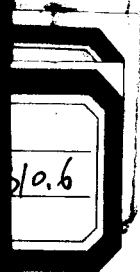


10

发电机运行和事故处理

赵世通著

水利电力出版社



10

发电机运行和事故处理

· · ·

本书可作为发电厂运行人员的培训教材，也可供从事发电厂工作的工程技术人员参考。

內 容 提 要

本書主要介紹發電機運行和事故處理的一般知識。書中用淺顯道理，對發電機本体、轉子和勵磁系統的事故發生現象，怎樣處理和為什麼要這樣處理作了詳細敘述。並從根本上提出預防事故的方法來防止和消滅發電機各種類型事故。

本書對象為具有高小以上文化程度的發電機運行工人。

發電機運行和事故處理

趙 世 通 著

*

11380327

水利電力出版社出版（北京西便門外大街二號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

北京市通州區印刷廠印刷

新華書店科技發行所發行 各地新華書店經售

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 1 $\frac{1}{2}$ 印張 * 30千字

1958年8月北京第1版

1960年4月北京第3次印刷（24,231—29,250冊）

統一書號：T15143·152 定價：第9類20.17元

目 錄

第一篇 发电机运行.....	(2)
----------------	-------

第一章 发电机的运行.....	(2)
-----------------	-------

第一节 发电机一般特性	(2)
-------------------	-------

第二节 发电机的起动和停机	(7)
---------------------	-------

第三节 运行中的調整	(12)
------------------	--------

第二篇 发电机运行中的故障及其原因、处理和	
-----------------------	--

預防方法	(16)
------------	--------

第二章 发电机本体故障	(16)
-------------------	--------

第四节 非同期并列	(16)
-----------------	--------

第五节 綫卷和鉄心温度过高	(19)
---------------------	--------

第六节 发电机内部絕緣故障	(22)
---------------------	--------

第七节 发电机变为电动机运行方式	(25)
------------------------	--------

第三章 励磁系統的故障	(27)
-------------------	--------

第八节 汽輪发电机轉子二点接地	(27)
-----------------------	--------

第九节 发电机失去励磁	(29)
-------------------	--------

第十节 发电机升不起电压	(32)
--------------------	--------

第十一节 励磁机逆励磁	(34)
-------------------	--------

第四章 系統故障及其他	(35)
-------------------	--------

第十二节 发电机过負荷	(35)
-------------------	--------

第十三节 发电机振蕩 (即乱調)	(37)
--------------------------	--------

第十四节 外部短路	(41)
-----------------	--------

第十五节 表計指示不正常	(42)
--------------------	--------

第一篇 發電機運行

第一章 發電機的運行

第一节 發電機一般特性

一、周波、轉速、同期速度

交流電是隨時在發生變化的，它由零值慢慢增加到正的最大值又逐漸減小至零，改變方向成為負值，增加到負的最大，而後又減小至零；這樣不斷重複着。重複一次時間叫做一個周期。每秒鐘重複的次數叫周波。在電力工業中一般使用 50 周波，也就是說每秒鐘有 50 周期。

發電機的轉速是由所帶的原動機的轉速所決定的。回轉速度通常用每分鐘回轉多少轉來表示；單位是轉/分。

，現在所述的大都是同期發電機，同期發電機的轉速在正常時是不變的；發電機的回轉速度 n 和並列系統的周波 f 成固定不變關係。

即周波：
$$f = \frac{p \cdot n}{60}。$$

其中 p ——磁極對數；二個極為一對。

或轉速：
$$n = \frac{60f}{p}。$$

例如發電機周波是 50 周/秒，磁極一對，電機轉速

$$n = \frac{60 \times 50}{1} = 3,000 \text{ 轉/分}。$$

若周波是 48 周/秒， $n = \frac{60 \times 48}{1} = 2,880 \text{ 轉/分}。$

二、相別、相序和結綫

大部分交流發電機都是三相的，相綫卷在發電機靜子裡

的位置各相差 120° (电的角度从 N 极到相邻 S 极间电的角度是 180°)。通常用 A 、 B 、 C 或黄、绿、红表示各个相。

如发电机是逆时针方向回轉；那么在 A 相到达最大值后经过 120° B 相到达最大值，又经过 120° C 相到达最大值。这样排列顺序叫相序。图 1 甲是正相序，乙是逆相序。

