

第七章 同步电机的非正常运行

第一节 同步电机非正常运行的发生

上面各章谈的都是同步电机的正常运行，即三相对称、暂态的运行。

实际上经常遇到的同步电机的运行，都是三相不对称、稳态的运行。例如同步发电机的并联合闸，加负载减负载，同步电动机的起动，牵入同步，同步电机的振荡等等，都是一个暂态过程。另外三相电压和电流任何时候也不可能绝对对称，所以严格说来，不对称和暂态运行是绝对的。在工程上，少许的不对称也就认为是对称了，暂态过程过去以后，虽未完全平息也就认为是稳态了。所以，所谓的正常运行，实际上是相对的。

我们这里所要讨论的非正常运行，那是指的比较严重的不对称情况和暂态过程而言，例如同步电机的单相运行或同步电机的突然短路等，对这种严重的非正常运行有所了解后，对不严重的非正常运行，也能有个估计。

由于非正常运行的分析比较复杂，在这一章里打算多从概念上加以解释，不作过多的定量计算。

非正常运行会给同步电机带来不良影响。我们在设计和制造同步电机时就应该考虑到这些影响，以免出现非正常运行时损坏电机。

但是非正常运行也不是那么可怕的，只要我们掌握了它的规律，采取一定的措施，就不怕它。我们还安排一些不对称运行作为正常的运行方式呢。例如在农村常采用两线一地或一线一地的输电方式；在电气铁道，采用单相电机作为牵引电机，这都使同步发电机经常处在不对称的运行状态下供电。

分析不对称运行，使用对称分量法。分析突然短路，使用磁链守恒法。下面将分别加以介绍。

第二节 对称分量法

所谓对称，就是三相量在数量上相等，在时间相位上各差 120° 。例如图 7-1，以电流为例。图上的两个电流向量图也都是对称的，不过它们的相序不同。(a) 图的 A 领先 B，B 领先 C 各 120° 。(b)

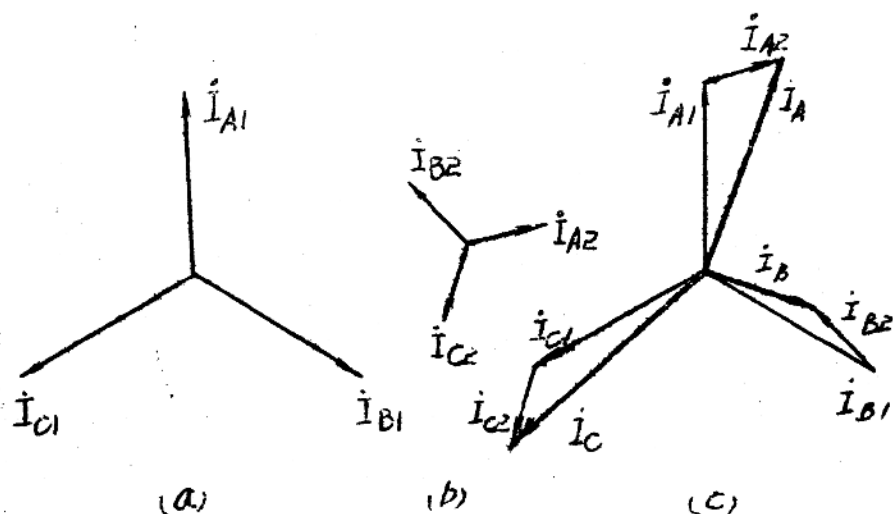


图 7-1

图的 A 落后 B，B 落后 C 各 120° 。(a) 图的三相系统就是一般的对称情况，我们称为正序的，以脚註“1”来表示。(b) 图的三相系统就称为负序的，以脚註“2”来表示。正负序的对称电流加起来，如图(c)，却是不对称的电流了。不过，图(c)的电流虽不对称，但三个电流加起来仍是等于零的，即：

$$\begin{aligned}\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C &= (\dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2}) + (\dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2}) \\ &\quad + (\dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2}) = (\dot{I}_{A1} + \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{C1}) \\ &\quad + (\dot{I}_{A2} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{C2}) = 0\end{aligned}$$

从数学的观点来看，任何一个不对称的三相量，只要三个相的量加起来等于零，就能夠分成两个各为对称的正负序的三相量。我们把后者称为原来不对称三相量的对称（正、负序）分量。

