

Research on Partial Discharge Characterization Information Extraction of High Voltage Electrical Equipment

Jinhe Zeng¹, Weidong Xu², Wenwen Zhou², Qingxian Diao¹

¹Guangdong Ziguang Electric Co., Ltd., Dongguan Guangdong

²School of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou Guangdong

Email: 3162362831@qq.com

Received: Nov. 1st, 2016; accepted: Nov. 26th, 2016; published: Dec. 2nd, 2016

Copyright © 2016 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

For the existing partial discharge mainly concentrated on the de-noising and identification researches, the partial discharge of the process of characterization information is rarely discussed. The problem of partial discharge representation information extraction is solved. There are 7 indicators extracted that the ratio of the number of positive and negative half cycles, the number of discharges, the ratio of the adjacent discharge amplitude and the interval between adjacent discharges. It is very important to study the mechanism of the partial discharges. Basing on the simulink platform builds up a partial discharge test circuit. Through the partial discharge waveform generated by the experiment, a variety of partial discharge characterization information is obtained. The mechanism of partial discharge is described in more detail. It provides the theoretical basis for the evaluation of the PD severity.

Keywords

Partial Discharge, Characterization Information, Simulink Simulation, Discharge Model

高压电气设备局部放电表征信息提取研究

曾锦河¹, 徐卫东², 周文文², 刁庆宪¹

¹广东紫光电气有限公司, 广东 东莞

²广东工业大学自动化学院, 广东 广州
Email: 3162362831@qq.com

收稿日期: 2016年11月1日; 录用日期: 2016年11月26日; 发布日期: 2016年12月2日

摘要

针对现有局部放电主要集中在去噪和识别研究, 对局部放电过程中产生的表征信息却鲜有探讨。解决局部放电表征信息提取的问题。提取出正负半周放电次数比值、放电次数、相邻放电幅值比值以及相邻放电时间间隔等7项指标, 通过检测表征信息可以反映出不同的局部放电状态, 对于研究局部放电严重程度有着重要作用。基于simulink平台搭建局部放电试验电路, 通过实验产生的局放波形, 提取出多种局放表征信息, 更加详尽地描述局部放电的发生机理, 为后续局部放电严重程度评估提供了理论基础。

关键词

局部放电, 表征信息, Simulink仿真, 放电模型

1. 引言

高压电气设备在长期运行过程中, 在绝缘部分局部有限范围内发生放电, 这种放电仅能使导体间发生局部短路现象[1] [2] [3], 使设备绝缘性能进一步恶化, 如果处置不及时很容易酿成重大绝缘事故[4]。局部放电是绝缘早期变化的综合现象[5], 含有丰富的表征信息, 通过对 PD 形成机理进行仿真分析, 可提取出局部放电信号的表征信息, 对进一步研究局放严重程度提供理论基础。然而, 现有对 PD 的研究主要集中在 PD 信号去噪[3] [4] [5]和识别[6] [7] [8] [9] [10]方面, 对高压绝缘设备内 PD 表征信息提取研究很少。为了及时掌握高压绝缘电气设备的绝缘状况, 确保设备的正常运行, PD 信号的表征信息研究也越来越受到科研人员的广泛关注。有必要开展对高压电气设备的局部放电表征信息研究。

当前, 国内外学者对局部放电进行过一系列的研究, 其中包含放电次数、放电幅值、放电相位等表征信息[11]-[17], 随着研究的深入, 发现正负半周放电次数比值、放电次数、相邻放电幅值比值以及放电能量等信息有一定的规律性, 这些表征信息与 PD 严重程度息息相关。由于目前对于局部放电表征信息的量化标准上还缺乏相关国标支持, 所以还有很大的改善空间, 为此, 本文以高压绝缘电气设备内部常见的典型绝缘缺陷(气隙放电)产生 PD 的发展过程进行了系统地仿真研究, 从不同 PD 严重程度下信号统计特征的差异性出发, 提取了 7 种 PD 信号表征信息, 研究表明表征信息间存在着一定规律性, 与局部放电严重程度息息相关。为 PD 严重程度的评估提供更加丰富可靠的特征信息以及理论基础。

2. 局部放电仿真研究

2.1. 仿真参数

图 1 所示为高压电气设备仿真实接线原理图, 具体仿真计算的参数如下: 外施高压交流电源 U_{ac} , $f = 50$ Hz; 保护电阻 $R = 10$ k Ω ; $L = 5$ mH, 用来检测回路的滤波器; 耦合电容 $C_k = 0.5 \times 10^{-9}$ F; Z_m 表示检测阻抗, 其中 $R_m = 50$ Ω , $C_m = 2 \times 10^{-12}$ F; $C_a = 7.36 \times 10^{-13}$ F, $R_k = 10^6$ Ω ; 气隙的等效电容 $C_c = 5.7 \times 10^{-14}$ pF; 用来模拟不同局放程度下电容值; 等效电容 $C_b = 3.7 \times 10^{-14}$ F; 气隙电阻 $R_1 = 2 \times 10^{10}$ Ω ; 气隙沿面绝缘电阻 $R_2 = 6 \times 10^{10}$ Ω ; 气隙沿面半导电化等效电阻 $R'_2 = 8 \times 10^5$ Ω ; 放电起始电压为 8.78 kV。

