

The Harmonic of Variable Speed Constant Frequency Wind Power Generator Affect the Microprocessor Protection and Filtering

Xiao Kang¹, Zhongdong Ying², Changyin Zhang³

^{1,2}North China Electric Power University, Changping District, Beijing 102206, China

³Kaifeng, Henan province electric power supply company, Kaifeng District, Henan 475001, China

Abstract: The variable speed constant frequency wind power generator is used in many wind farms. Because the Power Electronics equipments are adopted, the harmonic filtering is becoming a important task. It is various that the harmonic affect the power system. This paper discuss the effect that the harmonic to the microprocessor protection of the primary power system, and how to filter the harmonic. Then simulation the DFIG attest the filter's function that to improve the wave of the current and voltage.

Key Word: variable speed constant frequency; harmonic; microprocessor protection; filtering

变速恒频风电系统中的谐波对系统微机保护的影响及其滤除

康 潇¹, 尹忠东², 张昌银³

^{1,2}华北电力大学,北京市昌平区,中国,102206

³河南省电力公司开封供电公司,河南省开封市,中国,475001

摘 要: 变速恒频风力发电系统成为现代各大风电场广为使用的风力发电设备。由于变速恒频系统中电力电子变频技术的应用,使得谐波问题成为有待解决的重要课题。谐波对系统的影响是多方面的,本文主要从谐波对于系统原微机保护的影响讨论了变速恒频风电系统中谐波的滤除方法,最后用PSCAD 仿真双馈异步发电系统验证了加入滤波装置后电气量的波形明显得到了改善。

关键字: 变速恒频; 谐波; 微机保护; 谐波滤除

1.引言

风力发电技术的研究和发展正在受到越来越多国家的重视,已经从早期的失速型定桨距风力发电机组发展到配合变桨距系统变速恒频运行的双馈型和直接驱动型风力发电机组。双馈异步风力发电机组由于励磁用PWM 变流器容量小于风力发电机组额定容量,降低了制造成本,成为当前风能开发利用中的主流发电机类型。双馈风力发电系统定子接电网或者直接接负载,在转子侧施加交流励磁来控制发电机的转矩。转子和电网之间需要有双向的能量流动,所以需要两个背靠背的四象限变流器,现在通常采用PWM 变流器。总体框图如图1所示。

现在较多采用电压型双PWM 背靠背变流控制发电机转子转速,利用发电机转差频率信号自动控制变流器调制波频率,同时控制调制波的幅值和相位,使变流器输出电压(转子励磁电压)频率达到转差频率,以控制

励磁电流的幅值和相位的控制来实现机组的优化运行。它不同于传统的变流器,PWM 变流控制会产生高次谐波和分数谐波,引起电压、电流的波形畸变和谐振。

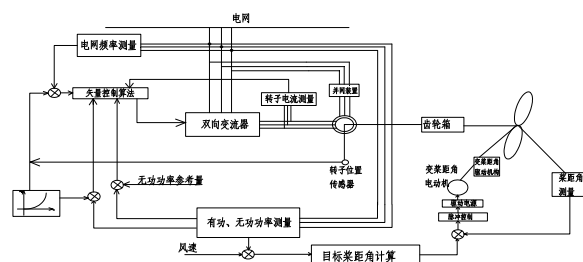


图1 PWM 总体框图

大量的变速恒频风力发电机组集中连接时,在大运行方式下,风电系统出现很大的谐波电压,对系统安全运行构成威胁,需采取措施来消除这些高次谐波。本文主要讨论谐波系统保护的影响,以及对PWM 谐波的滤

除。

2 无滤波装置的仿真

通过 PSCAD 仿真软件仿真无滤波装置时的双馈风力发电系统，

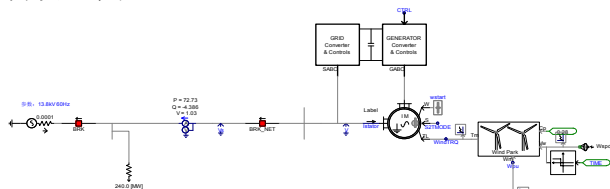
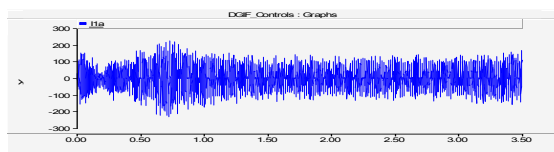


