

提高功率因数的作用和方法之我见

李勇¹, 吕宏璋², 张永锋¹, 韩新风¹, 姚洁¹

(1、安徽科技学院理学院, 安徽凤阳 233100; 2、凤阳县武店中学, 安徽凤阳 233100)

摘要: 从理论上推导出提高功率因数不仅可以减少输电时的损耗, 还可以充分发挥电器设备的效用, 并以日光灯照明电路为例说明提高电路的功率因数的方法.

关键词: 功率因数; 有功功率; 无功功率; 有功电流; 有功电阻

中图分类号: TM135 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-4970(2014)02-0040-03

功率因数是电路分析、电工学等课程中一个重要的物理量^[1-2], 也是电力系统中一个重要的技术参数, 更是衡量电气设备效率高低的一个重要的指标, 与现实生活联系非常紧密^[3-4]. 在学习这部分内容时不仅要知晓其定义, 还需知道提高功率因数的作用以及提高实际电路或电气设备功率因数的方法. 现在, 普通高校所使用的电路分析等教材中都提到了功率因数这个概念, 也简单说明了提高功率因数的作用, 但大部分教材都没有用公式对其进行详细的推导, 也没有深入讨论提高功率因数的方法, 这不利于学生对这一概念的理解和掌握. 本文对功率因素的概念进行深入剖析, 用“有功电流”和“有功电阻”等概念对提高功率因数的作用进行推导, 并举例说明提高功率因数的方法.

1 功率因数的定义

在交流电路中, 设电压与电流间的相位差为 θ , 则 θ 的余弦就是功率因数, 用符号 $\cos\theta$ 表示, 在数值上, 功率因数 ($\cos\theta$) 是有功功率 (P) 和视在功率 (S) 的比值, 即 $\cos\theta = \frac{P}{S}$ ^[1]. 需要特别说明的是, 功率因数的大小与电路中元件的性质有关, 当电路中只有电阻元件时, 电压与电流相位相同, $\theta = 0$, $\cos\theta = 1$, 即电路的功率因数等于 1. 如果电路中既有电阻元件又有电容和电感元件, 在不发生谐振的条件下, $\theta \neq 0$, $\cos\theta \neq 1$, 即电路的功率因数小于 1. 因此, 只有当电路中有电感元件或电容

元件, 且电路的电压与电流之间的相位差不为零时, 研究功率因数才有意义.

2 提高功率因数的作用

2.1 减少输电时的损耗

为了说明这个问题, 下面利用“有功电流”和“有功电阻”等概念进行推导.

(1) 利用有功电流和无功电流进行推导

设流过用电器的电流和加在用电器两端的电压之间的相位差为 θ , 做出电压和电流的矢量图, 如图 1 所示, 其中电压矢量 \vec{u} 与电流矢量 \vec{I} 之间的夹角为 θ . 将电流矢量 \vec{I} 分解成与 \vec{u} 平行的矢量 \vec{I}_{\square} 和与 \vec{u} 垂直的矢量 \vec{I}_{\perp} , 它们的大小分别为 $I_{\square} = I\cos\theta$ 和 $I_{\perp} = I\sin\theta$. 电路中的有功功率 $P = UI\cos\theta = UI_{\square}$, 也就是说, 只有 \vec{I}_{\square} 分量对有功功率有贡献, 而 \vec{I}_{\perp} 分量对有功功率无贡献, 所以将 \vec{I}_{\square} 称为有功电流, \vec{I}_{\perp} 称为无功电流.

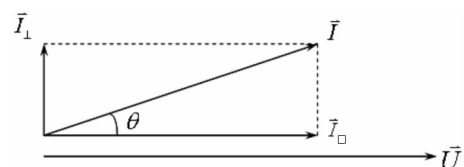


图 1 有功电流和无功电流

由焦耳定律 ($Q = I^2Rt$) 可知, 输电导线中的电阻或电源内阻上产生的焦耳热损耗与用电器中的

收稿日期: 2013-10-29

基金项目: 安徽科技学院教学研究项目资助(X2012065); 安徽科技学院校级应用型共享课程(Xj201334)

作者简介: 李勇(1975-), 男, 湖南祁东人, 硕士, 副教授. 研究方向: 大学物理和电子技术教学.

