

一. 风力发电机励磁系统的原理图及说明

1. 概述

东汽 FD70B1.5MW 双馈风力发电机组系统图如上所示。在风速 3.5m/s (1000rpm)~13m/s (1800rpm) 下, 发电机组励磁系统采用阿尔斯通的双馈变频器控制(它采用有位置传感器和定子矢量控制), 因此它具有励磁调压和调频 1 的功能; 风机的变桨系统(0~90°) 调节输入的风能量或机械原动能量, 做为调频 2 功能。系统管理计算机协调变桨系统和变频器控制风力发电机组的正常发电运行。

2. 运行原理

变频器是为异步发电机转子回路提供变频、可逆双向励磁功率。在 1000rpm~1499.99rpm, 变频器向转子机械次同步的发电机输入滑差功率, 频率正调实时叠加在转子上形成 1500 rpm 同步旋转磁场; 在 1500rpm, 变频器向转子机械同步发电机输入直流功率, 频率零调实时叠加在转子上形成 1500 rpm 同步旋转磁场; 在 1500.01rpm~1800rpm, 超同步发电机通过转子机械向变频器输出滑差功率, 频率负调实时叠加在转子上形成 1500 rpm 同步旋转磁场。风力发电机组可运行在电力系统频率 51.5Hz~47.5Hz 范围内。在电力系统电压 690V±10% 和功率因数 0.95(超前)~0.95(滞后)下, 满负荷运行。变频器可单独做为无功补偿器运行(选项 A), 容量可达 300kvar。

变频器转子回路机械侧 MRP 额定电压 424V, 额定电流 372A, 网侧 NRP 额定电压 690V, 额定电流 305A, 通过接触器与电网联网。变频器开关频率为 3KHz~6KHz, 输出(入)转子频率为+17Hz~-17Hz。风机风轮转速大于 3.5m/s 后(对应于发电机转子为 1000rpm), 持续一定时间, 变频器网侧 NRP 及机械侧 MRP 相继投入运行, 转子绕组投励、调频、建立额定电压, 经检测差压、差频、相序正确后, 定子回路空气开关并网。在发电机转子 1000 rpm ~1800 rpm, 变频器定子矢量控制技术, 通过电机的 d-q 电磁场旋转实时的数学模型, 及电机位置编码器、机组出口电压电流频率反馈值, 根据风机各种运行条件下的限值范围内所给定值, 跟踪输出量运行。同时在风速过大过小(长时间大于 1800 rpm 或小于 1000 rpm)、电网异常等采取停机。

风机从并网运行模式到停机有三种不同的关闭程序, 分别为: 紧急停机、快速停机和正常关闭。

紧急停机(制动程序200)——风轮叶片以每秒15°的速度旋转到91°的位置。变桨控制驱动装置由后备蓄电池供电。转子刹车执行制动。

电网故障——在电网故障时执行快速停机 II a 程序。在这种情况下, 安全链、变桨控制、控制计算机和液压阀的电源全部由后备蓄电池提供。当到达停机位时, 变桨控制机构也停止。电网故障持续6s后, 后备蓄电池耗尽, 安全链中断。跟紧急停机刹车制动有相同的效果。控制计算机进入睡眠状态, 但是它的内存还是能保存在关闭期间的所有错误, 因为它有后备蓄电池提供一年的支持。

安全链——安全链是一个固定的电线电路，所有的触点由下列相连的紧急停机来触发。

机舱内的紧急停机按钮在TOPBOX中，靠近转子轴承，塔基的紧急停机按钮在转换柜。

转轴超速开关装置，也就是发电机转速。

超过1.5倍功率。

振动开关

控制计算机触发的变桨控制失败

功率辅助触点中断

电缆扭曲：±4旋转

当回路一中断，闭合继电器立刻释放。它可以通过手动复位，或者恢复主电源吸合继电器，随后在断开主电源。

电网监视

	触发值	触发时间
过压保护	$1.06 \times U_{ng}$	98ms
低压保护	$0.8 \times U_{ng}$	109ms
超频保护	50.5Hz	88ms
低频保护	49.5Hz	104ms

