

供电系统误动作机理分析+ETAP 仿真

摘要：如今在电力系统中供电设备的安全性、稳定性有很高的要求。如果电力系统发生故障，就会造成设备损坏、产品报废，更严重的可能会导致火灾，人员伤亡等，将给企业的未来发展带来巨大的经济损失。这里，通过对误动作的机理分析来找出误动作的原因，当谐波电流超过一定的限值时，继电保护的误动作可能性将会增加。然而这里使用一种平均影响值（MIV，Mean Impact Value）的神经网络谐波源识别方法，用平均影响值来辨识电力系统中的主要谐波源，再使用 ETAP 软件进行谐波源的仿真分析，根据相关的数据，采用智能控制系统辨识的手段，选择特定线路的谐波污染源，为以后的谐波治理工作打下基础。

4785

关键字：谐波源辨识；神经网络；误动作；ETAP

Malfunction analysis of mechanism of power supply

system

Abstract: Nowadays, there are more requirements on the security and stability of the power supply equipment. Once error in power system, there will be great loss in products , equipment and lead to fire disaster .,which will bring huge economic loss to the future development of enterprise . Here, through analyzing the mechanism of the false action to find out the cause of the false action, when harmonic current exceeds a certain limit, the possibility of misoperation of relay protection will increase. But here using an average Value (MIV, Mean Impact Value) of the neural network harmonic source identification methods, with an average effect Value to identify the main harmonic sources in power system, then use ETAP software for simulation analysis of harmonic sources according to relevant data, using intelligent control system identification method, select a specific circuit of harmonic pollution sources, to harmonic governance work lays the foundation for later.

Key words: harmonic source identification; neural

network; malfunction; ETAP

1.1 现在国内外的研究电能质量的各种状况

在国外对电能质量的控制相关研究正逐渐新兴起来,提出了对于实际生产中会产生的电能质量的问题的分析方法,以及更深入进行的电力电子技术等控制电能质量装置的研发和电能质量控制技术的研究。在一九九六年,IEEE 将电力谐波与电能质量学术会议更名,这一举动体现了其将电能的质量提高到了一个新高度认识。

针对于上述电能质量的问题,国外研发机构研发人员已经提出并开发了晶闸管开关型电容器、配电用的串联型的电容器、有源,无源电力滤波器[21]等许多装置用来有效提高和改善供电系统的电能质量,这些设备主要采用了电子电力技术,其中有些装置已经相当的成熟,也逐渐开始进入了大量实用化的阶段。例如有源滤波器在日本的普遍使用,可以有效的抑制或消

除谐波电流。电能质量的评价指标通常采用几种定量来决定，比如功率因数，总谐波畸变率等等，但是当次谐波频率的波形为非周期、频率为分数时，上述评价指标就存在不协调问题。这涉及到了处理不平衡现象、畸变的功率定义，在此方面上国外已作了大量的研究，也给出些建议，然而至今还未能取得公认的一致建议[22]。

改善电能质量的设备有电能质量调节器 (PQC)。其可以对于供电电压中产生的各种情况快速的提供补偿，业界中，西门子已经生产了有关 PQC 的一系列设备，它是许多此类研发产品中具有代表性的产品之一，此系列产品是以 IGBT 为基础的 PWM 换流器，其组合了并联有源滤波器和串联有源滤波器。

用户的电力技术是综合性的结合了自动控制技术、电力电子技术、微处理机技术等等的新技术，针对于处理，减小用电系统中、低压配电系统的谐波畸变，消除了上文中所述的系统中各相电压的不对称，供电的短时中断，电压波动和闪变等各种情况，借此来提高了供电的可靠性和电能地质量。这一技术概念的提出，不仅仅可以帮助供电部门提高电力的高可靠

性和高质量，而且可以满足新工艺用户不断提出的对电力供应的更高需求。

在电力系统中，非线性的负载是导致谐波产生的根本原因，当电流流过负载时，与所加的电压不呈线性关系，于是就形成了非正弦电流，所以就有了谐波的产生。本文主要讨论了谐波的次数不能是个非整数。由谐波的定义可知，谐波的次数一定是正整数，国内的电力系统电制：额定的频率为 50HZ，2 次的谐波是 100HZ，3 次谐波是 150Hz；而欧美国家的电力系统额定的频率是 60HZ，基波就是 60Hz，2 次谐波是 120 Hz，3 次谐波是 180Hz。事实说明了谐波的次数不能是个非整数，所以也不允许存在非整数的谐波。

