

谐波：检测、诊断和解决(1)

技术应用文章

现今,当轻微的电力问题变得明显之前,工业设施配电系统就可能已经接近崩溃了。其原因是受控制的谐波电压和谐波电流。谐波是非常有害的,它们会烧坏马达和变压器—甚至通过一些小的不起眼但却与日俱增的损坏。谐波的累积效应只有当首次症状出现时才会被注意到。

谐波的原因：非线性负载

谐波是指其频率为基波频率整数倍的电压或电流。例如基波频率为50Hz,则3次谐波为150Hz,5次谐波为250Hz。谐波是由非线性负载所造成的。例如PC机,打印机,荧光灯,调速马达驱动,充电器以及电镀设备等。这些设备将从电路中获取跃变的脉冲波形电流而不是平滑的正弦波。结果是含有谐波的畸变电流回流到电力系统的其它地方。

办公室的非线性负载通常是单相的,而工厂里通常是三相的。

谐波的影响

非线性负载只是在输入电压被控制的部分吸取电流。这样可以很好地提高效率,但却会在负载电流中引起谐波。随后,这些谐波会导致电力变压器和中线过热,以及断路器动作。而更为严重的是烧毁马达和变压器。

如果你观察系统中电压和电流的波形,问题就非常明显。一个正常的50Hz的线路电压在示波器上几乎是一个很好的正弦波(见图1)。

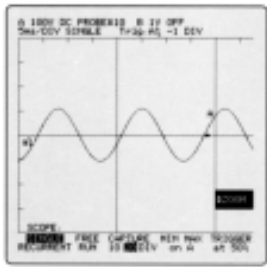


图1. 完好的正弦波波形

当谐波出现时,波形就失真了(见图2)

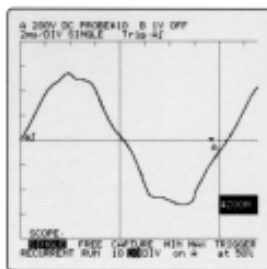


图2. 畸变波形

即使没有明显的症状,谐波也会使系统的功率因数下降。工厂的经理没有一个愿意听到“负功率因数”一词。因为这意味着工厂将为此付出更多的电费。(本文的第2部分会进一步讨论功率因数问题)。

首先解决单相非线性负载的问题

如果谐波源是保证你的工作的关键设备和装置而不能取消,那么解决谐波问题是极具挑战性的。第一步是检查谐波的存在和程度。我们称作第一步故障检测。检查的结果会提示一些解决方法,如重新分配负载,变压器降载使用或安装K因数变压器。检查首先要携带真有效值数字万用表和电流钳对电力设施进行测试。这里要进行5个基本的测量。

检查用电负载: 查看一下用电负载的类型。如果有大量的PC机,打印机,可调速电机,固体电路控制加热器和某些类型的荧光灯,谐波存在的可能性就非常大。

检查变压器的温度: 找到给非线性负载供电的变压器,查看温度是否过高。同时要检查其散热的风扇没有被遮挡。

检查变压器二次侧电流: 用仪表检查变压器的电流,下面是如何理解仪表的测量读数。

1. 首先检查所用测试仪表的电压等级是否满足被测的变压器。
2. 测量并记录变压器二次侧每相的电流以及中线电流(如果使用中线)。
3. 计算负载的kVA并和变压器铭牌上列出的数值进行比较。如果有谐波,即使计算出来的kVA值小于铭牌上的额定值,变压器仍可能过热。
4. 如果变压器二次侧是四线制系统,将测量的中线电流和预估的不平衡相电流数值比较(中线电流是相电流的矢量和,如果相电流的幅度和相位平衡中线电流应该为零)。如果中线电流比预计的值高,那么就很有可能存在三次谐波的存在,变压器就应该降载使用。
5. 测量中线电流的频率。中线上150Hz的电流数值大部分是三次谐波构成的。

检查辅配电盘的中线电流: 检查给单相非线性负载供电的辅配电盘。测试每个支路中线的电流并和使用的电线的额定容量相比较。检查中线母线和馈线的发热和褪色情况。此时,非接触红外测温探头(例如福禄克公司的80PK)是非常有用的。

检查插座上中线至地线的电压：插座支路的中线过载有时可以通过测量插座上中线至地的电压来发现。测量电压要在负载工作时进行。电压小于2V是正常情况。高于2V则表示有麻烦。再测量频率，150Hz表示有很强的谐波出现。50Hz表明三相不平衡。

