

一种高效发电设备测试并网装置的研制

曹里程 张兴广 于治新

(山东华天电气有限公司)

摘要：当前发电机测试老化台架主要由无源器件电感与电阻组成，发电机测试老化过程中所发出的电能通过电感与电阻转化为热量的方式耗散到空气中，与当前国家所倡导的推进节能减排，助力实现碳达峰、碳中和的目标相违背。为了解决上述问题，本文提出研制一种高效发电机测试并网装置，该装置能够将发电机测试老化过程中发出的有功电能回馈到电网中，既节约能源又不产生大量的热量，一举两得。

关键词：发电机；能量回馈；逆变器

0 引言

能源消耗水平是一个国家经济结构、增长方式、科技水平、管理能力的综合反映，要把节能贯穿于经济社会发展全过程和各领域。要加强节能管理、节能改造、节能产品应用，帮助企业降低用能成本；所以当前开发一种高效发电设备测试并网装置，实现将发电装置测试老化过程中所发出的电能回馈到电网中循环利用具有重要的意义。

1 当前测试系统存在的问题

1) 当前发电机测试老化系统中的负载主要由无源器件电感与电阻组成，发电机测试老化过程中所发出的电能通过负载转化为热能耗散掉，不满足当前节能减排要求。

2) 目前发电机实际运行时所带的负载多种多样，通过电阻和电感已经不能模拟当前多种多样的非线性负载工作特性，无法测试发电机负载为非线性负载时的工作特性。

3) 当前负载体积较大，占用大量空间且工作时

产生大量热量。

2 高效发电设备测试并网装置的研制

针对当前测试系统所存在的问题，本文研制了用于发电机组带载测试的能量回馈式并网装置，替代功率电阻和电感测试负载，将有功电能无污染地回馈电网，从而实现发电机组的绿色节能测试。该装置既可模拟不同数值的阻性、感性、容性负载以及它们的多种组合，也可模拟非线性负载以及负载的突升突降特性，还可模拟产生实际非线性负载中的谐波电流。

2.1 装置系统方案设计

如图 1 所示，人机界面与负载模块和能量回馈模块通信，通过编程的方式产生负载电流波形指令数据并传递给两个模块的控制器，控制器中的高速数字信号处理器对数据进行处理，得到指令电流，并通过电流跟踪控制电路和驱动电路，以脉宽调制（PWM）信号形式向负载模块电流发生电路送出驱动脉冲，驱动 IGBT 或 IPM 功率模块，生成所需负载电流，实现各种不同类型的负载模拟，同时将负载产生的有功电

能通过直流母线实时注入能量回馈模块，能量回馈模块实时跟踪锁相电网将有功能量回馈电网。

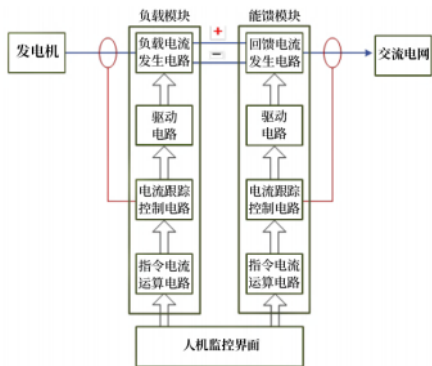


图1 发电设备测试并网装置工作原理图

2.2 装置控制系统设计

每个模块单元的 DSP 控制器采用双 DSP 设计，两者内部交互，一个 DSP 侧重数据预存、接收数据处理与外界通讯交互，另一个 DSP 侧重内部数据转换、指令计算、PWM 生成、模块控制。负载模拟单元 DSP 自检完成，接收或预存各种负载波形的 FFT 直角坐标数据格式数据，收到系统选择指令，读取预存典型或自编程数据，进行 FFT 变换处理，形成驱动指令电流，驱动逆变桥，并将电流数据分析上传给人机界面，实现输出负载电流数据、波形、频谱的显示，如图 2 所示。负载所产生的电能经直流母线传递给能量回馈单元，由其 DSP 调节控制，经直流交流变换，将有功电能无污染回馈电网，实现节能。