风机短路的机械保护

在发电机与齿轮箱间有一个联轴结，带绝缘的，起短路机械保护，主要是保护齿轮箱。转矩超过额定值2倍时，齿轮箱输出端与发电机输入自动解列。

3.功能选项及保护要求

3.1 电网电压

3AC 690V±10%

用于 $552V < U < 621V$: $S(u) = u/621V * Se1$

3.2 电网频率

$50Hz - 2.5Hz / +1.5Hz$

变频器的控制和调整是基于频率偏差±5Hz来设计的。制造商指出变频器依据它工作运行情况时运行特性曲线，（频率的变化）需要的相应的输出变化量。这些至少应包括以频率函数的输出功率、速度、电压。

3.3 耐受短路电流(690V)

最少为 30kA

3.4 静止期间无功输出补偿（选项 A）

风机静止时，变频器电路的额定无功输出的范围内，变频器帮助无功与电网受约束的交流。对于这个运行模式，最小限度的可能的无功输出量等于这个风电机组额定有功输出 $P=1500kW$ 的 20%。

3.5 有功和无功输出的偏差

假设取额定力矩值形式的恒定有功缺省值，和取移相功率因数、角度、或额定无功功率形式的恒定无功缺省值，那么 8 个电网周波的平均偏差值总计不大于发电机/变频器系统额定有功输出（1560kW）的±2.5%。

发电机/变频器系统的动态有功和无功输出波动≤其额定有功输出(1560kW)的±1%。

3.6 电网兼容标准模式

对于单独的一台风电机组，发电机/变频器系统满足所有象在/N0-1/, /N0-2/, /N0-3/, /N0-8//N0-16/中所罗列的要求，假定的电网电路短路比率为 $S(k)'' / S(N) \geq 65$ 。在与闪变有关的频率范围内，变频器应最佳优化为不会出现有功或无功输出波动。在依照/N0-5/和/N0-17/的测量时，风电机组 $c \leq 5$ 闪变系数 c 必须要达到。

3.7 电网兼容扩展模式（选项 B）

根据项目，选择谐波滤波器是有用的。假设电网短路比率较小，这些谐波滤波器促进并网连接。如果是那样的话，用户应提供所需的电网参数。

3.8 电网故障

发电机/变频器系统可识别电网故障和对应变频器的每个扩展阶段有响应。自检之后，发电机系统没有错误，才返回电网。故障导致的未被证明其正确的命令解除，不会由开关动作、干扰电压或运行人员们所需的功率和电网电压极限值之间波动而引起。

3.9 保护原理

变频器供应商应负责发电机定子和转子短路和浪涌保护、以及电路变频器和电缆的设计。供应商应该通知东汽其所使用的保护原理，为的是以使用户在定货之前明确细节和同等连接。一旦保护故障，变频器会给出“保护保存”信号，启动上一级的变电站的断路器（MS 或 NS）。变频器尤其要完成以下保护功能：

连接	网络配置	保护要求	变频器元件	故障记载
电网连接	TN-C	短路 过载	电路的导线保护 电路的导线保护	电路的导线保护
定子连接	TN-S 不 带 N	短路 过载	电路的导线保护 电路的导线保护	电路的导线保护 变频器
转子连接	IT	短路 过载 绝缘失效 浪涌	电路的导线保护+脉冲禁止 电路的导线保护+脉冲禁止 电路的导线保护+脉冲禁止 电路的导线保护+脉冲禁止 +短路器	变频器 变频器 变频器 变频器
NSHV： 多路输出 连接	TN-S	短路 过载	多路输出连接： 变频器中多种保护元件都有（如同已有的和/或过去明确的）	

电路接线方式：中压变压器符合联结组 Dyn5、Dyn11,并在二次侧接地。电路接线方式设计为 TN-C，并给变频器供电。变频器把 PEN 线分成 PE 和 N。在此情况下，N 不再用于下一级输出回路。这样的分法，没有包括 N 线，把传送到定子的电路变成一个 TN-S 电路。

结果，电路接线方式共同组成了 TN-C-S 电路。其电路接线方式的特点是次要条件的接地变成了短路。结果灵敏度不高的故障就变成灵敏度高的短路保护。因此，在这种情况下，无需附设接地监控。