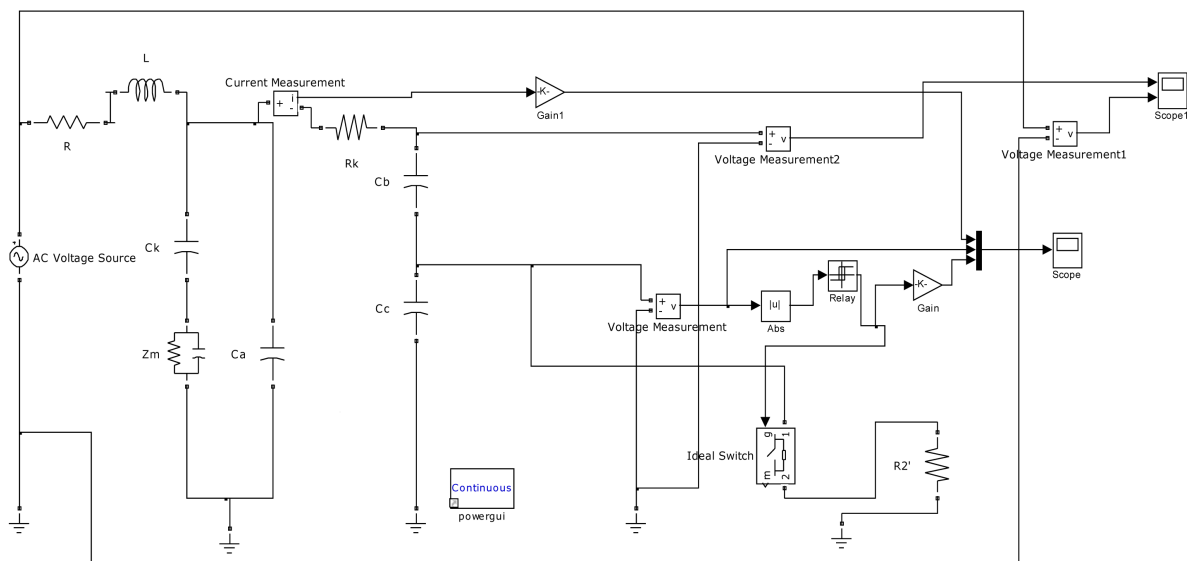


Figure 1. The simulation circuit schematics

图 1. 仿真电路原理图

当气隙两端电压达到气隙的放电起始电压时，局部放电开始发生，通过不断调节元器件参数可以得到如图 4 所示的波形。

2.2. 仿真方法

为了尽可能模拟出局部放电的不同严重程度，采用等差升压法[16]，来加速模拟缺陷的劣化，不但可以模拟绝缘缺陷下 PD 的发展过程，而且能在较短的时间内获得大量的实验数据。因此，本文选择采用等差升压法来研究高压开关柜内部气隙缺陷下的不同严重程度的 PD 过程。

仿真中所加的阶梯电压及其持续时间如图 2 所示。首先设定好各项参数以及初始电压，直至 PD 信号出现，测得起始放电电压为 8.78 kV，将仿真得出的气隙电压通过 FFT 模块转换成频域信号并用示波器显示出来。采集 30 个工频周期内的 PD 信号作为一个 PD 样本；每次电压设定的仿真时间为 3 秒并逐步提高电压，仿真发现，在 14.78 kV 下仿真波形接近击穿状态，因此，以 14.78 kV 下的 PD 信号作为绝缘缺陷击穿前的 PD 特征信号。

3. 局部放电等效电路

三电容模型

三电容模型利用电路的观点来看待局部放电现象，将固体绝缘材料内部含有气隙缺陷这一绝缘结构简化为电容网络，如图 3(a)所示。其中， C_c 为气隙电容， C_b 为与放电气隙串联的介质电容， C_a 为其他部分介质电容。

从图 3(b)中可知，经典局部放电模型是将气隙看成一个等效电容进行分析，因为气隙放电是瞬时完成的，放电时气隙电阻减少为半导电化电阻[12]，图 1 仿真电路采用理想开关进行控制，图中 Abs 模块用来求电压的绝对值，信号延迟器的作用是当气隙两端电压的绝对值大于气隙放电起始电压时产生一个高电平，用来模拟放电过程，小于气隙放电发生电压时产生一个低电平，放电截止。

图 4 是不同程度局部放电仿真波形，从仿真结果可知，放电初始阶段只有微弱的 PD 信号，随着局放程度的加重，局部放电放电电荷不断积累，当尖端两端随着外加电压 U_{ac} 增加到起始放电电压时，

