

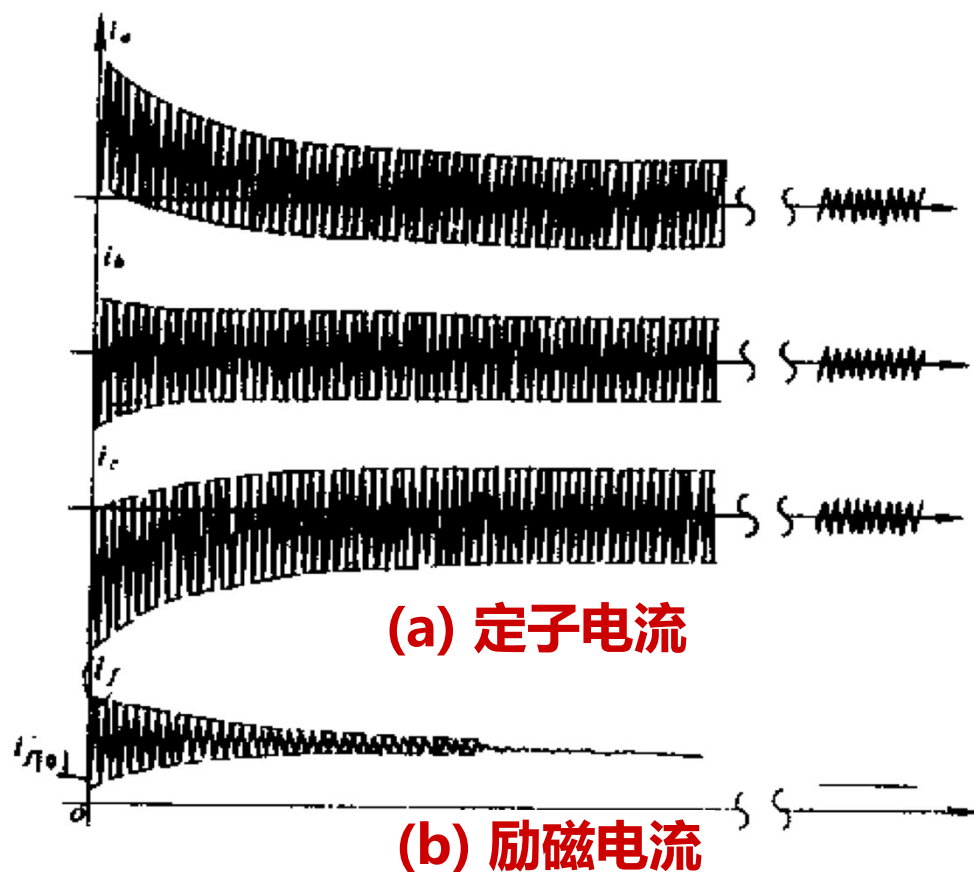
即将直播授课



- 下载腾讯课堂学生端APP：
<https://ke.qq.com/s>
- 扫码进课
- 也可以看回放
- 进一次以后，下次再进课堂不需要再扫码：
我的一最近看过—刘崇茹的课堂
- 请将昵称改为：**学号姓名**