特别要注意在地毯下的接线和办公室中通过三相导线共享中线的集中式电源接线板。因为这两种区域是计算机和办公设备最多的地方，是中线过载最常见的场合。

案例研究：减小三相系统谐波的影响

系统描述：图3表示的是一个三相电力配电系统的框图，它给2个SCR控制的调速电机供电。其它负载还有几个感应马达和荧光灯照明系统。马达电路由480V供电，照明系统由277V供电。该系统设计为临界状态，它可以通过短路电流和负载电流的比计算出来。正常的比率应该是100：1以上，而本系统是22：1。

症状：马达效率下降，小的感应马达烧毁，荧光灯中的电容损坏。

解决方案：系统电压的谐波失真总量(THD-Total-HarmonicDistortion)

很高。20KVAR 功率因数修正电容引起了问题。它在五次谐波附近产生了谐振。电力工程师采取了两个步骤：1)加倍变压器容量以改善供电能力。2)将电感与功率因数修正电容组串联让其在200Hz以上的频率失谐。

测量：迅速地估计系统的谐波程度。工程师利用配备电流钳的便携式谐波分析仪(例如福禄克公司的F43)进行三次测量。参见图3。第一个测量(A点)表示谐波失真总量很高。第二个测量(B点)说明同样的问题。最后一点(C点)表明存在比额定电流大许多的电流—足以经常烧毁35A的保险丝。

这些快速的现场测量足以揭示谐波问题的严重性。进一步分析后，工程师发现偶次谐波是由可控硅闸流系统的失灵而引起的，而可控硅闸流系统的失灵又是由于三相电压波形谐波畸变引起的。谐波还导致马达和荧光灯电容发生故障。

