

# 基于 $\pi$ 型精确等效电路的三相异步电动机 电磁计算程序改进及其探讨

重庆大学电气工程学院 (400044) 王亚峰 韩力 谭春宇

**摘要** 本文分析了三相异步电动机精确等效电路和简化等效电路在设计计算中的主要区别, 推导了所需公式, 通过VB编程和算例, 验证了方法的可行性和公式的正确性, 并对有关问题进行了探讨。

**叙词** 三相异步电动机 电磁设计 等效电路

## 1 引言

如何快速准确地设计出满足性能指标要求的中小型三相异步电动机, 减少由于设计误差带来的附加成本, 一直为电机制造行业所关注。以前由于计算手段不够先进, 三相异步电动机的设计程序都以简化等效电路为基础, 对复杂电路计算简化处理。随着计算方法和计算技术的发展, 将精确等效电路应用于三相异步电动机的电磁设计已完全可行。本文通过简化等效电路和精确等效电路的分析对比, 在文献<sup>[1]</sup>的基础上, 推导了所需的设计公式, 将改进后的电磁设计程序用VB (Visual Basic) 语言编程实现。通过计算结果对比, 说明了方法的可行性和公式的正确性, 最后对开发过程中的相关问题进行了探讨。

## 2 设计程序的改进思路及相关公式

三相异步电动机T型等效电路以及用于设计的 $\Gamma$ 型等效电路<sup>[2]</sup>如图1和图2所示。图3为 $\pi$ 型等效电路<sup>[1]</sup>(转差率 $s$ 包含在参数 $R_{22}^*$ 中)。

《电机技术》2003 (2)

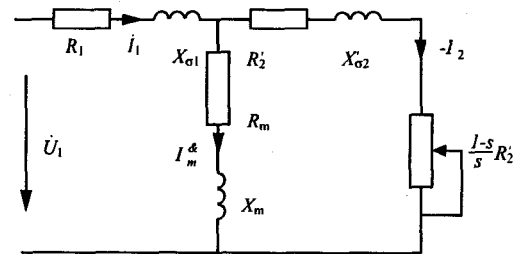


图1 T型等效电路

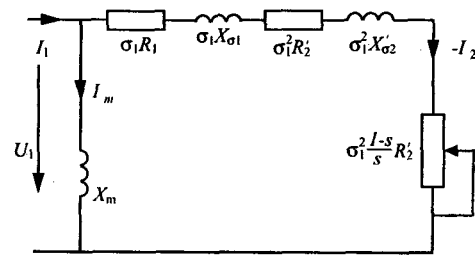


图2  $\Gamma$ 型等效电路

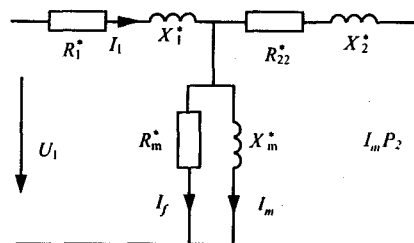


图3  $\pi$ 型等效电路

等效电路和 $\Pi$ 型等效电路都为精确等效电路。 $\Gamma$ 型等效电路则为简化等效电路, 在励磁支路中略去了定子电阻 $R_1$ 、定子漏电抗 $X_{\sigma 1}$ 和励磁电阻 $R_m$ , 并近似认为 $-\frac{P_2}{\sigma_1} = -P_2$ , 简化了 $\sigma_1$ 及 $\sigma_1^2$ 的计算,

这样，励磁支路全为无功电流，定子有功电流等于转子有功电流，从而在电磁设计过程中避开了由于转差率 $s$ 未知而造成的计算困难，由效率作为迭代量判断校核是否完成。所以，它只能校核额定工况下的指标；而精确等效电路可以先确定电路中各个参数来求解电路，以 $s$ 为迭代量，以输出功率为判据来校核。这是采用两种不同电路计算的主要区别。采用精确等效电路时需要确定励磁电阻，可以根据其物理意义通过铁耗来求取。同时，由于考虑了定子压降，励磁电抗的计算由原来的 $1/I_m^*$ 变为 $(1-\varepsilon)/I_m^*$ 。对于 $\pi$ 型等效电路，本文推导其相关计算公式：

$$R_{22}^* = \begin{cases} (1+P_{\text{fea}0}^*) R_2^*/s_0 & (\text{空载}) \\ (1+P_{\text{fea}1}^*+P_s^*) R_2^*/s_0 & (\text{负载}) \end{cases} \quad (1)$$

