

# 探究变压器内阻对其工作参数的影响

王语馨 严轶飞 刘念珩 张少鹤

## 一、实验背景与实验目的

变压器是以电磁感应中互感现象为基础，改变交流电压的装置，在电器设备和无线电路中，常用作升降电压，匹配阻抗，安全隔离等。它的主要构件有初级线圈、次级线圈以及铁芯。变压器升压、降压的功能使其在生活中得到了广泛的应用。

作为电磁感应现象在生活中最常见的应用，中学课本中介绍了交流变压器的理想模型。当忽略变压器的漏磁、铁损和铜损之后，我们能够得到简洁的关于变压器输入输出端的电流、电压关系的公式；在这个阶段的理论分析中，理想变压器的模型让我们很好地了解其工作模式。然而，实际生活中的变压器通常并不能用这个模型来分析。在大型电力变压器中，非理想情况下变压器的工作方式与带来的损耗是设计变压器时需要考虑的重要问题。（在实际电路设计中会将主要的不理想的因素加入到模型中进行计算，来设计并确定原件的合适参数。）由于铁芯与绕组的输入阻抗，变压器的转换效率通常不是100%（小型电力变压器的实际转换效率高的约为80%左右），这造成转换中电能的损失；并且，变压器两端的功率因数也不全为一，在输电电路中，功率因数过小将会导致输电线热损耗的升高，发电机容量的浪费。这些因素使得实际变压器的工作参数与理想变压器的有一定出入。

鉴于以上种种事实，限于中学的知识面，想通过实验测量一下一个非理想变压器的转换效率、功率因数随负载变化的规律，并尝试用不太复杂的理论对这一变化规律进行解释，这样可以对实际变压器的工作模式有更深入的了解。

## 二、实验具体操作

### 1. 实验器材

读出示波器(SS-7802A型)、信号源(DG 2041A型)、万用表(UT58A型数字万用表)、定值电阻(阻值已知)、变压器、电阻箱、导线。

### 2. 实验步骤

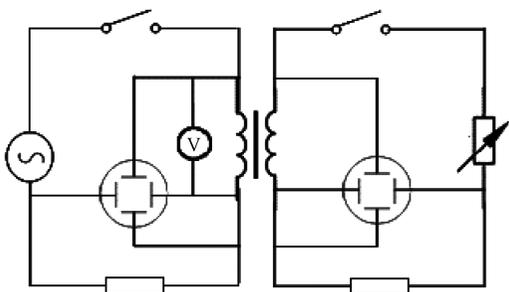
(1) 按照电路图连接好电路；

(2) 调整电路的各项参数，使电路能够正常工作；

(3) 闭合开关，用万用表交流电压档监测，调整信号源的电压，使输入电压保持定值；

(4) 分别记录下输入、输出端两个示波器各自的两个频道电压的峰峰值，以及输入端两个频道电压的相位差；

(5) 断开开关，改变电阻箱的阻值，对于每个不同阻值，重复步骤3、4。



### 3. 注意事项

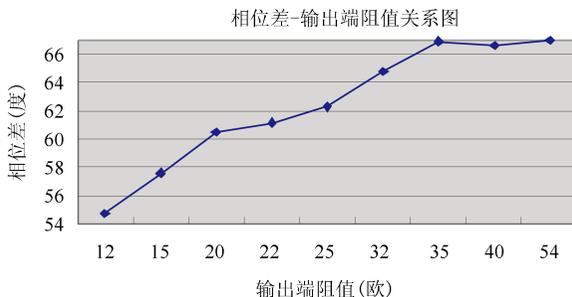
使用读出示波器主要是为了测量相位，如果只需要测量转换效率的话使用传感器、万用电表交流电压档也可以。

信号源的输出电压和频率、变压比的选择要考虑到电阻箱和定值电阻的最大电流限制，以免损坏元件；同时也不能让电流太小，以免示波器读数的相对误差太大。

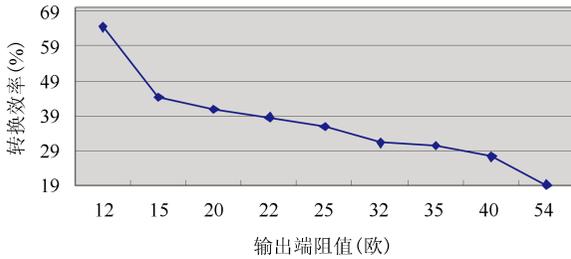
## 三、进一步讨论

### 1. 实验结果

我们进行了多次实验，下图给出其中一次的结果作为例子：



转换效率-输出端阻值关系图



(频率 100Hz, 阻值范围 10~60 欧)