总结

本文的第二部分还将深入讨论从上面测量中获得的读数。还将看一下利用谐波表获得的波形并分析系统中完整的谐波频谱。

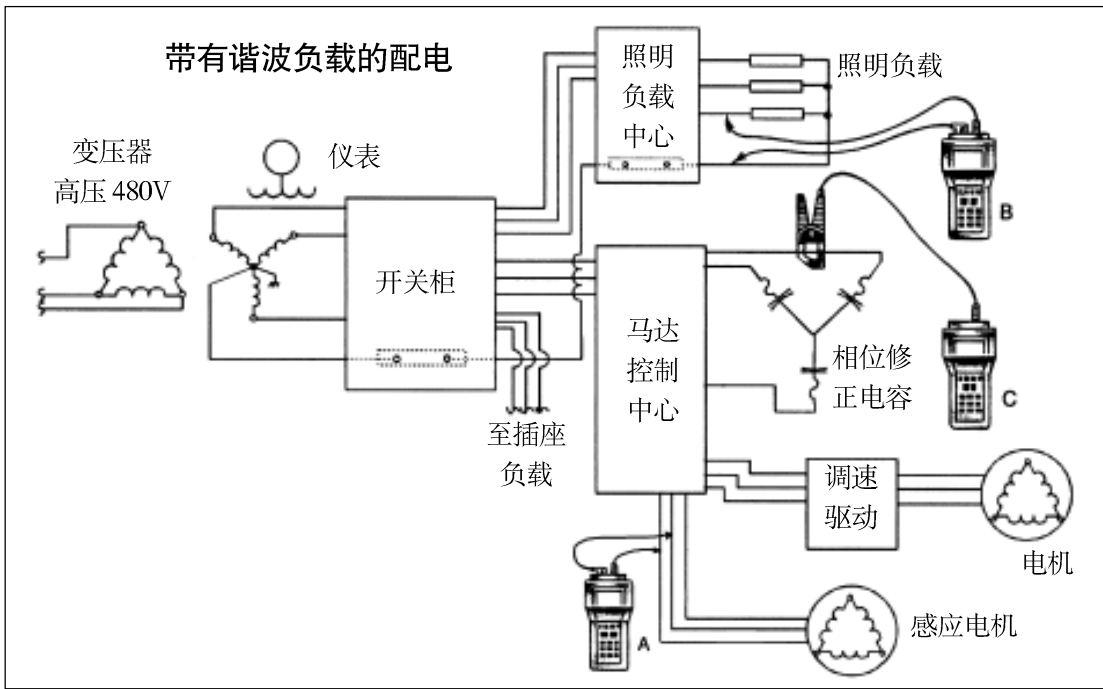


图3. 一个带有非线性负载的配电系统，利用谐波分析仪分别在A、B和C点测量。

电气技师可以根据测量的结果，了解谐波的情况。

电力系统中的设备和元件对谐波有不同的反应，下面来看一看：

设备、元件	谐波效应	动作反应
中线导体	在三相四线制系统中，中线导线可能会受220V支路上非线性负载的严重影响。如果负载是单相的，某些谐波(3次谐波的奇数倍：3次，9次，15次)在中线上不是相互抵消而是相互迭加。	如果系统中有很多这样的负载，中线电流可能超过其中任何一相的电流—非常危险，因为中线上没有断路器保护。
配电盘	热磁式断路器 使用两种金属机械式断开方式对电流热效应产生反应。 峰值感应断路器 对电流波形的峰值产生反应，并非总是正确地对谐波电流作出反应。	当温度过高断路器会断开，从而可以对谐波电流过载起保护作用。 因为谐波电流的峰值通常高于正常值，在较低电流时断路器可能提前动作。如果峰值低于正常值，断路器可能不会正常动作。
母线和接线板	中线母线和接线板的尺寸应足够承受满负荷的额定相电流。	当附加的三次奇数倍谐波叠加使中线导线过载时它们也会过载。
断路器	配电盘是按照50Hz的电流而设计的。高频的谐波电流引起的电磁场会导致配电盘产生机械谐振。	在谐波频率配电盘会产生机械振动并发出嘶嘶的声音。
通讯系统	通讯系统通常会最早提供谐波问题的线索。通讯电缆通常和中线导线相邻敷设。	中线导线上的3次奇数倍谐波会产生感应干扰，它可在电话线上听到。
变压器	某些商业建筑使用208V/102V， Δ -Y连接的变压器。这些变压器通常给商业建筑中的插座供电。单相非线性负载连接到这些插座上产生三次奇数倍谐波并在中线上代数迭加。 变压器问题也可能发生在芯损和铜损。变压器通常只是在50Hz相电流负载下标定。由于涡流和磁滞的作用，高频谐波电流会增加芯损，从而导致在与50Hz相同的电流下产生更多的发热。	当中线电流抵达变压器，它会感应 Δ 初级线圈中并进行循环，导致过热和变压器损坏。 变压器可能会被烧毁。这些热效应要求变压器降载使用以满足谐波负载或用特殊设计的“k 因数”变压器替代。
发电机	备用发电机和变压器会有同样的过热问题。因为它们为产生谐波的负载提供备用的能量，而发电机比这些负载更脆弱。	除了过热，某些谐波在电流波形的过零点产生失真，它会干扰或引起发电机控制电路不稳定。

谐波：检测、诊断和解决(2)

技术应用文章

最有经验的现场工作人员也会对电力系统的故障感到头痛。的确，他们的工作就是预见和解决与电力相关的问题从而防止这些问题导致停机。为了预见问题，他们监测电气噪声的影响；监测功率因数；现场检查变压器，马达和——一些重要的负荷中心，定期监测它们的过功率输出并防止其过热。令他们感到困难的是遇到那些各种不相关又无法解释的问题。更糟的是，这些问题的产生没有任何的预示。

如果你已经阅读了本文的第一部分，你可能会猜想到这是谐波的问题。第一部分介绍了谐波的原因以及它对工业配电系统的影响。现在介绍谐波的典型测量方法和在什么地方进行测量。

本文还要更进一步，介绍在同一系统发现的实际故障和问题以及如何解决它们。此外还将提供有关功率因数的信息，它是配电系统是否正常的一个主要标志之一。

系统概述

图 1 系统说明：图 1 表示的是一个三相配电系统的框图，它给 2 个 SCR 控制调速电机供电，其它负载包括几个感应马达和荧光灯照明系统。马达电路由 480V 供电，照明系统由 277V 供电。该系统设计为临界状态，它可以通过短路电流和负载电流的比计算出来。正常的比例应该是 100: 1 以上，而本系统的设计是 22: 1。

让我们看一下系统的单线图，见图 2。

初步测量明显说明系统有谐波的存在。经过进一步检查，技术人员又发现了下面的情况：

1. 功率因数校正电容的保险丝定期的烧毁。
2. 荧光灯的镇流电容损坏的非常频繁。
3. 三个异步(感应)马达在没有明显的原因下烧毁。
4. 变频驱动不能按照厂商提供的效率工作。

