

环境温度对CVT计量误差的影响

杜林¹,李永森²,贺鹏¹,陈斌³

(1. 重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044;
2. 国网重庆江北供电公司, 重庆 401147; 3. 国网宁波供电公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 电容式电压互感器(CVT)的计量精度易受到多种环境因素的影响,其中环境温度为主要的影响因素。温度变化会引起CVT电容分压单元的电容值与介质损耗因数发生改变,从而影响CVT的计量精度。采用仿真与试验相结合的方式研究了温度对220 kV CVT计量误差特性的影响规律。仿真和试验结果表明随着环境温度升高,CVT电容分压单元高、低压臂电容的电容值呈减小趋势,介质损耗因数呈先减小后增大的变化趋势。环境温度的升高会导致CVT的比差负向增大,角差正向增大。在温差大的地区,若CVT存在较大的初始误差,环境温度的变化将导致CVT存在超差的风险。

关键词: 电容式电压互感器;误差特性;环境温度;精度;误差

中图分类号: TM 451+2

文献标志码: A

DOI: 10.16081/j.epae.202005028

0 引言

电磁式电压互感器及电容式电压互感器CVT(Capacitor Voltage Transformer)^[1-2]是电力系统中重要的电能计量和保护设备。与电磁式电压互感器相比,CVT绝缘性能更好,在电压等级越高的系统中成本优势越明显,且CVT不存在铁芯饱和导致的电网铁磁谐振问题,因此被广泛应用于高压电网中^[3-4]。但CVT存在暂态响应较差、计量精度低等问题^[5-6]。由于CVT整体结构更为复杂,其计量精度受到外界环境因素和自身绝缘因素等多方面的影响,在运行一定年限后,容易出现计量结果超出误差范围等问题^[7]。

我国幅员辽阔,CVT被广泛地应用在大温差、高海拔等各种复杂的环境中,影响CVT计量误差的大气环境因素主要包括环境温度、环境湿度和污秽度等。其中环境温度是最基本的大气环境参量,也是影响CVT计量精度的主要因素,环境温度的变化会影响电容分压单元的等值电气参数,从而影响CVT的计量精度^[8-9]。为保证CVT在电力系统中准确可靠地运行,研究环境温度对CVT计量精度的影响规律具有十分重要的意义。本文首先分析了温度对CVT计量误差的影响机理,然后通过仿真与试验研究了温度对CVT误差特性的影响规律。

1 CVT工作原理

CVT基本结构原理如图1所示。CVT主要由电容分压单元和电磁单元两部分组成^[10-11]。其中,电容分压单元由高压臂电容 C_1 及低压臂电容 C_2 串联而成,其密封在瓷套内,负责将电网电压转换为较低电压后输入电磁单元;电磁单元主要由补偿电抗器

L 、中间变压器 T 和阻尼器 D 等组成,其浸于绝缘油中并密封在铝合金浇筑的箱体内部,同时外接测量与保护装置,负责将电容分压单元的输出电压进一步降压为 $100/\sqrt{3}$ V和100 V(或 $100/3$ V)。

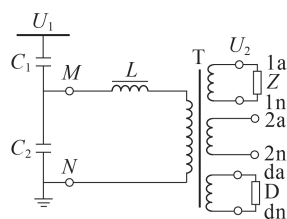


图1 CVT结构原理图

Fig.1 Principle diagram of CVT's structure

CVT测量误差主要分为比差和角差。

(1)比差为根据CVT额定变压比将CVT实测二次电压进行换算后与一次电压之间的幅值差,通常用百分比表示,其数学表达式为:

$$\varepsilon_U = \frac{kU_2 - U_1}{U_1} \times 100\% \quad (1)$$

其中, k 为CVT额定变压比; U_2 为CVT实测二次电压有效值; U_1 为一次电压有效值。

(2)角差为CVT实测二次电压与一次电压之间的相位差,其数学表达式为:

$$\varphi_U = \varphi_{U2} - \varphi_{U1} \quad (2)$$

其中, φ_{U1} 为一次电压的相位; φ_{U2} 为CVT实测二次电压的相位。

2 CVT计量精度的影响因素

由于CVT中含有补偿电抗器,因此负载电流变化对CVT的计量误差的影响明显减小。然而考虑到CVT工作原理的特殊性和工作环境的复杂性,影响CVT计量精度的因素较多,主要包括环境湿度和污秽度、外部电场、环境温度等^[12]。

