
电子电力变压器控制系统设计及仿真

目录

引 言.....	5
1 电力电子变压器控制系统	7
1.1 定义	8
1.2 工作原理	8
1.3 电力电子变压器控制系统组成结构	9
1.3.1 变压器.....	9
1.3.2 三相电源.....	11
1.4 经济与社会意义.....	11
2 MATLAB 及 Simulink 仿真软件介绍.....	13
2.1 MATLAB 软件介绍	13
2.2 Simulink 软件介绍.....	16
3 电力电子变压器闭环控制系统仿真.....	21
3.1 电力电子变压器仿真.....	21
3.2 电力电子变压器开环控制系统仿真	27
3.3 电力电子变压器闭环控制系统仿真.....	33
结论.....	40
参考文献.....	42

摘 要

电力电子变压器是一种结合了电力电子元件和高频变压器的新型装置,它除了能实现常规变压器中的电压之间的转换、电气的隔离还有能量传输,还能控制功率流动,提高电能质量,具有阻隔谐波和电压波动等多方面功能。本文所研究的主要方向有:

- (1) MATLAB 软件和 Simulink 软件的组成结构和使用方法。
- (2) 电力电子变压器的定义、工作原理、组成结构以及经济社会意义。
- (3) 电力电子变压器开环和闭环控制系统设计;在开环系统的基础上,添加模块、修改数据,将其设计成闭环控制系统。
- (4) 电力电子变压器开环和闭环控制系统仿真模型以及仿真结果的数据分析。

为了探索电力电子变压器控制系统,我采用了文献研究方法、模型研究法,在这基础之上,我还通过书籍、网络资料等相关内容熟悉控制系统的原理与结构,然后我进行了电力电子变压器开环控制系统和闭环控制系统设计与仿真,这部分采用 MATLAB 仿真实验方法。在完成控制系统仿真实验并且获取仿真实验结果的基础上,我展示并分析了控制系统中示波器的波形图像。

关键词:

引言

经过数十年的建设,我国的电网规模已相当可观,但总体结构仍然比较薄弱。在安装容量不足之外,电力系统通常在高峰负载时间内进入满运行状态,这严重威胁了电网的安全性。同时,我国正处于国家网络的早期阶段,网络需要由弱到强转变,弱连接系统的安全性和稳定性非常显著。电磁回路网络的问题也会影响电能传输容量的充分利用,相反,客户们对电能质量和供电的不可靠性有着比之前更敏锐的嗅觉,他们会更加重视这部分给他们生活带来的影响。这几年来,国家科技发展进入新的时代,信息技术成长迅速,而供电部门所提供的供电质量在现今社会中将会遇到了更大的挑战。我们迫切需要在现有电网结构的基础上尽可能避免故障,确保为用户提供可靠合理的标准电能,并确保其电气设备的安全和经济运行,这已经成为一个需要马上去解决的问题了。

从另一方面来讲,环境保护和可持续发展问题是当今世界许多国家越来越重视的一方面。积极使用新的可再生能源已成为社会发展的必然要求,因为传统的煤炭,石油和其他矿产能源储量是有限的,而这些资源将在几十年甚至数百年内耗尽。随着国家的发展,在接下来的几十年里面,使用太阳能、风能、水利能等自然能量发电的系统会成为主流系统,而这几种自然能源在整个能源结构中有着越来越高的地位。包含着交流和直流两种电源的分布式电源,它的容量相对来说比较小,但是它的分布范围也比较的广泛,它的缺点是电源的电压或者频率波动的幅度比较大,那么如何有效且准确的将它们合并到电力系统中,这是一个在未来我们需要花费大量的人力物力去解决的问题。