功率因数校正电容已经安装在系统中减少电压和电流之间的相位从而改善功率因数。在该系统的问题中，关于谐波的两个事实得到了验证：

谐波寻求低阻抗。上面问题的 1 和 2 直接与谐波有关。

观察系统的动态情况就可以预见这一点。谐波频率是基波的整数倍。高频的信号寻找系统的最低阻抗，因为当频率升高时，电容器的阻抗降低，当谐波出现时，电路中电容器的电流自然会增加。

如果谐波电压加到基本的供电电压上，所有连接在该电源的电容器都会产生谐波电流。所以问题 1 中，与功率因数校正电容串联的保险丝就会烧毁。当然增加的电流也会使镇流器电容过早地损坏。

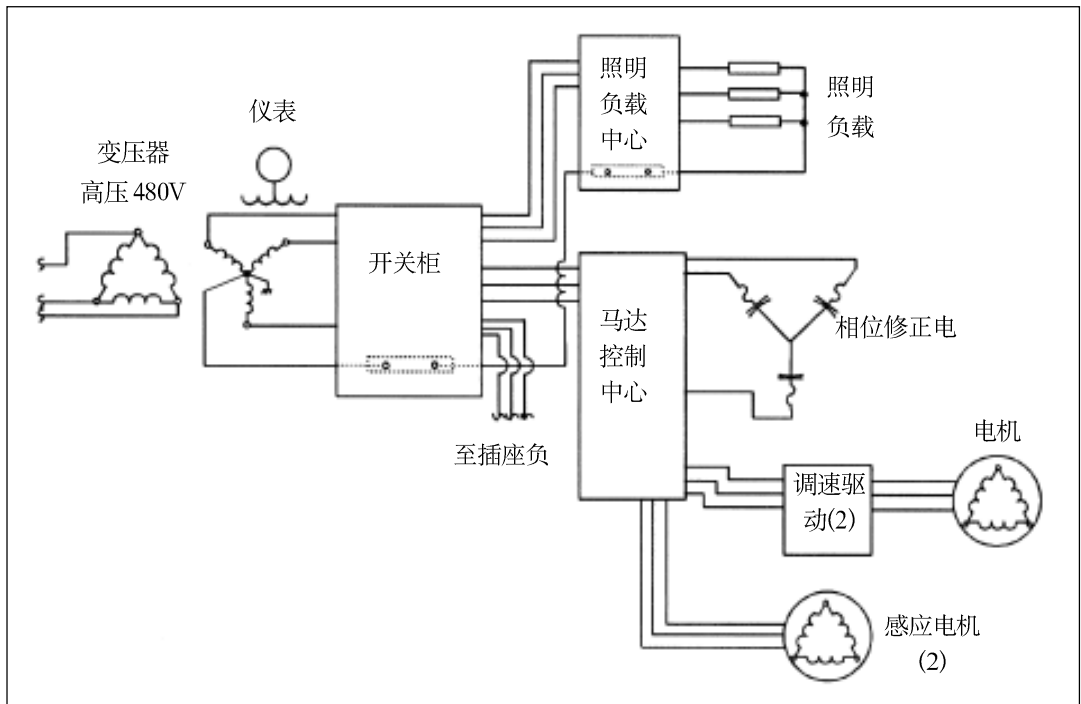


图 1. 一个为马达，照明和插座负载供电的配电系统

负序谐波影响异步电机。对有经验的电力故障检测人员来说，看一下系统中的异步电机就会判断有无负序谐波存在。负序谐波指5次，11次，17次等，如表1中所示。

发热是谐波的基本事实。但是注意每种类型的谐波对配电系统有不同的影响。表2说明了大部分的影响。

注意三相异步电机的问题与负序谐波有关(5, 11, 17次等)。这是因为反转电磁场试图使电机反转。为了证实这个判断，电力系统的管理人员使用便携式谐波分析仪，例如福禄克公司的F43来检查电机端子上的电压。使用F43测量谐波失真总量(THD)以及谐波频谱。频谱用谱图显示每次谐波的含量。

