

煤矿井下变频调速系统应用案例

周会军

(霍州煤电集团汾源煤业有限公司,山西 忻州 035107)

摘要:介绍变频调速系统在煤矿井下的应用,以及防止变频调速设备在调速过程中产生串联谐振的措施。

关键词:变频器;供电系统;电缆

Application Case of Mine Underground Frequency Control System

ZHOU Hui-jun

(Fenyuan Coal Corp of Huozhou Coal Electricity Group Co.,LTD, Xinzhou 035107, China)

Abstract: The application of mine underground frequency control system and the measures of voiding series resonance are introduced.

Keywords: inverter; power supply system; cable

1 电缆的选择

1.1 变频设备运行时数值分析

在变频调速系统中,如果调节电源频率或系统电路的参数(如电感 L 、电容 C)使电路两端的电压与其中的电流同相,这时电路中就会发生串联谐振现象。串联谐振发生时,会带来较大的瞬间电流和高电压。

谐振发生时,瞬时电压超出额定电压。此时, $X_L=X_C$,其中, X_L 为感抗, X_C 为容抗。

$$\text{因此: } U_L=X_L I=X_L \frac{U}{R} \quad U_C=X_C I=X_C \frac{U}{R}$$

当 $X_L=X_C > R$ 时,系统中的感抗 U_L 与容抗电压 U_C 都高于正常工作电压,这时可能会引起电缆线芯绝缘的击穿,而且电缆越长,谐振电压也越高,电缆绝缘被击穿的几率也越大。

谐振发生时,产生瞬间大电流。电路的阻抗模:

$$|Z|=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}=R$$

谐振发生时,阻抗模值最小,因此,在电源电压 U 不变的情况下,电路中的电流将在谐振时达到最大值。

经过分析可以看到,由于系统频率的变化,会造成脉冲电压突然增大,这样会引起电缆线芯绝缘的击穿;同时生成瞬时大电流,零线芯会承受比主线芯更大的电流,产生较强的电磁波,对周围邻近地区的通信工具或调幅接收器将产生严重的干扰,会对井下安全生产带来严重威胁。

1.2 原有电缆分析

1.2.1 结构分析

目前煤矿井下变频调速系统普遍采用《矿用阻燃电缆》(MT818-1999)中的矿用移动金属屏蔽监视型软电缆,

即普通三相电缆,型号为MYPTJ,其结构为3根主线芯,每根主线芯上缠绕附着的零线(见图1)。

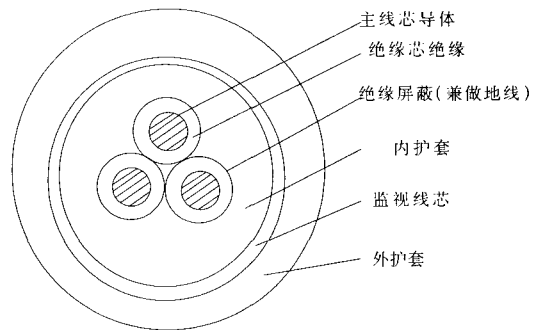


图1 MYPTJ型矿用移动橡套软电缆

1.2.2 特点

MYPTJ型矿用移动橡套软电缆具有良好的抗静电干扰和抗电磁波干扰性能,但是使用这种电缆的系统会在达到一定频率后使主线芯和零线产生干扰和谐振电压不平衡,并产生较高的脉冲电压,给煤矿井下运输及敷设电缆造成困难,而且电缆的制造难度大。这就对电缆的绝缘强度提出更高的要求,需要增加电缆线芯的绝缘厚度和选用介电常数小的绝缘材料来提高电缆绝缘的耐压水平,防止电缆绝缘被击穿,而新的MVFPPT型对称结构变频器电缆则可满足上述要求。

1.3 变频器电缆的选择

1.3.1 电缆结构及材质

MVFPPT型对称结构变频器电缆主线芯与零线芯位置采取对称结构设计,并增加电缆主线芯金属屏蔽与成缆后金属屏蔽。

MVFPPT型电缆导体采用镀锡软铜线,表面应光洁,无油污,无尖端凸起等缺陷,应符合MT818.1-1999标准中的规定。

作者简介:周会军(1980-),机电助理工程师,从事煤矿机电工作。

收稿日期:2010-09-06

该电缆动力线芯绝缘采用乙丙橡胶为基料的绝缘胶料,其性能应符合GB 7594.8中XJ230A型的规定,但抗张强度应不小于6.5MPa。这种电缆的绝缘厚度与20℃时的绝缘电阻参照MT818.7-1999标准中的规定,以保证成品电缆有足够的电绝缘强度。