我们经过多次实验得出：相位差与输出端阻值正相关，且当阻值趋于无穷时相位差趋于一个有限值，转换效率则随阻值反相关（由上图也可得出类似结论）。

### 2. 理论解释

若  $\dot{E}_{1,2}$ 、 $\dot{U}_{1,2}$ 、 $\dot{I}_{1,2}$  分别为原副线圈的感生电动势、输入输出端电压、输入输出端电流的复有效值， $R_{1,2}$ 、 $N_{1,2}$  分别为原副线圈的总阻抗、匝数， $r$  为输出端电阻，又令  $\frac{N_2}{N_1} = n$ ， $\frac{\omega N_1^2}{R_m} = R_0$ ，其中  $\omega$ 、 $R_m$  分别为交流电频率、变压器铁心磁路的磁阻，则可以得出，

$$\begin{cases} \dot{E}_1 = -j\omega N_1 \dot{\Phi} = -\dot{E}_0 + \dot{I}_1 R_1 \\ \dot{E}_2 = -j\omega N_2 \dot{\Phi} = \dot{I}_2 r + \dot{I}_2 R_2 \end{cases}$$

又由磁路定理有： $\dot{\Phi} = \frac{N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2}{R_m}$ ，代入上式

解得：

$$\begin{cases} \eta = \frac{1}{1 + \frac{2R_1 R_2}{n^2 R_0^2} + \frac{R_1}{n^2 R_0^2} r + \frac{1}{r} \left( n^2 R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2^2}{n^2 R_0^2} \right)} \\ \varphi_1 = \arctan \frac{1}{\frac{R_1}{R_0} + \frac{n^4 R_0 R_1}{(R_2 + r)^2} + n^2 \frac{R_0}{R_2 + r}} \end{cases}$$

在  $r$  增大的过程中，转换效率  $\eta$  在  $r$  较大时随  $r$  增大而减小（ $r$  较小时随  $r$  增大而增大），相位差  $\varphi_1$  随  $r$  增大而增大且最终趋于一个有限值，两者的变化规律与实验可以很好地吻合，同时也印证了实验数据的可信度。

### 3. 收获与启示

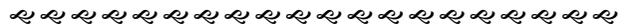
首先，本实验告诉我们：在实际应用中变压器内阻带来的影响是不可忽略的，它的存在使得转换

效率和功率因数与理想模型的结果有一定差距。这也启示我们，如果参数设计的合适，将变压器性能的提高并非不可能。

其次，自己设计一个实验，付诸实施并对数据进行处理分析，听起来并不困难，但其需要的努力与带来的益处远比我们想象的要大。在过程中需要针对一个特定的问题来设计实验，发现实验的缺陷并不断改进；对我们来说，重要的不只是实验过程与操作，更是思维过程的体现，因而也能让我们学到许多实验之外的东西。同时，我们也尝试了针对实验事实进行的、对现有模型的修正工作，并得到了一定结果。

最后，关于变压器，还有许多问题我们没有涉及，比如变压器工作参数随频率、输出端感抗（容抗）、原副线圈匝数比变化而变化的规律，等等。对这些问题，同样也可以采取我们的方法进行探究，从而对实际生活中的变压器甚至其他的元件有更好的了解。通过这样的方式，我们可以从高中物理的内容中发掘出更多有意思、有价值的内容，这同样是我们的实验所带来的启示。

(北京市十一学校 100039)

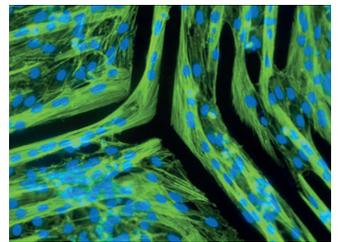


## 科苑快讯

### 硅胶水母

制造一个真正的生物似乎还是十分遥远的事情，然而哈

佛大学的帕克（Kevin Kit Parker）、加州理工学院的达比里（John Dabiri）和同仁们却进行了类似尝试，构造出一个硅胶水母（如图）。



在测绘水母的肌肉结构、了解其迅速收缩和缓慢放开的进食及移动动作之后，研究者制作了一个模具。模具上种植来自小鼠的心肌细胞，外面再覆盖硅胶聚合物。剥离部分硅胶，就分离出小鼠心肌“水母”。在水中，它会随着电脉冲，像一个真正的水母一样游泳。这项研究开创了合成肌肉泵和“生物”之路，该技术将会用于实验药品和执行机械作业。

(高凌云编译自 2012 年 9 月 27 日《欧洲核子中心快报》)