



利用 Multisim 软件攻克变压器电路中 变阻器引起的功率难题*

——以 2020 年福建省高三质检理综第 16 题为例

郑俊汉 陈新光

(福建师范大学附属中学 福建 福州 350007)

陈悦华

(福建师范大学物理与能源学院 福建 福州 350108)

(收稿日期:2020-04-03)

摘要:鲁科版教材高中《物理·选修3-2》第五章交变电流中,含有理想变压器的电路通过滑动变阻器调节引起电路中各个仪器电功率的变化是高中教学以及高三复习中的一个难点.本文以一道高三质检题目为例,介绍 Multisim 仿真软件用于解决变压器电路中含有滑动变阻器的电功率问题的教学应用,实验操作简便,数据直观,结论对比明显,结合理论拓展分析,有助于学生对这一难点的理解和突破.

关键词:变压器 滑动变阻器 电功率 仿真模拟

电功率是高中物理电学中重要的物理概念之一,也是高考常考的热点之一.含有理想变压器电路中的功率问题是高中物理的教学难点,若在电路中再加入滑动变阻器的调节更是让学生难以掌握.多数课堂采用公式推导的方法讲解,这对学生的数学能力要求颇高;若想通过搭建实验平台来实现现场演示,这种方法又存在电路不直观、实验误差大、实验仪器往往不能满足题目要求等局限性.特别体现在变压器电路中出现滑动变阻器的调节问题,实验难度更大.诸多教学一线教师一直在探寻一种现场演示效果理想、满足各种变压器题型要求、实验结果较为准确明显的实验方法.

本文介绍的 Multisim 是美国国家仪器公司研发的一款仿真软件^[1],是电子电路设计工程师必备的工具.该仿真软件具有界面清晰,仿真仪器种类丰富,操作简单等优点,恰好能满足中学课堂的各种电学实验电路教学与仿真需求.鉴于以上分析,本文借

助 Multisim 仿真软件重点解决在变压器电路中含有滑动变阻器引起的有关功率的问题,旨在能实现更直观地帮助学生理解、提升物理水平的目的.

1 原题呈现

【题目】(2020 届福建省高三毕业班质量检测测试理综第 16 题部分改动)图 1 为探究变压器电压与匝数关系的电路图.已知原线圈匝数为 400 匝,副线圈“1”接线柱匝数为 800 匝,“2”接线柱匝数为 200 匝, ab 端输入的正弦交变电压恒为 U ,电压表 V_1 和 V_2 的示数分别用 U_1 和 U_2 表示,滑片 P 置于滑动变阻器中点,则开关 S ()

- A. 打在“1”时, $U_1 > \frac{1}{2}U$
- B. 打在“1”时, $U_1 : U_2 = 2 : 1$
- C. 打在“2”与打在“1”相比,灯泡 L 可能更暗
- D. 打在“2”与打在“1”相比, ab 端输入功率更

* 福建省教学科学“十三五”规划 2019 年度立项课题“基于学业质量水平的物理实验拓展研究”的研究成果,课题编号:FJJKXB19-864;福建省基础教育课程教学研究立项课题“基于高中物理学业质量水平的教学与评价研究”的研究成果,课题编号:MJYKT2019-001

通讯作者:陈悦华(1982-),女,中级实验师,主要从事大学物理实验教学与研究.

大

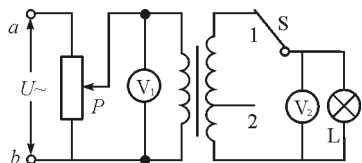


图 1 探究变压器与匝数关系电路图

2 试题分析

本题意在考查学生能运用变压器及电路分析等相关知识,要求学生掌握电路分析及变压器输入功率与输出功率的关系.在电路中,变压器与滑动变阻器后半部分并联,由串并联电路的特点可知并联电路的总电阻一定比滑动变阻器并联部分阻值的一半还小,根据串联电路电压的分配可知,选项 A 错误. U_1 和 U_2 是理想变压器原、副线圈两端的电压,原、副线圈匝数为 400 匝与 800 匝,则原、副线圈两端的电压比为 $U_1 : U_2 = 1 : 2$,选项 B 错误.选项 A 和 B 对于高三学生来说,比较容易通过分析得出结论.而选项 C 和 D 是关于电功率的分析判断,开关 S 从“2”打到“1”,变压器从降压变压器变为升压变压器,如果 U_2 变大,那么通过灯泡 L 的电流变大,根据变压器的电流关系可知,通过滑动变阻器的电流也变大,那么滑动变阻器在干路部分的电压就变大,由于电源电压不变,那么 U_1 就变小了.经过分析发现,简单认为开关 S 从“2”打到“1”, U_1 变大的假设不一定正确.学生在判断上颇有难度.本题需要借助等效电路的方法能得到正确答案为选项 C,详见下文分析.