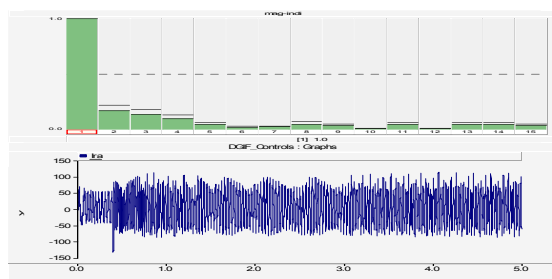
图2 双馈风力发电系统

仿真出网侧变流器交流侧的电流、电压波形和转子侧变流器交流侧电流电压波形如图3：（以a相为例）



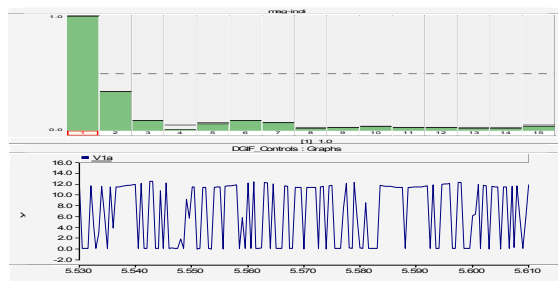
网侧交流侧电流

以a相为例仿真得到其各次谐波含量如下图



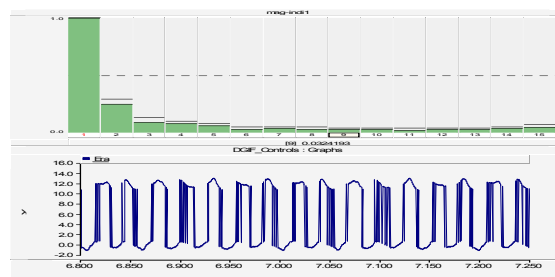
转子侧交流侧电流

以a相电流为例仿真得到各次谐波含量如下图



网侧交流侧电压

以a相电压为例仿真得到各次谐波含量如下图



转子侧交流侧电压

以a相电压为例仿真得到各次谐波含量如下图

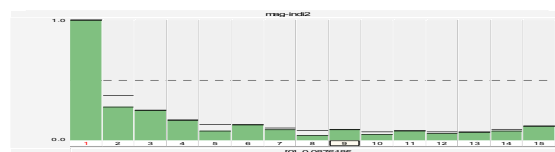


图3 变流器仿真图

3 谐波对电力系统保护的干扰

谐波会使保护继电器的动作特性畸变或降级。当存在谐波畸变时，数字式继电器和依靠采样数据或过零点编制的算法程序很容易出错。随着大型电力变流设备的增加，谐波对电力系统保护的干扰可能要成为一个潜在的问题。

3.1.系统故障情况下的谐波问题

当系统发生短路故障时，由于大容量并网风电场，也会向故障点提供短路电流。由于风电机组采用的PWM变频技术，因此所提供的短路电流中很可能含有谐波成分。

谐波对阻抗测量的影响更大，距离保护继电器通常是按输电线的基波阻抗进行整定的。当故障电流中含有谐波分量时，谐波电流将会造成很大的测量误差。在故障电流通过地电阻率很高的地方时，一般会造成高次谐波含量，所以必须设法滤除谐波，否则保护发生误动的可能性很大。

发生金属性故障时，基波分量是电流和电压的主要部分。但由于电流互感器饱和，副边的感应电流将发生畸变。如果原边波形的直流偏移很大，副边的感应电流将畸变更严重。所以这种情况要认真解决副边谐波电流问题。

3.2.电子继电器的异常动作

保护设备对系统正常负荷的不敏感性，对于谐波同样适用。在非故障情况下，波形的谐波含量不会产生问题。但是，在实际应用中，经常会遇到变频驱动设备动

作导致停机的情况。电流或电压波形快速出现畸变的情况下，继电保护也会发生跳闸动作。在变频驱动设备的应用中，由线电流严重不平衡所引起的3次谐波电流也可能导致继电保护误跳闸。