自从电力变压器发明以来,世界上每个地方的输配电系统都能够显而易见的找到变压器的存在,不仅仅是因为它们吸引眼球,更是因为数量非常之多。当前,铁芯油浸式电力变压器是从古至今流传下来的,它的工艺制作方法非常简单,而且可靠性很高,但是它们也具有诸如批量生产,高质量和大的空载损耗的缺点,同时产生威胁环境的变压器油,它的主要功能是电压转换和隔离,功能比较简单,当铁芯处在饱和状态时,将谐波施加到电网时会产生谐波并产生大的励磁涌流。在常规铁芯变压器承受的能量过多时,会导致输出电压下降,从而产生谐波;另一种情况,如果变压器的初次级侧都发生故障,那么故障的电流和电压将会很轻松地通过电磁耦合进行传播,出现这种情况的话,很容易导致故障扩散。当施加非线性负载时,失真的电流会流经变压器。进入电网会对电网造成污染。如果遇到特殊情况,电源侧的电压受到了不可控因素的影响,它将会被传输到负载一侧对敏感负载产生影响,此时我们倘若使用绝缘的液体(例如绝缘油),造成环境污染则是无法避免的。如果系统崩溃或过载,则需要支持相关设备保护它。由于上述原因,近年来,国内和国外的研究人员一直在积极地探索和研究新的电力变压器,伴随着大功率电力电子设备及其控制技术的发展,如何通过电力电子转换实现电力系统的电压转换和能量转换的新型变压器受到越来越多的关注。

在上世纪末,美国研究人员经过不懈的努力后提出了一种具有高频连接的变换电路,而我们现在直接进行转换的电力电子变压器的基础研究理论就是这种高频变换原理,电力电子变压器,又称电子变压器,这是一种基于大功率电子转换技术的新型电力变压器,用于电力系统中的电压转换,能量传输和绝缘,这是近年来在电力转换和传输领域中的重要研究成果之一。研究电力电子变压器的最初目的是减少常规变压器的体积和重量,

因为它的体积和重量和变压器工作频率是有着成反比的关系,所以我们可以通过使用电力电子技术来提高转换的频率从而达到减小体积重量的目的。美国研究人员在上世纪 70 年代末和 80 年代初进行了首次研究,上世纪末,美国电力学会也进行了相关研究。上述两个项目研究的试验模型机都不适合日常使用,因为其中使用了降压转换器,导致无法有效率的抑制输入谐波电流,同时变压器的输入和输出是不隔离的。在此期间,日本于 1998 年根据上述想法对相控型 DC / AC 高频变压器进行了分析和研究,并将其应用于 UPS 系统。基于相同的原理,日本在 1996 年提出了一种智能转换器,该转换器可以减小变压器的尺寸并实现恒定电压,电流和功率因数校正等功能。

本文的电力电子变压器闭环控制系统,就是在对电子变压器相关的概念以及相关结构有了一定的认知后,进行了创新和设计;在 MATLAB/Simulink 环境中搭建电力电子变压器模型,为了有更好的基础研究电子变压器,我通过仿真系统仔细的研究了电力变压器开环和闭环系统。本文的主要内容有两个方面:

(1) 我将会较为深入的了解电子变压器的基本概念和组成结构,查询国内外有关电子变压器技术的相关资料,了解这项技术当前的研究和发展方向,并且总结分析电子变压器中的主要问题。

(2) 我将建立电子变压器控制系统仿真模型,在文中会介绍基本环节的控制方法和原理。然后通过 Simulink 仿真软件对电力电子变压器控制系统模型进行设计及构建,通过对此模型的各种运行方式进行模拟,分析系统中示波器所展示的波形,以此来确定控制策略的精确性和有效性。

1. 电力电子变压器控制系统

1.1 定义

电子变压器又称电子电力变压器,这是一种通过使用电力电子技术从而实现能量之间传输和功率相互转换的新型变压器。在分析电子变压器的现有结构之后,我们可以得到如下理论:我们口中的电力电子变压器其实也就是实现了电力电子相互转换技术与高频转换技术的融合,这也就设计出了两种拥有不同的电力特性的电力之间进行相互转换的设备。这里所指的电力的特性主要是指电压(或电流)的幅度,频率,相位,相数,相序和波形等。

1.2 工作原理

变压器的基本功能有能量传输、电力转换以及系统分离。而我们所研究的电力电子变压器是一种能将电子转换器与高频变压器两种结构结合的设备。因为系统中所使用的设备在体积容量和压力承受方面会低于传统电力传输系统,所以在今后的研究中,电子变压器应该会先应用于配电方面。

主电路和控制电路两部分组成了电力电子变压器的电子转换器。在配电系统变压器中,我们将与电源侧连接的功率电子转换器的相应绕组和高频变压器定义为初级侧,以保持与传统电源变压器的一致性。将与功率电子转换器对应的高频变压器相连的绕组定义为次级侧。两者通过高频变压器连接。

