

# 微型燃气轮机并网潮流计算及分析

戴 宁

(国网江苏省电力公司技能培训中心, 江苏 苏州 215004)

**摘 要:** 本文介绍了微型燃气轮机的电力特性和控制特点, 阐述了微型燃气轮机的电力并网应用。文章着重分析研究微型燃气轮机这一新型分布电源的并网特性及可能对电网产生的影响。通过仿真计算分析, 结果表明其并网能有效提高电网各节点电压水平, 能够保证稳定的电力输出, 有利于潮流收敛。

**关键词:** 微型燃气轮机; 并网; 电压

## 0 引言

近几年, 随着国家对节能减排、能源综合利用的需要, 分布式能源系统因其变负荷灵活、较低的初投资、供电可靠、较小的输电损失和适合可再生能源应用等特点而越来越受到重视。微型燃气轮机就是其中的一种动力装置, 由微型燃气轮机组成的高转速发电系统, 由于具有启动速度快, 机动性能好, 运行效率高和能量体积比大的特点而获得大量推广。

## 1 系统组成及工作原理

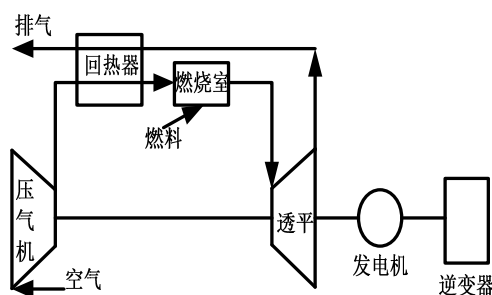


图1 微燃机工作原理示意图

微型燃气轮机发电机组由微型燃气轮机、燃气轮机直接驱动的内置式高速逆变发电机和数字电力控制器(DPC)等部分组成, 其中的核心设备——微型燃气轮机由径流式叶轮机械、燃烧室、板翅式回热器构成, 功率范围在数百kW以下, 以天然气、甲烷、汽油、柴油为燃料。系统的工作原理由图1所示, 主要过程为: 从离心式压气机出来的高压空气先在回热器内由涡轮排气预热, 然后进入燃烧室与燃料混合、燃烧, 高温燃气送入向心式涡轮做功, 直接带动高速发电机发电。发电机首先发出

高频交流电, 然后转换成高压直流电, 再转换为50Hz/380V的交流电供用户。

微型燃气轮机具有可靠性高、尺寸小质量轻、燃料适应性强、低燃料消耗率、噪音低振动小、污染排放低、维护费用低廉、不需用水冷却、可遥控、自诊断以及多台集成扩容等一系列先进技术特征。

## 2 微燃机的控制特点

燃气轮机的控制任务和控制方案主要由两方面因素决定: 一是所带负荷; 二是本身特性。其自身特性对控制的影响体现在: 运行中必须把燃气轮机一些部件的工况控制在允许的范围内; 不同类型燃气轮机结构特性的显著区别会对控制任务和控制方案产生限制。

微型燃气轮机的控制除了具有上述的特性外, 还独有特殊性。一是燃烧室和透平之间的热通道较短, 所引起的不稳定热交换较弱, 在实际工程应用中可以忽略; 二是压气机和燃烧室之间的气体通道容积小, 可以不考虑该容积气体参数变化的影响。与大型燃气轮机相比, 微型燃气轮机对负荷变化的响应更快, 控制过程的调节时间更短。但如果控制参数选择不当, 就容易因快速响应能力而造成剧烈振荡, 甚至发散的结果, 给机组正常运行造成不良影响。

## 3 潮流计算方法

微型燃气轮机一般通过逆变器接入电网。在使用逆变器的情况下, 分布式电源可以用输出限定的逆变器来建模。逆变器可以仿真为有功输出和注入电网电流恒定的PI节点, 相应的无功功率可以由

前次迭代得到的电压、恒定的电流幅值和有功功率  
计算得出。

$$Q_{k+1} = \sqrt{|I|^2 (e_k^2 + f_k^2) - P^2}$$

在上式中,  $Q_{k+1}$  为第  $k+1$  次迭代的分布式电源  
的无功功率值;  $e_k, f_k$  分别为第  $k$  次迭代得到的电压  
的实部和虚部 ( $e_k + jf_k = \dot{U}_k$ );  $I$  为恒定的分布  
式电源的电流相量的幅值;  $P$  为恒定的有功功率  
值。

因此, 在进行潮流计算时, 每次迭代前可以把  
PI 节点的无功功率注入量求出, 在第  $k+1$  次迭代过  
程中便可将 PI 节点处理成为有功功率和无功功率输  
出分别为  $P$  和  $Q_{k+1}$  的 PQ 节点。

