「变频器」

12脉变频器在制药混料罐控制中的应用

文/沈阳理工大学　姚旭东　李　岩
丹佛斯自动控制管理（上海）有限公司　富　魁

介绍了单机组和双机组12脉波变压器整流电路的结构和特点，分析了它们对变频器整流的影响。给出单机组12脉变频器控制系统的控制电路和参数设置，变频器带载运行速度稳定，控制系统达到了工艺控制要求。

通辽梅花生物科技有限公司的苏氨酸综合生产加工项目包括淀粉车间、糖化车间、发酵车间、提取车间、包装车间。在生产工艺中为了保证产品质量，在发酵车间使用8台560 kW变频器控制混料罐的运行。为降低谐波对电网和其他设备的干扰采用12脉变频器。大功率的变频器在工业现场应用中越来越多的使用12脉变频器，用以减小变频器对现场设备的干扰。

12脉波整流系统结构分析

根据12脉变压器结构的不同，与变频器可以构成单机组12脉波整流电路，如图1所示，和双机组12脉波整流电路，如图2所示。图1中Ta联结组标号为DY11，Tb联结组标号为DD0。

相关资料分析得出变压器在YY或者DD接法中，谐波电流次数的负号判断为，即n为5、7、17、19等次谐波电流值为负号。变压器在Y/D或者D/Y联结中，各次谐波电流都为正号。两组绕组折算到变压器一次侧，谐波电流相互抵消，即注入电网中的谐波电流不含5、7、17、19等次谐波分量。*n*次谐波的幅值为基波幅值的1/n，可见谐波次数越高，其幅值越小。因此，谐波的危害主要是低次谐波分量。

理想情况下6脉与12脉整流电路各次谐波含量对比，如表1所示。

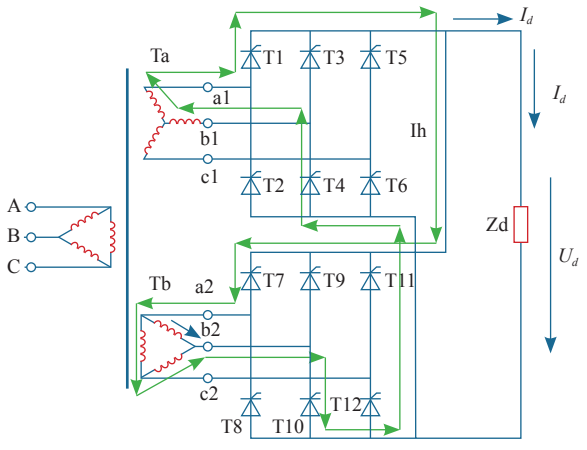

图1　单机组12脉波整流电路及其均衡电流

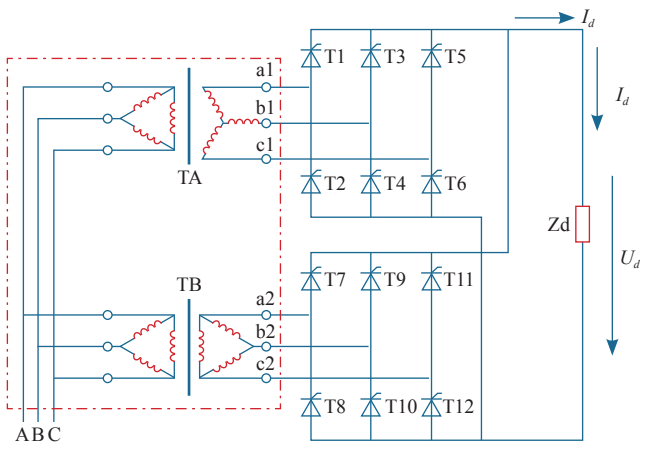

图2　双机组12脉波整流电路

表1　6脉与12脉整流电路谐波含量

谐波次数	5	7	11	13	17	19	23	25
6脉	0.91	0.46	0.36	0.26	0.23	0.18	0.16	0.14
12脉	0	0	0.53	0.35	0	0	0.23	0.17

可见12脉波整流电路的谐波含量远远小于普通6脉波整流电路。这是12脉整流电路的优点。但是单机组12脉波整流电路的变压器网侧只有一组绕组，阀侧有两组绕组接线为Y形联结和D形联结方式。变压器网侧绕组电抗为各整流桥公有，对整流桥间的负荷分配没有调节作用。导致两组阀侧绕组间负荷分配不均的原因是Y形联结和D形联结两组绕组间的匝数比不等于电压比，即$N_Y/N_D=1/\sqrt{3}$，输出空载直流电压U_{do}不等于0，因此负荷分配不可能平衡，同时也导致两个三相桥晶闸管导通的相位差不能严格地保持为30°，使网侧仍然存在5、7、17、19 次谐波电流。

