

文章编号:1001-1609(2002)05-0005-03

# 平波电抗器增量电感的测量

杨文广

(西安西电变压器有限责任公司, 陕西 西安 710077)

## MEASUREMENT OF SMOOTHING REACTOR'S INCREMENTAL INDUCTANCE

YANG Wen-guang

(Xi'an XD Transformer Co., Ltd., Xi'an 710077, China)

**摘要:** 阐述了平波电抗器增量电感的测试原理和方法,介绍了用两种方法测试不同参数的2台平波电抗器的测试过程及结果。

**关键词:** 平波电抗器; 增量电感; 测试

中图分类号: TM478

文献标识码: B

**Abstract:** The principle and the method for measuring the smoothing reactor's incremental inductance is presented in this paper. The processes and the results for measuring two units of smoothing reactors are given.

**Key words:** smoothing reactor; incremental inductance; measurement

## 1 引言

平波电抗器是在直流系统中用以减小谐波电流和瞬态过电流的电抗器,主要应用于10 kV以下的工业性直流系统和50 kV及以上的直流输电系统。随着直流输电技术的发展和广泛应用,更高电压和更大电流的平波电抗器相继运行于直流输电工程。在三峡至常州和三峡至广州的直流输电工程中,均使用了500 kV, 3 000 A的平波电抗器。

额定直流电流、额定直流电压和额定增量电感是平波电抗器的3大主要参数,而增量电感是平波电抗器唯一重要的性能指标,测试增量电感是平波电抗器例行试验项目之一。

运行中的平波电抗器,总是串联于直流回路,其工作电流主要是直流系统的额定直流电流。葛州坝至上海的直流输电系统,其工作电流是直流1 200 A,三峡至常州直流系统中,其工作电流是3 000 A。由于整流装置在整流或逆变过程中产生大量的谐波电流,尽管经过了多级滤波,仍有较大成分的谐波电流存在。为了抑制谐波电流对直流系统的影响,平波电抗器要有一定的电感量,这个工作在直流条件下的

电感即为增量电感。

## 2 线性平波电抗器增量电感测试

根据设计结构的不同,平波电抗器的磁化特性可分为线性和非线性两种。一种是不带铁心和磁屏蔽的电抗器,由于不存在铁心饱和的问题,所以其磁化特性是线性的。如葛州坝至上海直流输电系统的平波电抗器就是干式空心、不带任何磁屏蔽的。这类电抗器的增量电感可以在任何频率和任何电流下测试。首先用电阻测试仪测试线圈直流电阻 $R_d$ ,然后按图1线路测试其中电流 $I$ ,电压 $U$ 和频率 $f$ 。则其

阻抗 $X_L = \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R_d^2}$ ,增量电感 $L_{in} = \frac{X_L}{2\pi f}$ 。

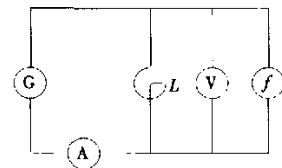


图1 线性平波电抗器增量电感测试线路

G——高频交流电源 A——电流表 V——电压表  
L——被试平波电抗器 f——频率计

为了测试简便,一般在工频电压下测试,可不使用电压、电流互感器,从仪表盘直接读数。

## 3 非线性平波电抗器增量电感测试

当平波电抗器设计为油浸式时,一般含有磁屏蔽,有的还有带间隙的铁心柱和磁分路,某些低电压干式平波电抗器附有半铁心,这类电抗器称之为第2种平波电抗器。由于使用了铁磁材料,使得平波电抗器的电感量在一定电流之上出现饱和,磁化特性呈现非线性。此时,额定增量电感需在额定直流电流工作条件下测试。为了测定增量电感的非线性度,有时要求在10%~150%额定直流电流下测试。在该测

收稿日期:2002-04-30; 修回日期:2002-06-20

试电流下, 叠加一谐波电流, 测试该谐波电流及电压, 从而求出某一测试条件下的增量电感, 如图 2 所示。在实际测试条件下, 为了避免交流电源支路成为直流回路的 1 个分路, 需在  $m$  点串联合适阻抗的隔直电容; 为了避免交流电流窜入直流电源支路, 需在  $n$  点串入合适阻抗的阻波电抗。但这种方法对较大电流的平波电抗器实施试验是根本无法做到的。

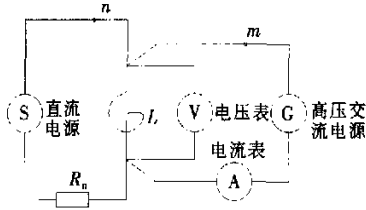


图 2 非线性平波电抗器增量电感测试原理  
 $R_n$ ——分流器  $L$ ——被测平波电抗器

在三相桥式整流电路中, 主要含有 6 次谐波, 那么是否可以利用桥式整流电路中本身含有的谐波作为测试电源呢? 即在规定的直流电流条件下, 通过测试电源本身的谐波电流在平波电抗器上的谐波压降来计算增量电感。如图 3 所示, 在使用该原理测试 1 台 600 A, 400 mH 的平波电抗器时, 遭到了失败。分析原因认为, 由于平波电抗器直流电阻很小, 在额定直流电流下, 整流装置输出电压仅为直流 140 V, 而平波电抗器抑制谐波的作用十分明显(电感量大), 使谐波电流被拉平, 变得非常小, 再经过分流器测量, 使精确测试该谐波电流几乎没有可能。

