



第14章 同步发电机电压及无功功率自动调整

§ 14. 1 自动电压调整的基础知识

§ 14. 2 不可控相复励自励恒压励磁系统

§ 14. 3 晶闸管自励恒压励磁系统

§ 14. 4 可控相复励自励恒压励磁系统

§ 14. 5 无刷发电机励磁系统

§ 14. 6 并联运行发电机组间无功功率分配





内 容 简 介

本章主要介绍船舶同步发电机的自动调压、以及无功功率的调节方法。





§ 14.1 自动电压调整的基础知识

14.1.1 自励恒压装置的作用

自励起压

维护电力系统电压基本恒定

合理稳定地分配并联运行发电机间无功功率

强行励磁





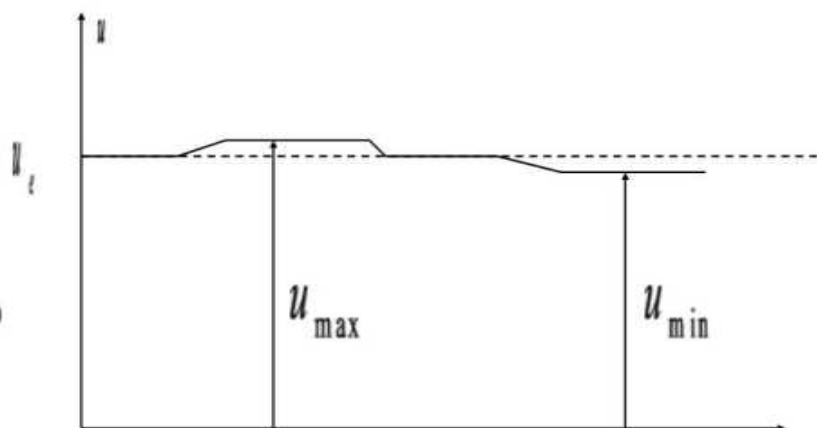
14.1.2 自励恒压装置的基本要求

1) 自动电压调整器的静态和动态特性

(1) 静态特性

对静态电压调整的要求

$$\frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_e} \leq 1\%$$



U_e : 发电机的额定电压(V)

$U_{\max}$: 发电机在规定的负荷变化范围内端电压的稳态最大值

$U_{\min}$: 发电机在规定的负荷变化范围内端电压的稳态最小值





《钢质海船建造及入级规范》规定：

发电机 从空载至满载，功率因数保持为额定值，主发电机的静态电压变化率应在 $\pm 2.5\%$ 以内，应急发电机的静态电压变化率应在 $\pm 3.5\%$ 以内。

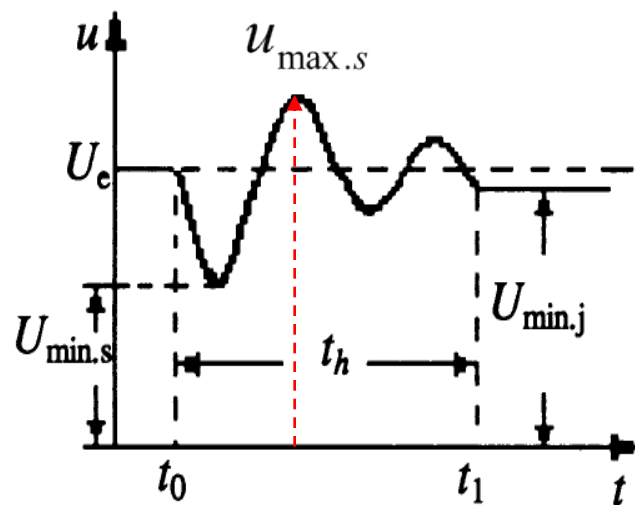




(2) 动态特性

对动态电压调整的要求

$$\Delta U_s \% = \frac{U_{\max.s} \text{ (或 } U_{\min.s}) - U_e}{U_e} \times 100\%$$



$U_{\max.s}$: 发电机突加负荷或突减负荷时的最高电压值

$U_{\min.s}$: 发电机突加负荷或突减负荷时的最低电压值

t_h : 电压恢复时间(调整时间)





