Contents

[ Ex2： 1](#_Toc25528983)

[**2.1. Software design** 1](#_Toc25528984)

[**2.2. PMSM model** 1](#_Toc25528985)

[**2.2.1 Flux model** 2](#_Toc25528986)

[**2.2.2 Voltage model** 3](#_Toc25528987)

[**2.2.3 Torque model** 3](#_Toc25528988)

[**2.2.4 Load model** 4](#_Toc25528989)

[**2.2.5 DQ equation** 4](#_Toc25528990)

[**2.3. PMSM parameters** 5](#_Toc25528991)

[**2.4. PMSM simulation** 6](#_Toc25528992)

[**2.4.1 Short circles ASC** 6](#_Toc25528993)

[**2.4.2 Open circles** 6](#_Toc25528994)

[2.4.电机模型仿真（按照峰值不变的原则计算） 6](#_Toc25528995)

* Ex2：

**2.1. Software design**

Base on ex1

发现新建文件后软件总会报故行，分析很有可能是没有将新建的文件加入到项目中来。临时解决办法是重新打开项目文件夹即可。

将软件分成几个部分：

1. motor.h 进行motor模型的仿真；
2. datasave.h 进行所有数据的存储；
3. control.h进行控制策略的关键函数的生成。

**2.2. PMSM model**

电机是理想电机（参考其它文献的理想电机的定义）。

定义旋转电压，电流，磁链的旋转矢量如下：

，， <eq 2.1>

其中为电角速度。黑色字体是空间旋转的矢量，非黑色字体是时间上变化的矢量长度，当电机处于稳定状态时，非黑体矢量长度是1.5倍的幅值。

以电压为例证明：

上式是三相电压值：

将Euler公式：带入上式。

根据积化和差公式：

带入上式

当稳态时

根据上式推导电机的磁链模型，电压模型，转矩模型，拖动模型。

**2.2.1 Flux model**

任意线圈磁链：

其中，*L*为线圈的电感,是固有属性， 用*L*和*i*的乘积来表征磁链的大小。注：磁链是矢量。

对与PMSM电机的定子磁链是个合成磁链：由定子线圈磁链和转子磁链共同合成的。即：

定子磁链：

<eq 2.2>

其中，*Ls*是电子的定子电感。

转子磁链：

<eq 2.3>

其中，是转子永磁体磁链

表述成矢量图如下：

***Ψc***

***Ψm***

***Ψs***

**2.2.2 Voltage model**

电机定子就是一个线圈，定子电压模型如下：

<eq 2.4>

***Rs***为定子电阻。

将上式带入<eq2.4>

化简：

上式表征了时间上的变化，当系统处于稳定状态时：

<eq2.5>

其中，，称为运动电动势或者反电势，是由转子的旋转产生的，其大小是与转速成正比的。为变压器电动势，是由电流的变换产生的。

按照上式绘制稳定状态下电动发电的相量图：

***ω\*Is\*Ls***

***E***

***Ψf***

***Rs\*Is***

***Us***

***Is***

***ω\*Is\*Ls***

***E***

***Ψf***

***Rs\*Is***

***Us***

***Is***

**2.2.3 Torque model**

从功率的角度推导稳态电磁转矩的模型，复功率的计算：

其中，*S*为复功率单位是*VA，P*为有用功单位是*W*，*Q*为无用功单位是*var*

在复平面上*S*的定义为：