4 算例分析

本文主要对 IEEE33 节点配电系统进行测试。  
如图 2 所示 (0 为平衡节点, 微燃机接入系统作 PV  
节点, 其他为 PQ 节点), 支路编号与该支路的受端  
节点号一致。三相功率的基准值  $S_B=10\text{MVA}$ , 线电  
压的基准值  $U_B=12.66\text{kV}$ , 平衡节点电压标么值为  
1.0, 计算精度为  $\varepsilon=10^{-6}$ 。系统总有功负荷为  
3715kW, 总无功负荷为 2300kVar。接入生物质能  
电站参数: 有功功率 2.5MW,  $V^*=0.98$ 。潮流计算  
采用典型的 PQ 解耦法。

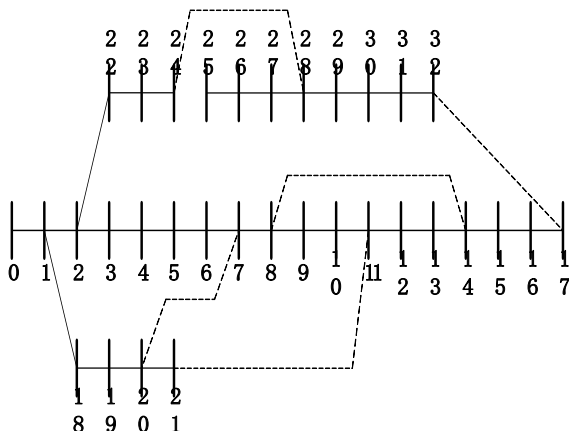


图 2 IEEE33 母线测试系统

1) 在节点 32 处接入一台微型燃气轮机, 则潮  
流计算结果如表 1 所示。

表 1 节点 32 处接入一台微型燃气轮机潮流计算结果 (迭代  
6 次)

母 线	电压幅值 /p.u.	电压相角 / rad	母线	电压幅值 /p.u.	电压相角 / rad
0	1.000000	0.000000	17	0.921688	-0.015558
1	0.997338	-0.000054	18	0.996810	-0.000243
2	0.984876	-0.000296	19	0.993233	-0.001411
3	0.978599	-0.000416	20	0.992529	-0.001748
4	0.972454	-0.000588	21	0.991892	-0.002103
5	0.957919	-0.004778	22	0.981298	-0.000835
6	0.954465	-0.008727	23	0.974640	-0.002377
7	0.949665	-0.008109	24	0.971322	-0.003137
8	0.943453	-0.009362	25	0.956639	-0.004829
9	0.937692	-0.010434	26	0.954983	-0.004890
10	0.936840	-0.010310	27	0.948517	-0.006874
11	0.935354	-0.010113	28	0.944035	-0.008179
12	0.929298	-0.011678	29	0.942075	-0.008274
13	0.927052	-0.013026	30	0.942776	-0.012763
14	0.925653	-0.013672	31	0.943620	-0.014068
15	0.924297	-0.014070	32	0.945774	-0.015069
16	0.922289	-0.015394	33	0.948203	-0.015939

2) 在节点 17 处接入一台微型燃气轮机, 潮  
流计算结果如表 2 所示:

表 2 节点 17 处接入一台微型燃气轮机潮流计算结果 (迭代  
6 次)

母 线	电压幅值 /p.u.	电压相角 / rad	母线	电压幅值 /p.u.	电压相角 / rad
0	1.000000	0.000000	17	0.960370	-0.043997
1	0.997322	-0.000051	18	0.996794	-0.000240
2	0.984773	-0.000281	19	0.993217	-0.001408
3	0.978432	-0.000390	20	0.992513	-0.001746
4	0.972220	-0.000553	21	0.991876	-0.002101
5	0.957515	-0.004760	22	0.981194	-0.000819
6	0.956651	-0.008840	23	0.974536	-0.002362
7	0.953460	-0.010886	24	0.971217	-0.003122
8	0.951144	-0.015597	25	0.955602	-0.004083
9	0.949306	-0.020194	26	0.953061	-0.003119
10	0.948902	-0.020816	27	0.941721	-0.001695
11	0.948270	-0.022041	28	0.933575	-0.000359
12	0.948194	-0.028450	29	0.930049	0.001447
13	0.949283	-0.031261	30	0.925925	-0.000001
14	0.950522	-0.033780	31	0.925017	-0.000396
15	0.952031	-0.036672	32	0.924736	-0.000528
16	0.958014	-0.041451	33	0.963309	-0.046378

3) 在节点 17 和 32 处分别接入一台微型燃气  
轮机, 潮流计算结果如表 3 所示。

表 3 节点 17 和 32 处接入一台微型燃气轮机潮流计算结果  
(迭代 6 次)

