

一种双端驱动静电振膜式电压互感器

邹 阳,徐启峰

(福州大学 电气工程与自动化学院,福建 福州 350108)

摘要:设计了一种双端驱动静电振膜式电压互感器(DEFVVT),其通过测量静电薄膜的微振动来测量电压。详细推导了被测电压与薄膜振动间的函数关系,根据薄膜微振动的表达式给出了被测电压的还原方法。介绍了高精度微振动检测方法在 DEFVVT 中的应用。Simulink 仿真结果表明所设计的 DEFVVT 的测量准确度可以达到 0.2 级,暂态带宽响应更好,且响应速度更快。实验结果表明,在 80%~120% 的额定电压范围内,所设计的 DEFVVT 的测量线性度好,测量结果准确度接近 1 级。

关键词:电压互感器;静电薄膜;微振动检测;线性测量;精度;设计

中图分类号:TM 932;TM 451

文献标识码:A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.04.024

0 引言

在当今大电网、高电压的电力系统中,传统的电磁式电压互感器暴露出体积大、绝缘设计困难、暂态特性差、铁磁谐振等问题^[1-2]。光学电压互感器(OVT)的出现一定程度上缓解了部分缺陷,且其具有绝缘简单、体积小、响应快、频带宽、抗电磁干扰能力强等优点;但是温漂、线双折射效应等严重影响 OVT 的工作稳定性,光强测量模式的非线性解调问题限制了 OVT 的有效测量范围、准确性受到光功率变化的影响^[3-6]。本文提出了一种基于双端静电驱动结构的静电振膜式电压互感器(DEFVVT),通过测量静电薄膜的微振动来检测电压^[7],结合薄膜运动方程求解,建立了薄膜振动位移与信号电压的函数关系。DEFVVT 结构中静电力与信号电压为线性关系,电压传变线性度好、频带宽、精度高,并且体积小、质量轻,结构简单,便于安装维护;同时还克服了以往单端驱动模型中,非线性测量线性化后需要高极化电压的缺点^[8]。

1 基本原理

根据静电驱动微结构原理,带静电荷的薄膜会在其两端高压极板产生的电场驱动下产生位移,DEFVVT 将被测电压转换为薄膜的微振动,通过测量薄膜的微振动及简单的数字处理来还原被测电压,其原理结构如图 1 所示。其中,一块固定的金属极板 A 连接到待测量的电压 U_{sig} ,与极板距离为 d 处的静电薄膜经直流电压 U_{pol} 极化后带有静电荷;另一金属极板 B 到薄膜的距离也为 d ,极板 B 接地。

1.1 薄膜静电力计算

薄膜上的总电势 U_D 为信号电压及固定极化电

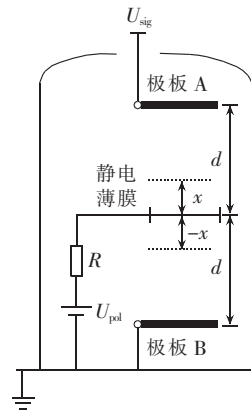


图 1 DEFVVT 基本原理结构图

Fig.1 Basic principle and structure of DEFVVT

压作用之和,由叠加定理得^[9]:

$$U_D = \frac{1}{2} U_{sig} \frac{d-x}{d} + \left[1 - \left(\frac{x}{d} \right)^2 \right] U_{pol} \quad (1)$$

其中, x 为振动位移。

薄膜同时受到极板 A、B 的静电作用力,静电力由 2 组电压 $U_1 = U_D - U_{sig}$ 及 $U_2 = U_D - 0 = U_D$ 作用产生,而 2 组电压所形成的静电力方向相反,故振膜所受静电合力为^[10-11]:

$$F = \frac{\epsilon_0 S_e U_2^2}{2d_2^2} - \frac{\epsilon_0 S_e U_1^2}{2d_1^2} = \frac{\epsilon_0 S_e}{2} \left[\left(\frac{U_D}{d-x} \right)^2 - \left(\frac{U_D - U_{sig}}{d+x} \right)^2 \right] \quad (2)$$

