枢反应磁通。实际上要补偿多少，是在造好电力放大机后，用试验方法校正。所以补偿绕组应比实际需要多绕几匝，然后，并联一个电阻，分掉些电流。增加这个电阻值，补偿绕组所产生的磁通亦增加，这叫做过补偿；减少这个电阻值，补偿绕组的磁通亦减少，这叫做欠补偿，这个电阻叫做补偿调节电阻。

为了改善换向器，使其工作时不致有很大的火花，在定子的槽内，放有换向极绕组。有时为了加大放大作用，在横轴电枢回路中接入与纵轴作用方向一致的串联绕组。

电力放大机在电路图上的符号如图 5 所示。在自动控制线路图中，我们就应用这种符号。图中 B 代表补偿绕组， R_B 代表补偿调节电阻， H 代表换向极绕组， S 代表横轴放大绕组（ZKK3 型具有）。 OI 、 OII 、 $OIII$ 、 OIV 代表四个控制绕组。

三 交磁电力放大机的构造

我国生产的电力放大机，按电机类产品型号分类的符号，为 ZKK。符号是用汉语拼音字母组成。Z 表示直流，K 表示控制，后面一个 K 表示放大机。最后的数字表示在 2800 转/分时，放大机计算功率的 10 倍。ZKK 系列电力放大机为仿苏 ΘMY 系列的产品。

ZKK 系列电力放大机，有 8 个机座号码，11 个型号，即 ZKK3Z、ZKK5Z、ZKK12Z、ZKK3J、ZKK5J、ZKK12J、ZKK25、ZKK50、ZKK70、ZKK100、及 ZKK110。

放大机的功率自 0.15 千瓦至 11 千瓦。电压自 60 伏至 230 伏以及各种转速。各种电力放大机的技术数据，参阅书末附表。

兹分述其结构与主要部件如下。

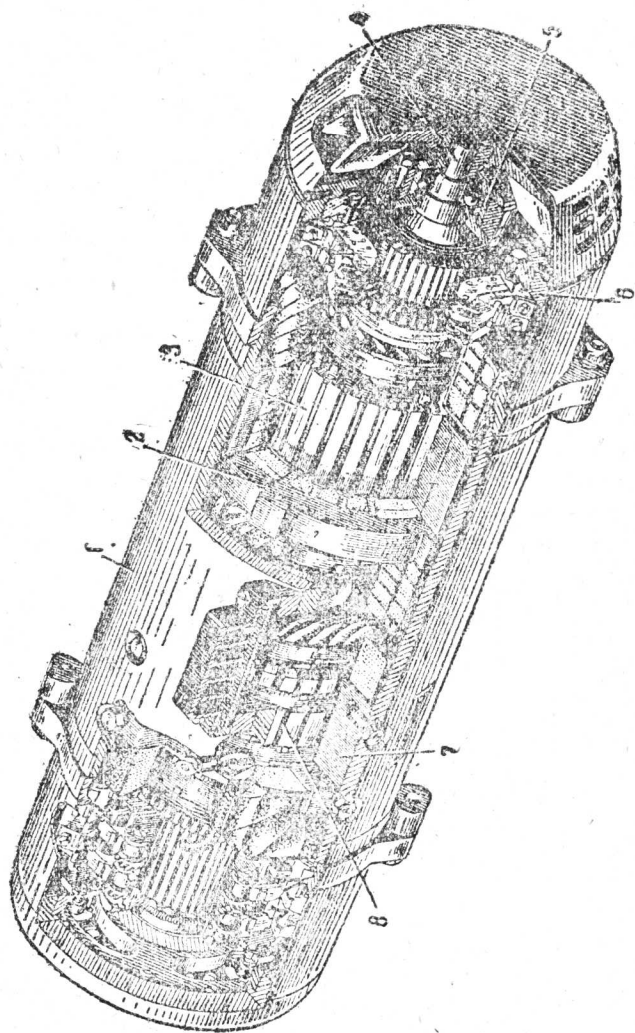


图6 电力放大器结构图:

