

[控制系统]

公共直流母线中SINAMICS S120和MASTERDRIVES系统混合运行的关键技术及应用

文/北京金自天正智能控制股份有限公司 郭艳兵 许海涛

以炉卷卷取机电控系统改造项目为例，介绍直流母线多传动MASTERDRIVES系统中，整流/回馈单元的升级换代，就新旧产品混合运行的关键技术进行深入讨论，并对实际应用情况进行分析总结，该模式具有实用性和推广意义。

西门子MASTERDRIVES变频调速系列产品（6SE70系列）正逐渐被新产品SINAMICS S120系列所替代，现有的MASTERDRIVES系统中，通常是先做部分扩容、升级改造，再逐步全部替换，完成产品升级，对于新旧产品混合运行系统，要引起足够重视，否则，会出现设备损坏、运行故障率高等问题，影响正常生产。本文阐述MASTERDRIVES直流母线系统中，整流/回馈单元替换为SINAMICS S120不控型整流/回馈SLM（Smart Line Model）的关键技术及应用，针对两者差异提出兼容运行方案。

SINAMINCS S120和MASTERDRIVE整流/回馈的差异

1. 两者原理与功能的差异

MASTERDRIVES系列整流/回馈单元由2组反并联晶闸管桥组成，采用晶闸管相角控制技术，需要增加自耦变压器（1:1.2），容易发生逆变颠覆故障，如图1所示。SLM整流/回馈单元由IGBT模块组成，其中的二极管完成整流功能，IGBT完成回馈功能，其导通和关断与进线电压频率保持同步，在相电压自然换向点触发IGBT，导通时间120°

（电角度），实际电流或能量流方向由进线电源和直流回路之间的电压关系决定，系统可以快速地响应负载变化，无需自耦变压器，不存在逆变颠覆问题，因而具有先进性。进线侧连接有进线电抗器（ $U_k=4\%$ ），用以限制环流和无功电流冲击，如图2所示。

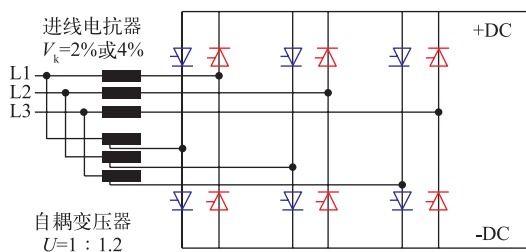


图1 MASTERDRIVES晶闸管整流/回馈单元

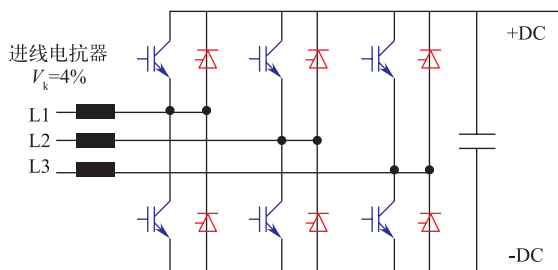


图2 SINAMICS S120的IGBT整流/回馈单元

2. 预充电的不同

MASTERDRIVES和SINAMICS S120整流/回馈装置采用了不同的预充电原理，前者采用晶闸管相控技术控制预充电电流，对直流母线总电容无需限制，见图3所示。后者由IGBT模块内的二极管完成整流功能，所以需要RC预充电电路，由预充电接触器（旁路）、充电电阻组成，并根据内部状态对开关逻辑进行控制，如图4所示。预充的电接触器（旁路）和电阻均集成在整流/回馈单元内部。如果直流母线总电容超过SINAMICS S120 整流/回馈单元要求的限制，则需要对预充电电路进行扩容，即去掉集成在内部的预充电部分，并对其进行重新设计。