1.3 谐波数学定义

通常情况下,供用电的电力系统中,把电网稳态时的交流电压以及交流的电流为正弦形的波形。进行谐波的分析时,正弦电压普遍数学表示为[5]:

(1.1)

其中, U 指的是电压的有效值, φ 初相角, ω 角频率。

正弦的电压一般施加于线性的无源元器件上, 如: 电感、电阻、电容上, 电压和电源分别是积分、比例、微分关系, 且是相同频率正弦波。正弦形的电压施加于非正弦的电路时, 电流就会变成非正弦的波, 这样非正弦的电流会在电网的阻抗上将会产生一定的压降, 导致电压的波形畸变成为非正弦的波。于是, 非正弦的电压加在线性的电路上时, 电流也为非正弦波。

谐波分析理论中任何的周期性波都能由傅立叶级数的形式分解, 将这种理论分析称之为谐波分析或者频域分析。谐波分析是一种用以计算周期性的畸变波形基波, 谐波幅值, 谐波相角基本的方法。周期为 T 的非正弦形的电压, 通常符合狄力赫利条件, 按照傅立叶级数分解成如下形式:

(3) 谐波引起电气设备的非正常工作[9]

谐波引起的附加损耗，会使得电机升温，从而破坏电机。当谐波电流的频率接近电机的固有的震动频率，将会产生发电机强烈的机械振动，在电机的运行过程中，由于谐波电流的流入会导致变压器内部绕组产生附加损耗，同时引起设备的外壳等紧固的元件发热，而且谐波也会引起电缆浸渍绝缘局部发生放电现象，从而导致电气设备的非正常工作。

(4) 谐波对继电保护和自动控制装置造成影响

电流有效值的平方决定电磁型继电器的动作，虽然对不同的频率不敏感，但是在动态的情况下也会造成很大的影响。比如，在空载的变压器中，会有伴有谐波含量很高的励磁涌流产生，从而导致继电器发生误动作，使开关跳闸。在生产的过程中，如果注入电网的谐波电流超过一定的限值时，也会加大继电保护的误动作，干扰自动控制装置，最终造成电力设备的误动作或者是拒动。

(6) 谐波影响电力系统的仪表和电能计量

计量电能的感应型电能表之所以受谐波的影响大，是由于频率和非线性度形成的误差，在电力系统中，谐波负荷设备在吸纳基波功率的同时，也会向系统回馈送出谐波功率，所以用户侧的电网不仅吸收了基波功率，也同时吸收了无用的谐波功率，会造成系统的仪表测量不准确。

1.5 谐波源辨识的意义

通过对谐波源的辨识，可以专项整治谐波污染，从而减少误动作的产生，所以，谐波的辨识是非常重要的，主要体现的方面如下：

(1) 在一个系统中，如果有多个谐波源存在，那么可以通过辨识，得到主要影响电网电能质量的谐波源，并且对其进行专项治理。

(2) 协调供用电双方的矛盾[11]。通过谐波辨识，能明确电能质量的责任承担方，减少供电公司和用电客户之间的矛盾，也能提高供电公司的服务水平和用

原创力文档

max.book118.com

识别与原文一致，请下载高清无水印

电质量。

神经网络虽然已经在许多的领域里都取得了广泛的应用与成功，但是其发展还不十分成熟，仍有一些问题需要进一步的研究：

(1) 神经计算的基础理论框架以及生理层面的研究仍需要深入，这个是为神经计算的进一步发展打下基础的。

(2) 神经网络用于控制时还有许多问题值得研究：现行的学习算法收敛速度低，存在局部最优的问题，分布式并行处理方式的网络内部机理并不清楚，选择网络层数、每层神经元的个数，还需要凭经验；因此需要创造更适合于控制的专用神经网络；网络建立模算法和控制系统的收敛性与稳定性需要进一步的研究。