1—机座; 2—放大机定子; 3—放大机电枢; 4—轴; 5—轴承; 6—端盖; 7—电动机磁极;
8—电动机电枢。

1. 結構

(一) 結構形式——ZKK 系列放大机有两种結構形式，一为 ZKK3 至 ZKK12 型，它的电樞和驅動電動机的轉子压装在同一根轉軸上，并装在同一机座內，不須另外再配驅動電動机了。如压装在内的是直流电动机，則在数字后以 Z 表示，如为三相异步电动机，則以 J 表示，如图 6 所示。另一为 ZKK25 至 ZKK110 型，为单个放大机，驅動电动机为 J 型三相异步电动机，要另外配上去，以彈性連軸节連結，如图 7 所示。

(二) 防护形式——ZKK3、ZKK5 型放大机为防濺式，

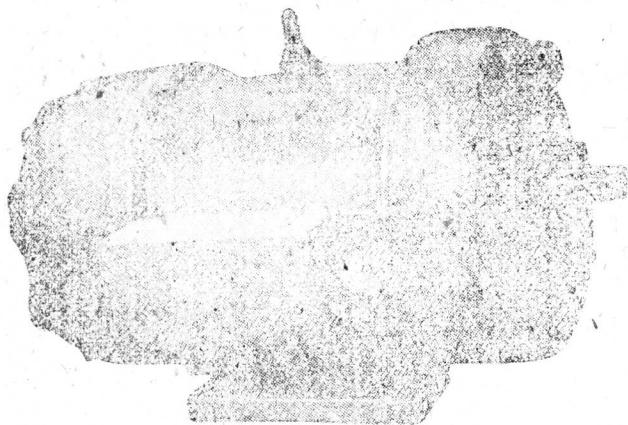


图 7 电力放大机外形图。

ZKK12 型及以上为防护式。

(三) 旋轉方向——从換向器端看出，旋轉方向为反时针方向。

(四) 使用环境——ZKK 系列放大机，在环境温度不超过 $+35^{\circ}\text{C}$ 及拔海不超过 1000 米时可連續使用。

(五) 控制繞組——ZKK 系列放大机, 各有一套控制激磁繞組, ZKK3 和 ZKK5 型有两个控制繞組; ZKK12 至 ZKK100 型有两个到四个控制繞組, ZKK110 型有四个控制繞組。控制繞組用編号加以区分, 例如控制繞組編号为 12—3—8, 表示 ZKK12 型放大机, 有 3 个控制繞組, 次序号为 8。

2 主要部件

(一) 机座——ZKK3 至 ZKK12 型的机座用鋼管和鋼板制成, ZKK25 至 ZKK110 型的机座一律用鑄鉄鑄成。

(二) 端盖——ZKK3 至 ZKK12 型的端盖, 可用鋁合金 AL14 或鑄鉄鑄成, ZKK25 至 ZKK110 型的端盖一律用鑄鉄鑄成。

(三) 定子鉄芯——定子鉄芯用 0.5 毫米厚两面塗漆的硅銅片組成, 定子冲片有三种槽子用以安放控制繞組, 补偿繞組和換向极繞組。ZKK3 尚有一橫軸放大繞組放在換向极繞組的槽內, ZKK5 有的还有交流退磁繞組放在控制繞組的大槽內。定子冲片做成隱极式, 但換向极处的冲片直徑較主极直徑为大, 用以改善換向。

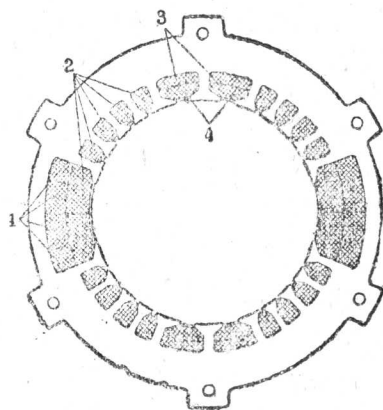


图 8 电力放大机定子剖面图:

