

# 三相IGBT逆变器直流电机控制与仿真

S. Subalakshmi, R. Sudha

印度 Vellore 技术学院 Thanthai Periyar 政府电子与通信工程系

## 1 前言

无刷直流电机是一种理想的、广泛应用于工业应用的直流电机，因为它具有高扭矩，而且尺寸小，保持更高的效率。采用 [1]、[2] 中研究的新方法可以控制无刷碳直流传动机的转速。研究人员利用脉宽调制逆变器设计了 PID 离散控制器和电流控制器，在 MATLAB 中研究了直流电机数学模型，以分析当前的消耗，从而当以全扭矩运行直流电动机或通过改变其速度时，它不会超过最大电流。类似地，[3]、[4] 设计了依赖于遗传算法的模糊逻辑控制器，并且已经将两种不同的循环方法应用于无刷直流电动机以控制其扭矩。

在本研究报告中，我们研究和分析了直流电机和三相逆变器，以确保电机的最大电流消耗不超过直流电机的额定电流值来控制其变速。

直流电动机是控制系统中的通用致动器，并且通过将其与轮 / 鼓或电缆连接，可根据应用驱动旋转运动或平移运动。输入电压施加到 DC 电动机电枢，以提供轴  $d(\theta)/dt$  的旋转运动。

直流电机的物理参数如下：

电机转动惯量  $0.01\text{kg.m}^2$  (J)

电机粘性摩擦常数  $0.1 \text{ N.m.s}$  (b)

电动势常数  $0.01\text{V/rad/sec}$  (Ke)

电机转矩常数  $0.01\text{N.m/Amp}$  (Kt)

电阻  $1\text{ 欧姆}$  (R)

电感  $0.5\text{H}$  (L)

在直流电动机中，转矩与电枢电流成正比，如公式 1 所示，而电动机转矩常数是通过磁场强度产生的。

$$T=Kti \quad (1)$$

类似地，后面的 E.M.F 电压与电动机轴的角速度成正比，乘以常数因子 Ke，如公式 2 所示。

$$E=ke\theta \quad (2)$$

在 SI 单元中，后 E.M.F 电压常数和电机转矩常数相等；因此，我们使用 K 作为两个常数，而不是使用 Kt 和 Ke。

本文的结构如下：第 2 节简要介绍了直流电机的建模。第 3 节专用于逆变器建模，即带有晶闸管的桥式整流器。第 4 节通过在不同的晶闸管延迟角下触发来说明直流电机和逆变器的仿真结果。最后，第 5 节通过强调文章的主要贡献来总结研究文章。

## 2 DC 电机建模

在电枢电路上应用基尔霍夫定律，旋转加速度和电枢电流速率变化的积分可在公式 3 和公式 4 中得出。

$$\int \frac{d^2\theta}{dt^2} dt = \frac{d\theta}{dt} \rightarrow \text{eq (3)}$$

$$\int \frac{di}{dt} dt = i \rightarrow \text{eq (4)}$$

现在，通过将牛顿定律应用于电机系统，将生成以下等式以制作状态空间模型，然后将在 MATLAB 工具中模拟该 DC 电机模型。

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = T - b \frac{d\theta}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} = 1/J(Kti - b \frac{di}{dt}) \rightarrow \text{eq(5)}$$

$$L \frac{di}{dt} = -Ri + V - e = \frac{di}{dt} = 1/L(-Ri + V - Ke \frac{d\theta}{dt}) \rightarrow \text{eq(6)}$$

等式 5 表示角加速度，其等于  $1/J$  乘以两个项的和，比如正负，其中 b 代表电机摩擦常数。类似地，电流导数等于  $1/L$  乘以一个正项和两个负项的和。直流电动机的型号如图 1 所示。