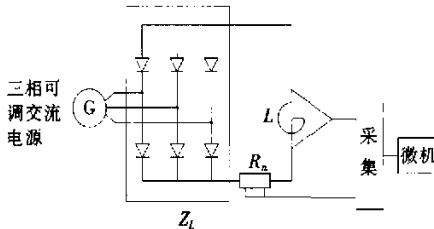
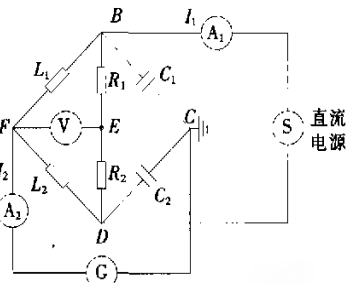


图 3 利用桥式整流谐波测试增量电感原理  
 $Z_L$ ——三相桥式整流装置  $R_n$ ——分流器  
 $L$ ——被测平波电抗器

为了防止交直流回路的相互影响, IEC289-1988<sup>[1]</sup> 推荐使用桥式回路, 测试参数完全相同的 2 台平波电抗器的增量电感。采用该回路, 同时测试了直流电压 50 kV, 电流 600 A, 电感量 400 mH 的平波电抗器的增量电感, 如图 4 所示。

测试前, 首先检测桥体平衡。于  $B, D$  端施加直流电流, 调节  $R_1, R_2$ , 使  $U_{FE}=0$ , 电桥  $FBED$  平衡; 断开直流电源, 在  $F, C$  端施加交流电源, 调节  $C_1, C_2$ , 使  $U_{BD}=0$ , 电桥  $FBCD$  平衡。



50 Hz 电源

图 4 桥式回路测试增量电感线路

$L_1, L_2$ ——平波电抗器  $R_1, R_2$ ——无感电阻  $C_1, C_2$ ——电容器

这样在  $FC$  和  $BD$  同时施加交、直流电压时, 表  $A_1$  只有直流电流流过, 表  $A_2$  只有交流电流流过, 电压表两端仅有交流电压, 并与  $FB$  和  $FD$  交流电压相等。测试时, 使直流电流  $I_1$  从 20% 逐渐增加到 150%, 同时施加交流电压, 并测量电压电流 ( $U, I_2$ ), 在 2 台平波电抗器饱和特性完全相同的情况下, 由于电阻  $R_1, R_2$  较平波电抗器电阻大得多, 所以可以认为,  $I_1$  就是流过  $L_1, L_2$  的直流电流, 同时  $C_1=C_2$ , 所以流过  $L_1, L_2$  的交流电流相同, 等于  $I_2/2$ 。实测部分数据如表 1。

表 1 线性平波电抗器增量电感实测数据

直流电流 $I_1/A$	交流电流 $I_2/A$	交流电压 $U/V$	增量电感 $L_{\Delta 01}=L_{\Delta 02}/mH$
120	1.0	64.12	408.2
600	1.0	64.05	407.8
630	1.0	64.06	407.8
900	1.0	62.52	398.0

采用这个线路测试时, 原则上, 2 台平波电抗器参数必须相同, 同时饱和特性也必须相同, 否则会造成测试过程中电桥的不平衡, 影响测量的准确性。那么是否可以使用该线路测试参数不同的 2 台平波电抗器呢? 即  $L_1$  为一被测平波电抗器,  $L_2$  是另一额定电流不小于  $I_1$  的电抗器。理论分析该原理是可行的。首先, 在  $B, D$  端施加测试所需的直流电流, 调整可变电阻  $R_1, R_2$ , 使得  $U_{FE}=0$ , 再在  $FC$  端施加交流电流, 调整  $C_1, C_2$  使  $BD$  两端交流电压为零, 这可以通过示波器观察, 以区分直流电源的谐波成分。在此基础上, 测量  $U$  和  $I_2$ , 然后分别读出  $C_1, C_2$  的数值, 则流经被测平波电抗器  $L_1$  的交流电流为:  $I_L = \frac{C_1 I_2}{C_1 + C_2}$ 。由此可计算出平波电抗器  $L_1$  在电流  $I_1$  下的增量电感。

### 4 大型平波电抗器增量电感测试

大型平波电抗器, 如三峡至常州直流输电线龙泉站的平波电抗器, 其额定电流达 3 000 A, 外型尺

寸庞大,长 13 m,宽 5.2 m,而且在宽度方向几乎水平伸出了 7 m 长的瓷套。如此大的 2 台产品的增量电感和高压绝缘试验很难在同一试验室完成,生产制造周期也不允许 2 台同样的产品等到一起进行试验。另外,制造 1 个大于 3 000 A 的桥臂  $L_2$  也十分不经济,而且施加于 2 台平波电抗器的测试用整流装置、整流变压器及交流电源的有功功率也将是十分巨大的。因此,只能采用新的试验方法,图 5 给出了试验的原理图。

