

同步发电机叠加强励励磁系统的强励特性分析研究

刘念¹ 谢驰¹ 赵欣² 潘荣超² 黄大可³

(1. 四川大学锦城学院新能源工程系, 四川 成都 611731; 2. 四川大学电气工程系, 四川 成都 610065; 3. 中国长江电力股份有限公司, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 研究同步发电机叠加强励励磁系统的强励能力, 建立叠加强励励磁系统的仿真模型, 并与传统自并励励磁系统进行对比分析, 然后构造具有叠加强励励磁系统的发电机 35 kV 电缆输电线路模型。仿真分析结果表明叠加强励励磁系统的强励能力优于传统自并励励磁系统, 且强励过电压不会对发电厂输电电缆绝缘造成影响。

关键词: 叠加强励; 自并励系统; 强励特性; 仿真模型

Abstract: It focuses on the strong excitation ability of superposition strong excitation system for synchronous generator, and a simulation model of superposition strong excitation system is established, which is compared with the traditional self-shunt excitation system. Then the model of 35 kV cable transmission line with the superposition strong excitation system is constructed for the synchronous generator. The simulation result shows that the superposition strong excitation system is better than the traditional one under the forced excitation, and there is not any over-voltage influence on the cable insulation.

Key words: superposition strong excitation; self-shunt excitation system; strong excitation characteristic; simulation model

中图分类号: TM311 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)06-0020-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.06.005

0 引言

同步发电机的励磁系统对电力系统稳定起着重要的作用, 优良的励磁系统不仅可以保证发电机安全运行, 提供合格的电能, 而且还能改善电力系统的稳定条件^[1-3]。而传统的采用功率整流桥的自并励励磁系统, 为满足机端电压下降的情况得到足够的强励, 励磁系统晶闸管整流器必须处于深度控制状态, 其承受较大的换相电压, 特别在强励方式下, 传统的自并励励磁系统的运行效率非常低^[4]。随着发电机组的容量不断增大、输电距离不断增长和电网电压等级的提高, 发电输电系统更加重视励磁系统的高顶值倍数^[5-6]。

现代叠加强励励磁系统, 即一种具有叠加强励能力的自并励励磁系统, 更加符合发电和输电的安全性、可靠性和节能环保要求^[7-8]。针对叠加强励励磁系统的强励特性, 重点研究同步发电机叠加强励励磁系统的强励能力, 建立叠加强励励磁系统的仿真模型, 并与传统自并励励磁系统进行对比分析, 最后构造具有叠加强励励磁系统的发电机及 35 kV 电缆输电线路模型, 完成 35 kV 电缆输电线路在发

电机叠加强励励磁系统产生误强励下的过电压仿真分析计算。

1 叠加强励励磁系统工作原理

叠加强励励磁系统的结构如图 1 所示。与传统自并励励磁系统相较而言, 在其基础上将励磁变压器 ZLB 由双绕组改为 3 绕组, 并引入强励变压器 QLB。通过电子开关 K 和励磁变压器 ZLB 第 3 绕组连接, 将事故强励部分采用叠加方式进行投入, 并将不太常用的强励功能转为离线备用。

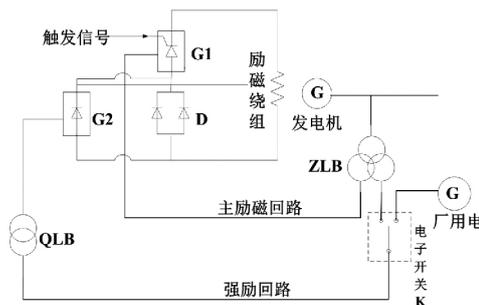


图 1 叠加强励励磁系统的结构
发电机额定工况时, 励磁变压器 ZLB 的二次绕组提供励磁电, 三次绕组侧空载, 主励磁回路整流桥

G1 工作, 强励回路主流桥 G2 不工作, 即强励未投入运行, 整个励磁回路的工作回路与传统自并励励磁回路一致, 可通过调节主桥的触发角来适当调整机端电压。

当系统出现较大扰动如三相接地短路时, 发电机机端电压将会产生大幅度的降落。为了维持电力系统的电压稳定必须对同步发电机进行强行励磁。此时需投入强励变压器 QLB, 并联的二极管 D 截止, 主桥 G1 和强励桥 G2 串联运行, 二者的电压叠加输出励磁电压, 提供比原传统自并励励磁方式更高的顶值电压(强励电压)倍数; 并避免了原传统方式的主桥触发角深控问题, 且降低了励磁变压器的容量, 具有较高的经济效益^[8]。

2 误强励时励磁系统仿真分析

同步发电机组机端电压在正常范围内运行, 机组强行进行励磁, 致使机端电压过高, 这一强励过程当属异常强励过程即误强励。在图 1 电路的基础上, 构建的叠加强励励磁系统误强励回路与传统自并励励磁系统误强励回路如图 2 和图 3 所示。

