

ICS 27.100

F 24

备案号: 53992-2016

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 911—2016

代替 DL/T 911 —2004

---

## 电力变压器绕组变形的 频率响应分析法

Frequency response analysis on winding deformation  
of power transformers

---

2016-02-05发布

2016-07-01实施

国家能源局 发布

## 目 次

前言.....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义.....	1
4 检测原理 .....	2
5 检测仪器的要求 .....	2
6 检测方法.....	3
7 绕组变形的分析判断 .....	4
附录A（资料性附录） 变压器绕组变形测试仪的基本要求.....	6
附录B（资料性附录） 频率响应特性曲线的数据导出格式.....	7
附录C（规范性附录） 用相关系数R 辅助判断变压器绕组变形 .....	8
附录 D（资料性附录） 用纵向比较法判断变压器绕组变形的示例 .....	9
附录E（资料性附录） 用横向比较法判断变压器绕组变形的示例 .....	10
附录F（资料性附录） 用综合分析法判断变压器绕组变形的示例 .....	11
附录G（资料性附录） 变压器绕组变形时的典型干扰波形的示例 .....	12
附录H（资料性附录） 用频率响应分析法判断变压器绕组变形的流程 .....	14
附录I（资料性附录） 变压器绕组变形时的典型幅频响应特性曲线 .....	15

## 前 言

本标准按照 GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

本标准是对 DL/T911—2004《电力变压器绕组变形的频率响应分析法》的修订。

本标准与DL/T911—2004 相比，主要技术内容变化如下：

- 适用范围改为66kV 及以上电压等级电力变压器；
- 增加了“三相频响指纹”的术语和定义(见3.6)；
- 修订了检测仪器的要求；
- 增加了变压器绕组变形测试仪的基本要求(见附录A)；
- 修订了检测方法中的接线要求；
- 修订了绕组变形的分析判断方法；
- 增加了检测数据导出格式要求(见附录B)；
- 修订了用相关系数R 辅助判断变压器绕组变形的的方法(见附录C)；
- 增加了变压器绕组变形纵向比较法的示例(见附录D)；
- 增加了变压器绕组变形横向比较法的示例(见附录E)；
- 增加了变压器绕组变形综合比较法的示例(见附录F)；
- 增加了变压器绕组变形测试常见的干扰波形(见附录G)；
- 增加了用频率响应分析法判断变压器绕组变形的流程(见附录H)。

本标准实施后代替 DL/T911—2004。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业高压试验技术标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位：中国电力科学研究院。

本标准参加起草单位：广东电网公司电力科学研究院、国网安徽省电力公司电力科学研究院、深圳供电局有限公司、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、国家电网公司运行分公司。

本标准主要起草人：毕建刚、阎春雨、高克利、王圣、林春耀、余国钢、常文治、许渊、丁国成、柯春俊、吴立远、姚森敬、张孔林、程锦。

本标准历次版本发布情况为：

- DL/T 911—2004，本次为第一次修订。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心(北京市白广路二条一号，100761)。

# 电力变压器绕组变形的 频率响应分析法

## 1 范围

本标准规定了用频率响应分析法检测变压器绕组变形的基本要求。

本标准适用于66kV及以上电压等级电力变压器及其他特殊用途的变压器。

## 2 规范性引用文件

下列文件对本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

DL/T1093 电力变压器绕组变形的电抗法检测判断导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### **绕组变形 winding deformation**

指电力变压器绕组在遭受短路电流冲击或在运输过程中遭受冲撞时，在电动力或机械力作用下发生的轴向或径向尺寸变化，通常表现为绕组局部扭曲、鼓包或移位等特征。

### 3.2

#### **双口网络 bilateral network**

指具备一对输入端口和一对输出端口的网络。如果网络是由线性的电阻、电感(包括互感)和电容元件组成，且内部不含任何独立电源，则称之为无源线性双口网络。

### 3.3

#### **传递函数 transfer function**

用拉普拉斯变换形式表示的无源双口网络的输出与输入之比。传递函数极点和零点的分布与双口网络的内部元件参数、连接方式以及端口连接的阻抗密切相关。

### 3.4

#### **频率响应 frequency response**

指在正弦稳态情况下，网络的传递函数 $H(j\omega)$ 与角频率 $\omega$ 的关系。通常把 $H(j\omega)$ 幅值随 $\omega$ 的变化关系称为幅频响应， $H(j\omega)$ 相位随 $\omega$ 变化的关系称为相频响应。

