

变频串联谐振技术在高压电缆交接试验中的应用

赵金明¹, 段肖华²

(1.陕西省地方电力建设有限公司调试所, 陕西 西安 710068; 2.国家电网 西北分部, 陕西 西安 710048)

Application of Variable-Frequency Series Resonance Technology in

Hand-over Acceptance Tests of High Voltage Power Cables

ZHAO Jin-ming¹, DUAN Xiao-hua²

(1. Shaanxi Regional Electric Power Construction Co., Ltd., Xi'an 710068, Shaanxi, China;

2. Northwest Branch of State Grid Corporation of China, Xi'an 710048, Shaanxi, China)

ABSTRACT: Variable-frequency series resonance withstand voltage technology is a new method widely in high voltage tests. This paper introduces the principle, composition and advantages of the technology, and discusses its applications in the acceptance tests of high voltage power cables. The actual examples show that the method is scientific and practical and efficient.

KEY WORDS: frequency conversion series resonance; cable; high voltage test; economic benefits

摘要: 变频串联谐振耐压试验技术是当前高压试验的一种新方法。变频串联谐振的原理、组成及优点等进行了阐述,并对此技术在高压电缆交接试验中的应用进行了分析探讨,通过实例表明:此方法是科学、实用、高效的。

关键词: 变频串联谐振; 电缆; 高压试验; 经济效益

随着电网覆盖面迅速扩大,高压交联电缆特别是110 kV交联聚乙烯(XLPE)电缆在各地市供电系统开始大量使用。传统电缆的直流高压试验,也随着XLPE电缆的普及,被主管部门禁止或不推荐,而代之以轻便、简单的串联变频谐振方式进行容性试品的交流耐压试验。下面就陕西省地方电力建设有限公司调试所常采用的一种变频串联谐振技术在高压电缆交接试验中的应用进行分析与探讨^[1-2]。

1 变频串联谐振试验技术

1.1 变频串联谐振的原理

电路输入端电压 U 与电流 I 同相,如图1所示在正弦电压 U 作用下

$$Z=R+j(\omega L-\frac{1}{\omega C})=R+j(X_L-X_C)=R+jX$$

式中,电抗 $X=X_L-X_C$ 是角频率 ω 的函数,当条件满足

$X_L-X_C=0$ 或 $X_L=X_C$ 即 $\omega L=\frac{1}{\omega C}$ 时,电路阻抗 $Z(\omega_0)=R$ 为纯电阻,此时的工作状态称为谐振。

串联电路中出现的谐振又称“串联谐振”^[3]。

$$\text{谐振角频率}\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}} \quad f_0=\frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\text{电路品质因数}Q=\frac{\omega_0 L}{R}=\frac{1}{R} \times \frac{L}{\sqrt{LC}}=\frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

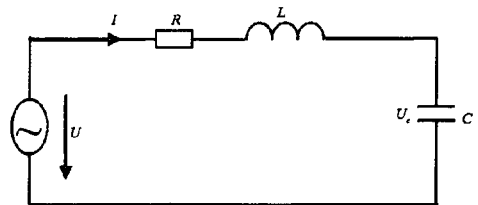


图1 串联谐振原理图

Fig. 1 Principle diagram of series resonance circuit

1.2 串联谐振的特点

- 1) 阻抗最小,呈现为纯电阻, $Z=R$ 。
- 2) 电压一定时电流最大, $I_0=\frac{U}{R}$ 。
- 3) 电容两端的电压为电源电压的 Q 倍,即

$$U_c=QU$$

- 4) 源功率 $P=UI=\frac{U}{Q}I$,可见谐振时源的激励功率,

仅为 C 上电功率容量的 $1/Q$, Q 越大激励功率越小^[4-5]。

1.3 变频串联谐振的组成

变频串联谐振由变频电源、励磁变压器、高压电抗器和电容分压器组成。运用串联谐振原理,利用励磁变压器激发串联谐振回路,调节变频控制器的输出频率,使回路电感 L 和试品 C 串联谐振,谐振

