

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910072459.1

[51] Int. Cl.

G01R 31/06 (2006.01)

G01R 19/00 (2006.01)

G01R 31/34 (2006.01)

G01L 3/00 (2006.01)

[43] 公开日 2009 年 12 月 16 日

[11] 公开号 CN 101603997A

[22] 申请日 2009.7.3

[21] 申请号 200910072459.1

[71] 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

[72] 发明人 寇宝泉 刘奉海

[74] 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事务所

代理人 张宏威

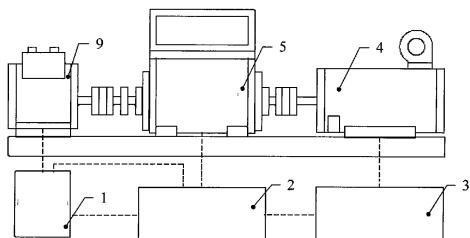
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称

同步电机参数测试方法及实现该方法的装置

[57] 摘要

同步电机参数测试方法及实现该方法的装置，涉及到电机测试领域。它解决了现有方法中存在的交、直轴电感参数的测试精度低、转矩系数测试方法复杂，以及对驱动器性能的依赖性较强的问题。本发明的方法为：给被测同步电机的三相绕组中的任意两相中通入单相交流电流  $\sqrt{2} I \sin \omega t$ ，采用外力拖动被测同步电机的转子匀速旋转一周以上，测量获得通电绕组两端的电压信号，根据所述电压信号获得被测同步电机的交轴和直轴电感分别为  $L_q$ 、 $L_d$ ；给被测同步电机的三相绕组中的任意两相中通入直流电流  $I_1$ ，采用外力拖动被测同步电机的转子匀速旋转一周以上，根据测量得到的最大转矩值  $T_{max1}$  计算获得被测同步电机的转矩系数  $K_T$ 。本发明适用于对同步电机参数的测试领域。



1、同步电机参数测试方法，其特征在于它的具体过程为：

测量获得被测同步电机绕组的交、直轴电感  $L_q$ 、 $L_d$ ，具体过程为：给被测同步电机的三相绕组中的任意两相中通入单相交流电流  $i = \sqrt{2}I \sin \omega t$ ，采用外力拖动被测同步电机的转子匀速旋转一周以上，在被测同步电机旋转过程中测量通电绕组两端的电压，并分解计算出测量电压的基波电压有效值，然后取出全部基波电压有效值中的最大值  $U_{\max 1}$ 、最小值  $U_{\min 1}$ ，则被测同步电机的交轴

$$\text{和直轴电感分别为 } L_q = \frac{\sqrt{(U_{\max 1}/I)^2 - (2R_{fa})^2}}{2\omega} \text{ 和 } L_d = \frac{\sqrt{(U_{\min 1}/I)^2 - (2R_{fa})^2}}{2\omega} \text{，其中， } R_{fa}$$

为电流频率为  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  时的每相绕组交流电阻， $R_{fa} = kR_{0a}$ ， $k$  为考虑集肤效应时

绕组电阻的增大系数， $k \geq 1$ ， $R_{0a}$  为被测同步电机的单相绕组直流电阻；

测量被测同步电机的转矩系数  $K_T$ ，具体过程为：给被测同步电机的三相绕组中的任意两相中通入直流电流  $I_1$ ，采用外力拖动被测同步电机的转子匀速旋转一周以上，在被测同步电机旋转过程中测量并获得最大转矩值  $T_{\max 1}$ ，则被

$$\text{测同步电机的转矩系数 } K_T = \frac{\sqrt{3}T_{\max 1}}{\sqrt{2}I_1}.$$

2、根据权利要求 1 所述的同步电机参数测试方法，其特征在于，在测量被测同步电机的交、直轴电感的过程中，所述旋转的转速低于 5 转/分钟；在测量被测同步电机的转矩系数  $K_T$  的过程中，所述旋转的转速低于 5 转/分钟。

