

文章编号:1000-582X(2008)08-0869-05

交直交主传动装置谐波分析及治理

邓造明

(中冶赛迪工程技术股份有限公司 自动化事业部,重庆 400013)

摘要:以新型供电整流变压器的绕组结线组别、主传动装置配置的可关断功率元件 IGCT (integrated gate commutated thrusters)或 IEGT(injection enhanced gate transistor)和主动整流前端装置(active rectifier unit, ARU)的并联脉动组合接线型式特性为基础,提出了新型中压交直交主传动装置超高次谐波电流计算分析和治理方案。分析超高次谐波电流的特性,对电气设备和生产运行的危害,以及对其进行治理的必要性,提出基于超高次调谐频率的谐波滤波装置(HF-type filter),用以解决工程实际中出现的问题。供轧钢供配电系统及谐波滤波装置设计制造参考。

关键词:轧钢;主传动;交直交;电能质量;超高次谐波;谐波滤波装置

中图分类号:TM761

文献标志码:A

Harmonic analysis and filtering for alternating current main drive loads

DENG Zao-ming

(Automation Division, Chongqing Iron & Steel Designing Institute Engineering Co. Ltd.,
Chongqing 400013, P. R. China)

Abstract: A new analysis and filtering method for the ultra-high order harmonic from the alternating current (AC)-direct current (DC)-AC main drive loads was proposed. The method was based on the practice and the new notation of the ARU(active rectifier unit) main transformer, and the specification of the integrated gate commutated thrusters (IGCT) and injection enhanced gate transistors (IEGT). By analyzing the features of the ultra-high order harmonic, the harmfulness to electrical equipment and manufacturing as well as the necessity to filter ultra-high order harmonic, indicates it is necessary to set up a higher frequency (HF)-type filter. This research serves as a reference for designing and manufacturing the HF-type filter in the power supply of rolling mills.

Key words: rolling mills; main drive; alternating current(AC)-direct current(DC)-AC; quality of electric supply; ultra-high order harmonic; filter banks

随着电力电子技术和传动控制理论的不断发展和进步,大型轧钢机主传动电动机的供电装置也在不断更新换代,从最初的不可调速的(带飞轮)交流传动,电动机-发动机机组供电的直流传动,发展到目前的由电力电子器件构成的可调速装置供电的各类交、直流传动。

与直流传动相比,交流变频调速传动系统具有效率高、维护量小等优势,已基本上取代了直流传动。而交流变频调速传动也经历了从交交变频调速到交直交变频调速的进步。交直交变频传动(采用可关断功率元件 IGCT(integrated gate commutated thrusters) 或 IEGT (injection enhanced gate

收稿日期:2008-04-18

基金项目:科技部国际科技合作计划资助项目(2007DFR30080)

作者简介:邓造明(1968-),男,中冶赛迪工程技术股份有限公司国家注册电气工程师,主要从事冶金行业供配电设计方向的研究,(Tel)023-63548367;(E-mail)zaoming.deng@cisdi.com.cn.
欢迎访问重庆大学期刊网 <http://qks.cqu.edu.cn>

transistor)与交交变频调速系统(采用自然换流的晶闸管功率元件)相比,虽然价格高,但具有调速范围宽、功率因数高、谐波电流小、供电装置占地面积小等优势,因此,现阶段新建或改造的大型轧钢机主传动装置越来越广泛地采用交直交变频传动装置^[1]。

对于交直交变频传动装置,其产生的谐波电流绝对值虽然小,但谐波次数具有超高的特点,国家标准对 25 次以上的谐波电流没有严格的规定和限制要求,多个大型轧钢工程实践证明,该类谐波的存在危害很大,并造成了一定的损失,需要治理^[2]。