下面列式推导不对称三相量与对称的正、负序分量间的关系。参照图 7-1 看出：

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} \dots\dots\dots (7-1)$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} = a^2 \dot{I}_{A1} + a \dot{I}_{A2} \dots\dots\dots (7-2)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} = a \dot{I}_{A1} + a^2 \dot{I}_{A2} \dots\dots\dots (7-3)$$

式中 $a = \angle 120^\circ$ 是一个运算符，乘上它表示将向量往前转了 120° ，由此知道 $a^2 = \angle 240^\circ$ ， $a^3 = 1$ ，并且 $a + a^2 + 1 = \angle 120^\circ + \angle 240^\circ + 1 = 0$

将上面三式相加

$$\begin{aligned} \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C &= (1 + a^2 + a) \dot{I}_{A1} + (1 + a + a^2) \dot{I}_{A2} \\ &= 0 \end{aligned}$$

这是这类不对称三相量的条件，三相量加起来等于零。

如果将 (7-2) 式乘 a ，将 (7-3) 式乘 a^2 再相加，则得：

$$\begin{aligned} \dot{I}_A + a \dot{I}_B + a^2 \dot{I}_C &= \dot{I}_{A1} (1 + a^2 \cdot a + a \cdot a^2) + \\ &\quad \dot{I}_{A2} (1 + a \cdot a + a^2 \cdot a^2) \\ &= 3 \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} (1 + a^2 + a) = 3 \dot{I}_{A1} \end{aligned}$$

由此，找到正序分量（A相量）

$$\dot{I}_{A1} = \frac{1}{3} (\dot{I}_A + a \dot{I}_B + a^2 \dot{I}_C)$$

知道正序的A相量。因为是对称的，正序的B相和C相量当然也就知道了。

同样，再将(7-2)式乘 a^2 ，将(7-3)式乘 a 再相加，则得：

$$\begin{aligned}\dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C &= \dot{I}_{A1}(1 + a^2 \cdot a^2 + a \cdot a) + \\ &\quad \dot{I}_{A2}(1 + a \cdot a^2 + a^2 \cdot a) = 3\dot{I}_{A1}\end{aligned}$$

由此，找到负序分量(A相量)

$$\dot{I}_{A2} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C)$$

知道了负序的A相量，因为是对称的，负序的B相和C相量，当然也就知道了。

如果一个不对称的三相量，它的三相量加起来不等于零，怎么办呢？我们可以添上一个三个相都同相的分量，如图7-2所示，这个三相量

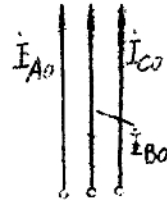


图7-2

$\dot{I}_{A0} = \dot{I}_{B0} = \dot{I}_{C0}$ 称为零序分量。实际上，这是一个单相量。

当着每相都含有另序分量时，三相量加起来就不等于零了。再次列式表示三相量与它们的相序分量间的关系如下：

$$\left. \begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{B0} = a^2 \dot{I}_{A1} + a \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} + \dot{I}_{C0} = a \dot{I}_{A1} + a^2 \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0}\end{aligned} \right\} (7-6)$$

将(7-6)三式相加起来，得到：

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 3 \dot{I}_{A0}$$

即当三相量加起来不等于零时，就是说它含有了一个零序分量，

其值为：

$$\dot{I}_{A0} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) \dots\dots\dots (7-7)$$

将(7-6)式再找它们的正负序分量。结果和(7-4)与(7-5)式是一样的。

由此得出结论：三相量加起来不等于零的那部分由零序分量构成。加起来等于零的那部分由正序和负序分量构成。

有了(7-4)、(7-5)和(7-7)式。任何不对称的三相量都可以分成为三个各为对称的分量，即正序，负序和零序分量。知道了三个相序分量后，按(7-6)式又可以找回原来的不对称三相量。

上面式子以电流符号 I 来表示，以电压 U 或电势 E 来表示，形式是一样的。

第三节 同步发电机的单相负载运行

同步电机不对称运行情况很多，不能一个个都分析。在这里挑一种不对称运行情况来作典型。通过对它的分析以说明不对称运行的一般分析方法。并且了解不对称运行与同步电机参数的关系及它对同步电机发热等的影响。

