

文章编号: 1000-5013(2007)02-0127-04

11 相无刷励磁机故障工况的谐波分析

姚若苹, 余尤好, 陈培民, 卢小芬, 杨冠鲁

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 采用快速傅里叶变换(FFT), 分析 11 相无刷励磁机样机故障工况的谐波问题, 给出输出负载电压的直流分量、基波和 25 次以下的谐波计算结果. 结果表明, 断相故障下, 负载电压各次谐波有相似的变化规律, 但断开的相数不同, 总谐波畸变率不相同; 一相断开运行, 负载电压与一个二极管支路断开负载电压的谐波变化规律不同; 二极管支路短路时, 负载电压总谐波畸变率相当严重.

关键词: 谐波分析; 无刷励磁机; 快速傅里叶变换; 故障诊断

中图分类号: TM 331.07+1; TM 311

文献标识码: A

近年来, 出现了一种新型的励磁方式——无刷励磁系统, 美国西屋公司首次成功地应用三相无刷励磁系统于大型汽轮发电机上, 世界上各工业发达国家均纷纷发展自己的无刷励磁机系列^[1]. 文[2]进行了 11 相无刷励磁机的整流二极管故障和断相故障工况的数字计算, 为无刷励磁机的故障工况的研究奠定了基础. 多相无刷励磁机整流二极管换相频繁, 过渡过程较为剧烈, 这使多相无刷励磁机的电压电流的高次谐波含量更为丰富. 幅度较大的高频谐波使整流二级管易于损坏, 使绕组绝缘易于损坏和对环境造成较大的电磁干扰. 本文讨论 11 相无刷励磁机故障工况的谐波问题, 采用快速傅里叶变换(FFT)对 11 相无刷励磁机的谐波进行分析.

1 波形畸变指标

定量表示电机电压电流波形的畸变程度, 可采用文[3-4]各次谐波含量及谐波总量大小表示的波形畸变指标. 因此, 定义第 h 次谐波电压含有率为

$$H_{RU,h} = U_h / U_1 \times 100\%. \quad (1)$$

国际电工委员会(IEC)为了统一各国电气标准和规范, 正陆续制定电磁兼容(EMC)61000 系列标准, 使得处于同一电磁环境中的设备都是“兼容”的. 即一个设备、装置和系统在其电磁环境中满意地执行其功能, 而又不向该环境中的任何其他实体引入不被允许的电磁扰动. 据《GB/T 14549-93 电能质量 公用电网谐波》规定, 0.38 kV 等级电网电压总谐波畸变率不得超过 5%, 奇次谐波电压含有率不得超过 4%, 偶次谐波电压含有率不得超过 2%, 以此作为励磁机谐波分析指标的参考依据.

2 谐波计算

针对文[2]的 11 相无刷励磁机样机故障工况下的电压、电流实验值, 采用 FFT 进行谐波分析. 该励磁机的主要特征为 10 极, $3\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 不对称斜气隙磁极, 77 槽, 电枢绕组为双波绕组, 11 相, 多边形联接, 二极管全波整流.

2.1 一个二极管支路断开负载电压的谐波

当励磁机一个二极管支路断开时, 其负载电压 u_L 的实测波形如图 1 所示, 谐波计算结果如表 1 所示(n 为谐波次数). 从计算结果可以看出, 当 11 相无刷励磁机的一个二极管支路断开时, 负载电压的谐

收稿日期: 2006-06-28

作者简介: 姚若苹(1952-), 女, 讲师, 主要从事电机运行分析与检测的研究. E-mail: lwt@hqu.edu.cn.

基金项目: 国务院侨办科研基金资助项目(03QZR07; 04QZR04)

波与正常运行时的负载谐波相比明显增大,其总谐波畸变率约为 6.35%,超出了有关规定值.其中,22 次谐波的谐波电压含有率最大,达 3.242 6%.其次,1,2,3,4 次谐波电压含有率也较大.