发电机三相短路后的实测电流波形

- 转子有励磁电流，定子三相绕组开路，定子绕组端部突然短路。
- 定子三相电流一般称为短路电流。



- 定子转子中都有交流分量和直流分量。
- 定子中的直流分量最终衰减到零，交流分量按两个衰减时间常数衰减至稳态值。
- 转子中的交流分量逐渐衰减至零。

发电机三相短路后的实测电流波形

- 转子有励磁电流，定子三相绕组开路，定子绕组端部突然短路。
- 定子三相电流一般称为短路电流。

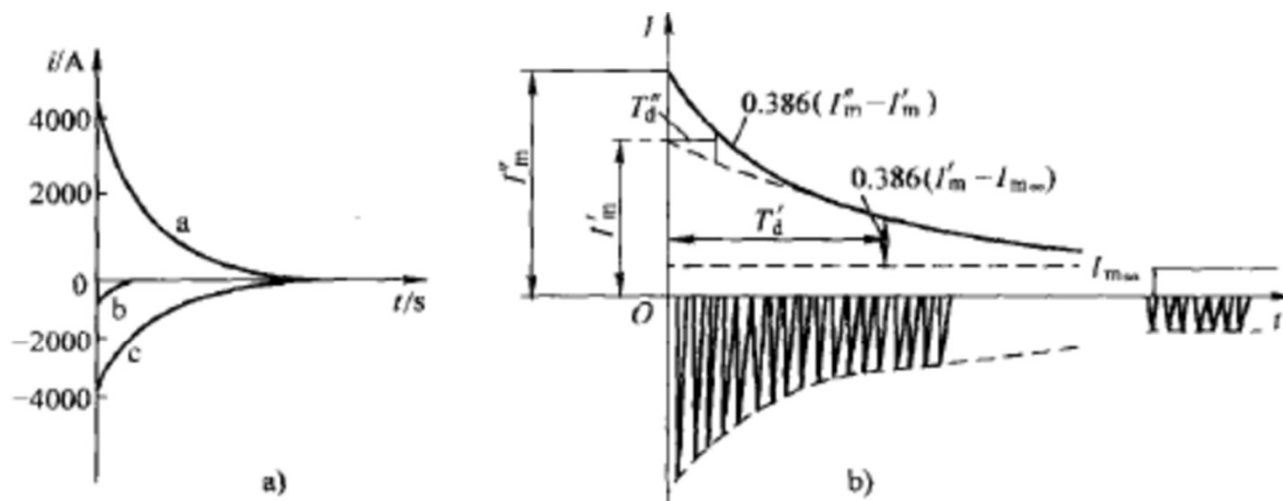


图 1-2 短路电流波形分解

a) 三相直流分量 b) 交流分量

- 定子中的直流分量最终衰减到零
- 交流分量按两个衰减时间常数衰减至稳态值，且有两个时间常数

假设发电机是理想电机

- 1. 两个对称
- 2. 两个正弦
- 3. 光滑
- 4. 不饱和
- 5. 同步速
- 6. 励磁电压恒定
- 7. 短路的位置



东方电机制造的华能海门电厂1000MW超超临界汽轮发电机在运行中。



首个超超临界机组浙江华能玉环电厂

假设发电机是理想电机

- 1. 两个对称
- 2. 两个正弦
- 3. 光滑
- 4. 不饱和
- 5. 同步速
- 6. 励磁电压恒定
- 7. 短路的位置
- 电机转子在结构上对本身的直轴和交轴完全对称
- 定子三相绕组完全对称，在空间互相相差电角度 120°
- 定子电流在气隙中产生正弦分布的磁势
- 转子绕组和定子绕组间的互感磁通也在气隙中按正弦规律分布

假设发电机是理想电机

- 1. 两个对称
 - 2. 两个正弦
 - 3. 光滑
 - 4. 不饱和
 - 5. 同步速
 - 6. 励磁电压恒定
 - 7. 短路的位置
- 定子及转子的槽和通风沟不影响定子和转子绕组的电感，即认为电机的定子及转子具有光滑的表面。
 - 电机铁心部分的导磁系数为常数，即忽略磁路饱和的影响，在分析中可以应用叠加原理。

假设发电机是理想电机

- 1. 两个对称
 - 2. 两个正弦
 - 3. 光滑
 - 4. 不饱和
 - 5. 同步速
 - 6. 励磁电压恒定
 - 7. 短路的位置
- 在暂态过程期间同步发电机保持同步转速，即只考虑电磁暂态过程，而不计机械暂态过程。
 - 发生短路后励磁电压始终保持不变，即不考虑短路后发电机端电压降低引起的强行励磁。