12脉波整流电路的均衡电流I_h流通路径如图1中箭头所示：通过两桥每一换相组中正在导电的整流臂和变压器二次绕组而形成闭合回路。从图1看到，均衡电流不流入直流负载回路。同时可以看到，并联运行的两个换相组件中的整流臂每换相一次，均衡电流就改变一次方向。由于每桥每相串联换相组数为2，因此均衡电流基波的频率应是电源电压频率的6倍。

现场检测变压器二次侧输出的谐波含量，12脉波变压器匹配较好时，谐波含量较小。12脉波变压器输出双绕组匹配不好时，谐波含量较大，用示波器检测变频器输入的电压波形如图3所示，用电能分析仪检测出5、7、11、13、17次的电压谐波含量达2%～3%，如图4所示。

用示波器检测变频器输入的电流波形如图5所示，用电能分析仪检测出5、7、11、13、17次的电流谐波含量达90%，如图6所示。正常带输入交流电抗的6脉冲变频器二极管桥式整流电路的电流谐波含量应该是38%～40%，大功率的变频器是晶闸管整流，同时由于并联整流电路包含均衡电流，加大了电流大谐波含量。在选择12脉变压器时要考虑这些谐波电流的影响。

两套整流模块的电流分配完全取决于各组阀侧绕组阻抗值，可以采用最佳匝数比来改善电流分配不均问题。但变压器在结构上和制造方面的限制，永远也达不到最优的匝数比$N_Y/N_D=1/\sqrt{3}$。晶闸管整流电路通过有载调压方式会有一定的调压效果，但效果也有限，也存在导致换相失败、误触发，烧毁整流管的风险。

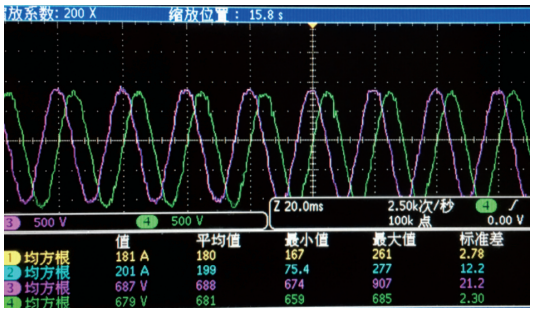

图3　单机组12脉变频器输入侧电压波形

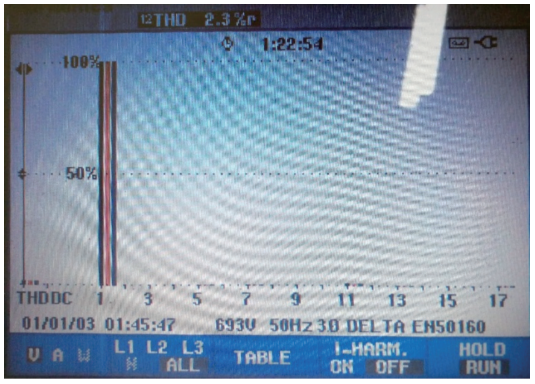

图4　单机组变频器输入侧电压谐波量

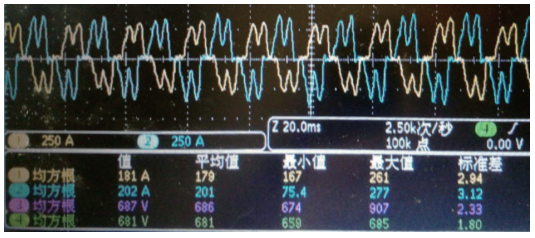

图5　单机组变频器输入侧电流波形

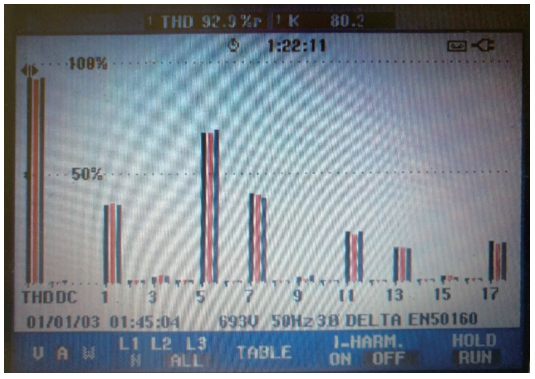

图6　单机组12脉变频器输入侧电流谐波量

双机组12脉波整流电路如图2所示，图中两组变压器相互独立，整流变压器的网侧D联结，变压器网侧绕组匝数远比阀侧绕组多，两台变压器绕组的每匝感应电动势可以设计成不相等，完