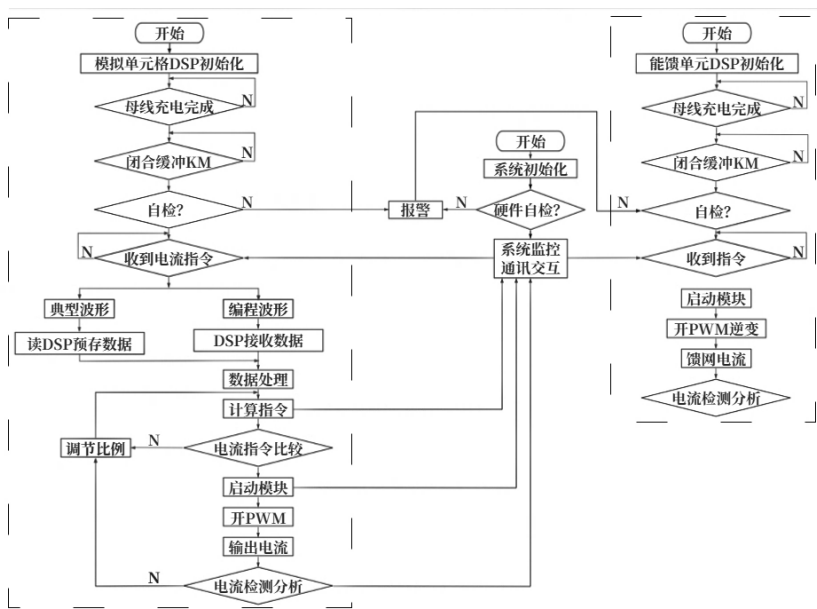


图2 控制系统工作流程框图

2.3 装置的热设计

系统热设计过程分为 IGBT 损耗仿真和整机散热仿真两个过程，效果图如图 3 和图 4 所示。通过 IGBT 电路损耗仿真，确定单 IGBT 模块的损耗是 180W，三个模块装在同一个散热器上，合计 540W 的损耗。经过热仿真，在环境温度 35℃ 情况下，满

载时散热器最高温度为 59℃（温升 24K），折算到 IGBT 管芯温度约 80℃ 左右，远低于 IGBT 管芯允许的最高温度 150℃，具有较高的热设计裕度，较低的运行温度有利于提高 IGBT 循环周期寿命。考虑到环境温度较低及负载率较低工况下的节能效果与系统稳定性，设计了风机调速功能，散热器工作温度设定在

40℃，在负载率较低、环境温度较低的工况下，降低风机转速运行。

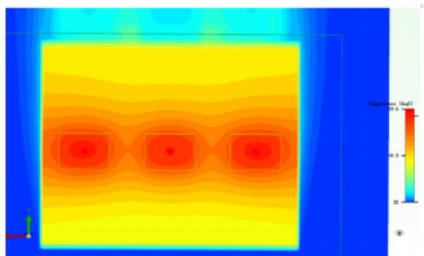


图3 IGBT 模块损耗仿真效果图

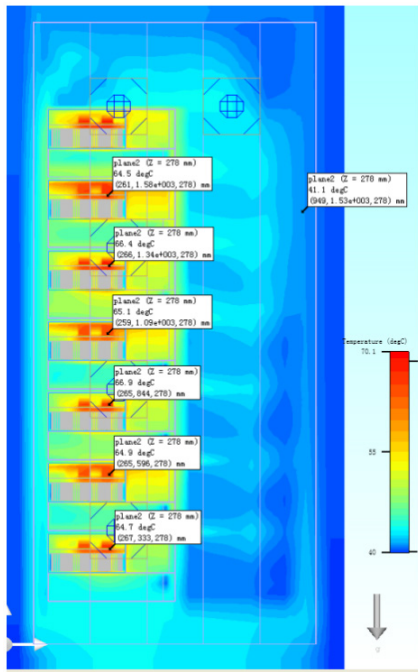


图4 整机热仿真效果图

2.4 功率模块结构设计

为方便功率模块实现多机并联，功率模块采用可抽出式标准机架模块设计，负载及能馈模块均为标准机架式设计，采用背靠背独立电气连接方式，采用前进风后出风密闭风道设计，使得人工操作面没有热风吹出，提高操作的舒适性。内部结构采用分层设计，冷却风主要流过变流器散热器、电抗器等功率器件，保证其散热，控制线路板在单独的安装层面，冷

却风不流过，尽量减少灰尘积累在控制板上，提高产品的可靠性与使用寿命。所有接口后置，安装、维护方便，方便多台并网。

抽出式机架结构可实现模块的热插拔更换和电流互感器回路的自动短接和断开，增强多模块并机的整体工艺稳定性，减少维护工作难度，缩短维护时间。

2.5 人机界面设计

人机界面采用真彩色组态触摸显示屏进行设计开发，触摸屏为高亮度 TFT 液晶四线电阻式触摸显示屏，触摸屏尺寸为 10 英寸。触摸屏支持 RS232/RS485、以太网两种监控通信接口，触摸显示屏支持通过所配置的 USB 数据输入输出接口进行程序升级、监控数据导出、负载设备导入。