假设发电机是理想电机

- 1. 两个对称
- 2. 两个正弦
- 3. 光滑
- 4. 不饱和
- 5. 同步速
- 6. 励磁电压恒定
- 7. 短路的位置
 - **短路发生在发电机的出线端口**。如果短路发生在出线端外，可以把外电路的阻抗看作定子绕组电阻和漏抗的一部分，估短路后的物理过程和出线端口短路是完全一样的。

基础知识

- 1. 基波电枢磁动势和基波励磁磁动势的转速、转向、极对数均相同，任何时刻两个之间无相对运动，因此可以将两个磁动势合成，合成磁动势将是一个同样转速、转向、极对数的旋转磁动势。
- 2. 电枢反应
 - 同步发电机带上负载后，定子三相对称绕组中流过三相对称电流，定子绕组会产生一个磁动势，简称电枢磁动势。
 - 它改变了电机空载运行时单独由励磁磁动势产生气隙磁通的情况，这时将由励磁磁动势和电枢磁动势合成一个总磁动势来产生气隙磁通，在定子绕组中感应电动势。
 - 电枢磁动势对励磁磁动势的影响就叫做电枢反应。负载为电阻时，电枢反应叫交轴电枢反应；负载为电感时，电枢反应叫直轴去磁电枢反应；负载为电容时，电枢反应叫直轴加磁电枢反应。

基础知识 (续1)

- 3. **双反应原理：一般也叫布朗戴尔双反应法。**
 - 它的理论基础是磁路不饱和采用叠加原理。
 - 把电枢基波磁动势分解为两个磁动势：一个作用在直轴上，叫直轴电枢反应磁动势；一个作用在交轴上，叫交轴电枢反应磁动势。

- 4. **超导体闭合回路磁链守恒原理**
 - 没有电阻的闭合线圈的磁链 ϕ 永远等于突然短路一开始时它所交链的磁链 Ψ_0 。没有电阻的闭合回路又称为超导体闭合回路。超导体闭合回路永远保持其原来具有的磁链不变，这就是超导体闭合回路磁链守恒定则。如果这时外部有磁链企图与该超导体线圈相链，那么，线圈中就要产生一个电流分量，该电流分量产生的磁链始终与外来磁链的大小相等、方向相反，以使链着线圈的总磁链保持不变。

基础知识 (续2)

- 磁动势: $F = \sum N * i$
- 磁阻: $R_m = \frac{l}{\mu S}$
- 磁路欧姆定律: $\Phi = \frac{F}{R_m}$
- 磁路的节点定律: $\sum \Phi = 0$

