



物理与生活

零线不为“零” 用电需谨慎

张立那

(石家庄市第一中学 河北 石家庄 050000)

(收稿日期:2023-05-03)

摘要:生活中有关零线火线的知识,中学物理有所涉及但涉及不多,但基于“STSE”的教育理念,尤其是校园用电安全,日常教学中学生会经常提出相关的疑问,教师们也会经常探讨此类问题,比如火线、零线中的电流大小关系以及触摸零线是否会令人触电甚至发生危险,这篇文章将会对这些问题给出初步的解答。

关键词:校园用电安全;三相交流电;三相四线制;变压器;电势

1 校园用电安全是学校教育的重中之重

校园用电安全是当下社会各方面都很关注的热

点问题,如图1中媒体所报道的那些触电事故令人触目惊心。我们应该引导学生学会哪些用电常识呢?



图1 媒体报道校园安全事故

知识的价值只有在应用中才能体现出来,学生学完交流电和家庭用电知识后,了解到生活中有火线零线之分,如何安全用电;我们也一直在探讨有关零线上是否有电流的问题,以及零线中如果有电流通过时,人体究竟会不会触电甚至发生危险?

2 三相交流电的产生原理

为解决这些问题,首先我们得必须先了解“三相交流电”是怎么产生的,“三相四线制”到底是怎么

回事?

三相交流电是由三相交流发电机产生,简称为三相电。三相交流发电机,是由3个频率完全相同、振幅相等、相位依次互差 120° 或 $\frac{2}{3}\pi$ 的交流电动势组成的电源。常见的模型可以简化为图2所示的两种。在发电机内部转动部分称为转子(旋转磁场或线圈),固定部分称为定子。通常磁场中有3个线圈绕组,每一个绕组称为一相,绕组有3组线圈即三相绕

组,三相绕组空间彼此相隔 120° 角.当外界如风力或水力涡轮带动转子旋转时,旋转磁场使固定的定子绕组切割磁感线(或者说使绕组中通过的磁通量发生变化)而产生电动势,其大小和线圈的匝数、线圈处磁场强弱、转子的旋转速度成正比,把3个大小相等、频率相同、相位相差 120° 的交流电合在一起就组成三相交流电^[1].

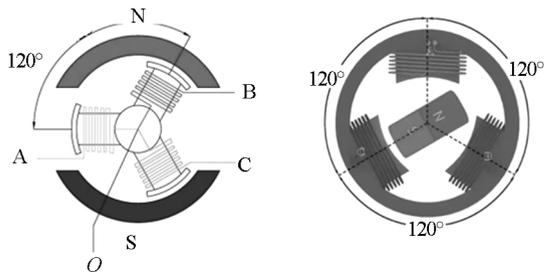


图2 三相交流发电机模型

结合高中所学物理知识,可将三相交流发电过程简化成以下模型,如图3所示.

三相交流发电机工作原理

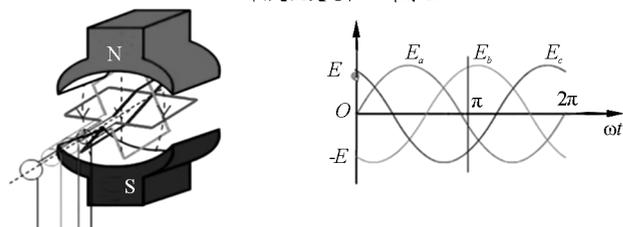


图3 三相交流发电电动势

在发电机内部有一个转子绕组,绕组有3组线圈,三相绕组分别称为A相、B相和C相,三相绕组彼此相隔 120° 角.当转子旋转时,绕组切割磁感线而产生3个相位相差 120° 的电动势,即3个单相交流电.我们照明电路中所使用的就是单相交流电.

把这3个交流电合在一起就组成一个三相交流电.一个理想的三相交流电电动势的数学表达式为

$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

其中, E_m 是电动势最大值. $e - \omega t$ 图像如图4所示.