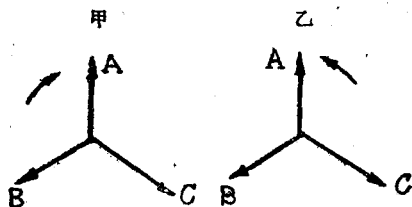


图 1 相序图

甲—正相序；乙—逆相序。

发电机的結綫方式有二种：一种是星形(也叫 Y)結綫；另一种是三角結綫。一般发电机都使用星形結綫。图 2 甲是星形結綫；星形結綫除引出三相外，还有三相連結点，由于正常时这结点电压等于零；所以叫中性点。用“0”表示。图 2 乙是三角結綫。使用星形結綫的綫电压(如 A 相与 B 相間电压)等于相电压的 $\sqrt{3}$ 倍；但綫电流等于相电流。在三角結綫中，綫电压等于相电压；但綫电流等于相电流的 $\sqrt{3}$ 倍。

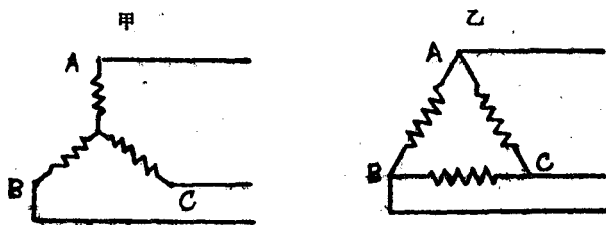


图 2 发电机結綫图

甲—星形結綫；乙—三角結綫。

三、端电压和电动势

在发电机空负荷时；只有轉子綫卷通入电流产生磁場的
主磁通；当发电机帶負荷后，靜子綫卷开始有电流，这个电
流产生磁通与轉子磁极所产生主磁通相互作用，产生助磁作
用（当負荷力率越前是电容性負荷时）或去磁作用（当負荷
力率迟后是电感性負荷时）。这个作用使发电机所产生电压
增加或减少。由主磁通所产生的电压叫电动势；由靜子綫卷
所产生磁通叫电樞反应、而由主磁通与电樞反应相互作用形
成綜合磁通所生的电压叫端电压；也就是发电机出口电压。
一般的負荷性質都是电感性負荷，所以发电机端电压总是較
电动势小。

四、励磁机励磁电压的建立

当发电机在額定轉速时，切断励磁机与轉子綫卷連接的
励磁开关，这时励磁机在空負荷状态。按图 3 接綫，在励磁
綫卷回路插入直流电流表，在磁励机引出綫接一只电压表。
現在我們來說明励磁机电压是怎样建立的：每一只励磁机的

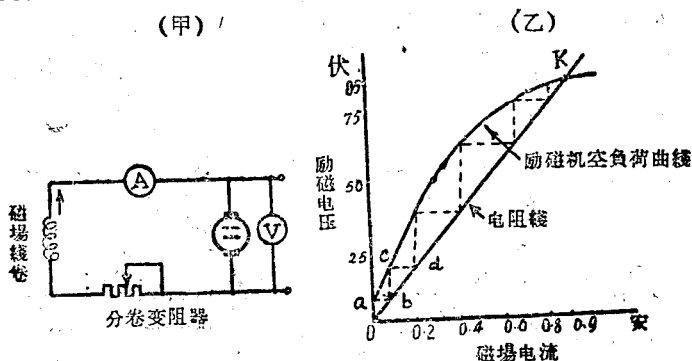


图 3 励磁机空负荷曲线图

甲—励磁机空负荷接綫图；乙—励磁机空负荷时励磁电压建立曲线图。

励磁线圈磁极铁心都有剩磁。当调整电阻器在最大位置时，由剩磁产生的电压为 oa （见图 3 乙），减少电阻增加励磁电流，这时励磁电压开始上升。如图乙中的剩磁产生电压 oa 与电阻线相交于 b 点；产生磁场电流 ab ，这个电流又使励磁电压升高至 bc ，电压升高后励磁电流又增加，这样不断地重复下去，直至空负荷曲线与励磁电阻线相交于 K 点为止。如须改变励磁机励磁电压，可增加或减少励磁机可变电阻。增加电阻时电阻线往上移，减少励磁电压；减少电阻时电阻线往下移，增加励磁电压。

五、发电机无负荷特性曲线

发电机在额定转速时，静子线圈主开关断开，交流电压与转子励磁电流的关系曲线就是发电机无负荷特性曲线。图 4 是某发电机无负荷特性曲线图及接线图。当到达额定转速时投入励磁开关，增加转子励磁电流；这时发电机电压开始上升。开始时增加励磁电流，交流电压增加很快，到 G 点时