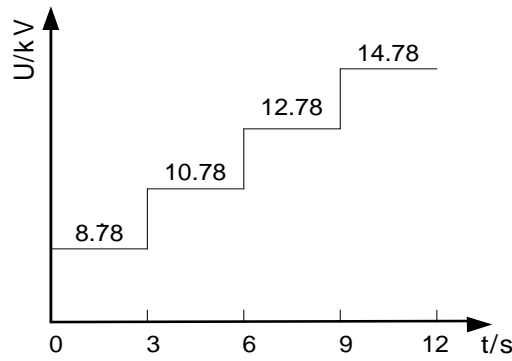


Figure 2. Equal difference of voltage and duration
图 2. 等差电压及其持续时间

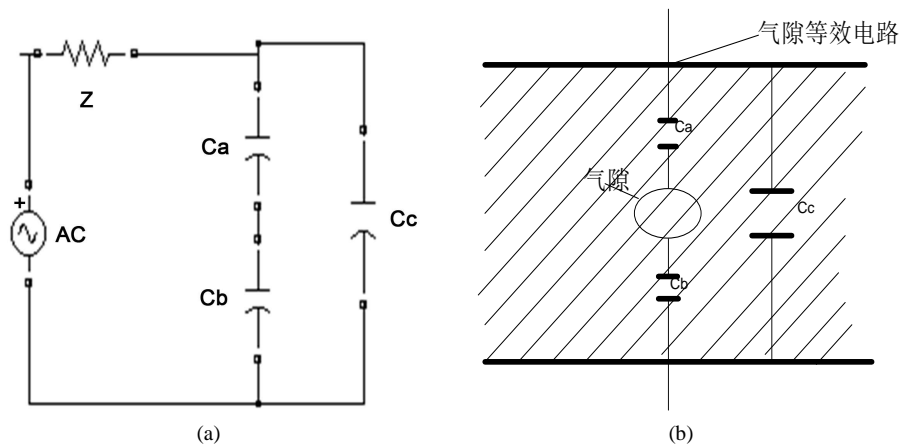


Figure 3. (a) Air gap equivalent circuit; (b) the actual air gap diagram
图 3. (a)气隙等效电路; (b)实际气隙图

尖端将产生 PD 信号，放电后尖端两端电压急剧下降，当下降到安全电压范围内，放电立即熄灭，但由于外加电压的持续增加，尖端两端又将重新增加到放电电压，便又开始了第二次放电，这样周而复始的在一个工频周期内会多次重复出现放电。等差施加气隙电压，放电次数会明显增加，放电强度也愈加强烈，仿真结果符合局部放电理论基础，对于后续提取局部放电表征信息有着十分重要的作用。

4. 局部放电表征信息提取

4.1. 放电谱图特性分析

本文共采集了不同放电阶段下的 30 个 PD 样本，每次仿真数据特征变化规律基本一致，为此选择其中一次样本进行分析。图 5 所示为不同放电阶段下的 PD 信号 φ -u 散点图和 φ -n 谱图。

从图 5 可知，当在局部放电初始阶段时，PD 信号首先出现在负半周上，正半周上只有微弱的 PD 信号，随着局部放电电荷的不断累积，在发展阶段下，正负半周内的放电脉冲幅值相较于刚开始时有了成倍数的增加，放电脉冲幅值达到了 10 mV 左右，虽然放电次数也在增加，但远小于负半周放电次数，且负半周放电脉冲的 φ -n 谱图向 180° 偏斜在电压波形负半周幅值位置附近；当局部放电在饱和阶段，对比发展放电阶段正半周放电次数成倍数的增长，但负半周放电次数有少量的增加，负半周的放电脉冲幅值没有明显增加，而正半周放电脉冲幅值增加较明显。在该放电阶段，正半周放电脉冲的 φ -n 谱图开始向 0° 偏斜。