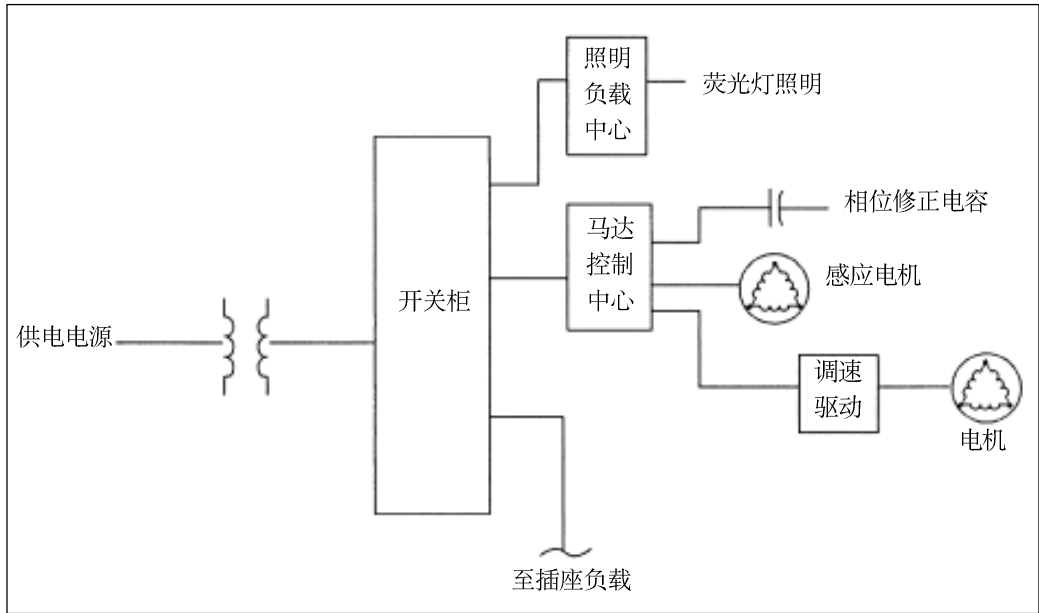


图2. 配电系统的单线图

例如福禄克公司的F43来检查电机端子上的电压。使用F43测量谐波失真总量(THD)以及谐波频谱。频谱用谱图显示每次谐波的含量。

变压器的问题

一开始，电力系统工程对于变频调速电机驱动的效率降低找不到明显的解释原因。然而回顾一下系统就会找到线索。

设计工厂的配电系统，适应三种主要负载：照明，插座负载和异步(感应)电机。系统的照明和电源插座负载安装好以后很少改变。随着时间变化，生产线需要更新，这就需要增加电机以及功率因数修正电容。而供电变压器却没有升级来满足更大的电机负载。直到增加6脉冲调速电机之前，系统一直可以达到预计的性能。

为了制定一个检查谐波的方法，工程师从图2中得出两点：

1. 受影响的区域—照明，异步电机和功率因数修正电容—都连接至480V的电源。这种情况表明电压谐波可能发生在480V的电源上。
2. 谐波源可能有三种：插座负载，变频驱动和供电电源本身。

非线性的插座负载通常产生大量的三次谐波，它们会加在四线制的中线上。如果插座负载是由Δ-Y变压器供电，二次侧中线电流会在三角形连接的变压器的一次侧线圈中循环，因为在一次侧没有中线。三次和三次奇数倍谐波会在三角形连接的变压器的一次侧吸收。一部分五次和七次谐波将通过插座、变压器出现在480V一侧。然而，这种情况下，插座上的负载和变频调速电机比要小很多。

表1 3至17次奇次谐波

基波	3次谐波	5次谐波	7次谐波	9次谐波	11次谐波	13次谐波	15次谐波	17次谐波
50Hz	150	250	350	450	550	650	750	850
序列	0	-	+	0	-	+	0	-

表2 谐波的影响

序列	对马达的影响	对配电系统的影响
正序	产生正向旋转的电磁场	1. 发热
负序	产生反转电磁场	1. 发热。2. 马达的问题
零序	无	1. 发热。2. 在三相四线系统中产生中线电流

为了估计电机产生的是几次谐波，工程师使用拇指法来检验 SCR 电机的电路：主要的谐波次数将是脉冲数加减一。这种情况下，6 脉冲驱动产生的主要谐波就是五次和七次。

开始检查

基于上述分析，符合逻辑的第一步就是使用便携式的谐波分析仪，例如福禄克公司的 F43 电力质量分析仪测量给电机供电的馈线电流。测量的结果如图 3 和 4。注意异常高的五次谐波电流说明功率因数修正电容有谐振发生。电压谐波失真总量 (THD) 超过 6%。当断开电容后，谐波电流明显减小，但是位移功率因数 (DPF) 也下降了很多，从而使基波电流增加。