同步发电机在供给电气铁道或单相电炉用电时，就出现这种单相负载运行情况。在实际情况下，这些单相负载被尽量均匀地分配到三个相里。而且发电机同时还带有别的三相对称负载。所以在实际运行里，不对称情况并不是很严重。在这里，如此突出地分析单相负载运行（整个发电机就只有一个单相负载），是为了突出单相负载对同步发电机的影响。

单相短路是单相负载的一个极端情况（即负载阻抗为零的负载）。单相短路在故障情况及试验时是会遇到的。

单相负载的接线图如图7-8。在这里我们把负载安排在线与线

之间。如果把它安排在线与中点之间，情况是有些不同的，下面还会谈到。

分析的方法采用对称分量法。就是将不对称的三相量分为三个对称的相序分量。

我们首先分析电流的情况。

参看图 7—3，单相负载时的三相电流情况如下：

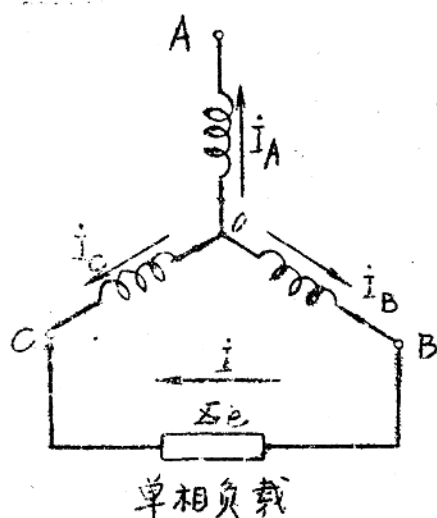


图 7—3

$$\dot{I}_A = 0$$

$$\dot{I}_B = -\dot{I}_C = \dot{I}$$

式中 $\dot{I}$ 是单相负载电流。

利用对称分量法，找出相序电流为：

$$\dot{I}_{A0} = \frac{1}{3} (\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = 0$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{A1} &= \frac{1}{3} (\dot{I}_A + a\dot{I}_B + a^2\dot{I}_C) = \frac{1}{3} (a - a^2) \dot{I} \\ &= \frac{j\sqrt{3}}{3} \dot{I} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{A2} &= \frac{1}{3} (\dot{I}_A + a^2\dot{I}_B + a\dot{I}_C) = \frac{1}{3} (a^2 - a) \dot{I} \\ &= -\frac{j\sqrt{3}}{3} \dot{I} \end{aligned}$$

$$\text{或 } \dot{I}_{A1} = -\dot{I}_{A2} = \frac{j\sqrt{3}}{3} \dot{I}$$

$$\text{式中 } a - a^2 = \angle 120^\circ - \angle 240^\circ = \angle 120^\circ + \angle 60^\circ = j\sqrt{3}$$

$$a^2 - a = -(a - a^2) = -j\sqrt{3}$$

从上面的结果看出, 在这种单相负载情况下, 没有零序电流, 正序电流 (A 相量) 和负序电流 (A 相量) 大小相等, 方向相反。

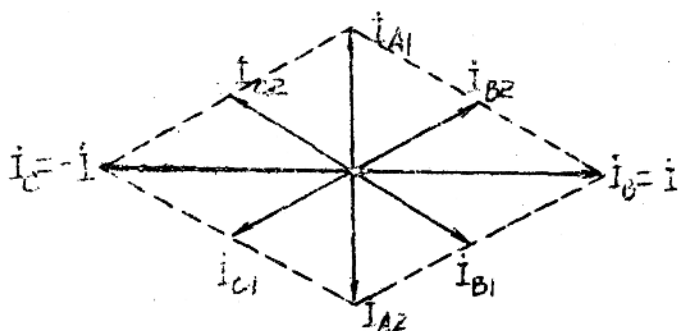


图 7-4

我们把相序分量加起来, 又会得到原来的三相量, 如图 7-4 所示。

即:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} = 0$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} = \dot{I}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} = -\dot{I}$$

下面要找出同步发电机的电势、电流和电压的关系, 以便在给定无载电势下, 将负载电流计算出来, 并且在这个负载下, 计算出各相的端电压, 以了解端电压变化情况以及由于担负这种单相负载引起的端电压的不对称程度。

