

# 基于模拟仿真的电力系统稳定性分析与优化

石易立

(江苏航运职业技术学院智能制造与信息学院 226010)

**摘要:** 随着我国经济社会的不断发展,对能源需求越来越大。为了满足日益增长的用电符合要求,保证电网安全、可靠运行,必须加强电力系统的规划设计工作,提高其稳定性。在电力系统中,由于各种扰动因素的存在,使得电力系统的动态行为变得十分复杂,这就需要通过建立数学模型来研究电力系统的稳定性问题。

**关键词:** 基于模拟仿真;电力系统稳定性分析与优化

## 一、电力系统稳定性分析方法

### 1.1 电力系统稳定性分析的意义

电力系统是现代生活中不可或缺的基础设施,其运行状态直接关系到人们生产生活的正常进行。在实际应用过程中,由于各种原因可能会导致电力系统出现不稳定现象,如电压波动、频率变化等,这些问题不仅会影响电网本身的安全稳定性,还会对整个国民经济造成严重的负面影响。因此,研究如何提高电力系统的稳定性具有重要意义。

电力系统的稳定性受到多种因素的综合作用,包括负荷增长、短路故障、发电机故障以及天气条件等。为了保证电力系统能够长期稳定地工作,需要通过科学有效的手段来评估和控制这些潜在威胁。

目前,常用的电力系统稳定性分析方法主要有数学模型法、物理模型法和计算实验法三种。其中,数学模型法以微分方程为主要工具,可以较好地描述电力系统的动态行为;物理模型法则更加注重电力系统内部各个元件之间的相互作用机理;而计算实验法则是将电力系统抽象成一个计算机程序,通过数值计算来求解最优方案。这三种方法各有优缺点,应当结合具体情况选择合适的方法进行电力系统稳定性分析。

### 1.2 电力系统稳定性分析的内容

(1)静态稳定性。在电力系统运行过程中,由于各种因素导致电网出现了功率不平衡、电压波动等情况时,即可判断该电力系统处于静态不稳定状态。此时需要采取相应措施进行调整和控制,以保证电力系统能够保持正常运行。

(2)暂态稳定性。当电力系统受到外部干扰或内部故障引起负荷瞬间变化时,可能会引发电力系统失去平衡而进入到暂态阶段。因此,对电力系统暂态稳定性的研究也是十分必要的。通过分析电力系统暂态响应特性及失稳原因,可以为电力系统安全稳定运行提供有力保障。

(3)动态稳定性。电力系统在实际运行过程中,不仅存在着静态稳定性问题,还面临着动态稳定性问题。例如,电力系统发生大扰动后,若不能及时恢复到新的均衡点,就会造成电力系统再次失去稳定性。因此,对电力系统动态稳定性的研究同样具有重要意义。

总之,电力系统稳定性分析是一个综合性很强的工作,涉及多个方面的知识和技术。只有全面深入地掌握这些理论基础并加以灵活运用,才能更好地解决电力系统运行中所遇到的各类问题,确保其安全稳定运行。

### 1.3 电力系统稳定性分析的步骤

电力系统稳定性分析是一个复杂而繁琐的过程,需要按照一定的流程进行。一般来说,电力系统稳定性分析主要包括以下几个步骤:

第一步,确定研究对象和目标。在这一步中,我们需要明确要分析的问题以及所需达到的目的。第二步,建立数学模型。这是电力系统稳定性分析的核心环节之一。通过对电力系统各个部分之间关系的建模,可以清晰地描述电力系统的运行状态及其变化规律。第三步,求解数学模型并计算结果。利用计算机等现代工具对建立好的数学模型进行求解,得到电力系统各项指标的数值及趋势图。第四步,综合评价电力系统稳定性。结合实际情况,从多个角度对所得到的数据进行综合评估,得出电力系统稳定性的总体结论。第五步,提出改进措施。根据电力系

统稳定性分析的结果,针对存在的问题提出相应的解决方案或建议。第六步,重复上述步骤直至完成所有分析工作。

### 1.4 电力系统稳定性分析的常用方法

(1)静态稳定性分析。静态稳定性是指在外部扰动时,电力系统各元件保持不变的状态下所具有的稳定性能力。静态稳定性分析主要包括潮流计算、负荷预测和暂态稳定校验等方面。其中,潮流计算可以通过对电网中各个节点电压及功率因数进行计算来判断是否存在短路或负载过重现象;负荷预测则利用历史数据或者天气预报信息对未来一段时间内的负荷情况进行预估,从而为后续的运行调度提供参考依据;暂态稳定校验一般采用小干扰分析法,即在电力系统发生故障后,对其进行重新调整并观察其恢复过程中所表现出的动态响应特性以及稳态误差大小。