对采用快速算法的高速保护，谐波仍会带来些不利影响。谐波对变压器差动保护会有影响，差动电流速度和比率差动软件中采用全周傅氏算法，有较好的滤波。采用分相差动，穿越性谐波影响不大。

谐波会使线路保护振动闭锁动作，当真正故障发生后保护无法启动。

PWM产生的3次及其倍数谐波三相相位一致，与系统零序分量相同；3k-1次与负序分量相同，对采用零序或负序启动的保护会误动。

3.3.微机保护的滤波

现在的微机保护在硬件中有滤波单元，软件中采用数字滤波技术，可削弱谐波影响。数字滤波器如图4所示，它将输入模拟信号 $x(t)$ 经过采样和模数转换变成数字量后，进行某种数学处理以去掉信号中的谐波分量和直流分量无用成分，然后再经过数模转换得到模拟量输出 $y(t)$ ，然后在数字运算处理部分用数字化的数据进行保护运算，最后向外部输出信号。

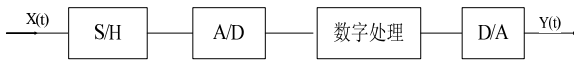


图4 数字滤波器

风力发电机组的控制部分会根据风速的变化来自自动调节，所以其电力电子设备产生的谐波是不确定的，而且风力发电机组并入的系统上的保护装置是已经安装好的，所以在不改变原系统上设备及保护的情况下抑制谐波的真实物理意义是将谐波具有的能量尽可能的用一个装置吸收，不让谐波进入系统或只有很少量的进入系统。最好在谐波源就地安装滤波装置，以减少谐波对电网的影响。

4 谐波的滤除

4.1.无源滤波器

无源滤波器的品质因数 Q 决定了调谐的程度，高品质因数型滤波器用于较低次的谐波，低品质因数型滤波器用于消除更高次的谐波。滤波器偏离调谐频率的失谐程度用因数 δ 表示。

$$Q = \frac{X}{R}$$

$$\delta = \frac{\omega - \omega_n}{\omega_n}$$

式中： X 、 R ——谐振时的电感（电容）电抗和电阻
 ω ——基波角频率
 ω_n ——谐振角频率

滤波器的容量实质上等于电容器供给的基频无功功率。设计滤波器最理想的是消除波形畸变造成的全部有害影响。但是这个理想的设计是无论从技术上还是经济上都很难实现，所以比较实际的做法是将公共连接点的谐波含量削弱到其他用户可接受的水平，也就是说将风场并入电网节点处的谐波含量削弱。

4.1.1 调谐滤波器

单调谐滤波器就是调谐在某谐波频率的RLC串联电路，如图5所示。

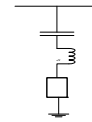


图5 单调谐滤波器

其阻抗为

$$Z_f = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

4.1.2 双调谐滤波器

双调谐滤波器基波功率损耗低，但其应用在高电压场合更多。若风场在出口220KV或110KV变电站滤波时，应用双调谐滤波器更好。如图6所示。

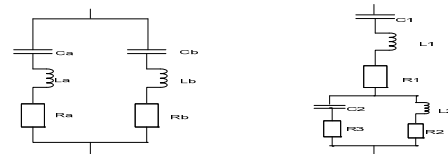


图6 双调谐滤波器

两个并联的单调谐滤波器若满足下列关系式可转化为双调谐滤波器

$$C_1 = C_a + C_b$$

$$C_2 = \frac{C_a C_b (C_a + C_b)(L_a + L_b)^2}{(L_a C_a - L_b C_b)^2}$$

$$L_1 = \frac{L_a L_b}{L_a + L_b}$$

$$L_2 = \frac{(L_a C_a - L_b C_b)^2}{(C_a + C_b)^2 (L_a + L_b)}$$

$$R_2 = R_a \left[\frac{\alpha^2 (1 - x^2)}{(1 + \alpha x^2)^2 (1 + x^2)} \right] + R_b \left[\frac{1 - x^2}{(1 + \alpha x^2)^2 (1 + x^2)} \right]$$

$$+ R_1 \left[\frac{(1 - x^2)(1 - \alpha x^2)}{(1 + \alpha x^2)^2 (1 + x^2)} \right]$$