对称的情况我们是会计算的。不对称情况既然能够分成为三个不同相序的对称情况, 那么我们可以将三个不同相序的对称分量分别计算后, 再迭加起来, 以求得不对称情况的结果。这种迭加的计算方法, 当然是在线性条件下才是允许的。因此, 在饱和情况下, 以及纵横轴不对称的情况下 (在隐极机, 纵横轴也不对称, 纵轴有激磁绕组, 横轴没有。只有象异步机的情况, 转子才对称), 这种采用对称分量的迭加计算方法, 只能求得一个近似的结果。但是, 实践证明, 这个近

似结果，对同步发电机的不对称运行，也很有指导意义。

既然采用了迭加原理，所以同步发电机的电势图和它的等值电路，就是我们分析的工具。

在电势图和等值电路中，除了上面讨论的电流外，还有同步发电机的电势、内阻抗、端电压和负载阻抗。下面分别讨论一下这几个量在各相序分量中的表现。

1、各相序的电势

激磁电势是由于转子激磁磁通旋转而在定子绕组感应产生的。它的相序就是被我们定为正相序的依据，因此正序电势就是正常的激磁电势，即 $\dot{E}_{A1} = \dot{E}_A$ ($\dot{E}_A$ 就是 A 相的无载激磁电势 $\dot{E}_{0A}$ ，但为了避免与零序分量的脚註混淆，所以写作 $\dot{E}_A$)。

由于同步发电机没有一个倒转的激磁磁通，所以负序电势 $\dot{E}_{A2} = 0$ 。

由于在同步发电机的三相绕组里不存在一个同相的激磁电势，所以零序电势 $\dot{E}_{A0} = 0$ 。

2、各相序的内阻抗

对称运行时的情况是被认作为正序的。因此同步发电机的内阻抗就是对称运行时的漏阻抗和电枢反应电抗之和，即同步电抗。所以正序阻抗 $Z_1 = Z_0 = r + jX_0 = r + j(X_s + X_a)$ 。

负序或零序的内阻抗是与负序或零序电枢电流产生的漏磁通和气隙磁通相对应的漏阻抗和电枢反应电抗之和。它们的性质和大小留到下一节去讨论，这里先给它们写成 Z_2 和 Z_0 。

知道了这些情况后，三个相序的等值电路可以孤立地画出来了，如图 7—5 所示。

最后，还得根据端电压和负载情况找出各相序等值电路的联系，以求得最后的结果。

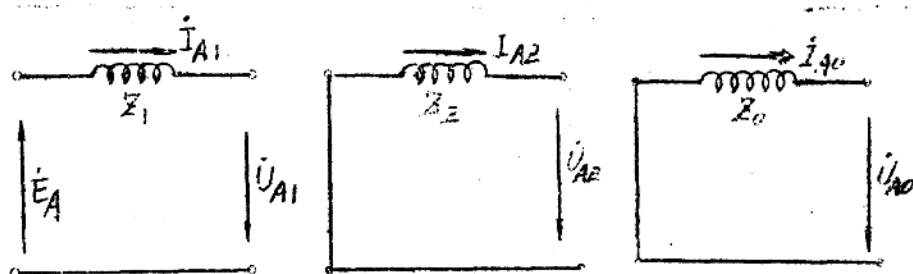


图 7-5

参看图 7-3:

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C = \dot{I} \cdot Z_0 = \dot{I}_B \cdot Z_0$$

从这里可以找出它们的对称分量关系:

$$\begin{aligned} \dot{U}_B - \dot{U}_C &= (\dot{U}_{B1} + \dot{U}_{B2}) - (\dot{U}_{C1} + \dot{U}_{C2}) \\ &= (a^2 \dot{U}_{A1} + a \dot{U}_{A2}) - (a \dot{U}_{A1} + a^2 \dot{U}_{A2}) \\ &= (a^2 - a) (\dot{U}_{A1} - \dot{U}_{A2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{另外, } \dot{U}_B - \dot{U}_C &= \dot{I}_B Z_0 = (\dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2}) Z_0 \\ &= (a^2 \dot{I}_{A1} + a \dot{I}_{A2}) \cdot Z_0 = (a^2 - a) \dot{I}_{A1} Z_0 \end{aligned}$$

