

「变电站」

基于ETAP的110 kV变电站无功补偿与谐波抑制仿真研究

文/西安工程大学电子信息学院 巩晓璇 郭昆丽 吴 媛 王一安

基于ETAP仿真软件对110 kV三道河变电站10 kV母线并联电容器组频繁出现损坏等问题展开研究,进而提出实际应用研究方案。针对案例提出在补偿基波的同时滤除谐波,即设置无功兼滤波装置,同时无功补偿容量确定的前提下,采用模糊C均值聚类法(fuzzyC-meansclustering, FCM)优化分组补偿容量并结合仿真分析补偿与滤波效果,使无功补偿达到最佳配置方式的同时降低谐波含量,从而改善该变电站设备运行环境,提高系统电能质量。

110 kV变电站的负荷中很大一部分是非线性负荷,致使注入系统的谐波含量日益增大,严重危害电能质量,甚至危及变电站设备的安全运行。再者,系统中异步电动机、变压器等设备在运行中损耗大量感性无功功率,需要在变电站加装容性无功装置来就地补偿,因此保证无功补偿设备在背景谐波含量丰富的环境下安全运行至关重要。

110 kV变电站设计中一般采用断路器投切的并联电容器装置,其中单组电容补偿因常出现欠补偿或过补偿现象且存在由于不能克服负荷的波动,故对无功补偿容量的需求变化造成补偿效果不理想的问题而极少采用;电容器组如何分组及是否分组问题应根据电压波动、负荷变化与谐波含量等综合因素确定,某文献采用最优覆盖法对负荷概率分布曲线进行最优覆盖以得到电容器的不等分组方案,却未考虑无功负荷的时序性这一因素对分组方案的影响。

模糊C均值聚类法综合考虑负荷波动的时序特性对变电站无功需求曲线进行优化分组,并结合ETAP仿真软件分析不等分组方法的可行性与有效性,将分组结果与等容量分组进行分析,以满足变电站补偿容量的要求并改善电力设备运行环境。

无功补偿容量的确定

1. 变电站无功需求容量的确定

进行变电站无功优化配置时,首先要确定无功需求容量,无功补偿容量的确定是一个非线性规划问题,根据不同的目的可有不同的目标函数,而约束条件主要包括潮流方程、补偿容量限制等约束。变电站中无功负荷与变压器无功损耗之和近似为变电站无功补偿容量,其中变压器无功损耗 Q_B 可依其负荷来估算。

$$Q_B = Q_0 + Q_k \left(\frac{S}{S_N} \right)^2 = Q_0 + \left(\frac{S}{U_N} \right)^2 X_T \quad (1)$$

式中, Q_B 为变压器的无功损耗; Q_0 与 Q_k 分别为变压器空载损耗和短路损耗; S 与 S_N 分别为变压器的视在功率和容量; U_N 为变压器的额定电压; X_T 为

基金项目:2017年大学生创新创业训练计划项目(2017013)。

电容器总补偿容量确定的情况下,分组的多少不仅影响补偿精度的大小还关系补偿效果的优劣,110 kV变电站电容补偿分组宜为3~5组,受现场空间大小的制约应分3组。等容量分组方式简单但会造成设备利用率不高,经济性下降,故采用不等容量分组的方式。

2. 模糊C均值聚类法 (fuzzyC-meansclustering,

模糊C均值聚类法是一种基于划分的算法, 用隶属度来确定每个数据点属于某个聚类, 而当设定聚类数为分组数并将无功需求相近的台阶聚为一类时, 各聚类中心之间的差值则是组补偿容量。聚类法综合考虑无功需求的波动性和时序性, 针对图1所示的典型无功日负荷曲线进行聚类, 首先对Matlab中FCM函数编程, 然后将聚类结果加以改进, 用无功补偿容量的最大值代替聚类中心的最大值。