人机界面真彩色显示、操作简单、界面友好，并具有报警、历史事件记录、历史数据查询功能以及时间同步等功能，支持查看设备与系统状态，具有通过内部嵌入帮助文档指导用户检查故障、排除故障功能，并可根据用户需求定制操作界面。

人机界面包括负载配置界面、稳态运行、突增突减、连续运行和设备信息等菜单，支持发电机不同类别的陆机和船机测试，支持手动和自动循环操作。

3 装置测试并网方案

如图 5 所示，负载装置用于发电机等装置的性能测试与老化，实现带载模拟测试并将发电机发出的电能回馈电网；与原有电阻箱并联接入发电机，接入原有测试采样系统后台监控平台，电阻箱可作为备用测试负载。

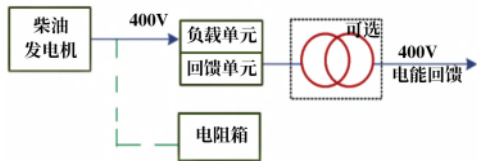


图5 装置测试并网示意图

4 装置现场应用测试

在某发电企业内的发电设备 1 号调试台架，安装一套 200kW 的发电测试并网装置，测试装置模拟各种不同特性工作负载时的工作特性。

使用 FLUKE435 测试仪进行发电功率 100kW、负载功率因数目标设定 0.8 的工况测试，记录相关数据，对比负载侧与并网侧的电能回收效果以及装置其他测试性能参数，如图 6 和图 7 所示。

功率和电能				
FUND	L1	L2	L3	Total
kW	33.2	32.7	33.3	99.1
kVA	42.0	42.0	42.4	126.4
kVAR	25.8	26.3	26.4	78.5
PF	0.79	0.77	0.78	0.78
cosφ	0.79	0.78	0.78	
Arms	183	184	185	
Urms	229.66	228.91	229.83	
01/06/22 12:39:14 400V 50Hz 3Φ WYE ENS0160				
VOLTAG	ENERGY	TREND	HOLD	RUN

图 6 发电机输出侧功率和电能数据

功率和电能				
FUND	L1	L2	L3	Total
kW	30.8	31.0	31.5	93.3
kVA	31.3	31.6	32.0	94.9
kVAR	5.5	5.8	5.6	16.9
PF	0.98	0.98	0.98	0.98
cosφ	0.98	0.98	0.98	
Arms	140	141	143	
Urms	224.82	223.93	224.30	
01/06/22 12:48:40 400V 50Hz 3Φ WYE ENS0160				
VOLTAG	ENERGY	TREND	HOLD	RUN

图 7 能馈负载并网侧功率和电能数据

高效发电设备测试并网装置在做负载功率因数（PF）为 0.8 的模拟测试过程中实现连续稳定运行；并网侧的功率因数始终保持在 0.98 左右。

通过计算可以得出高效发电设备测试并网装置的有功电能回馈效率： $93.3 \div 99.1 \times 100\% \approx 94.15\%$ 。

5 装置收益估算

容量 200kW 调试台架，按三种调试老化功率进行估算，100kW、150kW 每天约 2h，180kW 每天约

1h，平均转换效率为 94%，年工作时长 312 天，每度电 0.75 元进行估算，每年节约电能费用如表 1 所示。

表 1 每年节约电能费用

发电机额定功率 (kW)	转换效率 (%)	每天工作时间 (h)	每年工作时间 (d)	年发电 (kWh)	每 kWh 电价 (元)	年创收电费 (元)
180	94	1	312	52790.4	0.75	39592.8
150	94	2	312	87984	0.75	65988
100	94	2	312	58656	0.75	43992
年发电 (kWh)				199430.4	年创收 (元)	149572.8

6 结束语

高效发电设备测试并网装置在用户现场投入运行后，很好地完成了替代原耗能老化平台的替代工作，将发电机老化测试过程中产生的有功电能回馈到电网中再次利用，达到节能减排的目的；同时为客户每年创造 15 万元左右的节能收益；实现了原老化负载测试平台所无法模拟的各种突变及非线性负载特性；为更好地测试发电机的工作特性创造了条件。

参考文献

- [1] 潘诗锋，赵剑锋，王浔. 大功率交流电子负载的研究 [J]. 电力电子技术，2006 (1)：97-100.
- [2] 张崇巍，张兴. PWM 整流器及其控制 [M]. 北京：机械工业出版社，2003.
- [3] 罗安. 电网谐波治理和无功补偿技术及装备 [M]. 北京：中国电力出版社，2006.
- [4] 杨德刚，刘润生，赵良炳. 三相高功率因数整流器的电流控制 [J]. 电工技术学报，2000 (2)：83-87.
- [5] GB/T 14549—1993 公用电网谐波 [S].

(收稿日期：2024-03-25)