

高低频变压器和电抗器噪音产生的根源与计算

Root cause and calculation of transformer and reactor noise

孙文

深圳可立克科技股份有限公司, 深圳 518000

摘要: 简要介绍噪音产生的根源, 探讨高低频变压器和电抗器噪声产生的基本原理和理论计算方法, 运用计算机辅助技术和噪音测量工具进行噪音分析和验证并给出实验结果。

关键词: 变压器, 电抗器, 噪音, 高低频

0 引言

高低频变压器和电抗器的噪声不但污染环境、危害人类健康而且影响设备的正常运行。噪声与其电气性能和机械性能一样, 都是变压器和电抗器极为重要的技术参数。变压器和电抗器本体噪声水平的高低, 是衡量制造厂设计能力和生产水平的重要指标之一。变压器和电抗器的噪声问题一直是在世界范围内受到普遍关注的环境问题。世界上许多国家都相继制定了各自的环境噪声标准, 运行中变压器和电抗器的噪声, 是绝对不允许超过其所在环境的噪声标准的, 所以分析和测量噪音产生的根源意义显得尤为重要。

1 噪音的来源和产生机理

1.1 噪音的一般解释和标准

在一定环境中不应有而有的声音。泛指嘈杂、刺耳的声音。从环境保护的角度看: 凡是妨碍到人们正常休息、学习和工作的声音, 以及对人们要听的声音产生干扰的声音, 都属于噪声。噪声是一类引起人烦躁, 或音量过强而危害人体健康的声音。

中国现行的国家标准为《GB 3096-2008》《声环境质量标准》和《GB 22337-2008》《社会生活环境噪声》两大标准。其中,《声环境质量标准》规定了五类声环境功能区的环境噪声限值及测量方法, 适用于声环境质量评价与管理, 但不适于机场周围区域受飞机通过(起飞、降落、低空飞越)噪声的影响;《社会生活环境噪声》规定了营业性文化场所和商业经营活动中可能产生环境噪声污染的设备、设施边界噪声排放限值和测量方法, 适用于其产生噪声的

管理、评价和控制。

1.2 变压器和电抗器噪音的来源和产生机理

变压器和电抗器噪音共有三个声源, 一是铁心, 二是绕组, 三是冷却器, 即空载、负载和冷却系统引起噪音之和。铁心产生噪音原因是构成铁心硅钢片交变磁场作用下, 会发生微小变化即磁致伸缩, 磁致伸缩使铁心随励磁频率变化做周期性振动, 铁心磁致伸缩变形和绕组、油箱及磁屏蔽内电磁力所引起。绕组产生振动原因是电流绕组中产生电磁力, 漏磁场也能使结构件产生振动。电磁噪音产生原因是磁场诱发铁心叠片沿纵向振动产生噪音, 该振动幅值与铁心叠片中磁通密度及铁心材质磁性能有关, 而与负载电流关系不大。电磁力(和振动幅值)与电流平方成正比, 而发射声功率与振动幅值平方成正比。

电抗器噪声主要来源于硅钢片的磁致伸缩和片间振动, 另外由于铁心饼之间存在交变磁场吸引力, 使得电抗器和同容量变压器相比噪声要大 10dB 以上, 但正常的工艺工装会使电抗器噪声符合标准要求。投运现场导致电抗器噪声异常的主要原因是铁心柱三相高度不一致, 甚至相差较大但没有垫毛毡等减振措施, 造成某一相最上层铁心饼和上铁轭间有缝隙; 或者由于铁心饼码装时在平面度和直线度等公差方面没有严格保证, 不符合工艺要求, 铁心饼有倾斜情况, 铁心饼之间在倾斜部位有缝隙, 这些原因都会造成电抗器噪声异常大。

造成电抗器噪声大的其他制造原因之一是铁心夹紧力不够, 铁心紧固力小会增大电抗器运行噪声; 经验表明, 当铁心夹紧力压强为 0.8 ~ 1.2MPa 时, 电抗器噪声最低。除此之外, 铁心饼的压紧螺杆紧固螺母必须另配锁母, 以

