

文章编号:1005 - 0523(2003)02 - 0059 - 04

谐波标准及抑制谐波的措施

邱万英, 任才贵

(华东交通大学 基础科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要:介绍了我国现行的谐波标准;分析讨论了各种抑制电网中谐波的技术措施;就其适应性提出了自己独立的见解.

关 键 词:谐波;标准;滤波

中图分类号:TM93

文献标识码:A

1 引 言

随着电力机车、计算机等非线性负荷的快速增长,电网的谐波干扰日益严重,谐波造成的电气设备异常和事故也有逐年增加的趋势,故有必要制定

相应的谐波标准.谐波超标时,应采用有效措施,抑制谐波.

2 谐波标准

2.1 谐波电压允许值 (参见表 1.)

表 1 公用电网谐波电压(相电压)限值

电网标 称电压 (kV)	电压总谐 波畸变率 (%)	各次谐波电 压含有率(%)		电网标 称电压 (kV)	电压总谐 波畸变率 (%)	各次谐波电 压含有率(%)	
		奇次	偶次			奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0	35	3.0	2.4	1.2
6	4.0	3.2	1.6	66			
10				110	2.0	1.6	0.8

2.2 谐波电流允许值

公共连接点的全部用户向该点注入的谐波电

流量 (方均根值)不应超过表 2 中规定的允许值.

表 2 注入公共连接点的谐波电流允许值

标准电 压(kV)	基准短路 容量(MVA)	谐波次数及谐波电流允许值(A)																							
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9.0	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5
66	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	1.4	1.1	2.1	1.0	1.9

收稿日期:2002 - 12 - 26

作者简介:邱万英(1963 -),女,江西信丰人,华东交通大学副教授.

3 抑制谐波的技术措施

研究有效的治理谐波措施,是确保谐波标准得以全面有效执行的技术基础.各国都在致力于这方面研究,积极探索各种抑制谐波的技术和手段,其中包括:限制谐波源谐波电流的注入量;提高各种设备的抗谐波能力;新型滤波装置的研制等.

3.1 交流无源滤波装置

交流无源滤波装置由电力电容、电抗和电阻等无源元件通过适当组合而成,即所谓 RLC 滤波器.迄今为止这种无源滤波器仍是使用最普遍,在技术和经济上都较合理的抑制谐波的方式.

无源滤波装置常用的接线方式示于图 1.

图 1 中,单调谐滤波器和二阶高通滤波器(图 1(a)、(d))应用最广泛,其典型配置是由若干组单调谐滤波器加上一组二阶高通滤波器,组成一套滤波装置.如对 6 脉动整流装置进行滤波时,其典型配置为 5、7、11 次单调谐滤波器加上 13 次以上的高通滤波器(有的还加 3 次单调谐滤波器).这两种滤波器的接线较简单、灵活,调谐容易,参数的设计也较简便,因此在用户滤波工程中得到广泛应用.

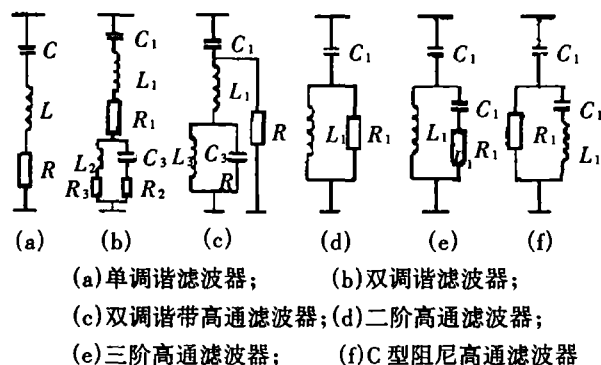


图 1 滤波器常用接线方式

双调谐以及双调谐带高通的滤波器(图 1(b)、(c))有两个谐振频率,与两个单调滤波器相比,其基波损耗小,并且只有一个电抗器承受全部冲击电压,占地和投资都较节省.图 1(c)的双调谐滤波器增加了一个阻尼电阻,可以防止滤波器参数变化时导致谐波放大,并兼有高通滤波器的特性.这种滤波器在我国已投运的葛洲坝-上海南桥、天生桥-广州以及三峡左岸-常州高压直流输电工程中得到应用,而在用户滤波工程中用得较少.原因可能有两点,其一这种滤波器接线较复杂,调谐稍难些;其二参数设计有一定的难度,参考资料较少.

