

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2026.10.009

电容式电压互感器频谱特性及其应用研究

陈名¹, 陈潜¹, 武霁阳², 李清², 彭光强², 国建宝², 刘军成³

(1. 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司, 广州 510663; 2. 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司电力科研院, 广州 510663; 3. 西安博宇电气有限公司, 西安 710065)

摘要: 电力电子化趋势导致电力系统高频扰动分量快速增加, 迫切需要全面分析研究电容式电压互感器(CVT)宽广频率范围的频谱特性, 确保电力系统测量、控制保护装置安全可靠运行。基于CVT结构特点, 文中采用传递函数的方法分析了影响CVT频谱特性的主要因素及其影响结果, 在此基础上提出了宽频域CVT谐波分析模型, 基于该模型的频谱特性分析结果与前述CVT影响因素分析结论吻合; 最后文中还举例分析了CVT频谱特性研究的实际应用场景。

关键词: 电容式电压互感器; 谐波; 频谱; 传递特性

Study on the Spectrum Characteristics of Capacitive Voltage Transformer and Its Applications

CHEN Ming¹, CHEN Qian¹, WU Jiyang², LI Qing², PENG Guangqiang²,
GUO Jianbao², LIU Juncheng³

(1. CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510663, China; 2. Electric Power Research Institute, CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510663, China; 3. Xi'an Boyuu Electrical Ltd., Xi'an 710065, China)

Abstract: The trend toward power electronicization has led to a rapid increase in high frequency disturbance components in power systems, creating an urgent need to comprehensively analyze and study the spectral characteristics of capacitive voltage transformer(CVT) over a wide frequency range, so as to ensure the safe and reliable operation of power system measurement, control, and protection devices. Based on the structural feature of CVT, in this paper the transfer function method is used to analyze the main factors influencing the CVT spectral characteristic and their corresponding effects and, on this basis, a wide frequency domain harmonics analysis model for the CVT is proposed. The spectral characteristic analysis results based on this model are consistent with the conclusions drawn from the aforementioned analysis of influencing factors. Finally, the practical application scenarios of the CVT spectral characteristic study are also illustrated through examples.

Key words: capacitive voltage transformer; harmonic; frequency spectrum; transfer characteristic

0 引言

目前, 随着高压、超高压交直流混合电力系统的不断发展及新型电力系统的建设, 一种可容纳各类新能源发电的、高度电力电子化的新型电力系统正在形成, 导致电力系统低频传导干扰主导频段已由早期的2 kHz逐步向9 kHz甚至150 kHz频段转化^[1], 系统电磁环境更加恶劣, 给电力系统安全可靠运行带来了巨大挑战^[2-7], 急需把握新型电力系统电能质量尤其是高频扰动特征并据此进行各类危害

分析。

与电磁式电压互感器相比较, 电容式电压互感器(CVT)因其体积小、运行经济、无铁磁谐振现象等特点, 在高压、超高压电力系统获得了广泛应用^[8-19]。从原理上而言, CVT仅能正确传递工频电气量参数, 无法正确传递除工频之外的各类频谱分量包括谐波、间谐波、高频分量等信号^[20-25], 这一现象严重危及基于CVT的各类测量、控制、保护装置的安全可靠运行。南方电网系统[2018]2号文件《中国南方电网二〇一八年防范系统运行风险的重点工作及

收稿日期: 2026-05-24; 修回日期: 2026-07-26

基金项目: 中国南方电网有限责任公司重点科技项目(CGYKJXM20210334)。

Project Supported by the Key Science and Technology Project of China Southern Power Grid(CGYKJXM20210334).

解决系统运行存在问题的重要任务》中针对防范系统运行风险的重点工作之一要求“持续推进系统背景谐波来源分析,制定、落实谐波源用户的并网监测和治理措施”,而系统背景谐波来源分析的准确性依赖于基于CVT的谐波电压准确测量。可见,研究宽频域CVT频谱特性已经是现代新型电力系统面临的迫切需求。

目前,CVT频谱特性的分析研究主要有实测法、模型仿真法及该两种方法的结合。实测法将特定频谱及含量的信号施加于CVT一次侧,测量CVT二次侧对应该频谱的信号,依此分析CVT对该频谱分量的传递特性。实测法的主要缺陷在于实验室无法提供CVT对应额定电压等级的谐波源或谐波源频谱及其调节能力有限,例如仅能提供1kHz整数次谐波频段的信号,很难发现准确的CVT频谱特性谷峰变化频点;模型仿真法相对自由度较大,但模型特征基于传统电力系统低频传导干扰特点,分析频段多在2 kHz以下^[26-30]。通过实测CVT频谱特性并基于既定的模型进行模型参数辨识^[14,31]进而分析CVT频谱传递特性的方法兼有上述两种方法的缺陷。

文中第1节采用传递函数的分析方法基于CVT结构特点分析了影响CVT频谱传递特性的主要因素及其影响规律;在此基础上文中第2节提出了宽频域CVT谐波分析模型并基于此分析了CVT频谱传递特性及模型的适用性;最后文中第3中举例分析了CVT频谱特性的实际应用场景。

1 CVT频谱特性影响因素

CVT主要由分压电容、调谐电抗及电磁单元3部分构成,由GB/T 20840.5—2013^[25]国家标准可知,基于CVT结构的简化等效电路见图1。图1中: $1/\omega C = \omega L$ ($C = C_1 + C_2$, C_1 为CVT高压电容, C_2 为CVT中压电容, L 为调谐电抗器电感及电磁单元漏感之和, ω 为工频角频率); R 为等效负载。

设某型号110 kV CVT铭牌参数为:额定频率 $f=50$ Hz, $C_1=26\ 180$ pF, $C_2=84\ 680$ pF, 调谐电抗及电磁互感器漏抗之和为 $L=91.395\ 6$ H。下面基于上述CVT基本参数并从图1(a)开始,结合CVT实际结构分析影响CVT频谱传递特性的主要因素。