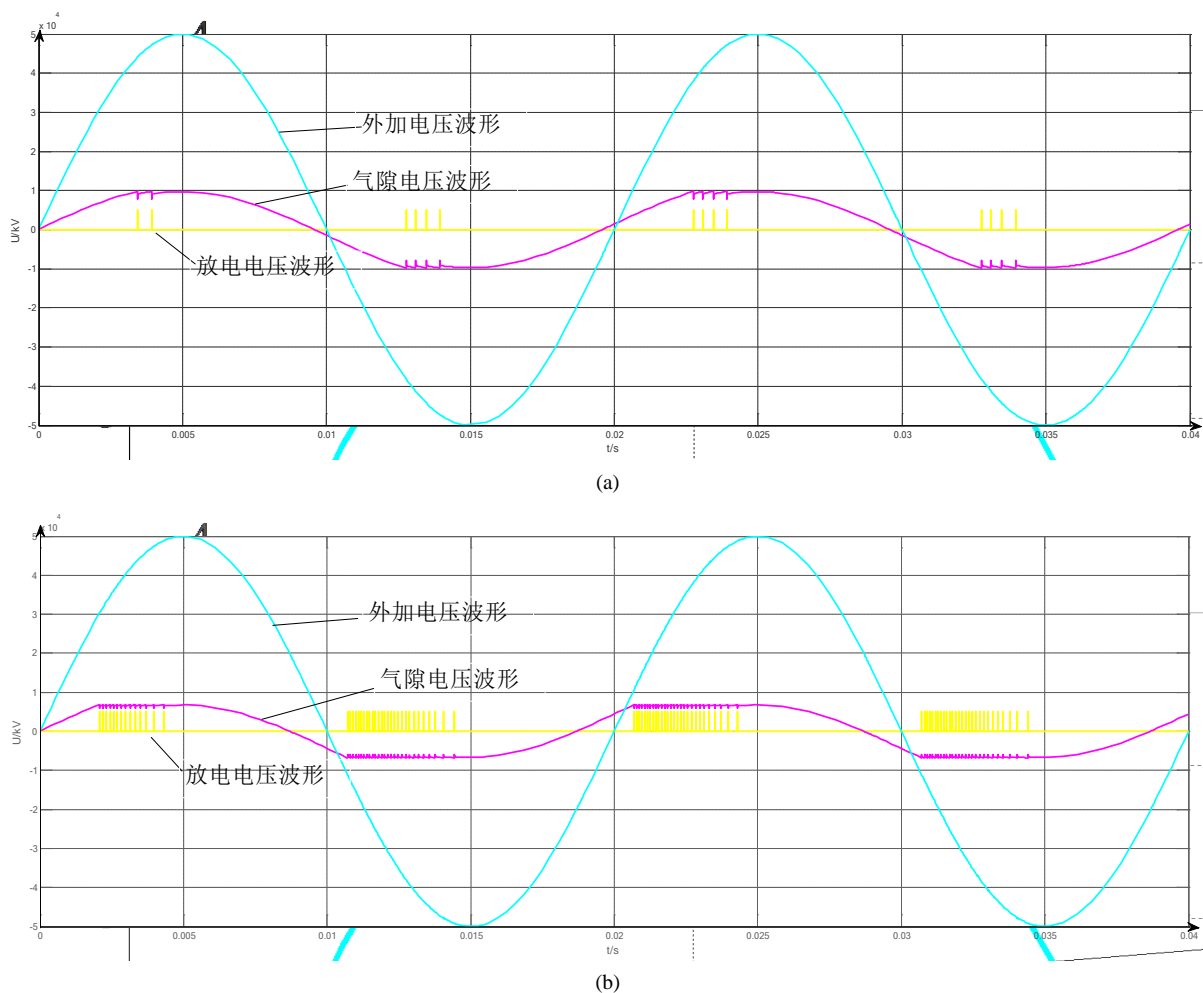


Figure 4. (a) Initial discharge waveform; (b) the discharge emphasizes the waveform
图 4. (a)初始放电波形; (b)放电加重波形

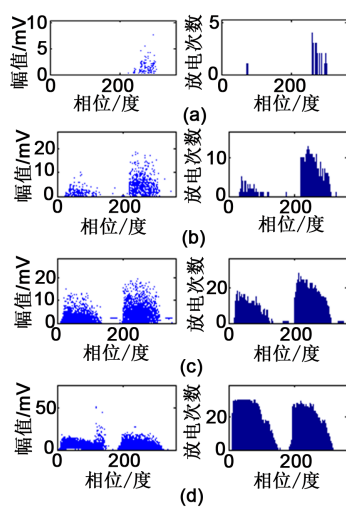


Figure 5. ϕ -u and ϕ -n spectrograms of different PD stages. (a) Initial stage; (b) development stage; (c) saturated stage; (d) supersaturated stage

图 5. 不同放电阶段 ϕ -u 散点图和 ϕ -n 谱图。(a)初始阶段; (b)发展阶段; (c)饱和阶段; (d)过饱和阶段

当局部放电继续发展为过饱和阶段时,在 0° 附近出现了放电,放电次数开始超过负半周放电次数。另外,在正半周基本上每个相位下都出现了放电信号。此时正负半周放电次数水平基本持平,负半周放电脉冲最大幅值达到饱和呈持平状态。但是在区间 $100^\circ \sim 125^\circ$ 内,放电次数较少,有个短暂的中断间隙。如果局部放电继续持续发生将会导致绝缘击穿引发重大安全事故。

4.2. 表征信息提取

通过分析谱图特性发现,在不同的 PD 放电阶段,放电脉冲幅值、放电次数以及放电脉冲分布相位区间等表现出一定规律性,为实现准确描述局部放电变化过程,本文提取如下表征信息:

(1) 相邻 PD 脉冲幅值差异 Δu 信息特征

Δu 模式是基于 PD 信号产生的 Δu 分布,由 PD 可以得到关于时间序列图,从公式 1 中可以计算出多个工频周期内 Δu 的分布情况,文献[17]研究了多个工频周期内 Δu 分布与电树枝长度的关系,其结果表明 Δu 分布与绝缘老化有着密切的关系。

$$\Delta u_n = u_{n+1} - u_n \quad (1)$$

通过对图 6 正负半周相邻放电脉冲幅值特征进行分析发现, Δu 反映出局部放电强烈程度, Δu 的值越小说明相邻两 PD 脉冲信号幅值差异越小,放电强度越强。反之,放电强度越小。