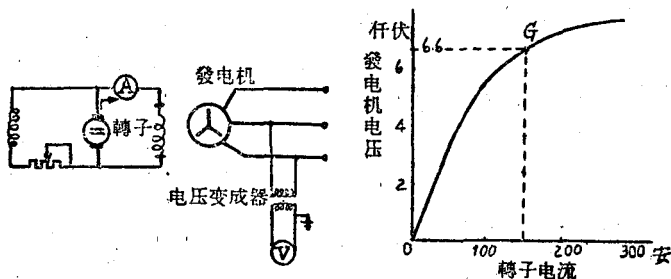


图 4 某发电机无负荷曲线图

- 剩磁 在一根短铁棒上绕上线卷，通入直流电，便发现这铁棒产生吸铁能力；这种作用叫电磁效应。铁棒经过几次或较长时间的通电后，拉开电源，磁铁仍有一定的吸铁作用，不过吸力没有通电时那么强。我们把这种磁性叫做剩磁，发电机励磁机的磁极也同样有剩磁。

已达到额定电压 6,600 伏，这时轉子励磁电流是 150 安；过 G 点后，励磁电流繼續增加发电机电压也增加不大了，这是因为靜子鉄心已飽和。为了进行靜子綫卷层間絕緣試驗；当空負荷时把发电机电压升至額定值 130%。升至最高值后再把电压慢慢下降至零。

无負荷特性曲綫和三相短路特性曲綫是发电机两个最基本特性曲綫。无負荷特性曲綫所测数值（例如无負荷額定电压时的励磁电流）与以前有变化，表示发电机轉子綫卷或靜子鉄心有故障。在无負荷时所测定的損失是鉄心所造成的，叫做鉄損。

六、发电机三相短路特性曲綫

发电机在額定轉速轉动时，在靜子綫卷出口，三相用短路連接板接起来，測量发电机靜子电流和轉子电流的关系曲綫，这就是发电机三相短路特性曲綫。图 5 是某发电机三相短路特性曲綫，图中发电机靜子电流是通过变流器来測量的。当在額定轉速时，投入励磁开关，增加励磁电流，这时靜子电流也增加，慢慢增加到靜子电流額定值 750 安，这时轉子电流是 210 安。根据記錄数据在直角坐标中繪制曲綫，

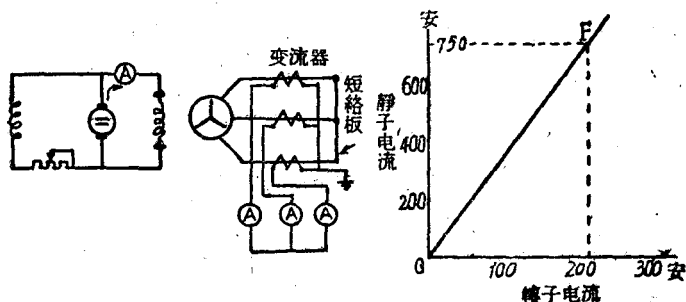


图 5 某发电机三相短路特性曲綫图

这根三相短路特性曲线是一条直线，这是因为发电机电压很低，发电机铁心离饱和程度还差得很远。在三相短路时所测得的损失主要是静子绕组发热造成的，这种损失叫铜损。

应该说明在发电机正常运行时所发生瞬间短路和短路试验不同，因为正常运行时发电机电压是额定电压，所以瞬间短路电流很大，可能达到额定电流好几倍。

第二节 发电机的起动和停机

一、起动操作

在原动机起动前应详细检查发电机本体和附属设备。如在起动前发电机进行检修及试验工作，应拆除发电机出口三相短路及接地线。

检查完后用摇表测量发电机绝缘电阻，测量绝缘电阻用的摇表，对于静子绕组来说用 1,000 或 2,500 伏的摇表，励磁回路及转子绕组用 500 伏的摇表。静子绝缘电阻测定通常和发电机出口到主开关的电缆在一起进行测量，测量时如发电机是中性点接地方式，应将中性点和油开关断开，不然测得绝缘电阻是零。静子绝缘电阻的测定时间须一分钟，一般，发电机 15 秒和一分钟时的绝缘电阻比值 $R_{60}/R_{15} > 1.3$ 。测量到的绝缘电阻应和以前测量的数据进行比较。按规程规定，如这次测量数值比以前数值降低 60~80% 则认为不合格。励磁回路及转子绝缘电阻在一起测量，全部励磁回路绝缘电阻应大于 1、2 兆欧。如低于规定数值应把转子绕组及励磁机励磁回路分开，进行分段测量，找出绝缘不良原因并消除。