1.1 回路品质因数的影响

基于图1(a)的CVT传递函数得

$$H(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{R}{R + sL + 1/(sC)} \quad (1)$$

设图1(a)等效负载 R 分别为 10^5 、 10^4 、 $100\ \Omega$,则由电路参数决定的品质因数分别为0.287、2.87、

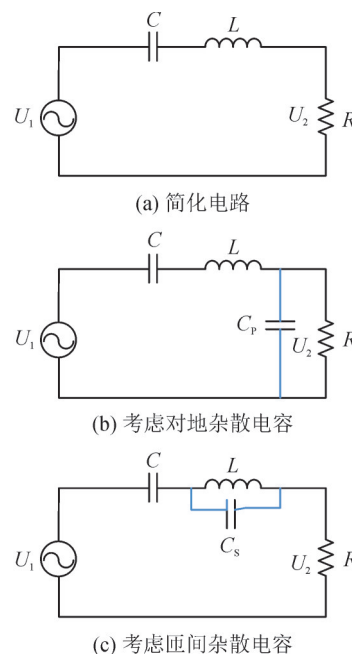


图1 CVT简化等效电路

Fig. 1 Simplified CVT equivalent circuit

287,由式(1)得到的对应频谱特性见图2。由式(1)可见该模型对应的CVT是一个典型的二阶系统,其传递函数特征根见表1。

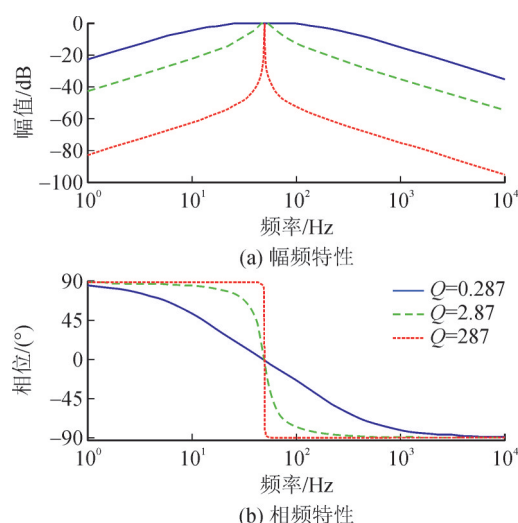


图2 品质因数对CVT频谱特性的影响

Fig. 2 Impact of quality factor on spectral characteristic

表1 不同品质因数对应特征根

Table 1 Characteristic root corresponding to different quality factor

R/Ω	品质因数	特征根 λ_1	特征根 λ_2
10^5	0.287	$-994.947\ 3$ (对应 158 Hz)	$-99.197\ 3$ (对应 15.8 Hz)
10^4	2.870	$-54.710\ 0 + 309.36\ i$ (对应 50 Hz)	$-54.710\ 0 - 309.36\ i$ (对应 50 Hz)
100	287.000	$-0.550\ 0 + 314.16\ i$ (对应 50 Hz)	$-0.550\ 0 - 314.16\ i$ (对应 50 Hz)

图2、表1清楚表明:随着品质因数的增加,系统自然震荡频率趋于CVT额定运行频率即50 Hz;随着回路品质因数的增加,CVT频谱特性在额定工频附近更加尖锐,系统阻尼也迅速减小;反之对应频谱特性在CVT额定频率附近更加平坦。由此可见CVT负载是影响其谐波模型不可或缺的考虑因素之一。

一般来说,电压等级越高,CVT回路品质因数相对越低,其工频附近频谱特性越平坦。另外,当CVT在欠负载条件下运行时,其工频附近频谱特性也越好(平坦)。

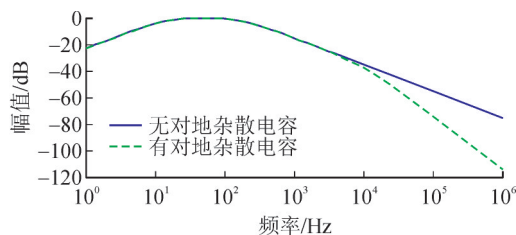
1.2 对地杂散电容的影响

图1(a)电路并未考虑CVT对地杂散电容,实际上该杂散电容是存在的,例如CVT电磁单元对地存在杂散电容等。考虑CVT对地杂散电容的等效电路见图1(b)(在图1(a)中增加杂散电容 C_p)。设其对地杂散电容为140 pF,取负载 $R=10^5 \Omega$,采用与1.1节类似的分析方法,其特征根变化对比见表2,对应频谱特性见图3。

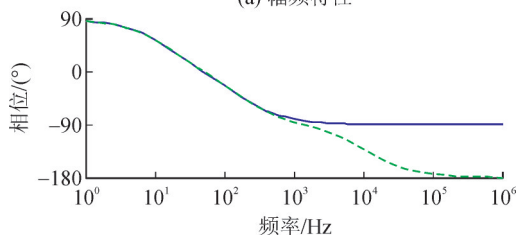
表2 考虑对地杂散电容的特征根对比

Table 2 Characteristic root comparison with and without stray capacitor to ground

条件	λ_1	λ_2	λ_3
无杂散电容	-994.947 3 (对应 158 Hz)	-99.197 3 (对应 15.8 Hz)	
有杂散电容	-1 012.000 0 (对应 161 Hz)	-99.000 0 (对应 15.8 Hz)	-70 317.000 0 (对应 11 191 Hz)



(a) 幅频特性



(b) 相频特性

图3 对地杂散电容对CVT频谱特性的影响

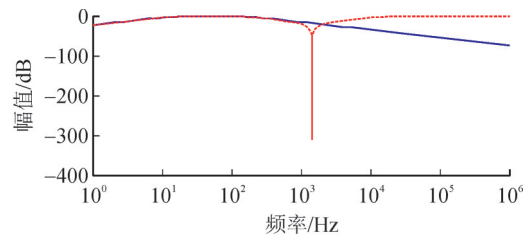
Fig. 3 Impact of stray capacitor to ground on spectral characteristic