表 1 一个二极管支路断开负载电压谐波

Tab. 1 The harmonic of the load voltage with the open circuit of one of diodes

n	U/V	$H_{\text{RU},h}/(\%)$	n	U/V	$H_{\text{RU},h}/(\%)$	n	U/V	$H_{\text{RU},h}/(\%)$
0	44.402 00		9	0.368 78	0.830 55	18	0.306 94	0.691 28
1	0.902 07	2.031 60	10	0.562 43	1.266 70	19	0.045 75	0.103 04
2	1.139 30	2.565 90	11	0.601 71	1.355 10	20	0.096 73	0.217 85
3	1.066 50	2.401 90	12	0.464 36	1.045 80	21	0.269 20	0.606 28
4	0.777 44	1.750 90	13	0.329 74	0.742 62	22	1.439 80	3.242 60
5	0.356 88	0.803 75	14	0.174 64	0.393 32	23	0.391 23	0.881 11
6	0.312 11	0.702 92	15	0.084 26	0.189 76	24	0.303 60	0.683 75
7	0.189 47	0.426 72	16	0.068 07	0.153 31	25	0.054 86	0.123 56
8	0.357 88	0.806 00	17	0.170 15	0.383 20			

2.2 一相退出运行负载电压的谐波

当励磁机一相退出运行时,其负载电压的实测波形如图 2 所示,谐波计算结果如表 2 所示.从分析的数据可知,11 相无刷励磁机一相退出运行时,负载电压谐波与正常运行时相比出现很大变化,特征最明显的是,偶次谐波的谐波电压含有率比相邻的奇次谐波电压含有率大得多.2 次谐波的电压含有率最

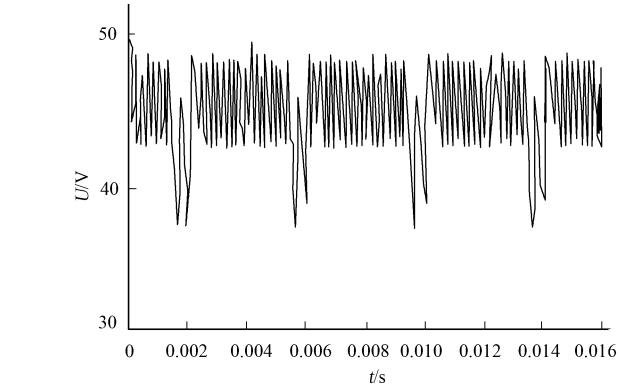


图 1 一个二极管支路断开负载电压

Fig.1 The load voltage with open circuit of one of diodes

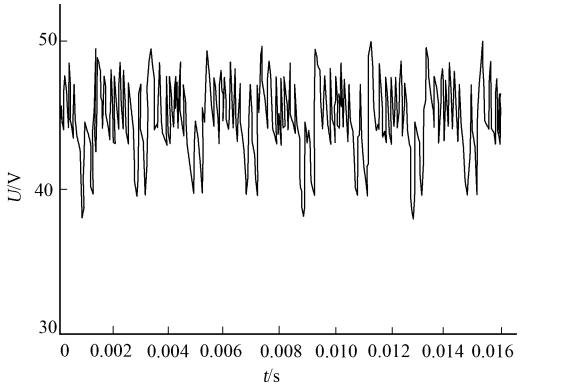


图 2 一相退出运行负载电压

Fig.2 The load voltage with out away of one phase of bridges

突出,达到 3.937 9%,其总谐波畸变率为 6.652 2%,已超出规定值.

表 2 一相退出运行负载电压谐波

Tab.2 The harmonic of the load voltage with out away of one phase of bridges

n	U/V	$H_{\text{RU},h}/(\%)$	n	U/V	$H_{\text{RU},h}/(\%)$	n	U/V	$H_{\text{RU},h}/(\%)$
0	44.333 00		9	0.298 77	0.673 92	18	0.373 62	0.842 76
1	0.249 24	0.562 20	10	0.871 81	1.966 50	19	0.161 42	0.364 11
2	1.745 80	3.937 90	11	0.367 59	0.829 16	20	0.187 35	0.422 60
3	0.238 24	0.537 39	12	0.795 01	1.793 30	21	0.347 25	0.783 28
4	1.583 30	3.571 40	13	0.122 68	0.276 72	22	0.593 31	1.338 30
5	0.182 31	0.411 23	14	0.232 63	0.524 73	23	0.180 82	0.407 87
6	0.219 61	0.495 36	15	0.054 20	0.122 26	24	0.511 74	1.154 30
7	0.115 83	0.261 27	16	0.113 71	0.256 49	25	0.082 713	0.186 57
8	0.487 34	1.099 30	17	0.123 31	0.278 14			

2.3 两相退出运行负载电压的谐波

当励磁机两相退出运行时,其负载电压的实测波形如图 3 所示,谐波计算结果如表 3 所示.从分析的数据结果可以看出,11 相无刷励磁机两相退出运行时,负载电压总谐波畸变率为 12.480%,大大超出了有关规定值.负载电压谐波与一相退出运行时的谐波变化规律相似,但 2 次谐波的电压含有率增加更多,总谐波畸变率接近一相退出运行时总谐波畸变率的 2 倍.