工作原理如下:在初级侧,由于功率电子转换器的运行,工频母线的高压变成了高频交流方波。换句话说,就是将电压的频率升高,导致初级侧起到升高电压频率的作用。芯材饱和度、磁通密度、绕组最大允许温升对于变压器的体积来说,是三个比较大的影响因素,所以如果一个变压器的磁通密度处在高饱和的状态,那么它的体积也会变大。由于铁心材料的饱和磁通密度与变压器的工作频率成反比,因此初级电力电子转换器的高频效应提高了铁心材料的利用率,并节省了变

压器和变压器所占的空间。这是电力电子变压器相对于传统电力变压器的

优势之一。

1.3 电力电子变压器控制系统组成结构

基本的变压器控制系统电路模型有以下几个组成部分：交流电源、变压器、电阻、电压测量、电流测量、有功和无功计算、示波器、函数计算；而相对复杂的控制系统中，就会在这些组成部分基础上加入平均值计算、多功能桥式电路、三电平桥、三相 RLC 串联负载等等。

1.3.1 变压器

变压器是电力系统的组成部分之一，它的电磁特性会主导电力系统的整体性能和运行。高精确性、便捷性、重复性，这三个“性”是电力系统实时计算机仿真系统的相对于过去系统的优势，这三点优势也在电力的系统规划、系统保护、系统控制中起着决定性的作用。

(1) 单相变压器

MATLAB 的单相变压器模型有两个，一个是线性模型（如图 1），一个是考虑了铁心饱和效应的模型（如图 2），线性模型与饱和模型相比，

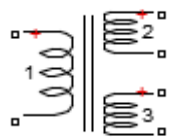


图 1 单相变压器线性模型

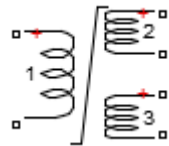


图 2 单相变压器铁心饱和效应模型

只是减少了反应铁心饱和特性的参数。模型有三个绕组，一个为一次绕组，两个为二次绕组。如果设置第二个二次绕组中漏感和电阻的参数 L_3 、 R_3 为零，那么模型二次侧就只有一个绕组，并且模型图标也会随之改变（如图 3）。

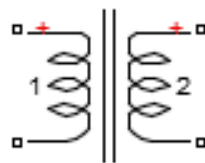


图 3 单相变压器

(2) 三相变压器

MATLAB 的三相变压器模型总共有 10 个，分布在电器元件模块库和其他电器模块库的三相模块子集中。其中比较常用的两个有：其中一个有一组三相输入，一组三相输出，称为三相两绕组变压器（如图 4）。

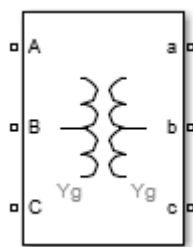
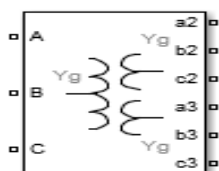


图 4 三相两绕组变压器

另一个是一组三相输入，两组三相输出，称为三相三绕组变压器（如图 5）。

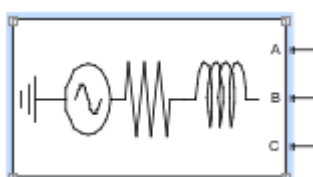
图 5 三相绕组变压器



这种变压器模型实际上是由多个单相变压器模型根据不同的连接组要求链接而成的，因此三相变压器的参数设置与单相变压器相同。在三相变压器参数中，变压器容量、电压、频率使用伏安、伏、赫兹这三个单位进行展示，同时，线电压有效值被电压所采用。

1.3.2 三相电源

三相交流电源（如图 6）：由三个振动幅度相等，频率相同，相位依次互差一定角度的交流电路组成。它是由三相交流发电机产生的。日常生活中所用的单相交流电，实际上是由三相交流电的一相提供的，由单相交流电源已经很少采用。三相交流电比单相交流电具有许多优势。它在发电，传输和分配以及将电能转换为机械能方面具有明显的优势。例如，制造三相发电机和变压器比相同容量的单相发电机和变压器节省更多的材料，并且具有简单的结构和优越的性能。例如，由相同材料制成的三相电动机，与单项电动机比起来，具有比它更大的容量。对



