关于串联电抗器选用疑难问题的解析

联电抗器(下称串抗)是并联电容器装置(下称电容装置或电容器组)的主要组成部分之一，它起着限制电容器组(背靠背)合闸涌流，抑制电力谐波，防止电容器遭受损害，以及避免电容装置的接入对电网谐波的过度放大和发生谐振等等重要作用。

然而串抗与电容器不能随意组合，若不考虑电容装置接入处电网的实际情况，采用“一刀切”的配置方式(如电容器一律配用电抗率为5%~6%的串抗)，往往适得其反，招致某次谐波的严重放大甚至发生谐振，危及装置与系统的安全。由于电力谐波存在的普遍性，复杂性和随机性，以及电容装置所在电网结构与特性的差异，使得电容装置的谐波响应及其串抗电抗率的选择成为疑难的问题，也是人们着力研究的课题。虽然现有的成果尚不足为电容装置工程设计中串抗的选用作出量化的规定，但是随着研究工作的深入，实际运行经验的积累，业已提出许多为人共识的见解，或行之有效的措施，或可供借鉴的教训。电容器组投入串抗后改变了电路的特性，串抗既有其抑制涌流和谐波的优点，又有其额外增加的电能损耗和建设投资与运行费用的缺点。所以对于新扩建的电容装置，或者已经投运的电容装置中的串抗选用方案，进行技术经济比较是很有必要的。本文着重对部分电容装置工程设计中沿袭选用6%串抗的问题进行剖析，以期对装置的建设和运行有所裨益。

串抗选用的“误区”20世纪80年代初，为了促进提高国产电容器产品的质量和生产技术的发展与进步，国家采用了重大举措，其中包括由原水利电力部统一从西欧、日本进口一批电容器，分配给东北、华北和华东电网集中装设在110kV及以上变电所，并效法日本的做法规定要求一律用6%串抗，一时全国各地(除浙江省等个别省区外)形成几乎以此为“主导”的设计模式。

随着各地大容量电容装置的相继投运，通过现场谐波实测，人们逐步发现和认识到事实不象教科书所说的那样，3次谐波只有零序分量可被变压器Δ接法的线圈所环路，而是到处流通。除了电气化铁道，电弧炉负荷是3次谐波源以外，根据大量测试分析结果证明，变压器也是电力谐波的一个重要发生源，其主要成分是3次谐波。由于变压器的激磁电流加上铁芯的磁饱和，以及电力系统中普遍存在的3相电路与磁路的不对称，三相电源电压不仅在幅值上有差别，而且在相位上不是各差120°，故即使在变压器三角绕组侧的线电压，线电流中也仍然存在3次谐波分量，它们是正序和负序分量。因此，3次谐波遍及电网，尤其是在负荷低谷时，随着电网运行电压的升高，变压器铁芯饱和程度的加深，其产生的3次谐波含量也随之增大。根据浙江电网近年来对10~500kV各级网络165个测点的谐波普测结果，以3次为主导谐波和3、5次谐波为主导谐波合计占总测点数的92%据绍兴地区电网监测结果以3次谐波为主占总测点数的79%，以3次和3、5次为主合计占94%，这样的背景谐波情况在全国电网是具有普遍性的，事实证明，我国国情与日本国不同，后者电网不存在3次谐波，电容器组串接5%~6%串抗以抑制电网5次及以上谐波是正确的，而我们效法后者，就把串抗选用引入“误区”。电网普遍存在3次谐波的状况，以及曾有过的“误导”，给电容器装置及其相连电网的运行所带来的影响是不容低估的。

电容器装置盲目采用串接5%~6%的串抗投入电网后，引起3次谐波的放大甚至发生谐振已成为不争的事实。众多的文献陈述了220kV及以上枢纽变电所中的河南汤阴变、湖南曲河变、湖南宝庆变、广西玉林变、张家口宣化变的电容装置投运后，曾先后发生由于3次谐波谐振引发的部分电容器和配套器件损毁，甚至全部电容器烧毁的事故北京地区聂各庄变、吕村变、南苑变、王四营变、浙江绍兴的渡东变等等，均发生3次谐波谐振而被迫停运采取改造措施。至于110kV及以下变电所电容器装置投运后，通常发生电网谐波放大超标，引起电容器，电抗器振动、发热、保护误动，甚至设备损坏。

根据大量电容器装置工程实例的计算分析与现场测试验证，结果证明可以采用简化的电路模型，来分析估算电容器装置的接入对电网3次谐波的影响，以及谐振容量的估算。按电容器装置投入点的情况不同分为两种类型:

1)当电容装置侧有谐波源时，其分析电路模型如图1所示。图中，In为谐波源的第n次谐波电流XS为系统等值工频短路电抗XC为电容器组工频容抗XL为串抗工频电抗(XL＝AXC，A为电抗率)n为谐波次数，为了分析电容装置接入电网后以对某次谐波变化的影响，特定义电容器组投入后与投入
前系统谐波电压之比为某次谐波电压放大率(FVn)，经推导可得:

式中，S＝XS/XC＝QCN/SD其中，SD为电容装置接入处母线短路容量，QCN为电容装置容量。当(1)式分母的数值等于零时，表示电容装置与电网在第n次谐波发生并联谐振，并据此推导出估算电容装置谐振容量(QCX)的算式:

从物理意义上解释:当电容装置侧存在3次谐波电流源时，串接6%及以下串抗的电容器组在3次谐波下的阻抗呈容性，而系统阻抗为感性，两者并联阻抗增大(比起电容装置接入前单一的系统阻抗3XS而言)，故电容装置接入后比接入

前，其装置侧网络3次谐波电压增大(即3次谐波电压放大)，一旦电容器支路与系统等值回路的3次谐波阻抗值相等或接近相等(符号相反)，两者并联阻抗为无穷大即进入并联谐振，引起电容装置严重过电压过电流而损毁，同时危及系统安全。

从(2)式可得，当电容装置选用5%串抗且容量达到或接近系统短路容量的6%时，或者选用6%串抗且其容量达到或接近系统短路容量5%时，就会发生3次谐波并联谐振或接近于谐振。上述220kV及以上变电所的电容装置工程实例证实了从(2)式得出的结果。110kV及以下变电所的电容装置容量相对较小，(通常S>5%)，但会引起3次谐波放大，甚至严重放大。从(1)式可以揭示，在同一装置场所，在选用串抗的电抗率(A)为0．1%~6%范围内，随着A的增大，或者随着S的增大(即电容装置投入容量的增大)，3次谐波电压放大程度(FV3)也随着增大。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/124107.html