(3) 神经计算技术与其他技术尤其是进化计算技术的结合以及由此而来的混合方法和混合系统，正成为

一大研究热点。

2.3 ANN 简介

根据生物知识可以知道，大量神经元组成了复杂的人脑结构体，神经元又是由轴突、树突和细胞体三个部分构成。其结构如图 2.1 所示，树突端与细胞体相连接，而另一端连接了其他的神经元突触，接收到的信号借由它传递到细胞体，实质是种神经纤维的接收网络。在接收到信之后，细胞体就对其进行适当的处理，它们两者之间的关系其实就类似人脑与和身体的其他器官间的依赖关系。由图中看出，轴突其实是单根的细长的神经纤维，细胞体的信号通过它传送到其他的神经元，从而实现了信息传递。在传递信息的过程中，突触就是一个是神经元的轴突与另一个神经元轴突的结合点，ANN 的功能直接由突触的强度和神经元的排列决定了。

图 2.1 生物神经元的简化示意图

生物神经网络中与生俱来了某些得神经结构，而其他部分可是在学习中不断形成的。所以，在整个生命期内 ANN 是不断地改变，加强或者减弱突触连接是在生命周期的后期的改变主要。即，在处理任务时，ANN 中的突触和轴突的强度和细胞体之间的联结是起着关键作用的。于是，根据这一人脑的特性，研究人员模仿其原理，构建出了现在的 ANN 体系。图 22 所示是人工神经网络的单输入单神经元简化结构图。

图 2.3 (c)

(4) 相互结合型网络

如图 2.3 (d) 所示，这种网络中任意两个神经元之间都可能连接，在不含反馈的前向网络中，输入信号一旦通过某个神经元就将输出这个信号的变换值。但是，在相互结合型的网络中，输入信号要在神经元

之间反复往返传递，网络处于一种不断改变状态的动态之中。从某初态开始，经过若干次的状态变化，网络才会到达某种稳定的状态，再根据网络的结构和神经元的映射特性，网络还有可能进入周期震荡或者其他的平衡状态，如混沌状态。

图 2.3 (d)

2.4 神经网络的分类

由于神经网络在解决复杂问题时能够提供一种相对简单的方法，因此近年来越来越受到人们的关注。神经网络模型是各种各样的，它从不同的角度对生物神经网络进行不同层次的描述和模拟。代表性的网络模型有 BP 网络、RBF 网络、Hopfield 网络、自组织特征映射网络等。下面对这几个网络分别进行简单的介绍。

(1) RBF 神经网络也叫做径向基函数网络，它是以函数逼近理论为基础而构造的一类前向网络，这类网络的学习等价于在多维空间中寻找训练数据的最佳拟

合平面。而径向基函数网络的每个隐层神经元激活函数都构成了拟合平面的一个基函数，因此网络也由此得名。

(2) Hopfield 网络是一种单层的网络,令网络由 n 个单元组成, $N_1, N_2, \dots, N_n$ 表示 n 个神经元,它们即是输入单元,又是输出单元。从图中可以看出此网络是一层结构的反馈网络,能处理双极型离散数据及二进制数据。

(3) 自组织特征映射网络也可称为 Kohonen 网络,或者是 Self Organizing Feature Map(SOFM),它是由芬兰学者 Teuvo Kohonen 提出的, Kohonen 认为,处于空间中不同区域的神经元有不同的分工,当一个神经网络接受外界输入模式时,将会分为不同的反应区域,各区域对输入模式具有不同的响应特征,在输出空间中,这些神经元将形成一张映射图,其中功能相同的神经元靠的近,不同的离得远,它在模式识别、联想存储、样本分类、优化计算、机器人控制等领域中得到广泛的应用。

学习算法在选定网络的结构后，接下来的问题就是调整权值的方法。由于论文研究具体应用的需要，本文中重点 BP 算法的学习算法。

2.5.1 反向传播算法(BP)

