

文章编号: 1009-1130(2006)01-0042-03

工业型臭氧发生器的电能损耗分析

王振绪, 朱天宇, 李永梅, 杨年浩, 杨少霞

(河海大学 机电工程学院, 江苏 常州 213022)

摘要: 为研究影响臭氧发生过程中电能消耗的主要因素, 对臭氧发生系统中主要部分电能的损耗进行了分析, 通过对 1 000 g/h 臭氧发生器的计算, 认为臭氧发生管是主要的电能损耗源, 所耗电能占总电能的 76%。计算得出的一些数据可为提高臭氧发生器电能利用率和臭氧产量提供参考依据。

关键词: 臭氧发生器; 电能损耗; 损耗分析

中图分类号: TQ123.2; TM835 文献标识码: A

臭氧发生技术经过 30 多年的产业化发展, 在各个领域已得到了广泛应用。目前采用的介质阻挡放电 (dielectric barrier discharge, DBD) 方法已经成为工业上获取臭氧气体的主要方法。臭氧发生技术现已趋向成熟, 如何进一步提高臭氧发生器总的电能利用率和臭氧产量也已成为今后研究的主要课题。本文中作者对臭氧发生系统中主要的电能损失进行了分析, 为现有的臭氧发生器向高效率、高产量方向发展提供参考依据。

大中型工业臭氧发生器的主要电能损耗包括: 主逆变电路中绝缘栅双极晶体管 IGBT 的导通损耗和开关损耗、高压升压变压器的损耗、臭氧发生管的放电损耗、冷却系统的电能损耗等, 此外还有由传感器、电磁阀、风机、散热片、取样电阻等引起的次要损耗。

1 逆变主电路的 IGBT 损耗

现有的工业型臭氧发生设备采用中高频开关电源对臭氧发生管放电, 在其逆变电路中, 4 个绝缘栅双极晶体管(IGBT) 轮流导通将直流电逆变成交流电^[1]。IGBT 管在导通、关断和开通过程中都会产生大量的电能损耗。臭氧发生器全桥逆变中 IGBT 的损耗可依据厂家提供的特性参数, 采用线性化方法来计算。

1.1 IGBT 导通损耗

依据线性化方法, 假定电流为正弦信号, 在采用正弦调制器信号时, IGBT 导通损耗 P_d 及其反向续流二极管损耗 P_i 分别为^[2]:

$$P_d = \left[\frac{1}{8} - \frac{M}{3} \right] \frac{U_{CEN} - U_{FO}}{I_{CN}} I_{CM}^2 + \left[\frac{1}{2} - \frac{M}{8} \cos \right] \times U_{FO} I_{CM} \quad (1)$$

$$P_i = \left[\frac{1}{8} + \frac{M}{3} \right] \frac{U_{CEN} - U_{CEO}}{I_{CN}} I_{CM}^2 + \left[\frac{1}{2} + \frac{M}{8} \cos \right] \times U_{CEO} I_{CM} \quad (2)$$

式中: U_{CEN} 为额定电流下的额定电压, V; U_{FO} 为 IGBT 门槛电压, V; I_{CM} 为开通电流峰值, A; I_{CN} 为 IGBT 额定电流, A; M 为调制度; U_{CEO} 为 IGBT 集射极压降, V; θ 为电压与电流相位角。

1.2 IGBT 开通和关断损耗

依据上述 IGBT 导通损耗的计算方法, 将 IGBT 理想化, 可以得出 IGBT 的开通损耗 P_{on} 和关断损耗 P_{off} ^[2]:

$$P_{on} = f \left(\frac{0.8}{4} + \frac{0.6 I_{CM}}{8 I_{CN}} \right) U_{CC} t_{rN} I_{CM} \quad (3)$$

$$P_{off} = U_{CC} I_{CM} t_{fN} f \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{24} \frac{I_{CM}}{I_{CN}} \right) \quad (4)$$

收稿日期: 2005-06-13

作者简介: 王振绪(1981-), 男, 山东泰安人, 硕士研究生, 机械电子工程专业。

式中: f 为开关频率, Hz; t_{rN} 为 IGBT 额定电流下的额定上升时间, ns; U_{CC} 为 IGBT 管工作电压有效值, V; t_{fN} 为 IGBT 额定电流下的额定下降时间, ns.