(2) 最大放电脉冲幅值比值

放电次数 N 是放电严重程度最直观的特征信息,可以表征放电剧烈程度。

图 7 是一组实际测得的局部放电信号,从图中可以清晰的知道 PD 脉冲信号幅值是变化的,正负半周最大放电脉冲幅值 u_{\max}^+ 和 u_{\max}^- 表征正负半周放电可能出现的最严重放电情况;而正负半周最大放电脉冲幅值比值 A_u 可以表征正负半周放电最严重程度差异性。为此,本文提出如式(1)所示的 Δu 作为描述放电严重程度的特征:

$$A_u = u_{\max}^+ / u_{\max}^- \quad (2)$$

(3) 相邻放电时间间隔 ΔT 信息特征

分析 φ -u 散点图和 φ -n 谱图可知,在不同的 PD 严重程度阶段,正负半周放电脉冲的密集程度不同,即正负半周相邻放电脉冲的时间间隔有差异[17][18]。为此,本文提出如式(1)~(2)所示的信息,作为描述 PD 严重程度的特征,即:

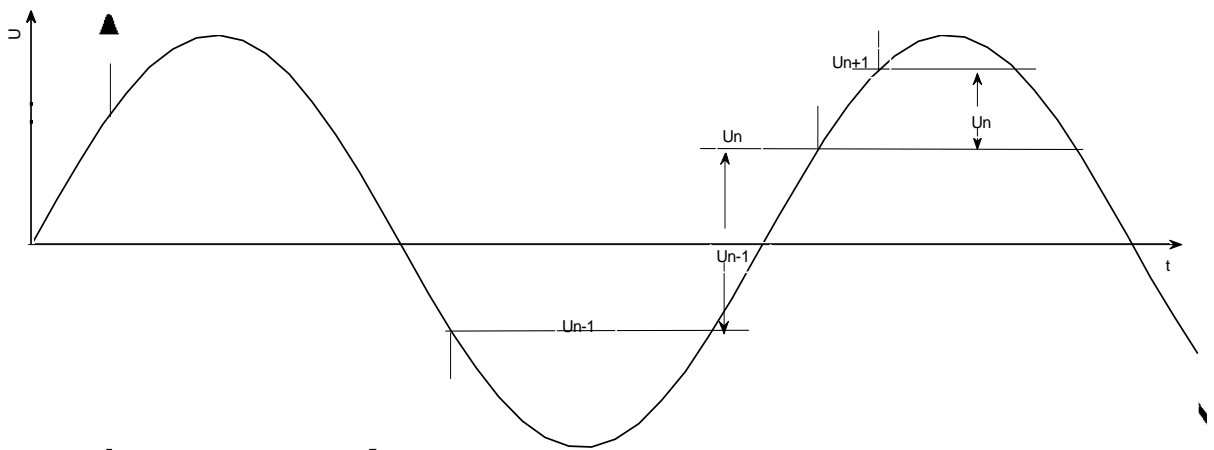


Figure 6. Adjacent PD pulse amplitude difference

图 6. 相邻 PD 脉冲幅值差异

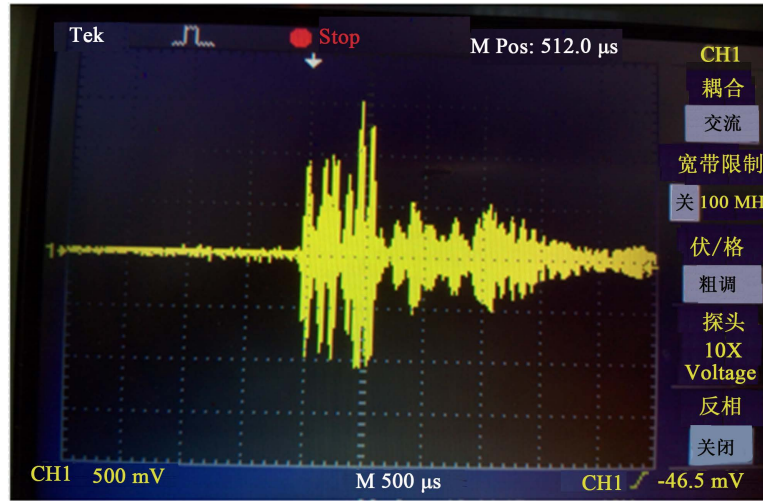


Figure 7. Actual measured partial discharge pulse signal
图 7. 实测局部放电脉冲信号

$$\Delta T^+ = \frac{1}{N^+} \sum_{i=1}^{N^+} \left[(\Delta t_i^+ - \Delta t_{i-1}^+) \cdot \frac{1}{2} \right] \quad (3)$$

$$\Delta T^- = \frac{1}{N^-} \sum_{i=1}^{N^-} \left[(\Delta t_i^- - \Delta t_{i-1}^-) \cdot \frac{1}{2} \right] \quad (4)$$

$$\Delta T_{\max} = \max(\Delta T_1, \Delta T_2, \dots, \Delta T_N) \quad (5)$$

式中, N^+ , N^- 分别表示一个工频周期正负半周放电次数; ΔT_i^+ ($i=1, 2, \dots, N^+$), ΔT_i^- ($i=1, 2, \dots, N^-$) 分别表示一个工频周期正负半周相邻放电脉冲时间间隔; N 为整个工频周期内放电次数; ΔT_i ($i=1, 2, \dots, N-1$) 表示一个工频周期中相邻两次放电脉冲时间间隔; ΔT_{\max} 表示整个工频周期内相邻两次放电脉冲最大时间间隔。由于放电时间十分迅速难以捕捉准确, 所以用相邻两次放电时间间隔取均值作为放电脉冲时间间隔。

