

# ETAP 仿真软件在发电机选型中的应用

冉祥涛

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘要]** 针对传统的发电机选型计算存在公式多、计算繁琐、难度大的问题,探讨 ETAP 软件在发电机选型中的应用。以系统总容量为 679.89 kVA、单个负荷最大容量为 160 kW 的实际工程为例,选择容量为 800 kVA、1 000 kVA、1 250 kVA 的发电机,采用 ETAP 软件模拟电机的启动,并根据电机电流、电压及发电机母线电压变化确定发电机选型。结果表明,当发电机容量为 1 250 kVA 时,最大功率电机启动不会造成其他应急设备失电,而且启动时间最短,电机终端电压变化最小。相比传统选型计算方法,采用 ETAP 软件对发电机进行选型,可简化设计工作量,提高工作效率,为发电机的科学选型提供了一种新的方法。

**[关键词]** 电气设计; ETAP 软件; 发电机选型; 建模仿真

**[中图分类号]** TM769      **[文献标志码]** A      **[文章编号]** 1008-5122(2021)02-0039-05

**DOI:**10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.02.010

## The Application of ETAP Simulation Software in Generator Selection

RAN Xiang-tao

**Abstract:** Aiming at the problems of many calculation formulas, complicated calculation in traditional generator selection, the application of ETAP software in generator selection was discussed. Taking the actual project with the total capacity of 679.89 kVA and the maximum capacity of 160 kW for a single load as an example, the generators with capacity of 800 kVA, 1 000 kVA and 1 250 kVA were selected to test. The start-up of the motor was simulated by ETAP software, and the generator selection was determined according to the changes of motor current, voltage and generator bus voltage. The results showed that when the generator capacity was 1 250 kVA, the maximum power motor start would not cause other emergency equipment power loss, and the start time was shortest, motor terminal voltage change was minimal. Compared with the traditional selection calculation method, the selection of generators by ETAP software can simplify the design work and improve the work efficiency, which provided a new method for the scientific selection of generators.

**Key words:** electrical design; ETAP software; generator selection; modeling and simulation

## 0 前言

在工业生产中,稳定的电源系统是安全生产的前提,一旦电源出现问题,会造成停产停业,严重时还会造成较大经济损失甚至人身安全。为确保电源系统的稳定,预防电源突然中断对生产造成的重大

影响及经济损失,在供电系统方案设计时,对于特别重要的负荷,除了正常的市电电源外,还应该配备较为可靠的应急电源,以便在外部电网故障失电时,应急电源及时投入使用,满足基本的生产。应急电源一般要求独立于外部的电网电源,在供电系统的设计中,一般设置发电机作为应急电源。因此,发电机的选型在电力系统的设计中尤其重要,若容量选择不当,外部电网故障失电时,容易造成关键设备启动出现故障,无法正常运行,严重时还会造成重大经济损失及人身安全事故。本文以某项目的实际负荷为

**[收稿日期]** 2020-11-10

**[作者简介]** 冉祥涛(1985—),男,山东菏泽人,本科,工程师,主要从事电力工程咨询设计工作。

例,通过采用 ETAP 建模仿真,介绍 ETAP 仿真软件在发电机选型中的应用。

## 1 传统的发电机分析选型

### 1.1 选型计算

在传统的发电机选型计算过程中,需要确定发电机的容量以及校验最大负荷启动时的母线电压降。

#### 1.1.1 计算电动机长期连续运行所需容量

电动机长期连续运行所需容量由式(1)、(2)计算。

$$P_C = \sum P_M K_1 + \sum P_m K_2 \quad (1)$$

$$Q_C = \sum P_M K_1 \tan\phi_M + \sum P_m K_2 \tan\phi_m \quad (2)$$

式中: $P_C$ ——有功功率,kW;

$Q_C$ ——无功功率,kvar;

$\sum P_M$ ——连续运行的电动机额定功率之和,kW;

$\sum P_m$ ——连续运行的电动机的静止负荷之和,kW;

