

柴油发电机组与 UPS 系统的匹配

麦 浪 严 华

摘 要 本期探讨了用于长延时后备电源的柴油发电机组与 UPS 系统之间的配合问题,指出了工程设计中柴油发电机、UPS 系统的选型要点,并根据发电机组、UPS 的工作特性提出了 UPS 输入谐波解决方案。

关键词 柴油发电机 UPS 谐波 滤波器

?? 概述

通信机楼常用柴油发电机组作为市电的备用电源,以提供足够的后备时间来应付市电停电。在供电系统中采用该解决方案,可以避免通信电源系统通过使用庞大的电池组来获得较长的后备时间。

对于敏感型的或者关键性的负载(如数字技术设备)需要将 UPS 和发电机组系统地组合使用,以便提高供电系统的连续性、可靠性。一般情况下,发电机的负载除了 UPS 系统外,还支持高频开关电源、照明、空调等不需要 UPS 支持的设备工作。本文主要探讨 UPS 系统与柴油发电机组的匹配问题。

?? 两者配套使用时存在的问题

UPS 系统通过整流器/充电器从交流配电系统获得电力,对于前端的配电系统而言,UPS 系统是一个会引起谐波失真的非线性负载。发电机较高的内阻(比变压器高 2~3 倍)增加了谐波的副作用。当柴油发电机与 UPS 配合使用时,容易出现不同程度的异常现象或者故障:

1、对柴油发电机而言主要会产生以下问题:

(1) 电压振荡。反馈的波动电压会造成发电机输出电压振荡范围达 $\pm 10\% \sim \pm 20\%$ 。当调整 AVR 达到最佳时,振荡仍大于 2%。

(2) 电流振荡。在 UPS 负载稳定的情况下,发电机输出电流摆动范围仍达 $\pm 20\% \sim \pm 50\%$,并且这种摆动无法调整。

(3) 频率漂移。频率振荡范围在 $\pm 5\%$ 以内,但会导致 UPS 频繁切换,造成柴油发电机负载有规律的忽大忽小,从而使发电机的电压、工作噪声也有规律地忽大忽小,发电机组的震动加剧,加速了机械磨损,甚至机件损坏。

2、对 UPS 的影响:

发电机的电压振荡对 UPS 的影响相对较小,值得特别关注的是频率漂移对 UPS 正常运行所产生的影响:

(1) UPS 不能旁路。UPS(在线式、后备式)在旁路电源频率、电压正常时,UPS 的逆变电源与旁路电源锁相、同步。当旁路电源频率变化超出设定极限时,静态旁路开关将禁止切换到旁路(此时切换可能造成逆变器过流、短路)。在这种旁路电源频率无法跟踪的情况下,UPS 只会发出“旁路不可用”告警,提

醒用户避免超载造成断电，逆变器仍继续提供电源给负载。

(2) 电池寿命缩短。频率漂移会导致 SCR（可控硅）整流器的驱动信号与输入交流电不同步，造成整流器关闭，此间 UPS 转为电池供电。如此反复会造成电池过分放电循环，大大缩短电池寿命，严重者会将电池电量全部放光，输出中断。

?? 发电机组与 UPS 的匹配选择

由于两者间的配合存在上述问题，问题的解决需要从两个方面进行：一方面正确选择发电机的机组功率和励磁工作方式，不同的励磁方式和适当匹配功率等有助于问题的最小化；另一方面选择更能适合发电机组特性的 UPS。

1、柴油发电机组的选择

(1) 机组的输出功率选择。柴油发电机组在 60%以上额定负载的情况下工作对柴油发电机较为有利。在考虑发电机总负荷中的 UPS 负载部分，需考虑的主要因素有：UPS 功率，电池充电功率，UPS 整机效率，UPS 的输入整流方式，UPS 整流器引起的输入电流失真等，都需适当增加发电机的功率；UPS 的整流器对于频率漂移更为敏感，这也需增大发电机功率。一般选择发电机功率是 UPS 功率的 2 倍以上。

