**《先进控制理论及应用》 课程**

**期末考核**

|  |  |
| --- | --- |
| **论文题目：** | 模型预测控制在PWM整流器中的应用 |
| **姓 名：** | 秦祥雲 |
| **学 号：** | 202221623233 |
| **学院及专业：** | 自动化与电子信息学院 |
| **任课老师：** | 王昭鸿 |
| **日 期：** | 2023年6月20日 |

# 第1章 引言

在PWM整流器中，模型预测控制（MPC）可以应用于优化整流器的性能和效率。PWM整流器是一种将交流电转换为直流电的电力转换器，常见于许多电力电子设备和系统中，例如电机驱动器、变频器等。

MPC是一种基于模型的控制方法，它通过对系统动态模型进行优化，预测系统的未来行为，并生成最佳的控制策略。在PWM整流器中，MPC可以用于实时调整开关器件（如晶闸管、功率开关）的控制信号，以实现更高的电能转换效率、更低的谐波失真和更好的响应速度。

以下是MPC在PWM整流器中的一些应用场景：

功率优化：MPC可以通过动态优化开关器件的控制信号，使得整流器在不同负载和输入电压条件下的功率转换效率最大化。通过预测负载和电网的变化，MPC可以调整开关信号的频率和占空比，以最小化功率损耗。

谐波控制：PWM整流器会引入谐波失真，影响电力系统的功率质量。MPC可以通过优化开关器件的控制信号，降低谐波含量，并满足电网标准和要求。MPC可以在每个采样周期内根据当前状态和未来预测来生成最佳的控制策略，以最小化谐波失真。

动态响应：MPC可以预测负载和电网的动态变化，并相应地调整开关器件的控制信号，以实现更快的响应速度和更好的稳态性能。通过模型预测和优化，MPC可以根据系统需求调整开关器件的工作方式，实现更高的动态性能。

MPC在PWM整流器中的应用需要有准确的系统模型和实时的状态反馈信息。模型预测控制算法需要对系统进行建模，并基于当前的状态信息进行优化。因此，在实际应用中，需要根据具体的PWM整流器系统和性能需求进行模型的建立和参数调整，以实现最佳的控制效果。

# 第2章 模型分析

模型预测控制器并非特指某一个控制器，它其实包括了许多的不同控制器，而这些控制器都必须通过对系统离散数学模拟，来预测控制系统的电压或电流等变量在下一个时段内的改变，并从中选取一个最佳的行为来将目标函数最小化。MPC系统有着如下的优势：定义简洁、适合于各种控制系统、适合于多变量控制系统、适合于非线性系统、控制器设计容易实现。

MPC 的工作原理如图所示

首先建立系统的离散时间预测模型时，先要确定系统要控制的变量。另外还要确定系统的所有开关状态以及这些开关状态与控制变量之间的关系，离散时间预测模型一般如下式所示，结合k时刻之前的有效信息预测出系统k+1时刻的值。

定义一个可代表期望系统的目标函数，当系统要实现不同类型变量的控制时，目标函数的每一项都要乘以一个权重因子，通过权重因子表示各项的重要程度。目标函数如下式所示：

对目标函数进行最小化，得到系统的最优解，为了得到最优解，系统要对所有可能的开关状态进行评价，系统的计算量可能与开关状态的数量有关，较大的系统计算量会使得控制有延迟，控制不准确，因此在多电平或者多相系统中，需要对模型预测控制方法进行优化从而降低系统的计算量。MPC的目标函数形式一般如下式所示：

在单相PWM整流器中，只有模型预测控制输出合适的开关状态才能减少实际输出与预期输出之间的误差，MPC的计算量与开关状态的数量有关，而单相PWM整流器只有4种开关状态，因此系统的计算量小，控制易于实现。MPC在单相PWM整流器的控制过程下图所示，其步骤如下：(1)内部模型预测：根据第k时刻的采样值x(k)，以及系统的离散时间模型，MPC将单相PWM整流器的四种可能的开关状态带入预测模型中，得到系统在第k+1时刻的预测值x(k+1)。(2)滚动优化：通过目标函数对预测值不断滚动优化，将单相PWM整流器的四种开关状态以及其对应的预测值x(k+1)带入目标函数，根据目标函数最小化原则，选择最优开关状态，作为单相PWM整流器下一时刻的开关状态。(3)反馈优化校正：经过系统的滚动优化后，MPC可以得到预定义时间段内的最优开关状态。当系统存在外部干扰时，反馈优化校正可以对系统第k+1时刻的输出反馈给控制系统，并在下一时刻进行优化校正。

MPC 在单相 PWM 整流器中的控制过程

在单相PWM整流器，MPC利用系统的数学模型来预测每一个开关状态对应的电压和电流的变化特性。为了选择适合的开关状态，需要定义一个目标函数来评估预测值，并通过目标函数最小化来选择最佳的开关状态，在下一次采样时使控制值与给定值之间的误差最小化。传统的MPC采用以下的目标函数：

|

式中，is \*为输入交流电流is的参考值，is(k+1)为k+1时刻的输入交流电流is预测值。为避免绝对值函数带来的全局不可微性及对函数进行分类讨论而带来的复杂性，可使用方差函数对目标函数进行等效变形。考虑到方差函数的单调性与差值函数的单调性保持一致，且方差函数具有全局可微性，同时避免了分类讨论的需要，因此，目标函数可设置为：

根据目标函数最小化原则，选取使得g最小的开关状态为下一时刻的有效开关状态。下面对MPC控制系统进行总结。下图是MPC在单相PWM整流器的控制框图。由控制框图可知，电压外环采用PI控制，PI控制可实现无稳态误差，而电流内环采用模型预测控制，对电流进行精准控制；电压外环输出电流参考值，并将其送到MPC中与电流预测值进行对比，最后根据MPC原理输出最优开关状态。

单相 PWM 整流器控制框图

# 第3章 总结

PWM整流器是一种常用的电力电子设备，用于将交流电转换为直流电。模型预测控制（MPC）是一种先进的控制方法，它结合了动态模型和优化技术，可以在多个控制变量和约束条件下优化系统性能。

MPC可以优化PWM整流器的工作效率。通过根据电网电压和负载需求来调整PWM的占空比，MPC可以最大化转换效率并降低功率损耗。

MPC可以实现快速而精确的响应。通过预测电网电压和负载变化，并在每个采样周期内优化PWM的占空比，MPC可以使整流器迅速调整以满足系统需求，减少响应时间。

MPC可以提供稳定的输出特性。通过考虑系统动态响应和约束条件，MPC可以确保整流器输出电压和电流在允许范围内稳定，并避免过电流和过电压等问题。

MPC可以处理模型不确定性和扰动。PWM整流器受到电网电压波动、负载变化和其他环境扰动的影响。MPC可以通过在线优化控制策略，适应这些扰动并保持稳定的性能。

MPC可以平衡多个优化目标。在PWM整流器中，可能存在多个性能指标，如功率因数、谐波失真、输出电压波动等。MPC可以通过调整权重和约束条件来优化这些目标，并找到最佳的控制策略。

总而言之，模型预测控制在PWM整流器中的应用可以提供高效、响应快、稳定性强、鲁棒性好以及多目标优化的控制策略。这种控制方法可以提高整流器的性能和可靠性，并适应不同工况下的需求。