如图 2.8 所示的是 BP 的网络基本结构，整个拓扑结构有输入、输出层，还有中间隐含层。按照 BP 网络的理论，其实隐含层可为一层或者多层，但是存在一个隐含层的 BP 网络就已能以任意的精度去完成映射任何的连续函数的作用，所以通常就只运用一个隐含层。整个的学习过程是由正向的传播输出过程和反向的传播调整过程组成：在正向的传播过程中，每层神经元的状态仅仅能影响下层神经元的状态，输入信号由输入层进入到隐含单元并进行逐层的处理，最终传向输出层；若在输出层无法得到所期望的输出，那么输出的信号误差可以沿原来的连接通路回馈进行反向的传播，直至又一次进入到输入层；整个过程中沿途修改各层神经元间的神经元阈值和连接权值，最终使得误差能够逐步渐渐达到最小的目的。

图 2.8 BP 神经网络结构

2.6 本章小结

本章介绍了神经网络的由来、发展趋势、分类以及学习算法等，并且对 ANN 也做了介绍，主要目的是，通过对神经网络基本原理介绍，能够为后面通过神经网络的原理来进行谐波辨识打下基础。

3 神经网络的应用

3.1 神经网络的应用现状

神经网络以其独特的结构和处理信息的方法，在许多实际应用领域中取得了显著的成效，主要应用如下：

(1) 自动控制领域。神经网络方法已经覆盖了控制理论中的绝大多数问题，主要有系统建模与辨识、PID

参数整定、极点配置、内模控制、优化设计、预测控制、最优控制、自适应控制、滤波与预测容错控制、模糊控制和学习控制等。

(2) 处理组合优化问题。典型的例子有成功解决了 TSP 问题，另外还有最大匹配问题、装箱问题和作业调度等。

式中 $i=1, 2, \dots, P$, f 为 S 型函数。

2. 算出 LC 层的单元输出值: (3.5)

式中 $j=1, 2, \dots, q$ 。

3. 算出输出 LC 层的单元一般化的误差:

(3.6)

式中 $j=1, 2, \dots, q$, $k=1, \dots, m$, m 为总体样本数; y_j 为 LC 层单元 j 的期望输出, d_j 为教师信号。

4. 算出输出 LB 的层单元一般化的误差:

(3.7)

式中 $i=1, 2, \dots, p$; 上式就是将 LC 层的单元误差反向又传到了 LB 层。

5. 调整 LC 层单元到 LB 层的单元连接权重以及阈值:

图 3.10MIV 算法流程图

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致, 下载高清无水印

3.4 学习样本的收集

学习样本对 BP 网络的应用成败至关重要, 学习样本如果差的话不但会导致网络的错误的映射关系, 同

时也会使神经网络的学习过程最终无法收敛，因此，应格外的注意去选择学习的样本。采集学习的样本的通常原则[46-47]：

(1)具有代表性的样本当：采集的样本应当尽可能起到“以点代面”作用，即，尽可能的体现网络的输入输出之间的关系。

(2)采集具有广泛性的样本：样本越为广泛性，那么训练出来的 BP 网络具有越好的适应能力，使它在多种场合适用。所以采集的样本最好能提供了 BP 网络在各种情况下的输入，并能给出相应的期望输出。

(3)采集具有紧凑性的样本：除了具有以上的条件外，学习的样本还应当具有紧凑性。若含有大量冗余成分，学习样本会产生以下的不利情况：

①训练出的神经网络会产生错误的映射，那么网络输出将出现过多偏向冗余学习的成分注入到所形成的输出。

②导致神经网络的学习过程收敛困难甚者是不收敛。

3.5 谐波源辨识的实际案例分析

下面利用上面所介绍的 BP 网络算法和 MIV 的神经网络谐波源的识别方法对 5#400V 母线上的变频器进行辨识,通过数据来明确哪个变频器对母线造成的污染最严重,为以后的治理打下良好的基础。(5#400V 母线上的变频器数据为查阅相关资料所得,如下表 31 所示)。

表 3.1 各监测点瞬时检测数据

THDI 谐波电流 (A)

5th7th11th13th

5#400V 母线 13.66%16.510.842.630.78

BP1105.27%77.3161.4826.6215.32

3.6 本章小结

本章先是对神经网络的应用趋势有个了解，着重介绍了 BP 神经网络的学习原理，然后提出了一种基于平均影响值 (MIV) 的神经网络识别的方法，利用平均影响值来得到在电力系统中对电能质量影响较大的谐波源，并进行了实例的分析。