3、根据权利要求 1 所述的同步电机参数测试方法，其特征在于，所述被测同步电机的每相绕组的直流电阻  $R_{0a}$  的测量过程为：给被测同步电机的三相绕组中的任意两相绕组通入直流电流  $I_{0a}$ ，采集获得通有直流电流的两相绕

$$\text{组两端的直流电压 } U_{0a} \text{，则被测同步电机的单相绕组直流电阻为： } R_{0a} = \frac{U_{0a}}{2I_{0a}}.$$

4、根据权利要求 1 所述的同步电机参数测试方法，其特征在于，它还包括测量被测同步电机的反电势系数  $K_E$  的步骤，具体过程为：采用外力拖动被测同步电机以转速  $n$  匀速旋转，在被测同步电机旋转过程中采集被测同步电机中的任意两相绕组两端的电动势基波的有效值  $E_0$ ，获得被测同步电机的反

$$\text{电势系数 } K_E = \frac{E_0}{\sqrt{3}n}.$$

5、根据权利要求 1 或 4 所述的同步电机参数测试方法，其特征在于所述外力采用伺服电机实现，即：采用伺服电机拖动被测电机的转子旋转。

6、用于实现权利要求 1 至 4 任一权利要求所述的同步电机参数测试方法的装置，其特征在于所述装置由电机驱动器（1）、数据采集及控制器（2）、伺服驱动器（3）、加载电机（4）、转矩/转速传感器（5）、电流传感器、电压传感器、交流可编程电源和被测同步电机（9）组成，电机驱动器（1）用于在数据采集及控制器（2）的控制下发送驱动信号给被测同步电机（9），还用于将所述驱动信号的参数发送给数据采集及控制器（2）；所述数据采集及控制器（2）用于采集转矩/转速传感器（5）发送的转矩和转速信号、电流传感器发送的电流信号和电压传感器发送的电压信号，还用于发送控制信号给伺服驱动器（3）；伺服驱动器（3）用于在数据采集及控制器（2）的控制下发送驱动信号给加载电机（4）；加载电机（4）用于拖动被测同步电机（9）旋转；转矩/转速传感器（5）用于测量被测同步电机（9）的转速和转矩；交流可编程电源用于在数据采集及控制器（2）的控制下给被测同步电机（9）的绕组通入电流；电流传感器用于测量被测同步电机（9）中绕组中的电流值；电压传感器用于测量被测同步电机（9）中绕组两端的电压值。

7、根据权利要求 6 所述的同步电机参数测试装置，其特征在于，所述加载电机（4）的额定转矩大于被测同步电机（9）的额定转矩；加载电机（4）的最高转速高于被测同步电机（9）的额定转速。

8、根据权利要求 6 所述的同步电机参数测试装置，其特征在于，所述交流可编程电源的最大输出电流大于被测同步电机（9）的额定电流。

9、根据权利要求 6 所述的同步电机参数测试装置，其特征在于，被测同步电机（9）的三相绕组为星形连接。

10、根据权利要求 6 所述的同步电机参数测试装置，其特征在于，所述加载电机（4）为伺服电机。

## 同步电机参数测试方法及实现该方法的装置

### 技术领域

本发明涉及电机测试技术领域，具体涉及到同步电机参数的测试技术。

### 背景技术

同步电机参数的准确程度对于电机特性及性能的计算精度、数学模型的准确度、运动控制系统的控制性能具有十分重要的影响。在同步电机参数中，绕组电阻通常可以利用LCR表、电桥法等方法简单地测得；反电势系数可以利用其它电动机拖动被测电机旋转，测其绕组两端的空载电动势与电机转速，然后通过计算来获得；转矩系数的测量过程通常是：采用驱动器来驱动被测电机，通过测功机给被测电机加载，利用转矩传感器测得电机的输出转矩，利用电流传感器测得电机的绕组电流，进而计算出转矩系数；在同步电机参数中最难测量的就是交、直轴电感，在电机学教材中，通常是采用转差频率法来测量同步电机的不饱和值，但是其饱和值却很难测量。