《钢质海船建造及入级规范》规定：

发电机突加或突减50%额定电流及功率因数不超过0.4（滞后）的对称负荷时发电机的动态电压变化率应在±15%以内电压恢复时间不超过1.5s。





2) 强行励磁

当电压突然下降很大时，要求自动调压装置能迅速把励磁电流升高至超过额定状态的最大值，即有足够的强行励磁能力，以提高电压的上升速度。

强行励磁能力，通常用强行励磁倍数和发电机电压上升速度来描述。

$$K_p = \frac{U_{LP}}{U_{LE}}$$

K_p : 强励倍数, U_{LP} : 强励时最高励磁电压
 U_{LE} : 发电机额定电压下励磁电压

K_p 一般为2左右，有时会更。实船中，励磁电压达到95%顶峰电压的时间为0.1-0.5S。





3) 合理分配发电机的无功功率

《钢质海船建造及入级规范》规定：

并联运行的交流发电机组，当负荷在额定功率的20%~100%范围内变化时，各发电机实际承担的无功功率与按发电机各自的容量比例计算值之差不应超过下列数值中的较小者：

- (1) 最大机组额定无功功率的 $\pm 10\%$
- (2) 最小机组额定无功功率的 $\pm 25\%$





4) 自励恒压装置的分类及调压原理

同步发电机励磁恒压装置的种类较多，其发展大致经历了带直流励磁机的励磁系统、不带励磁机的相复励恒压励磁系统、晶闸管励磁及具有同轴交流励磁机的无刷励磁系统等几个阶段。

目前同步发电机采用自励形式，其直流励磁电流由自身输出的交流电经过整流后获得的。





目前主要采用的类型有：

不可控相复励自励恒压励磁装置

可控相复励自励恒压励磁装置

晶闸管自励恒压励磁装置

无刷同步发电机励磁系统。





按照被检测量，自励恒压装置可分三大类：

(1) 按发电机电压偏差 ΔU_f 调节

由于被检测量和被调量都是发电机端电压，恒压装置与发电机构成一个闭环调节系统，稳态特性比较好，静态电压调整率一般均在 $\pm 1\%$ 以内。晶闸管自励恒压装置属于这种类型。





(2) 按负载电流 I_f 和功率因数 $\cos \phi$ 调节

如果被测量是发电机的负荷电流 I_f 及功率因数 $\cos \phi$ 。再经调压器去调节励磁电流来稳定发电机电压。这时被测量和被调量不同，故构成一个开环调节系统，静态特性比较差，但动态特性较好。不可控相复励自励恒压装置属于这种类型。





(3) 按 I_f 和 $\cos \phi$ 及 ΔU_f 调节

这类复合调节是将上述两种调压方式结合在一起，它是在按负载调节的基础上采用自动电压调节器（AVR）。静态和动态特性都比较好，是一种较理想的励磁调节装置。可控相复励自励恒压装置属于这种类型。





相复励自励恒压装置具有优良的动态性能，
并能在恶劣的环境下可靠地工作。

既反映电流的大小，也能反映电流的相位的线路称为相位复励线路，简称相复励线路。

相复励装置调节特性的规律是按电流的大小及相位进行补偿的。





§ 14.2 不可控相复励自励恒压励磁系统

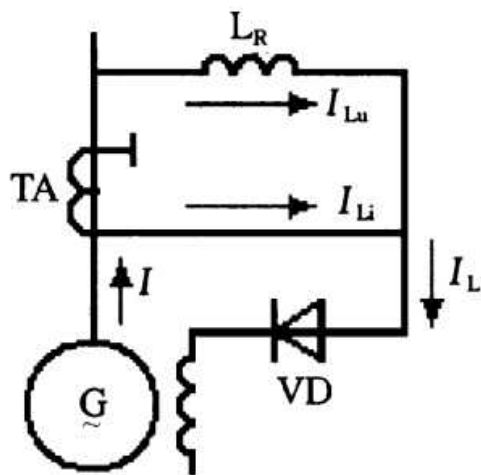
不可控相复励自励恒压装置。具有结构简单，管理方便，价格便宜，动态特性优良，并能在恶劣的环境下可靠工作等优点。

不可控相复励自励恒压装置, 利用发电机本身的剩磁电压进行自励起压, 根据负荷电流的大小进行复励及负荷电流与电压的相位关系进行相位复励, 以调整励磁电流, 稳定发电机端电压。