3 Multisim 仿真模拟

本题的 Multisim 仿真模拟电路图如图 2 和图 3 所示.模拟中设置电源电压为 100 V 的交变电源,滑动变阻器的最大阻值为 10 Ω ,根据题目要求设置变压器的匝数比分别为 400 : 800 和 400 : 200,灯泡采用定值电阻替代,分别取阻值为 1 Ω 和 10 Ω .两个万用表分别测量原线圈电压和副线圈的电压,用瓦特计来测量 R 的功率和电源的总功率.测试结果如表 1 所示.从表 1 可以看出,电压 U_1 明显小于 50 V,即选项 A 错误.当变压器匝数比为 400 : 800 时,变压器两端的电压 $U_1 : U_2$ 始终等于 1 : 2,满足理想变压

器的匝数比等于电压比的关系,选项 B 错误.选项 C 和 D 不易直接得出答案.从仿真的结果来看,不管负载 R 取多少,开关 S 从“2”打到“1”,电源的总功率都是变小,选项 D 错误;选项 C 的判断有点难度,但是从表格的模拟结果来看,R 取 10 Ω 时,开关打到“1”时,负载功率较大,相反,R 取 1 Ω 时,开关打到“1”时负载功率较小,从而判断负载电阻的功率大小与阻值有关,即选项 C 正确.因此,在讲评过程或者平时的教学过程中,结合 Multisim 仿真软件,能按照题目要求画出电路图,测出各个物理量,实现数据直观,对比明显,学生更容易理解.

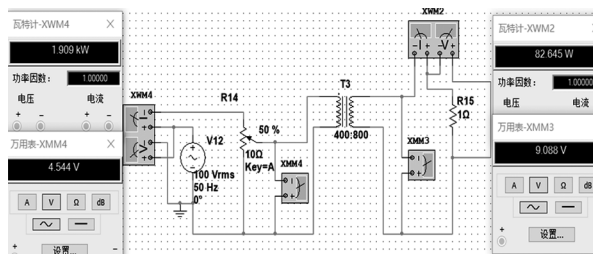


图 2 变压器匝数比为 400 : 800 模拟电路图

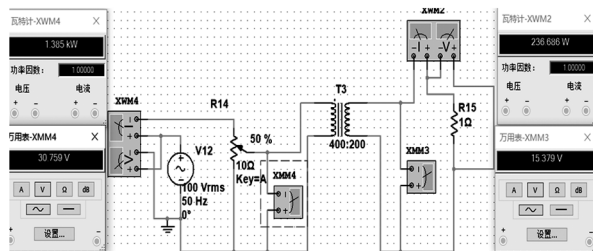


图 3 变压器匝数比为 400 : 200 模拟电路图

表 1 Multisim 仿真模拟结果比较

电源	变压器匝数比	物理量	R = 1 Ω	R = 10 Ω
100 V (有效值)	400 : 800	V ₁ 示数 / V	4.544	24.992
		V ₂ 示数 / V	9.088	49.984
		ab 两端功率 / kW	1.909	1.500
	400 : 200	R 的功率 / W	82.645	250.000
		V ₁ 示数 / V	30.760	47.044
		V ₂ 示数 / V	15.380	23.522
		ab 两端功率 / kW	1.385	1.059
		R 的功率 / W	236.686	55.360

4 理论拓展

为了进一步研究整个电路的功率变化特点,笔者进一步拓展理论分析,等效电路如图 4 所示.其

中,模型中的滑动变阻器分成两个等大的 r , 即 $r = \frac{1}{2} R_P = 5 \Omega$, 其中干路的 r 当成电源内阻, 另外一个 r 与等效电阻 R' 并联. 根据变压器原、副线圈的电阻关系可知, 变压器原、副线圈匝数比为 $400 : 800$ 和 $400 : 200$ 的等效电阻分别为 $R'_1 = \frac{1}{4} R$ 和 $R'_2 = 4R$, 即开关从打到“1”到打到“2”, 等效电阻的变化为 $R'_1 = \frac{1}{4} R$ 变成了 $R'_2 = 4R$, 等效电阻 R' 变大, 进而将本题简化为动态电路的分析.