其中, S_e 为极板的有效面积; ϵ_0 为真空介电常数 ($8.845 \times 10^{-12} \text{ F/m}$)。

通常, x 为微米量级, d 为数十毫米(所测电压等级越高, d 越大), $x \ll d$, 则由式(1)、(2), 静电合力可化简为:

$$F = \frac{\epsilon_0 S_e U_{pol} U_{sig}}{d^2} \quad (3)$$

薄膜所受静电合力与待测电压 U_{sig} 呈线性函数关系。

1.2 薄膜振动计算

薄膜在静电力作用下振动,同时受薄膜自身弹性回复力和空气阻力作用。空气阻力 f 与阻力系数 r 、受力面积 S 及薄膜振动速度 v 成正比,表达式为:

$$f = -rSv \quad (4)$$

薄膜在振动过程中受到的弹性回复力 F_e 与振动位移 x 成正比:

$$F_e = -kx \quad (5)$$

其中, k 为常数。

于是,薄膜振动所受合力 $F_c^{[12-13]}$ 为:

$$F_c = \frac{\varepsilon_0 S_e U_{pol} U_{sig}}{d^2} - kx - rSv \quad (6)$$

由牛顿第二定律可得到薄膜在静电力驱动下的振动方程为:

$$\frac{\varepsilon_0 S_e U_{pol} U_{sig}}{d^2} - kx - rSv = ma \quad (7)$$

其中, m 为薄膜质量。

薄膜振动速度 v 、加速度 a 分别是薄膜振动位移对时间的一、二次导数,因此式(7)可写为:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{rS}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = \frac{\varepsilon_0 S_e U_{pol} U_{sig}}{md^2} \quad (8)$$

被测电压由基波、各次谐波和直流分量组成,则被测电压 U_{sig} 可写成:

$$U_{sig} = A_0 + A_{1m} \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + A_{2m} \sin(2\omega_1 t + \varphi_2) + \dots + A_{hm} \sin(h\omega_1 t + \varphi_h) + \dots \quad (9)$$

为方便描述,分别令:

$$\delta = \frac{rS}{2m} \quad (10)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (11)$$

$$q_i = \frac{\varepsilon_0 S_e U_{pol} A_{im}}{md^2} \quad (12)$$

将式(9)—(12)代入式(8)可得:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = q_0 + \sum_{i=1}^{\infty} q_i \sin(\omega_i t + \phi_i) \quad (13)$$

通过解式(13)所示的微分方程得到薄膜振动位移 $x(t)$ 及其振幅 $H(\omega)$ 和相位 φ_i 分别为:

$$x(t) = e^{-\delta t} (C_1 \cos \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} t + C_2 \sin \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} t) +$$

$$\frac{q_0}{\omega_0^2} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sqrt{A_i^2 + B_i^2}}{\omega_0^2} \sin(\omega_i t + \varphi_i - \phi_i) \quad (14)$$

$$H(\omega) = \sqrt{A_i^2 + B_i^2} = \frac{q_i}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_i^2)^2 + 4\delta^2 \omega_i^2}} \quad (15)$$

$$\varphi_i = \arctan \left| \frac{A_i}{B_i} \right| = \arctan \frac{2\delta \omega_i}{\omega_0^2 - \omega_i^2} \quad (16)$$

$$A_i = \frac{-2\delta \omega_i q_i}{(\omega_i^2 - \omega_0^2)^2 + 4\delta^2 \omega_i^2} \quad (17)$$

$$B_i = \frac{q_i(\omega_0^2 - \omega_i^2)}{(\omega_i^2 - \omega_0^2)^2 + 4\delta^2 \omega_i^2} \quad (18)$$

1.3 误差分析

式(14)中,等号右边前 2 项为暂态分量,且 δ 越大其衰减越快;第 3 项为直流分量;其他项分别对应各次交流分量。式(15)中,各次分量的幅值均能由式(14)的对应分量的幅值线性还原。式(16)表明薄膜振动相位滞后于信号电压,但滞后角通常很小,随着谐波次数的增加,滞后角增大,但均在准确度范围内。

实时采集得到薄膜的振动位移 $x(t)$,为了减小数据处理所产生的时延,通常将 $x(t)$ 乘以定标系数 K 得到测量电压值。

$$K = \frac{md_0^2 \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}}{\varepsilon_0 S U_{pol}} \quad (19)$$

其中, ω 为工频电压分量对应的角速度; d_0 为 d 的初始量,其受振动或温度影响会发生微小变化; U_{pol} 为 U_{pol} 的初始量,受电源稳定性影响。定标后所得数值就是待测电压 U_{sig} 。相位一般不定标,当系统相位延迟较大时,为满足相位误差要求可进行相位补偿。