2.1 环境湿度与污秽度对CVT误差特性的影响

在一定的大气和表面污秽条件下,CVT外绝缘瓷套将流过阻性泄漏电流。在多节电容单元串联的CVT设备中,流过上节电容单元的外绝缘阻性泄漏电流将流入下节电容单元,与电容电流共同作用,影响低压单元电压,使CVT二次输出电压的幅值和相位发生变化,造成计量误差^[13-14]。

2.2 外部电场对CVT误差特性的影响

由于CVT本体电容量较大,故CVT没有电场屏蔽措施。但实际运行中,CVT本体的不同部位与周围物体之间均存在耦合电容和杂散电流^[15-17],导致CVT本体电流不均匀,进而影响CVT的计量精度。

2.3 环境温度对CVT误差特性的影响

CVT电容单元的电容量与温度有关,通常用电容温度系数表示CVT电容量随温度的变化规律。电容的温度系数定义为温度每变化1 K时,电容变化量与基准电容 C_{20} 的比值,如式(3)所示。

$$T_c = \frac{\Delta C / \Delta T}{C_{20}} \quad (3)$$

其中, T_c 为电容的温度系数,单位为 K^{-1} ; $\Delta C / \Delta T$ 为温度间隔是 ΔT 时的电容量变化率,该参数仅在研究温度范围内,电容量随温度近似呈线性变化时使用; C_{20} 为环境温度为20℃时测得的电容值。

CVT的等效电路图如图2所示。图中, R_1 为补偿电抗器等值电阻与中间变压器一次侧等效电阻之和; X_1 为补偿电抗器等值电抗与中间变压器一次绕组漏电抗之和; Z_m 为激磁阻抗; X'_{12} 为折算到中间变压器一次侧的二次绕组漏电抗; R'_2 为折算到中间变压器一次侧的二次侧等效电阻; R'_d 和 X'_d 分别为折算到中间变压器一次侧的二次负载等效电阻和电抗; U'_2 和 I'_2 分别为折算到中间变压器一次侧的二次负荷电压和电流。

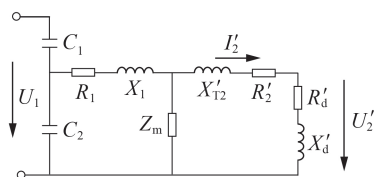


图2 CVT等效电路图

Fig.2 Equivalent circuit of CVT

由于激磁阻抗较大,为了简化分析,忽略激磁支路的分流作用,同时将高、低压臂电容视为纯电容,即忽略电容单元介质损耗的影响,令 $C = C_1 + C_2$ 、 $X_0 = X_1 + X'_{12} + X'_d$ 、 $R_0 = R_1 + R'_2 + R'_d$,根据图2所示的CVT等效电路图可以得到折算到中间变压器一次侧的CVT二次输出电压 U'_2 与电容单元电容量之间的关系表示式为:

$$U'_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U_1 - [R_0 + j(X_0 - X_c)] I'_2 \quad (4)$$

其中, $X_c = 1/(\omega C)$, ω 为角频率。根据式(4)可得,环境温度主要通过改变 C_1 和 C_2 的大小引起CVT的计量误差。根据国家标准GB/T 19749.1—2016《耦合电容器及电容分压器第1部分:总则》的规定,CVT电容的温度系数的绝对值应不超过 5×10^{-4} ,以保证在极限温度的影响下,CVT的计量误差不会超出规定的阈值范围^[18]。

介质材料是影响CVT电容量温度特性的主要因素。CVT电容元件通常采用电容器纸和聚丙烯薄膜的复合介质结构,这是因为电容器纸和聚丙烯薄膜具有相反的温度系数,可以相互补偿,减小温度变化对电容量的影响。温度发生均匀变化时,高、低压臂电容的电容变化量基本相同,CVT分压比变化幅度较小;当CVT沿瓷套方向的温度变化不均匀时,高、低压臂电容的变化量不同,导致CVT分压比变化幅度较大,造成CVT计量误差。

补偿电抗器由电感线圈和具有可调气隙的铁芯构成,温度变化主要影响其等值电阻,但补偿电抗器的等值电阻较大,温度变化引起的阻值变化量与补偿电抗器等值电阻相比相差几个数量级,因此可以忽略温度对补偿电抗器等值参数的影响^[19]。

