

利用变压器的等效电阻探讨两道高考题

郑金

(凌源市职教中心 辽宁朝阳 122500)

(收稿日期:2017-07-01)

摘要:针对两道引发争议的高考题及参考答案,利用理想变压器的等效电阻公式对有关远距离输电功率的疑难问题进行分析,从多角度探究了远距离输电中发电机输出功率的特性,消除了某些认知误区。

关键词:远距离输电 变压器 电功率 高考题

对于远距离输电,有很多疑难问题,如“在远距离输电过程中,发电机的输出功率是否随负载消耗功率的增大而一直增大?”又如“低压远距离输电不能成功的原因是由于随着输电线的增长而使输电线的功率损失越大吗?”等等.此外,还有一些其他有关输电功率的疑难问题.下面以两道高考题为例进行分析.

1 远距离输电疑难问题一

在由高压输电改为低压输电时,一定能够保持

探究的乐趣!我们再一次以热烈的掌声感谢他们,同时也感谢我们参与讨论交流的同学!

生:热烈鼓掌…

师:两组同学的探究不是简单的重复,是各自独立完成探究,也各有优点和不足.在变量的分析上可以相互补充.通过他们的汇报与大家的交流,我们发现:第一组无法做到多种性质的碰撞而第二组可以做到;第二组很难做到的不同速度情形碰撞(如:追及)而第一组却可以做到.但是要知道,现有条件下不易做到或无法做到并不是这种情况不存在.也需要在优化实验条件或随着技术的发展将来可以做到.因此在现有条件下,通过多种方案的相互补充不失为解决问题的一种方法,同样可以归纳问题.

3.3 互补探究使规律总结更加完美

“Tracker”探究方案中缺少体现“碰撞性质”变量的调节,而“光电门”方案中对“碰撞速度”情况各种类型的考虑不够全面(仅考虑运动滑块碰撞静止滑块和两个滑块对碰的情况).然而“Tracker”方案中充分反映了“速度”的各种情况,“光电门”方案中

原来高压输电时的电功率不变吗?

在输电线电阻和负载电阻保持不变的情况下,为保证负载获得一定的电功率,输电电压存在最小值,如果输电电压太低,发电机输出的电功率大多消耗在输电线上,使得负载获得的电功率太少而无法正常工作.或者说,为保证发电机输出一定的电功率,输电电压存在最小值.这是为什么采用高压输电的原因.

【例1】(2010年高考浙江卷第17题)某水电站,用总电阻为 $2.5\ \Omega$ 的输电线输电给 $500\ \text{km}$ 外的用

充分涉及到的“碰撞性质”的变化.通过两个方案互补将所有可能的变量都进行了监测,从而得出更具有普遍性的共同结论.

由于条件的限制,传统课堂教学中的探究,无论是教师演示式探究或在教师指导下的有学生参与的演示式探究,预设情境比较多,甚至于有些数据可能需要备好;如果是学生课堂分组式探究可能很多的探究都不能完成.而采用IYPT模式,通过学生汇报交流答辩方式开展,真正的探究活动留在课外.由于探究过程特别复杂,变量较多,调节与测量特别麻烦的探究活动.需要探究小组利用相对较长的时间(也可以是社团活动或校本活动等)进行充分探究,由“Tracker”与“光电门”方案互补方式“探究碰撞中的不变量”尝试让我们能够体会到“IYPT”模式对“实验探究”教学的积极意义.

参考文献

- 1 陈晨,陆建隆.将IYPT实验融入中学物理教学的理论思考与实践探究.物理教师,2014(03):22~26

户,其输出功率是 $3 \times 10^6 \text{ kW}$. 现用 500 kV 电压输电,则下列说法中正确的是()

- A. 输电线上的输送电流大小为 $2.0 \times 10^5 \text{ A}$
 B. 输电线上由电阻造成的损失电压为 15 kV
 C. 若改用 5 kV 电压输电,则输电线上损失的功率为 $9 \times 10^8 \text{ kW}$

D. 输电线上损失的功率为 $\Delta P = \frac{U^2}{r}$, U 为输电电压, r 为输电线的电阻

分析:该题给出的参考答案是选项 B. 其中选项 C 是错误的,对选项 C 中的数据可推导如下:

在保持输电功率不变时,若改用 5 kV 电压输电,则输电电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{3 \times 10^6 \times 10^3}{5 \times 10^3} = 6 \times 10^5 \text{ A}$$

输电线损失的功率为

$$P_r = I^2 r = 9 \times 10^8 \text{ kW}$$

探讨:这种计算方法看不出有什么错误,但为什么会出现不合理的结果呢? 表面原因是输电线电流太大,损失的功率太大,超出了输送的总功率,因此如果保持输送功率 $3 \times 10^6 \text{ kW}$ 不变,而采用低压输电是不可能实现的. 根本原因是采用低压输电时的输电功率达不到 $3 \times 10^6 \text{ kW}$.