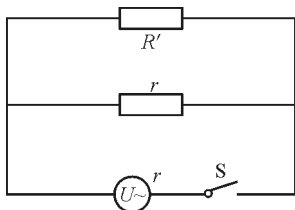


图4 本题等效简化电路图

等效外电路

$$R_{\text{并}} = \frac{rR'}{r+R'} \quad (1)$$

干路中的总电流

$$I_{\text{总}} = \frac{U}{r+R_{\text{并}}} \quad (2)$$

电源的总功率

$$P_{ab} = I_{\text{总}} U \quad (3)$$

R' 支路的电流

$$I' = I_{\text{总}} \frac{r}{r+R'} = \frac{U}{r+R_{\text{并}}} \frac{r}{r+R'} = \frac{Ur}{r^2+2rR'} \quad (4)$$

R 的功率

$$P_R = I'^2 R' = \frac{(rU)^2}{(r^2+2rR')^2} R' = \frac{(rU)^2}{\frac{r^4}{R'} + R'4r^2 + 4r} \quad (5)$$

图5给出了电源总功率、电源输出功率以及负载功率随等效电阻 R' 的变化关系. 从图中可以清晰看到, 电源的总功率随着电阻增大, 一直在减小, 这是因为电源 U 保持不变, 电阻增大导致电路中的总电阻增大, 总电流减小, 根据式(3)可知, 电源总功率在减小. 因此开关从“1”达到“2”时, 等效电阻增大, ab 两端的功率在减小. 对于负载 R 而言, 从图中

可以看出, 负载功率的变化趋势是先增加后减小, 在等效电阻 $R' = 2.5 \Omega$ 时, 有最大功率. 从式(5)来看, 当 $\frac{r^4}{R'} = R'4r^2$ 时, 即 $R' = \frac{1}{2} r = 2.5 \Omega$ 时, 表达式有最大值, 与仿真实验结果相同. 而对于本题来说, 并未告知负载 R 的大小, 即未知等效电阻 R' 大小, 无法判断负载功率的大小.

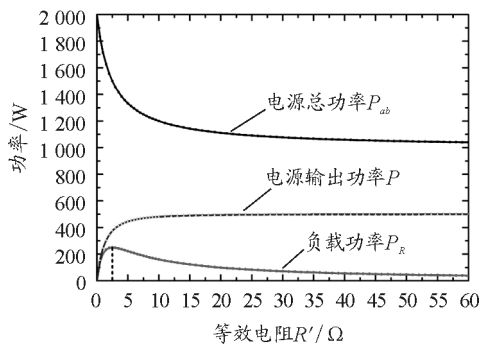


图5 电阻变化引起各个电功率变化情况

特别地, 我们关注到电源的输出功率 P 的变化是一直增加, 这是因为内阻 r 一定大于本题的外电路 $R_{\text{并}}$, 外电路电阻越靠近内阻 r , 电源的输出功率就越大, 符合理论分析.

5 总结与反思

变压器原、副线圈各个物理量的变化关系是高中生较难掌握的一大难点, 也是高中物理教学的一个难题. 要让学生掌握在变压器电路中加入滑动变阻器来引发各种问题的讨论, 对目前普遍的高中生而言, 难度颇高. 若能在平时教学课堂中引入 Multisim 软件用于教学, 利用电路设计接近课本电路的相似性进行问题的分析与归纳, 学生相对而言更容易接受和理解, 便于教师在教学过程中突破该教学的重难点. 该软件仪器丰富, 操作简单, 实验数据清晰、直观, 有利于学生学习过程中对问题的理解. 同时 Multisim 软件可操作性强, 学生也能课后动手仿真, 激发学生探究问题的热情, 提升新高考下物理学科强化学生自主探索的核心素养.

参考文献

- 1 <https://baike.baidu.com/item/multisim/4864195?fr=aladdin>
- 2 福建省2020届高三毕业生质量检查测试(理综卷), 2020