$K_1$ 、 $K_2$ ——运算系数;

$\tan\phi_M$ ——电动机正常运行时的功率因数;

$\tan\phi_m$ ——静止负荷的功率因数。

#### 1.1.2 确定柴油发电机组的额定容量

柴油发电机组的额定容量根据式(3)~(5)确定。

$$S_{fe} \geq S_C \quad (3)$$

$$P_{fe} \geq P_C \quad (4)$$

$$Q_{fe} \geq Q_C \quad (5)$$

式中: $S_{fe}$ 、 $P_{fe}$ 、 $Q_{fe}$ ——柴油发电机组的额定视在功率、有功功率、无功功率,单位分别为 kVA、kW、kvar;

$S_C$ 、 $P_C$ 、 $Q_C$ ——柴油发电机组计算视在功率、有功功率、无功功率,单位分别为 kVA、kW、kvar。

#### 1.1.3 校验柴油发电机母线电压降

启动最大负荷时,发电机母线的电压降通过式(6)计算得到。

$$\Delta U\% = \left( 1 - \frac{Z \sqrt{R^2 + (X_{q^*} + X^2)^2}}{(X_{d^*} + X)(X_{q^*} + X) + R^2} \right) \times 100\% \quad (6)$$

其中  $Z = \frac{S_{fe}}{S_{zqm}} \quad (7)$

$$S_{zqm} = \sqrt{P_{zqm}^2 + Q_{zqm}^2} \quad (8)$$

$$R = \cos\phi_{zqm} \quad (9)$$

$$\cos\phi_{zqm} = P_{zqm}/S_{zqm} \quad (10)$$

$$X = Z \sin\phi_{zqm} \quad (11)$$

$$\sin\phi_{zqm} = Q_{zqm}/S_{zqm} \quad (12)$$

式中: $\Delta U\%$ ——启动最大负荷时发电机母线的电压降;

$Z$ ——最大负荷的等值阻抗,(标么值);

$S_{zqm}$ ——最大负荷的容量,kVA;

$P_{zqm}$ ——最大负荷的有功功率,kW;

$Q_{zqm}$ ——最大负荷的无功功率,kvar;

$X_{d^*}$ ——发电机的暂态电抗,(标么值);

$X_{q^*}$ ——发电机的横轴电抗,(标么值);

$R$ ——最大负荷的等值电阻, $\Omega$ ;

$X$ ——最大负荷的等值电抗, $\Omega$ 。

上述计算需要的参数较多,满足所有负荷稳定运行的发电机容量通常可以简化计算,但校验柴油发电机的母线电压降对发电机的选型尤为重要,电压降是否满足要求关系到应急负荷在实际启动的过程中能否正常运行。电压降的校验较为复杂,需要的参数较多,现实计算中这些参数的获取需要查阅大量资料,而且计算公式复杂,计算过程较为繁琐。在校验电压降的过程中,往往需要校验多个变压器容量,直到容量满足要求<sup>[1-2]</sup>。随着电力系统的复杂性增加和规模的不断扩大,仿真软件已经成为电气设计人员及运维电气工程师的主要应用工具。仿真软件在发电机选型中的应用也越来越广泛。

## 2 ETAP 软件在发电机选型中的应用

### 2.1 ETAP 软件介绍

ETAP 仿真软件是由美国 OTI 公司开发的一套全图形化电力系统仿真分析、计算应用软件,拥有直观、友好的操作界面以及强大而完善的计算分析功能,能为发电、输配电和工业电力电气系统的设计提供全面的分析平台和解决方案。

该软件集成了包括潮流计算、短路计算、暂态稳定性分析、发电机/电机启动分析、谐波计算、优化潮流计算和继电保护配合在内的 10 余种计算模块,通过模块切换按钮即可完成一个工程的所有计算,给使用者带来了极大的便利。