CVT电容元件作为一种绝缘介质,在电压作用下会存在介质损耗,包括电导损耗和有损极化损耗。温度变化会影响介质损耗大小,从而影响CVT电容分压单元的等值电阻,导致CVT二次计量误差。在电导损耗方面,温度的升高会加快膜纸复合材料内部载流子的迁移速率,该过程可用Arrhenius方程 $\mu = \mu_0 \exp[-E_a/(k_B T)]$ (其中, μ_0 为材料在绝对零度时载流子的迁移速率; E_a 为活化能; T 为温度; k_B 为玻尔兹曼常数)描述,可见载流子的迁移速率随温度的升高呈指数规律增大^[20-21],使得膜纸复合材料的电导率增大,导致电导损耗增大。在极化损耗方面,温度升高导致分子间粘度下降,极化损耗增大,但随着温度进一步升高,分子热运动加剧,偶极子转向极化受到束缚,使得极化损耗减小。因此介质损耗随着温度的变化规律是温度对电导和极化损耗影响的综合反映。

综上所述,温度主要通过影响电容量与介质损耗影响CVT的计量精度,由于CVT电容分压单元的介质损耗因数较小,因此等值电容量的变化对CVT计量精度的影响占据主要地位。

3 电容量和介质损耗变化对CVT误差特性的影响分析

通过2.3节的分析可知,温度主要通过改变分压单元的电容量与介质损耗影响CVT的计量精度。本文采用MATLAB/Simulink软件搭建CVT仿真模型,如图3所示。图中, L_k 为补偿电抗器等值电感、中间变压器一次侧和二次侧漏电感之和; R_k 为补偿电

抗器、中间变压器一次侧和二次侧等值电阻之和; L_m 为中间变压器激磁支路电感; R_m 为中间变压器激磁支路电阻; R_d 、 L_d 分别为二次负载电阻、电感;分别采用并联等值电阻 R_H 、 R_L 表征高、低压臂电容的电导损耗和有损极化损耗,高、低压臂等值电容和等值电阻之间可以通过介质损耗因数 $\tan \delta$ 进行换算,以高压臂为例,其数学关系式为 $R_H=1/(\omega C_1 \tan \delta)$;CVT阻尼器为速饱和电抗器型阻尼器,由阻尼电阻 r_{in} 和非线性电抗器 L_{in} 串联组成, L_f 和 R_f 分别为阻尼器绕组等值电阻和漏电感。

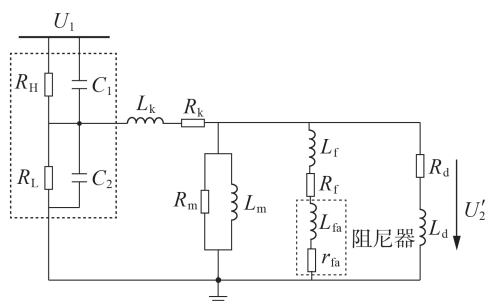


图3 考虑不同电容量与介质损耗因数的CVT仿真模型

Fig.3 CVT simulation model considering different capacitances and dielectric loss factors

将220 kV CVT的实际运行参数代入仿真模型中进行计算,折算至一次侧的参数值为: $C_1=11.88$ nF; $C_2=67.47$ nF; $L_k=129.45$ H; $R_k=1.82$ k Ω ; $L_m=2103.64$ H; $R_m=1241$ k Ω ; $R_d=2892$ k Ω ; $L_d=6908$ H。

3.1 电容量对CVT误差特性的影响

CVT电容单元电容量主要受环境温度、局部放电等问题的影响,本文选用控制变量法研究电容分压单元高、低压臂电容量对CVT计量误差特性的影响。

保持低压臂电容量不变且介质损耗因数始终为0.1%,在改变高压臂电容大小的同时,改变高压臂电容并联等值电阻的大小以保证高压臂电容的介质损耗因数也始终为0.1%,得到高压臂电容量变化对CVT计量比差和角差的影响规律如图4所示。