3. 其他差异

SINAMICS S120和MASTERDRIVES整流/回

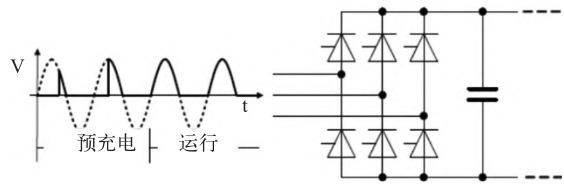


图3 MASTERDRIVES整流/回馈晶闸管相控预充电电路

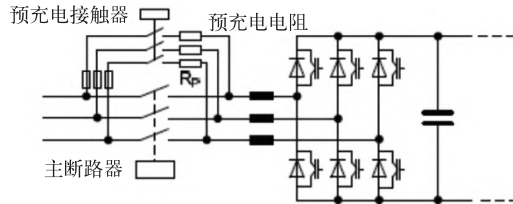


图4 SINAMICS S120整流/回馈RC预充电电路

馈单元的其他差异见表1，在做替换时需要注意两者差别。

表1 SINAMICS S120和MASTERDRIVES整流/回馈单元的其他差异

内容	MASTERDRIVES 整流回馈	SINAMICS S120整流回馈 (SLM)
功率	$U_i=400\text{ V}$ 时，75~800 kW。 $U_i=690\text{ V}$ 时，110~1 500 kW	$U_i=400\text{ V}$ 时，250~800 kW。 $U_i=500\sim 690\text{ V}$ 时，450~1 400 kW
进线电压	380 V-15%~480 V+15%，660 V-15%~690 V+15%	380 V-10%~480 V+10%，660 V-10%~690 V+10%
额定直流回路电压	进线电抗器 $U_k=2\%$ 时， $U_{dc}=1.35U_{line}$	进线电抗器 $U_k=4\%$ 时， $U_{dc}=1.30U_{line}$
额定直流回路电流	$U_i=380\sim 480\text{ V}$ 时，173~1 780 A $U_i=660\sim 690\text{ V}$ 时，140~1 880 A	$U_i=400\text{ V}$ 时，550~1 700 A $U_i=500\sim 690\text{ V}$ 时，550~1 700 A
负载周期定义（300 s周期工作60 s）	基本负载/额定电流=0.91，短时电流为基本负载电流的150%	基本负载/额定电流=0.89，短时电流为基本负载电流的150%
装置并联	机座规格K，最多并联3台	各种机座规格，最多并联4台
防护等级	均为IP00	IP00和IP20
环境温度	0~40℃时无降容，40~50℃降容使用	0~40℃时无降容，40~55℃降容使用
安装海拔	海拔1000 m时无降容	海拔2 000 m时无降容
损耗和效率	损耗约为输出功率的1%，效率>99%	损耗约为输出功率的1.5%，效率>98.5%
机械设计和外形尺寸	整体式	模块式

直流母线系统SINAMICS S120和MASTERDRIVES混合应用关键技术

根据两者在原理、功能和预充电等方面的差异，要对混合运行系统进行校验，对新产生的问题加以解决，才能保证兼容运行。

1. 混合运行系统的校验

(1) 预充电电容校验

由于MASTERDRIVES整流/回馈单元不含直流电容，SLM整流/回馈单元中含有直流电容，所以，MASTERDRIVES整流/回馈

+MASTERDRIVES VC逆变器系统采用SLM装置替换时，混合系统的直流母线总电容要增大，需要检查SLM装置所要求的预充电能力，满足直流母线实际总电容满足小于或等于SLM装置要求的最大电容值，见式（1），否则，则要考虑预充电的扩容改造

$$C_{DC-tot} \leq C_{DC-max} \quad (1)$$

式中， C_{DC-tot} 为混合直流母线的实际总电容值； C_{DC-max} 为SLM整流/回馈单元所要求的最大电容值。

混合直流母线实际总电容通过式（2）获得

$$C_{DC-tot} = C_{DC-tot-MD} + C_{DC-tot-SIN} = \sum_{inv1}^n C_{DC-MD} + \sum_{mo1}^n C_{DC-SIN} \quad (2)$$

其中, C_{DC-tot} 为混合实际总电容值; $C_{DC-tot-MD}$ 为 MASTERDRIVES VC 部分实际总电容值; $C_{DC-tot-SIN}$ 为 SINAMICS S120 部分实际总电容值 (包含整流/回馈单元); C_{DC-MD} 为 MASTERDRIVES VC 逆变器实际电容值^[4]; C_{DC-SIN} 为 SINAMICS S120 电动机模块或整流/回馈单元实际电容值; C_{DC-MD} 和 C_{DC-SIN} 电容值可以在文献中获得。

(2) 进线组件校验

SLM 整流/回馈单元替代 MASTERDRIVES 时, 如果进线侧组件的额定电流与 SLM 整流/回馈单元的额定电流相匹配, 则保留开关、接触器和断路器等, 去掉自耦变压器, 增加短路阻抗为 4% 的进线电抗器以及预充电电路。