表 3 两相退出运行负载电压谐波

Tab. 3 The harmonic of the load voltage with out away of two phases of bridges

<i>n</i>	<i>U</i> /V	<i>H</i> _{RU,h} / (%)	<i>n</i>	<i>U</i> /V	<i>H</i> _{RU,h} / (%)	<i>n</i>	<i>U</i> /V	<i>H</i> _{RU,h} / (%)
0	42.618 000		9	0.012 493	0.029 31	18	0.542 600	1.273 20
1	0.012 820	0.030 08	10	0.798 330	1.873 20	19	0.006 217	0.014 59
2	4.227 600	9.919 80	11	0.015 178	0.035 61	20	0.670 620	1.573 60
3	0.008 086	0.018 97	12	0.045 493	0.106 75	21	0.006 166	0.014 47
4	1.394 900	3.273 00	13	0.012 745	0.029 91	22	1.036 200	2.431 40
5	0.015 341	0.036 00	14	0.683 470	1.603 70	23	0.001 968	0.004 62
6	1.728 000	4.054 60	15	0.010 649	0.024 99	24	0.153 950	0.361 23
7	0.002 655	0.006 23	16	0.932 950	2.189 10	25	0.000 515	0.001 21
8	1.300 400	3.051 30	17	0.008 051	0.018 89			

2.4 三相退出运行负载电压的谐波

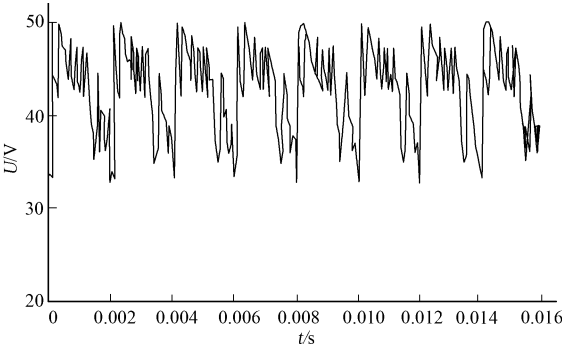


图 3 两相退出运行负载电压

Fig. 3 The laod voltage with out away of two phases of bridges

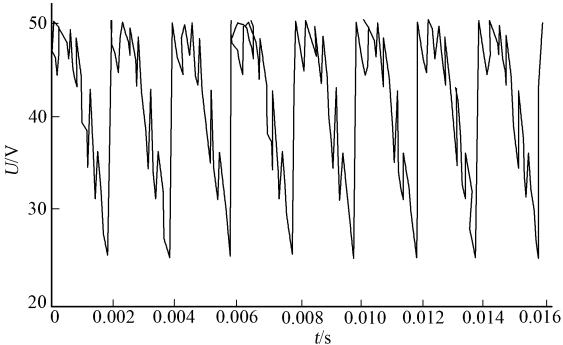


图 4 三相退出运行负载电压

Fig. 4 The load voltage with out away of three phases of bridges

当 励磁机三相退出运行时, 其负载电压的实测波形如图4所示, 谐波计算结果如表4所示. 从分析

表 4 三相退出运行负载电压谐波

Tab. 4 The harmonic of the load voltage with out away of three phases of bridges

<i>n</i>	<i>U</i> /V	<i>H</i> _{RU,h} / (%)	<i>n</i>	<i>U</i> /V	<i>H</i> _{RU,h} / (%)	<i>n</i>	<i>U</i> /V	<i>H</i> _{RU,h} / (%)
0	41.107 000		9	0.058 206	0.141 60	18	1.147 400	2.791 30
1	0.049 630	0.120 73	10	1.431 700	3.482 90	19	0.022 553	0.054 86
2	8.312 500	20.222 00	11	0.035 178	0.085 58	20	1.171 300	2.849 40
3	0.010 232	0.024 89	12	1.375 100	3.345 20	21	0.013 119	0.031 91
4	2.344 000	5.702 20	13	0.032 082	0.078 05	22	0.546 460	1.329 40
5	0.039 756	0.096 71	14	0.242 790	0.590 63	23	0.013 587	0.033 05
6	1.824 300	4.437 90	15	0.033 170	0.080 69	24	0.438 060	1.065 70
7	0.029 925	0.072 80	16	0.456 700	1.111 00	25	0.014 112	0.034 33
8	1.746 200	4.247 90	17	0.036 638	0.089 13			

的数据结果可看出, 11 相无刷励磁机三相退出运行时, 其总谐波畸变率为 22.869%, 远远超出有关规定值. 负载电压谐波与两相退出运行负载电压谐波变化规律相似. 由于 2 次谐波的电压含有率更进一步增大, 因而总谐波畸变率接近一相退出运行时总谐波畸变率的 3 倍.