电压即为加到试品上电压(如图2所示)。

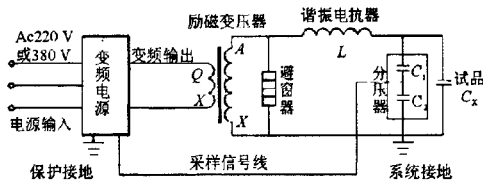


图2 变频串联谐振组成图

Fig. 2 Frequency conversion series resonance circuit diagram

被试品的电容与电抗器构成串联谐振连接方式,分压器并联在被试品上,用于测量被试品的谐振电压,并作过压保护信号,调频频率输出经励磁变压器耦合给串联谐振回路,提供串联谐振的激励功率。

谐振耐压试验就是通过改变试验系统的电感和试验频率,使回路处于谐振状态,这样试验回路中试品上的大部分容性电流与电抗器上的感性电流相抵消,电源只提供回路中消耗的有功功率的能量。而试品 C_x 两端电压 U_{Cx} 却为电源电压 U_{Ax} 的 Q 倍,即 $U_{Cx}=QU_{Ax}$ 。其中, Q 为系统的谐振倍数,即电路的品质因数。

2 变频串联谐振技术在高压电缆交接试验中的应用

2011年8月24日,清涧110 kV清杨线电缆出线,电缆长240 m、电缆导体截面积500 mm²、YJLV 64/110 kV型电缆。

2.1 计算

1) 根据电缆规格、查阅规范规程要求试验电压

$$U_{\text{试}}=2U_0=2\times 64 \text{ kV}=128 \text{ kV}$$

2) 根据电缆规格及长度计算试品电容量为0.169 $\mu\text{F}/\text{km}$ 的0.24 km电缆电容量

$$C=0.24 \text{ km}\times 0.169 \mu\text{F}/\text{km}=0.04056 \mu\text{F}$$

3) 据已有电抗量计算 f_0

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad L=156 \text{ H} \quad C=0.04056 \mu\text{F}$$

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}=\frac{10^3}{2\times 3.14\sqrt{156\times 0.04056}}=63.3 \text{ Hz}$$

4) 在估算试验电流值,以判断电抗器及励磁变可否承受

$$I=2\pi f_0 C U=6.28\times 63.3\times 4.056\times 10^{-6}\times 128\times 10^3=2.06 \text{ A}$$

以上满足设备和试品要求。

2.2 电力电缆的变频串联谐振耐压试验

1) 电力电缆试品接线图如图3所示(电抗器放置时红面朝上白面朝下)。

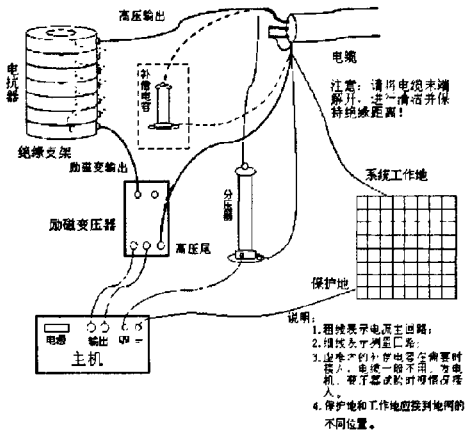


图3 电缆试品接线图

Fig. 3 The wiring diagram of cable samplings

2) 电缆芯线对外护套的绝缘电阻测量选用量程为5 000 V的兆欧表进行电缆绝缘电阻测量,绝缘电阻值应符合设计或规程要求。

3) 电缆芯线对护套及地交流耐压试验,交流耐压试验参照GB50160-2006《电气安装工程电气设备交接试验标准》进行,试验电压为 $2U_0=2\times 64 \text{ kV}=128 \text{ kV}$ 。