2 仿真分析

2.1 仿真模型构建

DEFVVT 可以看成是一个以实际电压 $u_0(t)$ 为输入、测量电压 $u_1(t)$ 为输出的控制系统。由式(8)、(13),互感器从电压信号 $u_0(t)$ 转换为薄膜的振动 $x(t)$ 的传递函数为:

$$W(s) = \frac{b_0}{s^2 + 2\delta s + \omega_0^2} \quad (20)$$

$$b_0 = \frac{\varepsilon_0 S U_{pol}}{md^2} \quad (21)$$

DEFVVT 参数:薄膜为半径 $R = 0.04$ m、面密度 $\rho = 5$ g/m² 的圆形固支薄膜,薄膜的弹性系数为 140 N/m,极板与中间薄膜的距离均为 0.45 m,且置于空气中,空气阻尼系数 r 为 2.937。由此计算得 $p = 2\delta = 5.946 \times 10^6$, $\omega_0^2 = 5.57 \times 10^{10}$, $b_0 = 0.4368$, $\omega_0^2 / b_0 = 1.2735 \times 10^{11}$, $K = 7.8369 \times 10^{-12}$, $K_s = 1/K = 1.276 \times 10^{11}$ 。

基于上述参数的 Simulink 系统如图 2 所示。子系统 1 提供带谐波分量的电压源,传递函数及增益分别表示静电薄膜振动位移的产生与测量和从位移信号还原电压信号的过程,通过示波器可以同时观测到测量电压和实际电压波形。

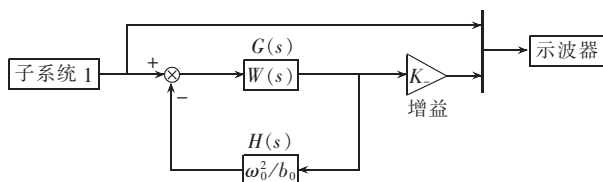


图 2 Simulink 仿真系统

Fig.2 Simulink simulation system

2.2 稳态特征

运行 DEFVVT 的仿真模型 0.1 s。先用 Powergui 模块中的快速傅里叶变换(FFT)功能分析实际电压中的谐波含量情况,结果如图 3 所示。

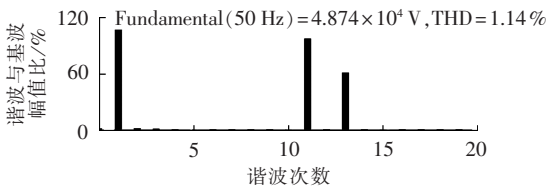


图 3 实际电压谐波含量

Fig.3 Actual voltage harmonic contents

由图 3 可知,基波与 11、13 次谐波的含量较高,计算其测量误差。由于本文所选取的薄膜参数造成的相位偏移较大,必须先计算由这些参数造成的额定相位偏移以进行相位补偿,最终误差统计结果如表 1 所示。

国标对电压互感器基波和谐波最高准确度(0.1 级)的要求为:基波比差在 ±0.1% 以内,角差在 5' 以内;10~13 次谐波比差在 ±8% 以内,角差在 8° 以内。表 1 中所得统计结果满足这一要求(13 次谐波的比差接近 ±8% 的范围),并留有一定裕度。

2.3 暂态特性

暂态特性的优劣是衡量电压互感器性能的重要指标,本文通过模拟断路器合闸瞬间、开断线路瞬间以及雷电冲击 3 种情况^[14],仿真分析了 DEFVVT 的暂态量反应情况。

仿真结果:合闸瞬间,DEFVVT 输出电压在变化方向上有一个尖峰脉冲,并在半个工频周期内迅速恢复;切断实测电压后的半个工频周期内,测量电压归零,两者实现同步,且互感输出能够在 1 个周期内衰减至故障前输出峰值的 10% 以下,说明暂态响应特性较好,满足继保规定要求;DEFVVT 经受 1.5 μs/40 μs 雷电冲击波后,测量电压相比冲击电压无时延,但波头时间和波尾时间都有增加(见图 4)。结合电磁式电压互感器和 OVT 雷电冲击响应波形图^[15](见图 5 和图 6)可知,电磁式电压互感器测量波形无法较好识别出波头和波尾时间,光学电压互感器测量电压波形产生了 40 μs 时延。

