ABB变频器正弦滤波器+DTC控制的应用

赵　立
国家能源宁夏煤业烯烃二分公司　宁夏　银川　750409

摘　要：变频器是电动机和电源之间的一个中间控制环节，变频控制技术由最初的U/f模拟控制，发展为转差频率控制、矢量控制、直接转矩控制等多种控制方式，应用更加方便。其中直接转矩控制技术（DTC控制），是继矢量控制技术之后又一种具有高控制性能的交流调速技术。ABB变频器输出端由于使用需要配有正弦滤波器时，DTC控制模式与正弦滤波器不匹配导致变频器无法运行，只能采取标量控制模式，一定程度上影响对负载的精确控制，也制约变频器失电跨越功能。

关键词：变频器；电动机；直接转矩控制；正弦滤波器；失电跨越

引言

直接转矩控制是利用空间矢量、定子磁场定向的分析方法，直接在定子坐标系下分析异步电动机的数学模型，如图1计算与控制异步电动机的磁链和转矩，把转矩检测值与转矩给定值作比较，使转矩波动限制在一定的转差范围内，并产生PWM脉宽调制信号，直接对逆变器的开关状态进行控制，以获得高动态性能的转矩输出[1]。

直接转矩控制对电动机数学模型、电动机转矩和磁链的分析是直接在定子坐标系下完成的，这样就避免了将交流电动机与直流电动机作比较、等效和转化，省掉了对电动机的数学模型进行简化这一步骤。磁链是定子电压与定子电流、定子电阻乘积的差值，转矩又是定子磁链与定子电流的乘积，这将不可避免的引进了定子电阻。定子电阻的变化会直接影响到定子磁链，进而影响到转速和转矩，定子电阻的观测是提高直接转矩控制系统性能的关键[2]，有必要采取相应的措施针对ABB变频器配置正弦滤波器时的定子电阻进行精确的识别，解决ABB变频器配有正弦滤波器时只能运行在标量模式和变频器运行的不稳定性。

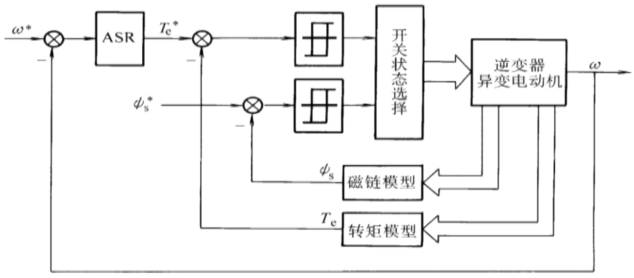

图1 定子磁链控制的直接转矩控制系统

1 概况

1.1 ABB变频器标量模式

变频器应用于电机，特别是电缆小于100m的异步普通电机时，在变频器的输出端，一般不作处理，直接将变频器的输出接于电机端。当电机电缆长度大于100m，尤其是电缆长度超过300m时，变频器输出端必须增加输出滤波器。一般有：输出电抗器、du/dt滤波器、正弦波滤波器。当变频器与电机之间的电缆长度大于300米时，即使用du/dt滤波器也不能完全避免过冲电压，这时只能使用正弦波滤波器保护电机，使用后电缆可以长达数千米，不必担心电机电缆被击穿或电机被过冲电压损坏[3]。

1.2 现场的实际情况

某单位使用ABB ACS880变频器拖到一台风机。相关参数如电机功率：450KW电压：690V额定转速：989rpm额定电流：470.9A变频器软件版本：AINF6 v2.4。ABB变频器与电机实际距离560m，为消除电缆对地电容、非线性谐波等，设计通过加装正弦滤波器来满足现场运行需求。ABB说明书中明确要求：控制程序有一个允许使用ABB正弦滤波器的设置（可单独使用）。对于连接到传动输出的正弦滤波器，95.15特殊硬件设置的位1必须接通。该设置强制传动使用标量电机控制模式，以此保护变频器。图2显示了有正弦波滤波器的传动系统。