因此, 逆变主电路中 1 个 IGBT 的电能损耗为:

$$P_1 = P_d + P_i + P_{on} + P_{off}$$

2 高压升压变压器的损耗

变压器的损耗包括铁芯中的铁损 P_{Fe} 和绕组上的铜损 P_{Cu} 两部分.

铁损 P_{Fe} 包括磁滞损耗 P_h 和涡流损耗 P_e ^[3]. 对于中高频臭氧发生器, 所用变压器的磁芯为铁氧体材料, 因此, 铁损计算公式为^[3]:

$$P_{Fe} = m \quad (5)$$

式中: m 为变压器铁芯质量, kg; ρ 为铁氧体的铁损密度, W/kg.

铜损 P_{Cu} 主要是由绕组的直流电阻引起的, 其计算公式为^[3]:

$$P_{Cu} = I^2 R \quad (6)$$

式中: I 为绕组电流的有效值, A; R 为绕组的电阻, Ω .

因此高压升压变压器总的损耗为:

$$P_2 = P_{Fe} + P_{Cu} \quad (7)$$

3 臭氧发生管的放电损耗

典型的介质阻挡放电臭氧发生器是电能在电晕内耗散, 在放电过程中, 一方面存在介质损耗, 另一方面由于生成臭氧的反应是可逆反应, 臭氧在高温下易分解, 因此放电能量用于产生臭氧的比例很少, 即存在较大的损耗, 理论上臭氧生成的能耗为 $0.82 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{kgO}_3$. 如果用氧气源制造质量分数为 21% 的臭氧, 其能耗为 $7 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{kgO}_3$, 电晕功率中只有 12% 用于产生臭氧, 其余则以热量等形式损耗掉; 如果使用空气源产生质量分数为 21% 的臭氧, 其能耗为 $15.5 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{kgO}_3$, 电晕功率的 95% 以热量等形式损耗掉^[4], 所以总的电能利用率很低.

3.1 臭氧产生的理论电能损耗

根据臭氧产生的反应方程式^[4]: $3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{O}_3 - 289 \text{ kJ}$, 可得理论耗电 $1 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 可生成 1220 g 臭氧, 即臭氧电耗约为 $0.82 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{kgO}_3$. 给定臭氧的产量 $Q(\text{kg}/\text{h})$ 可算得产生这些臭氧理论消耗的电能 $P_{cs}(W)$, 即:

$$P_{cs} = 820 Q \quad (8)$$

3.2 臭氧发生管放电室内电晕放电的功率

臭氧发生管放电室内的电晕放电功率公式为^[5]:

$$P_g = 4C_d U_s f \left(U_o - \frac{C_d + C_g}{C_d} U_s \right) \quad (9)$$

式中: U_o 为外加驱动峰值电压, V; U_s 为间隙间的电晕起始峰值电压, V; P_g 为电晕元件放电功率, W; C_d 为介电体电容, F; C_g 为放电间隙电容, F; f 为外加驱动电压频率, 即开关频率, Hz.

因此, 臭氧发生管的实际放电功率损耗为:

$$P_3 = P_g - P_{cs} \quad (10)$$

4 冷却系统的电能损耗

很多较高功率的臭氧发生管为了抑制产生臭氧的高温分解常采用油水双路冷却, 所以冷却油路的驱动油泵的电能消耗也是总电能损耗的一部分. 泵的输入功率 P_4 计算公式为^[6]:

$$P_4 = \frac{\rho_1 q_m \Delta p_1}{\eta} / 3600 \quad (11)$$

式中: Δp_1 为油泵输入输出前后的压差, MPa; η 为油泵的效率; q_m 为泵的体积流量, m^3/h .