(4) 放电信号熵 ϕn 均方根信息特征

熵表示每个值所能提供的平均信息量的复杂度, 熵越大, 信息越丰富, 复杂度越高[18]。在不同 PD 阶段, 放电越严重, 放电过程中电荷迁移速度越大, 碰撞越剧烈, 放电系统越混乱, 而熵可以很好从宏观角度去描述微观过程的复杂度。因此, 本文构造如式(5)所示的熵值 ϕn 信息, 作为表征 PD 复杂程度的特征, 即:

$$\phi n = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(u_i \sum_{i=1}^N u_i \right) \log \left(u_i \sum_{i=1}^N u_i \right)} \quad (6)$$

式中, N 为一个工频周期内放电次数; u_i 为第 i 个放电脉冲幅值。

(5) 放电电荷量 ΔQ

局部放电越剧烈, 单位时间内的放电量越大, 对绝缘的危害就越严重, 因此, 一定时间内的放电量可以从宏观角度表征 PD 严重程度。研究表明[10], PD 信号幅值与 PD 视在放电电荷量存在二次积分成正比关系, 因此, 提出如式(6)所示的放电量 ΔQ 信息, 作为描述 PD 严重程度的特征, 即:

$$\Delta Q = \iint \sum_{i=1}^N u_i^2 \quad (7)$$

式中, N 为一个工频周期内放电次数; u_i 表示第 i 个放电脉冲幅值。

假若气隙两端在放电发生时电压变化为 ΔU_c ，则气隙两端电荷的变化量即实际放电量可表示为式(1)所示。

$$Q_c = \Delta U_c \left(C_c + \frac{C_a C_b}{C_a + C_b} \right) \quad (8)$$

在固体绝缘材料中，一般气隙很小，可认为 $C_a \gg C_b$ ，因此得到式(2)

$$Q_c \approx \Delta U_c (C_c + C_b) \quad (9)$$

在实际测量中，基本不太可能直接获得局部放电的实际放电量。很明显，气体击穿时电极两端也会出现电荷量瞬变，而且能够直接测量。假定放电时，由放电造成的电极两端电压变化为 ΔU_a ，则电极两端的瞬变电荷量为式(10)所示。

$$Q_a = \Delta U_a \left(C_a + \frac{C_c C_b}{C_c + C_b} \right) \quad (10)$$

由于一次放电的持续时间很短，大约为十几纳秒，远小于电源回路的充放电常数，因而可认为放电时电源并不对电荷瞬变产生作用。假定放电造成 C_b 上的电压变化为 ΔU_b ，存在式(4)关系。

$$\Delta U_c = \Delta U_a + \Delta U_b = \Delta U_a \frac{C_a + C_b}{C_b} \approx \Delta U_a \frac{C_a}{C_b} \quad (11)$$

$$Q_a = \Delta U_c C_b \quad (12)$$

式(10)中， Q_a 称为视在放电量，IEC60270 标准用其来量化局部放电的强弱程度，这主要是出于两个方面的考虑：由式(10)、(11)可知，实际放电量与视在放电量正相关；反映局部放电对绝缘材料损害作用的参数放电能量与视在放电量呈线性关系。

三电容模型简单直观地建立了可测的视在放电量与实际放电量、放电能量以及气隙位置之间的联系，并能将局部放电的两种随机性理论统一起来。

(6) 放电能量 W

通过理论分析得出能量与加载到气隙两端与电荷量之间的函数关系表达式为：

$$U_c = U_s \frac{C_b}{C_c + C_b} \quad (13)$$

因此

$$W = \frac{1}{2} q \frac{U_s}{U_c} (U_c + U_r) \quad (14)$$

假设 $U_r \approx 0$ ，则

$$W = \frac{1}{2} q U_s \quad (15)$$

因此根据气隙两端电压和电荷量就可以求出放电能量 W ，通过大量实验数据发现，局部放电能量与放电电荷平方之间存在线性关系，如图 8 所示，同时可以看到，当放电量升高时，该趋势依旧保持不变仍呈线性关系。

(7) 放电功率 P

从图 7 实测局部放电信号电压随时间变化曲线可知，电压幅值虽然十分微弱，但随着局部放电严重程度不同会有所变化，所以有必要对其进行提取，同理从图 9 单个局部放电信号中可以知道电流值的大小，根据前面定义公式(1-5)的方法定义局部放电的放电功率 P