该电缆绝缘屏蔽采用半导体挤包或半导体带包层。屏蔽的过渡电阻值应不大于3kΩ。缆芯外应编织一层镀锡铜丝的金属屏蔽,编织密度应不低于80%。

根据电缆的使用环境和条件,外护套采用氯丁橡胶或氯化聚乙烯为基料的护套胶料,其性能应符合GB7594.7中XH-03A型规定。

1.3.2 特点

(1)有较好的抗压、防爆、过载安全性能。主线芯与零线芯的位置采用了对称结构,导线的互换效应及其对称平衡,可将系统频率变化产生的谐振干扰减小到最低水平,此时电缆主线芯采用一般的电绝缘强度即可。这样就提高了电缆的抗压、防爆、过载安全性能。

(2)有较好的抗干扰性能。主线芯与零线芯位置的对称结构以及增加电缆主线芯金属屏蔽与成缆后金属屏蔽,可大大提高三相交流电的平衡性,降低三相负载相互产生的电磁干扰。

(3)有利于改善供电品质。3根零线的结构提供了方便灵活的接地方式,具有较低而且均匀的正(逆)序和零序阻抗,可以确保在频率变化生成瞬时大电流并产生较强的电磁波时,电磁波信号不干扰电缆附近地区的其他通信信号,并提高了电缆自身的抗干扰能力,能有效阻止外界电磁波信号对系统的干扰。同时,该结构可以实现内屏蔽和外屏蔽电场的统一性,延长了电压倍增时电机与传动器之间的转换时间。

2 大功率交交变频设备对电网的使用

由于交交变频设备的非线性和波形非正弦的特点,电气传动装置电源侧的电流不仅含有基波,还包含大量的谐波,会给供电系统的安全运行和供电质量带来不良的影响,同时会给系统中的其它用电设备带来很大的影响。

交交变频提升机等大功率负荷对电网的影响主要表现在:产生谐波电流;平均功率因数低;电压波动很大。

谐波电流对电气设备的危害:

(1)对供电变压器的影响主要是产生附加损耗,温升增加,出力下降,影响绝缘寿命。

(2)对旋转电机的主要影响是产生附加损耗,其次是产生机械振动,噪声和谐波过电压。

(3)对电缆及并联电容器的影响:当产生谐波放大时,并联电容器将因过电流及过电压而损坏,严重时将危及整个供电系统的安全运行。

(4)对变流装置的影响:交流电压畸变可能引起不可逆变流设备控制角的时间间隔不等,并通过正反馈放大系统的电压畸变,使变流器工作不稳定,而对逆变器则可能造成换流失败而无法工作,甚至损坏变流设备。

(5)对通信产生干扰,使电度量产生误差。

(6)对继电保护自动装置和计算机等也将产生不良影响,如系统电压升高,缩短电气设备寿命等。

(7)部分谐波电流超过国标要求。

开滦东欢坨矿业分公司谐波分量如表1所示。对比6kV母线的总谐波电流和国标电流允许值表可以看出,部分谐波电流超过国标要求,必须进行治理。针对此情况引进SVG动态补偿系统。

表1 提升机注入6kV母线谐波电流数值表/A

谐波次数	5	7	11	13	17	19	23	25
主井谐波	28.68	19.84	39.06	30.23	5.89	4.81	10.70	8.37
副井谐波1	21.15	14.63	28.81	22.30	4.34	3.54	7.89	6.17
副井谐波2	21.15	14.63	28.81	22.30	4.34	3.54	7.89	6.17
总谐波值	61.1	36.4	60.4	45	6.9	6.9	15.5	12.1

3 SVG的基本工作原理

3.1 原理

SVG与系统连接示意图如图2所示。

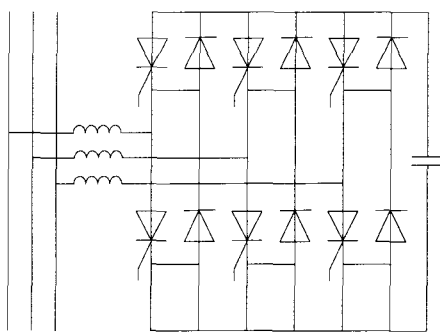


图2 SVG与系统连接图

电网电压和SVG输出的交流电压分别用向量 U_s 和 U_i 表示,则连接电抗 X 上的电压 U_x 即为 U_s 和 U_i 的向量差。而连接电抗的电流是可以由其电压来控制的,这个电流就是SVG从电网吸收的电流 I 。如果不计及连接电抗器和变流器损耗,SVG的工作原理可以用图3所示的单相等效电路图来说明。在这种情况下,只需 U_i 与 U_s 同相,仅改变 U_i 的幅值大小即可控制SVG从电网吸收的电流是超前还是滞后 90° ,并且能控制该电流的大小。

