

自耦变压器和滑动变阻器 在电压和电流分配方面的联系与区别

李 惠

(株洲市第二中学 湖南 株洲 412000)

(收稿日期:2020-01-16)

摘要:介绍了自耦变压器的原理,并与普通变压器做对比,分析论证了自耦变压器的优缺点,最后把自耦变压器与滑动变阻器类比,指出二者的在电压、电流分配方面的联系与区别.

关键词:自耦变压器 普通变压器 滑动变阻器 类比 联系与区别

在一次奥赛培训中,笔者把单相普通双绕组变压器改接成自耦变压器,并让学生计算该自耦变压器的输入、输出额定电压、电流、电压变比和传输功率.学生感觉很棘手,并提出了几个问题,笔者觉得他们的疑惑和提出的问题很有代表性,于是撰写此文抛砖引玉,以期和同行们共同探讨.

1 问题的提出

把两台相同的普通双绕组单相变压器(电压比为220 V/110 V,额定功率5 000 W)的原副线圈按顺极性串联起来,分别制成变压比为220 V/330 V的单相升压自耦变压器和变压比为330 V/110 V的单相降压自耦变压器.求这两台自耦变压器的输入、输出额定电流和传输功率.

学生提问 1:我们学过的变压器的原副线圈只有磁耦合,没有电路电流的直接联系.改制成的自耦变压器共用同一组线圈,要形成回路,必须得有电联系,那它的电流就不仅仅是磁耦合的感应电流,传输功率也就不能仅仅是感应功率了,这个分析对不对?

学生提问 2:降压自耦变压器的符号让我联想到了滑动变阻器,且它的电压比与匝数成正比.这个规律与滑动变阻器的分压规律也类似.是否意味着自耦变压器在交流电路中起的作用与滑动变阻器在

直流电路中所起的作用相同?

学生提问 3:双绕组单相变压器与自耦变压器用的绕组都相同,仅仅是连接方式不同,那它们的优缺点各在哪里?

2 单相自耦变压器原理

所谓自耦变压器,就是自身一部分线圈与另一部分线圈耦合的变压器.原副线圈共用的那一部分绕组称为公共绕组,公共绕组一定是自耦变压器的低压绕组.除去公共绕组的那部分绕组与公共绕组是串联顺接关系,是高压绕组的一部分,称为串联绕组.通常,把双绕组单相变压器只有磁耦合而无电联系的两个线圈顺接起来就可构成自耦变压器.

普通双绕组单相变压器和将普通单向变压器顺极性串联起来制成的单相自耦变压器的电路图如图1和图2所示.

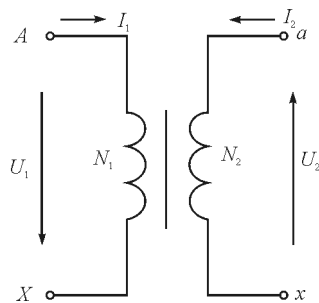


图1 普通变压器

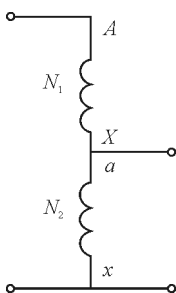


图 2 单相自耦变压器

图 1 是普通变压器, AX 是原线圈, 匝数为 N_1 , 额定电压和电流分别为 U_1 和 I_1 , ax 是副线圈, 匝数为 N_2 , 额定电压和电流分别为 U_2 和 I_2 , 易得

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

传输的额定功率为

$$P_{\text{磁}} = U_1 I_1 = U_2 I_2$$

如果我们将 AX 部分和 ax 部分串联顺接起来, 如图 2 所示, 把抽头 A 和 x 之间的部分绕组作为原线圈, 把 a 和 x 之间的部分绕组作为副线圈, 这样就构成了一个单相自耦降压变压器(反之, 就是一个单相自耦升压变压器). 同理易得图 2 中升压变压器的变压比为 $\frac{N_1 + N_2}{N_2}$.

既然自耦变压器共用同一部分线圈, 高压绕组和低压绕组有直接的电联系, 且变压器的原副线圈中电流总是相差 π 相位, 故原副线圈中电流方向相反, 根据基尔霍夫第一定律, 在节点 $X(a)$ 处就有如下关系

$$I_{\text{公共}} = I_1 + I_2$$

又电压和电流仍然满足

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

接下来我们来计算功率. 如图 3 所示, 单相降压自耦变压器传输的功率就是

$$P_{\text{自耦}} = (U_1 + U_2) I_1 = U_2 (I_1 + I_2)$$

这个功率和普通变压器的功率相比较, 他们的关系是

$$P_{\text{自耦}} = P_{\text{磁}} + U_2 I_1$$

显然, 自耦变压器不仅通过磁耦合传递了普通变压器一样的功率 $P_{\text{磁}}$, 还通过电联系直接由相通的电路传递了普通变压器所不能传递的功率 $U_2 I_1$. 为什么一定是 $U_2 I_1$? 因为图 3 所示的自耦变压器中我们

选择的是匝数为 N_2 的绕组 2 作为公共绕组. 若选择的是匝数为 N_1 的绕组作为公共绕组, 那自耦变压器传递的功率就是 $P_{\text{自耦}} = P_{\text{磁}} + U_1 I_2$, 而通过电路传递的功率就变成了 $U_1 I_2$.

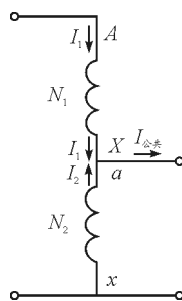


图 3 单相降压自耦变压器

现在来看看本文开头提到的学生提问 1, 学生的分析是对的, 自耦变压器不仅传递了因为磁耦合而得来的感应功率, 还有电联系的功率.