由于变频器的布局技术，变频器在发电机侧产生的电位与 PE 电位没有直接联系。因此，尽管还受电势影响，通常构成了一个 IT 电路接线方式。因为 IT 电路接线方式要求绝缘监控，因此在变频器中必须装设相配的功能。

故障登录：如果标准变频器设备没用相配的故障登录，必须安放一个或多个分离式继电器。并产生适当的解除信号。电路断路器必须准备好解除信号和显示适当的输入。

3.10 浪涌保护:

转子连接的浪涌保护用于电缆保护和发电机转子及变频器中的变频器保护。

过载保护的调整范围:

电缆的额定电流必须调整到触发值与时间特性相合, 其时间特性用于三个连接导体: 电路、定子和转子。调整值必须能支持减少值, 其减少值不要求变频器的输出载量。

3.11 假设电网瞬间故障时的运行状态

假设电网瞬间故障时, 发电机 / 变频器系统的运行状态是由变频器 (基本 / 扩展模式) 所使用的扩展阶段来决定的。这些模式在这个范围是不一致, 在电网故障电压降到额定电压 80% 以上, 基本模式运行。与此相反, 在电网故障电压从额定电压 80% 降到额定电压 15% 以上, 扩展模式运行。

3.12 基本模式

变频器基本模式的特性是: 装置根据 / NO-1 / 来判明电网故障。假设电压降到额定电压的 80% 以下并持续 100ms 时, 它便与电网断开。电压的较低极限可在变频器参数表中额定电压中从 80% 到 90% 之间调整。大于 80% 额定电压不需要电网断开。根据发电机/变频器系统的运行点, 通过数字信号“输出减少”的方式, 变频器可要求管理系统电流输出减少。要求的输出减少量须经东汽和变频器供应商双方协商。而且, 变频器过载时可自我保护, 并有固有安全模式。变频器的基本模式已准备好做 TSS 的升级选项。经过东汽专门训练的员工可以完成升级任务。变频器软件参数可实现这种转换和激活。

3.13 扩展模式 (选项 C)

变频器的扩展模式能够根据电网连接/NO-2/, /NO-3/, /NO-16/的指导判明和响应网络的瞬间故障。电网连接指导描述了在高压电网或最高压下电网连接处的所需运行状态。在以下部分, 这些细节也可应用在 NS 电路 (变频器的电路连接端子)。电压和时间值可以由 Repower 来调整, 以便于将中间部件 (电缆、架空线路、变压器) 的相关电势差也考虑在内。

瞬时电压降落低于 80% 额定电压高于 15% 的额定电压时, 扩展模式允许变频器保持与电网连接。如果压降为 45% 额定电压以上, 短路器不会触发。无功输出消耗的瞬间补偿过程在电压回到第 2 象限之后的 400ms 完成。之后, 通过“电压支持”功能可实现控制无功输出的交换。而且, 在故障消除之后, 变频器可以风机控制系统的最少 20% 额定有功输出值的梯度增加至额定有功输出值。如果压降低于额定电压的 80% 的极限值, 变频器就会产生“电网瞬间故障”的数字信号。直到电压回升到 80% 的极限值或回升到另外的 15% 额定电压极限值时, 变频器才会消除此信号。如有必要, Repower 可以调整此极限值。

如果压降低于 15% 额定电压或超过故障排除所允许的最长时间 (最大 5 秒), 发电机/变频器系统将 与电网断开连接。在这种情况下, 达到正常的电网系统参数才能重新连接。消除故障的最长时间取决于各个剩余电压, 并通过以下电势梯度功能决定。在上下文中, 此电势梯度功能的电压使用范围从 15% 额定电压到 80% 额定电压。

$$t(u) = t_{\min} + t_{\max} \cdot \frac{u}{u_{\max}}$$

$$t_{\min} = 150\text{ms} \quad t_{\max} = 2850\text{ms} \quad u_{\max} = 80\% / U_n \quad u_{\min} = 15\% / U_n \text{ 到 } 80\% / U_n$$