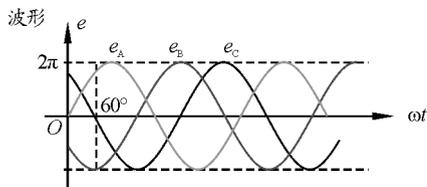


图4 $e - \omega t$ 图像

在发电机内部我们把3个绕组按一定方式连接

起来,如图5所示,一个绕组的尾端与另一个绕组的首端接在一起,另一个绕组的尾端再与下一个绕组的首端接在一起,3个绕组接成一圈,从每个接点接出一条线称为三角形接法;把3个绕组的尾端接在一起,每个首端接出一条线称为星型接法.然后再用3条或4条导线向外界供电.

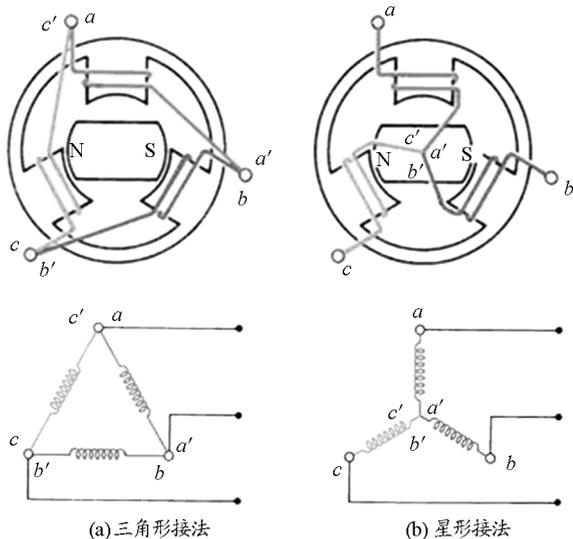
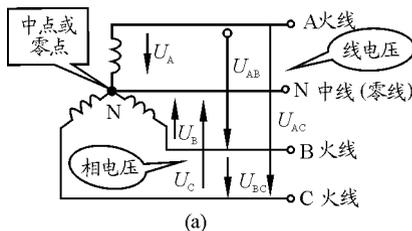


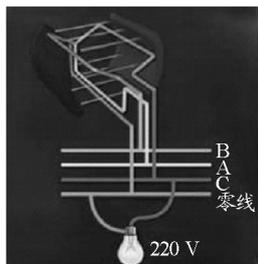
图5 三相绕组连接方式

3 家用照明电路中零线与火线的概念

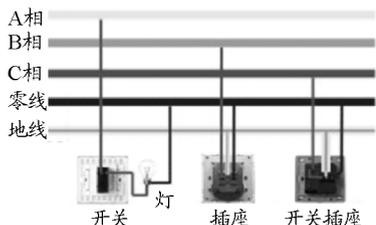
我国发电厂和电力网生产、输送和分配的交流电都是三相交流电.工业中大部分的交流电器设备,例如电动机,都采用三相交流电.而在日常生活中,多使用单相电源,也称为照明电(校园用电通常也可视作家用照明电)^[1].

当采用照明电供电时,使用三相电其中的一相给用电设备供电,而另外一根线是三相四线制中的第四根线,也就是零线,该零线从三相电的中性点引出,所以也称为中性线.若用星形接法,如图6所示,图中任意火线和零线之间的电压 U_A 、 U_B 、 U_C 称为相电压,大小为 220 V,一般用于照明电路.火线与火线之间的电压 U_{AB} 、 U_{AC} 、 U_{BC} 称为线电压,经计算其大小为 380 V,与 220 V 电压等级不同,一般用于工业用电^[2].





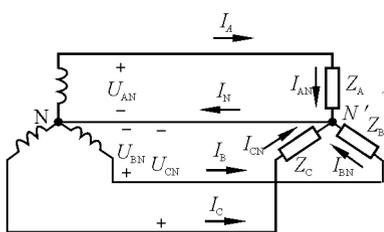
(b)



(c)