4 供电系统的仿真分析

上文已经通过 BP 神经网络的算法和 MIV 来对 5#400V 母线上的数据进行了计算和辨识，得出了 BP1 是该段母线上最主要的谐波污染源，下面想继续通过 ETAP 软件来对谐波仿真分析，已验证上述的结论。

4.1 ETAP 软件介绍

ETAP 是国际通用的电力及电气系统分析计算商业软件，由美国 OTI 公司于 1984 年开发，1986 年正式

发布。目前，广泛地应用于各行业的发电、输配电和用电部门。

ETAP 软件为全图形的界面电力系统的计算、仿真、分析的高级工业的应用软件，其适用于分析以及计算从单一个的电厂或者变电站从而甚至是一个大型的电网的供电电力系统[48]。其软件具有潮流的计算、发电机和电机的启动分析、暂态稳定的分析、谐波的计算、继电保护配合、接地网的设计等等十余种的计算模块。上述的计算模块都集中在了这个软件内部，会给研究人员带来极大方便，而且它拥有以下较显著特点：

(1) 十分直观的图形化界面。其作为工程化应用软件，人机的界面十分重要的。工程计算中往往需要进行反复的调整所计算的条件，从而得出工程的最佳方案，若软件的输出结果的不够直观，这样计算的过程就变成了件繁琐又冗长，其软件能在单线的图上直接去进行了虚拟的现实操作，一旦进行改变之后，仅仅单击个计算的按钮就能够显示结果，显示效果也可以通过设置来改变，显示出来关心的数据而隐藏起来其他的部分。

(2) 此软件是一个全面集成数据的软件，其在数据库中包含了系统设备的多种性质，比如电气、逻辑、机械及物理属性。比如对某个设备负荷的谐波属性，即是谐波计算时所需要的。依靠大量的数据集成，该软件得以在一个图形的界面下能够完成了多种的计算任务。

电动机模块

母线上的各个电动机参数不一，由于多为风机、泵类负载，故采用 ETAP 软件中电机的通用模型进行仿真，功率因数 $PF=0.8987$ ，效率，参数配置图如图 4.4 所示。

图 4.4 电动机负载参数配置图

在完成了各个模块的参数配置以及谐波源建模后，

即可使用 ETAP 电力系统仿真软件对 5#400V 母线进行仿真分析。

4.3 基于 ETAP 的谐波分析

针对于某个较复杂的供电电力的系统，通过实测来了解全网的谐波分布是不可能的，所以就需要建立一个系统的谐波分析的模型，采取分布进行计算的方法对与电力系统的谐波。谐波的分析早已经成为供电电力系统分析的十分重要环节，其可以用来研究供电电力系统的规划和运行过程中的与产生的各个谐波有关的多种问题。借由谐波分析计算可以判断出点力系统是否正处于在谐波谐振的状态以及确定电力系统中各部分电流和电压波形畸变的程度，接着就可以判断出采取如何的措施去减小系统的谐振发生可能性。

根据 5#400V 母线的数据在 ETAP 中进行了仿真建模。仿真系统图如图 4.5 所示。

图 4.5 仿真系统图

在图 4.5 所示的仿真模型中，定义 BP1、BP7、BP8、BP13 为谐波源，其谐波源参数为表 2.2 中所示的数值。对已建的模型进行谐波潮流仿真分析，所得到的谐波电压分析和谐波电流分析分别如图 4.6 和 4.7 所示。

图 4.6 (a) 谐波电压仿真波形 (b) 谐波电压频谱图

图 4.7 (a) 谐波电流仿真波形 (b) 谐波电流频谱图

由上述电压电流波形以及对应的频谱图可以看出，由于变压器容量足够大从而保证了电压波形呈正弦且较完美，但是母线进线处的电流波形均畸变严重，对系统的电能质量以及安全运行有着较大的威胁。且各次谐波电压以及谐波电流与实际测试值比较，基本吻合实际情况，说明模型准确，可以用此模型进行谐波分析。