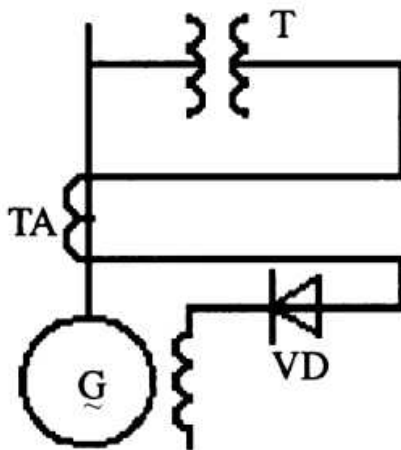




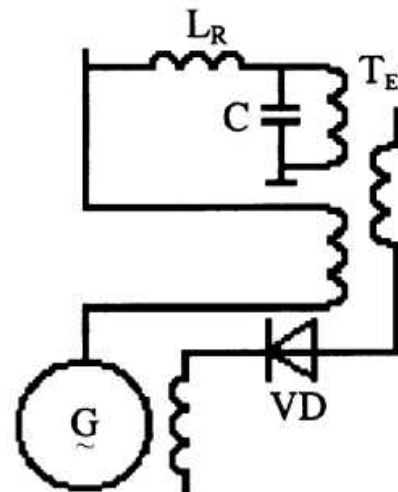
根据这两个分量迭加方式的不同，又可分为：
电流迭加型、电势迭加型和电磁迭加型三种形式。



电流迭加



电势迭加



电磁迭加

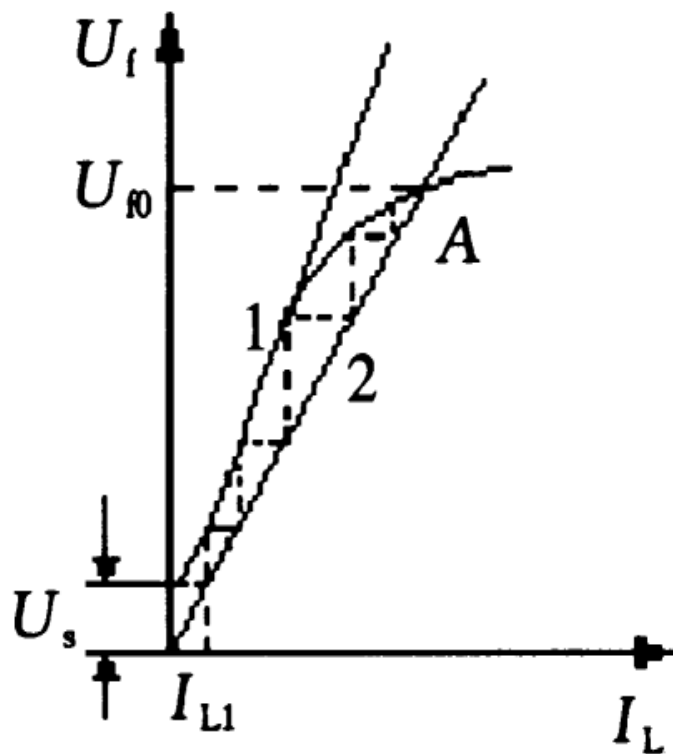




14.2.1 不可控相复励装置自励起压及恒压的基本原理

1) 自励起压基本原理

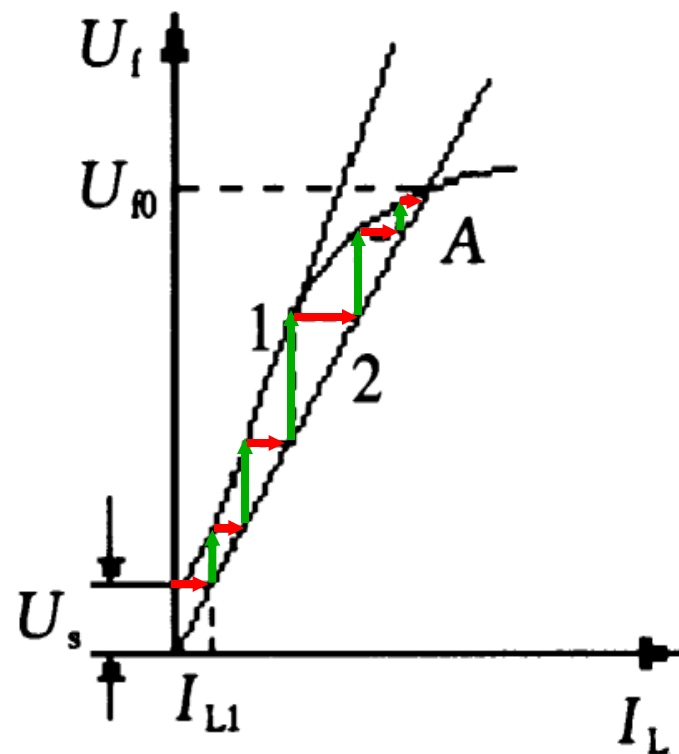
自励起压特性曲线，如图所示。其中曲线1为同步发电机空载特性曲线 $U_{f0} = f(I_L)$ ；曲线2为自励回路的理想励磁特性曲线 $I_L = f(U_f)$ 。