图 6 星型连接中的零线与火线

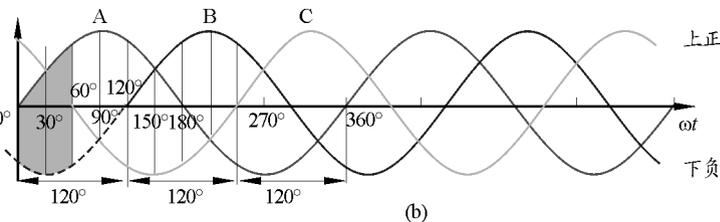
若将多个用电设备分组接入 3 个单相 220 V 电压中,应考虑按负载性质和功率大小,合理均匀分布



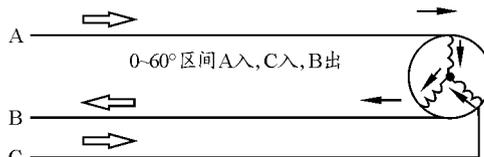
(a)

三相三线制供电

因为三相电压对称,如果负载对称,即 $Z_A=Z_B=Z_C=Z$,则三相电流也对称. 中线电流 $I_N=I_{AN}+I_{BN}+I_{CN}=0$,负载对称时,中性线无电流,可省掉中性线.



(b)



(c)

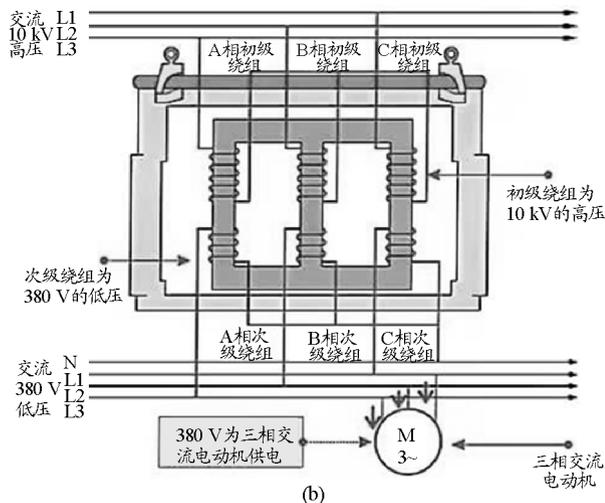
图 7 三相交流电中负载电流

但户外的高压输电线均为三相高压线,即 3 根火线,三相的矢量和为零,或者相对高压线上数百安甚至更大的输送电流来说基本为零,采用三相三线制传送电力,是没有零线的. 三相高压线经低压变压器后接入家用电路中. 变压器中分别有 A、B、C 3 组初级、次级变压绕组,如图 8 所示.



(a)

于三相电源的相线上,保持 A、B、C 三相负载平衡分布(或基本平衡分布). 零线上就没有电流(电流很小),或者说三相交流电瞬间的矢量之和为零,可以理解为 3 根电线并不是同时在输出使用,一根输出时,另外两根少量输出,兼做主力输出的零线使用,回到变压器,从而构成一个循环. 这是交流电的基本原理,可以画三个相差 120° 相位的电流正弦波的矢量图,如图 7 所示,可以看到在任何角度位置,由基尔霍夫电流定律,中性点上其电流值相加后总是为零. 正如图 7 中 $0 \sim 60^\circ$ 区间内电流从 A、C 相进,从 B 相出,零线上没有电流,可以取消零线(局域网主干线公共部分的零线). 这种情况与单相交流电和直流电的“回路”概念略有不同. 不过,即使零线没有电流,为了安全可靠地工作,实际零线一般也不能取消.



(b)

图 8 家用电路中的变压器连接

在低压供电线路中,在马路边架空的变压器上,可以看到一般均为三进四出接线制,初级的高压侧

只3根火线,次级380 V输出端有4根线,其中一根就是零线(地线),在变压器处接地。

4 家用电路中零线电流不为零

零线电流不一定为“零”,误触零线也会触电甚至危及生命,到底为什么呢?