由于是近两三年在实际工程中出现的新问题,对该类型谐波的治理研究还处在起步阶段,国内钢铁行业目前还没有专门用于治理该类谐波的产品。

1 交直交主传动装置谐波分析

采用直传动装置或交交变频传动装置时,将会产生大量的 5、7、11、13、17、…等次数的低次谐波电流,它们的治理方法主要是在中压供电系统中加装谐波滤波装置(或动态无功补偿装置),治理后的上网谐波考核要求在《电能质量—公用电网谐波》国家标准 GB/T14549—93 上有严格的规定^[3],目前

有大量该类型的谐波滤波装置投入运行。

采用交直交变频传动系统时,由于采用了可关断功率元件 IGCT 或 IEGT 和主动整流前端装置(active rectifier unit, ARU),装置所产生的谐波电流的次数高,且幅值较小。装置所产生的最低次谐波电流的次数主要与传动装置脉动(次数)组合有关,但一般不会产生低于 17 次的谐波电流,例如,对应 6 脉动组合(1 个 ARU 单元)、12 脉动组合(2 个 ARU 并联)、18 脉动组合(3 个 ARU 并联)的传动装置,所产生的谐波电流的最低次数分别为 17、35、53^[4]。而谐波电流的幅值除与传动装置本身容量有关外,主要还与装置的开关频率有关。

以某热轧厂 F1—F7 精轧机主传动装置(采用 IGCT 元件)为例分析。

从图 1 可看出, F1+F5、F2+F6、F3+F7 三组主传动装置均构成 18 脉动整流方式(3 个 ARU 并联),其产生的特征谐波电流为 (18 ± 1) 的倍数,该传动装置采用了 3 台整流变压器串并供电(整流变压器接线组别分别为: IIIy0、IIIz040、Yz120,一次侧为串联、二次侧为并联),以此折算到一次侧的谐波电流的次数为 $(18 \pm 1)n$,其中 $n=3, 4, 5, \dots$,即特征谐波次数为 53、55、71、73、89、91、…。

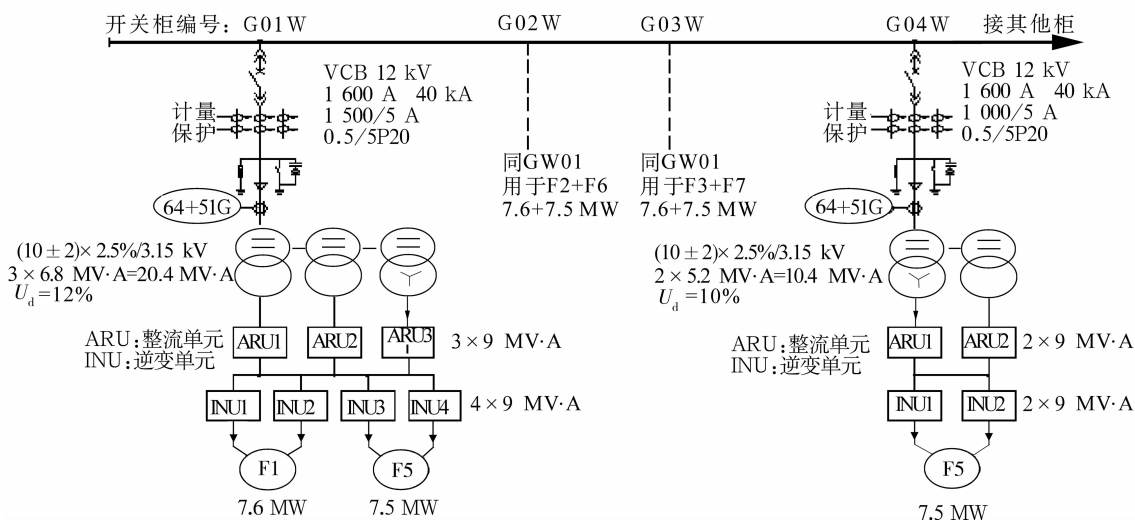


图 1 主传动 F1—F7 单线系统图

F4 主传动装置构成 12 脉动整流方式(2 个 ARU 并联),其产生的特征谐波电流为 (12 ± 1) 的倍数,该传动装置采用了两台变压器串并供电(整流变压器接线组别分别为: IIIy0、Yd11,一次侧为串联、二次侧为并联)^[5],以此折算到一次侧的谐波电流的次数为 $(12 \pm 1)n$,其中 $n=3, 4, 5, \dots$,即特征谐波次数为 35、37、47、49、59、61、71、73、83、85、95、97、…。