所以,仿真分析在原理上证明了 DEFVVT 带宽响应好于电磁式电压互感器,响应速度比光学电压互感

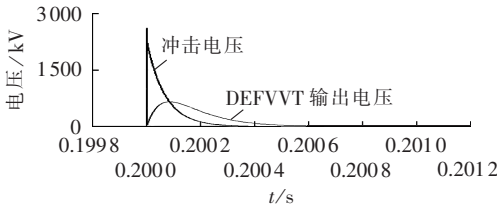


图 4 DEFVVT 冲击响应

Fig.4 Shock response of DEFVVT

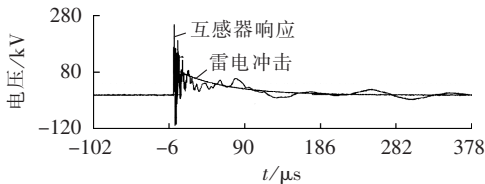


图 5 电磁式电压互感器冲击响应

Fig.5 Shock response of inductive voltage transformer

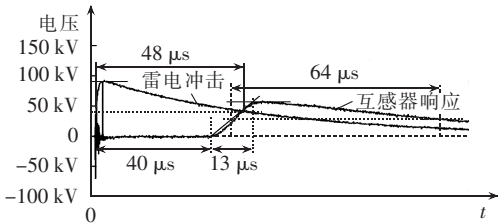


图 6 光学电压互感器冲击响应

Fig.6 Shock response of optical voltage transformer

器更快。

3 实验结果

3.1 稳态传变实验

实验室条件下进行了 110 kV DEFVVT 原理验证,静电薄膜采用聚酯薄膜,厚度为 0.012~0.25mm,用真空镀膜技术蒸镀一层薄薄的导电层。静电薄膜边框采用 3 mm 厚环氧树脂板,先切成 2 片 120 mm×120 mm×3 mm 小板,再在 2 片小板中间挖半径为 40 mm 的圆孔。2 块环氧树脂小板将薄膜粘合在中间,形成一个薄膜互感头。静电薄膜将电压转换为薄膜的位移,准确地测量薄膜位移是高精度电压测量的前提。本文采用了美国 Mti Instruments 公司的 MTI-2100 Fotonic 工业用非接触式光纤位移测量仪,其具有 2.5 nm 的分辨率及 500 kHz 的工作频率^[16]。其探针模块由输出光纤和接收光纤组成,根据接收被测物的反射光量决定位移量。DEFVVT 原理验证接线图如图 7 所示。按照图 7 所示的实验测试

表 1 仿真结果

Table 1 Simulative results

谐波次数	实际电压		测量电压		测量电压额定 相位偏移/(°)	比差/%	角差/(')
	幅值/V	相位/(°)	幅值/V	相位/(°)			
基波	48 745.48	28.1	48 744.47	26.2	1.9207	-0.002	1.242
11	468.51	268.3	441.25	248.0	20.2518	-5.820	-2.892
13	295.87	-50.5	270.21	-74.1	23.5608	-8.700	-2.352

回路,反复多次进行加压循环实验,测量结果列于表 2 中。实验中各个环节均采用高精度仪器测量。对同一个互感头所构成的传感器,调节原边电压为额定电压的 80%~120%,比较标准电压互感器和 DEFVVT 的测量结果,得到其比差和角差。由表 2 实验数据可知,DEFVVT 在实验室研究的初期阶段,比差达到 1 级,且接近 0.5 级,角差较大。

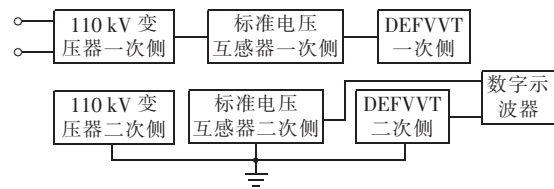


图 7 原理验证实验接线图
Fig.7 Wiring diagram of principle verification experiment

分析 DEFVVT 误差较大的原因,归结为:测量系统中各环节是分立元件,系统误差导致互感器输出波形有所失真;非接触式光纤位移传感器线性度不够;互感头的制作工艺和材质影响。因此对应的改进措施为:互感头选用面密度更小、弹性系数更高的材料来制作;选用线性度更好的非接触式光纤位移传感器;通过完善设备间的配合与调试,减小系统误差。