(2)暂态稳定性分析。暂态稳定性是指当电力系统遭受外界短暂扰动时,由于失去了静态平衡而出现失控的可能性。因此,暂态稳定性分析需要考虑到电力系统中各种不同类型的扰动因素,如发电机突然停机、变压器匝间短路、母线接地短路等。同时还需结合实际工程应用场景,综合运用数学模型、仿真工具等手段开展研究工作。

(3)动态稳定性分析。动态稳定性是指电力系统在受到外部扰动时能否快速做出正确反应以达到新的静态平衡状态的能力。该分析内容通常涉及电力系统的频率变化率、功角差、有载调压变压器分接头位置等参数。此外,还应注意电力系统中各种不同类型的扰动因素之间相互作用及其产生的影响。

综上所述,电力系统稳定性分析作为电力系统分析领域的重要组成部分,其实践意义在于提高电力系统的安全可靠性和经济效益。

### 1.5 电力系统稳定性分析的数学模型

在电力系统中,为了对其进行稳定性评估和控制设计等方面的研究,需要建立相应的数学模型。本文采用 PSAT 软件搭建了一个典型的 6 节点发电机组电力系统模型,并将该模型作为后续稳定性分析的基础。

首先,考虑到电力系统中各个元件之间存在相互作用关系,因此我们引入了状态空间平均法来描述系统动态行为。具体而言,即通过构造状态变量、输入输出变量以及它们之间的约束条件,得到系统的状态方程和平衡方程。然后,利用线性化原理,将非线性微分方程转化成一列简单的常系数线性微分方程,从而实现了对复杂电力系统的建模。

接着,针对所建立的电力系统模型,我们分别从静态稳定性和暂态稳定性两个角度出发,提出了相应的分析指标。其中,静态稳定性主要包括负荷裕度(LM)、最小失稳边界(MCB)以及功角稳定域(PSDB);暂态稳定性则以振荡中心轨迹(OCXZ)为主要评价指标。这些指标可以全面反映出电力系统的运行状况,有助于指导实际工程应用中的决策制定。

最后,结合前述章节中所提及的各项指标,我们还开发了一套完整的电力系统稳定性分析程序,用于辅助相关领域的科研工作者开展深入研究工作。

## 二、基于模拟仿真的电力系统稳定性分析

### 2.1 电力系统稳定性概述

电力系统是由发电机、变压器等设备组成,通过输电线路将电能从发电厂输送到用户端。在实际运行中,电力系统受到各种因素影响可能出现不稳定现象,如负荷突变、短路故障等,这些都会对电网造成不同程度的损害。因此,研究电力系统的稳定性问题具有重要意义。

电力系统的稳定性可以分为静态和动态两个方面进行考虑。静态稳定性指当电力系统处于额定状态时,各元件参数不随时间变化而改变所达到的稳定状态;动态稳定性则指电力系统在遭受扰动后恢复到初始平衡状态的能力。

目前,常用的电力系统稳定性分析方法包括解析法、数值算法以及综合评估法三种。其中,解析法适用于简单电力系统模型,但其精度较低且难以应用于复杂电力系统;数值算法虽然能够精确地描述电力系统的动态行为,但需要大量计算资源并且不易实现自动化;综合评估法结合了多种算法优点,既能保证计算精度又易于实现自动化。

### 2.2 电力系统稳定性分析方法

在进行电力系统稳定性研究时,需要采用合适的方法来评估其稳定性。目前常用的稳定性分析方法主要包括模态分析法、根轨迹法和功率谱密度法等。其中,模态分析法是一种通过计算系统固有频率及其振型来判断系统是否存在失稳风险的方法;根轨迹法则是利用系统状态变量随着时间变化而绘制出的曲线图来确定系统失稳临界点位置及类型;功率谱密度法则是通过对系统运行过程中各频段内能量分布情况进行分析来判断系统稳定性<sup>9</sup>。

此外,为了更加全面地评估电力系统的稳定性,还可以结合多种不同的指标进行综合评价。

总之,针对电力系统的稳定性问题,应当充分发挥各种分析方法的优点,并结合实际应用场景选择最适合的方案进行解决。

### 2.3 电力系统稳定性分析的数学模型

在进行电力系统稳定性研究时,需要建立相应的数学模型。本节将介绍几种常见的电力系统稳定性分析的数学模型及其应用场景。

(1)静态电压稳定性分析的数学模型。该模型主要考虑发电机组出力、负荷变化等因素对电网电压的影响,通过计算得出系统中各个节点的电压偏移情况以及失稳边界值。静态电压稳定性分析是电力系统运行和规划设计过程中必须进行的一项重要工作。

(2)暂态稳定性分析的数学模型。该模型主要考虑电力系统受到故障或扰动后,其动态行为会发生改变,进而导致系统失去稳定状态。因此,该模型重点关注电力系统的瞬态响应特性及失稳临界条件的确定。

(3)小干扰稳定性分析的数学模型。该模型主要考虑电力系统内部各种元件参数的微小波动对系统整体性能的影响,以判断系统是否能够保持稳定。该模型广泛应用于电力系统的继电保护装置调试和整定过程中。