整流变压器二次侧谐波电流大小与谐波电压、变压器阻抗有关,而谐波电压与 ARU 以及传动系统配置和接线方式有关^[6],其谐波电流大小计算如下所示。

$$I_k = \frac{U_k}{\sqrt{3} \times Z_k} = \frac{U_k}{\sqrt{3} \times K \cdot Z_{sc} \cdot Z_{nom}}, \quad (1)$$

$$Z_{\text{nom}} = \frac{U_{\text{nom}} \cdot U_{\text{nom}}}{S_{\text{nom}}}, \quad (2)$$

$$\text{故 } I_K = \frac{U_k \cdot S_{\text{max}}}{0.15 \times \sqrt{3} \times K \cdot U_{\text{nom}} \cdot U_{\text{nom}}}, \quad (3)$$

$$\text{化简后 } I_k = 3.849 \frac{U_k \cdot S_{\text{max}}}{K \cdot U_{\text{nom}} \cdot U_{\text{nom}}}, \quad (4)$$

式中: I_k 为整流变二次侧谐波电流; S_{max} 为整流变最

大 60 s 负载; K 为谐波电流次数; U_{nom} 为整流变二次侧额定电压; Z_{sc} 为变压器短路阻抗 (15%)。

按照上述方法和公式计算出的 F1-F7 主传动装置对应产生的谐波电流发生量及电压总谐波畸变率详见表 1 (注: 表 1 中未列出谐波次数的谐波电流均为 0, 包括 5、7、11、13、17、19、23、25、29、31)。

表 1 谐波电流及谐波畸变率分析

| 次数/次 | F1+F5 主传动 | | F2+F6 主传动 | | F3+F7 主传动 | | F4 主传动 | | 总计 | | |
|------------------|---------------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|--------|----------|-------|------|-------|
| | I/% | I/A | I/% | I/A | I/% | I/A | I/% | I/A | I/% | I/A | U/% |
| 5~31 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.000 | 0.0 | 0.000 |
| 35 | | 0 | | 0 | | 0 | 2.01 | 10.150 5 | 0.277 | 10.2 | 1.338 |
| 37 | | 0 | | 0 | | 0 | 2.44 | 12.322 0 | 0.336 | 12.3 | 1.717 |
| 41 | | 0 | | 0 | | 0 | | 12.322 0 | 0.336 | 12.3 | 1.902 |
| 43 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.000 | 0.0 | 0.000 |
| 47 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.47 | 2.373 5 | 0.065 | 2.4 | 0.420 |
| 49 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.06 | 0.303 0 | 0.008 | 0.3 | 0.056 |
| 53 | 0.17 | 1.703 4 | 0.17 | 1.703 4 | 0.17 | 1.703 4 | | 0 | 0.080 | 3.0 | 0.589 |
| 55 | 0.94 | 9.418 8 | 0.94 | 9.418 8 | 0.94 | 9.418 8 | | 0 | 0.444 | 16.3 | 3.378 |
| 59 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.63 | 3.181 5 | 0.087 | 3.2 | 0.707 |
| 61 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.07 | 0.353 5 | 0.010 | 0.4 | 0.081 |
| 65 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.000 | 0.0 | 0.000 |
| 67 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.000 | 0.0 | 0.000 |
| 71 | 0.58 | 5.811 6 | 0.58 | 5.811 6 | 0.58 | 5.811 6 | 0.26 | 1.313 0 | 0.277 | 10.2 | 2.714 |
| 73 | 0.53 | 5.310 6 | 0.53 | 5.310 6 | 0.53 | 5.310 6 | 0.43 | 2.171 5 | 0.257 | 9.5 | 2.598 |
| 77 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.000 | 0.0 | 0.000 |
| 79 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.000 | 0.0 | 0.000 |
| 83 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.000 | 0.0 | 0.000 |
| 85 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.21 | 1.060 5 | 0.029 | 1.1 | 0.339 |
| 89 | 0.01 | 0.100 2 | 0.01 | 0.100 2 | 0.01 | 0.100 2 | | 0 | 0.005 | 0.2 | 0.058 |
| 91 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.000 | 0.0 | 0.000 |
| 95 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.29 | 1.464 5 | 0.040 | 1.5 | 0.524 |
| 97 | | 0 | | 0 | | 0 | 0.21 | 1.060 5 | 0.029 | 1.1 | 0.387 |
| THD _U | 仅考虑 25 次及以下次数谐波电流时的总谐波畸变率 | | | | | | | | 0.000 | 0.0 | 0.000 |
| | 考虑所有次数谐波电流时的总谐波畸变率 | | | | | | | | 0.815 | | 5.955 |