1—控制繞組; 2—补偿繞組; 3—換向极繞組; 4—橫軸繞組。

放大机定子鉄心的实际結構如图 8 所示。与图 4 的原理图所示的不同, 它看不出縱軸磁极, 实际上是把縱軸磁极做得很寬, 使

每个磁极几乎占定子圆周的一半。控制繞組就繞在它的上面。其次，为了补偿纵軸电樞反应，便把补偿繞組分开嵌在定子槽中，又在放大机磁极两半之間的地方，嵌换向极繞組及橫軸放大繞組。

(四) 繞組——繞組的綫圈为 A 級絕緣，用高强度維尼弗列克斯漆包綫 ПЭВ-1 或 ПЭВ-2 繞成。除控制繞組的綫圈預先用黃腊綢帶包好下放外，其余綫圈均为散下綫。

(五) 換向器——換向片用換向器銅排 M1 配成。用錐形壓圈及套銅固定在轉軸上。ZKK110 型的套筒用鑄銅或球墨鑄鐵鑄成，中間開有通風洞，与电樞冲片內通風孔組成軸向風道。ZKK3 至 ZKK100 型均用圓鋼鍛成。

(六) 炭刷座与炭刷——ZKK 系列放大机有两套炭刷，一套为短路的橫軸炭刷，但 ZKK3 的橫軸炭刷經一橫軸放大繞組，組成閉路。另一套为輸出的纵軸炭刷，炭刷材料为 ЭГ8 或 ЭГ2。炭刷的上半部鍍銅，它的固定裝置有两种形式，一为 ZKK3 至 ZKK12。炭刷直接固定在端蓋上，另一为 ZKK25 至 ZKK110，炭刷裝在鑄鐵的炭刷架上。炭刷架直接固定在端蓋上，ZKK 系列电力放大机可用轉动端蓋或炭刷架的方法，来移动炭刷的位置。炭刷上所加的压力均可調整，在 $200 \sim 300$ 克/厘米² 之間。

(七) 出綫盒与补偿調节电阻——ZKK3 至 ZKK12 型放大机机組的放大机和电动机，分別有独立的出綫盒，用鋁合金鑄成。ZKK25 及以上型号の出綫盒用鑄鐵鑄成。在放大机出綫盒內裝有、胶木压制的接綫板和与补偿繞組并联的补偿調节电阻。調节电阻有用鎳鉻絲制成的可調电阻和用銅綫繞制的不可調节电阻。此外 ZKK3 至 ZKK12 型的放大机的出綫盒內尚裝有滤波用的电容器。出綫盒与其他部分的接合处均用橡皮墊圈密封。在接綫板上有出綫标记：电樞繞組为 S，补偿繞組用 B，換向极繞組用 H，控制

繞組則用 OI 、 OII 、 $OIII$ 及 OIV ，繞組首端用 1 表示，末端用 2 表示，如 $S1$ 、 $S2$ 等，如图 9 所示。

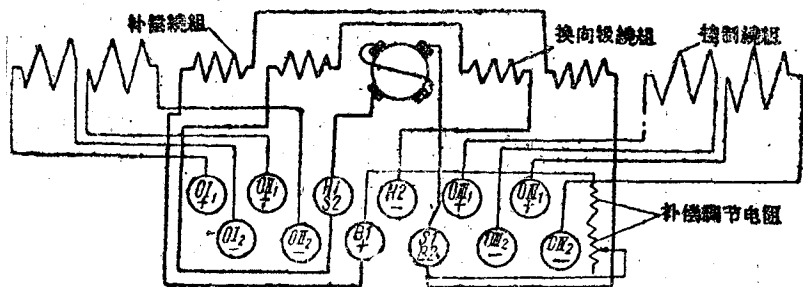


图 9 放大机出线盒接线图。

四、交磁电力放大机的特点

1 放大系数 电力放大机的放大系数，一般是指功率放大系数。

$$\text{功率放大系数} = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}}。$$

輸入功率就是加在控制繞組上，使放大机纵軸激磁的功率；輸出功率就是纵軸电刷間的功率。

一般小于 10 仟瓦的直流发电机的放大系数为 7~35 倍，而电力放大机的放大系数甚至可制成 100000 倍。实用上，放大系数則不超过 5000~10000 倍。有了这样大的放大倍数，只要改变控制电路中很小的功率，就可控制很大的輸出功率，灵敏度很高，这正是我們所需要的特性。