全可以使两台整流变压器的阀侧电压$U_{2Y}=U_{2D}$，阻抗值$U_{2Y}=U_{2D}$，两台整流桥输出的空载直流电压$U_{do}=0$。同时，通过调整每台变压器网侧的匝数来改变一次电抗，对电流分配有调节作用，完全可以使变频器的两台整流模块达到负荷电流平衡。对于双机12脉波整流电路，变压器的两套绕组是完全独立的，没有共磁路的问题，相互之间的干扰小得多。所以双机12脉波整流电路性能好得多。

变频器系统结构与参数设置

现场变压器型号XSCB10－1600/10/2×0.69，联结组标号DY11D0，额定容量1 600 kV·A，额定电压10 000/690/690 V，额定电流92.4/669/669 A，冷却方式AN/AF。变频器690 V，560 kW，590 A；西门子笼型电动机型号：3～ MOD1LAB 405－4PB90－Z，690 V，50 Hz，560 A，560 kW，功率因数0.87，1493 r/min。

变频器控制电路如图7所示，由于12脉变压器其中一套绕组为DD0联结方式，无地线，对变频器的供电方式为IT供电，变频器在选型时一定选择IT供电方式变频器，以防止变频器发生供电故障。变频器采用开环矢量控制。系统控制方式分本地控制和远程控制，变频器的8端子为正转起动，9端子为反转起动、10端子为复位，14端子本地远程控制选择。模拟量AI1为本地给定参考频率，模拟量AI2为远程给定参考频率。

根据变频器控制要求设置变频器参数，如表2所示，设置变频器名牌参数和控制方式、加减速度时间、本地远程控制选择、电动机控制方式等参数。

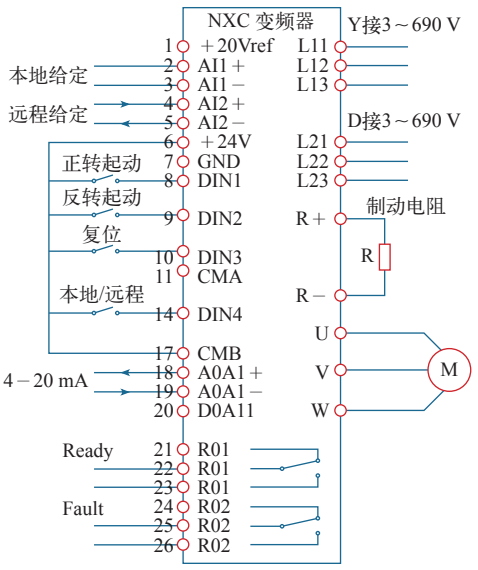

图7　变频器控制电路

表2　变频器参数设置

参数	名称	值
P 2.1.3	Accel Time 1	180 s
P 2.1.4	Deceleration Time 1	120 s
P 2.1.5	Current Limit	840 A
P 2.1.6	Motor Nom Voltage	690 V
P 2.1.7	Motor Nom Freq	50 Hz
P 2.1.8	Motor Nom Speed	1 493 r/min
P 2.1.9	Motor Nom Current	560 A
P 2.1.10	Motor Cos Phi	0，87
P 2.1.11	I/O Reference	AI1 / AI2
P 2.6.1	Motor Ctrl Mode	1
P 2.2.7.17	AI1/AI2 Select	A.4

变频器控制混料罐，混料罐加料后运行变频器，变频器运行参数曲线如图8所示，变频器运行在50 Hz的输出频率下，电动机转速为1 493 r/min，电动机电流为486 A，变频器输出的电动机电压为690 V，变频器直流母线电压903 V，变频器温度46.0 ℃。变频器带载运行速度稳定，控制系统达到生产工艺控制要求。

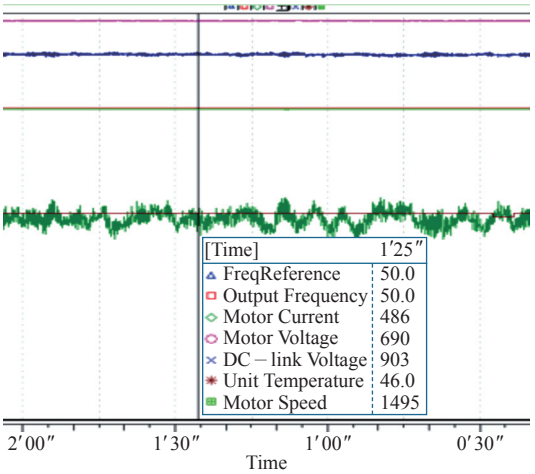

图8　变频器运行参数曲线

结束语

在12脉变频器应用中，要充分考虑两种12脉波变压器整流电路对变频器整流的影响，在可能的情况下尽量采用双机组12脉波整流电路的结构形式，以保证控制系统的稳定运行。本变频器控制系统运行稳定，达到控制要求。EA

（收稿日期：2017.11.30）

（编辑：白文亭）