绝缘电阻测量后应进行开关及励磁开关操作试验。某些发电机为了防止误操作，在主开关及励磁开关操作回路上安

裝閉鎖或聯動裝置。如：(1)主開關、勵磁開關均在合閘位置不能切開勵磁開關，以防止運行中拉錯勵磁開關；(2)某些綁綫發電機，在勵磁開關斷开后切開主開關的聯動裝置；(3)使用同期發電機時，在發電機主開關投入后自動合上勵磁開關。操作試驗除要檢查開關傳動機構是否靈活外，還要按照連鎖裝置要求進行試驗它的動作是否正確。

發電機大修完后應檢查檢修回路接綫是否正確，特別是勵磁機勵磁回路及同期裝置有關回路應特別注意。

經以上檢查試驗后認為可以起動時，值班員應把勵磁電阻放在最大位置，把勵磁開關放在斷開位置。（幅流透平發電機在起動時，為使二側發電機很快同期，勵磁電阻放在最小位置，勵磁開關在投入位置）。然後通知起動原動機。

在發電機轉動后要檢查勵磁機整流子電刷和轉子滑環電刷的接觸是否正常，有沒有接觸不良而刮整流子及跳動等現象。在轉速升至一半時應對發電機本體全面進行檢查，特別是檢查冷卻水系統是否正常，有沒有發熱及冒煙現象。

二、升壓同期

當發電機轉速接近額定轉速時，應即合上發電機與系統并列斷路器，投入勵磁開關，慢慢調整勵磁電阻，減少電阻增加勵磁電流，使發電機電壓升到額定值。應當注意：調整發電機電壓不可過急，特別是發電機電壓接近額定值時，如調整過急，會使電壓超過額定值。

發電機的同期并列方法有二：即准同期和自同期。准同期就是準確同期，過去採用方法都是這一種，按照這種方法進行同期有三個條件：(1)發電機電壓與系統電壓相等；(2)頻率相等；(3)相位一致。此外發電機與系統的相序也須相同。為了進行同期操作，通常使用同期表，兩個周波表

和二个交流电压表来监视以上三个条件。图 6 是准同期的原理結綫图。

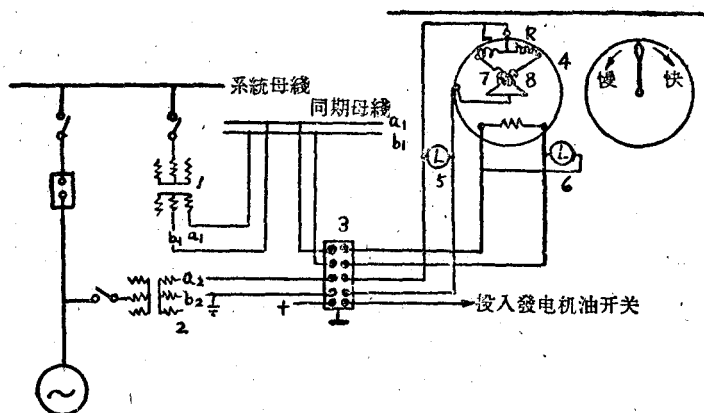


图 6 准同期的原理結綫图

- 1—母綫电压变器；2—发电机电压变器；3—同期切换器；
4—同期表；5、6—同期灯；7、8—可动綫卷。

同期表的固定綫圈接在系統电压上，而可动綫圈7、8分別經過电抗綫圈 L 和純电阻 R ，可动綫圈7、8互成直角，并且都接在发电机电压上。同期灯分別接到系統和发电机的相同相上。

准同期的操作步骤 当調整发电机电压及周波与系統相同后，把同期切换器插銷插入；切换到“同期”位置。这时同期表开始旋轉，而同期灯也跟着忽亮忽暗。当同期表指針旋到上方正中位置时同期灯全暗；同期表指針指在下方正中位置时同期灯全亮。当同期表指針向順时针方向回轉时，表示发电机速度較系統发电机快，这时应减低发电机速度；反之表示发电机速度較慢，应增加发电机速度。同期表指針由快漸慢并逐漸轉至同期表上方正中位置时（通常是在同期表