0.5~25 仟瓦的电力放大机，它的控制功率只不过 0.25~0.75 瓦而已，因而在控制电路中可利用小規格的电器，这样就可节省設備費用。

电力放大机的电压放大系数，一般則在 10~100 倍的范围內。

2 時間常数 当控制电路中，功率改变时，应当立刻反应到输出功率方面，反应要非常迅速，也就是說电机从开始变化到稳定状态的过渡历程要非常短。发电机的过渡历程主要是激磁（增加电压）与去磁（降低电压）的过程。在自动控制系统中，我們要求过渡時間越短越好，电力放大机的过渡历程則比同样大小功率的直流电机来得短，所以它适合这种要求。一般直流电机的激磁与去磁的速度，与激磁繞組中电流增加和减少的速度有关，也就是由激磁电路中的時間常数所决定。

电力放大机中激磁和去磁的速度，与两个迴路——控制迴路及橫軸迴路中电流增加与减少的速度有关，即由該两迴路中的時間常数所决定。

电力放大机控制迴路的时间常数 T_y ，可由控制繞組的参数求得。

$$T_y = \frac{L_y}{r_y},$$

式中 L_y ——控制繞組的电感；

r_y ——控制繞組的电阻。

控制繞組的电感与繞組匝数及纵軸磁导有关，因控制繞組的匝数很多，同时，电力放大机的磁导很大，所以控制繞組的电感很大；但是通过控制繞組的电流是很小的。因此，可用截面积小的导線繞制，以增加其电阻，使控制繞組的时间常数在 0.005~0.025 秒的范围內。

橫軸迴路的时间常数：

$$T_e = \frac{L_e}{r_e},$$

式中 L_e ——橫軸迴路的电感；

r_g ——橫軸迴路的电阻。

电力放大机橫軸迴路的磁导比纵軸稍小，電樞繞組匝数也比控制繞組匝数少。所以橫軸迴路的电感量并不大，而橫軸迴路的电阻非常小，故其時間常数要比控制繞組時間較大，一般在0.03~0.15秒範圍內。可見电力放大机的時間常数要比同容量的直流电机要小得多。

所以，具有兩級激磁的电力放大机，它的慣性是很小的。电压变化反应的速度要比普通直流电机快好几倍。电力放大机的电压变化几十或几百伏时，自开始变化控制繞組瞬間起到輸出达到額定值的时间，只是十分之几秒，有时为百分之几秒，反应很快，工作很稳定。

因此，具有較小慣性和高度精确調整性能的电力放大机，在自动調整系統和电力驅動的自动控制系统中，采用很多。

3 綜合信号 綜合信号也是电力放大机的一个特点，电力放大机有四个控制繞組，每个控制繞組都可以独立的控制。变化控制繞組的电压或电流，也可說是給电力放大机以信号，四个控制繞組都可以同时改变，也就是可以同时发出四个信号。电力放大机的輸出就根据控制繞組信号的总和而定。因此，在自动控制系统內，用了电力放大机可以通过多个繞組，以不同的要求来控制輸出，控制繞組也不集中在一个繞組上，而由多个繞組分散負担，这样就增加了控制的灵活性并减少了控制繞組的尺寸。

4 运行外特性 所謂电力放大机的外特性，是指控制系统輸出电流与电压的特性关系，要求电压不十分受輸出电流的影响。

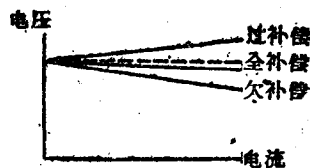


图10 放大机的外特性曲线。