由表2可知,考虑CVT对地杂散电容后,CVT传递函数由典型二阶系统转化为3阶系统,增加了第3个特征根,其对应自然震荡频率为11 191 Hz;由图3可知,对地杂散电容对小于11 191 Hz频段的频谱特性几乎没有影响。由此可见,对地杂散电容对CVT频谱特性的影响主要集中在高频段,当研究CVT高频谐波特性时,其谐波模型需要考虑对地杂散电容的影响。

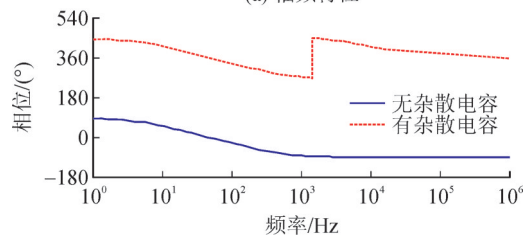
目前,新型电力系统电力电子化趋势明显,基于电力电子器件开关频率的高频分量频段已经扩展到150 kHz^[1],因此应充分关注对地杂散电容对CVT频谱特性的影响。

1.3 匝间杂散电容的影响

构成CVT主电路的调谐电抗器及电磁互感器存在匝间杂散电容,考虑该匝间杂散电容的等效电路见图2(c)。设其匝间杂散电容为130 pF,取负载 $R=10^5 \Omega$,采用与上节类似的传递函数的分析方法,其对应频谱特性见图4,传递函数特征根对比见表3。



(a) 幅频特性



(b) 相频特性

图4 匝间杂散电容对CVT频谱特性的影响

Fig. 4 Impact of the turn-to-turn stray capacitor on spectral characteristic

表3 考虑匝间杂散电容的特征根对比

Table 3 Characteristic root comparison with and without turn-to-turn stray capacitor

条件	λ_1	λ_2	λ_3	$Z_{1,2}$
无匝间杂散电容	-994.947 3 (对应 158 Hz)	-99.197 3 (对应 15.8 Hz)		
有匝间杂散电容	-1 008.000 0 (对应 161 Hz)	-99.000 0 (对应 15.8 Hz)	-75 906.000 0 (对应 12 081 Hz)	$\pm 9 174.1 i$ (对应 1 460 Hz)

由表3可知,考虑匝间杂散电容后,CVT传递函数也由典型的二阶系统变化为3阶系统,增加了第3个特征根,对应自然振荡频率为12 081 Hz;特别地,此时还增加两个零点,对应自然振荡频率为1 460 Hz,新增零点及极点的作用使得频谱特性在1 460 Hz形成低谷。该谷点频率接近传统的25次谐波频率,因此,1 kHz附近频段范围的谐波研究不可忽视元件匝间杂散电容对CVT谐波模型的影响。

相应地,同时考虑对地及匝间杂散电容的CVT频谱特性见图5,其影响具有两种杂散电容单独作用的共同特征。

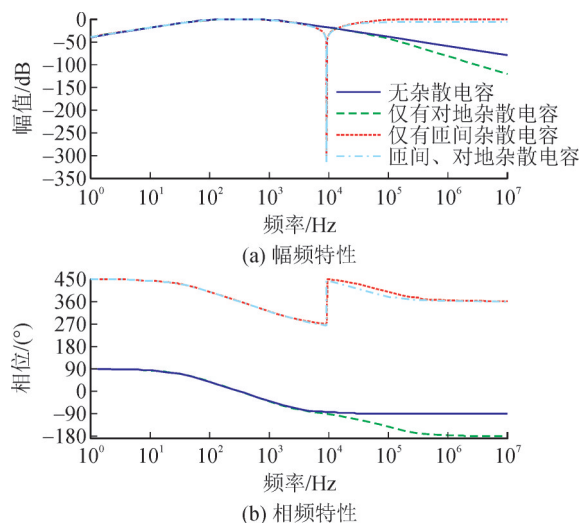


图5 匝间、对地杂散电容综合影响对比

Fig. 5 Impact of capacitances of both turn-to-turn and to ground on spectral characteristic

1.4 谐振回路的影响

目前,CVT抗铁磁谐振电路(FSC)主要包括的两种类型见图6。两种电路分析方法类似,文中以图6(a)为例进行分析。

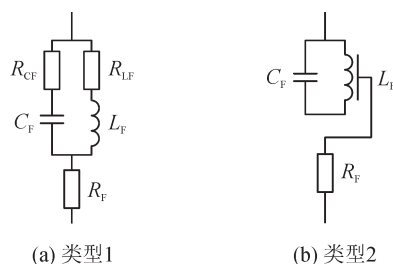


图6 抗铁磁谐振电路

Fig. 6 Ferroresonant suppression circuit

图6(a)所示抗铁磁谐振电路幅频特性见图7(对应电路参数见表4)。分析图7可知:该电路在工频条件下呈现高阻,相当于开路,不对CVT工频传递产生影响;但是在偏离工频两侧宽广的频段范围内其阻抗急剧下降,对可能的谐振频率呈现低阻从而达到抑制铁磁谐振的目的。