### 2.2 工程应用

#### 2.2.1 负荷情况

本文针对某项目,利用 ETAP 软件建立模型,分析启动时电机的电流、电压的变化以及电机启动对

发电机母线电压的影响,根据分析结果判断电机启动是否对其他正常运行的负荷产生影响,从而对发电机的容量进行最佳的选择。

本项目中的重要生产设备由正常电源供电,外部电网故障失电时由应急电源供电。应急负荷包括7台电动机、2个其他等效负荷,总体负荷情况见表1。

表1 项目负荷情况

设备	电动机							等效负荷	
	Mtr1	Mtr2	Mtr3	Mtr4	Mtr5	Mtr6	Mtr7	Lump1 *	Lump2 *
负荷值	110.0	18.5	160.0	75.0	75.0	75.0	55.0	106.2	106.2

注:带\*设备的单位为kVA。

## 2.2.2 电力系统单线图

在使用 ETAP 软件进行模拟仿真时,首先要建立电力系统单线图,并将各重要设备及回路中必须的电气元件加入单线图,这些元件包括发电机、母线、开关、电缆、等效成套设备负荷、电动机等。整个

应急负荷的供电系统搭建好后,进行模拟仿真,通过监控和记录各个参数,并对记录下来的数据进行分析,确定发电机的容量。本模型中各个元件(电缆、电机等)的参数值由施耐德的参数数据库生成,电力系统单线图如图1所示。

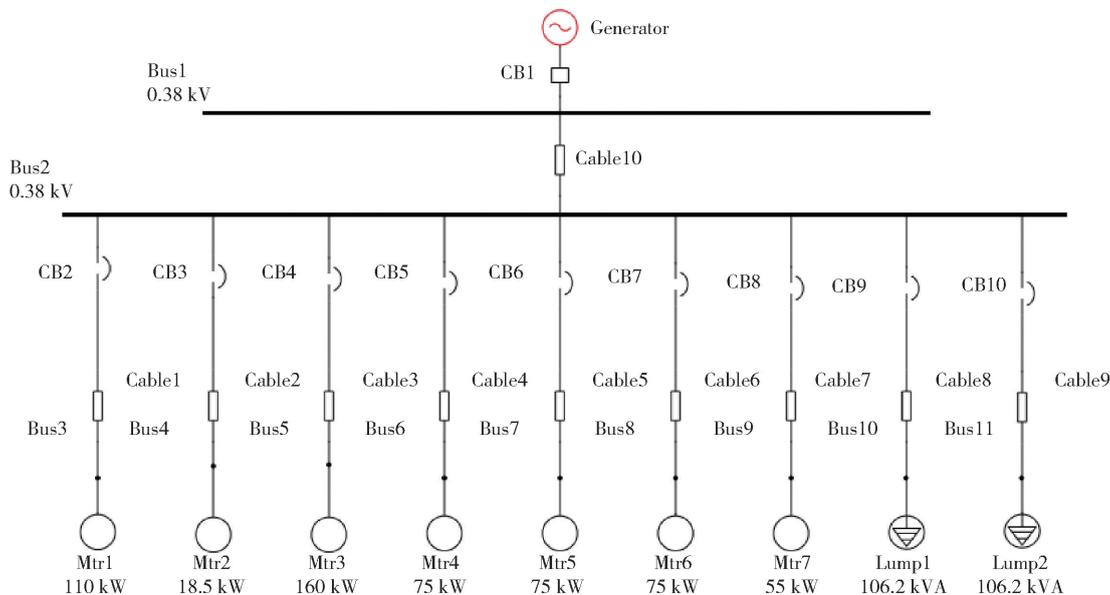


图1 电力系统单线图

## 2.2.3 发电机容量确定

首先应进行负荷计算,确定系统的总容量。由于系统中不同容量的电气设备的启动电流各不相同,且启动电流一般为额定运行电流的4~7倍,所以在发电机选型时不仅要考虑满足系统总容量的要求,还要保证所有应急设备都能够正常启动。由负荷的种类及大小可知,没有必要对每一个电气设备的启动都加以分析,因为如果容量最大的电动机或者设备能成功启动,且其他设备的运行不受影响,那么其他容量较小的电气设备启动都不会有问题,所以在分析的过程中,只需考虑系统中容量最大的一台设备即可。在此工程中,设备中电动机 Mtr3 的功率为 160 kW,远大于其他设备,所以设置触发事件