防止运行中铁心饼振动而导致紧固螺母松动，噪声增大。硅钢片在生产过程中如果加工精度低，毛刺过大，硅钢片有磕碰，没有将硅钢片的轧制方向和磁通方向平行，铁心饼片间绝缘损坏，铁心有多点接地，螺母没有拧紧等，这些都会不同程度地使电抗器噪声增大。

1.3 变压器和电抗器噪声的表现形式

1.3.1 高低频噪声

普通变压器工作在工频 50/60Hz 电网环境，声音低沉、厚重。大部分电抗器由于担负谐波滤除的功能，工作电流中夹杂了大量高次谐波，噪音表现尖锐刺耳。

1.3.2 过电压或过电流

变压器的响声增大，但仍是“嗡嗡”声，无杂音。随负荷的急剧变化，也可能呈现“割割割、割割割割”突击的间歇响声。

1.3.3 夹紧铁芯的螺钉松动

呈现非常惊人的“锤击”和“刮大风”之声，如“丁丁当当”和“呼呼”之音。

1.3.4 变压器外壳与其它物体撞击

这是因为变压器内部铁芯振动引起其他部件的振动，使接触处相互撞击。如变压器上装控制线的软管与外壳或散热器撞击，呈现“沙沙沙”的声音，有连续较长、间歇的特点，变压器各部不会呈异常现象。

1.3.5 外界气候影响造成的放电

如大雾天、雪天造成套管处电晕放电或辉光放电，呈现“嘶嘶”、“嗤嗤”之声，夜间可见蓝色小火花。

1.3.6 匝间短路

因短路处严重局部发热，使油局部沸腾会发出“咕噜咕噜”像水开了似的声音，对于干式变压器和电抗器，则直接造成线圈烧毁。

1.3.7 高频谐波

电抗器在通电运行时发出尖锐的啸叫声，声音刺耳让人无法忍受。随着负荷的增加，噪音会越来越大。

2 噪音的理论计算和计算机仿真

2.1 变压器和电抗器噪音的基本计算方法

保定天威保变电气股份有限公司根据多年来的电力变压器噪声实测值的统计结果认为，在不考虑变压器任何降噪措施时，电力变压器在距离其主发射面 2m 处，其本体噪音可近似表示为：

$$\text{Noise} = 55 + 10\lg G + 100 \lg(B/1.7)$$

式中 Noise 为距离变压器主发射面 2m 处本体噪音 (dB)

G 为硅钢片重量 (t)

B 为铁芯中的平均磁通密度 (T)

频率为 60Hz 时，加 4dB；单相三柱铁芯结构，减 3dB；铁芯采用 Hi-B 硅钢片，减 3dB。

如果铁芯芯柱与铁轭中的磁通密度不同，应根据芯柱与铁轭的重量比计算出平均磁通密度。例如，芯柱中磁通密度为 1.72T，芯柱重量为铁芯总重量的 54%，铁轭的磁通密度为 1.68T，其重量为铁芯重量的 46%，则铁芯中平均磁通密度 $B = (1.72 \times 54\% + 1.68 \times 46\%) T = 1.7T$