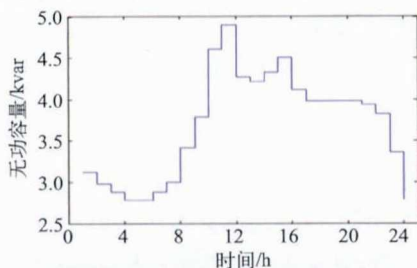


图1 24 h日无功需求曲线

FCM算法的聚类中心 c_i 为

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^D u_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^D u_{ij}^m} \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

式中, c_j 为第 j 个聚类中心; D 为数据点个数; x_i 为第 i 个数据点; m_{ij}^u 表示第 i 个样本 x_i 属于第 j 类的隶属度值, 对于给定的数据点 x_i , 所有簇的隶属度值之和为 1; m 为模糊系数。

FCM算法步骤如下。

- 1) 设定聚类个数, 即分组数为 K ; 模糊指数为 m ($m \geq 1$); 收敛精度为 ε 并随机初始化隶属度矩阵 U ; 令迭代次数 $M=0$ 。
- 2) 按式 (2) 计算聚类中心。
- 3) 更新隶属度矩阵 U , 令 $M=M+1$ 。
- 4) 重复步骤2、步骤3, 满足终止条件或到指定迭代次数时终止。

算例分析

三道河110 kV变电站高压侧出线6条,其中4条出线与周边5个牵引变电站相联,35 kV非线性负荷侧出线T接巩家河自备电厂,10 kV侧有两组集合式并联电容器组,串联电抗率为6%,其余负荷为线性负荷,且容量较小。实测变电站10 kV母线谐波电压总畸变率为9.33%,超4.0%的国家标准(GB/T 14549—1993)。在排除电容器设备制造原因、其他质量原因情况下,造成该站电容器损坏的主要原因在于系统中较高的背景谐波。

1. ETAP仿真建模与分析

运用ETAP PowerStation建立110 kV变电站仿真模型, 搭建如图2所示的仿真模型。

- 1) 负荷。根据实测数据分析, 110 kV 负荷为典型的电气化机车负荷, 35 kV 为 6 脉波整流负荷, 功率因数为 0.8, 有功功率为 8 MW, 无功功率为 6 Mvar。波形图如图 3 所示。

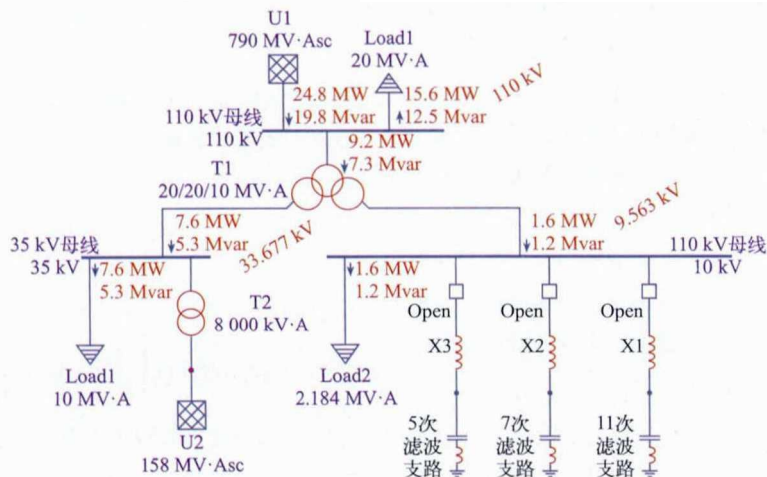


图2 变电站单线图

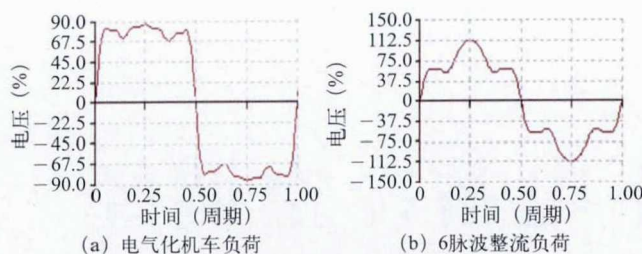


图3 110 kV、35 kV侧谐波源波形图

2) 串联电抗器参数配置。串联电抗器的电抗百分率配置得当时, 可减小谐波对电容器的危害, 使电容器安全运行并提高补偿精度。串联电抗器参数选择如表1所示。

表1 滤波电容器组参数表

支路	次数	$K(\%)$	Q_c/kvar	X_L/Ω
1	5	12	2 700	5.376
2	7	6.45	1 100	6.47
3	11	6.45	1 000	7.12