三阶高通滤波器(图 1(e))最早应用于英-法直流联络输电一期以及二期工程中.与二阶滤波器比较,其优点是基波损耗显著减小.C 型阻尼高通滤波器(图 1(f))性能优越,损耗小,截止频率可以做到很低.

3.2 静止无功补偿

有的谐波源负荷除产生谐波电流外,还使供电系统的母线电压波动,并带来闪变.如大型轧机、电弧炉等负荷,使得电能质量的几个指标都出现问题.为了统一解决这些问题,提出了静止无功补偿器(Static Var Compensator,缩写为 SVC)的解决方案,在冶金部门也常称为动态无功补偿器,这是相对固定的并联补偿器而言.

SVC 有各种接线方式,参见图 2.图 2(a)为晶闸管相控电抗器(Thyristor phase Controlled Reactor,缩写为 TCR);图 2(b)为晶闸管投切电容器(Thyristor Switched Capacitor,缩写为 TSC);图 2(c)为饱和电抗器(Saturated Reactor,缩写为 SR);图 2(d)为晶闸管相控高阻抗变压器(Thyristor phase Controlled Transformer,缩写为 TCT).

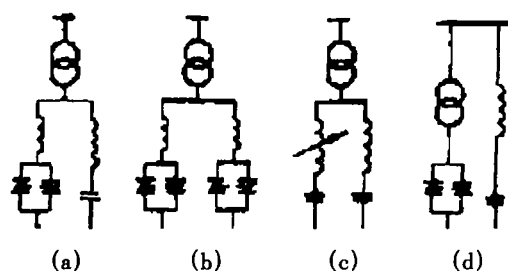


图 2 静止无功补偿器的形式

就 SVC 本身的功能而言,只起快速调节无功功率的作用,并不能滤除谐波,有些 SVC 自身还产生低次谐波.因此 SVC 通常要与无源滤波器(FC)一起使用.在电力系统,为了能吸收和供出无功功率,常采用 TCR + TSC + FC 的使用方式,如湖北电网的凤凰山 500kV 变电所便是如此.其中 TSC 适合于容性无功功率调节.饱和电抗器 SR 则利用电抗器铁芯的饱和磁化特性调节感性无功功率的大小,其自身也产生谐波电流,故在 SR 的铁芯结构和接线方式上应采取措施以消除谐波.晶闸管相控变压器 TCT 是 TCR 的变形,晶闸管用于控制变压器二次侧的电流,而变压器的漏抗高达 70% 以上,一次侧可接到高压母线供电. SVC 的主要功能是调节无功与抑制电压波动和闪变.

3.3 有源电力滤波器

无源滤波器虽然应用十分广泛,但也存在一些问题,如当系统结构或参数发生变化或滤波器本身参数变化时,滤波器可能产生谐波放大,且对电压波动、负序等不能综合治理.随着大功率电力电子器件技术的发展和突破,逐步出现采用脉冲调制(PWM)技术等构成的有源电力滤波器(APF).

图3给出了并联(电压)型APF的原理示意图,如果将图中的电容 C 换成电感元件,则为串联(电流)型APF. APF提供基波无功电流及全部谐波电流;而供电系统只提供基波有功电流.因此它抑制了谐波电流注入系统,同时提高了功率因数.