上述同步电机参数的测试方法主要问题在于：交、直轴电感参数的测试精度低；转矩系数的测试方法复杂，且测试精度低，对驱动器性能的依赖性强；不能用一套测试装置同时测得各个参数。

### 发明内容

为了解决现有同步电机参数的测试方法中存在的交直轴电感参数的测试精度低、转矩系数测试方法复杂，以及对驱动器性能的依赖性强、不能够同时测量获得各个参数的问题，本发明提出一种同步电机参数测试方法及实现该方法的装置。

本发明的同步电机参数测试方法的具体过程为：

测量获得被测同步电机绕组的交、直轴电感  $L_q$ 、 $L_d$ ，具体过程为：给被测同步电机的三相绕组中的任意两相中通入单相交流电流  $i=\sqrt{2}I \sin \omega t$ ，采用外力拖动被测同步电机的转子匀速旋转一周以上，在被测同步电机旋转过程中测量通电绕组两端的电压，并分解计算出测量电压的基波电压有效值，然后取出全部基波电压有效值中的最大值  $U_{\max 1}$ 、最小值  $U_{\min 1}$ ，则被测同步电机的交轴

和直轴电感分别为  $L_q = \frac{\sqrt{(U_{\max 1}/I)^2 - (2R_{fa})^2}}{2\omega}$  和  $L_d = \frac{\sqrt{(U_{\min 1}/I)^2 - (2R_{fa})^2}}{2\omega}$ ，其中，  $R_{fa}$

为电流频率为  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  时的每相绕组交流电阻， $R_{fa} = kR_{0a}$ ， $k$  为考虑集肤效应时绕组电阻的增大系数， $k \geq 1$ ， $R_{0a}$  为被测同步电机的单相绕组直流电阻；

测量被测同步电机的转矩系数  $K_T$ ，具体过程为：给被测同步电机的三相绕组中的任意两相中通入直流电流  $I_1$ ，采用外力拖动被测同步电机的转子匀速旋转一周以上，在被测同步电机旋转过程中测量并获得最大转矩值  $T_{max1}$ ，则被测同步电机的转矩系数  $K_T = \frac{\sqrt{3}T_{max1}}{\sqrt{2}I_1}$ 。

用于实现上述同步电机参数测试方法的装置，由电机驱动器、数据采集及控制器、伺服驱动器、加载电机、转矩/转速传感器、电流传感器、电压传感器、交流可编程电源和被测同步电机组成，电机驱动器用于在数据采集及控制器的控制下发送驱动信号给被测同步电机，还用于将所述驱动信号的参数发送给数据采集及控制器；所述数据采集及控制器用于采集转矩/转速传感器发送的转矩和转速信号、电流传感器发送的电流信号和电压传感器发送的电压信号，还用于发送控制信号给伺服驱动器；伺服驱动器用于在数据采集及控制器的控制下发送驱动信号给加载电机；加载电机用于拖动被测同步电机旋转；转矩/转速传感器用于测量被测同步电机的转速和转矩；交流可编程电源用于在数据采集及控制器的控制下给被测同步电机的绕组通入电流；电流传感器用于测量被测同步电机中绕组中的电流值；电压传感器用于测量被测同步电机中绕组两端的电压值。

本发明的测试方法及装置，能够精确测量获得同步电机的绕组电阻、绕组电感、反电势系数、转矩系数等电机参数，并且系统结构简单、操作方便，尤其是在测量永磁同步电机的绕组电感与转矩系数时，能够有效避免电机定位转矩对测量结果的影响，能够大大提高测量精度。

### 附图说明

图 1 是本发明所述的同步电机参数测试装置的结构示意图。图 2 是具体实施方式一中，测量被测同步电机绕组的交、直轴电感  $L_q$ 、 $L_d$  的过程中，所述电机绕组通电示意图。图 3 是具体实施方式二所述的在测量被测同步电机的每相绕组的直流电阻  $R_{0a}$  的过程中，所述电机绕组通电示意图。图 4 是具体实施方式三所述的在测量被测同步电机的反电势系数  $K_E$  的过程中，电动势基波的