2.2 不同设计条件下理论计算的噪音差别比较

计算机代码程序 (VB)

```
Private Declare Function ShellExecute Lib "shell32.dll"
Alias "ShellExecuteA" _
(ByVal hWnd As Long, ByVal lpOperation As String, _
ByVal lpFile As String, ByVal lpParameters As String, _
ByVal lpDirectory As String, ByVal nShowCmd As
Long) As Long
Private Sub Command1_Click()
On Error GoTo Err_Command1_Click
Dim a, b, c, d As Double
a = core_weight
b = flux_density
c = frequency
d = noise
If Core_weight.Text = "" Or Flux_density.Text = "" Or
Frequency.Text = "" Then
MsgBox "Please inspect all parameters whether complete
or correct", , "Sol Design System"
Else
d = Format(55 + 10 * Log(a) / Log(10) + 100 * Log(b / 1.7)
/ Log(10), "0.00")
End If
```

```

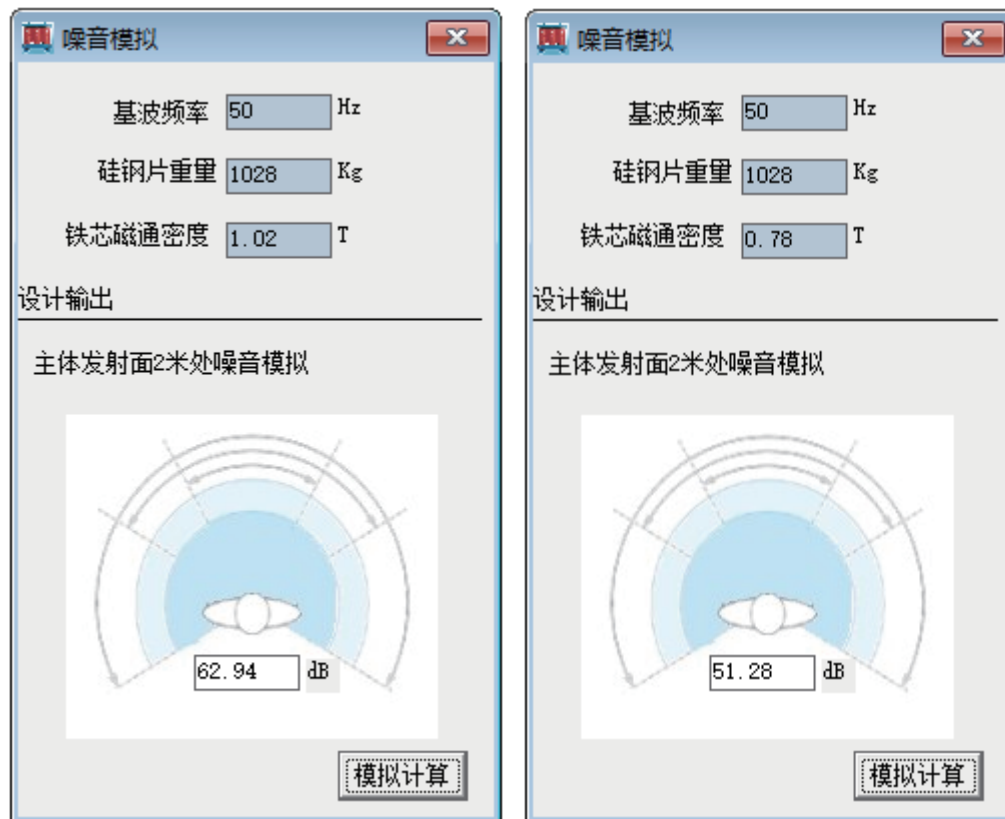
If c = 50 Then
Noise = d
Else
Noise = d + 4
End If
Exit_Command1_Click:
Exit Sub
Err_Command1_Click:
MsgBox Err.Description
Resume Exit_Command1_Click
End Sub
Private Sub Form_Load()
End Sub
Private Sub Core_weight_KeyPress(KeyAscii As Integer)
Select Case KeyAscii
Case 48 To 57, 44, 46, 8
Case Else
KeyAscii = 0
End Select

```

```

End Sub
Private Sub Flux_density_KeyPress(KeyAscii As Integer)
Select Case KeyAscii
Case 48 To 57, 44, 46, 8
Case Else
KeyAscii = 0
End Select
End Sub
Private Sub Frequency_KeyPress(KeyAscii As Integer)
Select Case KeyAscii
Case 48 To 57, 44, 46, 8
Case Else
KeyAscii = 0
End Select
End Sub
Private Sub Noise_KeyPress(KeyAscii As Integer)
Select Case KeyAscii
Case 48 To 57, 44, 46, 8
Case Else