### 3.5

### **频率扫描 frequency sweep**

连续改变外施正弦波激励信号源的频率，分别测量在不同频率下的输出信号与输入信号之比，并绘制出相应的幅频响应或相频响应曲线。

### **3.6**

#### **三相频响指纹 three-phase frequency response fingerprint**

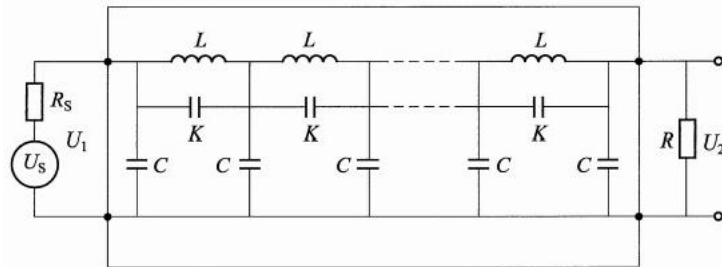
指表征同型号变压器同一电压等级的三相绕组的频响特性曲线间的相关性、差异度等信息的整体性频率响应曲线，

#### 4 检测原理

在较高频率的电压作用下，变压器的每个绕组均可视为一个由线性电阻、电感(互感)、电容等分布参数构成的无源线性双口网络，其内部特性可通过传递函数 $H(j\omega)$  描述，如图1所示。若绕组发生变形，绕组内部的分布电感、电容等参数必然改变，导致其等效网络传递函数 $H(j\omega)$  的零点和极点发生变化，使网络的频率响应特性发生变化。

用频率响应分析法检测变压器绕组变形，是通过检测变压器各个绕组的幅频响应特性，并对检测结果进行纵向、横向或综合比较，根据幅频响应特性的差异，判断变压器可能发生的绕组变形。

变压器绕组的幅频响应特性可采用图1所示的频率扫描方式获得。连续改变外施正弦波激励源  $U_s$  的频率 $f$  (角频率 $\omega=2\pi f$ )， 测量在不同频率下的响应端电压  $U_2$  和激励端电压  $U_1$ 的信号幅值之比，获得指定激励端和响应端情况下绕组的幅频响应曲线，常用对数形式表示[见式(1)]。



说明:

L、K、C——绕组单位长度的分布电感、分布电容及对地分布电容;

$U_1$ 、 $U_2$ ——等效网络的激励端电压和响应端电压;

$U_s$ ——正弦波激励信号源电压;

$R_s$ ——信号源输出阻抗;

R——匹配电阻。

图 1 频率响应分析法的基本检测回路

$$H(f)=20lg[U_2(f)/U_1(f)] \quad (1)$$

式中:

$H(f)$ ——频率为 $f$ 时传递函数的模 $|H(j\omega)|$ ;  
 $U_2(f), U_1(f)$ ——频率为 $f$ 时响应端和激励端电压的峰值或有效值 $|U_2G_{io}|$ 和 $|U_1(i_o)|$ 。

#### 5 检测仪器的要求

##### 5.1 检测仪器的基本要求

变压器绕组变形测试仪的基本要求参见附录A。

##### 5.2 扫频检测范围

扫频检测范围应包括1kHz~1000kHz 频段。

### **5.3 扫频检测方式**

宜采用线性分布的频率扫描检测方式，并可对单个频点进行重复检测。

### **5.4 扫描频率精确度**

信号源输出正弦波信号的频率精确度应不大于0.01%。



### 5.5 扫描频率间隔

扫描频率的间隔宜为1kHz。

### 5.6 阻抗匹配方式

检测仪器的正弦波信号输出源 $U_s$ 的输出阻抗 $R_g$ 应为50 $\Omega$ ,两个信号检测端 $U_1$ 和 $U_2$ 的输入阻抗不应低于1M $\Omega$ ,并应在信号响应端与公共端之间就近加装50 $\Omega$ 的匹配电阻 $R$ (参见图1)。

同轴电缆的长度宜在15m~20m之间,所使用的电缆应是阻抗为50 $\Omega$ 的射频电缆。

### 5.7 检测精确度

检测仪器应具备-100dB~20dB的动态检测范围,且在-80dB~20dB范围内的检测绝对误差应小于1dB。

### 5.8 选频滤波特性

检测仪器应具备选频滤波功能,其6dB带宽应小于扫描频率的2%。

### 5.9 数据导出格式

频率响应特性曲线的数据导出格式参见附录B。

### 5.10 数据查询功能

具备检索功能,可查询同型号、同厂家及该台变压器的历史数据。

### 5.11 数据显示方式

幅频响应特性曲线的频率坐标宜以对数坐标显示。

## 6 检测方法

### 6.1 检测条件要求

6.1.1 不应在雷电、雨雪等天气开展检测。检测应严格执行电力安全工作规程的要求,并严格执行保证安全的组织和技术措施,测试人员应经过测试培训,具备现场测试能力。

6.1.2 变压器绕组变形检测应在所有直流试验项目之前或者在绕组充分放电以后进行,必要时应进行退磁处理。应根据接线要求和接线方式,逐一对变压器的各个绕组进行检测,分别记录幅频响应特性曲线。