在 Matlab 中进行仿真, 仿真过程中, 将仿真时间设置为 40 s, 前 20 s 保持正常状态运行, 机端电压保持不变, 即 6.3 kV, 主桥阳极电压 300 V, 当 20 s 时, 将整流桥触发角由 60° 降至 10°, 机组开始强行励磁即出现模拟的误强励环境, 至 40 s 结束, 仿真后可得到励磁绕组的励磁电压和励磁电流。

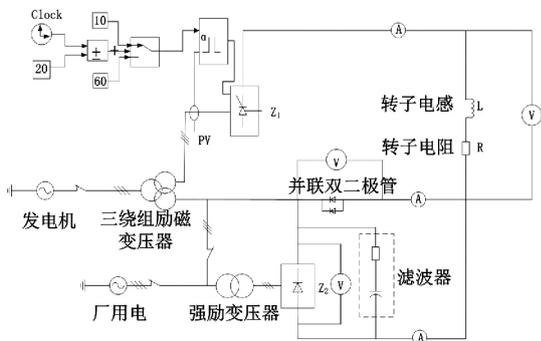


图 2 叠加强励励磁方式误强励励磁主回路

仿真得到的两组励磁绕组电压和励磁电流放在同一坐标系下进行对比分析, 如图 4、图 5 所示。其中线段 A 是叠加强励励磁系统, 线段 B 是传统自并励励磁系统, 可以看出叠加强励励磁系统发生误强励时, 在主桥无故障的情况下能够将励磁电压进

行回调, 仍然能保持机端电压稳定; 且误强励时励磁电压和励磁电流均比传统自并励励磁方式小的多。这说明叠加强励励磁系统在误强励时的风险比传统自并励励磁系统更小, 这也是叠加强励励磁系统的优点之一。

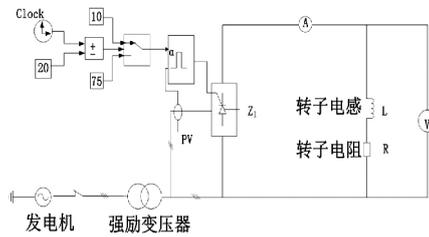


图 3 传统自并励励磁方式误强励励磁主回路

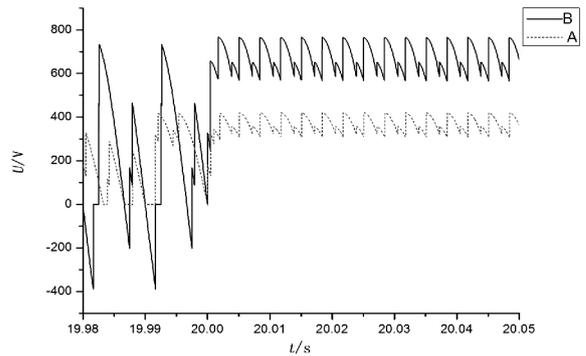


图 4 励磁绕组励磁电压 (部分时间段)

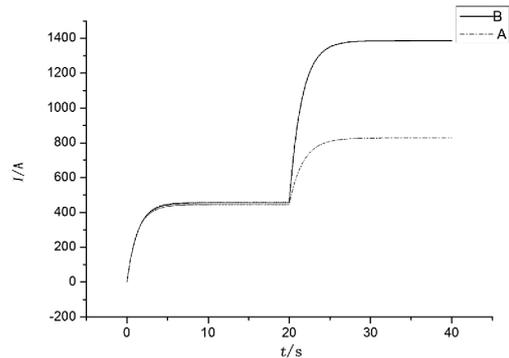


图 5 励磁绕组电流

3 误强励导致输电线路过电压的分析

为了研究励磁方式对输电线路的影响, 对实际线路进行了仿真, 建立了发电机输变电路模型, 如图 6 所示。根据图 6 所给出的模型, 在 Matlab 软件下进行仿真, 在空载和负载情况下测量发电机励磁、机端和电缆上的电压, 并检验 35 kV 电缆能否承受由于叠加强励导致的过电压。

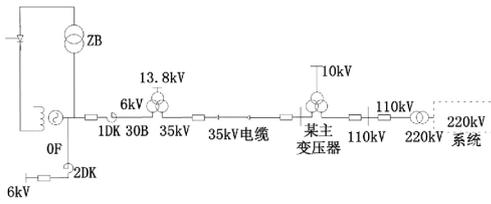


图6 发电机35 kV 电缆输电线路模型

当35 kV 电缆输电线路空载运行时,对于叠加强励,采用等效代替法。假设模型起初的运行情况为自并励运行,初始顶值电压倍数为1,故障发生后,顶值电压倍数可达到2倍,并以此电压强励倍数作为新的顶值电压倍数加在励磁绕组上。对于空载情况是最简单情况,当发电机机端电压标么值为1时,其转子电压标么值也为1。仿真时间为50 s,假设10 s后发生误强励,30 s后误强励截止,50 s后仿真结束。仿真结果如图7至图9所示。