总电流 I 的平方成正比, 如果用电器的 $\theta \neq 0$, 总电流即可分解成有功分量和无功分量两部分. 由 $I_{\square} = I \cos\theta$ 和 $I_{\perp} = I \sin\theta$ 可知, 当用电器的功率因数 $\cos\theta$ 越大时, 则有功分量 I_{\square} 就越大, 无功分量 I_{\perp} 就越小. 由前面的分析可知, 在总电流中只有有功分量是有用的部分, 无功分量把能量输送给用电器后又输送回来, 完全是无意义的循环. 但是总电流中无论哪个分量在输电线中都有焦耳热损耗, 如果说有功电流在输电线中有一定的损耗是不可避免的, 那么无功电流在输电线中的损耗则应尽量设法消除.

为了保证用电器上有一定的电压, 必须减少输电导线和电源内阻上的电压损失, 这也要求尽量减少电流的无功分量. 电流的无功分量是电源和输电导线上的一个有害无益的负担, 应该尽量设法消除, 由图 1 可知, 要消除电流的无功分量的办法就是减少 θ , 增加 $\cos\theta$ 值, 即提高用电器的功率因数以增加总电流中有功成分的比重. 这就是提高功率因数的第一个作用.

(2) 利用有功电阻进行推导

设电路的复阻抗为 $Z = Ze^{j\theta} = Z \cos\theta + jZ \sin\theta = R + jX$, 其中复阻抗的实部 R 叫做有功电阻, 虚部 X 叫做电抗, 由上式可知 $R = Z \cos\theta$, $X = Z \sin\theta$, 电路上的电压 $U = IZ$, 视在功率 $S = UI = I^2 Z$, 有功功率 $P = UI \cos\theta = I^2 Z \cos\theta = I^2 R$, 无功功率 $Q = UI \sin\theta = I^2 Z \sin\theta = I^2 X$. 这就是说, 如果不将电流 I 分解成有功、无功两个分量, 而将阻抗 Z 分解为 R 、 X 两部分, 则只有实部 R 对实际功率有贡献, 而虚部 X 对应的则是无功功率. 应当指出的是, 电路中的有功电阻 R 并不一定来自导线中的欧姆电阻, 电容器或电感线圈中的介质损耗(如介电损耗、磁滞损耗、涡流损耗等)反映到电路中来, 也相当于一个等效的有功电阻. 总之, 有功电阻的实质是它反映了电路中有某种功率消耗. 至于功率消耗的原因, 以及能量的去向, 是可以多种多样的, 这一点它和欧姆电阻有本质的区别. 欧姆电阻上消耗的功率全部转化为焦耳热, 而有功电阻上消耗的功率可以转化为热, 也可以转化为其它形式的能量(如电动机中转化为机械能等).

当电路中电流和电压的有效值大小都不变, 仅两者的相位差 θ 发生变化, 当 θ 值减小时, 电路的功率因数 $\cos\theta$ 增大, 有功电阻 R 增大, 电抗 X 减小, 由 $P = I^2 R$ 和 $Q = I^2 X$ 可知, 电路的有功功率增

大, 无功功率减少. 这也说明提高功率因数, 可以减少无功功率, 即降低输电损耗.

2.2 充分发挥电器设备的效用

市场上所见到的发电、输电和用电设备的铭牌上都标示了容量, 即它的额定视在功率 S , 是以它的额定电压 U 和额定电流 I 的乘积. 例如一台发电机的额定电压为 10KV, 额定电流为 2000A, 则它的容量为 $S = UI = 20000Kw$, 但是这并不等于输送到电力系统中的实际功率 P , 后者还要乘上电力系统的功率因数, 即 $P = UI \cos\theta$. 假若电力系统的功率因数为 0.6.

由此可见, 同样容量的发电机, 只要电力系统的功率因数提高, 就可以使它的实际发电能力提高. 所以, 提高功率因数有利于充分发挥现有电器设备的潜力. 这是提高功率因数的另一个重要作用.

3 提高功率因数的方法

既然提高功率因数有以上两个方面的作用, 那么如何提高一个电器设备本身的功率因数? 下面以日光灯照明电路为例, 用电容器补偿电感器件以提高整个电路的功率因数为例进行说明. 在日常生活中使用的日光灯上总附有电感性元件——镇流器, 它使得电压的相位超前电流, 而它的功率因数通常只有 0.4 左右, 说明电路中的有功功率太低, 无功功率太高, 电路中能量损耗较大. 如果并联一个电容器(如图 2), 就可在整个电路的阻抗中增加容抗的因素来抵消原有的感抗, 使 $\theta \rightarrow 0$, 从而 $\cos\theta \rightarrow 1$. 这样做并不是说日光灯和镇流器的电流中没有无功分量了, 而是无功电流只在电感性和电容性的两条支路中循环, 这就使外部输电线和电源中的电流没有无功分量, 从而使它们之中的损耗大大减少.