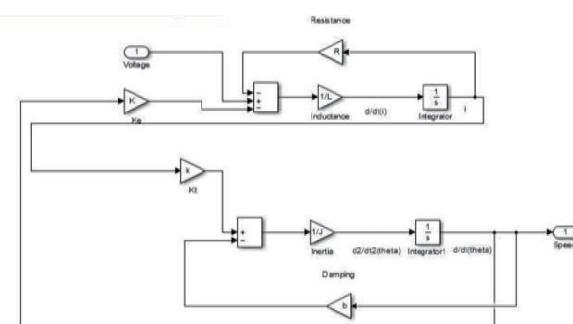


图 1 直流电机模型

### 3 三相晶闸管 IGBT 逆变器建模

三相 IGBT 逆变器如图 2 所示。

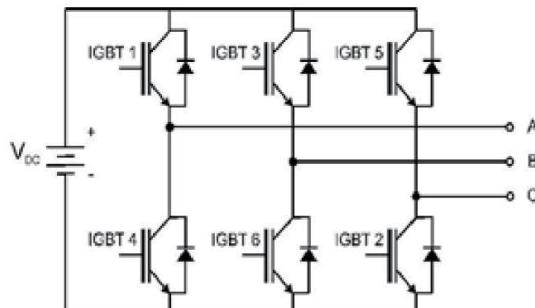


图 2 三相 IGBT 逆变器

其中,  $\theta = \omega t$

$$V_a = E * \sin(\theta)$$

$$V_b = E * \sin(\theta + 120)$$

$$V_c = E * \sin(\theta - 120)$$

而 T1-T6 是晶闸管。

只有两个晶闸管处于工作状态, 同时通过给出脉冲  $\alpha$  的触发延迟角, 如下表所示:

表 1. 晶闸管操作

Range of $\theta$	Thyristor in Operation
$\alpha + 30$ to $\alpha + 90$	T1 and T6
$\alpha + 90$ to $\alpha + 150$	T1 and T2
$\alpha + 150$ to $\alpha + 210$	T2 and T3
$\alpha + 210$ to $\alpha + 270$	T3 and T4
$\alpha + 270$ to $\alpha + 330$	T4 and T5
$\alpha + 330$ to $\alpha + 360$	T5 and T6

三相 IGBT 逆变器模型如图 4 所示。三相 IGBT/二极管同时向两个晶闸管提供信号, 并具有触发延迟角  $\alpha$ 。这两个晶闸管通过向负载提供所需的电流来控制输出负载。

### 4 直流电机和变频器的仿真结果

在本节中, 集成了第 2 节和第 3 节中构建的两个模型, 以便通过控制直流电机的转矩和在逆变器上应用延迟触发角来分析整个系统。输出结果包含晶闸管输出电流和电压, 以及不同触发延迟角的直流电机速度控制是一个特殊的块。