家用照明电路常见为单相交流电,电压220 V,当用电器接通后,火线和此时此处零线上的电流是一样大的,除非某部分电路或用电器发生故障,一部分电流“漏电”到地线上或有人体触电(图9),零线电流变小.这也是漏电保护开关的工作原理^[3],当检测到电路中有异常的电流信号时,就会触发机构,自动切断故障处的电源。

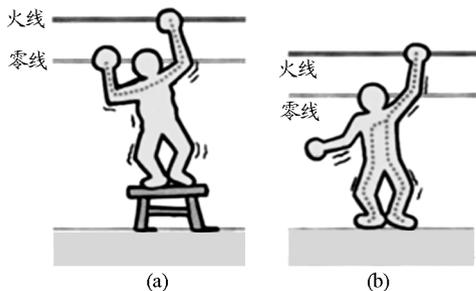


图9 人体触电(1)

家用电路中,我们用测电笔测的是电势(工业上也称为电位).所谓零线没电是指零线相对于地的电压为零即等电势,指示灯不亮.照明电是单相电,单相设备运行时通过零线与变压器组成闭合回路.所以,在有电器运行时,家用电路中零线是有电流通过的.既然零线有电流通过,那为什么不伤人呢?

理论上家用电路中零线的电势和大地是一样的,人同时接触大地和零线时两端不存在电势差,即没有电压,自然不会产生流过人体的电流.而实际上导线都有很小的电阻,零线上电势不一定是零,一般几伏到几十伏不等(安全电压36 V),相对大地的电压非常低,人体接触后或有部分电流流经人体,相当于人体和部分零线并联,电流通过接触点经人体和大地形成回路,如图10所示,干燥时人体电阻大概几千欧姆,可以理解成人体被短路,流经人体电流很小;若人体皮肤比较潮湿,如上文中提到的“洗澡触电”案例,此时电阻较小,人体电流很大,可能会有触电感觉甚至被电击或电伤,对人体脏器、大脑或神经系统造成严重伤害,所以一定要注意安全用电,如不要私搭私装电线,阴雨天远离电线杆,购买使用合

格电器产品,电动自行车不上楼充电等等.如发生触电事故,第一时间用干燥的绝缘物体将患者与电源彻底隔离,切断电源;呼叫帮助或拨打求助电话;如有必要进行心肺复苏等^[4-5].

零线电势为零或很低,这就是一般都认为零线无电压的原因,如果人体接触的零线在和人接触点的后面断开了[图10(c)],那么零线电压瞬间就升高到和火线差不多220 V左右,人就会发生触电现象.也说明了如果零线断了,用电器接通却不工作,此时我们用测电笔测量零线时会发现它是带电的,电势220 V.

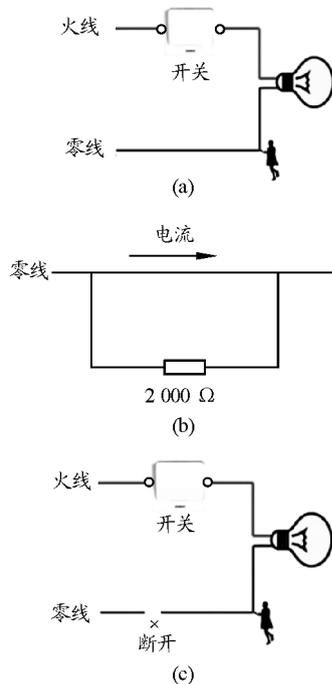


图10 人体触电(2)

所以生活中有经验的电工,有时采用站在干燥绝缘的木质椅子上赤手(应佩戴安全绝缘手套)触摸火线,或站在地上赤手触摸零线(专业动作,请勿尝试)。

5 结束语

因此,家庭电路中确定零线不带电,当然可以触摸,但是,最好还是不摸,因为你很难确定是不是零线,是否带电.此外,紧急情况下实在需要触摸,用手指第二关节的背部触摸,万一触电,身体应激反应会很快脱离电源(笔者亲历).千万不要用手指肚或手掌正面等部位触摸,万一触电,手指手掌会发生痉

(下转第161页)

的点坐标为 4 cm.

错因分析:在利用基本不等式“若 $x > 0, y > 0$, 则 $x + y \geq 2\sqrt{xy}$, 当且仅当 $x = y$ 时, 等号成立”时需要满足当两个正数的积为定值时, 它们的和有最小值; 当两个正数的和为定值时, 它们的积有最大值. 在应用基本不等式求最值时, 应做到“一正、二定、三相等”^[1].