同步发电机自励起压过程:

由于磁滞现象，在转子磁极上留有剩磁。当柴油机拖动发电机的转子转动后，发电机定子绕组将产生感生剩磁电压 U_s ， U_s 加在自励回路上，经过整流在发电机励磁绕组中产生励磁电流 I_{L1} ， I_{L1} 在发电机定子绕组中感生电压 U_{01} ， U_{01} 通过自励回路产生 I_{L2} ， I_{L2} 又感生更高的电压 U_{02} ，如此循环，构成正反馈，逐渐提高发电机空载电压，最后达稳定的交点A，此时发电机电压即为空载电压 U_{f0} 。





由上述可知，同步发电机要正常自励起压，必须满足三个条件：

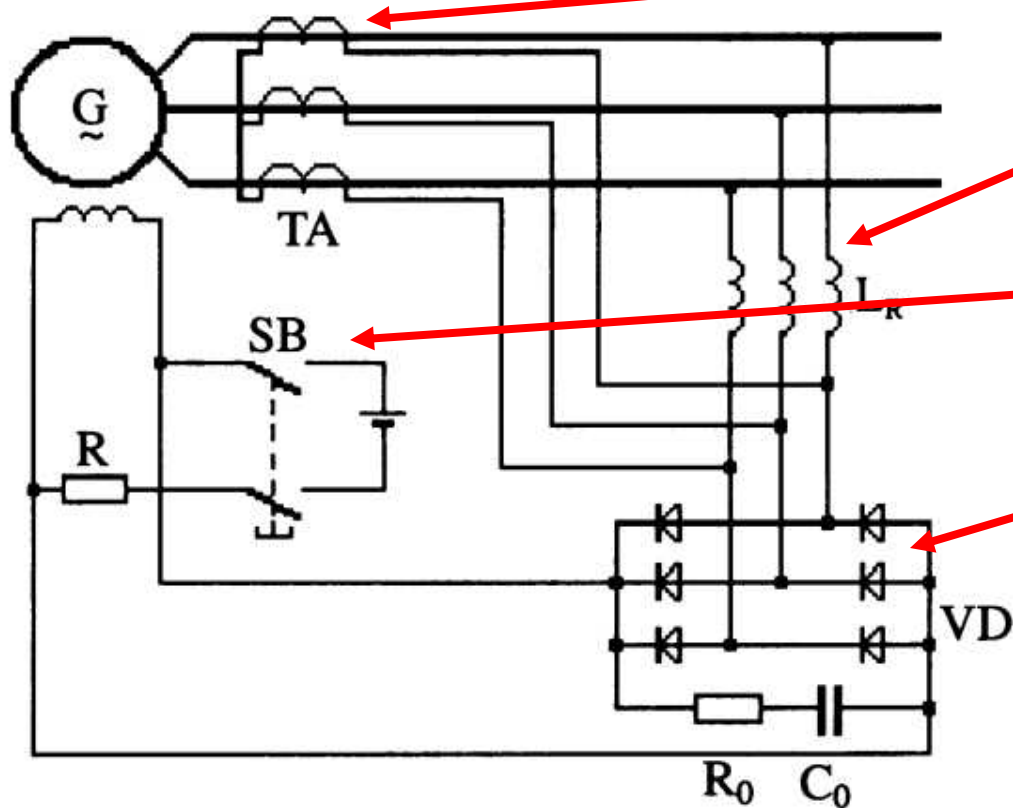
- (1) 有足够的剩磁电压 U_s ，以使自励回路导通；
- (2) 适当整定励磁回路阻抗，使励磁特性与空载特性有合适的交点；
- (3) 使自励系统成为正反馈系统，剩磁电压 U_s 所产生的励磁电流的磁化方向与剩磁方向相同。