虽然实验数据未满足 0.5 级准确级要求,但通过在随机的 3 d 时间里升、降压测试记录数据中所选取的共 6 组数据(平均每天抽取升、降压测试记录数据共 2 组),绘制成的重复性测试曲线如图 8 所示。其中纵轴为 DEFVVT 的输出电压(反映薄膜的位移),横轴为原边输入电压(由 0.05 级的精密电压互感器测得)与额定电压之比。可见,图中各曲线的吻合度非常高,这说明实验使用的静电薄膜传感头的重复性和线性度好,回程误差小。

结合仿真与实验测试数据可知,DEFVVT 稳态特性较好,若能处理好设备元器件间的配合调试工作,一定程度上提高精度,DEFVVT 是具有研究与应用价值的。

3.2 暂态响应实验

由于实验条件有限,本文利用 DEFVVT 原边突然断电后又恢复供电,模拟系统中突遇故障跳闸以及自动重合闸的情形进行暂态实验研究,以及模拟

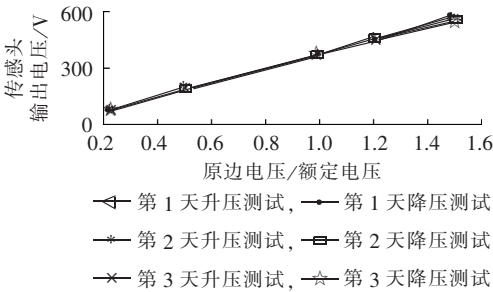


图 8 重复性测试曲线
Fig.8 Curve of repeatability test

雷电冲击波对互感器影响的暂态响应。接线图同 3.1 节,通过 ADS1022C 示波器记录原边(用 0.05 级精密电压互感器输出电压代替)、副边电压波形。波形记录结果如图 9、图 10 所示。

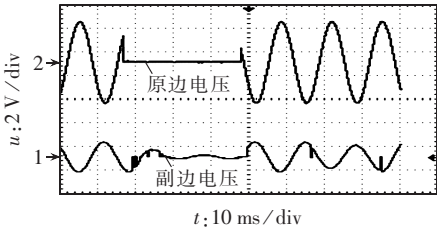


图 9 自动重合闸响应
Fig.9 Response of automatic recloser

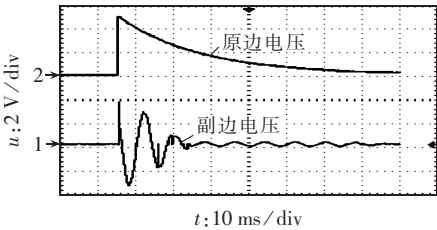


图 10 DEFVVT 冲击响应
Fig.10 Shock response of DEFVVT

自动重合闸响应中,原边断电后,副边能够在 1 个周期内快速衰减,对瞬态电压有着较好的响应;合闸瞬间,有一个幅值较大的尖峰脉冲,但随后能在半个工频周期内实现对实际电压的快速跟随,说明对冲击响应的反应速度较快。

根据国家标准,在额定电压下,互感器的原边与接地端子发生短路后,副边的输出电压应在额定频率条件下 1 个周期内衰减到短路前电压峰值的 10% 以下。从目前实验结果来看,数值上还无法验证。

因此在后续研究中,将通过调整互感头的制作

表 2 额定电压下的实验数据
Table 2 Experimental data at rated voltage

升压过程					降压过程				
原边电压/kV	占额定电压百分数/%	输出电压/V	比差/%	角差/(′)	原边电压/kV	占额定电压百分数/%	输出电压/V	比差/%	角差/(′)
50.806	80	297.880	-1.47	±54.14	50.806	80	297.668	-3.20	±137.99
63.508	100	374.417	-1.12	±37.68	63.508	100	374.792	-1.23	±40.26
76.210	120	441.416	0.64	±72.06	76.210	120	441.700	0.58	±63.33