5 实例分析

以 $1000 \text{ g}/\text{h}$ 的臭氧发生器为例, 其高压逆变电路采用的 IGBT 型号为 SKM150GB123D, 臭氧发生管

为双放电气隙、双路冷却、20根管并联,高压升压变压器采用UU120锰锌铁氧体。

a. IGBT损耗计算. 根据式(1)、(2)、(3)、(4), 由 $M=1$, $U_{CEN}=3\text{ V}$, $U_{FO}=0.7\text{ V}$, $U_{CEO}=1\text{ V}$, $I_{CM}=130\text{ A}$, $I_{CN}=70\text{ A}$, $\theta=0^\circ$; $f=1\ 100\text{ Hz}$, $U_{CC}=350\text{ V}$, $t_{rn}=100\text{ ns}$, $t_{fn}=80\text{ ns}$, 可得单个IGBT的损耗 P_1 为 155.64 W . 由于在逆变电路中总是2个IGBT同时导通和关断, 所以IGBT的总损耗功率 $2 \times 155.64 = 311.28\text{ W}$.

b. 变压器损耗计算. $1\ 000\text{ g/h}$ 臭氧发生器的变压器采用锰锌铁氧体UU120, 采用每组4只对绕、6组并联的绕法, 初级43匝, 线径6.04 mm, 次级1376匝, 线径1.1 mm. 依据绕法及铁芯结构可以求得初、次级绕线的长度分别为8.686 m和277.952 m. 初、次级线圈绕组电阻率均为 $1.724 \times 10^{-6}\ \Omega \cdot \text{cm}$, 而其电阻分别为5.2 Ω 和5.045 Ω , 电流分别为70 A和2.18 A, 依式(6)可得 $P_{cu1}=25.63\text{ W}$, $P_{cu2}=23.98\text{ W}$, 所以铜损 $P_{cu}=P_{cu1}+P_{cu2}=49.61\text{ W}$.

由UU120的特性参数表可得所用变压器的铁芯质量 $m=39\text{ kg}$, 铁损密度 $\rho=1.3\text{ W/kg}$, 因此铁损 $P_{Fe}=50.7\text{ W}$. 所以变压器损耗 $P_2=49.61+50.7=100.31\text{ W}$.

c. 臭氧发生管损耗计算. 以 $C_d=3\ 149\text{ pF}$, $C_g=717\text{ pF}$, $U_s=12.7 \times 10^3\text{ V}$, $f=1\ 100\text{ Hz}$ 代入公式(9), 可得单根臭氧发生管放电功率为 $P_g=776\text{ W}$. 由于所给臭氧发生器为20根并联运行, 所以总放电功率为 $20 \times 776 = 15\ 520\text{ W}$; 而每小时产生1 kg臭氧的理论能量消耗为820 W, 所以臭氧发生管电晕放电能量损耗 $P_3=15\ 520 - 820 = 14\ 700\text{ W}$.

d. 冷却油泵的能耗计算. 将 $\eta=0.8$, $q_m=3.6\text{ m}^3/\text{h}$, $p_1=0.2\text{ MPa}$ 代入式(11), 可得冷却油泵消耗的功率约为160 W.

e. 各部分损耗比例分析. 对所给的 $1\ 000\text{ g/h}$ 臭氧发生系统, 测得实际输入电压 $U=372\text{ V}$, 电流 $I=32.9\text{ A}$, 实际臭氧产量为 $1\ 074\text{ g/h}$. 依据输入有功功率公式 $P_0=\sqrt{3}UI\cos\phi$ ($\cos\phi$ 为电路输入功率因数, 取0.975), 可算得当臭氧产量为 $1\ 000\text{ g/h}$ 时所需的总输入功率为:

$$P=1\ 000/1\ 074P_0=1\ 000\sqrt{3} \times 372 \times 32.9 \times 0.975/1\ 074=19\ 244.20\text{ W}$$

因此, IGBT损耗、变压器损耗、臭氧发生管损耗和冷却油泵的能耗分别占总功率的1.62%、0.52%、76.39%和0.83%, 其余16.83%为取样电阻、电气控制的电磁阀、传感器的损耗及一些未知的电能损耗.