从表 1 中可看出,按照国家标准规定,在不考虑 25 及以上次数的谐波情况下,电压总谐波畸变率 (THD_U) 为 0%, 完全满足国标的要求^[7]。但在考虑了 25 及以上次数的谐波情况下, THD_U 达到 5.95%, 超过了国标中 4% 的限值 (对于中压 10 kV 供电系统总限值, 如考虑系统上其它负荷也要占用部分谐波畸变指标, 则限值还应小于 4%)。

另外在同等电压谐波畸变率情况下, 25 次以上谐波对用电设备的危害要远远超过 25 次以下谐波对供电系统的危害, 因此对该类型传动装置产生的超高次谐波就必须进行治理^[8]。

2 交直交主传动装置谐波危害

由于在国家标准 GB/T14549—93 中, 仅对 25

及以下次数的谐波电流注入系统公共连接点有限制要求(允许值),对 25 次以上谐波电流注入系统公共连接点没有限制要求,而且国标中对由谐波电流产生的电压总谐波畸变率是否要考虑 25 次以上的谐波电流没有明确的规定。

不少企业为了节省工程投资就没有治理 25 以上高次谐波,这将会使电网电能质量降低,对电网造成多方面的影响和危害:它会使用电设备效率降低、产生噪声、过热、振动、保护误动作、甚至烧毁设备;对电缆还会加速其绝缘的老化,使电缆容易被击穿;对通讯线路和控制信号将造成电磁及射频干扰等,严重时会造成部分电子设备的损坏^[9]。

某大型轧钢生产线在建设调试期间,当主传动空载投入,辅传动及其为辅传动装置而设置的谐波滤波装置还未投入阶段,出现过以下情况:

- 1)对高低压电网测试发现(包括测试 380 V、10 和 35 kV 母线电压),电流和电压波形畸变严重;
- 2)UPS 电源装置中的 RC 采样回路元件烧毁损坏;
- 3)进口磨床等成套电控装置中的进线滤波器元件被烧毁损坏;
- 4)高频开关控制的直流电源装置输出的直流电压不稳定,波动很大。

事后分析,由于没有其它谐波源设备投入电网,所以确定是主传动空载投入调试后,其产生的 25 次及以上超高次电压源型谐波引起电网电流和电压波形变坏,总电压畸变率超标,特别是超高次谐波作用在 RC 回路上,相当于引起 RC 回路短路从而造成烧毁设备的情况发生。

因此超高次谐波超标后必须进行治理。

3 交直交主传动装置谐波治理

由于采用 IGCT、IEGT 元件的交直交轧钢主传动装置是近几年才逐步应用的新技术新产品,所以完全针对它所需要配置的超高次谐波滤波装置,在钢铁企业还没有应用实例,仅从理论和现有国内设备制造能力来看,设计和制造出满足要求的超高次谐波滤波装置是完全可行的,但需要进一步研究探讨^[10]。