在触发延迟角  $\theta=0$  时, 我们将获得以下晶闸管输出电压和电流以及直流电机速度控制。

在触发延迟角  $\theta=30$  时, 我们将得到以下输出电压和电流以及直流电机速度控制。

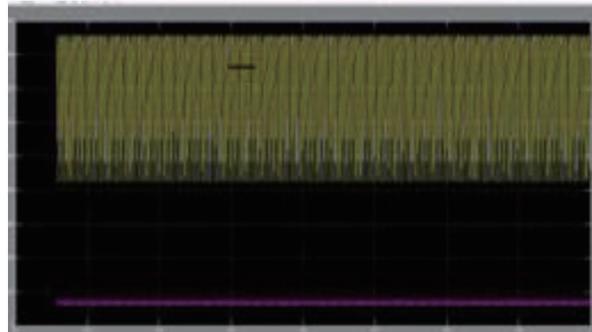


图 3  $\theta=0$  时的输出电压和电流

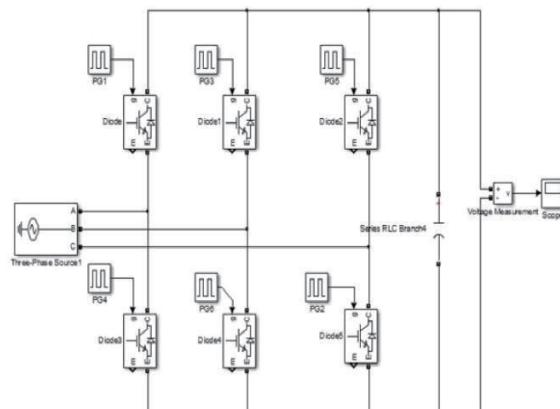


图 4 三相 IGBT 逆变器型号

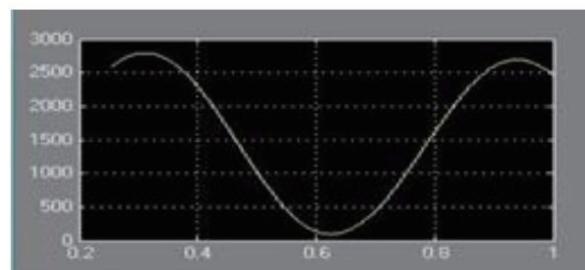
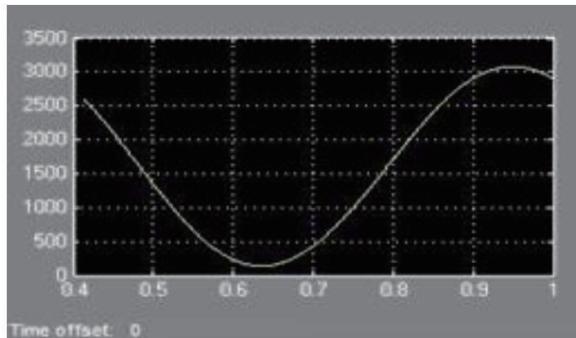
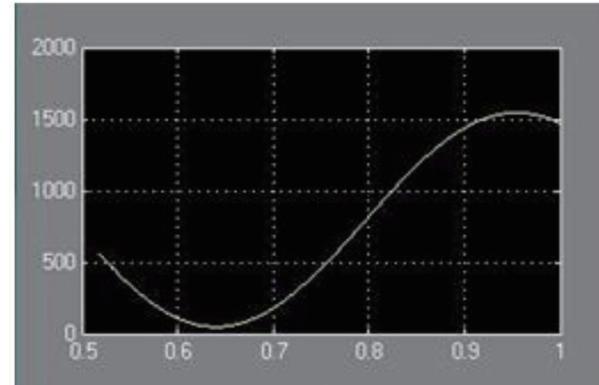
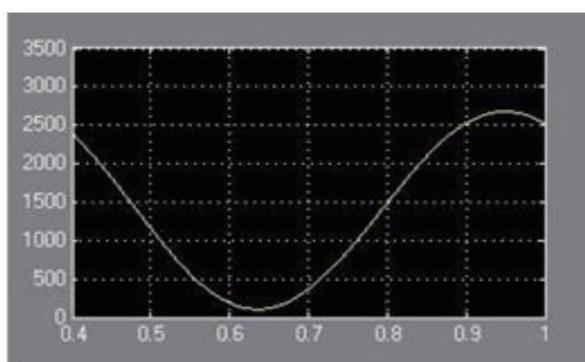
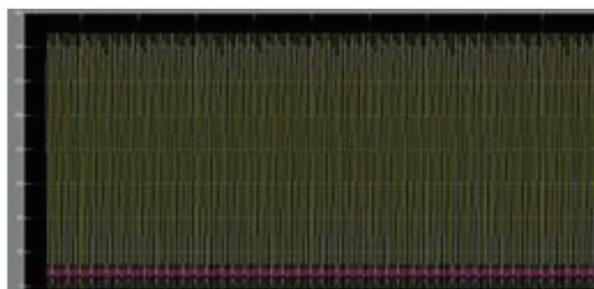


图 5  $\theta=0$  时的直流电机速度控制



图 6  $\theta=30$  时的输出电压和电流

图 7  $\theta=30$  时的直流电机速度控制图 11 在  $\theta=90$  时的直流电机速度控制图 8  $\theta=60$  时的输出电压和电流图 9  $\theta=60$  时的直流电机速度控制图 10  $\theta=90$  时的输出电压和电流

在触发延迟角  $\theta=60$  时，我们得到以下输出电压和电流以及直流电机速度控制。

在触发延迟角  $\theta=90$  时，我们将得到以下输出电压 / 电流和直流电机速度控制。

## 5 结论

利用角加速度和电流方程的导数，在 MATLAB 中构建直流电机模型。而且，三相逆变器也在 MATLAB 的 simulink 工具箱中建模。此外，还在 MATLAB 中模拟了由 IGBT 逆变器控制的直流电机的完整电路运行，并显示了直流电机的速度控制结果以及三相逆变器的输出电压和电流。

## 参考文献

- [1] Y.-H. Yin, B. Zheng, and H.-X. Zheng, "A Method for Modeling and Simulation of Brushless DC Motor Control System based on Matlab [J]," Journal of System Simulation, vol. 2, p. 008, 2008.
- [2] Z. F. Ye and H.G. Lei, "Simulation of BLDCM control system based on MATLAB [J]," Electrical Drive Automation, vol. 1, 2005.
- [3] C. Xia, P. Guo, T. Shi, and M. Wang, "Speed control of brushless DC motor using genetic algorithm based fuzzy controller," in Proceeding of the 2004 International Conference on Intelligent Mechatronics and Automation, Chengdu, China, 3rd ed. A Treatise on Electricity and Magnetism, 2004, pp. 68-73.
- [4] W. I. Luo and J. C. Liu, "A new approach to the modeling and simulation of brushless DC motors based on fuzzy control," Computer Engineering & Science, vol. 8, p. 044, 2009.