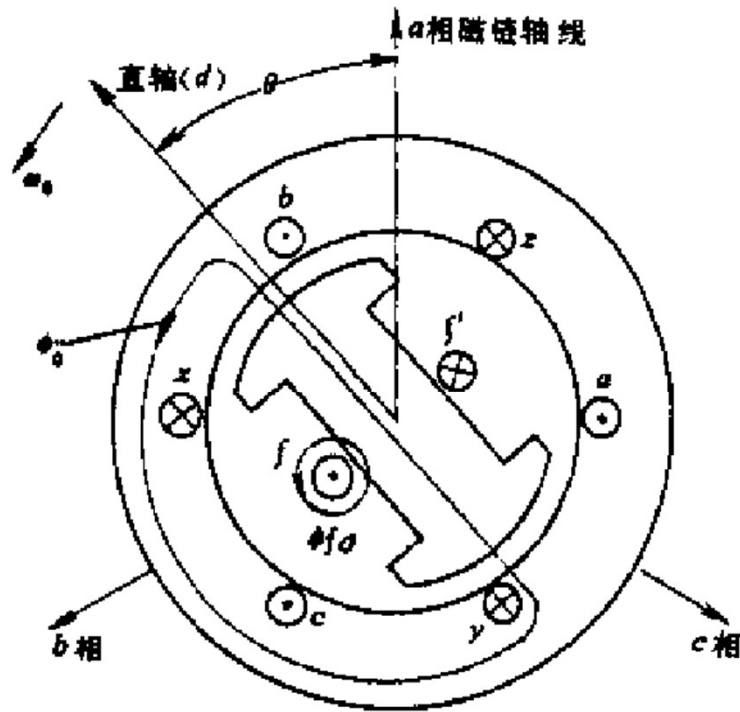
空载情况下的突然三相短路

- 定子短路电流分量
- 励磁回路电流分量
- 阻尼回路电流分量

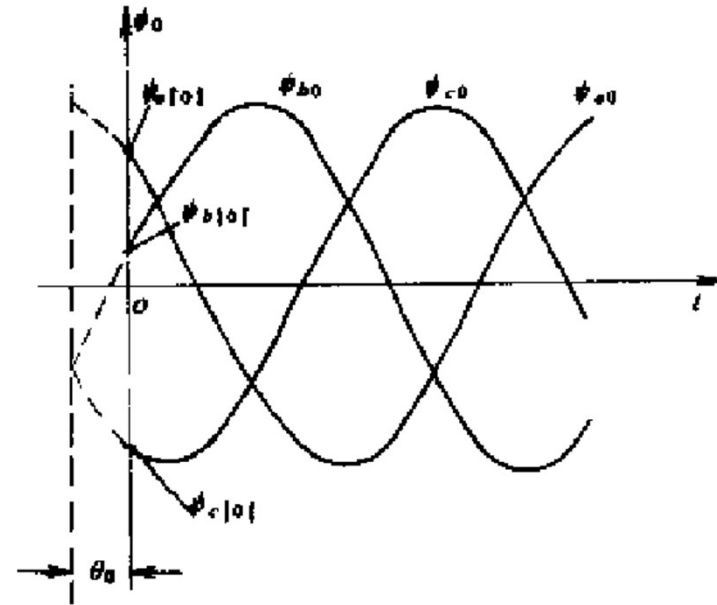
超导体闭合回路磁链守恒原理

- 没有电阻的闭合回路又称为超导体闭合回路。
- 没有电阻的闭合线圈的磁链永远等于突然短路一开始时它所交链的磁链 Ψ_0 。
- 如果这时外部有磁链企图与该超导体线圈相链，那么，线圈中就要产生一个电流分量，该电流分量产生的磁链始终与外来磁链的大小相等、方向相反，以使链着线圈的总磁链保持不变。

定子短路电流分量



主磁通的空间位置



主磁通交链三相磁链波形

短路前，由于转子磁场旋转，形成的定子所匝绕的磁链是交变的，记为 Ψ_{a0} ， Ψ_{b0} ， Ψ_{c0} (P5页)；

$$\Psi_{a0} = \Psi_0 \cos \theta$$

$$\Psi_{b0} = \Psi_0 \cos(\theta - 120^\circ)$$

$$\Psi_{c0} = \Psi_0 \cos(\theta + 120^\circ)$$

定子短路电流分量

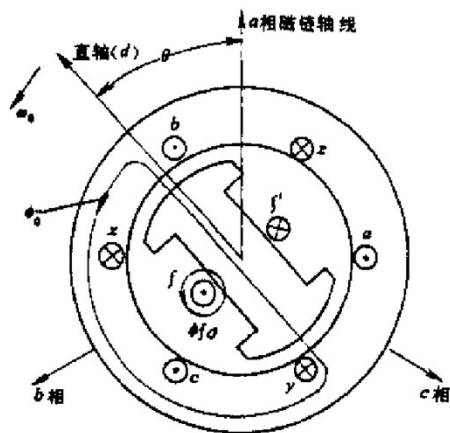
短路前，由于转子磁场旋转，形成的定子所匝绕的磁链是交变的，记为 Ψ_{a0} ， Ψ_{b0} ， Ψ_{c0} (P5页)；