于相同的传输，相比单相传输线，三相传输线可以节省 25% 的有色金属，并且功率损耗小于单相传输线。图 6 三相交流电源

1.4 经济与社会意义

通过将电力电子变压器与三相电力电子变压器的已有拓扑进行对比，可发现其具有以下经济优势及特点。

(1) 三相结构，提高电压质量

由于用于高压交流侧的 MMC 设备是三相交流电，因此三相之间存在一条公共交流母线。如果电力电子变压器采用三相结构，则直流母线没有低频波动，因此无需再使用二倍频滤波器可以有效地改善电压质量。

(2) 减少高压变频器数量

由于电力电子变压器的每个相都需要 6 个高压逆变器，所以三相共需要 18 个高压逆变器，但是观察电力电子变压器时，只有 10 个高压逆变器是必需的。因此，在电网中使用电力电子变压器可以减少高压逆变器的数量，这可以增加功率密度并降低电力电子变压器的成本。

(3) 减少开关数量

在电网上安装电力电子变压器可以有效减少电子开关和变压器的数量，并且投资可以显着提高直流电压的质量。

同时，电力电子变压器还具备以下社会意义：

(1) 既能对交流电网进行保护，也能与直流电源连接。

(2) 其采用高频变压器，所需的导线、铁丝较少，减少金属用量。

(3) 它具有智能的自我保护功能，因此它被广泛用于电网。从上面可以看出，它是一种集成了可再生电网连接和电气绝缘的多功能集成电力电子设备。因此研究其在输电系统中的工作原理和控制策略非常重要，以使其在电网建设中发挥更好的作用。

2. MATLAB 及 Simulink 仿真软件介绍

2.1 MATLAB 软件介绍

2.1.1 计算机仿真与 MATLAB

仿真是使用数学或物理模型来描述或模仿真实对象，环境，设备或系统。例如，沙盘用于模拟战场，水箱用于模拟液压环境，早期的模拟计算机由电阻器，电感器，电容器和运算放大器组成。该电路用于求解数学方程式并研究各种问题，例如声音，光，电和动力学。仿真以简单、低成本、高效率的模型代替了现实。模型一直受到重视，因为它们不仅可以研究现实，而且可以演绎和阻止发展。模拟可以分为两种类型：物理模型模拟和数学模型模拟。物理模型需要物理设备来模拟，相比之下，模拟数学模型更省力且更具成本效益。它得到了人们的认可，当今的仿真主要基于数学模型上的模拟。

使用数学模型对真实对象或系统进行模拟是基于类似的独特数学定律，但是可以使用简单的数学方程式来获得分析结果，复杂和高级的数学运算，该方程式需要数值解。现代计算机技术的发展与传播推动了仿真技术的飞速发展，并形成了一个新的领域。1960年代出现的计算机辅助控制系统设计正式宣布进入了模拟技术的新时代，已经出现了许多通用的数字仿真软件和语言，其中之一就是MATLAB。

早期的MATLAB主要用于解决科学和工程学中的复杂数学计算问题。它易于使用，易于键入，计算效率高，适应技术人员的思维方式并具有图像绘制功能，具有自我扩展的空间，因此受到欢迎。所以它成为科学技术界广泛使用的软件，也是国内和海外大学通常用于教育和科学研究的软件。

MATLAB比较容易掌握，因为它只有一种数据类型和标准I/O语句。它以解释模式工作，不需要编译。一般而言，入门后可以通过自学来学习，如有任何疑问，您可以通过帮助和演示功能获得启发。MATLAB学习的困难在于MATLAB具有大量功能。这些MATLAB函数只有700多个基本部分，其中200到300个是常用的，很难学习和记住。

2.1.2 MATLAB 主菜单

MATLAB的主菜单有File（文件）、Edit（编辑）、Debug（调试）、Desktop（桌面）、Window（视窗）和Help（帮助）五项。点击菜单命令，就会显示下拉子菜单的内容。这些菜单的内容与其他应用程序的菜单区别不大。