在这里还有一点需要特别说明, 提高功率因数指的是提高整个电路的功率因数, 而不是负载本身的功率因数. 为了说明这个问题, 将图 2 用图 3(a) 所示的电路来等效, 再用 Multisim10.0 软件对图 3 进行仿真实验(如图 3(b)), 结果显示: 随着电容 C

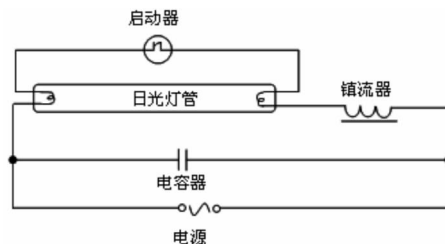
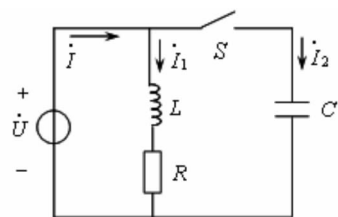


图 2 用电容器补偿日光灯的功率因数示意图

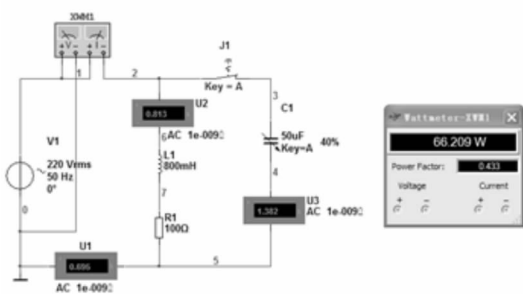
表 1 电容 C 变化对电路的影响

C(μ F)	I(A)	I_1 (A)	I_2 (A)	P(W)	$\cos\theta$	备注
0	0.813	0.813	0	66.181	0.370	未并电容
4	0.566	0.813	0.276	66.222	0.532	
8	0.363	0.813	0.553	66.156	0.829	欠补偿
10	0.308	0.813	0.691	66.185	0.978	
22	0.301	0.813	0.760	66.174	1.000	完全补偿
0.817	14	0.368	0.813	0.968	66.127	
16	0.462	0.813	1.106	66.207	0.652	欠补偿
20	0.695	0.813	1.382	66.209	0.433	

的增大, I_2 逐渐增大, I 先减小后增大, $\cos\theta$ 先增大后减小, 有功功率 P 和 I_1 基本保持不变(如表 1)。可见并联电容后, 负载的电压、电流、功率因数均没有改变, 即负载的工作状态不变。由此可见, 在电容 C 增大过程中整个电路的功率因数得到了提高, 但负载本身的功率因数并没有改变。



(a)



(b)

图 3 等效电路图((a) 电路原理图、(b) 仿真电路图)

如何提高一个电器设备本身的功率因数, 在生产技术上还有很多措施, 如选择正确电机, 合理运行

制度, 利用机械补偿装置等等^[4-5], 这些问题可参阅其它相关文献, 本文中不再进行详细的讨论。

4 结语

以上对提高功率因素的作用进行了详细的推导和分析, 并以日光灯照明电路为例讨论了提高功率因素的方法, 在教学中能帮助学生加深对功率因素这个概念的理解, 有利于培养学生分析问题和解决问题的能力, 以及利用“有功电流”和“有功电阻”等概念来推导功率因数的作用, 这种方法在教学过程中值得借鉴。

参考文献

- [1] 李实秋. 电路分析基础 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2010.
- [2] 秦曾煌. 电工学 [M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [3] 周玫. 加装无功功率补偿装置提高功率因数的方法 [J]. 宁夏电力, 2010(5): 34-37.
- [4] 李尧森. 提高功率因数对节能降耗的作用分析 [J]. 中国纸业, 2007, 28(9): 62-64.
- [5] 苏燕. 提高功率因数在电费及供电服务中的作用 [J]. 技术与市场, 2011, 18(10): 111-113.

[责任编辑 徐 刚]

On Improving the Effects and Methods of Power Factor

LI Yong¹, V Hong-zhang², ZHANG Yong-feng¹, HAN Xin-feng¹, YAO Jie¹

(1. College of Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China

2. Wudian Middle School, Fengyang 233100, China)

Abstract: By theoretically deducing, improving the power factor can not only reduce transmission line loss, but also give full play to the utility and electrical equipment. And the lighting circuit of fluorescent lamp as an example illustrates the method to improve the power factor of the circuit.

Key words: power factor; active power; reactive power; active current; active resistance