由于电网瞬间故障变频器再同步时, 尽管发电机速度的变动范围最高达到 $\pm 100\text{rpm}$ 和频率 2-3Hz 时, 变频器仍能再同步。

扩展模式可用能够快速连续通过至少 2 级电势梯度的这样一种方式标定, 仍能保持

所必需的保护用可解除的充裕储备量。超过这第 3 种快速连续电压下降限值，发电机/变频器系统与电网断开。在这种情况下，封锁 15 分钟后电网可再连接。

3.14 增强需求的模式（选项 D）

增强需求的模式用于变频器电网连接端子瞬间压降为 0。此模式的空的要求与扩展模式相等。变频器制造商应提供此模式的概念和提议。

3.15 电压支持运行

如果压降在准稳定电压值的 90%（缺省值）以下，在变频器电网连接端子提供无功电流来支持电网电压。触发阈值可根据需要可从 0 到 100% 调整。最终，在故障确定后 20ms 之内，变频器可提供因数为 2%（缺省值）系统额定电流的无功电流给每一百分值电压降。因数可从 0 调到 10%。最大的无功电流由额定电流限定，可通过参数 0 到 100% 调整。缺省值设定为 100%。在切回到运行标准模式之前的至少 10 秒钟，变频器的可运行此功能。东汽可以 0.1 秒的增量从 0.1 调到 10 秒钟。缺省值设定为 3 秒。只在给定的触发极限超过一次以上时，才可以再触发。

电压支持功能是指变频器减少有功电流和/或有功输出。如果瞬间补偿过程根据第 2 象限的无功输出补偿实现，在电压回复之后不用 400ms 就可以完成。这些补偿过程之后，电压支持运行立即重新使用。

3.16 电网断开之后电压释放

电网断开后，定子转子电路立即切换到空载状态。8 分钟之内，变频器中间直流电环节放电到低电压保护值以下。

3.17 防雷击保护

按/NO-7（内部防雷击保护）/确定的给发电机和变频器设计恰当的浪涌保护器件。与其它防雷击保护区的界面必须装配适当的浪涌保护器件。

3.18 增加要求的防雷击保护（选项 E）

有雷击危险的场所装设防雷击保护综合设备是十分有用的。此选项包括变频器所有柜体内的电弧光监控和铜排用热缩管绝缘热缩管保护至发电机开关上一级电网侧的端子部件。如果电弧光监控系统触发，就会对直接动作回路断路器。

二.变频器技术数据

1.主电源电压	690V ± 10%
2.电网频率	50Hz ± 1%
3.矢量频率	6KHz-3 KHz
4.正式批准	prEN50179:1994/VDE0160 CE marking to Low Voltage Directive
5.变频器额定功率效率	>0.97
6.NPR 额定电流	305A
7.NPR 最大电流	510A(取决于温度)
8.MPR 额定电流	580A
9.MPR 最大电流	640A(取决于温度)
10.速度控制扭矩上升时间或传感器失灵时间	10ms
11.噪声	>82db(A)
12.过热温度停机	>82°C(散热器温度)
13.环境温度	
运行温度	-30°C....+50°C

生存温度	-40°C....+ 50°C
14.环境条件	
气候	
机械	
机械\运输	
15.冷却方式	空冷
16.海拔高度	1000 米
17.储存时间	重换电容器 2 年,40°C 以上最多 5 个月
18.保护等级	电力电子 IP21 控制器 IP54

三 . 箱变

1. 周围环境

海拔1000米以下。环境温度处于-40°C to +50°C (CCV) 温度范围内，最大湿度90%。靠风扇向户外大气散热。连续过载110%。要求所有电气设备在无电（热）源和环境温度-40°C情况下，持续_____小时（持续时间待三方商榷）的能够生存而不影响寿命和使用。

2. 变压器

2.1 密封树脂式变压器

根据VDE 0532 / DIN 42523 / IEC 60076，可以使用浇铸树脂式三相变压器。它必须装置可拆卸式机械车架和脚轮(可90°转向)，接地柱头螺栓、起重吊环和制动凸块。由风电场运行控制器监控温度。为此变压器安装了6个温度传感器（PTC阻抗）。每相使用了2个温度传感器（1个报警，1个跳闸），3个报警和3跳闸传感器两组串联接到运行控制器，然后被接到变压器的端子上。下列极限温度应用温度阈值：报警：130°C；跳闸：150°C。作为保护措施，如果风电机组运行控制器报警，功率就减少；控制器跳闸，立即导致风电机组关闭。