但在式(1)的应用中

$$\frac{4}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} = \frac{4}{r_1^2} + \frac{1}{(6-r_1)^2} \geq 2 \frac{2}{r_1} \frac{1}{6-r_1}$$

其中 $\frac{2}{r_1} \frac{1}{6-r_1}$ 并不是定值, 因此不能使用基本不等式.

3 正确解法

设在 Q_1, Q_2 连线上 0 ~ 6 cm 之间电场强度最弱的点离 Q_1 的距离为 r . 设 $a = r, b = 6 - r$, 则

$$a + b = 6$$

令

$$F(a, b, \lambda) = \frac{4}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \lambda(a + b - 6)$$

求导可得

$$F'(a) = -8a^{-3} + \lambda$$

$$F'(b) = -2b^{-3} + \lambda$$

$$F'(\lambda) = a + b - 6$$

分别令

$$F'(a) = 0 \quad F'(b) = 0 \quad F'(\lambda) = 0$$

可解得

$$a = \frac{2}{\sqrt[3]{\lambda}} \quad b = \frac{\sqrt[3]{2}}{\sqrt[3]{\lambda}} \quad \lambda = \left(\frac{2 + \sqrt[3]{2}}{6} \right)^3$$

(上接第 159 页)

率, 一下子勾住电源, 就难以脱身从而酿成悲剧. 在校园用电中, 校方必须配有数名专业的电工, 培训上岗, 务必保证全天有人值岗巡查, 有用电突发事件能第一时间到达现场并妥善处理, 保证校园师生和财产安全. 定期对校园师生开展安全用电常识教育(定期讲座或开发成校本课), 增强安全用电意识. 校园师生若发现用电事故或隐患务必第一时间上报电工并隔离现场, 警示他人.

写在最后: 安全无小事, 用电需谨慎.

所以当

$$a = r = \frac{2}{\sqrt[3]{\lambda}} = \frac{12}{2 + \sqrt[3]{2}} \approx \frac{12}{2 + 1.26} = 3.681 \text{ cm}$$

时, 场强有最小值.

笔者又利用计算机做出了 $y = \frac{4}{r^2} + \frac{1}{(6-r)^2}$ 的函数图像, 如图 2 所示, 可见函数图像中 0 ~ 6 之间最低点的坐标为 (3.681, 0.481), 与利用拉格朗日乘数法求得的极值坐标相同.

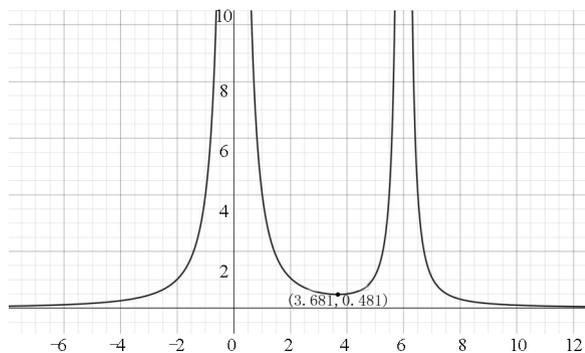


图 2 函数图像

4 总结

通过上述对不等量异种电荷连线上场强最弱位置的错解分析及其正确解法可见, 学生在学习物理时必须合理使用数学知识, 并且不能死记硬背, 要灵活掌握数学公式、定理的适用条件, 同时希望本文给出的用拉格朗日乘数法求极值的方法可以对学生解决类似问题有所帮助.

参考文献

- [1] 李文东. 正确理解和运用基本不等式求最值[J]. 高中数理化, 2021(19): 22-24.

参考文献

- [1] 郭木森. 电工学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
 [2] 乔永海. 三相交流电相线电压关系的证明[J]. 物理通报, 2021(S2): 160-161.
 [3] 田永哲. 漏电保护器的原理和使用[J]. 广播电视信息, 2012(6): 78-81.
 [4] 王琳基, 卢腾镛. 三相四线制的零线电流大于最大相电流的原因分析[J]. 电工技术, 2001(4): 50.
 [5] 柳春芳, 何智祥, 陈增胜, 等. 带零线电流判据的零线断线检测新方法[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2015, 42(4): 41-45.