式中

$$\alpha = \frac{C_a}{C_b} \quad x = \sqrt{\frac{L_b C_b}{L_a C_a}}$$

4.1.3 减幅滤波器

减幅滤波器有如图 8 四种形式

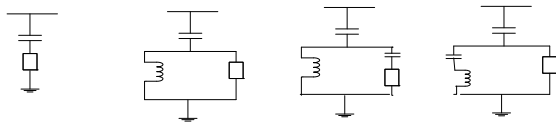


图 7 减幅滤波器

用于描述减幅滤波器性能的两个参数如下

$$f = \frac{1}{2\pi CR} \quad m = \frac{L}{R^2 C}$$

风电机组变频装置多采用两个三相 6 脉动 PWM 换流桥串联实现能量的双向流动。其谐波电流的次数为 $h = 6k \pm 1$ 。谐波电流为

$$\frac{I_h}{I_1} = \frac{2}{h} \sqrt{\frac{\sin^2[(h+1)\frac{r}{2}] + \sin^2[(h-1)\frac{r}{2}] - 2\sin[(h+1)\frac{r}{2}]\sin[(h-1)\frac{r}{2}]\cos(2\alpha+r)}{(h+1)^2 + (h-1)^2 - \frac{(h+1)(h-1)}{\sin^2(2\alpha+r)\sin^2 r + [r - \cos(2\alpha+r)\sin r]^2}}$$

I_h —— h 次谐波电流 I_1 —— 基波电流
 α —— 可控硅触发角 r —— 换相重叠角

传统的滤波器接入设计用在现在非线性设备功率很大的电力电子谐波的滤除上可能会导致谐波的不稳定。所以现在开始了先进的方法，如谐波域法、时域法和传统的时域频域混合法。

- (1) 谐波域法采用全牛顿法表达式，在运行点附近将非线性分量线性化。
- (2) 直接时域法可以计算稳态电压、电流波形以及谐波水平，可有效的处理复杂的非线性设备及其控制器。
- (3) 混合算法利用了频域法和时域法可分别表示线性和非线性分量的优点。

4.2.有源滤波器

有源滤波器利用大功率开关器件和 PWM 控制技术来抑制谐波和补偿无功功率。有串联型和并联型两种。

4.2.1 并联型有源电力滤波器

并联型有源电力滤波器是应用最广的有源电力滤波器，其原理框图 8

通常并联型有源电力滤波器与无源高通滤波器合用，无源高通滤波器滤除高次谐波，并联型有源电力滤波器滤除幅值较大的低次谐波。并联型有源电力滤波器的接入点应遵循何处产生谐波就在何处补偿力求补偿

效果最好。

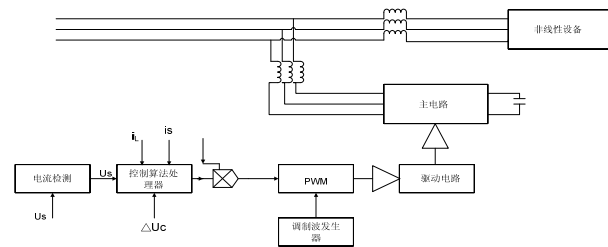


图 8 并联有源电力滤波器

4.2.2 串联型有源电力滤波器

当电力系统电压发生波动时，串联型有源电力滤波器可以产生补偿电压，使负载电压不受系统电压波动的影响而保持稳定。其原理结构图 9 所示。

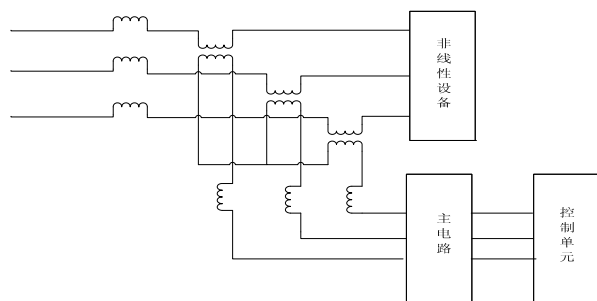


图 9 串联有源电力滤波器

串联滤波器的作用是防止逆变器功率开关管运行时产生的特征谐波叠加到负载侧，同时也可防止该特征谐波干扰网侧电压。

将并联型有源滤波器与串联型有源滤波器结合起来，可以补偿非线性负载产生的谐波电流，并防止谐波电流馈送到网侧，又可以补偿网侧产生的谐波电压。防止网侧的谐波电压对负载电压造成影响，使负载电压为稳定的基波电压。