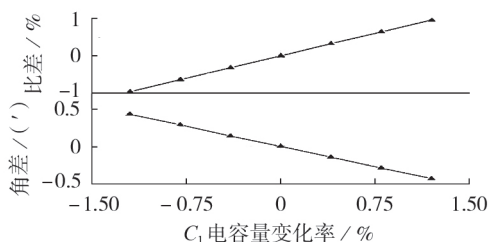


图4 高压臂电容对CVT比差、角差的影响

Fig.4 Influence of capacitor of high voltage arm on CVT's amplitude error and angle error

保持高压臂电容量不变且介质损耗因数始终为0.1%,在改变低压臂电容大小的同时,改变低压臂电容并联等值电阻的大小以保证低压臂电容的介质

损耗因数也始终为0.1%,得到低压臂电容量变化对CVT计量比差和角差的影响规律如图5所示。

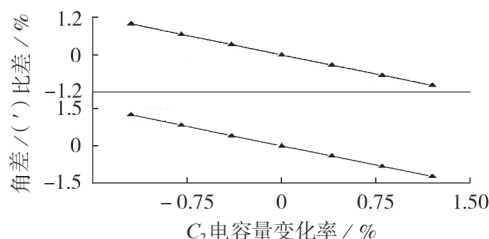


图5 低压臂电容对CVT比差、角差的影响

Fig.5 Influence of capacitor of low voltage arm on CVT's amplitude error and angle error

由图4和图5可见, CVT比差和角差随着电容量的改变基本呈线性变化:高压臂电容变化时, CVT比差和角差的变化趋势相反,比差随着高压臂电容的增大而正向增大,角差随着高压臂电容的增大而负向增大;低压臂电容变化时, CVT比差和角差的变化趋势相同,均随着电容量的增大而负向增大。

综合高、低压臂电容量对CVT计量误差的影响规律可知,电容量变化主要影响CVT的计量比差,对角差的影响较小。这是因为在CVT电容分压单元中,高、低压臂电容量通常较大,介质损失角较小,电容量变化对电容单元等值阻抗的相角影响较小,但高、低压臂电容量的变化会影响CVT的分压比,因此电容量变化主要影响CVT二次输出电压的比差,对角差的影响较小。0.2级CVT的比差阈值范围为-0.2%~0.2%,因此在CVT高、低压臂电容量的变化过程中, CVT可能出现比差超差的现象。

3.2 介质损耗因数对CVT误差特性的影响

CVT电容元件发生受潮、老化等问题时,其介质损耗因数会发生变化,从而影响CVT的传递函数,造成CVT计量误差,本文选用控制变量法研究电容分压单元介质损耗因数对CVT计量误差的影响。

保持高、低压臂电容量和低压臂电容的介质损耗因数不变,通过改变高压臂电容的并联等值电阻改变其介质损耗因数,得到高压臂电容介质损耗因数变化对CVT比差和角差的影响规律如图6所示。

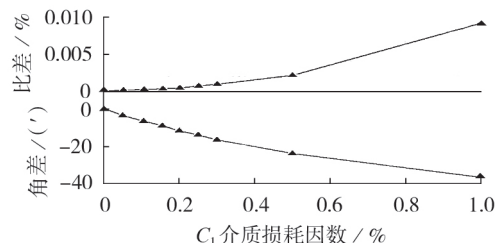


图6 高压臂电容介质损耗因数对CVT比差、角差的影响

Fig.6 Influence of dielectric loss factor of capacitor of high voltage arm on CVT's amplitude error and angle error

保持高、低压臂电容量和高压臂电容介质损耗因数不变,通过改变低压臂电容并联等值电阻的大小改变低压臂电容的介质损耗因数,得到低压臂电容介质损耗因数变化对CVT计量比差和角差的影响规律如图7所示。

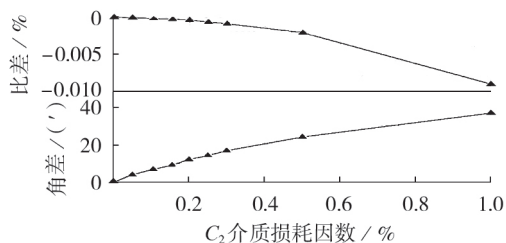


图7 低压电容介质损耗因数对CVT比差、角差的影响
Fig.7 Influence of dielectric loss factor of capacitor of low voltage arm on CVT's amplitude error and angle error