(1) **【New】**创建一个新文件，有多种文件（M-file、figure、Model等）可选。选择**【Model】**即可进入Simulink环境，以绘制仿真模型方式对电路和系统进行仿真。

(2) **【Open】**打开一个名为“work”的文件夹，这是MATLAB默认的保存文件的地方，只要文件保存时没有另外指定文件保存的路径，MATLAB系统就将文件保存在“work”文件夹中。

(3) **【Close Command Window】**可以切换窗口显示。

(4) **【Import Data】**打开MATLAB/work文件夹中带.mat后缀的数据文件，并将数据放到Workspace中备用。

(5) **【Preferences...】**可以打开一个MATLAB参数设置对话框，供用户改变工作环境的外观和相关操作的属性。

2.1.3 MATLAB 系统结构

MATLAB系统由五大部分构成，分别是语言、开发环境、图形处理、数学函数、程序接口。

语言

MATLAB语言是一种基于矩阵的高级语言，具有数据结构，输入和输出等多种方便人们使用的

功能。使用这种语言，您可以快速轻松地建立简单快速的程序以及复杂的程序。

开发环境

MATLAB 开发环境是一组用户友好的 MATLAB 函数和文件工具，同时这也是一个集合使用的用户工作区，用户可以在其中输入、输出数据，并为文件（如 MATLAB 桌面，命令窗口，MATLAB 工作区和在线帮助文件）提供运行环境。

图形处理

这个系统允许 MATLAB 用户以图形方式显示向量和矩阵，并在图形中添加注释和打印，它包括强大的 2D 和 3D 图形功能，图像处理 and 动画显示功能。

数学函数

数学函数库中有多种计算算法，内容涵盖了基本算法到复杂算法，用户可以根据自己的需求进行选择。

程序接口

MATLAB 应用程序编程接口是一个允许 MATLAB 语言与其他高级编程语言进行互相交流的功能库。它的主要功能包括在 MATLAB 中调用相应的程序，使其与别的程序之间建立用户系统和服务器关系。

2.2 Simulink 软件介绍

2.2.1 Simulink

Simulink 是 MATLAB 中一个非常独特的仿真环境，它允许用户绘制电路和连接系统，并通过使用鼠标来执行各种仿真实验。早期的 MATLAB 计算和仿真主要在命令窗口中进行。仿真过程是编译逐行命令和 MATLAB 函数，该方法不直观，并且难以建立与真实电路或物理系统的视觉连接，复杂的系统通常由结构图表示。简而言之，在 Simulink 环境中，系统功能，电路组件和其他模型都以块的形式由块表示，块之间的连接指示信号或电流的方向，而块是电路或系统。仿真模型是直观直观的，对用户来说非常方便，并且代表功能，电路组件和其他模型的模块存储在模型库中。用户应学习图形界面的适用方法，并熟悉模型库的内容，您无需编写和记住复杂的功能，而可以使用鼠标和键盘以及调用模块来模拟它们来轻松构建电路和系统。

Simulink 仿真环境包含两个主要部分：Simulink 仿真平台和 Simulink 库浏览器系统仿真模型库。Simulink 是单词 simulation 和 link 组合起来的，用来表示仿真链接。因为 Simulink 仿真平台易于使用，功能强大且用途广泛，所以 Simulink 操作是仿真应用程序的基础，在此基础上，各种系统都一起使用此仿真环境，Simulink 也就成为通用的仿真平台。

Simulink 作为面向系统框图的仿真平台，具有以下特点：

(1) 调用模块以替换程序的程序，并通过连接模块形成的框图表示系统，双击模块并输入模块参数。框图代表的系统必须有输入（电源），输出（示波器）和组成系统必要的模块。

(2) 提取模块并将其连接到系统模型。设置仿真模拟参数后，您可以开始模拟。此时，仿真系统的初始化过程会自动完成，而仿真公式也会由系统框架图慢慢的转变出现，随后，它会自动建立仿真数据结构，下一步就是自动计算系统响应，当然，这个计算的系统响应是在特定激励的情况下。可以命名并保存设计的系统模型，模型名称后缀为.mdl。

(3) 通过输出模块（示波器）来观察波形或者曲线，分析系统的运行结果和运行时的状态。

(4) 通过系统仿真获得数据，可以通过 Simulink 界面

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/158102004012007007>