从上两式得:

$$\dot{U}_{A1} - \dot{U}_{A2} = \dot{I}_{A1} \cdot Z_0 \dots\dots\dots (7-10)$$

根据 (7-10) 式, 可以安排相序等值电路彼此关系, 如图 7-6 所示。
正负序等值电路

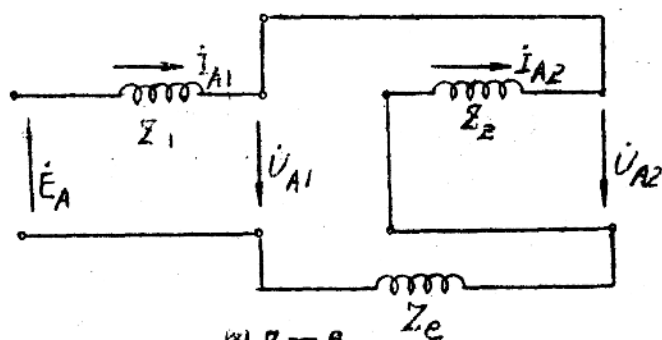


图 7-6

这样子串联起来，就完全符合上式的关系了。至于零序等值电路，由于 $\dot{I}_{A0} = 0$ ，所以 $\dot{U}_{A0} = 0$ ，就不必画上了。

根据图 7-6，就找到负载电流与无载电势的关系：

$$\dot{I} = -j\sqrt{3}\dot{I}_{A1} = -j\sqrt{3} \frac{\dot{E}_A}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (7-11)$$

并且找出正序端电压：

$$\dot{U}_{A1} = \dot{E}_A - \dot{I}_{A1}Z_1 = \dot{E}_A - \frac{\dot{E}_A}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \cdot Z_1 \quad (7-12)$$

和负序端电压：

$$\dot{U}_{A2} = -\dot{I}_{A2} \cdot Z_2 = \frac{\dot{E}_A}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \cdot Z_2 \quad (7-13)$$

对于这些结果的讨论，留到下一节讨论了， Z_2 的数值以后进行。

下面还可以举一个例子。

如果单相负载不是接到线与线间，而是接到线与中点间，结果就不一样。

接线图如图 7-7。单相负载时的三相电流情况如下：

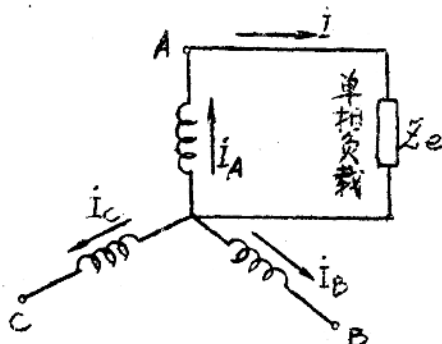


图 7-7

$$\dot{I}_A = \dot{I}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_C = 0$$

式中 $\dot{I}$ 是单相负载电流

利用对称分量法，找出相序电流为

$$\dot{I}_{A0} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = \frac{1}{3}\dot{I}$$

$$\dot{I}_{A1} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a\dot{I}_B + a^2\dot{I}_C) = \frac{1}{3}\dot{I}$$

$$\dot{I}_{A2} = \frac{1}{3} (\dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C) = \frac{1}{3} \dot{I}$$

$$\text{即 } \dot{I}_{A0} = \dot{I}_{A1} = \dot{I}_{A2} = \frac{1}{3} \dot{I} \quad \dots\dots\dots (7-15)$$

同步发电机电势的情况和上例是一样的，即，

$$\dot{E}_{A1} = \dot{E}_A, \quad \dot{E}_{A2} = 0, \quad \dot{E}_{A0} = 0$$

端电压和负载情况为，

$$\dot{U}_A = \dot{I} Z_e$$

分为对称分量，即，

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0} = \dot{I} Z_e = 3 \dot{I}_{A1} Z_e \quad (7-16)$$

根据 (7-15) 和 (7-16) 式，相序等值电路就可以画成如图 7-8 的样子。

根据图 7-8，找到负载电流与无载电势的关系：

$$\begin{aligned} \dot{I} &= 3 \dot{I}_{A1} = \\ &= \frac{3 \dot{E}_A}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_e} \\ &= \frac{\dot{E}_A}{\frac{Z_1 + Z_2 + Z_0}{3} + Z_e} \end{aligned}$$