(3) 共直流母线系统电缆总长校验

MASTERDRIVES 和 SINAMICS S120 系统都存在容性放电电流的问题, 因为逆变器连接到电动机的电缆会产生容性漏电流 ΣI_{Leak} , 并通过网侧滤波器或者进线电源的中性点流回直流母线, 会造成整流/回馈装置过载, 引起过电流或过高 dv/dt 电压冲击, 如图 5 所示, 所以需要限制总电缆长度, 满足式 (3) 要求。

$$L_{cab-tot} = \sum_{inv1}^n L_{MD} + L_{DC} < L_{cab-max} \quad (3)$$

式中, $L_{cab-tot}$ 是逆变器到电动机电缆和直流母线长度总和; L_{MD} 是每台逆变器到电动机的电缆长度; L_{DC} 是直流母线长度; $L_{cab-max}$ 是共直流母线系统允许的最大电缆长度。

SINAMICS S120 系列产品的电缆总长容许值等相关数据可参阅 SINAMICS Low Voltage Engineer Manual。

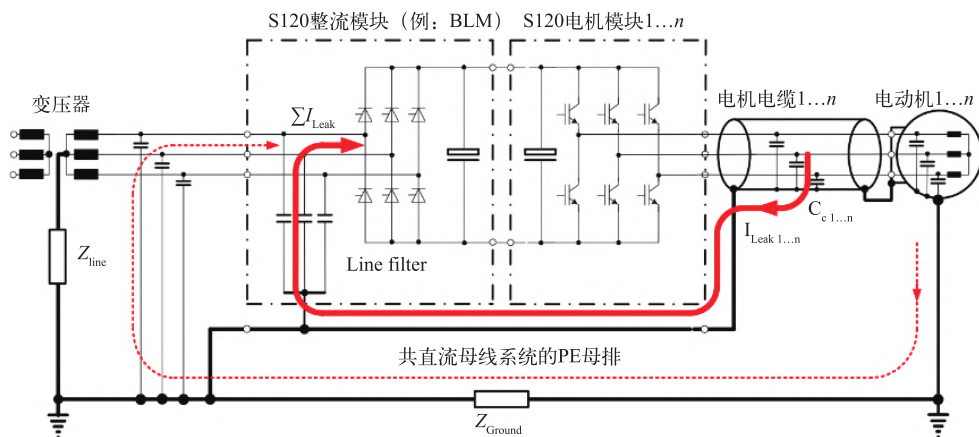


图5 公共直流母线传动系统的总漏电流 ΣI_{Leak} 路径图

(4) 通信接口校验

两者均有 PROFIBUS 接口和 CAN 总线接口, 对于原来 MASTERDRIVES 系统通常用 PROFIBUS 接口, SINAMICS S120 替代 MASTERDRIVES 整流/回馈单元时, 通信接口是兼容的。除此之外, SINAMICS 还有 PROFINET、以太网接口以及传动内部网络 DRIVE-CLiQ 网。

2. 系统空载和轻载时无功电流限制

SLM 整流/回馈单元采用开关型电网换流方式, 属于开环控制系统, 如果电网波动较大, 在空载或轻载运行时, 会产生较大的无功电流, 其大小取决于直流母线总电容量, 最大时约为额定电流 15%~20%, 会造成功率因数 $\cos\phi$ 的降低以及电流谐

波畸变率 THD 的增大, 所以必须加以限制。

(1) 增加进线电抗器

根据直流母线总电容值, 配备进线电抗器, 一般配置短路阻抗为 4%~8%, 可有效限制系统无功电流以及并联环流的问题。

(2) 设置回馈电压门槛

在兼顾整流和回馈功能的前提下, 通过 SINAMICS S120 系统的自由功能块连接, 设置回馈电压门槛值, 避免电动和回馈模式频繁切换出现较大无功电流, 当直流母线电压高于该阈值时, 激活回馈功能, 能量从直流母线回馈电网, 当直流母线电压低于设置门槛值时, 禁止回馈功能, 系统处于电动状态, 使无功电流得到有效限制。

实际应用

1. 炉卷卷取机共直流母线系统

如图6所示的炉卷卷取机直流母线系统中，原系统为左侧的2台1 500 kW/690 V晶闸管整流/回馈单元构成12相整流，直流母线下挂2台2 300 kW的逆变器，用以驱动2台1 200 kW的入口和出口卷取

