

Optimum Operating Conditions and Parameter Establishment of Single Phase Capacitor Run Motor

Shengqing Cai, Yaya Hu, Fuyuan Shan, Jinyan Ma

College of Electric Power, Yinchuan Energy Institute, Yinchuan
Email: xiaoxijuhao@126.com

Received: Oct. 9th, 2014; revised: Oct. 21st, 2014; accepted: Oct. 31st, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Single-phase asynchronous motor can be used with only a single phase power. So it can be used easily. Single phase capacitor run motor is paralleled on the single-phase power in which the main winding and the auxiliary winding concatenate capacitance. If we can allocate the capacitance value rationally, it can not only improve the start performance of motor and the running efficiency, but also increase the power factor of the motor. From this point, the numerical value of reasonable capacitance and effective turn ratio a which are gotten from deputy winding and primary winding can be deduced. This paper also analyzes the influence of the too large and too small value of capacitance on starting and running of the motor.

Keywords

Pulsating Magnetomotive, Ellipse Magnetomotive, Circle Magnetomotive, Turns Ratio A, Capacity C

单相电容运转电机的最佳运转条件及参数确立

蔡圣清, 胡娅娅, 闪福元, 马金燕

银川能源学院, 电力系, 银川
Email: xiaoxijuhao@126.com

收稿日期: 2014年10月9日; 修回日期: 2014年10月21日; 录用日期: 2014年10月31日

摘要

单相异步电动机只需要单相电网供电，所以使用方便。单相电容运转电机，由主绕组和副绕组串接电容后并联在单相电源上，如果能合理配置电容值的大小，就能够提高电机的启动性能和运行效率，也能够提高电机的功率因数。本文从这点出发，推导出合理电容值及与之串联的副绕组对主绕组的有效匝比 a 的取值，并分析电容过大和过小对电机启动和运行的影响。

关键词

脉振磁势，椭圆磁势，圆磁势，匝比 a ，电容 c

1. 引言

日常生活中，仅需要单相电源就能使用的电动机称为单相电动机，由于只需要单相电网供电，所以在工业、农业、交通以及家用电器等方面应用极为广泛，如电风扇、洗衣机、水泵等用到的电机。

单相电容电动机分为电容启动式电动机和电容运转式电动机，这两种电机都有两个绕组在空间上相隔 90° 电角度，其中串有电容器的绕组称为起动绕组，另一组未串有电容器的绕组称为运行绕组。为了使单相异步电动机兼有良好的启动和运行性能，启动绕组串的电容保持不断开运行状态。由于运行中定子两个绕组的电流共同在气隙中产生旋转磁场，故运行时谐波明显减少，整体波形可得到很好的改善。电容运转电机接线方式如图 1 所示。

怎样用单相电源来获得相位差为 90° 的两相电流通入在空间互隔 90° 电角度的两个绕组以获得旋转磁场，这是单相电机的关键，如图 1 所示，主副绕组并联在同一电源上。根据纯电感电压超前电流 90° ，纯电容电压滞后电流 90° ，由于并联，以电压为参考，适当选择电容值 C ，就有可能使两绕组电流 i_a 和 i_m 互差 90° 。

2. 单相绕组电动机的磁势

设单相电流 $i = \sqrt{2}I \cos \omega t$ 按正弦规律变化，沿着如图 2 所示方向流入定子线圈时，就会产生脉振磁势。设沿着电动机气隙圆周方向的空间坐标为 x ，并使此绕组的相轴 \vec{A} 经过坐标原点 ($x=0$) 处，这时气隙圆周空间分布基波磁势为：

$$f(x, t) = F \cos x \cos \omega t. \quad (1)$$

其中， F 为脉振磁势的幅值，位于相轴 \vec{A} 上； ω 为电流的角频率，为时间函数； x 为磁势的空间坐标[1]。

根据三角公式变换 $2 \cos A \cos B = \cos(A-B) \cos(A+B)$ ，得：

$$F(x, t) = \frac{F}{2} \cos(x - \omega t) + \frac{F}{2} \cos(x + \omega t) \quad (2)$$