2.5 一个二极管支路短路负载电压的谐波

当励磁机的一个二极管支路短路时, 其负载电压的仿真波形如图 5 所示, 谐波计算结果如表 5 所示. 从分析的数据结果可以看出, 11 相无刷励磁机一个二极管支路短路时, 负载电压的谐波畸变情况非常严重, 总谐波畸变率为 62.23%, 各次谐波的电压含有率分别与断相

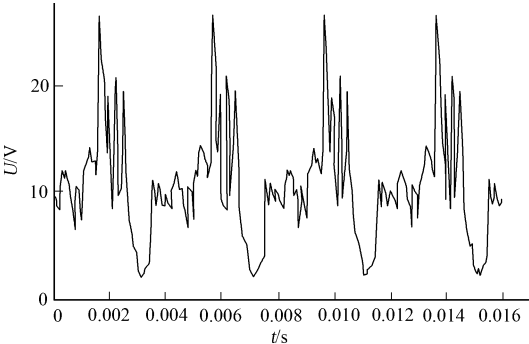


图 5 一个二极管支路短路负载电压

Fig. 5 The load voltage with short circuit of one of diodes

运行故障时各谐波的电压含有率比较, 数值远远增大.

表 5 一个二极管支路短路时的负载电压谐波

Tab. 5 The harmonic of the load voltage with short- circuit of one of diodes

<i>n</i>	<i>U</i> /V	<i>H_{RU,h}</i> /(%)	<i>n</i>	<i>U</i> /V	<i>H_{RU,h}</i> /(%)	<i>n</i>	<i>U</i> /V	<i>H_{RU,h}</i> /(%)
0	10.191 000		9	0.643 020	6.309 70	18	0.495 430	4.861 40
1	4.553 900	44.686 00	10	0.631 230	6.194 00	19	0.095 901	0.941 04
2	3.009 800	29.534 00	11	0.365 770	3.589 10	20	0.103 040	1.011 10
3	0.906 220	8.892 40	12	0.257 670	2.528 40	21	0.381 070	3.739 30
4	1.614 600	15.843 00	13	0.352 120	3.455 20	22	0.135 830	1.332 80
5	0.754 100	7.399 70	14	0.669 450	6.569 00	23	0.304 030	2.983 30
6	1.511 000	14.827 00	15	0.965 510	9.474 10	24	0.091 916	0.901 93
7	0.696 540	6.834 90	16	0.500 430	4.910 50	25	0.060 705	0.595 67
8	0.332 790	3.265 50	17	0.496 560	4.872 50			

3 结束语

本文在 11 相无刷励磁机分别经受一个二极管支路断开、一相退出运行、两相退出运行、三相退出运行和一个二极管支路短路五种故障工况时, 对其负载电压进行谐波分析. 所得的结果为多相无刷励磁机的故障诊断及检测, 提供了有实用价值的分析依据.

参考文献:

[1] 徐 松, 高景德, 郑逢时. 同步发电机半导体整流系统分析综述[J]. 电工电能新技术, 1992, 11(2): 15- 20.
[2] 贾小川, 励庆孚, 陈世坤, 等. 11 相无刷励磁机故障工况数字仿真研究(一)、(二) [J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(2): 148- 152, 123; 1998, 18(3): 212- 216, 199.
[3] 宋文南, 刘宝仁. 电力系统谐波分析[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995: 130- 135.
[4] 吕润徐. 电力系统高次谐波[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998: 166- 184.

Harmonic Analysis of the Fault Cases in 11-Phase
Brushless Exciter Based on FFT

YAO Ruo-ping, YU You-hao, CHEN Pei-ming,
LU Xiao-fen, YANG Guan-lu

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: This paper analyzes the harmonic of fault cases of a 11-phase brushless exciter based on FFT (fast Fourier transformation). The DC component and AC components till 25th harmonic for the loaded voltage are studied. The results show that the harmonics of the loaded voltage have similar variation law with out away of different phases of bridges. But with out away of different phases of bridges, the total distorted rates of the harmonics are different. The variation laws of the harmonics for loaded voltage with out away of one phase of bridges and with open circuit of one of diodes are different. The total distorted rate of the harmonics is serious with short circuit of one of diodes.

Keywords: harmonic analysis; brushless exciter; FFT; trouble diagnosis

(责任编辑: 黄仲一)