有效值  $E_0$  的测量位置示意图。

### 具体实施方式

具体实施方式一：本实施方式所述的同步电机参数测试方法的过程为：

测量获得被测同步电机绕组的交、直轴电感  $L_q$ 、 $L_d$ ，具体过程为：给被测同步电机的三相绕组中的任意两相中通入单相交流电流  $i=\sqrt{2}I\sin\omega t$ ，采用外力拖动被测同步电机的转子匀速旋转一周以上，在被测同步电机旋转过程中测量通电绕组两端的电压  $u$ ，并分解计算出测量电压的基波电压有效值，然后取出全部基波电压有效值中的最大值  $U_{\max 1}$ 、最小值  $U_{\min 1}$ ，则被测同步电机的交

$$\text{轴和直轴电感分别为 } L_q = \frac{\sqrt{(U_{\max 1}/I)^2 - (2R_{fa})^2}}{2\omega} \text{ 和 } L_d = \frac{\sqrt{(U_{\min 1}/I)^2 - (2R_{fa})^2}}{2\omega}, \text{ 其中,}$$

$R_{fa}$  为电流频率为  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  时的每相绕组交流电阻， $R_{fa} = kR_{0a}$ ， $k$  为考虑集肤效应

时绕组电阻的增大系数， $k \geq 1$ ， $R_{0a}$  为被测同步电机的单相绕组直流电阻；

测量被测同步电机的转矩系数  $K_T$ ，具体过程为：给被测同步电机的三相绕组中的任意两相中通入直流电流  $I_1$ ，采用外力拖动被测同步电机的转子匀速旋转一周以上，在被测同步电机旋转过程中测量并获得最大转矩值  $T_{\max 1}$ ，则被

$$\text{测同步电机的转矩系数 } K_T = \frac{\sqrt{3}T_{\max 1}}{\sqrt{2}I_1}.$$

在测量被测同步电机的交、直轴电感的过程中，所述旋转的转速低于 5 转/分钟。

在测量被测同步电机的转矩系数  $K_T$  的过程中，所述旋转的转速低于 5 转/分钟。

本实施方式获得的两个电感值分别既可以为交轴电感，也可以为直轴电感，具体情况需要根据被测电机的转子结构来确定。

本实施方式中所述的被测同步电机的三相绕组为星形连接，参见图 2 所示，在被测同步电机的三相绕组中的任意两相中通入的单相交流电流  $i=\sqrt{2}I\sin\omega t$ ，即：所述单相交流电流  $i$  从三相绕组的 B 端输入、C 端输出，然后测量 B 端和 C 端两个端点之间的电压  $u$ 。

本实施方式在测量被测同步电机的转矩系数  $K_T$  的过程中，在三相绕组中的任意两相中通入直流电流  $I_1$ ，同理是指所述直流电流  $I_1$  在 B 端输入、C 输出。

当所述绕组为角形连接时，本领域技术人员根据测试参数时的等效电路结构，也能够计算获得被测同步电机绕组的交、直轴电感  $L_q$ 、 $L_d$  和转矩系数  $K_T$ 。

本实施方式所述的同步电机参数测试方法能够同时测量获得被测同步电机的交、直轴电感和转矩系数，并且具有测量方法简单，测量用电机驱动器的性能对测量结果影响小，测量精度高的优点。

具体实施方式二：本实施方式所述的同步电机参数测试方法，是在具体实施方式一所述的测试方法的基础之上，增加了测量被测同步电机的每相绕组的直流电阻  $R_{0a}$  的步骤，具体过程为：给被测同步电机的三相绕组中的任意两相绕组通入直流电流  $I_{0a}$ ，采集获得通有直流电流的两相绕组两端的直流电压

$$U_{0a} \text{，则被测同步电机的单相绕组直流电阻为： } R_{0a} = \frac{U_{0a}}{2I_{0a}}。$$

本实施方式所述的在任意两相绕组通入直流电流  $I_{0a}$ ，参见图 3 所示，是指所述直流电流  $I_{0a}$  从三相绕组的 B 端输入、C 端输出，然后测量 B 端和 C 端两个端点之间的直流电压  $U_{0a}$ 。