母线	电压幅值 /p.u.	电压相角/ rad	母线	电压幅值 /p.u.	电压相角/ rad
0	1.000000	0.000000	18	0.997090	-0.000545
1	0.997618	-0.000356	19	0.993514	-0.001713
2	0.986653	-0.002240	20	0.992810	-0.002050
3	0.981484	-0.003597	21	0.992173	-0.002405
4	0.976493	-0.005072	22	0.983081	-0.002776
5	0.965580	-0.011757	23	0.976435	-0.004313
6	0.964725	-0.015768	24	0.973123	-0.005070
7	0.961563	-0.017781	25	0.964311	-0.011808
8	0.959269	-0.022414	26	0.962669	-0.011868
9	0.957449	-0.026933	27	0.956256	-0.013821
10	0.957049	-0.027544	28	0.951812	-0.015105
11	0.956423	-0.028748	29	0.949869	-0.015198
12	0.956350	-0.011678	30	0.950564	-0.019614
13	0.957431	-0.037813	31	0.951402	-0.020898
14	0.958661	-0.040289	32	0.953538	-0.021883
15	0.960158	-0.043132	33	0.955948	-0.022739
16	0.966092	-0.047830			
17	0.968428	-0.050334			

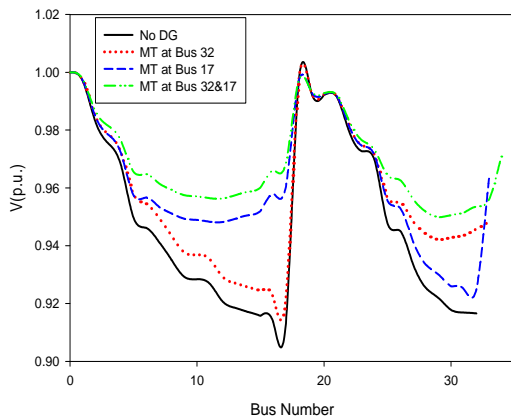


图 3 微型燃气轮机接入配电网的不同位置对潮流的影响

比较这三种情况下配网各节点电压水平,如图 3 所示,由于微燃机接入系统是作 PV 节点处理,能提供一定的无功功率,但当无功越限时,将其转化为 PQ 节点处理,适当将其电压范围放宽,相当于只做无功越限检查,而不做电压越限检查,以保证潮流收敛。这就是图中看到的微燃机接入点的电压不等于 PV 节点规定的电压值的原因,即微燃机提供不了维持 PV 节点电压恒定所需的无功功率,而使得电压有所下降。图中电压曲线低于无 DG 接入时的电压曲线的部分,是曲线拟合所形成的,从潮流计算结果表可以看出,接入微型燃气轮机后,所有的节点电压都得到了不同程度的提高。

## 5 结论

本文对 IEEE33 节点配电系统接入微型燃气轮机,对其逆变系统进行了建模,逆变器采用有功输出和电流恒定模型。仿真结果表明该仿真模型基本满足 PQ 控制目标,微型燃气轮机并网发电系统的仿真分析定值输出相应的功率,较好地维持了微型燃气轮机发电系统的恒功率电流源的输出外特性,并能使各节点电压水平有所提高,有利于全网潮流收敛,从而证明该微型燃气轮机发电系统的合理性和有效性。

### 参考文献:

- [1] 赵豫, 于尔铿. 新型分散式发电装置—微型燃气轮机[J]. 电网技术, 2004, 28 (4): 47 - 50.
- [2] 赵克, 耿加民, 孙力. 微型燃气轮机发电系统新型并网控制技术[J]. 电机与控制学报, 2008 (4): 409-414.
- [3] 孙可, 韩祯祥, 曹一家. 微型燃气轮机在分布式发电中的研究[J]. 机电工程, 2005, 22(8): 55-60.
- [4] BERTANI A. A micro turbine generation system for grid connected and islanding operation [ J ] . IEEE Power Meeting ,2004 :1 - 6.
- [5] FETHI O. Modeling and simulation of the electric part of a grid connected micro turbine [J]. IEEE Power Meeting ,2003 :1- 8.
- [6] 钱科军, 袁越. 分布式发电技术及其对电力系统的影响[J]. 继电器, 2007, 35 (13): 25-29.
- [7] 王成山, 郑海峰, 等. 计及分布式发电的配电系统随机潮流计算[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (24): 39-44.
- [8] 陈海焱, 陈金富, 段献忠. 含分布式电源的配电网潮流计算[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (1): 35-40.
- [9] 王守相, 江兴月, 王成山. 含风力发电机组的配电网潮流计算[J]. 电网技术, 2006, 30 (21): 42-45, 61.
- [10] 李新, 彭怡, 等. 分布式电源并网的潮流计算[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 39 (17): 78-81, 87.
- [11] 余涛, 童家鹏. 微型燃气轮机发电系统的建模与仿真[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (3): 27-31, 45.
- [12] 王守相, 黄丽娟, 王成山, 等. 分布式发电系统不平衡三相潮流计算[J]. 电力自动化设备, 2007, 27 (8): 11-15.

### 作者简介:

戴 宁(1983-), 男, 江苏苏州人, 一级实习指导教师, 主要从事电力系统继电保护及分布式发电研究。