时,可以设置在其他设备都正常运行的情况下启动 Mtr3,如果 Mtr3 的启动不会影响其他设备的正常运转,那么此时发电机的容量即可视为满足系统正常运行所需的合理容量。发电机的总容量计算结果见表2。

表2中各电机的负荷计算方法均为需要系数法,功率因素和需要系数根据《工业与民用供配电设计手册》中的相关章节来选取,计算过程略。

由表2可知,系统总容量为 679.89 kVA,因此发电机总容量首先必须大于 679.89 kVA。在设置触发事件时,分别选取容量为 800 kVA、1 000 kVA、1 250 kVA 的发电机进行模拟仿真,以监控和分析 Mtr3 启动时电机电流、电压变化以及发动机母线

表 2 发电机容量计算

受电设备名称	台数	设备功率/kW		cos $\phi$	tg $\phi$	需要系数	计算负荷		
		单台	总功率				有功功率/kW	无功功率/kvar	视在功率/kVA
Mtr1	1	110.00	110.00	0.85	0.68	0.68	74.80	50.86	90.46
Mtr2	1	18.50	18.50	0.85	0.68	0.68	12.58	8.55	15.21
Mtr3	1	160.00	160.00	0.85	0.68	0.68	108.80	73.98	131.57
Mtr4	1	75.00	75.00	0.85	0.68	0.68	51.00	34.68	61.67
Mtr5	1	75.00	75.00	0.85	0.68	0.68	51.00	34.68	61.67
Mtr6	1	75.00	75.00	0.85	0.68	0.68	51.00	34.68	61.67
Mtr7	1	55.00	55.00	0.85	0.68	0.68	37.40	25.43	45.23
Lump1	1	—	—	—	—	—	—	—	106.20
Lump2	1	—	—	—	—	—	—	—	106.20
小计	9	—	—	—	—	—	—	—	679.89

电压的变化情况。

### 2.2.3.1 发电机容量为 800 kVA

点击“运行动态电动机启动”，可以得到电动机 Mtr3 启动时的电流变化、电机端电压变化以及发电机母线电压变化，如图 2 ~ 图 4 所示。

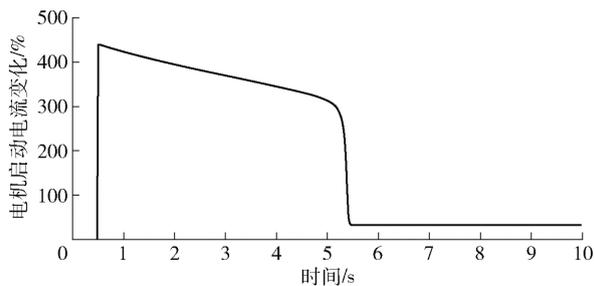


图 2 电机启动电流变化曲线

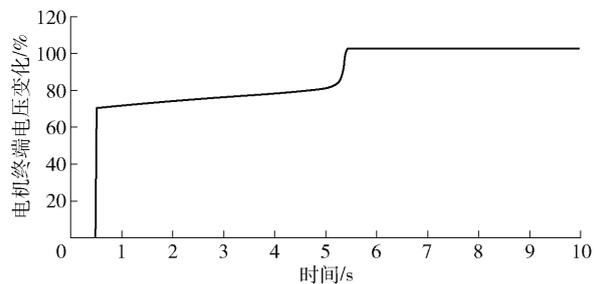


图 3 电机终端电压变化曲线

一般而言，根据接触器的制造规范，交流接触器线圈的电压低于额定电压的 70% 时，就应该可靠释放，所以由图 4 曲线可知，若选择容量 800 kVA 的发电机，功率为 160 kW 的电动机启动时，母线电压在启动初期会瞬间拉低到标准电压的 70% 以下，造成母线上其他应急设备回路的接触器因电压过低而失电，所以 800 kVA 的发电机容量明显不满足系统正常运行的要求。