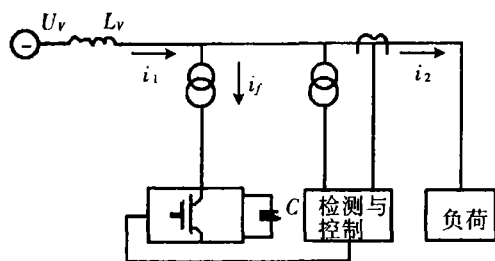


图3 并联有源滤波器原理图

APF 主电路中的逆变桥由功率开关器件构成(接线与整流桥相同).功率开关器件可采用可关断晶闸管(GTO)、或电力晶体管(GTR)以及绝缘栅双极晶体管(IGBT)等器件.逆变器一般采用脉宽调制(PWM)技术,即由检测到的 i_f 作为调制信号,由一固定频率的高频三角波作为载波信号,调制信号和载波信号经过比较后得到一脉冲宽度随 i_f 规律变化的矩形脉冲,由该脉冲控制 IGBT 等的门极,在逆变桥的得到脉宽随 i_f 变化的矩形脉冲电流,经过滤波滤除载波信号,得到一放大的 i_f 信号,经过变压器注入到负荷.可见,逆变桥相当于功率放大器.

为改善 PAF 的性能,提出了矢量控制策略,使 APF 可以起到抑制谐波和闪变并平衡三相电压或电流的作用.从无功补偿和抑制闪变的性能看,APF 与 SVC 是等同的,但 SVC 与 FC 一起使用才有滤除谐波的作用,而 APF 本身就可以抑制谐波和负序,这是 APF 与 SVC 的不同之处. APF 的研究在西方国家起步较早,其装置基本达到实用水平,我国仍处于工业试验阶段.

3.4 混合型滤波器

有源滤波器的响应快,补偿效果好,且不受电网谐波阻抗的影响,不足之处是价格昂贵.若将 APF

的优良性能与 FC 的低成本结合,即可构成混合型滤波器.将图3中的 APF 的输出变压器改成无滤波器 FC,则得到混合型滤波器,如图4所示.

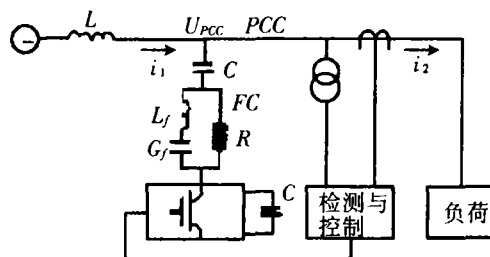


图4 混合型有源滤波器原理图

其中有源滤波器部分的原理同上, PCC 的基波电压全部降落在 FC 上,而 APF 逆变器上的基波电压近似为零.即通过采取适当的控制策略可使负荷的谐波电流由 APF 提供,负荷的基波无功功率则由 FC 提供.图4中的 FC 为 C 型滤波器.

按滤波器输出同等的无功功率比较,混合型滤波器开关逆变器的容量只有上述 APF 容量的 27% 左右,逆变器容量明显减小,则成本可以大幅度降低.因此混合滤波器是一种很有前途的滤波及补偿方式. ABB 公司将这种滤波器应用于高压 HVDC 换流阀直流侧的滤波,取得较好效果.

3.5 抑制谐波的其他技术措施

3.5.1 加强系统承受谐波的能力

1) 增大系统容量,可以增强系统承受谐波的能力并降低系统的谐波电压水平,但这有待于电力系统的发展.

2) 将谐波源负荷改由容量较大的母线供电,或改由高一级电压的电网供电.很多用户的整流装置经由数千米馈线(6 kV 或 10 kV)供电,装置供电母线的短路容量较小,由此产生的谐波干扰很大,常使用户附近的用电设备无法正常工作.如果在设计时对谐波源负荷由容量较大的母线或高一级电压的电网供电,则可避免这些问题.

3.5.2 提高供用电设备抗谐波干扰的能力

按电磁兼容的有关标准,系统中的各种供、用电设备的抗谐波干扰的能力应高于系统的谐波兼容值.在设备的设计生产中应制定相应的标准加以规定.