2.3 电力电缆试验电抗器选配

本实验选3H电抗器。3H电抗器串并联的电感量选配如表1(主要用于长电缆,可兼顾发电机、变压器、GIS但要配大容量补偿容)。

3 串联谐振高压试品电源的优点分析

1) 所需电源容量

高压电抗器电感值为 $L=156 \text{ H}$;试验电压频率为 $f=63.3 \text{ Hz}$;高压试验电流 $I=2.063 \text{ A}$;电源电流为 $I_0\approx 27 \text{ A}$

上述电缆如果用常规的交流高压试验设备进行耐压试验,所需试品容量为 $P=2.063 \text{ A}\times 128 \text{ kV}=264 \text{ kV}\cdot\text{A}$,采用串联谐振方法所需试验电源的功率仅为 $P=27 \text{ A}\times 220 \text{ V}=6 \text{ kW}$ 。通过以上分析计算,可以看出,串联谐振电源是利用谐振电抗器和被试品的电容通过调频发生谐振而产生高电压和大电流的,在整个系统中,电源只需要提供系统中有功消耗的部分。

2) 在串联谐振电源中省去了笨重的大功率调

表1 3H电抗器串并联的电感量
Tab. 1 Inductance of 3H shunt reactors H

项目	并联								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3	2.5	2	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9
2	9	6.5	5	4.0	3.5	3.0			
3	17	11	8	7	6	5			
4	26	16	12	10					
5	36	22	16						
6	50	27	20						
7	57	33							
8	67	38							
9	78	44							
10	89								
串	11	100							
联	12	111							
	13	123							
	14	134							
	15	145							
	16	156							
	17	168							
	18	179							
	19	192							
	20	203							
	23	248							
	35	407							

压装置和工频试验变压器,使得试验设备的重量和体积大大减少。

3) 由于谐振电源是谐振式滤波电路,使得电压输出波形畸变改善为较好的正弦波形,从而能有效防止谐波峰值对试品的误击穿。

4) 在串联谐振状态时,试品的绝缘弱点一旦被击穿,由于回路的电容值改变,使得电路立即脱谐,回路中的电流也迅速下降;从而使在被试品被击穿

时串联谐振能有效地找到绝缘弱点,又不存在大的短路电流烧伤故障点的隐患。

4 结语

XLPE电缆交流耐压试验是现场电缆竣工交接试验的主要内容;目的是检查电缆的敷设及附件安装是否正确,电缆在运输、搬运、存放、敷设和回填的过程中是否受到意外损害。2011年2月29日西乡110 kV葛尧线电缆,2011年8月24日清涧110 kV清杨线电缆,2011年9月16日泾河工业园区孟姬35 kV电缆(YJV22-26/35 kV-3 300×4.2 km)等试验证明,在施工现场使用变频串联谐振技术对电缆进行高压试验,是科学、实用、高效的,也易于在实际工作中有效实施。

参考文献

- [1] 陈广辉,王东芳,岳彩鹏,等.交流电压下基于空间电荷效应的XLPE电缆绝缘老化研究现状[J].电网与清洁能源,2011,27(11):5-8.
CHEN Guang-hui, WANG Dong-fang, YUE Cai-peng et al. Research on aging of XLPE cable insulation based on space charge effect under AC voltage[J]. Power System and Clean Energy, 2011,27(11):5-8 (in Chinese).
- [2] 国电北京电力建设研究所. GB 50150-2006 电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S]. 北京:国电北京电力建设研究所,2006.
- [3] 白乃平.电路基础[M].西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [4] 福润德电子科技有限公司.FSS系列智能型变频串联谐振耐压试验装置说明书[M].西安:福润德电子科技有限公司,2009.
- [5] 杜荣忠.Q420大截面角钢在特高压输电线路中的应用[J].电网与清洁能源,2011,27(11):30-34.
DU Rong-zhong. Applications of Q420 large section angle steel in UHV power transmission line[J]. Power System and Clean Energy, 2011(11):30-34 (in Chinese).

收稿日期:2011-12-27。

作者简介:

赵念明(1967—),男,高级工程师,主要从事电力工程施工、安装、调试等工作。

(编辑 董小兵)