机。图6右侧的2台1 400 kW/690 V的SLM装置替代左侧的MASTERDRIVES整流/回馈部分，SLM系统增加进线电抗器以及预充电电路，去掉自耦变压器，控制单元CU320-2DP通过DRIVE-CLiQ网落与SLM系统通信（替代MASTERDRIVES系统的CUR控制板和CBP通信板）。

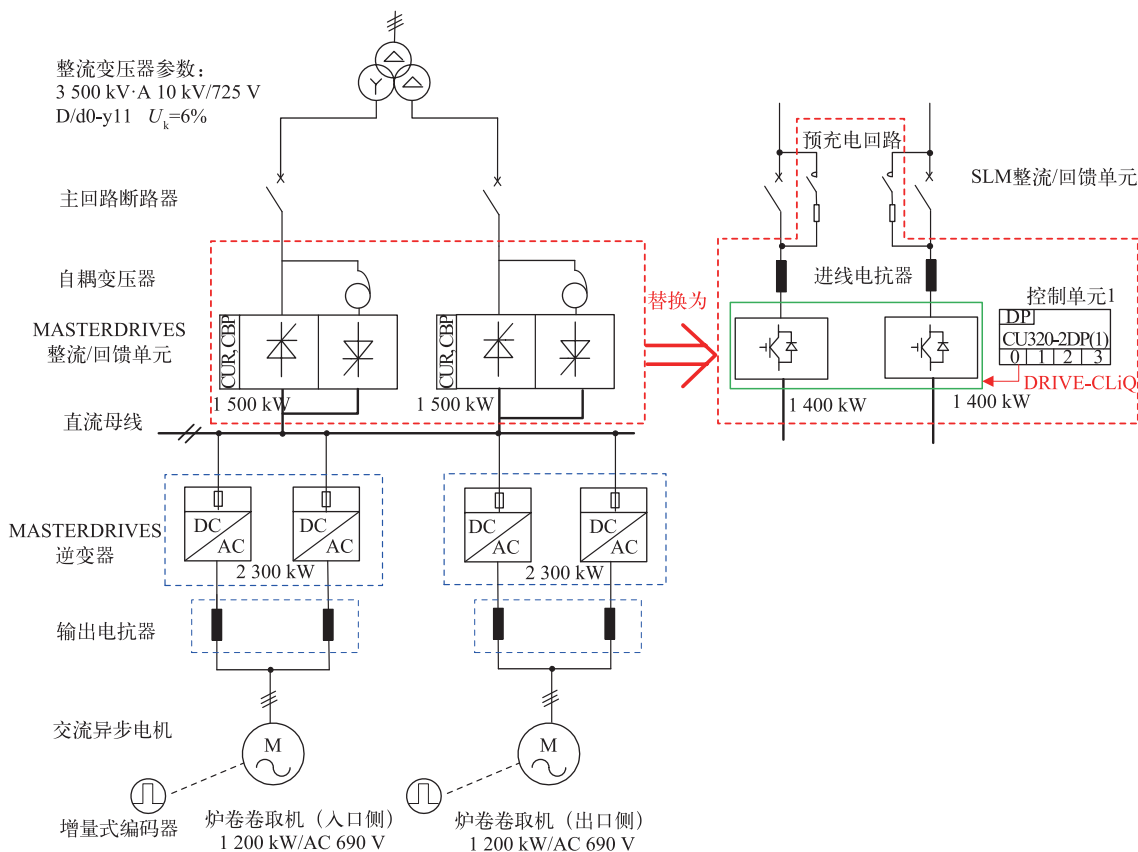


图6 炉卷卷取机系统中SLM替代MASTERDRIVES整流/回馈系统图

2. 混合运行关键技术应用

(1) 混合系统校验

1) 预充电电容校验

根据图6混合系统图以及式(2)计算如下

2台2 300 kW的MASTERDRIVES逆变器电容值 $C_{DC-tot-MD} = 2 \times 90\,000\, \mu F = 180\,000\, \mu F$

2台1 400 kW的SLM整流/回馈电容值 $C_{DC-tot-SIN} = 2 \times 14\,400\, \mu F = 28\,800\, \mu F$