随着高度可控的电力电子设备的不断增加，系统阻尼的缺乏会逐渐加剧，所以有源滤波器会越来越的被使用。有源滤波器和无源滤波器组合使用，可更有效的消除非线性设备产生的谐波分量。当采用串联型有源滤波器时，无源滤波器吸收非线性设备产生的谐波电流，有源滤波器阻塞谐波电流双向传送。组合实用使无源滤波器和交流系统的阻抗隔离，提高了它们的吸收谐波的能力同时降低了发生过载的可能。并联有源滤波器通过电磁补偿的方法消除变流器电流的谐波。无功功率补偿和谐波主要由无源滤波器来完成，有源滤波器的作用是改善无源滤波器的谐波特性。这样，即克服了无源滤波

器与电网阻抗难于匹配和易发生谐振的缺点,又可将小容量的有源滤波器用于大容量场合。

5 加入滤波装置后的仿真

在原有的双馈异步风电系统的PWM控制部分加入滤波装置后,网侧及转子侧电流电压波形图如图10(以a相为例)

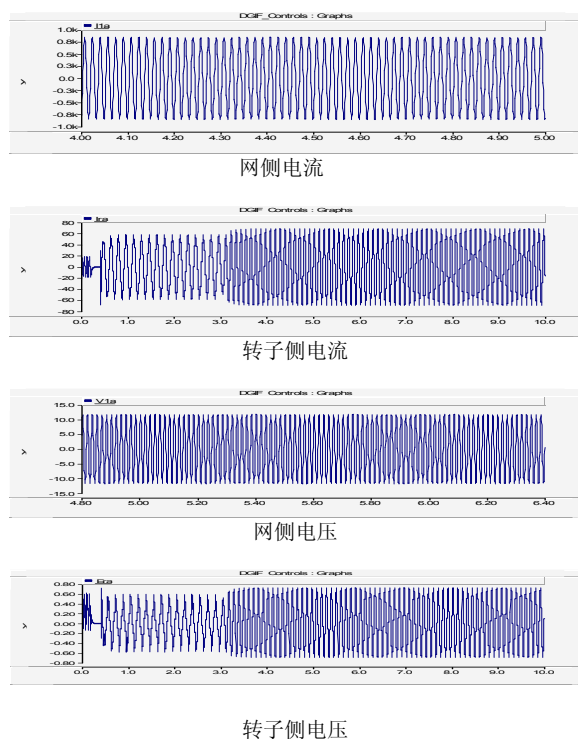


图10 滤波后仿真图

将加滤波器后的波形图与文章开头时的波形比较可明显看出谐波滤除的效果。

6 总结

谐波问题是有关电力系统电能质量的一个重要问题,大容量的风电场的建立势必会造成大量的谐波。风场能否安全并网的因素是多方面的,谐波也是其中之一。本文从谐波对系统保护的影响方面讨论了谐波的滤除,在不改变系统原有保护的情况下,最好的方式还是在谐波的根源处将其滤除,除了广泛采用的无源电力滤波器外,有源电力滤波器与其结合适用是滤除谐波的最好方法。

References (参考文献)

- [1] Lu S L. Application of DFT Filter Bank to Power Frequency Harmonic Measurement [J]. IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 2005, 152(1):132-136.
- [2] PENA R, CLARE J C, ASHER G M. A doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters supplying an isolated load from a variable speed wind turbine. IEE Proceedings: Electric Power Applications, 1996, 143(3):2312-241.
- [3] Pena R, Clare J C, Asher G M. A doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters supplying an isolated load from a variable speed wind turbine [J]. IEE Proc-Electr Power Appl, 1996, 143(5): 380-387.
- [4] Li D, Tsividis Y. Design Techniques for Automatically Tuned Integrated Gigahertz-range Active LC Filters [J]. IEEE Sol. Sta. Circ., 2002, 37, 37 (8): 967-977.
- [5] Kumar A, Das B, Sharma J. Robust Dynamic State Estimation of Power System Harmonics [J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2006, 28(1):65-74.
- [6] Kanao N, Yamashita M, Yanagida H, et al. Power System Harmonic Analysis Using State-Estimation Method for Japanese Field Data [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2005, 20(2):970-977.