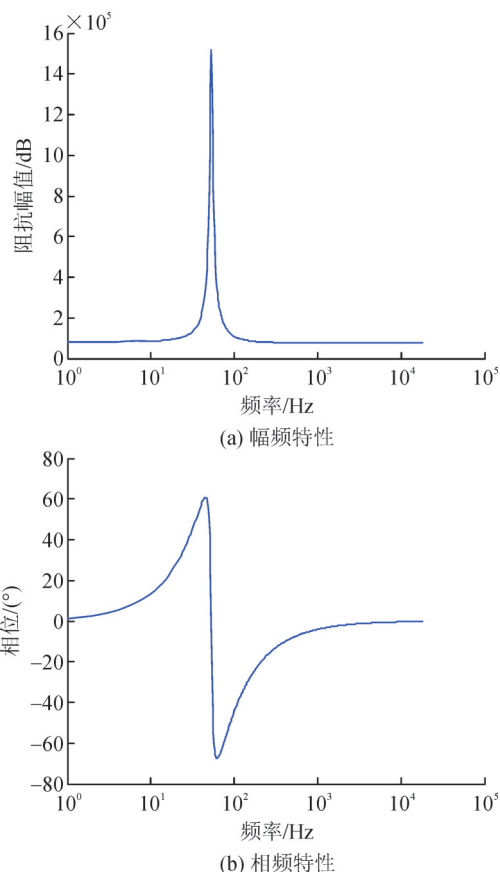


图7 抗铁磁谐振电路频谱特性

Fig. 7 Spectral characteristic of FSC

表4 CVT模型参数

Table 4 Parameters of CVT harmonic model

参数	数值	参数	数值
$C_1/\mu\text{F}$	0.001 605	R_s/Ω	1×10^6
$C_2/\mu\text{F}$	0.089 991	L_d/H	51.4
R_1/Ω	950.06	R_v/Ω	13.333
L_1/mH	67 922	R_{c1}/Ω	0.08
C_3/pF	130	$C_4/\mu\text{F}$	165.36
C_5/pF	140	R_{c2}/Ω	1.230 1
C_6/pF	1×10^{-8}	L_2/mH	54.3
R_{1s}/Ω	850.02	R_0/Ω	29.551
L_{1s}/mH	4 443.3	L_3/mH	4 884
C_{1s}/pF	100×10^{-6}		

图6(a)抗铁磁谐振电路接入图1(a)后CVT频谱特性见图8。分析图8可知,该电路对2 kHz频段内CVT频谱特性产生重大影响。特别地,计及抗铁磁谐振电路影响后,在工频两侧附近频段引入两个新的极点,导致CVT对该频段的谐波产生放大现象。因此,在分析2 kHz频段内特别是几百Hz频段内的谐波电压时,CVT谐波模型必须考虑抗铁磁谐振电路的影响。

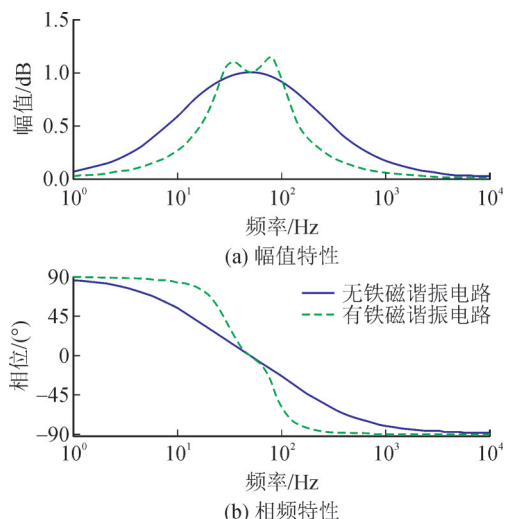


图8 抗铁磁谐振电路对CVT频谱特性的影响

Fig. 8 Impact of FSC on CVT spectral characteristic

1.5 影响因素比较

由前文分析可见：

1) CVT回路电阻特别是负载对其频谱特性的影响尽管是全频域的,但对额定频率附近传递特性的平坦性影响最为明显,因此,为了提高CVT在额定频率附近的频谱传递特性,建议CVT在欠负载下运行。

2) 对地杂散电容对9 kHz以内的谐波、高频分量几乎不产生影响,仅影响9 kHz以上的频谱传递。

3) 匝间杂散电容导致CVT传递函数在1~1.5 kHz及其附近频率产生较大传递误差,需要特别关注。

4) 与负载一样,谐振回路尽管在全频率域对CVT频谱传递特性产生影响,但最明显的对额定频率两侧产生较大影响。

2 CVT谐波模型及其频谱特性

2.1 CVT谐波模型

从上一节分析可见,影响CVT频谱特性的因素除主电路参数之外,还包括匝间及对地杂散电容、抗铁磁谐振电路等。基于此,从CVT构成结构出发,文中提出的CVT谐波分析模型见图9。图9中除考虑CVT主电路参数之外,还考虑了调谐电抗器匝间杂散电容、电磁式互感器一次二次对地杂散电容及匝间杂散电容、抗铁磁谐振电路及负载等。图9中具体参数: C_1 、 C_2 为CVT高压及中压电容; R_L 、 C_L 、 L_L 为调谐电抗器等效电阻、杂散电容、电感; N_p 、 N_s 为电磁单元一次、二次匝数; U_p 为中压侧电压; U_b 为负荷侧电压; Z_{ps} 为电磁互感器一次、二次侧等效漏抗之和及匝间电容形成的总等效阻抗; C_p 、 C_s 为电磁互感器一次、二次侧对地电容; Z_e 为激磁阻抗; Z_b 为负载阻抗。

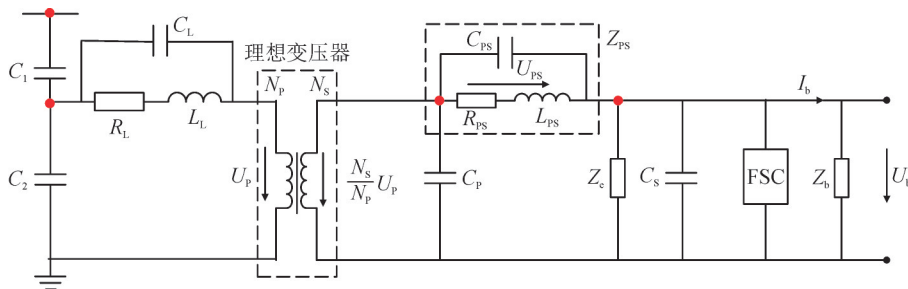


图9 CVT谐波模型

Fig. 9 Harmonic model of CVT

2.2 CVT频谱特性

基于图9模型的一组500 kV CVT模型参数见表4。采用与第1章类似的传递函数分析方法,由该组模型参数决定的CVT传递函数零点及极点自然振荡频率见表5,对应频谱特性见图10、11。其中图11给出了工频附近及低频区间的频谱特性变化细节。