带PT100传感器的温度监控器随意地可用到的，而在这样情况下，每相安装一个PT100传感器。由风电机组运行控制器执行信号分析。

如果有故障，可能存在替换有缺陷线圈或风电机组现场塔内整个变压器。

技术资料，密封树脂式变压器

- 2.1.1 额定功率 1600 kVA (110% 连续, 年平均温度: 35°C)
- 2.1.2 额定频率 50 Hz, 60 Hz, __Hz (取决于中压电网)
- 2.1.3 额定中压 10 kV, 20kV, 30 kV, __ kV (取决于中压电网)
- 2.1.4 抽头 0% ± 2 × 2.5%
- 2.1.5 额定低压 690 V, 575 V (取决于工频)
- 2.1.6 联结组别 Dyn 5 (选择Dyn 11)
- 2.1.7 接线 : 3个中压的带扁平型的接线端子, 4个低压的带扁平型的接线端子。
- 2.1.8 接线端子位置: 中低压侧, 底部接线端子。
- 2.1.9 阻抗电压 6% (75° C)
- 2.1.10 总损耗 < 1.1% (75° C)
- 2.1.11 耐候等级 C 2 (待商榷)
- 2.1.12 阻燃等级 F1 (待商榷)
- 2.1.13 环境等级 E2 (待商榷)
- 2.1.14 冷却方式 干式自冷式
- 2.1.15 加热依据等级 F (155°C)

2.1.16 最大尺寸，根据下列图

2.1.17 温度报警 $3 \times$ (每相1个PTC 电阻) 串联接入, 阈限温度 130°C

2.1.18 温度跳闸 $3 \times$ (每相1个PTC 电阻) 串联接入, 阈限温度 150°C

2.2油浸变压器

供应商应当必须提供油浸变压器的可能方案。他们必须被设计成这样，以致于万一故障，箱变内部，线圈缺陷或整个变压器能替换。只要是靠螺纹连结完成的，变压器就允许解体。

接到变压器的中低压系统电缆被放置在地面上。油浸变压器在接近接线端子处必须安装电缆简易固定件。

如没有其它限制，根据有效规范，变压器连续过载 110% 额定功率。

2.2技术资料，油浸变压器：

2.2.1 额定功率 1600 kVA (+ 10% 连续, 年平均温度: 35°C)

2.2.2 额定频率 50 Hz

2.2.3 额定中压 30 kV , kV (取决于中压电网)

2.2.4 抽头 $0\% \pm 2 \times 2.5\%$

2.2.5 额定低压 690 V

2.2.6 联结组别 Dyn 5 (或Dyn 11)

2.2.7 3 个中压的带扁平型的接线端子，4个低压的带扁平型的接线端子。

2.2.8 中低压侧接线端子位置，底部接线端子。

2.2.9 总损耗 $< 1.1\%$ (75°C)

2.2.10 冷却方式 油浸自冷式

2.2.11 加热 65 K 线圈 / 60 K油温

2.2.12 保护 带触点的温度计 (测油温)