由图6和图7可见,高压臂电容的介质损耗因数发生变化时,CVT比差和角差随着介质损耗因数的增大分别呈增大和减小的趋势;低压臂电容介质损耗因数变化时,CVT比差和角差随着介质损耗因数的增大分别呈减小和增大的趋势。

综合高、低压臂电容的介质损耗因数对CVT计量误差的影响规律可知,介质损耗因数的变化主要影响CVT的计量角差,对比差的影响较小。这是因为CVT的分压比主要由高、低压臂的电容量决定,介质损耗因数的增大会增加主回路中的阻性电流,从而造成CVT二次输出电压相位发生偏移。因此介质损耗因数的变化主要影响CVT二次输出电压的相位误差,对比差的影响较小。0.2级CVT的角差阈值范围为 $-10' \sim 10'$,因此在CVT高、低压臂介质损耗因数的变化过程中,可能出现角差超差的现象。

4 环境温度对CVT误差特性影响的试验研究

4.1 环境温度对CVT误差特性影响的试验平台

环境温度对220 kV CVT误差特性影响的试验平台和接线图分别如附录中的图A1(a)、(b)所示。试验采用的CVT型号为TYD220/ $\sqrt{3}$ -0.01H;高精度标准电压互感器型号为HJ-B220G2,其准确度等级为0.02,额定电压为220/ $\sqrt{3}$ kV,额定负载容量为0.08 V·A;负载箱采用组合型电压互感器负载箱,可调功率因数为0.8和1,其额定容量容量变化范围为1.25~158.75 V·A。

将被试220 kV CVT放入多功能人工气候实验室中,环境温度设置为0,保持其他外界条件相同,使用互感器校验仪对比0.02级220 kV标准电压互感器和被试CVT的输出电压,每隔1 h测量CVT的计量比差和角差直至基本稳定,试验结果表明在外

部环境温度的影响下,被试CVT计量误差特性的稳定时间为5 h。

4.2 环境温度对CVT误差特性影响的试验结果及分析

根据国家标准GB 20840.1—2010《互感器第1部分:通用技术要求》的规定,CVT正常运行的环境温度分为3类,其中一类的范围为 $-25 \sim 40$ °C。因此为了研究温度对CVT计量误差特性的影响,本文试验设置的环境温度为 $-30 \sim 20$ °C。

保持其他外部条件恒定,改变多功能人工气候实验室的环境温度并恒温5 h,将HV9001介损仪的高压引线 with CVT高压端连接,选择“CVT测量模式”,并将光标移至“测量电压”选择2 kV,根据自激法测量得到CVT高、低压臂的等值电容和介质损耗因数。CVT高、低压臂的等值电容和介质损耗因数随着外界环境温度的变化规律分别如图8、图9所示。

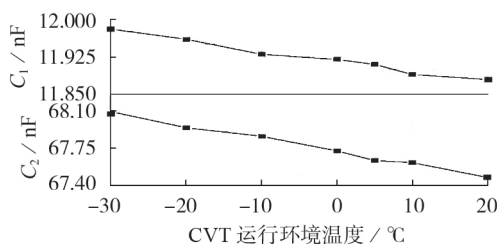


图8 分压电容随环境温度的变化规律
Fig.8 Changing rules of voltage dividing capacitor vs. ambient temperature

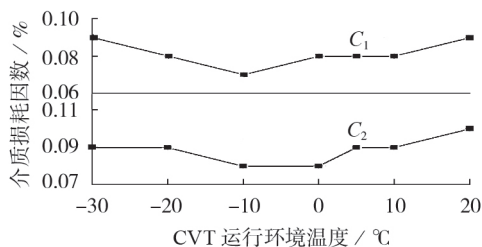


图9 分压电容介质损耗因数随环境温度的变化规律
Fig.9 Changing rules of dielectric loss factor of voltage dividing capacitor vs. ambient temperature

在相同的试验条件下,将负载箱的功率因数调至0.8,额定容量调整至40 V·A。在CVT高压端施加额定电压 U_n ,多次测量所加电压下CVT的计量误差并取平均值,得到CVT计量比差和角差随着环境温度的变化规律分别如图10、图11所示。