(2) 柴油发电机组工作方式的选择。实践表明，对于非线性负载，两冲程柴油发电机组带载能力优于四冲程柴油发电机组。

(3) 同步发电机励磁工作方式的选择。励磁工作方式主要分自激式同步交流发电机、永磁发电机（PMG）激励式两种。前者的 AVR 的功率和信号源均来自发电机的电枢绕组；后者 AVR 只有信号源来自发电机的电枢绕组，功率源取自 PMG 的电枢绕组，与同步交流发电机电枢绕组的电势波波形畸变无关。故选用 PMG 励磁方式的同步交流发电机更能使 UPS 工作良好。

实际上 UPS 与发电机的功率比可在 1: (1~2.5) 之间匹配，关键是考虑发电机组中同步交流发电机的励磁方式。采用自激式同步交流发电机时，功率比应不小于 1: (2~2.5)，但仍不能排除发电机组不受 UPS 的影响。采用 PMG 励磁方式的发电机时，功率比取 1:(1.2~1.25)即可保证柴油发电机的正常工作。

2、UPS 的选择

(1) UPS 输入整流方式的选择。非线性负载会向发电机组反射大量的高次谐波，尤以 5 次、11 次谐波对发电机的危害性严重。表 1 显示了不同非线性负载对柴油发电机组（以 200kVA 为例）输出电压失真度（THDU）的影响程度。由表 1 可知采用 12 脉冲整流器较 6 脉冲整流器更能适合发电机组配合供电，确保整个供电系统安全可靠运行。

表 1 不同整流器对发电机的影响

发电机组允许的 电压畸变度	柴油发电机组允许带负荷的百分比		
	12 脉冲整流 UPS	6 脉冲整流 UPS	单相整流 UPS
5%	78%	42%	22%
10%	100%	69%	36%
15%	100%	96%	52%

(2) 在 UPS 与发电机组配合使用的情况下,UPS 具有以下两方面的功能时可以更好地适应与发电机组的匹配:

A、旁路锁相频率范围和逆变器同步速率现场可调功能;有此功能的 UPS 系统可以根据用电设备类型进行相应调整,提高系统运行可靠性。

B、高速宽频的整流器控制电路。UPS 的整流器需要有一个高速宽频的控制电路,以调整整流器的工作状态以适应输入电源的频率漂移。好的整流器控制电路可使整流器在输入电源频率漂移超过 $\pm 5\text{Hz}$ 仍可正常运行。

?? UPS 输入谐波的治理

所有造成正弦波电流失真的负载都会引起谐波,并称之为非线性负载。UPS 系统作为非线性负载产生的谐波对柴油发电机的运行会产生巨大的危害,并进一步影响 UPS 的安全可靠运行,可参见第二节所述。目前解决发电机组与 UPS 系统间谐波问题有两种策略:

(1) 接受并允许谐波的存在。实质上是对柴油发电机通过增容来忍受谐波的影响。实际应用中,若 UPS 负载针对柴油发电机组的其他负载来说相对小很多,也就是说 UPS 功率比发电机组的功率小很多,在功率比为 1: (2~5) 时,UPS 系统产生的谐波可不采用滤波措施。运用此种方式时应充分考虑其他非 UPS 负荷的谐波的含量和成分。