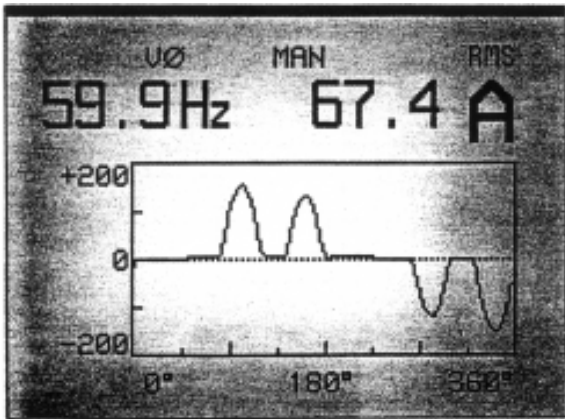


图 3. 安装电容后电流的波形

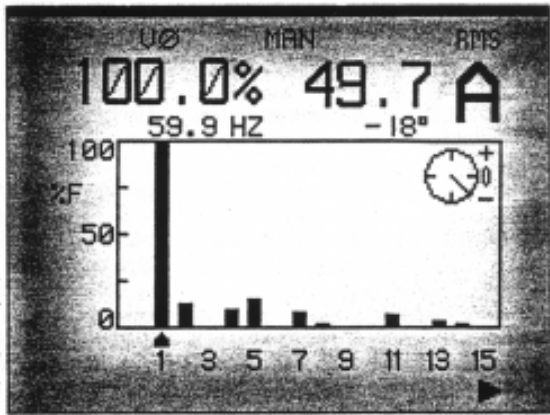


图 4. 安装电容后的谐波频谱

有了这些信息后，工程师就知道了电机烧毁，荧光灯镇流器电容损坏是由于 480V 供电电源的谐波失真而造成的。功率因数修正电容的保险丝的烧毁无疑是在五次谐波附近产生的谐振电流所引起的。

系统的调整

为了解决上述问题，工程师进行了两点改动：

1. 在相位修正电容上串联一个小电感从而使回路失谐。选择电感线圈的感抗值使频率高于 200Hz 时回路呈感性。它将保持 50Hz 下功率因数的改善。
2. 降低源阻抗从而降低 480V 供电电压的谐波失真。这种方法通常意味着使用更大的变压器。本例中意味着加倍其容量。

在做这些改动之前，工程师要先确认一下供电电源本身没有谐波问题。他们将负载中的所有非线性负载全部关闭再测量电力设备输入端的电压谐波失真。测试结果显示从供电部门来的电压的谐波失真总量 (THD) 小于 1%。

在工程师安装新的变压器和电感线圈后，再次测量电机馈线的谐波频谱。如图 5 所示，五次谐波电流大大减小了。电压失真比从前减少了一半以上，而且流过相位修正电容的电流也接近 50Hz 额定值。现在调频驱动的效率比以前高许多，因为由谐波电压引起的电机转动不良的现象被排除了。

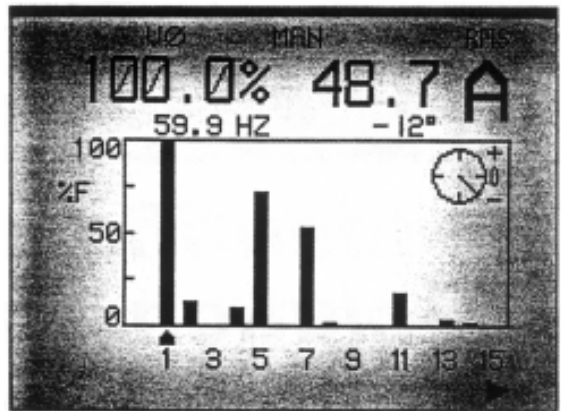


图 5. 安装新变压器和电感线圈后的谐波频谱

现代配电系统中设备之间的相互作用会使问题的分析非常困难。当加入非线性负载后，一个负载所引起的谐波可以影响任何其它负载——无论是线性的还是非线性的负载。

虽然分析这样的系统可能需要专业人员，但是获得复杂非线性系统的精确测量数值，例如电压，电流，频率，功率以及功率因数等并不需要专家。需要的只是正确和合适的测量工具。这些工具可以防止所有的工厂经理们都不情愿看到的不定期的停机事故。