3.5.3 合理选择变压器额定运行磁密

电力变压器在系统中量大、分布广,变压器的励磁电流中的谐波不可忽视.制造厂家为了减小体积、降低成本,其额定运行磁密一般取得较高,在额

定电压下已接近饱和.当系统运行电压提高 5% 左右,励磁电流会增加 40% 以上,有的甚至达到 1.0 倍左右,造成谐波电流急剧上升,这是高压系统谐波电压水平偏高的重要原因之一.因此降低变压器的额定运行磁密是降低系统电压谐波水平的措施之一.降低变压器额定运行磁密会增加制造成本,但从变压器运行角度看,可以减少空载损耗和由谐波引起的附加损耗,降低运行费用.因此可以将两者进行技术经济比较,以得出一个合理的变压器额定运行磁密.

3.5.4 系统运行电压控制在合理的水平

系统运行电压高于额定电压会给系统带来诸多不利的影响.从目前看,系统谐波电压一般在深夜至清晨这段时间内较高,从而使变压器铁芯饱和,励磁电流谐波增加,而此时全网负荷较轻,系统谐波阻抗增加,使得系统谐波电压水平提高.从降低系统谐波电压水平看,将系统运行电压控制在合理水平是有效措施之一.

3.5.5 并联补偿电容器组改造 避免并补电容器谐波电流放大

并联无功补偿电容器对谐波电流的放大是电力系统中带有普遍性的问题,一旦电容器对某次谐波电流产生放大作用,不仅使电容器产生过流、过压,也危及系统安全.

根据设备情况应将并联补偿电容器的串联电抗器进行适当调整.当附近存在较大谐波源时,应将其改成单调谐滤波器并供出一定无功功率.

3.5.6 制定谐波源设备谐波电流限值标准

变压器的空载电流谐波含量目前尚无标准.虽然在按国标 GB1094-1 中要求测量变压器的空载电流谐波含量,但它属于特殊试验项目,不作强制性要求,对于测量方法和仪器没有作具体的规定,

测量结果也不作为产品是否合格的依据.因此即使是同一种型号的变压器,空载电流中的谐波含量差别很大,特别是在测量方法、测量设备及仪器上存在的问题更多,致使很多测量结果可信度很低,因此有必要在相应的国家标准中对其空载电流中的谐波含量限值加以规定;对其测量方法、测量电源、测量仪器、不同连接组别变压器的测量方式等作统一的要求和规定,并在产品的出厂试验报告中提供空载电流的谐波测量结果.

高压并联电抗器在其行业标准(讨论稿)中规定,电抗器产生的各次谐波电流幅值不超过基波幅值的 3%,这一限值有待研究.例如对额定电流为 157.5A 的电抗器,若 3 次谐波电流为额定电流的 1.0%,也达到 1.575A,与一台 750MVA 变压器的额定励磁电流相当,但比变压器的励磁 3 次谐波电流约大 57%.

4 结 语

深刻理解并认真贯彻执行谐波标准,对于控制谐波危害具有重要意义.当谐波超标时,应当选用技术上和经济上最为合理的抑制谐波措施.

参考文献:

- [1] 全国电压电流等级和频率标准化技术委员会. 电压电流频率和电能质量国家标准应用手册[M]. 北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 何人望. 谐振过电压的计算机监测与消谐系统研究[J]. 铁道学报, 2001, (4): 1140 ~ 1146.
- [3] 邱万英. 当今电能质量的新含义及分析[J]. 华东交通大学学报, 2002, (1): 21 ~ 24.

Harmonic Standards and Trapping Measures

QIU Wan-ying, REN Cai-gui

(School of Natural Science, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper introduces actual harmonic standards in China, analyses and discusses various measures to trap harmonics in power networks and gives original opinions about their adaptation.

Key words: harmonic; standard; filter