正中黑影位置)，投入发电机。这时应向汽机房发出“并列完毕”信号。增加有效负荷及励磁电流，保持发电机带最小负荷。把同期表切换器插销转向“运转位置”，取出同期插销。

在调整同期过程中，如同期表指针回转速度过快，经过数次调整无效后，应拉开同期插销，并检查发电机与系统周波是否相同，如相差太大，应通知司机调整速度。有时投入同期插销后，同期表指针当即停留在同期位置，这时不能马上进行并列，因为这可能是假象，是不可靠的。

自同期 如发电机接近额定转速又没有加入励磁时投入油开关，然后再加上励磁，这就是自同期并列。自同期跟准同期比，有很多优点：（1）操作简单；（2）可以防止非同期合闸的危险；（3）在故障情况下可以很快的将发电机与系统并列。

图7是自同期的原理接线图。图中1、2是发电机和母线电压互感器，3是自同期开关4是差周波继电器，它有两个

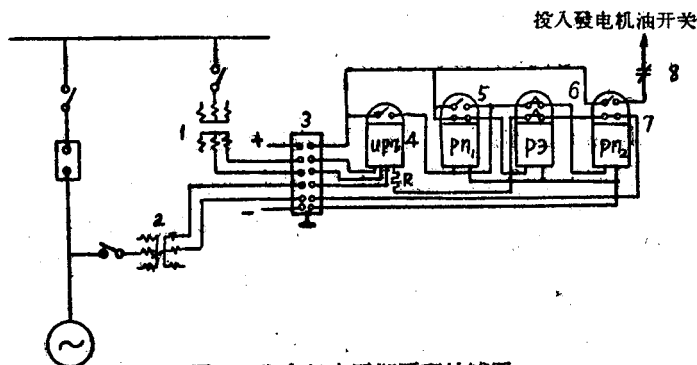


图7 发电机自同期原理接线图

1—母线电压互感器；2—发电机电压互感器；3—自同期开关；4—周波继电器；5、7—辅助继电器；6—延时继电器；8—励磁开关辅助接头。

綫卷：一个直接接母綫电压变成器，另一个經過电阻后接发电机电压变成器。5 和 7 是補助繼电器，它有二个接点，上面接点常时开放，下面接点常时閉合。6 是延时复归繼电器，通电时它閉合，断开电源时接点要經過一段時間后才放开。8 是励磁开关的補助接点，当发电机投入时，励磁开关应在断开位置，用它来防止誤动作。

自同期并列操作順序如下：并列前励磁电阻放在无負荷位置，在发电机轉至額定轉速时，合上自同期开关 3，这时自同期差周波繼电器 4 开始帶电，延时繼电器接点閉合，当发电机与系統周波相同时（一般轉差率誤差允許在 2~3% 以內）差周波繼电器 4 动作，以后整个繼电器动作情况是：（1）正电經過常开接点通入繼电器 5 綫卷至負电，起动補助繼电器 5 动作，使它的常开接点閉合，使繼电器 5 自保持一直閉合至动作完了。（2）補助繼电器 5 的常閉接点开放，延时繼电器 6 失去电源，延时触头經過短時間后开放。（3）这时正电經過延时繼电器 6 的接点进入，起动補助繼电器 7，动作。（4）正电經過補助繼电器 7 常开接点及励磁开关補助接点 8 后通入油开关合閘綫卷，油开关合閘与系統并列。发电机自动拉入同期。以上动作完全是自动的，并列后拉开自同期开关 3。自动期并列方法可以用于所有水輪发电机，对透平发电机只要合閘时冲击电流不超过 3.5 倍也可以应用。

并列后同样要調节有效負荷和无效負荷，使电压、力率正常。

三、解列停机

发电机停机前应先把自动裝置停止运行，减去发电机全部有效和无效負荷，直至电力表指示为零，电度表不轉动。

当有效負荷和无效負荷全为零时，切开油开关，发电机与系統解列。向机房发出“发电机已解列”信号，把励磁电阻全部接入。切断励磁开关（幅流透平发电机解列后不切断励磁开关），拉开断路器，当发电机停止轉动后，測定靜子及轉子絕緣。用空气压缩机清除整流子及滑环上的髒物。

对于停机后須長期停止运行的发电机，要注意它的綫卷絕緣电阻，特別是冬天天气冷时和下雨空气潮湿时，发电机綫卷很容易受潮，使絕緣电阻降低，所以要定期进行絕緣电阻的測量，維持发电机綫卷温度高于周圍温度 10°C ，維持綫卷温度的办法是在停机后立即把出入口空气擋板关密（指开启式通风发电机）。当綫卷温度降低至周圍温度以前，对高压小容量发电机通入 110~220 伏低压电源，大容量发电机可在通风系統用电热絲加热。