参数,选择内阻尼大的薄膜及增大薄膜欲张力等,进一步提高互感器的响应能力。

3.3 温度特性研究

在 DEFVVT 的温度特性研究中,由于互感器相关测试设备和元器件的温度特性生产厂家已经予以考虑,因此本文主要围绕聚酯薄膜展开温度特性研究。

聚酯薄膜的热性能包括热收缩率和热稳定性两方面。

3.3.1 热收缩率检测

样品:120 mm×120 mm 的正方形静电薄膜,中心画横向、纵向垂直的 100 mm×100 mm 标线,共制作 3 块。

实验步骤:将高温烘箱 DHG-9030A 的温度调节为(150±1)℃,恒温 10 min 后,将样品水平放入,30 min 后取出,待冷却至常温后,分别测量其横向、纵向长度,并计算其热收缩率,取算术平均值为测量结果,见表 3。

表 3 热收缩率测量结果
Table 3 Results of heat shrinkage test

样品	热收缩率/%	
	横向	纵向
1	1.23	1.94
2	1.47	1.83
3	1.12	1.67

$$T=\frac{L_0-L_1}{L_0}\times 100\% \tag{22}$$

其中, T 为热收缩率; L_0 为加热前长度(mm); L_1 为加热后长度(mm)。

测量数据符合 GB/T16958—1997《包装用双向拉伸聚酯薄膜的热收缩性》要求,横向热收缩率不超过 1.5%,纵向热收缩率不超过 2.0%,这表明薄膜在受热情况下尺寸稳定,未受热变形。

3.3.2 热稳定测试

在实验室进行 3 d 的升、降压测试记录数据测量时,也选取了早、中、晚不同时段,各时段温度不同,对互感头圆形薄膜的载荷特性进行了有限元仿真计算。

用 Ansys12.0 轴对称结构单元 SHELL51 实体建模方法建立几何模型,分析其载荷-位移曲线(如图 11 所示),表明薄膜载荷特性不受温度影响。

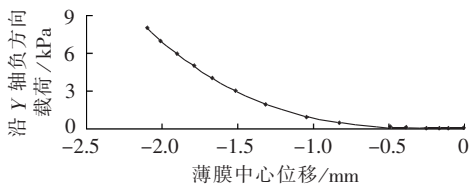


图 11 载荷-位移曲线

Fig.11 Load-displacement curve

由随机的 3 d 时间里升、降压测试实验得到的重复数据曲线,吻合度非常高,这说明静电振膜传感头的重复性和线性度好,受温度变化影响小。

由上述分析可知:互感头圆形薄膜其可靠性较为稳定,温度变化对振膜特性影响小;温度对精确的互感设备影响主要针对互感部件的分子间间隔而影响其相关特性,这是不可避免的,因此要尽量选取对温度性敏感低的薄膜。

4 结论

本文提出了一种基于静电薄膜振动的双端驱动电压互感器,建立了数学模型,并进行了实验验证,得到如下结论。

a. 薄膜所受静电合力与待测电压 U_{sig} 成线性函数关系,待测电压幅值均能由薄膜振动位移对应幅值线性还原,且振动较于待测电压滞后角很小。

b. 仿真分析结果表明 DEFVVT 工作模型稳态性能较好,线性度高,测量精度满足 0.2 级准确度;暂态带宽响应及响应速度比其他类型电压互感器有一定优势。

c. 实验验证表明在额定电压的 80%~120% 范围内,DEFVVT 测量线性度好,测量结果稳定,暂态响应速度快,温度特性稳定,不易受影响。

参考文献:

[1] 杨斌文,李文圣. 电压互感器铁磁谐振的产生与消除[J]. 电力自动化设备,2010,30(3):134-137.
YANG Binwen,LI Wensheng. Causes of PT ferro resonance and countermeasures[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(3):134-137.
[2] 时德刚,刘晔,张丽平,等. 高电压等级电压互感器综述[J]. 变压器,2003,40(6):11-14.
SHI Degang,LIU Ye,ZHANG Liping,et al. Overview of high voltage potential transformer[J]. Transformer,2003,40(6):11-14.
[3] 陈丽娟,许晓慧,包玉树,等. 一种新型光电电压互感器[J]. 电力自动化设备,2010,30(7):114-116.
CHEN Lijuan,XU Xiaohui,BAO Yushu,et al. Novel optical voltage transducer[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(7):114-116.
[4] 邹建龙,刘晔,王采堂,等. 电力系统适用光学电压互感器的研究新进展[J]. 电力系统自动化,2001,25(9):64-67.
ZOU Jianlong,LIU Ye,WANG Caitang,et al. Development of study of optical voltage transducer used in power system[J]. Automation of Electric Power Systems,2001,25(9):64-67.
[5] 朱勇,叶妙元,刘杰,等. 220 kV 组合式光学电压电流互感器的设计[J]. 高电压技术,2000,26(2):34-36.
ZHU Yong,YE Miaoyuan,LIU Jie,et al. Design of 220 kV combined optical voltage and current transformer[J]. High Voltage Engineering,2000,26(2):34-36.
[6] 李伟凯,郑绳桓. 新型光电式电压互感器研究[J]. 电子测量与仪器学报,2006,20(1):28-31.