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{a0} &= \Psi_0 \cos \theta \\ \Psi_{b0} &= \Psi_0 \cos(\theta - 120^\circ) \\ \Psi_{c0} &= \Psi_0 \cos(\theta + 120^\circ) \end{aligned} \right\}$$

短路瞬间，假设直轴与a轴的夹角为 θ_0 ，那么此刻定子所匝绕的磁链记为 $\Psi_{a|0|}$ ， $\Psi_{b|0|}$ ， $\Psi_{c|0|}$
(这是关键，因为磁链将保持在该值不变)；

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{a|0|} &= \Psi_0 \cos \theta_0 \\ \Psi_{b|0|} &= \Psi_0 \cos(\theta_0 - 120^\circ) \\ \Psi_{c|0|} &= \Psi_0 \cos(\theta_0 + 120^\circ) \end{aligned} \right\}$$

短路后，转子磁场继续旋转，



$$\left. \begin{aligned} \Psi_{a0} &= \Psi_0 \cos \theta \\ \Psi_{b0} &= \Psi_0 \cos(\theta - 120^\circ) \\ \Psi_{c0} &= \Psi_0 \cos(\theta + 120^\circ) \end{aligned} \right\}$$

所以定子绕组中感应出磁链，记为 Ψ_{ai} ， Ψ_{bi} ， Ψ_{ci} ；

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{ai} + \Psi_{a0} &= \Psi_{a|0|} \\ \Psi_{bi} + \Psi_{b0} &= \Psi_{b|0|} \\ \Psi_{ci} + \Psi_{c0} &= \Psi_{c|0|} \end{aligned} \right\}$$

定子短路电流分量

所以定子绕组中感应出磁链，记为 Ψ_{ai} , Ψ_{bi} , Ψ_{ci} ；

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{ai} + \Psi_{a0} &= \Psi_{a|0|} \\ \Psi_{bi} + \Psi_{b0} &= \Psi_{b|0|} \\ \Psi_{ci} + \Psi_{c0} &= \Psi_{c|0|} \end{aligned} \right\}$$

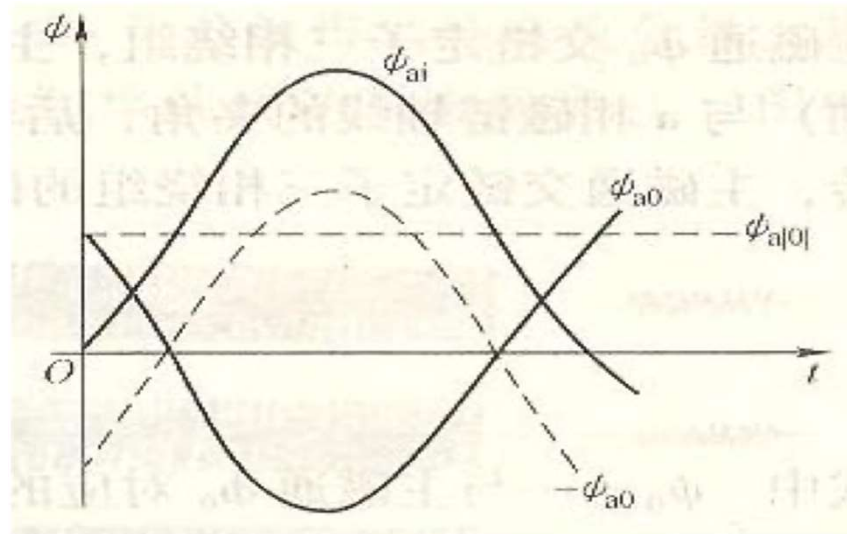
交流磁链 + 直流磁链



基频交流电流



直流电流 + 2倍频交流电流



三相直流电流在空间形成一个静止的磁势，而转子的旋转使这个磁势所扫过的磁路的磁阻不同，周期为180电角度，频率为基频的两倍。为了产生恒定的磁链，直流电流会出现二倍频分量。