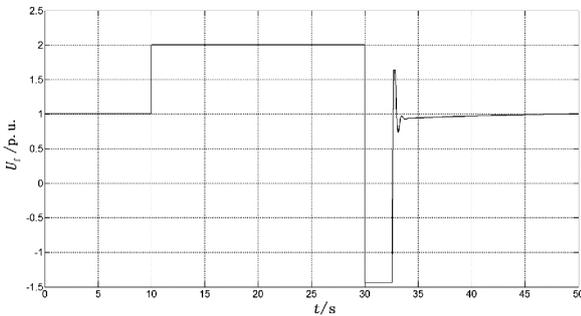


图7 发电机空载时励磁电压

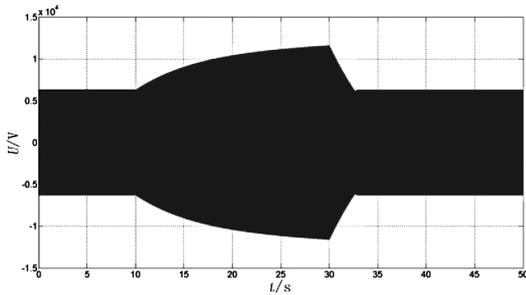


图8 发电机空载时机端电压

图7中,起初励磁电压为1 p.u.,误强励后励磁电压上升至2 p.u.,直至30 s后误强励去除,励磁电压逐渐放回到1 p.u.。图8中,机端额定电压为6.3 kV,当发生误强励后,机端电压达到11.6 kV,过电压倍数为 $11.6/6.3 = 1.84$ 。图9中,电缆额定电压为35 kV,当发生误强励后,电缆线电压达到68.1 kV,过电压倍数为 $68.1/35 = 1.84$ 。

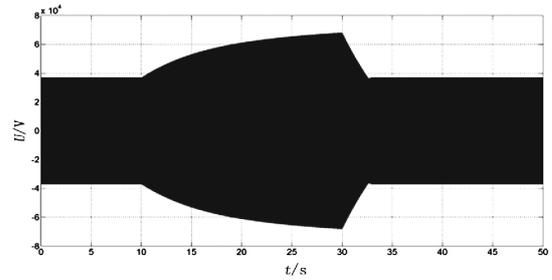


图9 发电机空载时35 kV 电缆电压

当35 kV 电缆输电线路负载运行时,增添的负载为 $P = 2 \times 10^6 \text{ W}$ $Q = 1 \times 10^6 \text{ var}$ $V_f = 1.06701 \text{ p.u.}$,在误强励的情况下进行仿真,仿真结果如图10至图12所示。

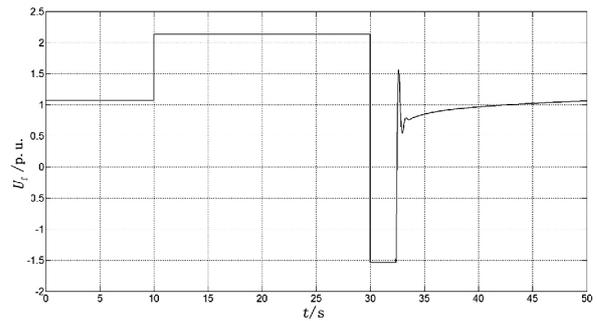


图10 发电机负载时励磁电压

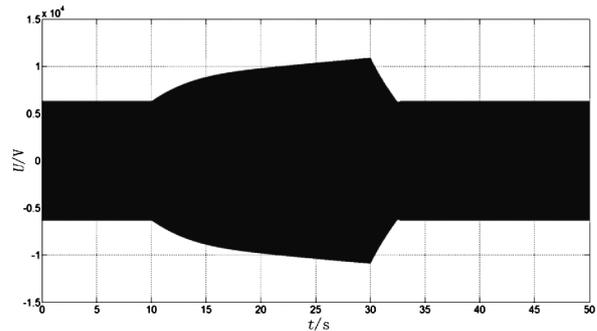


图11 发电机负载时机端电压

图10中,一开始,励磁电压为1.06701 p.u.,误强励后励磁电压上升至2.13402 p.u.,直至30 s后误强励去除,励磁电压逐渐放回到1.06701 p.u.。从图11可知,误强励导致发电机机端电压升高,机端电压过电压倍数为 $10.9/6.3 = 1.72$ 。从图12可知,误强励导致电缆电压升高,过电压倍数为 $62.7/36 = 1.72$ 。