试验结果表明,外部环境温度对CVT高、低压臂电容量和高、低压臂电容的介质损耗因数影响幅度均较小。这是因为电容器纸和聚丙烯薄膜具有相反的温度系数,可以有效减小温度对CVT电容量的影响,但根据试验结果可以初步认为,随着温度的升高,电容值的减小量大于其增加量,因此高、低压臂电容量随着温度的升高呈减小趋势。高、低压臂电

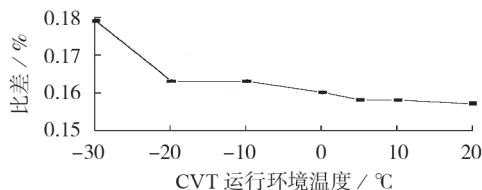


图10 CVT比差随环境温度的变化规律

Fig.10 Changing rules of CVT's magnitude error vs. ambient temperature

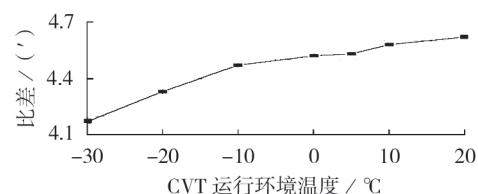


图11 不同环境温度下CVT角差的变化规律

Fig.11 Changing rules of CVT's phase error vs. ambient temperature

容的介质损耗因数呈现先减小后增大的趋势,这是因为膜纸复合绝缘介质的极化程度随温度的变化不是线性的。聚丙烯薄膜为中性电介质,其介质损耗主要来源于电导损耗,温度的升高会加快载流子运动速率,导致电导损耗增加;电容器纸由极性的纤维材料构成,具有电导和极化损耗,极化损耗随着温度的升高呈现先增加后减小的趋势。根据试验结果可以初步认为,随着温度的升高,分子热运动加剧,阻碍纤维素偶极子发生转向极化,使得极化损耗下降且极化损耗的减小量大于电导损耗的增加量,介质损耗因数减小;但随着温度的进一步上升,电导损耗将占据主导地位,使得介质损耗因数随着温度的升高而逐渐增大。

CVT的计量精度受环境温度的影响,由于CVT高压电容对其计量精度影响较大,随着环境温度的增大,高压电容及其介质损耗值减小,二次输出比差负向增大,角差正向增大,与仿真结果吻合。另一方面,由于CVT电容元件的膜纸温度补偿机制,电容温度系数得到抑制。通过试验发现,单一的环境温度变化不会导致CVT计量比差和角差值超差。但对于工作环境恶劣及初始比差、角差较大的CVT,存在计量误差超差风险。

5 结论

环境温度是影响CVT计量误差特性的重要因素。本文通过分析温度对CVT计量误差的影响机理,对CVT误差特性受温度的影响规律进行仿真与试验研究。根据仿真与试验结果,得到如下结论。

(1)环境温度主要通过改变分压电容的电容量与介质损耗因数影响其计量准确度。由于CVT电容分压单元的介质损耗因数较小,因此等值电容量的变化对CVT计量精度的影响占据主要地位。

(2)CVT电容分压单元高、低压臂电容量随着温度的升高呈减小趋势,介质损耗因数随着温度的升高呈现先减小后增大的变化趋势,由于电容器纸和聚丙烯薄膜介质温度系数相互补偿且介质损耗因数较小,因此温度的改变对电容量和介质损耗值的影响幅度均较小。随着环境温度的增大,CVT计量比值差负向增大,角差正向增大。

(3)单一的环境温度变化不会导致CVT计量比差和角差值超出规定的阈值范围,但对于工作环境恶劣及初始比差、角差较大的CVT,在其他环境因素和绝缘因素的共同影响下,存在计量超差的风险。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

参考文献:

- [1] 余贻鑫,栾文鹏. 智能电网述评[J]. 中国电机工程学报,2009,29(34):1-8.
YU Yixin,LUAN Wenpeng. Smart grid and its implementations[J]. Proceedings of the CSEE,2009,29(34):1-8.
- [2] 李守民. 电能计量系统综合误差研究及其应用[D]. 天津:天津大学,2009.
LI Shoumin. A study on the comprehensive error of electric energy metering systems and its application[D]. Tianjin:Tianjin University,2009.
- [3] 柳永妍,乐健,李琼林,等. 电容式电压互感器谐波测量误差研究[J]. 电力自动化设备,2017,37(3):167-174.
LIU Yongyan,LE Jian,LI Qionglin,et al. Research on harmonic measurement error of CVT[J]. Electric Power Automation Equipment,2017,37(3):167-174.
- [4] 韩海安,张竹,王晖南,等. 基于主元分析的电容式电压互感器计量性能在线评估[J]. 电力自动化设备,2019,39(5):201-206.
HAN Haian,ZHANG Zhu,WANG Huinan,et al. Online metering performance evaluation of capacitor voltage transformer based on principal component analysis[J]. Electric Power Automation Equipment,2019,39(5):201-206.
- [5] 彭庆华,陈龙,康文斌,等. 电容式电压互感器谐波测量误差分析[J]. 高电压技术,2015,41(3):956-962.
PENG Qinghua,CHEN Long,KANG Wenbin,et al. Analysis of harmonic measurement error using capacitive voltage transformer[J]. High Voltage Engineering,2015,41(3):956-962.
- [6] 熊小伏,周家启,周永忠,等. 电容式电压互感器暂态误差的数字校正方法[J]. 中国电机工程学报,2005,25(12):154-158.
XIONG Xiaofu,ZHOU Jiaqi,ZHOU Yongzhong,et al. Digital revision method on transient error of capacitive voltage transformer[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(12):154-158.
- [7] 高峰,李瑶琴,李黎,等. 哈郑线河南段带电绝缘子污秽成分及悬挂高度对积污的影响[J]. 电网技术,2015,39(10):2923-2928.
GAO Feng,LI Yaoqin,LI Li,et al. Analysis on contamination components of energized insulator of Hami-Zhengzhou overhead line in Henan and influence of installation height on pollution accumulation[J]. Power System Technology,2015,39(10):2923-2928.
- [8] 王梦云. 2004年度110 kV及以上变压器事故统计分析[J]. 电力设备,2005,6(11):31-37.
WANG Mengyun. Statistics and analysis of 110 kV and the above transformer fault in 2004[J]. Electrical Equipment,2005,6(11):31-37.
- [9] 董兴建,舒勤. CVT谐波测量仿真分析[J]. 电力电容器与无功补偿,2018,39(1):69-75.

- DONG Xingjian, SHU Qin. Simulation and analysis on harmonic measurement of CVT[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(1): 69-75.
- [10] 王黎明, 方斌. 500 kV 电容式电压互感器暂态特性仿真[J]. 高电压技术, 2012, 38(9): 2389-2396.
- WANG Liming, FANG Bin. Simulations on transient characteristics of 500 kV capacitor voltage transformer[J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(9): 2389-2396.
- [11] 张宇. 中压电容分压型电子式电压互感器的频率特性研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
- ZHANG Yu. Researches on the frequency characteristic of MV electronic voltage transformer based on the principle of capacitive voltage divider[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2017.
- [12] 严玉婷, 倪学锋, 江健武, 等. 污秽电阻对 CVT 测量准确性影响的理论分析和试验研究[J]. 高压电器, 2009, 45(2): 62-65, 69.
- YAN Yuting, NI Xuefeng, JIANG Jianwu, et al. Theoretical analysis and experiment about effect of contamination resistance on accuracy of CVT[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(2): 62-65, 69.
- [13] 孟祥甫, 刘于超, 李振东. 电容式电压互感器现场校验方法改进探讨[J]. 电测与仪表, 2010, 47(A7): 16-19.
- MENG Xiangfu, LIU Yuchao, LI Zhendong. Discussion the improvement of field calibration of capacitor voltage transformer[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2010, 47(A7): 16-19.
- [14] 邓维, 刘卫东, 傅志扬, 等. 变电站绝缘在线监测系统抗电磁场干扰特性[J]. 高电压技术, 2008, 34(8): 1552-1556.
- DENG Wei, LIU Weidong, FU Zhiyang, et al. Anti-electromagnetic interference ability of on-line monitoring system of HV capacitive apparatus[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(8): 1552-1556.
- [15] 杜林, 陈斌, 陈贤顺, 等. 内绝缘参量对电容式电压互感器计量精度的影响分析[J]. 电网技术, 2016, 40(12): 3958-3965.
- DU Lin, CHEN Bin, CHEN Xianshun, et al. Measurement errors of capacitor voltage transformer with different internal insulation parameters[J]. Power System Technology, 2016, 40(12): 3958-3965.
- [16] 马其燕, 崔翔, 任春阳, 等. 特高压电容式电压互感器阻抗测量及参数灵敏度分析[J]. 高电压技术, 2014, 40(6): 1828-1838.
- MA Qiyang, CUI Xiang, REN Chunyang, et al. Impedance measurement and parameter sensitivity analysis for ultra high voltage capacitor voltage transformer[J]. High Voltage Engineering, 2014, 40(6): 1828-1838.
- [17] 段晓波, 朱明星, 胡文平, 等. 影响电容式电压互感器谐波传递特性的关键参数[J]. 电网技术, 2014, 38(11): 3153-3159.
- DUAN Xiaobo, ZHU Mingxing, HU Wenping, et al. Key parameters affecting harmonic transfer characteristics of capacitor voltage transformer[J]. Power System Technology, 2014, 38(11): 3153-3159.
- [18] TZIOUVARAS D A, MCLAREN P, ALEXANDER G, et al. Mathematical models for current, voltage, and coupling capacitor voltage transformers[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, 15(1): 62-72.
- [19] 贺满潮, 张建平, 赵江涛. 温度变化对 CVT 准确度的影响[J]. 电力电容器, 2006, 27(1): 13-17.
- HE Manchao, ZHANG Jianping, ZHAO Jiangtao. Influence of the temperature changes on CVT's accuracy[J]. Power Capacitor, 2006, 27(1): 13-17.
- [20] 杜林, 冉鹏蔓, 蔚超, 等. 基于扩展德拜模型的油纸绝缘受潮频域特征量研究[J]. 电工技术学报, 2018, 33(13): 3051-3058.
- DU Lin, RAN Liman, WEI Chao, et al. Study on frequency domain characteristics of moisture in oil-paper insulation based on extended Debye model[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2018, 33(13): 3051-3058.
- [21] 房金兰. 关于电容式电压互感器技术发展的探讨[J]. 电力电容器与无功补偿, 2013, 34(1): 1-6.
- FANG Jinlan. Discussion on technical development of capacitor voltage transformers[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2013, 34(1): 1-6.