假设输电电压是 $U = 5 \text{ kV}$ 恒定, r 为输电线的总电阻,在远程输电线与用户之间装有变压器, R 为用户总电阻,如图 1 所示.

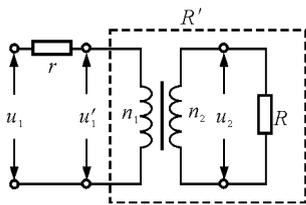


图 1 输电电路及等效电阻

假设次级负载为纯电阻,则 $R = \frac{U_2}{I_2}$. 将变压器和负载电阻 R 视为一个等效电阻 R' (虚线框所示),则 $R' = \frac{U_1'}{I_1}$, 对于理想变压器,有

$$\frac{U_1'}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

可得 $R' = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R = K^2 R$

即从变压器的输入端看去的等效电阻等于负载电阻的 K^2 倍.

因此输电线中的电流为 $I = \frac{U}{R' + r}$, 发电站的输出功率为

$$P = UI = \frac{U^2}{R' + r}$$

可见,用户并联在电路中的用电器越多,总电阻就越小,那么电站输出的电流和输出功率就越大.

当输电电压 $U = 5 \text{ kV}$, 输电线电阻 $r = 2.5 \Omega$ 时,电站的最大输出电流为

$$I_m = \frac{U}{r} = 2 \times 10^3 \text{ A}$$

最大输出功率为

$$P_m = \frac{U^2}{r} = 1 \times 10^4 \text{ kW}$$

这是假设用户的总电阻为零时的极限值,但由于实际上用户电阻不可能为零,因此输电电流不可能达到 $6 \times 10^5 \text{ A}$, 那么发电机输出功率不可能为 $3 \times 10^6 \text{ kW}$. 但在对选项 C 中的数据进行推导时却默认为输出功率为 $3 \times 10^6 \text{ kW}$, 由此导致错误. 因为在低压输电时,由于输出功率存在极限值,则输电功率不一定能达到某个设想值. 或者说,在输电功率一定的条件下,输电电压存在最小值,下面进行推导.

电站的输出功率为

$$P = UI = \frac{U^2}{K^2 R + r}$$

可得 $U = \sqrt{P(K^2 R + r)}$

取 $R \approx 0$, 得

$$U_{\min} \approx \sqrt{P \cdot r}$$

当 $P = 3 \times 10^6 \text{ kW}$, $r = 2.5 \Omega$ 时

$$U_{\min} = 10\sqrt{75} \text{ kV}$$

即输电电压必须大于 86.6 kV , 显然 5 kV 太小了,不能实现.

可见,为了提高输电功率,须采用高压输电. 具体措施是在输电线路中设置升压变压器和降压变压器.

总之,在高压输电时某一输出功率可使负载正常工作,但若对同一电路采用低压输电,则可能达不到某一功率,这时不能默认为原来的输电功率保持不变. 或者说,若保持原来的输电功率不变,则输电电压存在最小值,不应低于这个最小值.

2 远距离输电疑难问题二

对于同一发电机和负载,高压输电与低压输电相比较,电源输出功率一定相等吗?

在发电机输出电压保持不变的条件下,若在线路中设置升压变压器与降压变压器的原、副线圈的匝数比互为倒数,则与线路中无变压器的情况相比,有关物理量的大小将发生变化,究竟如何变化? 取

决于输电线电阻与负载电阻之间的数量关系。

【例2】(2014年高考福建卷第16题)图2为模拟远距离输电实验电路图,两理想变压器的匝数 $n_1 = n_4 < n_2 = n_3$, 4根模拟输电线的电阻 R_1, R_2, R_3, R_4 的阻值均为 R , A_1 和 A_2 为相同的理想交流电流表, L_1, L_2 为相同的小灯泡,灯丝电阻 $R_L > 2R$, 忽略灯丝电阻随温度的变化. 当 A, B 端接入低压交流电源时()