综合表5、图10、11可得到如下信息：

1) 完整的CVT频谱特性存在多处谷峰点。

2) 基于表4模型参数的CVT工频调谐点在55.344 Hz,该点由CVT主电路参数确定。

3) 工频调谐点两侧31.658、102.38 Hz存在两个

谐波放大峰值点,该两点频率由CVT抗铁磁谐振电路参数确定。

4) 各谷点频率主要由串联杂散电容决定,例如1 693.7 Hz的谷点频率由调谐电抗器杂散电容确定;5.564 5×10⁶ Hz的谷点频率由电磁单元绕组匝间杂散电容确定。

5) 各峰点频率主要由并联杂散电容决定,例如3 576.2 Hz的峰值点频率由电磁单元一次侧对地电容决定,4.07×10⁷ Hz的峰值点频率由电磁单元二次侧对地杂散电容决定。

表5 CVT传递函数零点及极点

Table 5 Poles and zeros of CVT transfer function

类别	自然振荡频率/Hz	类别	自然振荡频率/Hz
极点	$4.070\ 0 \times 10^7$	零点	$5.564\ 5 \times 10^6$
	3 576.200 0		1 693.700 0
	102.380 0		55.344 0
	31.658 0		
	0.350 0		

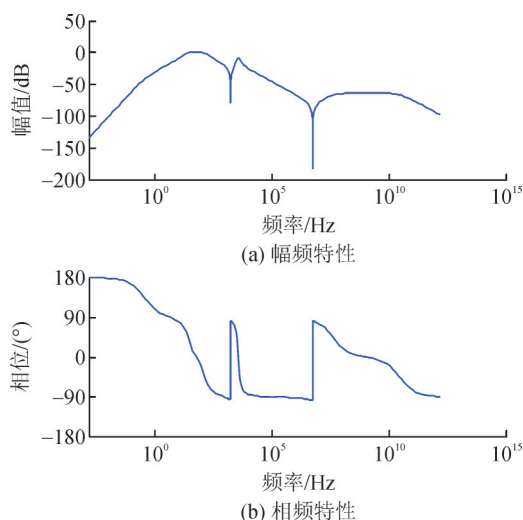


图10 500 kV CVT频谱特性示意

Fig. 10 Spectral characteristic of 500 kV CVT

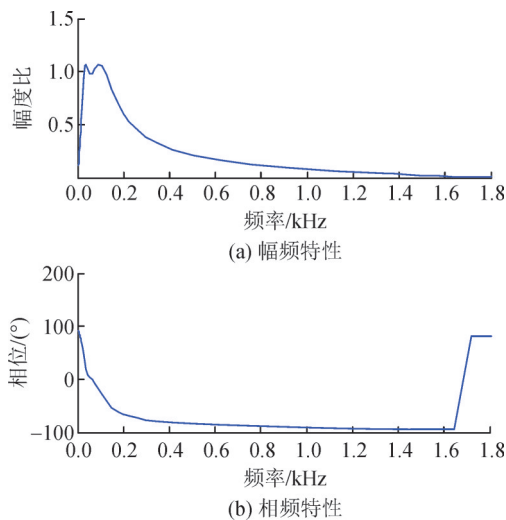


图11 500 kV CVT低频区间频谱特性示意

Fig. 11 Spectral characteristic of 500 kV CVT within low frequency spectrum

一组110 kV CVT频谱特性的实测结果见图12。CVT主要参数为： $C_N = 20\ 000\ \text{pF}$ ， $C_1 = 26\ 180\ \text{pF}$ ， $C_2 = 84\ 680\ \text{pF}$ 。由于现场条件的限制，谐波最高施加次数为25次谐波(1 250 Hz)。尽管缺少该CVT的具体模型参数，但是其频谱特性实测结果趋势与

图11一致。

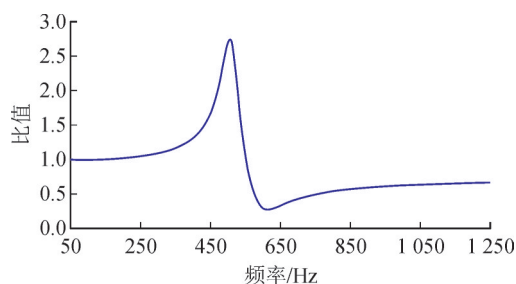


图12 110 kV CVT实测幅频特性

Fig. 12 Test result of magnitude-frequency characteristic of 110 kV CVT

2.3 模型适应性分析

尽管CVT输出在很宽的频率变化范围内变化巨大,但在把握CVT各构成元件影响规律的基础上可根据所关注的频率范围适当简化CVT谐波分析模型,从而简化问题分析的复杂性。下面以杂散电容的取舍为例进行分析。

基于表4参数、考虑杂散电容与否的CVT频谱特性变化对比曲线(仅给出幅频特性)见图13。

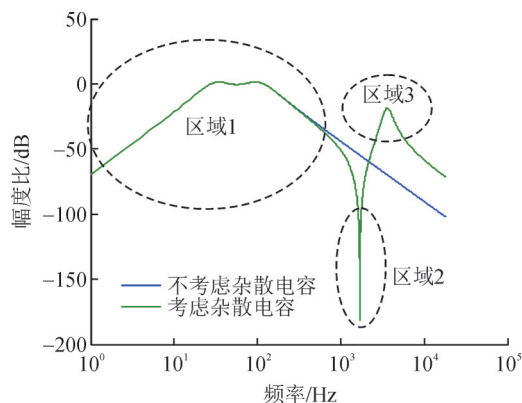


图13 模型适应性分析示意

Fig. 13 Adaptability of CVT harmonic model

分析图13曲线可得到如下启示：

1)在500 Hz频谱范围内(区域1),杂散电容对CVT频谱特性的影响可忽略不计。因此,关注该频段范围的CVT谐波模型可不考虑杂散电容的影响,仅考虑CVT主电路基本参数即可。这点对于分析CVT暂态频谱传递特性尤为重要。