2. 无功补偿容量的确定

10 kV母线短路容量为100 MV·A, 补偿前母线电压为9.56 kV, 若满足该站基波无功补偿容量需求且有效抑制谐波水平, 该变电站至少需补偿容量 Q_b 为4 800 kvar。并以实际情况为依据将补偿支路分为3组, 即聚类数为3, 然后对无功需求曲线进行优化分组, 参数设定值与FCM的聚类中心计算值如表2所示。

表2 聚类中心计算结果

K	ε	C_1	C_2	C_3
3	0.01	2.7	3.8	4.8

分组容量 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 分别为2.7 MV·A、1.1 MV·A、1.0 MV·A。

仿真结果及分析

10 kV母线作为主要控制目标, 最终结果要使该母线谐波电压总畸变率达到国家标准, 仿真分析如下。

1) 投入滤波器前, 各母线总谐波电压畸变率与实测值基本吻合, 滤波器投入运行后10 kV母线总谐波畸变率大幅降低, 由9.3%下降到2.34%, 远远低于国家标准要求; 同时次要控制目标110 kV母线、35 kV母线总畸变率也有所降低。各母线电压畸变率变化如表3所示。

2) 滤波器投入前后10 kV母线谐波电压波形图变化如图4所示。对比可知波形趋于平滑, 滤波

表3 滤波器投入前后各母线谐波电压变化表

母线/kV	电压标准(%)	未投滤波器时的畸变率(%)	投入后畸变率(%)
110	4	4.63	3.82
35	4	9.07	4.38
10	4	9.3	2.34

效果明显, 滤除了大部分谐波。

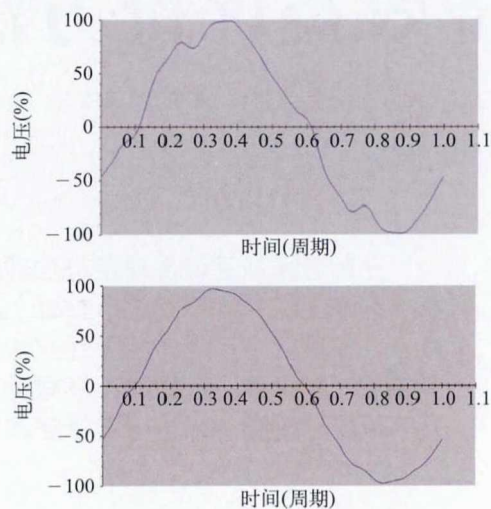


图4 滤波器投入前后10 kV母线谐波电压波形图

3) 通过ETAP潮流计算模块计算得补偿前后功率因数从0.8提高到0.98, 补偿效果明显。

4) 传统的等分组法分组方法即使在无功需求最小时段投入电容器组也出现过补偿现象, 造成设备利用率不高, 这样不仅降低了补偿效率, 还会使动作次数有所增加; 与等容量分组相比, 不等分组避免了因未考虑负荷变化的特性导致电容器利用率不高的缺点, 同时按照负荷水平的差异, 将各电容器组有效组合以提高设备投入率。

结束语

在补偿容量确定的基础上利用模糊C均值聚类算法优化分组容量, 不等分组容量能够跟随负荷波动进行补偿, 大大提高了补偿精度; 此外, 结合实际分析变电站电容器无功补偿不等分组容量的有效性和可行性, 首先应用ETAP软件将电气化机车负荷、6脉波整流负荷谐波添加到用户自定义谐波源中, 搭建如图2所示的仿真模型, 通过计算分析滤波方案的正确性, 仿真结果亦表明滤波效果明显, 达到了预期降低10 kV母线谐波含量的目标。EA

(收稿日期: 2017.09.14)

(编辑: 刘群鑫)