由上述分析可见,当增添负载后,误强励导致的机端和电缆的过电压倍数和空载时相比变小。

为了使研究问题一般化,采用不完全归纳法研究负载时误强励导致的过电压倍数和空载时相比确

表1 不同负载下误强励导致的过电压

负载参数/(W, var)	$V_f/(p.u.)$	$2V_f/(p.u.)$	机端过电压倍数	电缆过电压倍数
$P=0, Q=0$	1	2	11 605/6 300 = 1.84	68 084/36 950 = 1.84
$P=2 \times 10^6, Q=1 \times 10^6$	1.067 01	2.134 02	10 864/6 300 = 1.72	62 675/36 345 = 1.72
$P=4 \times 10^6, Q=2 \times 10^6$	1.138 69	2.277 38	10 422/6 300 = 1.65	59 108/35 696 = 1.65
$P=6 \times 10^6, Q=4 \times 10^6$	1.252 49	2.504 98	10 194/6 300 = 1.62	56 060/34 566 = 1.62

实变小了。采用了3组不同的负载同空载进行比较,如表1所示。

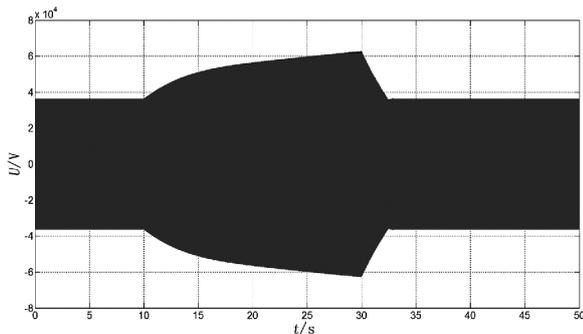


图12 发电机负载时35 kV电缆电压

由表1可知,随着负载的增大,误强励导致的机端和电缆过电压倍数越低。空载情况时,误强励导致的发电机机端和电缆过电压倍数最大。为了严格考虑误强励导致电力系统的过电压倍数,应选择空载情况进行分析。

同时,通过对空载情况下的误强励仿真可以发现,在2倍的顶值电压倍数下,误强励可以导致1.8倍的过电压。对于交流耐压试验(频率在20~300 Hz),35 kV交联聚乙烯电缆可以在2倍的额定电压下运行60 min。由此可见,对于叠加励磁系统来说,2倍的顶值电压倍数所导致的1.84倍的电力系统过电压在20 s内不会对35 kV交联聚乙烯电缆的运行造成不利影响。因此,2倍的强励倍数下产生的过电压在20 s内不会对电缆的运行造成严重的影响。

4 结语

对比分析了叠加强励励磁系统和传统自并励励磁系统在误强励情况下各自的励磁能力,同时在发电机35 kV电缆输电线路模型中仿真分析了叠加强励励磁系统在空载和负载情况下误强励时的机端电

压和电缆线路电压过电压。

叠加强励励磁主桥在误强励时励磁电压和电流升高的倍数均比传统自并励励磁系统误强励的低,叠加强励励磁系统抵抗误强励带来的过电压能力优于传统自并励励磁系统。

参考文献

- [1] 丁尔谋. 发电厂励磁调节[M]. 北京: 中国电力出版社, 1988.
- [2] 李基成. 现代同步发电机励磁系统设计及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [3] 孙士云, 束洪春, 唐岚, 等. 强励对交直流混合输电系统暂态稳定裕度的影响[J]. 电网技术, 2008, 32(23): 35-39.
- [4] 彭炜东, 薛福文. 电力系统稳定器(PSS)及其在三峡机组的应用[J]. 水电站机电技术, 2004(4): 67-73.
- [5] 李基成. 大型水电机组励磁变压器设计特点及绝缘方式的选择[J]. 水电站机电技术, 2012, 1(35): 1-6.
- [6] 尹志勤, 景坤, 柳溪. 三峡水电厂励磁变压器设计分析[J]. 华电技术, 2009, 31(6): 1-3.
- [7] 黄大可, 邵显钧. 励磁系统大功率整流器的增容设计[J]. 大电机技术, 2006(6): 56-62.
- [8] 黄大可. 大型水电机组第3代励磁系统展望[J]. 水电厂自动化, 2012, 33(1): 19-23.

作者简介:

刘念(1956), 博士、教授, 主要从事高电压技术及电力设备状态监测与故障诊断等方面的教学与研究;

谢驰(1956), 博士、教授, 主要从事测控技术及旋转设备状态监测与故障诊断等方面的教学与研究;

赵欣(1992), 硕士研究生, 主要从事大电机安全分析与运行监控技术研究;

潘荣超(1988), 硕士研究生, 主要从事高电压技术及应用研究;

黄大可(1956), 教授级高工、一级励磁专家, 长期从事水电厂励磁技术的应用开发工作。

(收稿日期: 2017-06-19)