- A. A_1, A_2 两表的示数相同
 B. L_1, L_2 两灯泡的亮度相同
 C. R_1 消耗的功率大于 R_3 消耗的功率
 D. R_2 两端的电压小于 R_4 两端的电压

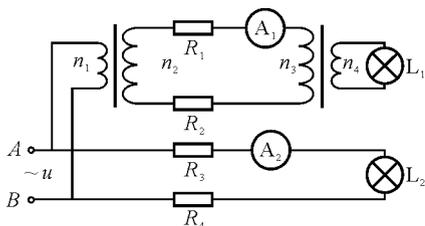


图2 例2题图

原解:图2中分别是高压输电和低压输电的示意图. 在发电机输出功率一定的情况下, 由 $P=UI$ 可知, 输电线左端输入的电压 U 越大, 其中的电流就越小, 则 $I_1 < I_2$, A项错误. 那么对于输电线, 由 $P=I^2R$ 及 $I_1 < I_2$ 可知, R_1 消耗的功率小于 R_3 消耗的功率, 则 C项错误. 由 $I_1 < I_2$ 可知, 高压输电时, 输电线上损失的电压较小, 则 D项正确. 因此灯泡获得电压较大, 则消耗的功率较大, B项错误.

探讨:这个参考答案值得探讨. 采用高压输电输送的电功率与低压输电时输送的电功率一定相等吗? 如果电源向两个回路提供的电功率不一样, 那么上述分析的前提条件将不成立; 而且在上述分析过程中没有用到题给条件 $R_L > 2R$. 下面定量推导有关物理量的关系式, 并利用题给条件 $R_L > 2R$ 来比较大小.

设发电机输出电压为 U 保持不变, 对于没有变压器的线路, 输电线电流 $I_2 = \frac{U}{2R + R_L}$, 电源输出的功率

$$P = UI_2 = \frac{U^2}{2R + R_L}$$

设 $\frac{n_2}{n_1} = \frac{n_3}{n_4} = n > 1$, 对升压变压器有 $U_2 = nU$, 对于降压变压器, 等效电阻为

$$R'_L = \left(\frac{n_3}{n_4}\right)^2 R_L = n^2 R_L$$

则输电线中的电流为

$$I_1 = \frac{U_2}{2R + R'_L} = \frac{U}{\frac{2R}{n} + nR_L}$$

所以电源输出的功率为

$$P' = U_2 I_1 = \frac{U^2}{\frac{2R}{n^2} + R_L}$$

首先比较两种情况下输电线中电流的大小. A_2 的示数为 $I_2 = \frac{U}{2R + R_L}$, A_1 的示数为

$$I_1 = \frac{U}{\frac{2R}{n} + nR_L}$$

只需比较两式分母的大小, 二者之差为

$$\Delta = (2R + R_L) - \left(\frac{2R}{n} + nR_L\right) = (n-1)\left(\frac{2R}{n} - R_L\right)$$

由此可知, 当 $2R = nR_L$ 时, 两种情况下输电线中的电流相等, 则损失的电压相等, 损失的功率相等.

考虑到题给条件 $R_L > 2R$, 即 $2R < nR_L$, 则 $2R < nR_L$, 由于 $n > 1$, 此时 $\Delta < 0$, 可知 $I_1 < I_2$, 即当输电线电阻远小于负载电阻时, 高压输电线电流小于低压输电线电流, 那么高压输电线损失的功率小于低压输电线损失的功率. 因此高压输电可以减小输电线电流, 从而减小输电线损失的功率. 选项 A 错误. 由于电源电压不变, 高压输电线上的电压损失小, 则灯 L_1 两端得到的电压大, 因此亮度大, 选项 B 错误.

由 $P = I^2R$ 和 $U = IR$ 可知, C项错误、D项正确. 比较两种情况下电源输出的功率大小, 可知 $P' > P$.

可见, 当输电线电阻一定时, 采用高压输电可增大负载得到的电压和消耗的功率, 同时增大电源输出的功率. 因此, 认为采用变压器高压输电时电源的输出功率与线路不用变压器输电时电源的输出功率相等的观点是错误的.

参考文献

- 王怀宾, 张伟娟. 刍议“用电”与“发电”. 物理教学, 2010(1):64
- 宋兴会. 分步探究“变压器在远距离输电中的作用”. 物理教学, 2016(2):26
- 杨培军, 王鹏. 高压输电电流一定减小吗. 物理通报, 2015(3):103
- 胡东明. 阻抗变换法在求解一类物理问题中的妙用. 物理教学, 2015(8):57