其中， $f_f(x, t) = \frac{F}{2} \cos(x - \omega t)$ 为旋转正序磁势， $f_b(x, t) = \frac{F}{2} \cos(x + \omega t)$ 为旋转负序磁势，并设电机转子沿正序旋转[2]。如图 3 所示，它是一个幅值减半，速率相等，转向相反的脉振磁势，脉振磁势不具备启动和运行条件。

3. 两相绕组的磁势

假设在定子空间放置两套绕组 M 和 A，它们在空间相差 θ 角，分别流经电流 i_m 和 i_a ，设 i_a 在时间

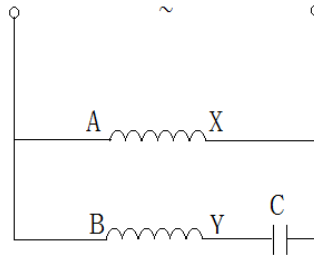


Figure 1. Capacitor winding connection mode
图 1. 电容运转电机接线方式图

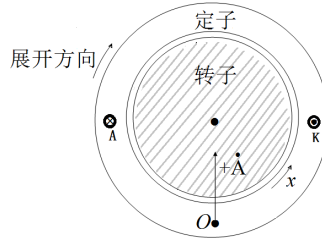


Figure 2. Single phase current schematic diagram
图 2. 单相电流示意图

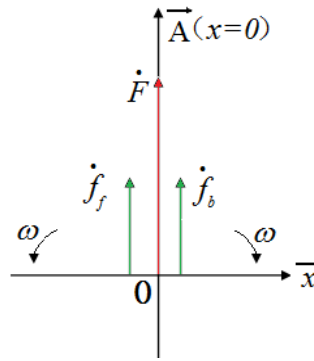


Figure 3. Pulsating magnetomotive
图 3. 脉振磁势

上超前 i_m 一个 φ 角[3], 如图 4 所示。

这样可以写出 A 绕组、M 绕组合成的基波磁势为:

$$f_a(x, t) = F_a \cos x \cos \omega t = \frac{F_a}{2} \cos(x - \omega t) + \frac{F_a}{2} \cos(x + \omega t) = f_{fa}(x, t) + f_{ba}(x, t) \quad (3)$$

其中, $f_{fa}(x, t) = \frac{F_a}{2} \cos(x - \omega t)$ 为 A 相绕组正序磁势; $f_{ba}(x, t) = \frac{F_a}{2} \cos(x + \omega t)$ 为 A 相绕组负序磁势。

同理对 M 绕组有:

$$\begin{aligned} f_m(x, t) &= F_m \cos(x - \theta) \cos(\omega t - \varphi) \\ &= \frac{F_m}{2} \cos[(x - \omega t) + (\varphi - \theta)] + \frac{F_m}{2} \cos[(x + \omega t) - (\varphi + \theta)] \\ &= f_{fm}(x, t) + f_{bm}(x, t) \end{aligned} \quad (4)$$

其中, $f_{fm}(x, t) = \frac{F_m}{2} \cos[(x - \omega t) + (\varphi - \theta)]$ 为 M 绕组正序磁势;

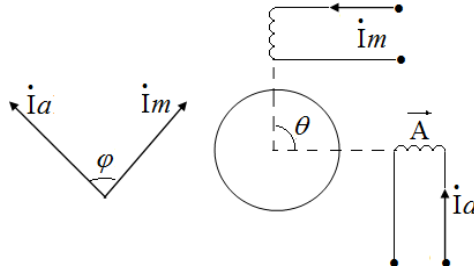


Figure 4. Two phase winding electric angle of space and time
图 4. 两相绕组空间和时间电角度

$f_{bm}(x,t) = \frac{F_m}{2} \cos[(x + \omega t) - (\varphi + \theta)]$ 为 M 绕组负序磁势[4]。