除了以上三种常用的电力系统稳定性分析数学模型外,还有一些其他类型的数学模型,如极限传输功率法、改进的 Nyquist 判据等等。这些模型都具有各自的特点和适用范围,可根据实际需求选用合适的方法进行建模和分析。

### 2.4 电力系统稳定性分析的计算方法

在进行电力系统稳定性分析时,需要采用相应的计算方法。目前常用的计算方法主要包括潮流计算、暂态过程计算和静态电压稳定性分析等方面。其中,潮流计算是电力系统稳定性分析中最为重要的一环之一。其目的在于通过对电网各节点电流大小及方向进行求解,进而得出网络中各个元件参数变化情况及其影响程度。而暂态过程计算则主要用于研究电力系统发生故障或异常运行状态时的响应特性以及可能出现的不稳定现象。静态电压稳定性分析则主要针对电力系统中存在的各种问题,如负荷增长过快导致的电压波动等因素所引起的电压失稳问题。这些计算方法都可以有效地帮助我们评估电力系统的稳定性并提出相

应的改进措施。同时,还可借助一些辅助工具来提高计算效率,例如 PSAT 软件等。总之,合理选择合适的计算方法能够大大提升电力系统稳定性分析的准确度和可靠性,从而更好地保障电力供应的安全和稳定<sup>9</sup>。

## 三、基于模拟仿真的电力系统稳定性优化

### 3.1 电力系统稳定性优化模型

在电力系统中,为了保证其运行的安全和可靠,需要对其进行稳定性评估。本文采用 PSAS 软件搭建了一个典型的电力系统模型,并利用该模型进行了电力系统的稳定性分析。同时,针对电力系统存在的问题提出了一种新的稳定性优化方案。下面将分别介绍这两个方面的内容。

首先是电力系统稳定性分析。通过对电力系统的建模和仿真计算,可以得到电力系统各个节点电压、功率等参数随时间变化的曲线图。当系统负荷发生突变时,系统会出现较大波动,进而导致整个电力系统失稳。因此,必须采取措施来提高电力系统的稳定性。接下来是电力系统稳定性优化方案。针对电力系统存在的问题,我们提出了一种新的稳定性优化方案。具体来说,就是在电力系统中加入一些控制装置,如励磁控制器、调速器等,以实现电力系统的调节和控制。这样一来,就能有效地降低电力系统的震荡幅度,从而提高其稳定性。

### 3.2 电力系统稳定性优化算法

在进行电力系统稳定性优化时,需要选择合适的优化算法。本文采用遗传算法对电力系统进行优化设计。遗传算法是一种通过模拟生物进化过程来寻找最优解的方法。其基本流程包括初始化、选择操作、交叉和变异等步骤。具体地说,首先随机生成一组个体编码,然后计算每个个体的适应度函数值,并将其作为评价该个体优劣程度的指标;接着按照一定规则选择优良个体组成新的群体;最后再交叉和变异等算子对群体中的个体进行筛选或改进<sup>9</sup>。

据上述分析,遗传算法具有较强的全局优化能力和不易陷入局部极值的特点,因此极适用于解决复杂的非线性问题。同时,遗传算法也能够处理多目标优化问题,且不需要求解权重系数。

接下来,我们针对某实际电力系统进行了稳定性优化实验。在优化前,我们使用 MATLAB 软件建立了电力系统模型,并设置了相应参数。经过多次试验比较后,最终选取了遗传算法作为主要优化工具。

在优化结果方面,我们发现经过遗传算法优化后的电力系统稳定性能有明显提升。例如,当系统发生短路故障时,优化后的系统响应速度更快,恢复时间更短,电压波动幅度更小。这表明遗传算法在电力系统稳定性优化领域有着广泛应用前景。

## 四、结束语

综上所述,基于模拟仿真的电力系统稳定性优化是一项重要工作。本文提出了一种基于遗传算法的电力系统稳定性优化方案,并通过实例验证了该方案的有效性。未来还需进一步完善算法细节,提高优化效率,推动电力系统稳定性技术发展。

### 参考文献:

- [1]代万虎.新能源发电技术在电力系统中的有效应用,2020(36):100.
- [2]许莹,高靖,刘一涛,邓鑫阳,周沫,侯依昕,仲崇飞.基于鲁棒 DEA 的新能源电力系统投入产出效率评价研究,2019(4):558-563.
- [3]肖湘宁,罗超,廖坤玉.新能源电力系统次同步振荡问题研究综述,2017(6):85-97.
- [4]张硕,曾鸣,李英姿,刘敦楠.新能源电力系统用户需求响应复杂适应行为研究,2017(11):136-143.
- [5]刘吉臻,曾德良,田亮,高明明,王玮,牛玉广,房方.新能源电力消纳与燃煤电厂弹性运行控制策略,2015(21):5385-5394.