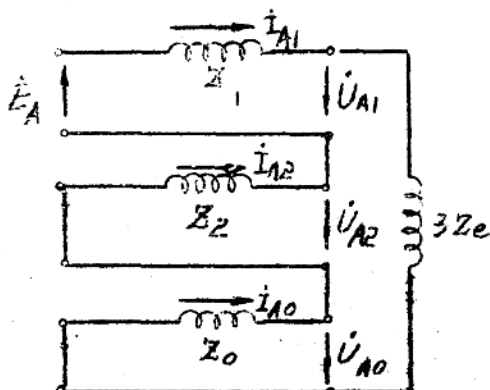


图 7-8

$$\dots\dots\dots (7-17)$$

正、负和零序端电压为，

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{A1} &= \dot{E}_A - \dot{I}_{A1} Z_1 \\ \dot{U}_{A2} &= -\dot{I}_{A2} \cdot Z_2 \\ \dot{U}_{A0} &= -\dot{I}_{A0} \cdot Z_0 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (7-18)$$

对于这些结果的讨论留到下一节讨论了 Z_1 和 Z_0 的数值以后进行。

第四节 负序阻抗和零序阻抗

这里所谓的相序阻抗是一个什么阻抗呢？我们从相序等值电路可以看出来。这是发电机的内阻抗，是电枢电流与它所产生的电阻电势和电感电势的比值。电感电势包括漏磁电势以及电枢反应电势两项。

负序阻抗或零序阻抗就是与负序电枢电流或零序电枢电流相对应的这种阻抗。

只有正序的运行就是对称的运行。因此正序阻抗就是同步阻抗。

在同步阻抗中，电阻比同步电抗小很多。因此在计算电压时，常将电阻忽略而只要它的同步电抗。只有在考虑损耗时，才用到它的电阻。

负序和零序电流引起的损耗与正序电流引起的损耗是不相等的，但数量级仍差不多。因此在负序和零序阻抗中，仍常常忽略它的电阻。

由于这个原因，下面我们就只考虑负序和零序电抗。而将负序和零序电流产生的损耗另外讨论。

(一) 负序电抗

我们分为两部分来讨论，第一部分是负序漏电抗，第二部分是负序电枢反应电抗。

漏电抗的产生主要在定子槽和端接部分，负序电流产生漏磁通的能力与正序电流没有什么两样，因此负序漏抗就等于正序漏抗，即

$$X_{s1} = X_{s1} = X_s$$

电枢反应电抗就不同了。在正序里，电枢反应磁势和磁通与转子没有相对运动。而在负序里，电枢反应磁势和磁通与转子相反而转。

它们之间有着两倍同步速的转差。这样，转子绕组，包括激磁绕组和阻尼绕组，都将切割负序电枢反应磁通而产生电势、电流，并且产生反磁势。其电磁过程类似于变压器付边绕组对原边绕组的影响。因此从电枢绕组来着的这个电抗，用得上变压器的等值电路。而除了与主磁路的激磁电抗（在同步机、与变压器激磁电抗 X_m 相对应的是电枢反应电抗 X_a ，因为后者也是表达原边电流，即电枢电流与其在主磁路中产生的主磁通在原边绕组，即电枢绕组里感应电势间的关系）有关系外，还与付边绕组的漏阻抗（折合到原边）有关。

因此，两部分电抗合在一起，可以用一个变压器的等值电路来表示。如图 7—9。

因而负序电抗 X_2 为：

$$X_2 = X_s + \frac{1}{\frac{1}{X_a} + \frac{1}{X_r}}$$

..... (7—20)