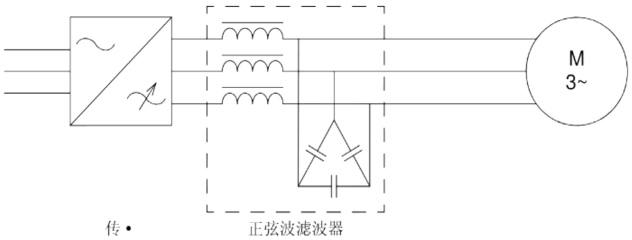

图2 正弦波滤波器传动接线

2 变频器故障现象及检查处理

ABB系列ACS880变频器变频器自2016年运行以来，先后出现过多次故障。其中变频器过流故障（故障代码：2310）8次；直流欠压（故障代码3220）、过流故障

（故障代码：2310）1次；短路故障（故障代码：2340）3次；直流回路过压故障（直流回路过压故障）1次。接地故障（故障代码：2330）2次。

2.1 直流回路过压故障

2022年10月28日17:04变频器报直流回路过压故障（故障代码：3210）。随后对变频器硬件和参数设置进行检查，检查变频器无异常后，变频器正常启动。

分析：（1）电源侧的暂态过压，如雷电引起的过压、合闸或分闸时形成的操作过电压压，电网发生晃电等，导致电压变化率du/dt大等原因造成。（2）受负载惯量影响，负载拖动电动机速度比变频器输出的速度高，电动机处于发电状态，导致变频器中间直流回路电压过高，超出保护限值，引发变频器直流回路过压故障跳闸。（3）其它内部电路故障。

2.2 短路故障

2023年9月14日20.29变频器故障报“电机电缆或电机短路（代码：2340）。随后对变频器、电缆线路、电动机进行排查，所有硬件均正常。20:45分启机，变频器运行正常启动。

分析：（1）电网扰动，电流变化率dI/dt超过极限。（2）驱动电路短路或损坏，IGBT缺相或损坏。（3）电机电缆或电机短路。（4）其它内部电路故障。

2.3 过流故障

2018年1月5日16点55分变频器报2310（过流），对电机、电缆进行检查，电机盘车后无异常后进行启动，变频器正常启动运行。

分析：（1）电动机发生机械机构堵转等现象，引起电流突变。（2）变频器设置的的积分时间，加速时间太短。（3）电机电缆太长，电缆对地电容和漏电流大。（4）电机或电机电缆损坏。（5）负荷太重，选择变频器容量偏小。（6）电流变化率dI/dt超过限值。（7）其它内部电路故障。

2.4 欠压、过流故障

2019年09月14日02时18变频器报中间回路直流欠压（故障代码3220）、过流故障（故障代码：2310），经检查变频器跳闸时外电网发生晃电，110kV电压脱落21%，导致变频器跳闸。随即复位变频器，重新启动后正常。

分析：（1）电网扰动。（2）负载短路。（3）电源缺相，熔丝熔断。（4）整流桥故障。（5）其它内部电路故障。

2.5 接地故障

2020年7月20日17点48分，变频器报接地故障（故障代码：2330）跳闸。随即电机端盖打开拆线进行摇测，发现C相双拼其中一根98.5兆欧，低于其他相电缆416兆欧。对故障相电缆脱开启动变频器，运行正常。

分析：（1）电机和电机电缆的绝缘电阻低。（2）电机电缆太长，电缆对地电容和漏电流大。（3）电源扰动。（4）输入输出电流不平衡。（5）其它内部电路故障。

3 ABB ACS880 变频器控制的优化改造措施

根据以上故障现象可以看出，ACS880变频器标量控制模式下，因电网扰动、负荷波动、电缆因素等影响，经常会发生一些误动作跳闸的问题，一定程度上影响设备的运行，有必要采取相应的措施针对ABB变频器配置正弦滤波器进行改进，提升变频器稳定性。另外，负载不稳定时，使用矢量控制模式或DTC模式，也会使变频器输出电机电流更加平稳[4]。

3.1 改造措施

3.1.1 变频器直流回路支撑技术改造

电网正常时，由电网拖动设备，同时给储能单元充电。电网异常时，储能单元通过防昊电保护模块并联在变频逆变器直流端，从而保证逆变器的正常工作。当电网恢复正常时，防晃电保护模块接到信号瞬间关断，负载恢复电网供电。