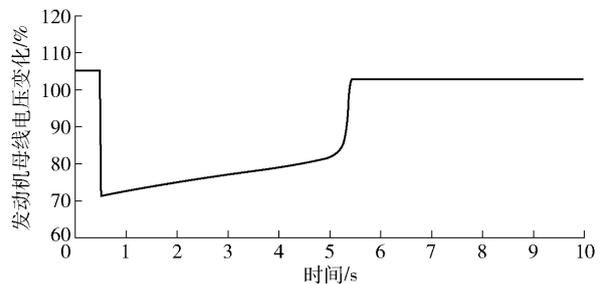


图 4 电机启动时母线电压变化曲线

### 2.2.3.2 发电机容量为 1 000 kVA

当选取容量 1 000 kVA 的发电机时，电动机 Mtr3 启动时的电流变化、电机端电压变化以及母线电压变化如图 5 ~ 图 7 所示。

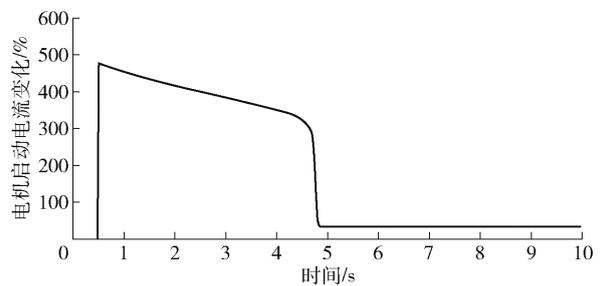


图 5 电机启动电流变化曲线

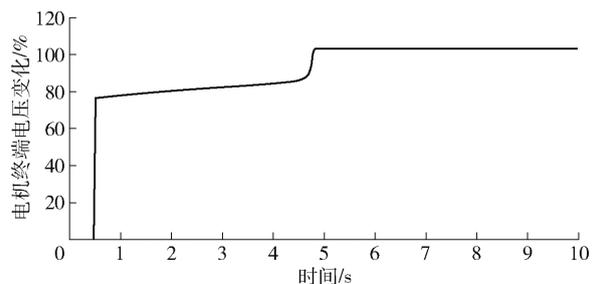


图 6 电机终端电压变化曲线

由图 5 ~ 图 7 曲线可知，若选择容量 1 000 kVA

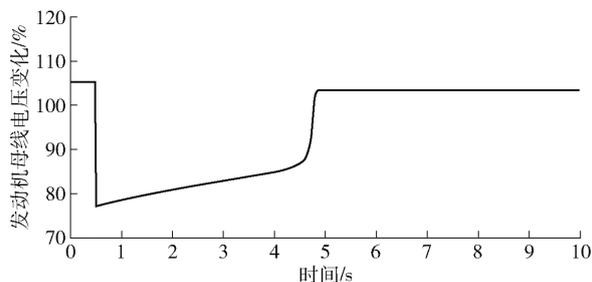


图7 电机启动时母线电压变化曲线

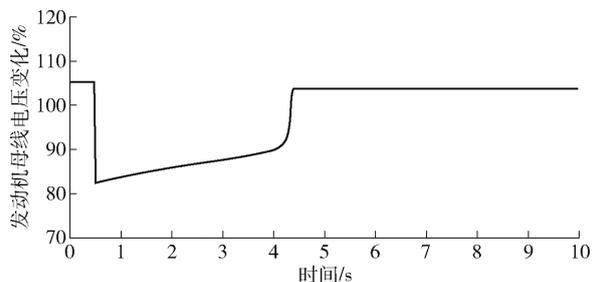


图10 电机启动时母线电压变化曲线

的发电机,功率为 160 kW 的电动机启动时,母线电压在启动初期会瞬间拉低到标准电压的 78% 左右,此时最大功率电机启动不会造成其他应急设备失电,但考虑到安全冗余及以后设备改造升级可能增加负荷的情况,1 000 kVA 容量偏小。