```



程序运行效果（不同磁密状态下对噪音的影响）

KeyAscii = 0

End Select

End Sub

2.3 电抗器磁密设计对噪音的影响

电抗器不同于变压器，因为有气隙铁心饼间存在交变吸引力，所以比同容量变压器噪声大。在设计中电抗器磁通密度不能选取得太高，一般磁通密度取值应不高于 1T，主磁通密度则低于 0.9T 为宜。设计时如果磁通密度取值过高，磁通

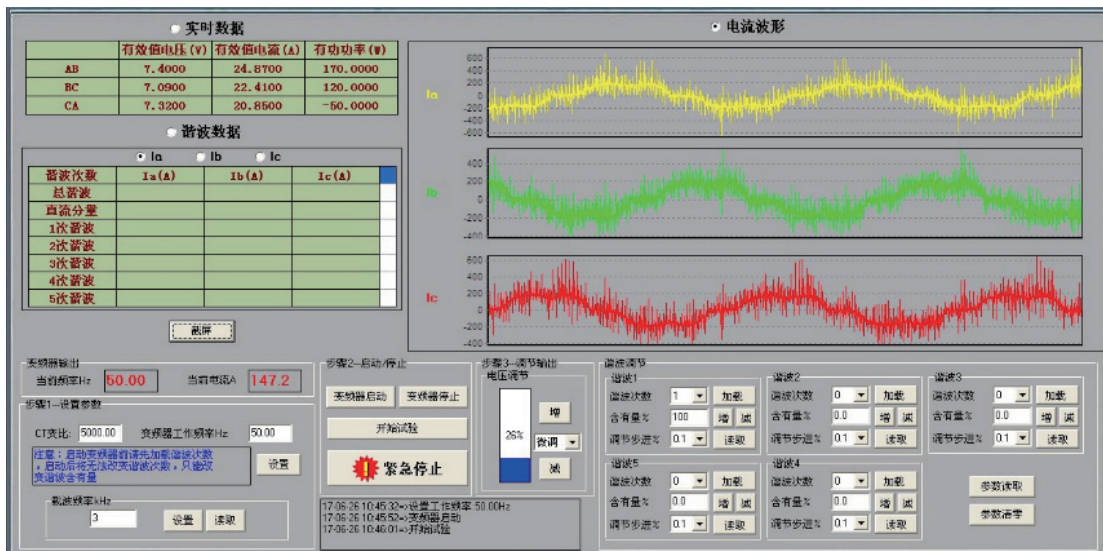
密度每增加 0.1T，电抗器噪声则会增加 2 ~ 3dB。另外设计磁通密度过高，铁心饼中单位铁心损耗增加而导致铁心温度过高，如果超过 F 级 /H 级耐热温度，长时间运行的话，气隙片等 F 级 /H 级绝缘会慢慢老化、破损，噪声也会出现增大。

3 高低频电抗器噪音对比实验

从不同的开关频率和不同谐波含量的加载条件下，通过对比发现高频谐波对于产品的噪音影响非常大，这个体



带谐波输出电源



我们在开关频率 3KHz 和 6KHz 加载不同的谐波含量进行了对比噪音试验测试界面



无谐波输入时噪音水平（含背景噪音）



谐波含量 THD=30% ; THD=50% 噪音水平

现不仅仅是测量数据的变化，更深层次的是通过人耳这一功能性器官感受产品在接收到高频谐波，特别是谐波含量的不断增加，可以明显感受到刺耳的尖锐噪声，在试验现场，没有防护设备的情况下，持续受到高频噪音伤害，可能出现耳痛和耳鸣现象。

4 结语

随着生活水平和经济的发展，变频设备被大量投入使用，电网污染不容忽视，电抗器和变压器作为输配电和谐波治理的重要组成部分，研究其功能特性并找出改善的方法显得尤为重要。作者从事变压器和电抗器设计研发十余年，在后面的文章《高低频变压器和电抗器噪音治理》中会对噪音的治理方法从理论计算到生产工艺进行全方位的阐述。