(2) 消除谐波。使用滤波器或有源谐波调节器来部分或全部地消除谐波。本文仅对采用无源 LC 滤波器和有源 12 脉冲技术滤波器进行讨论。

1、滤波器和发电机的配合

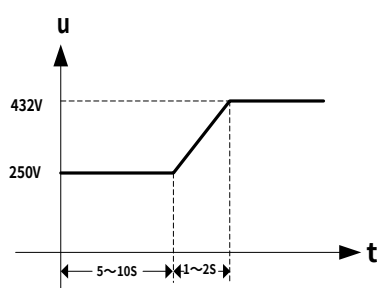


图1、UPS延时启动

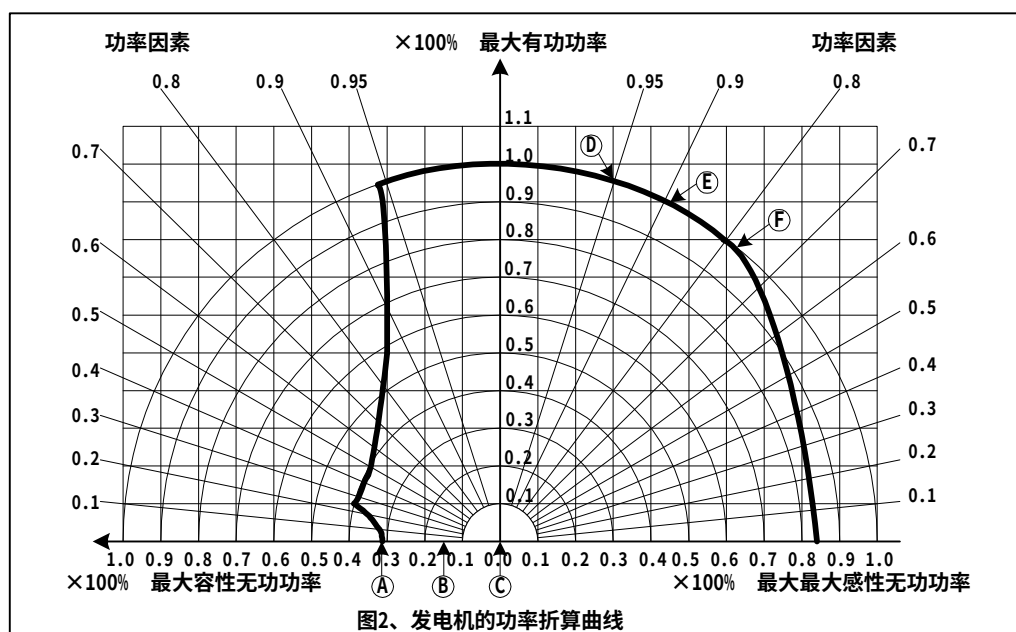
为避免在市电停电后发电机组的负载发生阶跃突变产生冲击,一般 UPS 系统的整流器具有延时斜坡启动功能,其电压 (u) — 时间 (t) 工作曲线如图 1 所示。

UPS 处于延时斜坡启动时输出功率为零,对柴油发电机而言,UPS 负荷部分此时的负荷电流为非补偿性 LC 滤波器产生的纯容性电流。但是由于发电机只能提供很低的容性电流 (仅相当于额定电流 I_n 的 10%~30%), 因此选用 LC 滤波器时必须进行正确的选型分析,以保证发电机

组的运行满足生产厂家的技术规范，否则会影响发电机的正常运行，乃至会使发电机停机。

图 2 为一个典型发电机组的功率折算曲线，图中的粗实曲线表明对一台给定的发电机，功率折算是工作点的函数，对纯容性负载（功率因素 $\lambda = 0$ ），发电机组所能提供的功率只有额定功率的 30%（A 点）。假设发电机的额定视在功率等于整流器的额定视在功率，则 A、B、C、D、E 和 F 点的含义分别是：

- A 点：对应于非补偿式滤波器容性电流的无功功率；
- B 点：对应于补偿式滤波器容性电流的无功功率；
- C 点：带接触器的非补偿式滤波器启动时的工作点；
- D 点：非补偿式滤波器满载时的工作点；
- E 点：补偿式滤波器满载时的工作点；
- F 点：不加滤波器或者加一个移相滤波器满载时的工作点。



由图 2 可知，为保证非补偿性 LC 滤波器在发电机提供的容性电流下匹配使用，必须保证非补偿性 LC 滤波器的无功功率小于发电机可以承受的无功功率。当发电机组与 UPS 容量接近时，由于不能提供相当于整流器额定电流 30% 的容性电流而导致油机不能正常工作；只有当发电机组容量为 UPS 容量的 2 倍或者以上时，才可以忽略非补偿性滤波器的影响。

2、滤波器的选择

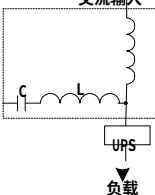
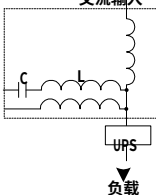
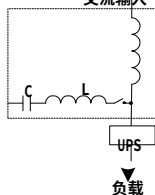
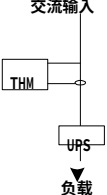
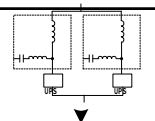
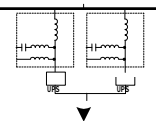
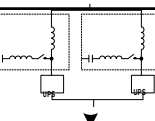
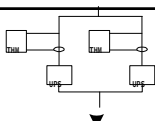
使用带接触器的滤波器或补偿式 LC 滤波器可以解决上述有关容性电流的问题。补偿性 LC 滤波器具有一个与电容组 C 并联的额外电感，这一结构减少了在 UPS 启动期间和稳定状态运行期间必需由发电机组提供的容性功率。带接触器的滤波器，有一个用来启动 LC 回路的接触器，这一结构特别适合发电机组的额定功率和其提供的负载功率相差很小的情况，只有当逆变器的负载率达到发电机组