3.1.2 自启动功能改造

利用变频器自复位自启动功能，在变频器晃电时自动复位故障。DCS接收到变频器故障信号后保持2s启动信号，实现变频器停机后自启动。

3.1.3 变频器矢量转矩提升改造

变频器目前使用标量控制（V/f），晃电时转矩提升控制不精确，不能有效控制控制输出转矩。先对ACS880变频器进行控制程序优化改造，同时修改控制方式，最终实现DTC矢量+正弦滤波器控制。

3.2 改造方式优劣性对比

从负载的使用特性、负荷重要性、安全性等多个维度，结合性价比的考虑，推荐使用变频器矢量转矩提升思路。

序号	名称	优点	缺点
1	变频器直流回路支撑技术	适用电网晃电时的电压降	投资较高
2	变频器矢量转矩提升改造	能确保电压65%及以上时电压波动的治理	电压下降达到变频器内部故障限值停机
3	自启动功能改造	不需增加投资	对工艺条件有要求，同时变频器自启动由于电容耦合作用，可能造成系统波动。

4 正弦滤波器 +DTC 控制的应用

DTC控制是基于精确的电机模型，通过对电机模型优化控制[5]，输出转矩控制电机运行。定子电阻的变化会直接影响到定子磁链，进而影响到转速和转矩，定子电阻的观测是提高直接转矩控制系统性能的关键。在回路配有正弦滤波器时，需要精确识别计算滤波器电感、电容等对DTC模式下电机模型的影响，准确获得电机定子电阻，实现电机的控制。

4.1 固件版本升级

ACS880变频器固件程序2.4，升级程序后版本3.42。如图3版本升级前后主要针对正弦滤波器电感、电容的参数进行优化，为DTC控制模式下定子电阻精确辨识提供依据。

99. Motor data						
3	Motor type	Asynchronous motor	NoUnit			Asynchronous...
4	Motor control mode	**Scalar**	NoUnit			**DTC**
6	Motor nominal current	**518.0**	A	0.0	6400.0	**0.0**
7	Motor nominal voltage	**660.0**	V	0.0	800.0	**0.0**
8	Motor nominal frequency	**50.00**	Hz	0.00	500.00	**0.00**
9	Motor nominal speed	**989**	rpm	0	30000	**0**
10	Motor nominal power	**450.00**	kW	0.00	10000.00	**0.00**
11	Motor nominal cos φ	**0.88**	NoUnit	0.00	1.00	**0.00**
12	Motor nominal torque	0.000	Nm	0.000	400000...	0.000
13	ID run requested	None	NoUnit			None
14	**Last ID run performed**	None	**NoUnit**			None
15	**Motor polepairs calculated**	3	**NoUnit**	**0**	**1000**	0
16	Motor phase order	U V W	NoUnit			U V W

（a）标量控制下电机参数

3	Motor type	Asynchronous motor	NoUnit			Asynchronous...
4	Motor control mode	DTC	NoUnit			DTC
6	Motor nominal current	**470.9**	A	0.0	6400.0	**0.0**
7	Motor nominal voltage	**660.0**	V	0.0	800.0	**0.0**
8	Motor nominal frequency	**50.00**	Hz	0.00	1000.00	**0.00**
9	Motor nominal speed	**989**	rpm	0	30000	**0**
10	Motor nominal power	**450.00**	kW	0.00	10000.00	**0.00**
11	Motor nominal cos φ	**0.88**	NoUnit	0.00	1.00	**0.00**
12	Motor nominal torque	0.000	Nm	0.000	400000...	0.000
13	ID run requested	None	NoUnit			None
14	**Last ID run performed**	Normal	**NoUnit**			None
15	**Motor polepairs calculated**	3	**NoUnit**	**0**	**1000**	0
16	Motor phase order	U V W	NoUnit			U V W
18	Sine filter inductance	**0.300**	mH	0.000	100000....	**0.233**
19	Sine filter capacitance	**60.00**	uF	0.00	100000....	**180.00**