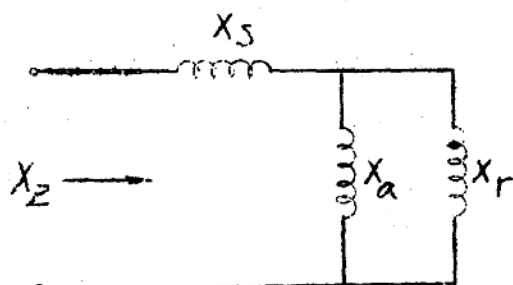


图 7—9

第一项就是漏电抗部分，

第二项是负序电枢反应电抗部分。式中 X_r 是转子绕组折合到电枢绕组的漏电抗。

不过，同步电机转子绕组有各种情况，下面分别讨论一下。

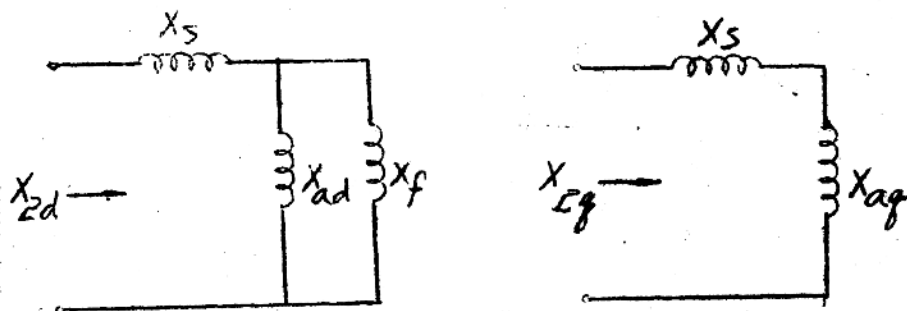


图 7—10

1. 转子只有激磁绕组。

激磁绕组只在纵轴里有，横轴里没有，并且如为凸极机，纵、横轴的电枢反应电抗也不一样。因此，纵、横轴的电抗等值电路不同，如图 7—10 所示。负序电抗近似地就从这两个数值中取算术平均值。

$$\left. \begin{aligned} X_{ad} &= X_s + \frac{1}{\frac{1}{X_{ad}} + \frac{1}{X_f}} \\ X_{aq} &= X_s + X_{aq} \\ X_2 &= \frac{X_{ad} + X_{aq}}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7-21)$$

式中 X_f 是激磁绕组折合到电枢绕组的漏电抗。

如为隐极机，在上式中，使 $X_{ad} = X_{aq} = X_a$

2. 转子还有阻尼绕组

在转子如果除了激磁绕组外，还有阻尼绕组，与电枢绕组一起，就好像三绕组变压器一样。因此，纵、横轴的电抗等值电路如图 7—11 所示。

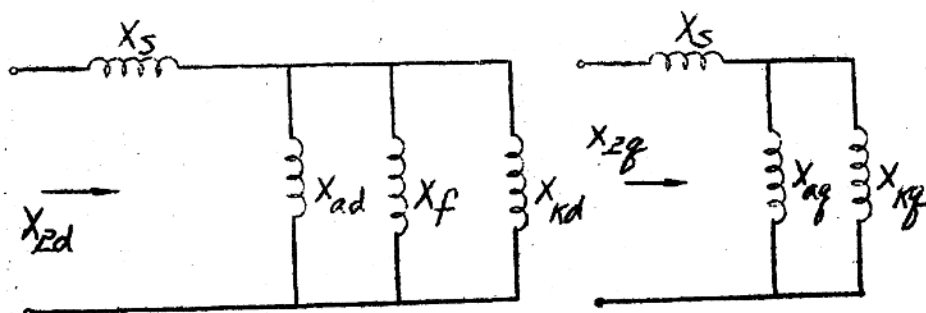


图 7—11

在这种情况下，

$$X_{ad} = X_s + \frac{1}{\frac{1}{X_{ad}} + \frac{1}{X_f} + \frac{1}{X_{kd}}} \dots\dots\dots (7-22)$$

$$X_{2q} = X_s + \frac{1}{\frac{1}{X_{aq}} + \frac{1}{X_{kq}}} \dots\dots\dots (7-22)$$

式中 X_{kd} 和 X_{kq} 是纵轴和横轴阻尼绕组折合到励磁绕组的漏电抗
负序电抗为

$$X_2 = \frac{X_{2d} + X_{2q}}{2}$$

有一种凸极机的阻尼绕组，端环在极与极之间不联接起来，如图
7-12所示。

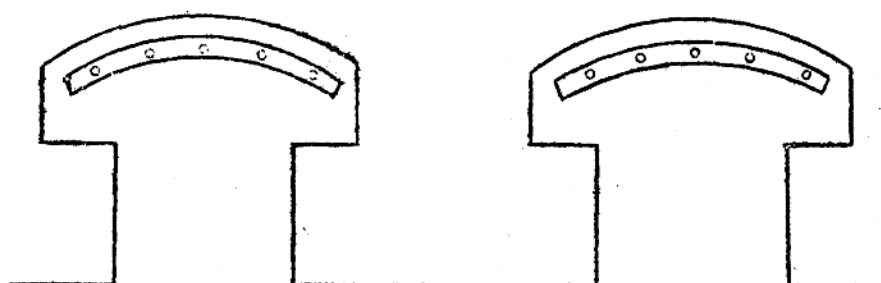


图 7-12

这种结构的阻尼绕组，纵轴的阻尼电流流得通，横轴的阻尼电
流不通，相当于没有横轴阻尼绕组。所以横轴负序电抗 X_{2q} 仍然等于
横轴同步电抗，即

$$X_{2q} = X_s + X_{aq} = X_q$$

从上面的式子看出，负序电抗小于正序电抗，这是由于转子绕组
的去磁作用引起的。因为同样的电枢电流值，若为负序的，产生的磁
通比正序的少了。因此负序电抗比正序电抗要小。