本文开头题目的答案应该是这样的:

若要把普通双绕组单相变压器(电压比为 220 V/110 V, 额定功率 5 000 W) 制成变压比为 220 V/330 V 的单相升压自耦变压器, 改接后如图 4 所示.

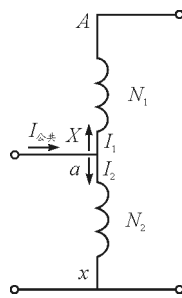


图 4 单相升压自耦变压器

线圈的粗细、形状决定了它们所能承受的额定电压, 则 N_1 部分是原来的双绕组中能承受额定电压 110 V 的绕组, N_2 部分作为公共绕组. 则有

$$I_1 = \frac{5\,000\text{ W}}{110\text{ V}} \quad I_2 = \frac{5\,000\text{ W}}{220\text{ V}}$$

输入电压 $U_2 = 220\text{ V}$, 输出电压为 $U_1 + U_2 = 330\text{ V}$, 这样就达到题目 220 V/330 V 变比要求. 该变压器传输的功率

$$P_{\text{自耦}} = (U_1 + U_2) I_1 = U_2 I_{\text{公共}} = 3 \times 5\,000\text{ W}$$

其中有磁耦合传递的功率

$$P_{\text{磁}} = U_2 I_2 = 5\,000\text{ W}$$

还有电联系传递的功率

$$U_2 I_1 = 2 \times 5\,000\text{ W}$$

同理,把普通双绕组单相变压器(电压比为 220 V/110 V,额定功率 5 000 W)制成变压比为 330 V/110 V 的单相降压自耦变压器,改接后如图 3 所示.则 N_1 部分是原来的双绕组中能承受额定电压 220 V 的绕组, N_2 部分作为公共绕组.则有

$$I_1 = \frac{5\,000\text{ W}}{220\text{ V}} \quad I_2 = \frac{5\,000\text{ W}}{110\text{ V}}$$

$$I_{\text{公共}} = I_1 + I_2$$

$$P_{\text{自耦}} = (U_1 + U_2)I_1 = U_2 I_{\text{公共}} = \frac{3}{2} \times 5\,000\text{ W}$$

$$P_{\text{磁}} = U_2 I_2 = 5\,000\text{ W}$$

电联系所传递的功率为

$$U_2 I_1 = 110\text{ V} \times \frac{5\,000\text{ W}}{220\text{ V}} = 2\,500\text{ W}$$

3 单相双绕组变压器与自耦变压器的优缺点

当降压自耦变压器与普通双绕组降压变压器输出电流相同时,普通变压器的输出电流等于副线圈电流,而自耦变压器输出电流大于绕组上的电流,即绕制自耦变压器绕组的导线比普通双绕组变压器的导线更细.同理,当升压自耦变压器与普通双绕组升压变压器输入电流相同时,自耦变压器的线圈导线更细.把双绕组变压器改为自耦变压器,传输的功率更大,多出来的那部分功率是因为电的联系而传导过来的,不需要额外的铁芯和绕组.也就是说,传输功率相同的自耦变压器和普通双绕组变压器比较,自耦变压器体积一定更小.用料一定更节省.体积小,重量轻,占地面积小,制作成本低且便于运输.那自耦变压器有哪些缺点呢?因为自耦变压器的原副线圈之间有直接电的联系,当高压侧过电压就会引起低压侧严重过电压,同时还有跨级漏电的危险,所以自耦变压器是绝对不能用于充当安全隔离变压器的.

4 自耦变压器与滑动变阻器在电流 电压 功率分配方面的联系与区别

二者的联系:负载方电压低于输入电压.滑动变阻器按电阻串并联分配电压,自耦变压器按线圈匝

数分配电压,两者的元件符号有类似之处.

二者的区别:

(1) 滑动变阻器用于直流电路,按电阻串并联关系分配电压、电流、电功率,而自耦变压器按磁耦合的法拉第电磁感应定律分配电压、电流、电功率.

(2) 如图 5 所示,滑动变阻器的输入端电压、电流一定大于输出端电压、电流.而单相降压自耦变压器的输入端电压一定高于输出端电压,但输入端电流一定低于输出端(公共端)电流;单相升压自耦变压器的输入端电压一定低于输出端电压,但输入端电流一定大于输出端(公共端)电流.

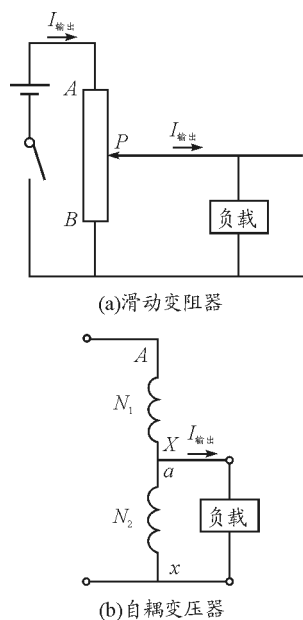


图 5 自耦变压器与滑动变阻器区别探究

(3) 滑动变阻器的输入端电压不能小于输出端电压,但自耦变压器既可以降压,还可以升压.

(4) 滑动变阻器在传递电压、电流的过程中,自身电阻不可避免地消耗电功率.例如图 5 中,滑动变阻器的 AP 部分和 PB 部分都承受了不同的电压和电流,消耗了电功率.但理想自耦变压器在传递功率的过程中不消耗任何电功率.实际自耦变压器考虑铜损、铁损、磁损下会有一定的功率损失,但相对于实际传输的功率而言,这部分损耗比较小.

参考文献

- 1 宋慧欣,王翠娟.普通双绕组变压器改接成自耦变压器的研究[J].硅谷,2011(13):71