6.1.3 检测前应拆除与变压器套管端部相连的所有引线,并使拆除的引线尽可能远离被测变压器套管。

6.1.4 变压器绕组的幅频响应特性与分接开关的位置有关,宜在最大分接位置下检测,或者应保证每次检测时分接开关均处于相同的分接位置。

6.1.5 检测现场应提供AC220V电源,当现场干扰严重时宜通过隔离电源对检测设备供电。

### 6.2 接线要求

6.2.1 所有接线均应稳定、可靠,应使用专用的接线夹具,减小接触电阻。

**6.2.2** 对同一台或同型号变压器宜采用相同的接线方式。激励端和响应端上的测试电缆及接地引线均可沿套管的瓷套引下。接地线不能缠绕，应就近与变压器的金属箱体进行电气连接，以保持良好的高频接地性能。

### 6.3 接线方式

6.3.1 根据变压器绕组的联结结构，按照图2选定被测绕组的激励端(输入端)和响应端(测量端)，其他绕组的端头悬空。

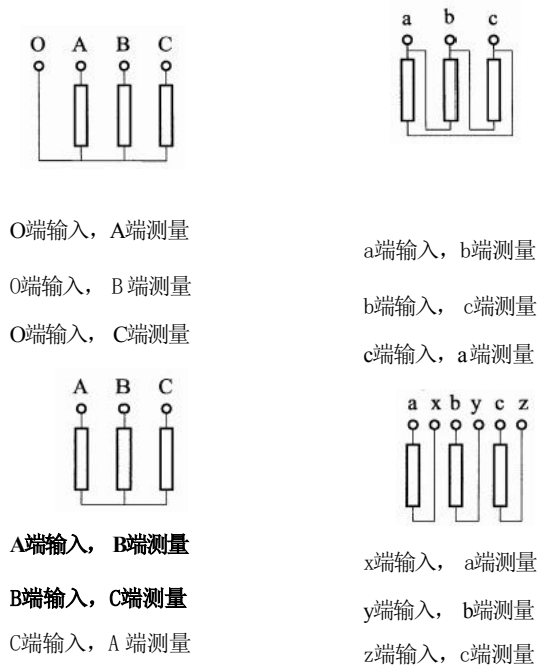


图 2 变压器常用检测接线方式

6.3.2 对于套管引线无法拆除的变压器，可利用套管末屏抽头作为激励端或响应端进行检测，或者打开距离变压器套管较近的其他端头进行测量，但应注明，并与同样条件下的检测结果做比较。

6.3.3 对于带有平衡绕组的变压器，宜将平衡绕组的接地端打开。

6.3.4 在选定的激励端和响应端连接专用测量引线，逐一检测变压器各个电压等级三相绕组的幅频响应特性。

## 7 绕组变形的分析判断

### 7.1 分析判断原则

用频率响应分析法判断变压器绕组变形，主要对相同电压等级的三相绕组频响数据曲线进行纵向、横向以及综合比较，通过相关系数判断变压器绕组幅频特性的变化。

用相关系数R 辅助判断变压器绕组变形的的方法参见附录C。

### 7.2 纵向比较法

纵向比较法是指对同一台变压器、同一绕组、同一分接开关位置、不同时期的幅频响应特性进行比较，根据幅频响应特性的变化判断变压器的绕组变形。该方法具有较高的检测灵敏度和判断准确性，但需要预先获得变压器原始的幅频响应特性，并应排除因检测条件及检测方式变化所造成的影响。

用纵向比较法判断变压器绕组变形的示例参见附录D。

### 7.3 横向比较法

横向比较法是指对变压器同一电压等级的三相绕组幅频响应特性进行比较，必要时借鉴同一制造厂在同一时期制造的同型号变压器的幅频响应特性，来判断变压器绕组是否变形。该方法不需要变压器原始的幅频响应特性，现场应用较为方便，但应排除变压器的三相绕组发生相似程度的变形或者正常变压器三相绕组的幅频响应特性本身存在差异的可能性。