具体实施方式三：本实施方式所述的同步电机参数测试方法，是在具体实施方式一所述的测试方法的基础之上，增加了测量被测同步电机的反电势系数  $K_E$  的步骤，具体过程为：采用外力拖动被测同步电机以转速 n 匀速旋转，在被测同步电机旋转过程中采集被测同步电机中的任意两相绕组两端的电动势基波的有效值  $E_0$ ，获得被测同步电机的反电势系数

$$K_E = \frac{E_0}{\sqrt{3}n}。$$

本实施方式所述的任意两相绕组两端的电动势，参见图 4 所示，是指两相绕组两端的电动势，即：B 端和 C 端之间的电动势。

在具体实施方式一或三中所述的外力可以采用伺服电机实现，即：采用伺服电机拖动被测电机的转子旋转。伺服电机具有转速控制精度高的优点，能够达到精确的控制被测电机的转速的目的，确保了测量结果的精度。

具体实施方式四：用于实现具体实施方式一所述的同步电机参数测试方法的装置，由电机驱动器 1、数据采集及控制器 2、伺服驱动器 3、加载电机 4、转矩/转速传感器 5、电流传感器、电压传感器、交流可编程电源和被测同步电机 9 组成，电机驱动器 1 用于在数据采集及控制器 2 的控制下发送驱动信号给被测同步电机 9，还用于将所述驱动信号的参数发送给数据采集及控制器 2；

所述数据采集及控制器 2 用于采集转矩/转速传感器 5 发送的转矩和转速信号、电流传感器发送的电流信号和电压传感器发送的电压信号, 还用于发送控制信号给伺服驱动器 3; 伺服驱动器 3 用于在数据采集及控制器 2 的控制下发送驱动信号给加载电机 4; 加载电机 4 用于拖动被测同步电机 9 旋转; 转矩/转速传感器 5 用于测量被测同步电机 9 的转速和转矩; 交流可编程电源用于在数据采集及控制器 2 的控制下给被测同步电机 9 的绕组通入电流; 电流传感器用于测量被测同步电机 9 中绕组中的电流值; 电压传感器用于测量被测同步电机 9 中绕组两端的电压值。

采用本实施方式所述的装置测试同步电机参数的过程为:

测量获得被测同步电机 9 绕组的交、直轴电感  $L_q$ 、 $L_d$  的具体过程为: 通过数据采集及控制器 2 控制电机驱动器 1 给被测同步电机 9 的三相绕组的任意两相中通入的单相交流电流  $\sqrt{2}I \sin \omega t$ , 通过数据采集及控制器 2 控制伺服驱动器 3 驱动加载电机 4 拖动被测同步电机 9 匀速旋转一周以上, 通过电压传感器获得被测同步电机 9 旋转过程中通电绕组两端的电压信号, 然后分解计算出所述电压信号的基波电压有效值, 并取出全部基波电压有效值中的最大值  $U_{\max 1}$ 、最小值  $U_{\min 1}$ , 获得被测同步电机 9 的交轴和直轴电感分别为

$$L_q = \frac{\sqrt{(U_{\max 1}/I)^2 - (2R_{fa})^2}}{2\omega} \text{ 和 } L_d = \frac{\sqrt{(U_{\min 1}/I)^2 - (2R_{fa})^2}}{2\omega}, \text{ 其中, } R_{fa} \text{ 为电流频率为 } f = \frac{\omega}{2\pi}$$