采用 IGCT、IEGT 元件的交直交轧钢主传动装置特性:

- 1)采用电压源型转换器产生的谐波为电压源型谐波,而不是电流源型谐波;
- 2)装置功率因数高,通常在 0.95~1(滞后)范围内可调^[11];
- 3)产生的谐波均为 25 及以上次数的特征谐波,谐波电流绝对值均不大。

由于功率因数高,所以谐波滤波装置的补偿容量不能太大,否则会出现过补偿情况,这是供配电系统不允许的^[12]。根据谐波电流发生量,以及考虑到系统中会同时存在 6、12、18 脉动 3 种型式主传动装置的情况,因此配置一个调谐频率 25 倍基波频率(即 1 250 Hz,根据最低次谐波电流次数确定)的单通道 LCR 型滤波器是可以满足治理总谐波电压畸变率超标这一问题的^[13]。该超高次谐波滤波装置与主传动装置并联接在供配电系统中,详见图 2 中的滤波器型式 1。

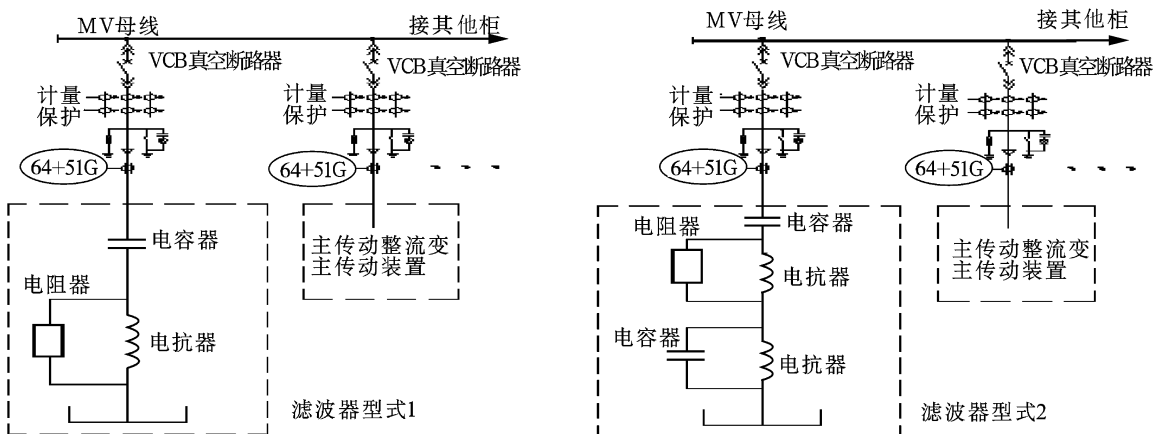


图 2 超高次谐波滤波装置

需要说明的是,对采用交直交主传动装置的大型轧钢生产线,除了主传动装置产生的 25 及以上次

数谐波电流外,在同一段中压母线上还会有辅传动产生的低于 25 次的谐波电流,而超高次谐波滤波装置对低次谐波是呈容性的,会使低次谐波电流放大^[14],故图 2 中滤波器型式 2 针对该问题提出双电抗器串联的滤波器接线方式的解决方案。

另外,现有大型轧钢生产线由于负荷较大,主传动装置一般考虑接在两段不同的中压供电系统上,此时为了减少总谐波电压畸变率,从供电系统设计上就应尽可能地将 6、12、18 脉动的负荷均匀地接在两段中压供电系统母线上^[15]。因此该类型谐波滤波装置设计关键之一在于准确地计算谐波电流发生量和了解供电系统的背景情况,这是一项复杂工作,它不仅与传动装置本身有关,还与整个供电系统有密切的关系,它治理的好坏直接关系到供电系统的电能质量和设备的安全运行。

4 结 语

通过工程实际中发现的问题,详细分析了采用 IGCT、IEGT 整流元件的交直交轧钢主传动装置负荷产生的谐波电流次数超高性的特点、计算方法以及对设备生产安全的危害。提出了一种用于中压系统的超高次新型谐波滤波器的解决方案,供工程设计部门和设备制造研发部门参考。