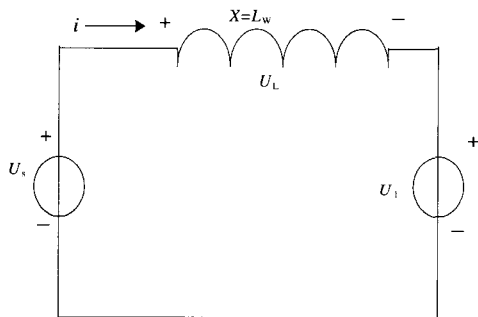


图3 单相等效电路

采用直接电流控制的有源滤波型中压SVG的工作原理： $I_s = I_L + I_C$ ，即电源电流 I_s 是负载电流 I 和补偿电流 I_C 的向量和。假设负载电流 I 中含有基波正序电流(包括基波正序无功电流 I_{iq+} 和基波正序有功电流 I_{ip+})、基波负序电流 I_f 和谐波电流 I_h ，即

$$I = I_{iq+} + I_{ip+} + I_f + I_h$$

为了使电源电流 I_s 中不含有基波正序无功和基波负序电流，则需要控制SVG输出电流 I_c ，满足 $I_c = -(I_{iq+} + I_f)$ 。这样电源电流中就只含有基波正序有功和谐波电流，即 $I_s = I_{ip+} + I_h$ 。所以想要达到补偿的目的，关键是控制SVG输出电流。

3.2 恒无功控制系统

SVG连接到系统中，通过控制SVG输出电流的幅值与相位来控制从SVG输出的无功性质与大小 Q_{SVG} ，只要 $Q_s(\text{系统}) = Q_L(\text{负载}) - Q_{SVG} = \text{恒定值}$ (或0)，功率因数就能保持恒定，电压几乎不波动。

精确计算出负载中的瞬时无功电流，采集进线电流及母线电压，经运算后得出要补偿的无功功率。计算机发出触发脉冲，经光纤传输至脉冲放大单元，经放大后触发IGBT或IGCT，获得所补偿的无功电流。

3.3 运行结果

- (1) 电网实时因数数值不小于0.98 (滞后，无过补)。
- (2) 成套装置具有短时过载能力。
- (3) 输出调节范围为-100% ~ 100% (无级可调)。
- (4) 系统响应时间小于5ms。
- (5) 故障时提供报警信息，严重故障时封锁SVG驱动

脉冲，同时装置退出运行。

(6) 装置运行过程中，最大有功损耗较低(不大于输出容量的0.8%)。

(7) 现场实测谐波分量大大低于国标相关要求的数值。

(8) 通过SVG装置现场视频和音频信号，随时可以观察到现场的设备运行状况，包括维护指导、故障状态、故障位置、电压/电流指示值等，配合厂家远程服务监控系统，大大降低了系统的维护工作量和难度。

SVG应用前后的电源三相电流波形对比如图4、图5所示。

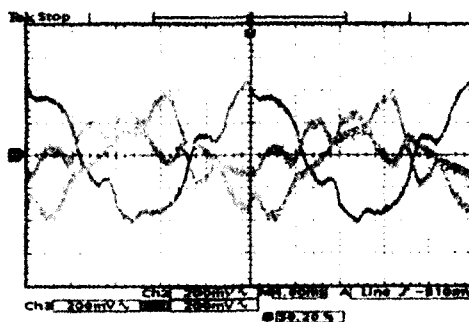


图4 补偿前的电源三相电流波形

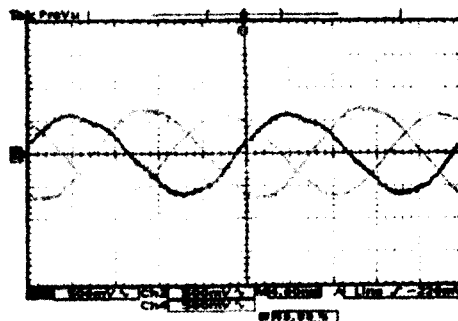


图5 补偿后的电源三相电流波形

4 结语

SVG系统对于煤矿供电系统的安全和经济运行水平起到了很大的促进作用，能大大加强煤矿电网一次、二次系统的效能和可靠性，对保证电网安全稳定运行具有重大的意义。

(上接25页)

时的5~7倍额定电流的冲击电流，电气开关过负荷损坏的可能性减少，提高了变压器的使用效率，避免了大电机启动时对电网的冲击。

(4) 由于电机长期在低于额定转速的状态下运行，电机及风机的轴承不易损坏，电机发热量减少，停机时

间减少，节约了大量维修费用。

参考文献

- [1] 张燕宾. 变频调速应用实践[M]. 北京:机械工业出版社, 2002
- [2] 石秋浩. 变频应用基础[M]. 北京:机械工业出版社, 2002
- [3] 俞伯炎, 等. 石油工业节能技术[M]. 北京:中国石油出版社, 2000