把 M 组和 A 组磁势合成：

$$\begin{aligned} f(x,t) &= f_a(x,t) + f_m(x,t) \\ &= f_{fa}(x,t) + f_{ba}(x,t) + f_{fm}(x,t) + f_{bm}(x,t) \\ &= [f_{fa}(x,t) + f_{fm}(x,t)] + [f_{ba}(x,t) + f_{bm}(x,t)] \\ &= f_f(x,t) + f_b(x,t) \end{aligned} \quad (5)$$

其中， $f_f(x,t) = f_{fa}(x,t) + f_{fm}(x,t) = \frac{F_a}{2} \cos(x - \omega t) + \frac{F_m}{2} \cos[(x - \omega t) + (\varphi - \theta)]$ 为两绕组的合成正序磁势；

$f_b(x,t) = f_{ba}(x,t) + f_{bm}(x,t) = \frac{F_a}{2} \cos(x - \omega t) + \frac{F_m}{2} \cos[(x + \omega t) - (\varphi + \theta)]$ 为两绕组的合成负序磁势。

假设 $f_f(x,t) \neq f_b(x,t)$ ，合成磁势是一个椭圆磁势，由于两磁势旋转相反，椭圆长轴为 $F_a + F_m$ ，短轴为 $F_a - F_m$ ，负序具有制动力，效率降低，绕组发热。

要使旋转效率高，无制动力，负序合成应为 0，具备的条件(圆形磁势)必须是 $F_a = F_m = F$ 和 $\theta + \varphi = 180^\circ$ 两个条件同时满足，缺一不可。

4. 对称运行磁势

要具备以上 $F_a = F_m = F$ 和 $\theta + \varphi = 180^\circ$ 的条件，如图 5 所示，首先设等效对称两相电机的主相电流为：

$$\dot{I}_m = A - jB \quad (6)$$

其中 A 是 I_m 实部， B 是 I_m 虚部；同时设主、副绕组分布相同或基本相同，则有：

$$X_{1a} = aX_1^2 (\Omega) \quad (7)$$

$$r_{1a} = ak_a r_1 (\Omega) \quad (8)$$

式中， X_{1a} 、 r_{1a} 为副绕组漏抗和电阻； X_1 、 r_1 为主绕组的漏抗和电阻； a 为副、主绕组有效匝数比； k_a 为主绕组导线截面 S_m / 副绕组导线截面 S_a 。

由图 6 可知，处于对称运行状态下电容电机矢量图得到如下关系[5] [6]：

$$\dot{I}_m = -ja\dot{I}_a \quad (9)$$

$$\dot{U}_m = \dot{E}_{1m} + \dot{I}_m (r_1 + jX_1) \quad (10)$$

$$\dot{U}_a = \dot{E}_{1a} + \dot{I}_a (r_{1a} + jX_{1a}) \quad (11)$$

$$\dot{E}_{1a} = ja\dot{E}_{1m} \quad (12)$$

$$\dot{U}_m = \dot{U}_a + \dot{U}_c \quad (13)$$

$$\dot{U}_c = \dot{I}_a Z_c = \dot{I}_a (R_c + jX_c) \quad (14)$$

(6)~(14)联立求出:

$$a = \frac{BU_m - K_a r_1 I_m^2 - \left(\frac{R_c}{a}\right) I_m^2}{AU_m - r_1 I_m^2} \quad (15)$$

$$X_c = \frac{aU_m - BR_c - aK_a Br_1 + a^2 Br_1}{A} \quad (16)$$

这就是电机对称运行产生圆形磁场的条件。进而求出电容 C 值。

$$C = \frac{10^6}{2\pi f X \varepsilon} (\mu\text{F}) \quad (17)$$

5. 结论

分析得出，圆形旋转磁势的启动能力和运转效率最高，如果忽略电机的铜耗和铁耗，以及摩擦力， $n = P_m / P_M \rightarrow 100\%$ ，因为无负序磁势，既无制动力，从电源吸收电磁功率几乎完全转化为电机轴功率。