2.2.13 表面光洁度 耐盐雾盐雾试验大于 1000 小时

2.3 确定变压器型号

关于变压器的型号的选择有东方汽轮机厂来决定。这个决定是基于国家和当地的规范、客户的偏好和技术以及商业(问题等的)方面。

3. 中压开关设备

4. 低压配电

即使使用方案2中压开关设备或已装备外部补偿，单独需要低压配电。

如果要提供其它的补偿模块，必须首先经东方汽轮机厂正式批准。

5. 二次接线

6. 等电位联结端子板/接地

根据应用规范，靠风电机组的等电位联结端子板带标志接线，所有装置必须接地。风电机组的接地系统不能超过接地电阻

1Ω。如果靠风力发电机组的接地系统达不到对应的值，供货商一定靠其它接地极和相似的装置改进状况。

7. 雷电保护

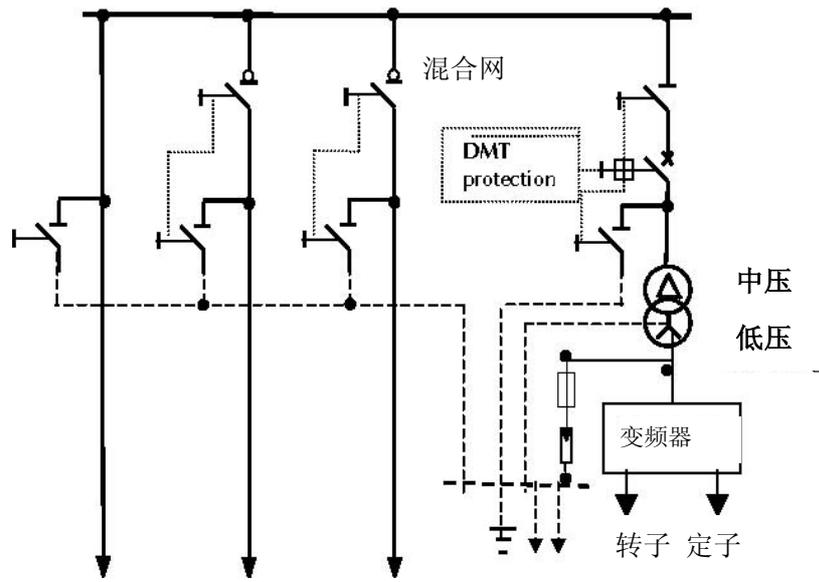
应当把变电站的防雷保护装置结合到整个风力发电场防雷保护装置设计中。应当装设防雷保护装置，接到变频器柜外边的低压侧（包括接线到所有的中压电涌分流器）。低电压电涌分流器通过熔丝断路器连到低压侧母线上。必须安装电涌分流器以致元器件的爆裂是安全的。

8. 安全和闭锁装置

9. 电气图

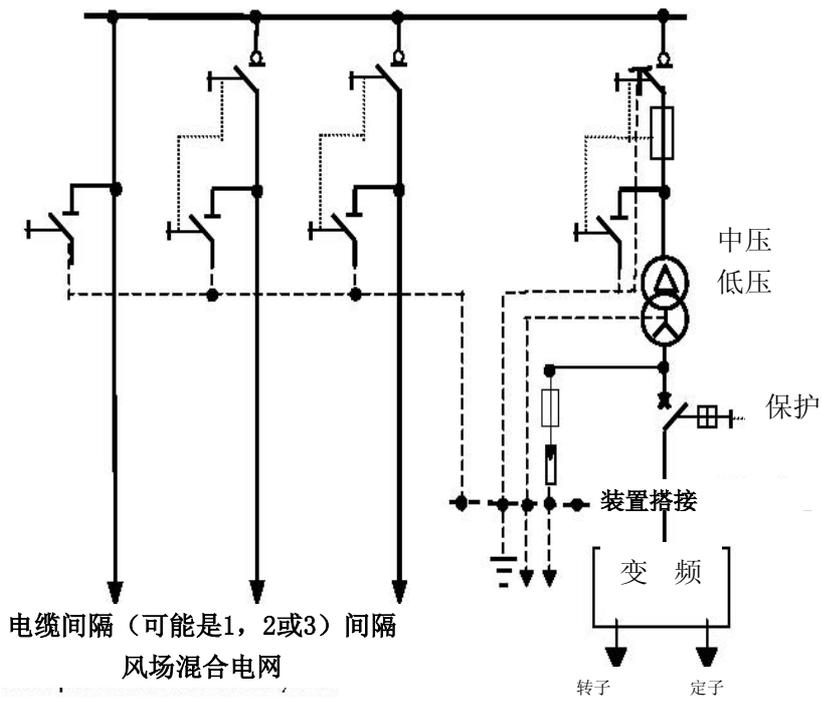
电网连接设备的主要重要元件显示在电路里。各电压水平首选方案 1 和方案 2。

方案 1:



电缆间隔（可能是1, 2或3）间隔
风场混合电网

方案2



电缆间隔（可能是1, 2或3）间隔
风场混合电网