其中， $P_{\text{fea}0}^*$ 和 $P_{\text{fea}1}^*$ 分别空载和负载时的附加铁耗， $P_s^*$ 为负载时杂数损耗。

$$\text{令：} a_1 = R_m^* R_{22}^* - X_m^* X_2^* \quad (2)$$

$$a_2 = R_{22}^* X_m^* + R_m^* X_2^* + R_m^* X_m^* \quad (3)$$

$$a_3 = R_1^* R_m^* R_{22}^* - R_m^* X_m^* X_2^* - R_m^* X_m^* X_1^* - R_1^* X_m^* X_2^* \quad (4)$$

$$a_4 = R_m^* R_{22}^* X_m^* + R_1^* R_m^* X_m^* + R_1^* R_{22}^* X_m^* + R_1^* R_m^* X_2^* + R_m^* R_{22}^* X_1^* - X_1^* X_m^* X_2^* \quad (5)$$

则电势系数：

$$1 - \varepsilon = \frac{\sqrt{(R_m^* R_{22}^* X_m^*)^2 + (R_m^* X_m^* X_2^*)^2}}{\sqrt{a_3^2 + a_4^2}} \quad (6)$$

$$\text{定子电流：} I_1^* = \frac{\sqrt{a_1^2 + a_2^2}}{\sqrt{a_3^2 + a_4^2}} \quad (7)$$

$$\text{定子电流有功分量：} I_{1r}^* = \frac{a_1 a_3 + a_2 a_4}{a_3^2 + a_4^2} \quad (8)$$

$$\text{转子电流：} I_2^* = \frac{1 - \varepsilon}{\sqrt{(R_{22}^*)^2 + (X_2^*)^2}} \quad (9)$$

### 3 程序框图

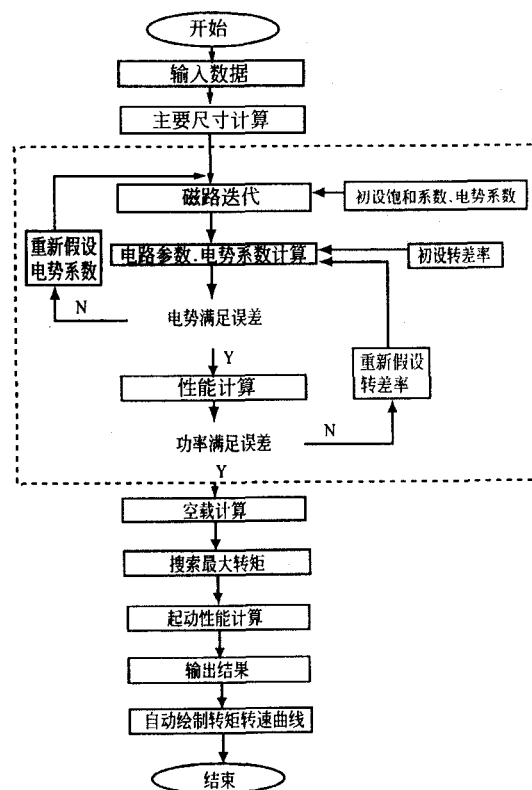


图4 程序框图

### 4 基于VB语言的软件编制及算例验证

基于以上思路和推导的公式，用VB语言编写了 $\pi$ 型精确等效电路的三相异步电动机电磁设计程序，并以一台Y160M-4为例进行了计算。下表和用 $\Gamma$ 型等效电路计算的结果，试验值和规定值进行了比较（ $\Gamma$ 型等效电路未计算最大转差 $S_m$ ）。

文献<sup>[4]</sup>讨论了异步电动机准确数学模型及其仿真，但其结果中没有试验数据。从表中可以看出，采用 $\pi$ 型等效电路比采用 $\Gamma$ 型等效电路的计算结果更接近试验值，从而说明本方法的可行性和推导公式的正确性。而采用 $\pi$ 型等效电路，对应于任一转差率 $s$ ，电路参数都可唯一确定下来，从而使得计算任一转差下的性能成为可能，这样结合VB语言的绘图功能可以方便地实现转矩-转速曲线的自动绘制。