参考文献:

- [1] 刘春庆,高伟. 轧钢电网的动态无功补偿及谐波滤波技术[J]. 电气时代,2006(4):76-78.
LIU CHUN-QING, GAO WEI. Technologies of dynamic reactive compensation and harmonic wave filtering for power grid in steel rolling [J]. Electric Age, 2006(4):76-78.
- [2] 王军华,李建贵,汪友华. 混合型有源电力滤波器研究现状与发展趋势[J]. 电气传动, 2007,37(12): 3-4.
WANG JUN-HUA, LI JIAN-GUI, WANG YOU-HUA. Analysis about hybrid active power filter and its development [J]. Electric Transmission, 2007,37(12): 3-4.
- [3] 国家技术监督局. GB/T14549—93 电能质量—公用电网谐波[S]. 北京:中国标准出版社,1993.
- [4] 罗伟胜. 一种无功与谐波的综合补偿方案[J]. 电网技术,2004,28(14):90-91.
LUO WEI-SHENG. A comprehensive method of reactive power and harmonic compensation [J]. Power System Technology, 2004,28(14):90-91.
- [5] WAJIHA S, TAO L. A DSP-based active power filter for low voltage distribution systems[J]. Electric Power Systems Research,2007,78(9):156-157.

- [6] 罗安,付青,王丽娜. 变电站谐波抑制与无功补偿的大功率混合型电力滤波器[J]. 中国电机工程学报,2004,24(9):116-117.
LUO AN, FU QING, WANG LI-LA. High-capacity hybrid power filter for harmonic suppression and reactive power compensation in the power substation[J]. Proceedings of the CSEE, 2004,24 (9):116-117.
- [7] NURUNNABI M M, NEMAI C K, FU J S. Uniform circular photonic bandgap structures (PBGs) for harmonic suppression of a bandpass filter[J]. AEU International Journal of Electronics and Communications, 2006,54(4): 112-114.
- [8] 罗邵屏,罗安,周柯. 注入式混合有源滤波器的三重滑模变结构控制[J]. 电力电子技术,2007,41(7): 24-25.
LUO SHAO-PING, LUO AN, ZHOU KE. Ternary sliding mode variable structure control of injection type hybrid APF[J]. Power Electronics, 2007,41(7): 24-25.
- [9] BENHABIB M C, SAADATE S. New control approach for four wire active power filter based [J]. Electric Power Systems Research,2005,73(3):353-362.
- [10] KALE M, ENGIN O. An adaptive hysteresis band current controller for shunt active power filter [J]. Electric Power Systems Research, 2005,73(2):113-115.
- [11] 董阿丽,周俊星,黄锦安,等. 一种新型的单次谐波快速分析方法[J]. 电力电子技术, 2008,43(1):17-18.
DONG A-LI, ZHOU JUN-XING, HUANG JIN-AN, et al. A fast analysis method of single harmonic [J]. Power Electronics, 2008,43(1): 17-18.
- [12] ABDEL A M, ESSAM E D, ABOU E Z, et al. Passive harmonic filters design using fortran feasible sequential quadratic programming [J]. Electric Power Systems Research,2007,77(5):540-541.
- [13] LORENZO M, FABIO R, ANDREAT. Robust nonlinear control of shunt active filters for harmonic current compensation [J]. Automatica,2007,43(2): 252-253.
- [14] CHEN Y P, LI C Y. An ant direction hybrid differential evolution heuristic for the large-scale passive harmonic filters planning problem [J]. Expert Systems with Applications, 2008,35(3): 894-895.
- [15] 周柯,罗安,汤赐,等. 一种大功率混合注入式有源电力滤波器的工程应用[J]. 中国电机工程学报,2007,27(22):84-85.
ZHOU KE, LUO AN, TANG CI, et al. High-power hybrid injection active power filter's engineering application [J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering,2007,27(22):84-85.