- LI Weikai,ZHENG Shengxuan. Study on a new type optic-electric transformer[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument,2006,20(1):28-31.
- [7] 徐启峰. 一种振膜式电流传感器[J]. 电力系统自动化,2009,33(8):81-83.
- XU Qifeng. A film vibration current transducer[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(8):81-83.
- [8] 许远城,陈冲,徐启峰,等. 静电振膜式电压传感器及其仿真分析[J]. 东南大学学报:自然科学版,2010,40(增刊1):308-311.
- XU Yuancheng,CHEN Chong,XU Qifeng,et al. Electrostatic diaphragm voltage sensor and its simulations[J]. Journal of Southeast University:Natural Science Edition,2010,40(Supplement 1):308-311.
- [9] 毕德显. 电磁场理论[M]. 北京:电子工业出版社,1985:123-127.
- [10] 齐增盈. 静电振膜式电压互感器研究[D]. 福州:福州大学,2011.
- QI Zengying. Study on electrostatic film vibration voltage transformer[D]. Fuzhou:Fuzhou University,2011.
- [11] 姚峰林,高世桥. 微陀螺梳齿静电驱动力的计算方法[J]. 传感技术学报,2011,24(9):1265-1269.
- YAO Fenglin,GAO Shiqiao. The calculation method of the electrostatic drive force of micro machined groscope comb[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators,2011,24(9):1265-1269.
- [12] 王以真. 静电扬声器的理论与实践[J]. 电声技术,2002(2):47-51.
- WANG Yizhen. Theory and practice of electrostatic loudspeaker[J]. Audio Engineering,2002(2):47-51.
- [13] 于大国,马履中. 粘性阻尼与可调阻尼的探讨[J]. 机械设计与制造,2009(10):207-209.
- YU Daguo,MA Lüzhong. Research on viscous damping and variable damping[J]. Machinery Design & Manufacture,2009(10):207-209.
- [14] 王佳颖,郭志忠,张国庆,等. 电子式电压互感器暂态特性仿真与研究[J]. 电力自动化设备,2012,32(3):62-65,75.
- WANG Jiaying,GUO Zhizhong,ZHANG Guoqing,et al. Investigation and simulation of transient characteristics of electronic voltage transformer[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(3):62-65,75.
- [15] KUCUKSARI S,KARADY G G,et al. Experimental comparison of conventional and optical VTs and circuit model for optical VT[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2011,26(3):1571-1578.
- [16] QI Zengying,XU Qifeng. A new type of voltage transducer[C]// Proceedings of the 2011 2nd International Congress on Computer Applications and Computational Science. Berlin,Germany:Springer,2012:291-296.

作者简介:



邹阳

邹阳(1980—),男,重庆人,讲师,博士研究生,从事电力系统测量技术及电气设备绝缘监测与故障诊断方面的研究(E-mail:24001744@qq.com);

徐启峰(1959—),男,山东济南人,教授,博士,主要研究方向为电力系统测量技术(E-mail:fx9687@126.com)。

Dual-end electrostatic film vibration voltage transformer

ZOU Yang,XU Qifeng

(Fuzhou University,Fuzhou 350108,China)

Abstract: A kind of DEFVVT(Dual-end Electrostatic Film Vibration Voltage Transformer) is designed, which measures voltage by the micro-vibration of electrostatic film. The functional relationship between measured voltage and film vibration is deduced,according to which,the recovery method of measured voltage is given. The application of high-precision micro-vibration detection in DEFVVT is introduced. The simulative results by Simulink show that the measurement accuracy of the designed DEFVVT reaches grade 0.2,its transient bandwidth response is better and its response speed is higher. Experimental results show that,from 80% to 120% of the rated voltage,it has good measurement linearity and its measurement accuracy is close to grade 1.

Key words: electric voltage transformer; electrostatic film; micro-vibration detection; linear measurement; accuracy; design