表 计算结果对比

	效率	功率因数	最大转矩倍数	起动电流倍数	起动转矩倍数	S <sub>n</sub>	S <sub>m</sub>
规定值	0.85	0.74	2	6	2	-	-
试验值	0.8943	0.8534	-	6.28	1.87	0.0248	-
Γ型等效电路	0.8977	0.8528	2.4252	7.0303	2.5532	0.0226	-
π型等效电路	0.8937	0.8554	3.1001	6.4181	2.0269	0.0238	0.2449
Γ型电路相对误差	0.38%	0.07%	-	11.9590	36.53%	8.87%	-
π型电路相对误差	0.07%	0.23%	-	0.2090	7.74%	4.03%	-

注：相对误差以试验值为基准。

## 5 相关问题的探讨

5.1 基本铁耗的计算, 笔者认为基本铁耗应为:

$$P_{fed}=1.8P_{fet}+k_a P_{fej}=1.8P_{het}G_t+k_a P_{hej}G_t \quad (10)$$

(容量小于 100kVA,  $k_a=1.5$ , 否则  $k_a=1.3$ ) 而附加铁耗:

$$P_{fca}=P_{fc} - P_{feb}=k_1 P_{fet}+k_2 P_{fej} - P_{feb} \quad (11)$$

(半闭口槽时,  $k_1=2.5$ ,  $k_2=2$ ; 开口槽时,  $k_1=3$ ,  $k_2=2.5$ )

5.2 计算最大转矩时, 由于每开始计算一个新  $s$  下的性能时, 都需要分别确定一个定子电流和附加铁耗作为初始假设值, 对此, 笔者采用了

$$I_{1s}=(I_{1s1}+I_{1s2})/2 \quad (12)$$

$$P_{fca}=(P_{feas1}+P_{feas2})/2 \quad (13)$$

来处理。另外, 计算每个  $s$  下的性能时, 都是先根据初步参数和等效电路计算出初步电势系数和初步定子电流, 再重新进行磁路和参数计算, 然后根据新的参数, 由电路解出电势系数和定子电流, 并将电势系数作为判据与前次比较, 经过多次循环, 最后确定该  $s$  下的性能指标。

5.3 参考文献<sup>[1]</sup>中, 关于励磁电抗的  $X_m^*$  的计算, 是先假设一个值, 再将假设值与计算值平均。笔

者认为, 直接用  $X_m^*=(1-\epsilon)/I_m^*$  计算方法更为简单。在上例中, 用此法计算得  $X_m^*=2.06410$ , 而用文献<sup>[1]</sup>中方法计算得  $X_m^*=2.06407$ , 两者几乎完全一致, 对其它参数或性能也没有影响。

5.4 π型等效电路中的  $R_m^*$  并不是铁耗的等效电阻, 出现在并联支路中, 与 T型精确等效电路中的  $R_m^*$  数值上相差甚远。

## 6 结束语

本文通过分析和公式推导, 用 VB 将 π型精确等效电路应用于三相异步电动机的电磁设计。结果表明, 采用 π型精确等效电路比采用 Γ型简化等效电路精度更高、更符合实际值。本文的探讨工作希望能推动该技术的应用。

### 参考文献

- 陈伟华, 黄国治, 基于精确等效电路的异步电机第二版电磁计算程序. 中小型电机. 1992.No.1
- 陈世坤, 电机设计 (第二版), 机械工业出版社, 1997
- 陈伟华等, 电磁计算程序 (第二版) 最大转矩、起动性能计算. 中小型电机. 1992.6.
- 黄开胜等, 异步电动机准确数学模型及仿真, 中小型电机, 2001.4 (收稿日期: 2002-09-24)

第一作者 王亚峰 男 1976年生 硕士

\*\*\*  
**· 欢迎订阅本刊 · 欢迎惠赐佳作 ·**  
**· 欢迎刊登广告 · 欢迎技术咨询 ·**  
 \*\*\*