用横向比较法判断变压器绕组变形的示例参见附录E。

## 7.4 综合分析法

综合分析法主要是对该变压器的三相频响指纹进行横向和纵向比较，根据三相频响指纹的差异做出判断。

用综合比较法判断变压器绕组变形的示例参见附录F。

## 7.5 分析流程

7.5.1 现场开展变压器绕组变形测试时，正常测得的频响数据曲线应是连续和平滑的，但在较为复杂的现场环境下，有时测得的频响特性数据会受到干扰，会影响测试数据的效果，需要对测试数据的有效性进行分析。变压器绕组变形时的典型干扰波形示例参见附录G。

7.5.2 对变压器同一电压等级的三相绕组进行绕组变形测试和分析时，可按照一定的流程进行，必要时结合变压器运行工况及短路阻抗等其他试验结果。用频率响应分析法判断变压器绕组变形的流程参见附录H。

## 7.6 绕组变形分析

7.6.1 典型的变压器绕组幅频响应特性曲线，通常包含多个明显的波峰和波谷，波峰或波谷分布位置及分布数量的变化，是分析变压器绕组变形的重要依据。变压器绕组变形时的典型幅频响应特性曲线参见附录I。

7.6.2 幅频响应特性曲线低频段(1kHz~100kHz)的波峰或波谷位置发生明显变化，通常预示着绕组的电感改变，可能存在匝间或饼间短路的情况。频率较低时，绕组的对地电容及饼间电容所形成的容抗较大，而感抗较小，如果绕组的电感发生变化，会导致其频响特性曲线低频部分的波峰或波谷位置发生明显移动。对于绝大多数变压器，其三相绕组低频段的幅频响应特性曲线应非常相似，如果存在差异则应及时查明原因。

7.6.3 幅频响应特性曲线中频段(100kHz~600kHz)的波峰或波谷位置发生明显变化，通常预示着绕组发生扭曲和鼓包等局部变形现象。在该频率范围内的幅频响应特性曲线具有较多的波峰和波谷，能够灵敏地反映出绕组分布电感、电容的变化。

7.6.4 幅频响应特性曲线高频段(>600kHz)的波峰或波谷位置发生明显变化，通常预示着绕组的对地电容改变，可能存在绕圈整体移位或引线位移等情况。频率较高时，绕组的感抗较大，容抗较小，由于绕组的饼间电容远大于对地电容，波峰和波谷分布位置主要以对地电容的影响为主。但由于该频段易受测试引线的影响，且该类变形现象通常在中频段也会有较明显的反应，故一般可不把高频段测试数据作为绕组变形分析的主要信息。

## 附录 A

## (资料性附录)

## 变压器绕组变形测试仪的基本要求

变压器绕组变形测试仪的基本要求见表A.1。

表A.1 变压器绕组变形测试仪的基本要求

技术内容		技术要求	备注说明
工作环境	温度	-10℃~50℃	
	湿度	50℃(5~90)%RH	
仪器参数	扫频范围	1kHz~1000kHz	
	扫频方式	线性扫频	对数扫频可选
	扫频间隔	1kHz	可设置
	单点扫频	可对单个频点进行重复检测	用于检测频率响应精度
	频率精确度	0.01%	误差的绝对值
	输出幅值	不小于10Vp-	空载时
	动态检测范围	-100dB~20dB	
	检测精确度	不大于1dB(-80dB~20dB)	误差的绝对值
	选频滤波特性	6dB带宽不大于2%	用于检测抗干扰性能
	信号通道	3个独立通道	1个输出, 2个输入
	阻抗匹配	输出阻抗为50Ω 输入阻抗不低于1MΩ	响应端与公共端之间就近加装50Ω的匹配电阻R
配件	测试线缆	长度为15m~20m, 波阻抗为50Ω	宜为双屏蔽电缆
	接地线	不小于2.5mm <sup>2</sup>	宜采用扁平裸铜线
	接线钳	专用夹具	可集成匹配阻抗
	校验单元	提供出厂曲线	用于仪器自检
	隔离变压器	电源隔离装置	抑制电源干扰

软件	操作界面	全中文界面	
	曲线显示	至少可同时显示6条曲线	可分屏幕显示2组(每组3条)曲线,以便进行综合分析
	数据格式	可导出满足附录B要求的检测数据	存储或导出
	数据检索	支持数据信息的模糊查询功能	具备查询同型号、同厂家或历史测试数据的功能
	分析功能	支持附录C的分析功能	
	参数设置	可设置测试参数	频率范围、扫频方式等

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/775012002140011143>