第三节 运行中的調整

一、有效負荷的調整

电力負荷的特点是用户用电和发电机发出电力同时完成。并列运行时，整个用户的总負荷和整个电力系统发电机发出的总电力正好平衡。减少一个发电机的負荷就增加了系統中其他发电机的負荷。

并列时有效負荷的調整，通常是变动原动机的出力，增加或减少透平的进汽量、水輪机的进水量。在配电盤利用远方操作开关，开动調速馬达来达到这一目的。

每个原动机都有負荷与轉速关系的曲綫，当負荷增加时轉速便下降，图 8 是发电机負荷与轉速变化的特性曲綫。曲綫 1 是一号发电机的曲綫，曲綫 2 是二号发电机的，由于一号机与 2 号机特性曲綫不一样，所以二号机帶負荷多。例如

曲綫2在額定轉速
(3,000轉/分)時,
帶負荷是5,500瓩,
一號機却只帶4,000
瓩。如把二號機的負
荷減少則轉速升高,
從滿負荷降至無負
荷,轉速增加5~
10%。在前面講過,

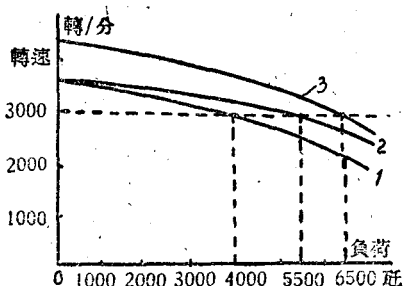


圖8 發電機轉速與負荷特性曲綫圖

並列運行的同期發電機轉速是不變的,所以在一定轉速下負荷也是不變的。

現在須要增加一號機負荷,便須調整調速電動機,圖中曲綫3是調整以後的特性曲綫,這時它的負荷已從4,000瓩增加到6,500瓩。

二、無效負荷的調整

在交流發電機中調整勵磁電流,對於發電機有效負荷不發生任何影響,即原動機出力不變化。這和直流發電機變更磁場電流即變更出力是不同的。在並列運行中,二個發電機的電壓相等方向相反,現在假如增加1號機的勵磁電流,使1號機電勢 E_1 增加大於2號機電動勢 E_2 ,這樣 $E_1 - E_2 = \Delta E$;電動勢 ΔE 產生循環電流 I ,電流 I 滯後於電動勢 ΔE 90° ,如圖9。循環電流 I 的性質:對於1號發電機是電感性(滯後 90°),對2號機是電容性(超前 90°)。這個電流產生電樞反應,它對1號發電機是起去磁作用,企圖削弱發電機的磁場減少 E_1 ;而對2號機是起助磁作用,它企圖增加2號發電機的磁場。但是它並不變更有效負荷的分配。如減少1號發電機的勵磁電流,使 $E_2 - E_1 = -\Delta E$,則所生

的循环电流对于1号发电机起助磁作用，而对于2号发电机起去磁作用。

发电机与电力系统并列运行时，由于电力系统容量非常大，所以可以认为系统电压是不变的，即发电机端电压也是不变的（实际上发电机电压变化对于电力系统也起影响，不过很微小）。如有效负荷一样，整个系统的无效负荷是用户无效负荷的总量。一般用户的力率总是滞后的，如增加一台发电机励磁电流，电动势提高了（端电压不变），这样力率就降低，多带了无效负荷。所以增加或减少励磁电流就是增加或减少无效负荷。

三、调整时的互相关系

力率越高时，发电机输出无效电力越少，但力率低于额定值时（一般为0.8），转子电流会超过额定值，所以应根据转子额定电流来规定最低力率。力率如超过0.95时，发电机运行就不够稳定（这点在事故处理时说明），所以发电机经常运行在力率为0.8~0.95之间。

假定有效负荷一定时，把力率降低静子电流便会增加，增加力率，静子电流就减少，力率为1时，静子电流等于有效负荷所需电流。静子电流 I 与励磁电流 i_f 的关系如图10，

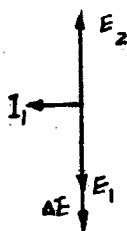


图9 并列运行时
无效负荷向量图

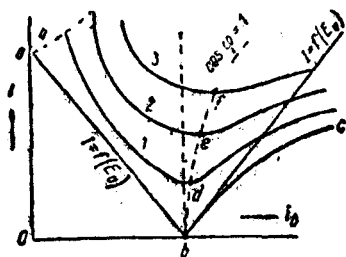


图10 发电机U形曲线图