14.2.2 电流迭加相复励自励恒压装置

1) 原理图



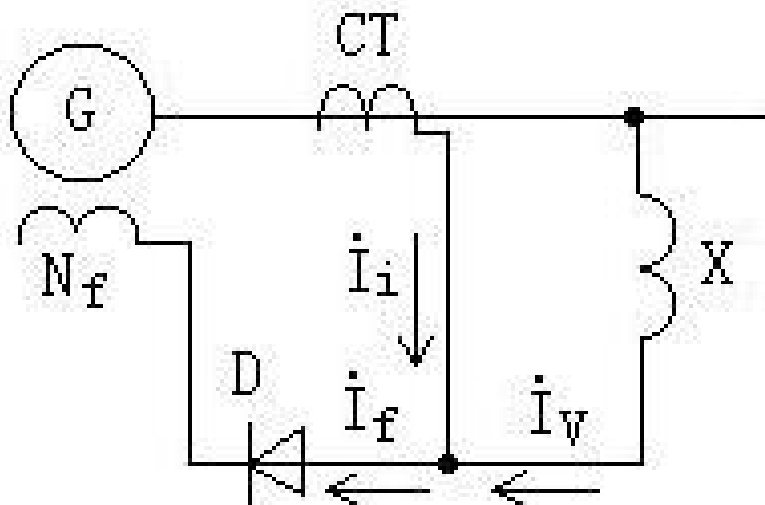
VD为三相桥式硅整流器。

励磁系统中要设置人工触发起励线路，利用蓄电池向励磁系统提供电压。



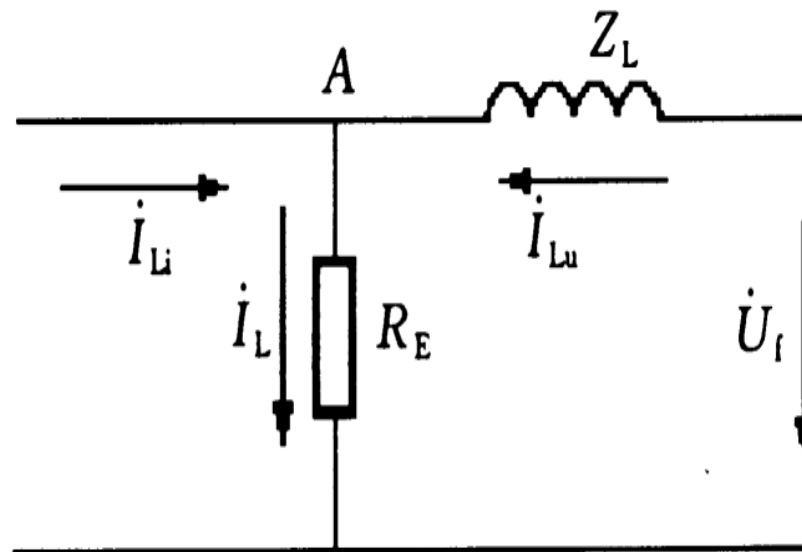
2) 等值电路分析

设电路为三相对称，电流互感器不饱和。



电流叠加相复励单线原理图





电流叠加相复励等值电路

R_E : 励磁回路等值电阻

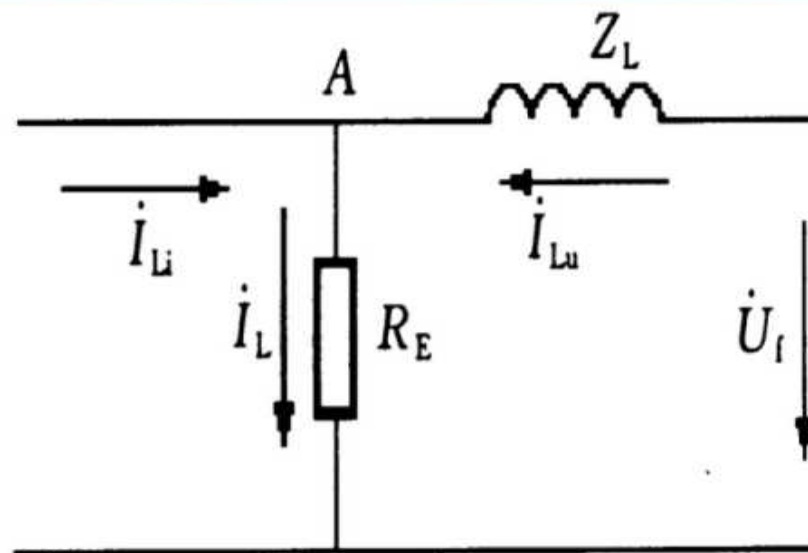
K : T_A 之变比

Z_L : L_R 之阻抗





$$\begin{aligned} \dot{I}_L &= \dot{I}_{Lu} + \dot{I}_{Li} \\ &= \frac{\dot{U}_f}{R_E + Z_L} + \frac{K \dot{I}_f Z_L}{R_E + Z_L} \end{aligned}$$