直流母线总电容 $C_{DC-tot} = C_{DC-tot-MD} + C_{DC-tot-SIN} = 208\,800\, \mu F$

2台1 400 kW的SLM整流/回馈最大能允许电容值 $C_{DC-max} = 56\,700\, \mu F \times 2 = 113\,400\, \mu F$

从上述计算看出，直流母线实际总电容值

超过了SLM装置的最大允许值，不满足式(1) $C_{DC-tot} \leq C_{DC-max}$ 的条件，所以需要预充电的扩容改造，去掉SLM整流/回馈自带的预充电部分，增加单独的预充系统，包括预充电电阻为 $3 \times 2\, \Omega / 50\, kW$ 以及150 A三相交流接触器。

2) 电缆总长度校验

两台MASTERDRIVES逆变器到电动机电缆长度分别为50 m和60 m，每台为两并联，每相3根电缆，直流母线长度为11.4 m，公共直流母线系统电缆总长度计算如下

$$L_{cab-tot} = \sum_{inv1}^n L_{MD} + L_{DC} = 2 \times 3 \times (3 \times 40) + 2 \times 3 \times (3 \times 50) + 11.4 = 1631.4\, m$$

$L_{cab-max} = 2\,750\, m$ ，所以满足式(3) $L_{cab-tot} <$

$L_{cab-max}$ 的要求，总电缆长度校验达标。

3) 其他校验

由于替换的SLM整流/回馈功率和原系统相差不大，所以保留进线断路器。和上位机通信接口仍然保持PROFIBUS-DP协议。

(2) 无功电流的限制

由于现场电网质量差，除了增加4%的进线电抗器之外，还要应用控制软件中的LVM自由功能块，启动滞后双向限制监视器功能，当直流母线电压高

于1 020 V时，开放回馈使能，低于该电压值时，禁止回馈功能，该功能投用后效果很好。

3. 实际运行波形

炉卷卷取机系统的整流/回馈替换为SINAMICS S120的SLM的运行波形如图7所示，可以看出，直流母线根据负载变化在一定范围内波动，基本在950 V左右，电流负荷正常，升级改造后的混合系统运行稳定。

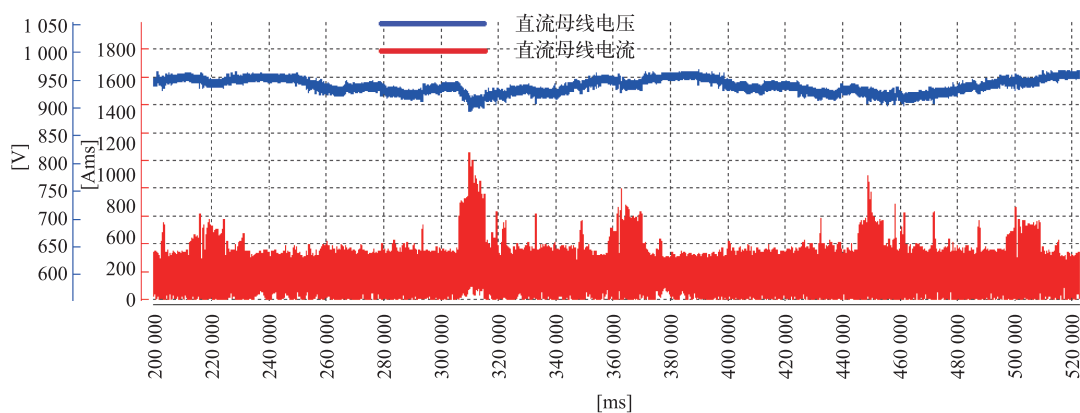


图7 炉卷卷取机整流/回馈单元替换为SINAMICS S120的SLM运行波形

结束语

SINAMICS S120和MASTERDRIVES混合应用系统，需要进行系统校验，包括预充电电容校验、进线组件校验、共直流母线系统电缆总长校验、通信接口校验，以及对系统空载和轻载时无功电流进行限制。

本文的公共直流母线SINAMICS S120和MASTERDRIVES混合运行拓扑结构和关键技术，可以推广到其他类型混合系统中，为变频调速系统升级改造提供借鉴和参考。EA

(收稿日期：2022.01.29)

声 明

《电气时代》杂志唯一投稿渠道

登录电气时代官网 www.eage.com.cn，点击“我要投稿”

咨询电话：010 - 68993981