（b）DTC控制下电机参数

图3 电机相关参数

4.2 定子电阻的辨识

如图4：DTC模式下对电机进行辨识，测量定子电阻RS、转子电阻RR、主电路电感LM、漏磁电感LS标幺值和定子电阻RS、转子电阻RR、主电路电感LM、漏磁电感LS有名值。

1	User motor model mode	Not selected	NoUnit			Not selected
2	Rs user	**0.04285**	p.u.	0.00000	0.50000	**0.00000**
3	Rr user	**0.01428**	p.u.	0.00000	0.50000	**0.00000**
4	Lm user	**2.85872**	p.u.	0.00000	10.00000	**0.00000**
5	SigmaL user	**0.36828**	p.u.	0.00000	1.00000	**0.00000**
6	Ld user	0.00000	p.u.	0.00000	10.00000	0.00000
7	Lq user	0.00000	p.u.	0.00000	10.00000	0.00000
8	PM flux user	0.00000	p.u.	0.00000	2.00000	0.00000
9	Rs user SI	**0.03152**	Ohm	0.00000	100.000...	**0.00000**
10	Rr user SI	**0.01050**	Ohm	0.00000	100.000...	**0.00000**
11	Lm user SI	**6.69**	mH	0.00	100000....	**0.00**
12	SigmaL user SI	**0.86**	mH	0.00	100000....	**0.00**
13	Ld user SI	0.00	mH	0.00	100000....	0.00
14	Lq user SI	0.00	mH	0.00	100000....	0.00
15	Position offset user	0.0	deg	0.0	360.0	0.0

（a）标量控制电阻值

1	User motor model mode	Not selected	NoUnit			Not selected
2	Rs user	**0.06930**	p.u.	0.00000	0.50000	**0.00000**
3	Rr user	**0.00591**	p.u.	0.00000	0.50000	**0.00000**
4	Lm user	**3.58829**	p.u.	0.00000	10.00000	**0.00000**
5	SigmaL user	**0.29819**	p.u.	0.00000	1.00000	**0.00000**
6	Ld user	0.00000	p.u.	0.00000	10.00000	0.00000
7	Lq user	0.00000	p.u.	0.00000	10.00000	0.00000
8	PM flux user	0.00000	p.u.	0.00000	2.00000	0.00000
9	Rs user SI	**0.05608**	Ohm	0.00000	100.000...	**0.00000**
10	Rr user SI	**0.00478**	Ohm	0.00000	100.000...	**0.00000**
11	Lm user SI	**9.24**	mH	0.00	100000....	**0.00**
12	SigmaL user SI	**0.77**	mH	0.00	100000....	**0.00**
13	Ld user SI	0.00	mH	0.00	100000....	0.00
14	Lq user SI	0.00	mH	0.00	100000....	0.00
15	Position offset user	0.0	deg	0.0	360.0	0.0

（b）DTC控制电阻值

图4 定子电阻的辨识

5 结论

（1）ABB变频器正弦滤波器+DTC控制的应用解决了变频器矢量转矩提升功能，变频器控制更加精确，一定程度上提升了变频器抗抗干扰能力。

（2）ABB变频器正弦滤波器+DTC控制的应用大大提升变频器低电压穿越功能。变频器失电跨越优势明显，变频器抗晃电功能进一步加强，变频器稳定性大大提升。

参考文献

[1]刘国荣,周平.直接转矩控制中的定子电阻辨识方法研究[J].控制工程,2012,19(1):41-43

[2]邓青宇,廖晓钟.一种基于定子磁场定向矢量控制的异步电机磁链观测模型[J].电工技术学报,2007,22(6):30-34

[3]栗从鑫.正弦波滤波器在潜油电泵变频中的作用及工作原理[J].电工文摘 / 设计与选型.2013(5):16-20.

[4]李方园.变频器的故障排除 第2讲 变频器过流故障及案例分析[J].自动化博览.,2009(4):54-57

[5]陈燕.ABB变频器的传动控制分析[J].科技传播.2012(9):157+16