### 2.2.3.3 发电机容量为 1 250 kVA

当选取容量 1 250 kVA 的发电机时,电动机启动时的电流变化、电机端电压变化以及母线电压变化如图 8 ~ 图 10 所示。

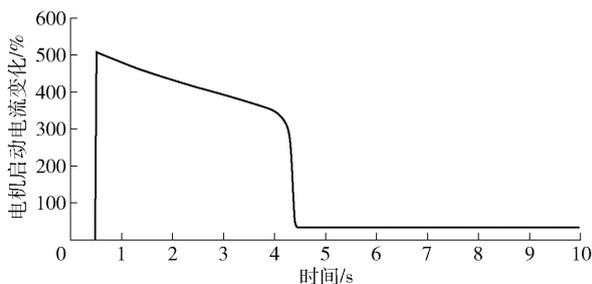


图8 电机启动电流变化曲线

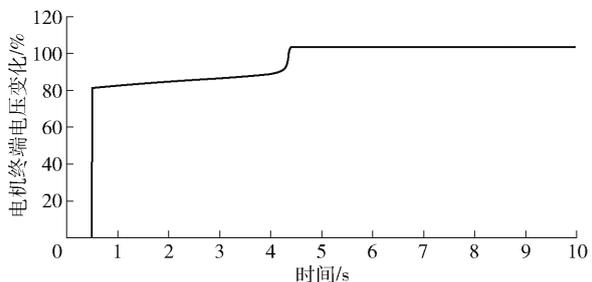


图9 电机终端电压变化曲线

由图 8 ~ 图 10 曲线可知,若选择容量 1 250 kVA 的发电机,当功率为 160 kW 的电动机启动时,母线电压在启动初期会瞬间拉低到标准电压的 82% 左右,此时不但最大功率电机启动不会造成其他应急设备失电,而且从图中各曲线相比较可以看出,当发电机容量为 1 250 kVA 时,电机启动时间最短,电机

终端电压变化最小,所以在此工程实例中,选择 1 250 kVA 容量的发电机较为科学<sup>[3-4]</sup>。

## 3 结束语

随着电气设计中对应急负荷供电的稳定性和安全性要求越来越高,发电机的选型也变得越来越重要。容量过大,浪费成本;容量过小,会造成应急设备供电不稳定,容易引发事故,甚至造成重大经济损失。根据应急设备启动时的电流、电压变化及发电机母线电压变化来选择发电机容量,是电力系统设计的重点和难点,而在传统的发电机选型计算中,计算公式多,计算难度大,需要的参数较多,需查阅较多资料,给发电机的选型计算带来很大困难。本文通过采用 ETAP 软件对实际工程中发电机选型进行分析计算,对系统中各个应急设备启动时的各个相关参数进行监控分析,并给出最优的选择。

工程实践表明,ETAP 作为全球范围内领先的电力系统仿真分析、计算软件,其功能强大、计算准确,尤其是在模拟仿真电机的启动方面,能够简化设计工作量、提高工作效率,对应急负荷的电力系统设计具有一定的指导作用。

### [参考文献]

- [1] 中国航空规划设计研究总院有限公司组编. 工业与民用供配电设计手册 第 4 版[M]. 北京:中国电力出版社,2016.
- [2] 《工厂常用电气设备手册》编写组. 工厂常用电气设备手册[M]. 北京:中国电力出版社,2003:453.
- [3] 凌卫家,吕东晓,戴江江,等. 面向用户的电力系统模拟计算高级应用软件[J]. 湖北电力,2002,26(2): 33-35.
- [4] 齐占庆,王振臣. 电气控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2011.