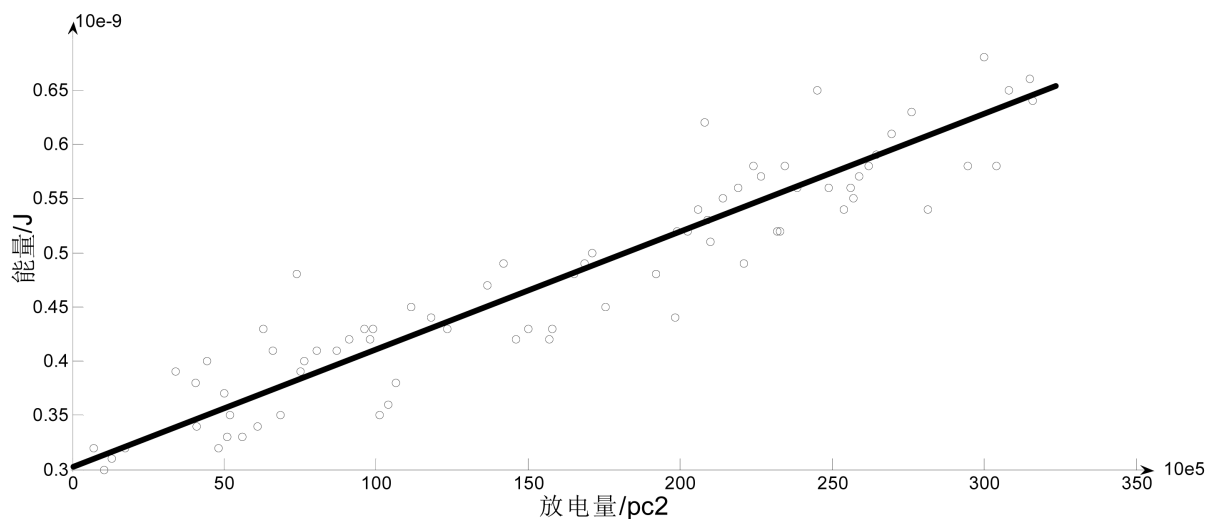


Figure 8. Square relationship between discharge energy and charge

图 8. 放电能量与电荷量平方关系

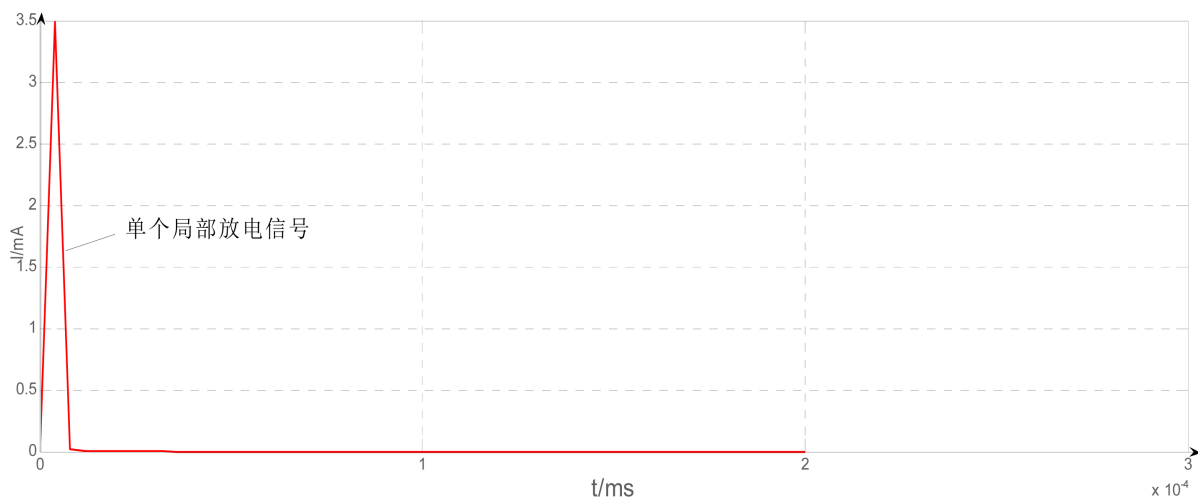


Figure 9. Single partial discharge signal

图 9. 单个局部放电信号

$$P = UI \quad (16)$$

从公式中可知需要求出每次放电的电压值和电流值就能得出放电功率 P 指标, 设在测量时间 T 内出现放电 n 次, 各次相应的视在放电电荷为 $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, 则平均放电电流

$$I = \sum_1^n |q_i| / T \quad (17)$$

测得出现 n 次放电, 每次放电对应的电荷量和外加电压瞬时值的乘积为 $q_1 u_{t1}, q_2 u_{t2}, q_3 u_{t3}, \dots, q_n u_{tn}$, 则放电功率

$$P = \sum_1^n u_{ti} q_i / T \quad (18)$$

放电功率 P 表征信息综合表征了放电量、放电次数以及放电时外加电压值, 它与其它表征参数相比,

包含最多的局部放电信息。同时也能在出现干扰的情况下能检测出哪项数据异常，为后续综合评判局部放电严重程度提供了一种新的思路。

结合上述提取表征信息总结出如下规律：

相邻局放幅值差异 Δu 越小，说明局放出现的频数越集中，反映在实际工程中说明局放就越严重；正负半周最大放电脉冲幅值比值 A_u 越接近 1，说明局部放电混乱程度越小，反之表征局部放电严重程度的差异性越明显，需加强现场对局放的监测；相邻放电时间间隔 ΔT 越小，说明局部放电出现的频率增加，在现场可以准确地反映出局放现象的密集程度；放电能量和放电功率 P 在极短时间内可以看成近似相等，通过计算放电能量值作为放电功率，可以用来验证其它测量指标的准确性，在实际工程中，可以通过测量放电能量和放电电压幅值大小以及放电电流，三者数据之间相互验证，哪一项数据测量有误差可以准确地找出，有利于保证实际测量时数据的准确性。