移相电抗器 Z_L 的电抗值 $X_L > R_L$ (L_R 的电阻值),
 $X_L > R_E$, 忽略 R_L 和 R_E

$$\dot{I}_L = \dot{I}_{Lu} + \dot{I}_{Li} = \frac{\dot{U}_f}{jX_L} + \frac{K \dot{I}_f Z_L}{jX_L} = \frac{\dot{U}_f}{jX_L} + \frac{K \dot{I}_f}{jX_L}$$





发电机励磁电流 I_L 是由发电机端电压经移相电抗器提供的电压分量 I_{Lu} 与由电流互感器提供的电流分量 I_{Li} 所组成。

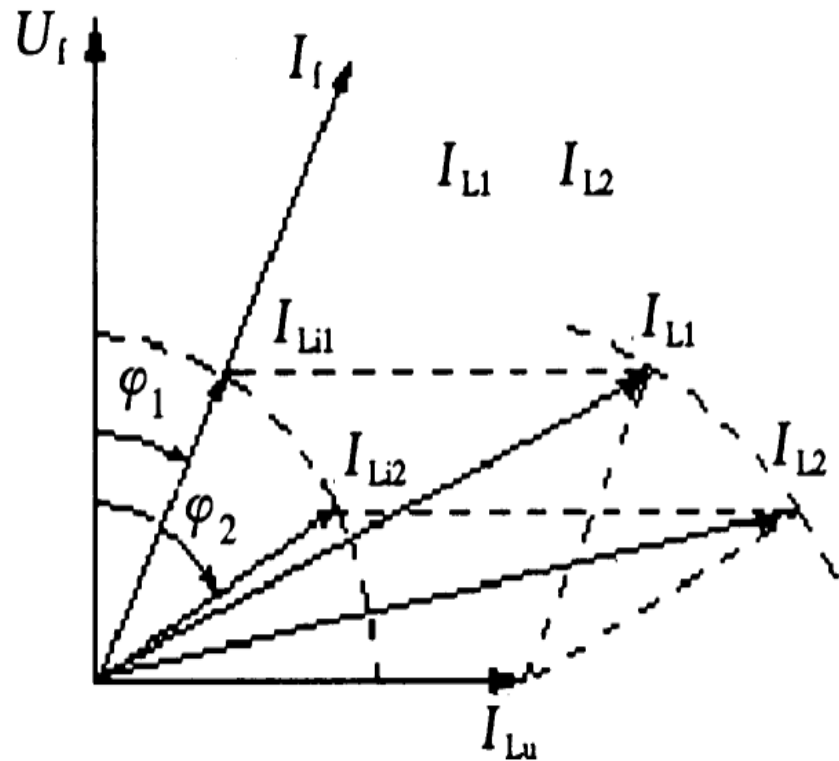
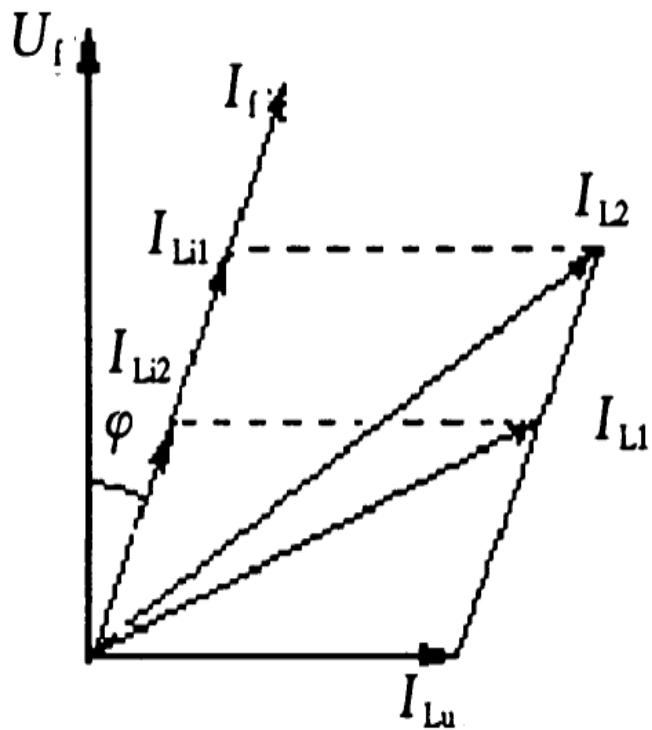
电压分量 I_{Lu} ：