2)如果考虑基于GB/T 14549—1993规定的25次谐波频率范围,即1 250 Hz范围的频谱特性(区域2),则补偿电抗器杂散电容的作用必须考虑。

3)如果考虑基于IEC TS 62749:2015要求的50次谐波频谱范围(区域3),则电磁单元一次侧对地电容的影响需要考虑。

3 CVT 频谱特性应用分析

研究 CVT 频谱特性不仅在于揭示 CVT 不能正确传递不同频率电压的原因,还在于其在不同场景的实际应用价值。本节就此简单分析。

3.1 CVT 故障诊断

电网中成千上万台各类测量、控制保护设备的信号由 CVT 提供,任何导致 CVT 固有频谱特性改变的因素均可能对既定策略的控制保护设备的正确动作带来重大影响,危机电力系统安全可靠运行。不可避免地,长期运行的 CVT 可能因各种原因导致结构参数发生变化,进而引起其固有频谱特性发生变化。因此,基于 CVT 频谱特性的变化能够及早发现 CVT 潜伏隐患,避免由此造成的重大影响。

针对表 4 参数,改变调谐电抗器电感及匝间电容,其频谱特性变化见图 14、15。由图 14、15 可见,调谐电抗器参数变化主要影响 CVT 频谱特性第一个谷值点位置,随着调谐电抗器电感或杂散电容的增加,该谷点位置向低频段移动;反之,该谷点位置向高频段移动。

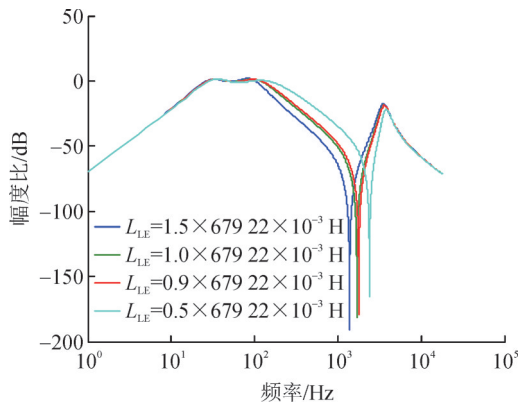


图 14 调谐电抗器电感变化影响

Fig. 14 Influence of parameters of tuned reactor

类似地,采取与此相同的方法,CVT 参数变化对其频谱特性影响规律见图 16。依据该规律可实现基于频谱特性的 CVT 运行故障在线诊断:

- 1) 点 1 位置由 $C_1 + C_2$ 确定, $C_1 + C_2$ 增加,点 1 左移,反之右移。
- 2) 点 2 位置由调谐电抗器参数确定,随着调谐电抗器电感或杂散电容的增加,点 2 左移,反之右移。
- 3) 点 3 位置由电磁单元一次侧对地电容确定;一次侧对地电容增大,点 3 下移;反之上移。

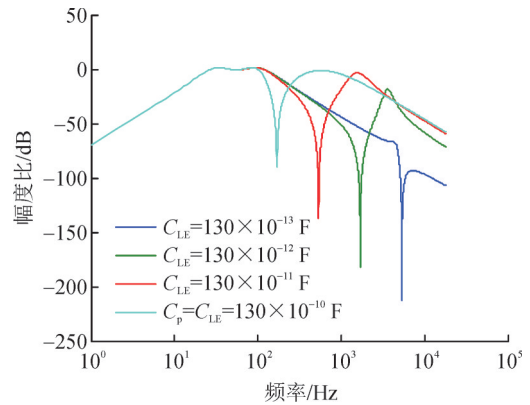


图 15 调谐电抗器杂散电容变化影响

Fig. 15 Influence of stray capacitance of tuned reactor

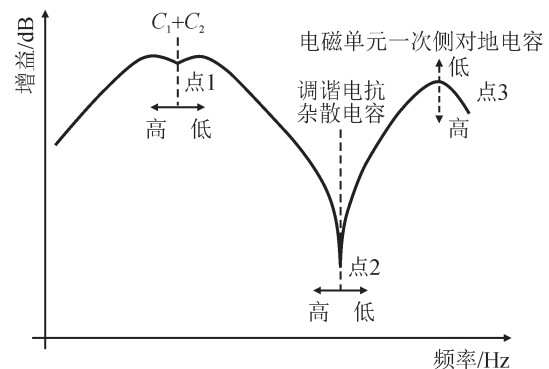


图 16 CVT 参数变化对其频谱特性影响规律示意

Fig. 16 Influence rule of CVT parameters on its spectral characteristics

3.2 对保护影响分析

借助于 CVT 谐波模型可分析不同 CVT 对不同信号的动态响应,用以完善保护控制策略,为电网安全可靠运行提供技术支持。例如,针对输入信号依此为阶跃信号、脉冲信号、矩形波信号及正弦波信号(60、30、660 Hz),基于图 9 模型及表 4 参数的 CVT 对上述不同信号的响应见图 17。进一步的分析参见文[32],文中不再赘述。

4 结语

CVT 频谱特性研究是现代电力系统电力电子化趋势发展的迫切需求。文中提出的基于 CVT 结构的谐波模型可适用于宽频域高频信号传递分析研究;基于模型的分析表明:调谐电抗器杂散电容、电磁单元一二次侧对地杂散电容及匝间杂散电容是影响 CVT 高频信号传递特性的重要因素;实践中可根据分析问题的频率范围适当简化 CVT 谐波模型;CVT 频谱传递特性还可用于 CVT 在线运行预