时的每相绕组交流电阻,  $R_{fa} = kR_{0a}$ ,  $k$  为考虑集肤效应时绕组电阻的增大系数,  $k \geq 1$ 。

在测量被测同步电机 9 的交、直轴电感的过程中, 所述旋转的转速低于 5 转/分钟。

测量被测同步电机 9 的转矩系数  $K_T$  的具体过程为: 通过数据采集及控制器 2 控制交流可编程电源给被测同步电机 9 的三相绕组中的任意两相中通入直流电流  $I_1$ , 再通过数据采集及控制器 2 控制伺服驱动器 3 驱动加载电机 4 拖动被测同步电机 9 匀速旋转一周以上, 在被测同步电机 9 旋转过程中, 通过转矩/转速传感器 5 测量并获得最大转矩值  $T_{\max 1}$ , 被测同步电机 9 的转矩系数

$$K_T = \frac{\sqrt{3}T_{\max 1}}{\sqrt{2}I_1}.$$

在测量被测同步电机 9 的转矩系数  $K_T$  的过程中, 所述旋转的转速低于 5

转/分钟。

本实施方式获得的两个电感值分别既可以为交轴电感，也可以为直轴电感，具体情况需要根据被测电机的转子结构来确定。

测量被测同步电机 9 的每相绕组的直流电阻  $R_{0a}$  的过程为：通过数据采集及控制器 2 控制交流可编程电源给被测同步电机 9 的三相绕组中的任意两相绕组通入直流电流  $I_{0a}$ ，通过电压传感器采集获得通有直流电流的两相绕组两端的直流电压  $U_{0a}$ ，被测同步电机 9 的单相绕组直流电阻为： $R_{0a} = \frac{U_{0a}}{2I_{0a}}$ 。

测量电机的反电势系数  $K_E$  的过程为：通过数据采集及控制器 2 控制伺服驱动器 3 驱动加载电机 4 拖动被测同步电机 9 以转速  $n$  匀速旋转，在被测同步电机 9 旋转过程中，通过电压传感器采集获得被测同步电机 9 中的任意两相绕组两端的电动势基波的有效值  $E_0$ ，进而获得被测同步电机 9 的反电势系数

$$K_E = \frac{E_0}{\sqrt{3}n}.$$

本实施方式所述的同步电机参数测试装置能够根据需要同时测量获得被测同步电机 9 的交、直轴电感和转矩系数等参数，具有装置结构简单、测量方法简单，测量用电机驱动器的性能对测量结果影响小，测量精度高的优点。

本实施方式所述的装置中，加载电机 4 的额定转矩大于被测同步电机 9 的额定转矩；加载电机 4 的最高转速高于被测同步电机 9 的额定转速。交流可编程电源的最大输出电流大于被测同步电机 9 的额定电流；被测同步电机 9 的转子上没有阻尼绕组；被测同步电机 9 的三相绕组为星形连接。