5 结论

(1) 本文在分析局部放电发生机理基础上，结合局部放电中最常见的气隙放电建立了 simulink 仿真电路模型，较完整的提取出 7 项局部放电严重程度的表征信息，为进一步研究局放严重程度提供了数据基础。

(2) 通过对 PD 发展过程各项表征信息值的描述并阐明了各特征值的物理含义，根据不同含义建立数学公式，从数学上评价局部放电的不同严重程度，有利于后续建立局部放电严重程度评价模型。

(3) 多项表征信息指标所反映不同阶段下的局部放电，表征信息之间存在着关联性，可以识别由于外部干扰造成某项表征数据异常或数据测量误差，避免单一从某项表征信息指标判断局部放电严重程度带来的不准确性。

基金项目

感谢东莞市科技局产学研合作项目专项资金资助(2015509132215)。

参考文献 (References)

- [1] 程养春, 刁常晋, 刘少宇, 等. 恒定电压下油纸绝缘局部放电发展规律及缺陷状态诊断[J]. 高电压技术, 2013, 5(39), 1061-1068.
- [2] Schaik, N.V. and Czaszejko, T. (2008) Conditions of Discharge-Free Operation of XLPE Insulated Power Cable Systems. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **15**, 1120-1130. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2008.4591235>
- [3] Judd, D., Farish, O. and Hampton, B.F. (1996) The Excitation of UHF Signals by Partial Discharges in GIS. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **3**, 213-228. <https://doi.org/10.1109/94.486773>
- [4] 沙彦超, 周远翔, 张灵, 等. 油纸绝缘在直流局部放电发展不同阶段中介电特性变化规律[J]. 高电压技术, 2014, 3(40), 868-877.
- [5] 李立学, 滕乐天, 黄成军, 等. GIS 局部放电超高频信号的包络分析与缺陷识别[J]. 高电压技术, 2009, 35(2), 260-265.
- [6] Li, J., Liao, R.j., Grzybowski, S., et al. (2010) Oil-Paper Aging Evaluation by Fuzzy Clustering and Factor Analysis to Statistical Parameters of Partial Discharges. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **17**, 756-763.
- [7] 李军浩, 韩旭涛, 刘泽辉, 等. 电气设备局部放电检测技术述评[J]. 高电压技术, 2015, 8(41), 2583-2601.
- [8] Strachan, S.M., McArthur, S.D.J., Judd, M.D., et al. (2005) Incremental Knowledge-Based Partial Discharge Diagnosis in Oil-Filled Power Transformers. *Intelligent Systems Application to Power Systems*, **130**, 181-186. <https://doi.org/10.1109/ISAP.2005.1599259>
- [9] 胡文堂, 高胜友, 余绍峰, 等. 统计参数在变压器局部放电模式识别中的应用[J]. 高电压技术, 2009, 2(35), 277-281.
- [10] 陈伟根, 蔚超, 凌云, 等. 油纸绝缘气隙放电特征信息提取及其过程划分[J]. 电工技术学报, 2011, 26(4), 7-12.

- [11] 丁登伟, 唐诚, 高文胜, 等. GIS 中典型局部放电的频谱特征及传播特性[J]. 高电压技术, 2014, 10(40), 3243-3251.
- [12] 王彩雄, 唐志国, 常文治, 等. 气体绝缘组合电器尖端放电发展过程的实验研究[J]. 电网技术, 2011, 35(11), 157-162.
- [13] 齐波, 李成榕, 耿弼博, 等. 高压绝缘电器绝缘子高压电极故障局部放电严重程度的诊断与评估[J]. 高电压技术, 2011, 37(7), 1719-1726.
- [14] 常文治, 李成榕, 苏錡, 等. 电缆接头尖刺缺陷局部放电发展过程的研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 7(33), 192-201+1.
- [15] 康世崮, 彭建春, 何禹清. 模糊层次分析与多目标决策相结合的电能质量综合评估[J]. 电网技术, 2009, 33(19), 113-118.
- [16] 温敏敏, 宋建成, 宋渊, 等. 基于局部放电统计特征参量分析的矿用干式变压器绝缘状态评估[J]. 高电压技术, 2014, 8(40), 2398-2405.
- [17] 常文治, 阎春雨, 毕建刚, 等. 硅橡胶中局部放电发展与电树枝生长的关系研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 15(34), 2493-2501.
- [18] 齐波, 李成榕, 耿弼博, 等. GIS 设备绝缘子高压电极故障局部放电严重程度的诊断与评估[J]. 高电压技术, 2011, 7(37), 1719-1727.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aepe@hanspub.org