由上述分析可知, 在臭氧发生过程中臭氧发生管的电晕放电损耗是能量损耗的主要部分, 因此减少臭氧发生管的能量损耗, 提高臭氧发生管的效率, 对提高整个臭氧发生器的电能利用率具有决定性的作用.

6 结束语

结合 $1\ 000\text{ g/h}$ 臭氧发生器, 对整个系统在臭氧发生过程中的主要电能损耗进行了分析, 结果表明, 臭氧发生管电晕放电损耗是整个臭氧发生过程中能量损耗的主体, 约占76%, 电路部分和冷却部分的能耗之和只约占3%. 因此只要选择适当的影响臭氧发生管放电损耗的参数, 就可能在很大程度上提高整个臭氧发生器的电能利用率. 除了已经分析的这些能量损耗外, 尚有约16%的能耗去向未确定, 这其中有一部分能量由其他未知的形式损耗掉, 另一部分则是由给定的已知参数值和实测数据的误差引起的.

参考文献:

- [1] 张同飞, 朱天宇, 卞新高, 等. SCALE集成驱动器在臭氧发生器逆变电源中的应用[J]. 河海大学常州分校学报, 2004, 18(4): 22-26.
- [2] 谢勤岚, 陈红. PWM逆变器中IGBT的损耗计算[J]. 中南民族大学学报, 2003(1): 39-41.
- [3] 周顺荣. 电机学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [4] 储金宇, 吴春笃, 陈万真, 等. 臭氧技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [5] 魏旭, 刘虹. 提高臭氧发生器放电室效率的研究[J]. 电工电能新技术, 1997(6): 46-48.
- [6] 贾铭新. 液压传动与控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.

(下转第52页)

4 结束语

OPC 规范正成为工控界普遍接受的工业标准,支持 OPC 规范的工控组态软件越来越多,但是 OPC 数据访问服务器的开发却相当繁琐,需要同时熟悉 COM 的编程机制和 OPC 的具体规范,有一定的难度;而本文提供的在 Delphi 编程环境下实现 OPC 数据访问服务器的详细步骤,在 OPC 数据访问服务器程序中除硬件驱动程序外其他程序基本上是通用的,具有一定示范作用,如在为不同的专用设备开发 OPC 数据访问服务器时,只需修改其中的硬件驱动程序,不但提高了代码的重用率,而且缩短了开发时间,节省了人力物力。

参考文献:

- [1] 阳宪惠, 邱丽清, 冯大为. OPC 技术及其对工控系统开放性的影响[J]. 工业控制计算机, 2001, 14(9): 31-34.
- [2] 庞彦斌, 恭飞. OPC Server 开发要点[J]. 仪器仪表学报, 2001, 22(3): 497-500.
- [3] 潘爱民. COM 原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [4] OPC Foundation. OPC data access custom interface specification version 3.0[EB/OL]. <http://www.opcfoundation.org>, 2003.
- [5] 迟志先, 高永强, 张春涛. Delphi 6.0 开发务实[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.

The Study and Implementation of Data Access Server Based on OPC

LU Xiao-chun, HUANG Jiao, OU Jie-yun

(College of Computer & Information Engineering, Hohai Univ., Changzhou 213022, China)

Abstract: Considering OPC is gradually accepted as an industrial communication standard for the interoperability between intelligent instruments, automation software and business information management system, this paper introduces the structure, development and application of OPC, describes the component objects and interfaces of data access server in detail, and presents the design process and key technique of data access server by using Delphi 7.0.

Key words: OPC; data access server; COM/DCOM

.....
(上接第 44 页)

Analysis of Power Consumption on Ozone Generator

WANG Zhen-xu, ZHU Tian-yu, LI Yong-mei, YANG Nian-hao, YANG Shao-xia

(College of Mechanical & Electrical Engineering, Hohai Univ., Changzhou 213022, China)

Abstract: To research the factors influencing the power loss of the ozone generator, this paper analyzes the main power loss in the generator. All data are based on the 1 000 g/h ozone generator. Calculation shows that ozone cell is the main source of power loss, which takes 76% of the total. Some data from calculation supplies us many references on improving the ozone generator's power efficiency and output.

Key words: ozone generator; power loss; loss analysis