在一般的同步发电机，负序电抗大约有如下数值，

汽轮发电机 $X_2 \approx 0.15$

没有阻尼绕组的水轮发电机

$X_2 \approx 0.40$

$\dots\dots\dots (7-28)$

有阻尼绕组的水轮发电机

$$X_s \approx 0.25$$

(二) 零序电抗

根据电枢绕组磁势的规律，三个相绕组的电流若为同相，就不会产生基本波的电枢磁势。由此可知，零序电流不会产生电枢反应磁势和相应的磁通。

由于这个缘故，零序电抗就只有与漏磁通相对应的那部分电抗。

不过，零序电抗还不完全等于正序的漏电抗 X_s 。因为，在短距绕组里，某些槽的上下层分属于不同的相。在这些槽里，零序电流产生的漏磁通与正序电流所产生的漏磁通在数值上就不一样。一般前者小于后者，其数值与绕组的节距有关。因此，零序电抗 X_0 小于 X_s ，即

$$X_0 < X_s \quad \dots\dots\dots (7-24)$$

第五节 不对称运行与电机的关系

(一) 电机参数对不对称运行的影响

从(7-13)和(7-18)式可以看出，不对称运行使端电压出现负序和零序分量。它们的大小除了与不对称电流的大小有关外，还与发电机的负序和零序阻抗成正比。在发电机带不对称负载时，为了提高其端电压的对称程度，应该尽可能减小负序电抗值（零序电抗值本来很小）。

没有阻尼绕组的水轮发电机，负序电抗值较大，端电压的不对称程度较严重。为此，水轮发电机常装设阻尼绕组，由阻尼电流对负序电流所产生的气隙磁通起去磁作用，使端电压的不对称程度降低。从公式看，有阻尼绕组的水轮发电机，负序电抗值变小了，因而端电压

的负序分量也就小了。在第五章里，曾经谈到阻尼绕组对消灭振荡的作用；在第六章里谈到阻尼绕组在同步电动机的起动作用；在这一章，我们又看到它对减小负序磁通，以提高端电压对称程度的作用。

在汽轮发电机，整体转子本身就起着阻尼的作用。我们看到，在汽轮发电机，负序电抗是比较小的。并且由于这个缘故，汽轮发电机在带不对称负载时，端电压的不对称就不是很严重。为了加强阻尼作用，还在汽轮发电机转子槽楔下装设扁铜片的阻尼绕组。这种结构的汽轮发电机，负序电抗就更小了。

(二) 不对称运行对于电机的影响

同步发电机带不对称负载时，与带对称负载有很大的不同，主要的区别是在带不对称负载时，定子会产生反转的旋转磁场，在转子本体和转子绕组里感应电势产生电流及损耗，造成较大影响。

在汽轮发电机，负序磁场在转子表面感应电流产生表面损耗，增加激磁绕组散热的困难。另外这个电流通路是经护环与别的槽楔电流通路联成迴路的。在护环与转子本体搭接的地方，接触电阻较大，电流流经这里，发热就比较严重。在运行中，这个地方被负序电流烧毁的例子是不少的。

在水轮发电机，如果没有阻尼绕组，定子负序电流产生的负序磁通就比较大。负序磁通将使激磁绕组感应一个较大的100周的电势。这个交变电势不但增加激磁绕组的损耗，还对励（激）磁机的换向产生不良影响。没有阻尼绕组的水轮发电机纵、横轴的不对称性较大，负序磁场将在水轮发电机的转子产生一个交变力矩，使转子产生机械的振动。

在有阻尼绕组的水轮发电机，由于阻尼绕组的作用，负序磁场大大被削弱，同时阻尼绕组还对激磁绕组起屏蔽作用，使负序磁场在激