本实施方式中的加载电机 4 选用伺服电机。伺服电机具有转速控制精度高的优点，能够达到精确的控制被测电机的转速的目的，确保了测量结果的精度。

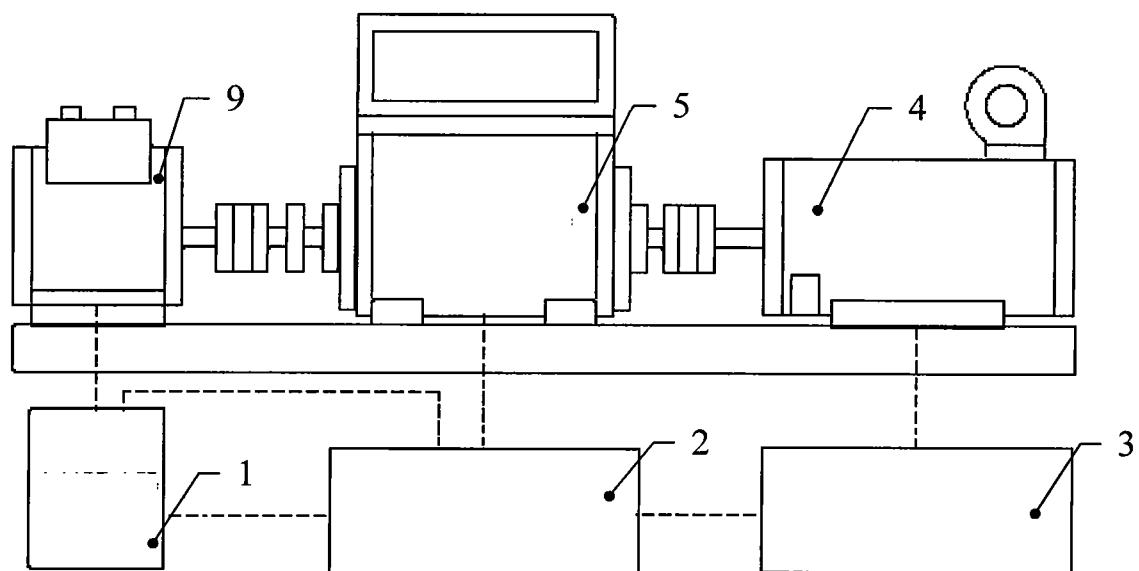


图 1

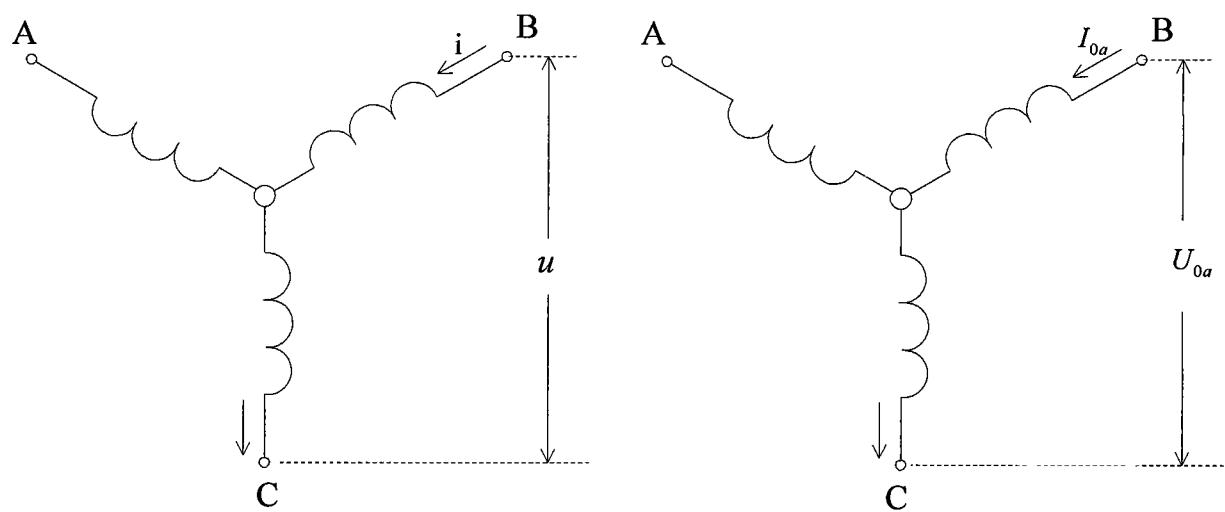


图 2

图 3

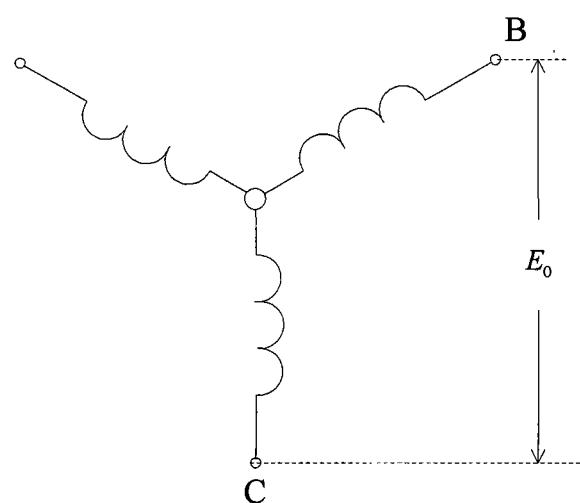


图 4