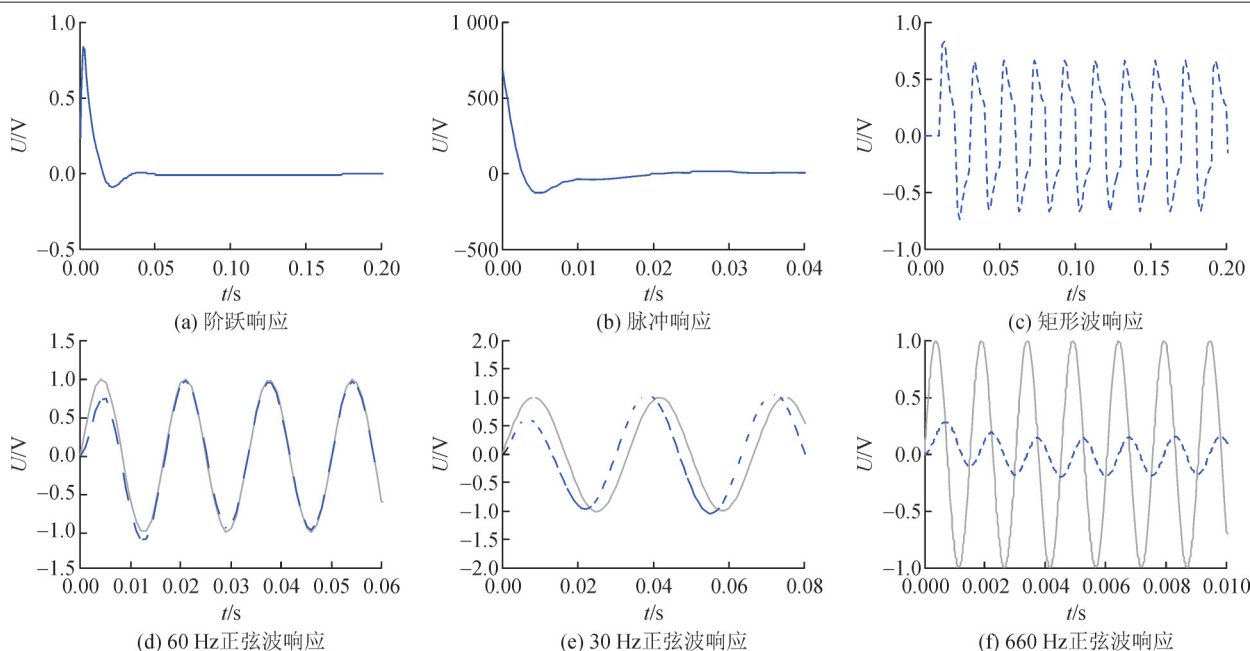


图17 CVT对不同信号响应示意

Fig. 17 CVT responses to different input signals

警,基于CVT频谱特性的保护策略研究也是问题的研究方向之一。

参考文献:

- [1] IEC 61000-2-2:2018 Electromagnetic compatibility(EMC)-Part 2-2:environment - compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems[S].
- [2] Zavada F, Rönnerberg S K, Bollen M H J, et al.Power quality and EMC issues with future electricity networks[R]. Paris:CIGRE,2018-04-24.
- [3] 苏寅生,周挺辉,赵利刚,等. 电力电子设备谐波对主网的影响分析与对策探索[J]. 南方电网技术,2024,18(2):47-56.
Su Yinsheng,Zhou Tinghui,Zhao Ligang,et al.Impact analysis and countermeasure exploration of power electronic equipment harmonics on main network[J]. Southern Power System Technology, 2024, 18(2):47-56.
- [4] 曹兴华,咸日常,杨浩瀚,等.基于高斯混合模型的谐波责任估计方法[J]. 电力科学与技术学报,2024,39(5):83-90.
Cao Xinghua, Xian Richang, Yang Haohan, et al.Harmonic responsibility estimation method based on gaussian mixture model [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2024, 39(5): 83-90.
- [5] 黄之笛,武霁阳,彭光强,等.基于多次谐波注入的CVT宽频传输特性测试研究[J]. 电力电容器与无功补偿,2025,46(3):69-76.
Huang Zhidi, Wu Jiyang, Peng Guangqiang, et al.Research on wideband harmonic transmission characteristics test of CVT based on multi-harmonic injection[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2025, 46(3): 69-76.
- [6] 曹文君,王华佳,张 岩,等.基于分区思想的配电网电压与谐波治理资源协同优化配置策略[J]. 智慧电力,2025,53(3):84-91.
- [7] 聂欣昊,唐文虎,李 杰,等.计及频率偏移和谐波干扰的谐波相量估计方法[J]. 电力系统保护与控制,2024,52(24):44-52.
Nie Xinhao, Tang Wenhui, Li Jie, et al.Harmonic phasor estimation method considering frequency deviation and harmonic interference [J]. Power System Protection and Control, 2024, 52(24): 44-52.
- [8] Carvalho F, Freire A, Oliveira D.Transient interaction between coupling capacitor voltage transformers and transmission lines[C]// 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2009: 1-6.
- [9] Biswal S, Biswal M, Abdelaziz A Y.An adaptive algorithm to prevent distance relay overreach during CCVT transient[J]. Electric Power Systems Research, 2018(160):362-371.
- [10] Pajuelo E, Ramakrishna G, Sachdev M S.Phasor estimation technique to reduce the impact of coupling capacitor voltage transformer transients[J]. IET Generation Transmission & Distribution, 2008, 2(4):588-599.
- [11] 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.
- [12] 薛 峰,谢伟伦,谢培成,等. CVT分压电容对谐波传变特性影响修正方法研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(1): 129-134.
Xue Feng, Xie Weilun, Xie Peicheng, et al.Study on correction method of influence of CVT dividing capacitor on harmonic transfer characteristics[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(1): 129-134.
- [13] 刘坤雄,陈一棕,张小庆,等. 基于测量链的CVT谐波测量系统

Cao Wenjun, Wang Huajia, Zhang Yan, et al.Collaborative optimal configuration strategy for voltage and harmonic management resources in distribution networks based on zoning principles[J]. Smart Power, 2025, 53(3): 84-91.