1) 副绕组对主绕组的有效匝比 a 是一个重要参数，从以上公式可看出， a 的增加可意味着 C 值可以减小，但过高的 a 值会使电机转矩下降，电容启动电机选择 $a = 0.7 \sim 1.4$ ，电容运转电机一般选 $a = 1 \sim 2$ 。主、副绕组在几何分布上互成 $\theta = 90^\circ$ ，另确定 C 值使 $\varphi = 90^\circ$ ，这样符合 $\theta + \varphi = 180^\circ$ 电角， $I_m = aI_a$ 是为了使 $F_a = F_m$ 。

2) 如果启动绕组是按长期工作设计，启动电容也是按长期工作设计，按前面分析，如果选取的电容 $C_{st} > C$ 时，启动转矩较大，启动性能较好，但正常运行后，旋转磁场的椭圆度较大，即负序转矩较大，则必然引起效率降低。同理，如果 $C_{st} < C$ 时，启动性能变差，但运行时的效率提高。如何解决这个矛盾，既想得到较好的启动性能，又想在正常工作时形成近似圆形旋转磁场，那么可以把与启动绕组串联的电容采用两个电容并联方式，如图 7 所示。

启动时，两个电容 C 和 C_{st} 并联，启动转矩较大，当转速达额定转速的 75% 时，离心开关把 C_{st} 切除，使电机建立的磁场是近似的圆形旋转磁场，这些措施既可以获得较高的启动性能，同时也能获得较好的

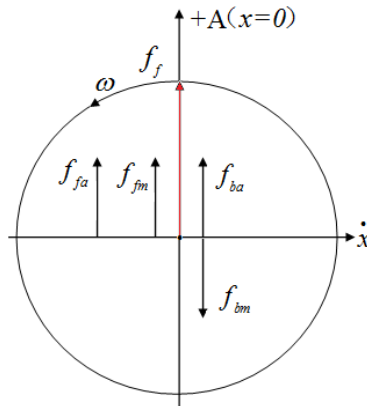


Figure 5. Circle magnetomotive 0 negative sequence
图 5. 负序为 0 的圆形磁势

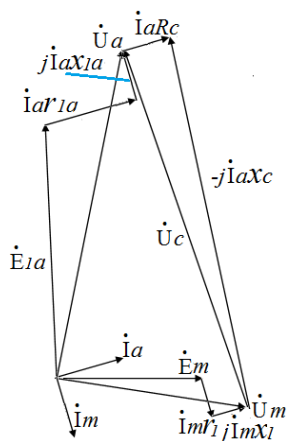


Figure 6. Two phase winding vector diagram
图 6. 二绕组矢量图

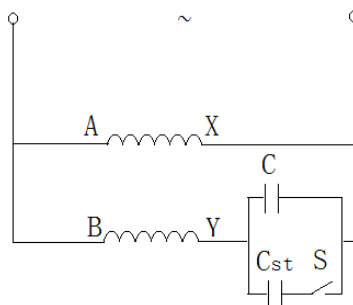


Figure 7. Single phase capacitor start and asynchronous motor rotation
图 7. 单相电容启动与旋转异步电动机

运行性能。

参考文献 (References)

- [1] 汤宗武 (1985) 单相异步电动机. 浙江科学技术出版社, 杭州, 9-11.
- [2] 李发海, 朱东起 (2007) 电机学. 科学出版社, 北京, 201-213.
- [3] 郭木森, 黄元梅, 黄经武 (1999) 电机学. 第三版, 高等教育出版社, 北京, 328-340.
- [4] 崔建明 (1999) 三相异步电动机单相运行特性分析. 太原理工大学学报, 6, 623-625.
- [5] 吴新振, 徐世广 (1993) 单相异步电机最大转矩计算. 电机技术, 3, 10-12.
- [6] 开封市第三电机厂 (1975) 农用电动机维修. 机械工业出版社, 开封, 75.