在数值上 $I_{Lu} = U_f / X_L$ ，相位上滞后于电压 90° 角，是励磁电流的基本分量，由它来决定发电机的输出电压的大小。

电流分量 I_{Li} ：

滞后于电压的角度即为功率因数角 φ 。是用来产生电流补偿和相位补偿的，当发电机的负载发生变化引起电压变化时，复励分量起着自动调节电压的作用。

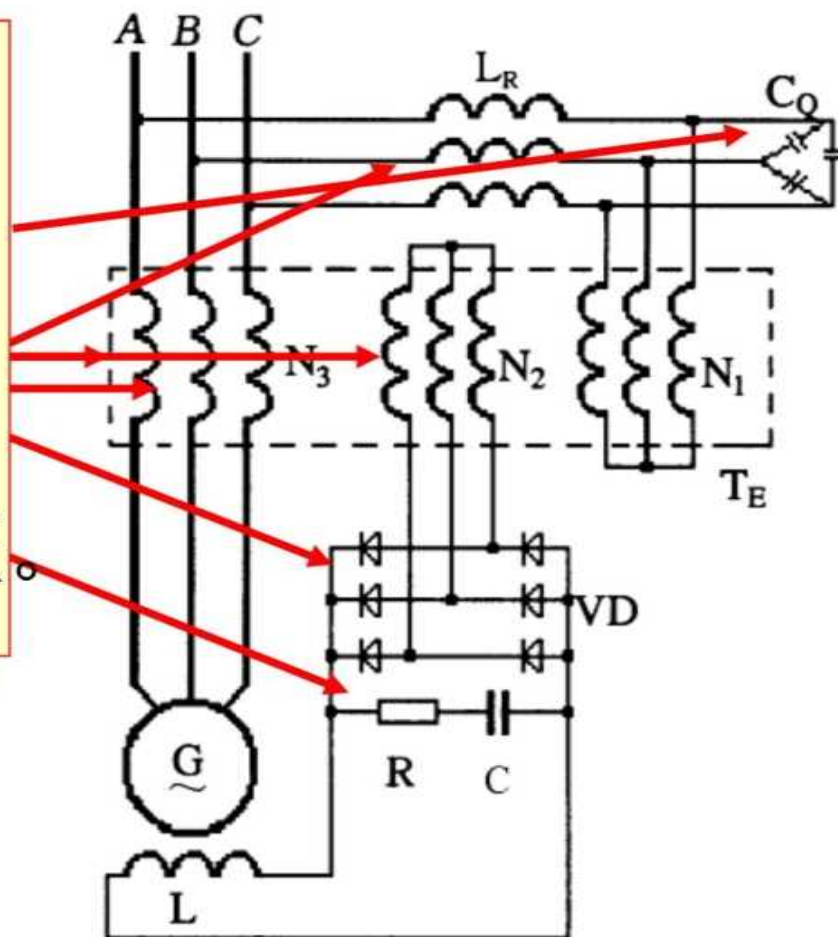






14.2.3 电磁叠加的相复励自励恒压装置

C_Q 是三相谐振起励电容，以外接三角形方式与 L_R 相联接，其作用是在起压时与 L_R 发生串联谐振、帮助起压。





$$\dot{I}_u N_1 + \dot{I}_i N_3 = \dot{I}_f N_2$$
$$\dot{I}_f = \frac{N_1}{N_2} \dot{I}_u + \frac{N_3}{N_2} \dot{I}_i$$

由上式可知电磁迭加相复励与电流迭加相复励在数值和相位关系上基本相同，但电磁迭加型可通过调整匝数比获得更好的相复励恒压特性。

相复励装置的调试：发电机空载电压，可通过调节电压分量来调整；发电机带负载后电压，可通过调节电流分量来调整。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/315032331020011244>