- 不确定度评价方法[J]. 智慧电力, 2022, 50(12): 107-113.
- Liu Kunxiong, Chen Yicong, Zhang Xiaoqing, et al. Uncertainty evaluation method of CVT harmonic measurement system based on measurement chain[J]. Smart Power, 2022, 50(12): 107-113.
- [14] 刘军成. CVT谐波传递模型参数辨识研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2016, 37(6): 12-16.
- Liu Juncheng. Study on parameters identification of harmonic transfer model of capacitor voltage transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2016, 37(6): 12-16.
- [15] 陈一棕, 刘坤雄, 冯雅琳, 等. 电容式电压互感器谐波监测技术综述[J]. 电力电容器与无功补偿, 2022, 43(5): 70-75.
- Chen Yicong, Liu Kunxiong, Feng Yalin, et al. Review on harmonic monitoring technology of capacitor voltage transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2022, 43(5): 70-75.
- [16] 祝令瑜, 孙启明, 沈柯宇. 谐波相位影响的电压幅值对高压并联电容器温升特性影响研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(6): 27-32.
- Zhu Lingyu, Sun Qiming, Shen Keyu. Research on the influence of voltage amplitude affected by harmonic phase on the temperature rise characteristics of high voltage shunt capacitors[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2025, 46(6): 27-32.
- [17] 晏坤, 甘景福, 杜鹏, 等. 光伏并网逆变器系统谐波综合分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2024, 45(5): 98-107.
- Yan Kun, Gan Jingfu, Du Peng, et al. Comprehensive analysis of harmonics of photovoltaic grid-connected inverter system[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2024, 45(5): 98-107.
- [18] 陈名, 涂小刚, 徐鸿, 等. 柔直阀段测试平台谐波电流分析及调制方法影响研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2024, 45(3): 78-87.
- Chen Ming, Tu Xiaogang, Xu Hong, et al. Harmonic current analysis and modulation method influence for test platform of modular multilevel converter[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2024, 45(3): 78-87.
- [19] 刘赛, 张远航, 陈昊, 等. 一起500 kV CVT电容量及介损损耗异常分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(4): 71-80.
- Liu Sai, Zhang Yuanhang, Chen Hao, et al. Analysis and treatment on abnormal capacitance and dielectric loss of 500 kV capacitor voltage transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2025, 46(4): 71-80.
- [20] IEC/TR 61869-103: 2012 Instrument transformers—the use of instrument transformers for power quality measurement[S].
- [21] IEEE Std 519-2022 IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems[S].
- [22] IEC TS 62749: 2015 Assessment of power quality—characteristics of electricity supplied by public networks[S].
- [23] GB/T 14549—1993 电能质量 公用电网谐波[S].
- GB/T 14549—1993 State bureau of technical supervision. quality of electric energy supply—harmonics in public supply network[S].
- [24] IEC 61869-5: 2011 IEC instrument transformers—part 5: capacitor voltage transformers[S].
- [25] GB/T 20840.5—2013 互感器 第5部分: 电容式电压互感器的补充技术要求[S].
- GB/T 20840.5—2013 Instrument transformers—part 5: additional requirements for capacitor voltage transformers[S].
- [26] 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): 3158-3164.
- 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): 3158-3164.
- [27] 陈奕童, 刘从聪, 谭展鹏, 等. 330 kV膜纸绝缘结构电容式电压互感器下节电容介损异常研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(6): 81-88.
- Chen Yitong, Liu Congcong, Tan Zhanpeng, et al. Research and discussion on abnormal dielectric loss of the lower section capacitor of 330 kV film-paper insulated CVT in a 500 kV substation[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2025, 46(6): 81-88.
- [28] 宋守龙, 廖斌, 顾凤彪. 电容式电压互感器铁磁谐振试验测控装置[J]. 电力电容器与无功补偿, 2024, 45(5): 54-60.
- Song Shoulong, Liao Bin, Gu Fengbiao, et al. Measurement and control device for ferroresonance test of capacitor voltage transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2024, 45(5): 54-60.
- [29] 陈东明, 王建伟, 李旻, 等. 电容式电压互感器典型故障及缺陷分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2024, 45(6): 36-43.
- Chen Dongming, Wang Jianwei, Li Yan, et al. Analysis of typical faults and defects of capacitive voltage transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2024, 45(6): 36-43.
- [30] 杨硕亮, 刘水平, 杨晓静, 等. 天然酯绝缘油浸渍电容式电压互感器的电气性能研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(1): 83-88.
- Yang Shuoliang, Liu Shuiping, Yang Xiaojing, et al. Study on electrical performance of capacitive voltage transformer impregnated with natural ester insulated oil[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2025, 46(1): 83-88.
- [31] 李佳涵, 舒勤, 杨晓丽, 等. 基于反卷积算法的电容式电压互感器传递特性研究[J]. 南方电网技术, 2017, 11(4): 58-63.
- Li Jiahuan, Shu Qin, Yang Xiaoli, et al. Study on transfer characteristics of CVT using deconvolution algorithm[J]. Southern Power System Technology, 2017, 11(4): 58-63.
- [32] 杨拯, 温才权, 刘炜, 等. 500 kV GIS变电站隔离开关操作对二次电缆的影响[J]. 南方电网技术, 2022, 16(6): 147-155.
- Yang Zheng, Wen Caiquan, Liu Wei, et al. Influence of 500 kV GIS substation disconnect Switch operation on secondary cables[J]. Southern Power System Technology, 2022, 16(6): 147-155.

陈名(1984—),男,博士,教高,主要从事直流输电系统研究(E-mail: chenming_2011@qq.com)。

刘军成(1966—),男,硕士,教高,从事电能质量相关研究工作(通信作者)(E-mail: junchengL@263.net)。