可以接受的一个预定值时，接触器才闭合将 LC 电路投入运行。

采用有源 12 脉冲技术的有源滤波器采用复合的、有源双桥组合而成，由 6 只可控硅组成的整流桥用来给逆变器供电，由 6 只 IGBT 组成的桥路来实现电流正弦波并减少谐波。其优点是能大幅度减小谐波(可完全消除 25 次以下的谐波)、性能稳定，可靠性高，提高了 UPS 的输入功率因素 (大于 0.9)，能最有效地使用发电机组，与发电机组完全兼容。但不足之处是成本较高。

选择滤波器时通常需要考虑以下参数：总的滤波效果——失真度 (THDI 和 THDU) 的减小，提高输入功率因素，与发电机的兼容，适合于并联 UPS 配置，效率，配置和升级的灵活性，尺寸，满足的标准等方面。各种滤波方案之间的性能比较如表 2 所示，在实际设计过程中可以参考该表选用合适的滤波器。

表 2、用于单机 UPS 配置的各种滤波方案的比较

	LC非补偿式	LC补偿式	LC加接触器	有源THM
示意图				
减少THDI(100%负载)	5%	5%	5%	4%
减少THDI (50%负载)	10%	10%	10%	5%
消除的谐波	H5,H7	H5,H7	H5,H7	H2到H25
功率因素 (100%负载)	0.95	0.9	0.95	0.94
功率因素 (50%负载)	1	1	1	0.94
与发电机的兼容	*	**	**	***
滤波器的效率	***	***	***	**
灵活性、可升级性	*	*	*	***
成本	***	***	***	**
尺寸	***	***	***	**
用于并联UPS配置				
满足IEC61000-34	否	否	否	是
总的评价	适合于没有发电机或发电机的功率大于2倍的UPS功率时的低成本方案	适合于有发电机的低成本方案。增加的电感减小了必须由发电机提供的容性电流。	适合于发电机额定功率接近或低于UPS额定功率的低成本方案。当负载达到发电机所能接受的UPS负载率时(预先设定)，接触器闭合，LC投入。	适合于敏感的或负载率变化的方案。最优秀、最灵活的方案。与负载率和上线电源的类型无关。

***优秀 **好 *可用

在实际应用中，一般情况下 UPS 负载针对柴油发电机组的其他负载来说相对小很多，也就是说 UPS 功率比发电机组的功率小很多，UPS 系统可直接采用非补偿的 LC 滤波器这一低成本且故障点较少的方案，此类滤波器多数可内置在

UPS 主机内。

?? 结论

综上所述,为了实现柴油发电机组与 UPS 匹配工作的交流供电系统连续可靠地向负载供电,除了在设备选型的过程中,需要考虑柴油发电机组的工作方式、励磁方式、额定功率等主要因素,考虑 UPS 对频率变化的适应性外,为了更好地解决柴油发电机与 UPS 系统之间存在的谐波问题,同时需要有经济、合理的 UPS 输入滤波器解决方案。

参考文献

- 1 《通信用不间断电源—UPS》,中华人民共和国通信行业标准,YD/T 1095-2000 ;
- 2 《通信专用柴油发电机组技术要求》,中华人民共和国通信行业标准,YD/T 1095-2000 ;
- 3 《通信用柴油发电机组的安装技术跟踪》,广东省电信规划设计院软科学研究报告,2003 年 ;
- 4 《通信用柴油发电机组的功率》,通信电源技术,2002 年 12 月 ;
- 5 《UPS 系统和柴油发电机组接口问题》,邮电设计技术,2003 年 2 月。

麦浪 高级工程师,广东省电信规划设计院动力设计所所长。

严华 工程师,2000 年毕业于华南理工大学,获硕士学位,一直从事通信电源的研究与设计工作。