# 第一章 绪论

## 矩阵变换器的发展和研究现状

### 传统交流变换器

随着电力电子技术的发展，学者研究出了各种交流变换器，在经济生产中取得了重大的效益。然而传统的交流变换器存在一定的缺陷，比如间接式的交流变换器采用交-直-交的方式进行变频，直流侧采用大电容滤波，既增大了变换器的体积，同时降低了电路的可靠性，而且输入侧的电流不可控，产生大量的谐波，污染了电网环境；而采用反并联的三相晶闸管可控整流桥组成的直接式交-交变换器，输出频率的范围仅限制在小于输入的三分之一，输入功率因数低，且采用的晶闸管数量庞大【电力电子书】。因此，需要研制一种新型的交流变换器来解决传统变换器的缺点，其应涵盖一下优点：

1. 电路结构简单；
2. 输出频率和幅值可调节范围广；
3. 相对可等效为电阻，减小功率污染；
4. 电压和电流可逆；

### 传统矩阵变换器

矩阵变换器是一种新型的交流变换器，能够将多相输入变换成任意的多相输出，且不需要能量存储装置【control of matrix converter】。矩阵变换器具有如下的特征：

1. 电路结构紧凑；
2. 高质量的电压电流传递，无频率限制；
3. 能够产生正弦输入电流和单位功率因数；
4. 可以实现能量的双向流动；

这些特征很符合理想交流变换器的特性，因此矩阵变换器广泛地被学者所研究。

传统矩阵变换器(Conventional Matrix Converter)，简称CMC，最早在1979年由Venturini提出【1.20】。传统矩阵变化的功率电路由多个双向开关构成，在输入侧连接有低通滤波器，用于防止过电压的产生，抑制短路电流并消除输入电流中的高次谐波。然而传统矩阵变换器也存在一些缺点。双向开关通常由两个带有反并联二极管的开关管组成，在换流时考虑电流续流问题不能同时关断，又不能和下个导通开关重叠使电源短路，经研究后目前常用的方法为四步换流法【1.39】，但是使得控制的策略复杂且系统稳定性降低，不利于实现。

### 双级矩阵变换器

双级矩阵变换器（Two Stage Matrix Converter），简称TSMC，是矩阵变换器一种新型的拓扑结构，由Lixiang, Thomas. A Lipo于2001年首先提出【a novel matrix converter topology with simple commutation】。TSMC的结构和传统的交-直-交变换器结构相似，区别在于直流侧无储能元件。双级矩阵变换器输入侧为电流源整流器，输出侧为电压源逆变器，整体的功能和传统矩阵变换器相同，且较传统矩阵变换器有如下优点：

1. 输入侧的开关可以在零电流时导通和关断，所以可以避免换流问题；
2. 传统逆变器的脉宽调制算法可以直接采用，大大简化了控制电路；
3. 在一定条件下可以减少开关数量，降低成本；
4. 整流级可以带多个逆变级，减少成本；

因此，双级矩阵变换器比传统矩阵变换器更有研究意义。

## 直接转矩控制发展和研究现状

### 直接转矩控制发展

异步电机具有结构简单，可靠性高等特点，应用十分广泛，但是其动态模型复杂，导致其应用受限制。目前异步电机的控制策略有很多，如图1.1所示。

图1.1

对异步电机动态过程控制最广泛的控制方法是由Hasse【2.28】和Blaschke【2.5】提出的磁场定向控制，通过将异步电机方程转换至和转子磁场同步旋转的坐标系后，通过控制直轴和交轴的电流即可对磁链和转矩进行控制。在80年代中期，当学术界想要以磁场定向为异步电机控制标准时，Depenbrock【2.2】以及Takahashi和Noguchi【2.71】分别提除了以bang-bang控制代替磁链解耦的新型控制策略，即所谓的直接转矩控制。由于直接转矩控制的结构简单，适合功率变换器的开关工作模式，只使用定子参数从而对电机参数的依赖性小，此后获得了快速的发展。

### 直接转矩控制研究现状

目前直接转矩控制的形式有很多种，应用最多的几种方法如下【2】：

1. 查表法DTC: 预先确定在不同位置下各电压矢量对磁链的影响，并列出表格；控制时使用磁链和转矩滞环结果作为检索指数，查找到对应的开关信息输出，从而将磁链和转矩控制在给定的范围内；
2. 直接自控制：通过对三相定子磁链以及转矩的滞环控制，直接选择三个桥臂的开关状态，从而对磁链和转矩进行控制。直接自控制的开关频率低，转矩响应快，多用于大功率的牵引系统中；
3. 恒开关频率DTC: 采用滞环控制的DTC的开关频率不固定，而且采用数字控制器实现时磁链和转矩不能严格控制在环宽内，因此出现了固定开关频率的直接转矩控制。其实现方式可以采用闭环PI控制，预测控制或神经模糊控制，将转矩和磁链的误差转化为电压给定信号，从而可以应用脉宽调制技术。

## 转速观测器概述

异步电机的动态控制需要转速信息，通常的做法是安装速度传感器对转速直接采集，但是速度传感器的安装使得异步电机的体积和费用增大，同时在恶劣环境下的可靠性也下降，所以采用无位置传感器的转速观测器可以进一步改善电机的性能。对电机转速的观测方法有如下几种【3】：

1. 基于电机模型的转速观测：假设电机的所有参数已知，电机的转速可由异步电机的动态方程直接计算求得；
2. 模型参考自适应转速观测：模型参考自适应的原理是采用两种不同的电机模型预测同一个状态变量，两种模型一个包含电机转速作为参数，另一个不包含，将两个模型输出的状态量的差值经过自适应控制器生成转速的估计值，当差值为零时转速的估计值就和实际值相等；

## 论文的研究内容

论文第一章简单介绍了矩阵变换器的发展和研究现状，说明了双级矩阵变换器的优点；阐述了直接转矩控制的发展以及各种直接转矩的控制方式；针对速度传感器的缺陷提出了不依赖传感器的转速观测器；最后对论文的研究内容进行了简单的阐述。

第二章研究了双级矩阵变换器的拓扑结构和控制方法。在逆变级采用传统的空间矢量调制的情况下，对整流级的调制策略进行了深入地研究，分别采用无零矢量和有零矢量的方法进行了仿真，验证了理论的正确性。

第三章研究异步电机直接转矩控制策略。首先分析了异步电机的动态模型，从动态模型中推导出磁链和转矩的表达式，然后对查表法和预测控制两种不同方法的原理进行了阐述