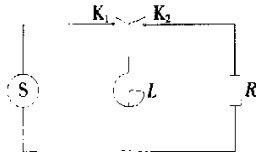


图 5 电感充电放电原理

S——直流电源      L——电抗器  
 K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>——开关      R——回路电阻

首先 K<sub>1</sub> 接通,电感 L 充电之后, K<sub>2</sub> 接通, K<sub>1</sub> 断开,电感 L 通过回路电阻 R 放电,在放电回路里,可以列出方程  $L=iR \frac{di}{dt}$ 。如果 L 为一非线性电感,则:

$$L(i)=iR \frac{di}{dt}$$

在已知回路电阻的条件下,采用快速采样的数字仪表读取电感放电衰减电流与时间的一组离散数据:  $t_1 i_1, t_2 i_2, \dots, t_j i_j, \dots$  则:

$$L(i_j)=i_j R / \frac{i_{j+1}-i_{j-1}}{t_{j+1}-t_{j-1}}$$

通过适当的数据处理,在一次放电测试中,可以得到 L-i 曲线。

根据此原理,采用图 6 所示线路,成功地测试了 PKDFP-500-3000-290 型平波电抗器的增量电感。

试验程序是:首先测试回路电阻,合上开关 K<sub>2</sub>,从分流器一端断开主回路,从该处测量包括开关 K<sub>2</sub>,平波电抗器、分流器及引线电阻的回路电阻。之后,按图 6 接好线路,断开 K<sub>2</sub>,合上 K<sub>1</sub>, K, 调节可调

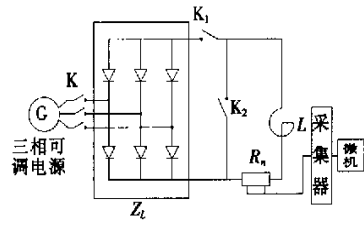


图 6 利用电感放电原理测试平波电抗器增量电感线路  
 Z<sub>L</sub>——桥式整流装置      K, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>——组合开关  
 R<sub>n</sub>——分流器组      L——被试平波电抗器

输入电源,使电抗器充电到 1.2 倍测量电流,然后快速自动依次断开 K,合上 K<sub>2</sub>,断开 K<sub>1</sub>,并开始采集数据。由于考虑到选取合适的分流器,可以在不同的电流范围内分数次测试,最终计算结果如表 2。

表 2 计算结果

电流 I <sub>DC</sub> /A	增量电感		误差/%
	设计值/mH	实测值/mH	
300	299	294.7	-1.4
1 500	299	294.0	-1.7
2 250	299	294.3	-1.6
3 000	294	286.9	-2.5
3 250	291	286.0	-1.7
3 300	290	285.8	-1.5
3 750	261	260.7	-0.1
4 000	255	246.0	-3.6
4 848	—	207.7	—

### 5 结论

采用电桥法和电感放电原理测试法,都可以准确测试平波电抗器的增量电感,但对于超大型平波电抗器或特别需进行单台测试时,采用电感放电原理测试增量电感是目前唯一经济可行的方法。

### 参考文献:

[1] IEC289-1988. Reactors[S].

作者简介:杨文广(1962-),男,高级工程师,大学本科,从事高压试验工作。

## 《王季梅论文选集》

新书推荐

《王季梅论文选集》已于 2002 年 8 月由西安交通大学出版社出版。

该书是为祝贺王季梅先生从教 55 周年暨 80 华诞而编辑的一本有关真空开关电弧理论、测试技术应用,以及电力熔断器开断电流过程的理论研究,测试和应用的论文选集。该书精选了 100 篇有关真空开关和高、低压电力熔断器方面的理论分析、试验研究、设计方法和产品开发以及应用等方面的论文,内容丰富,可供电器和输配电行业从事科研、设计、制造和使用的技术人员参考,也可作为高等院校师生的参考用书。

# 平波电抗器增量电感的测量

作者: [杨文广](#)  
作者单位: [西安西电变压器有限责任公司, 陕西, 西安, 710077](#)  
刊名: [高压电器](#) **ISTIC** **PKU**  
英文刊名: [HIGH VOLTAGE APPARATUS](#)  
年, 卷(期): 2002, 38(5)  
被引用次数: 0次

## 参考文献(1条)

1. [IEC289-1988. Reactors](#)

## 相似文献(1条)

1. 期刊论文 [陈荣](#) [三峡平波电抗器设计介绍](#) -[高压电器](#)2002, 38(4)

通过对三峡平波电抗器技术参数的介绍,阐述了直流线路中,由于运行环境和作用的不同而产生的平波电抗器与交流并联电抗器在设计思想和设计依据上的差异,指出了平波电抗器设计时应考虑的主要问题.

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_gydq200205002.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_gydq200205002.aspx)

授权使用: WF0062035(WF0062035), 授权号: 2e0fd354-5974-47f7-a5ef-9dec017c736c

下载时间: 2010年9月9日