作者简介:



杜林(1971—),男,四川达州人,教授,博士,主要研究方向为电气设备绝缘在线监测和数字化测量技术等(E-mail: dulin@cqu.edu.cn)。

(编辑 任思思)

Influence of ambient temperature on CVT's measurement error

DU Lin¹, LI Yongsun², HE Peng¹, CHEN Bin³

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology,

Chongqing University, Chongqing 400044, China;

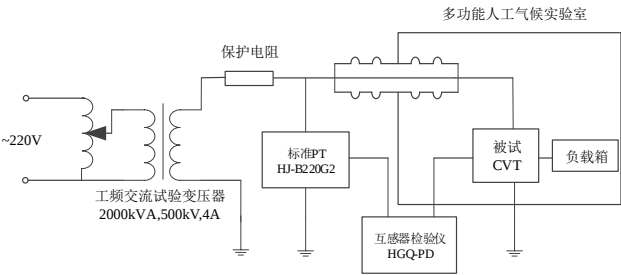
2. Jiangbei Power Supply Bureau of State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 401147, China;

3. State Grid Ningbo Power Supply Company, Ningbo 315000, China)

Abstract: The measurement accuracy of CVT (Capacitor Voltage Transformer) is susceptible to a variety of environmental factors, among which the ambient temperature is the main influencing factor. Temperature variation will change the capacitance and dielectric loss factor of the voltage dividing capacitors and further result in the measurement error of CVT. The influence of ambient temperature on the measurement error characteristics of 220 kV CVT is studied by simulation and experiment. The simulative and experimental results show that with the increase of the ambient temperature, the capacitance of the high and low voltage arms of CVT capacitor voltage dividing unit decreases, and the dielectric loss factor decreases first and then increases. The increase of ambient temperature will cause negative increase of CVT's magnitude error and positive increase of angle error. The CVT with large initial error may have the risk of over tolerance in the areas with large temperature difference.

Key words: capacitor voltage transformer; error characteristics; ambient temperature; accuracy; errors

附录



(a) 试验平台结构



(b) 试验接线

图 A1 环境温度对 CVT 计量误差影响试验平台结构及接线图

Fig.A1 Testing platform and its wiring diagram for testing influence of ambient temperature on CVT measurement error