将，带入上式：

稳态下：

铜损：

取实部：

令，，根据复函数的定义：

实部*P*为：；虚部*Q*为：，可见实部P为“×”乘，虚部*Q*为“**.**”乘。

电磁转矩：

其中，*np*为极对数。

**2.2.4 Load model**

从功率的角度推导稳态电磁转矩的模型，复功率的计算：

若D=0且K=0（当转速升高后一般D，K值需要补偿），则

**2.2.5 DQ equation**

在此坐标系下，都是标量，方便程序计算。

**电压方程：**

带入磁链方程：

**电压方程：**

<eq2.6>

上式是没有忽略的公式，另一个是电压电流的模型(认为为定值)：

<eq2.7>

上式只包含了电压和电流的方程由于认为为定值，所以控制上采用下面：

<eq2.8>

**转矩方程：**

**2.3. PMSM parameters**

Motor parameters:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Description** | **Parameter** | **Value** | **Unit** |
| Motor pole pairs number | pp = | 4 | none |
| Stator phases resistance at a specific temperature | Rs = T° = | 0.00536  20 | Ω °C |
| Stator inductance in Park frame at nominal torque Tnom | Ld = Lq = | 0.000116  0.000264 | H H |
| Electromotive force fundamental constant at nominal torque Tnom and a specific temperature such it is defined in 2.1.1 | Ke = T° = | 23.2  20 | Vrms/krpm °C |
| Maximal phase current | Imax | 500 | Arms |
| Nominal phase voltage (e-motor design voltage, under which nominal mechanical performances cannot be ensured) | Vnom | 350 | VDC |
| Maximal phase voltage (functional limitation voltage) | Vmax | 450 | VDC |

**2.4. PMSM simulation**

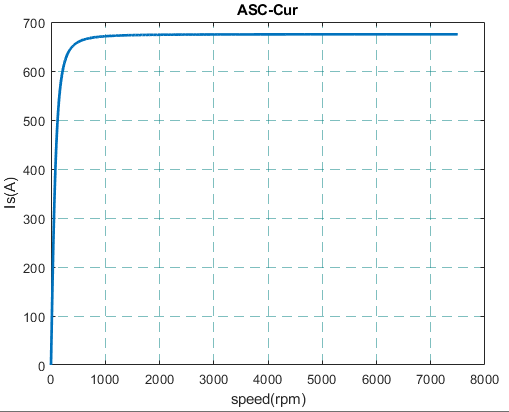
根据PMSM电机参数仿真验证电机模型的正确性。

**2.4.1 Short circles ASC**

短路状态计算电机的电流和转矩。

，当电压=0时，

*Rs = 0.00536，Ls = Ld=Lq = 0.000116，*

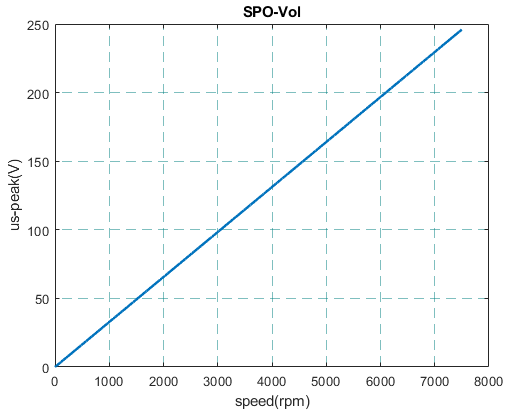


Matlab:674.92-674.93 Vscode: 675.0

**2.4.2 Open circles**

开路状态计算电机的相电压。

，当*is*=0时，



* 额定电压/VDC：350V

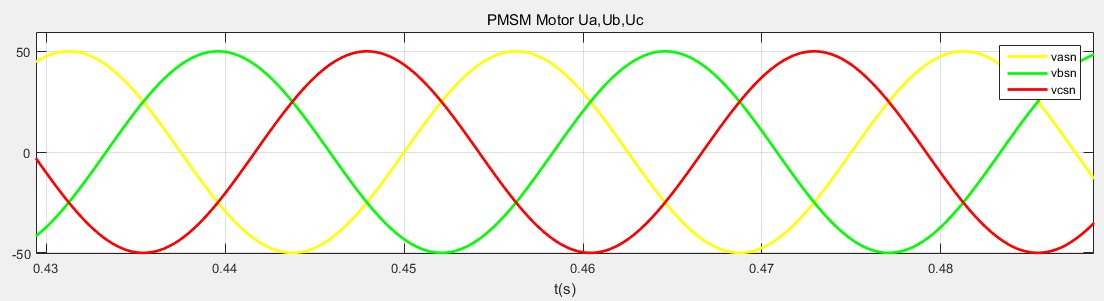
持续功率：60kW，持续转矩：130Nm，额定转速：4400rpm，d轴电感：116uH，q轴电感：264uH，极对数4； 空载反电动势（相电压有效值）：23.2V@1000rpm， Phif= Vs/ω = 1.414\*(23.2)/(2\*pi\*1000/15) = 0.0783V.s

* 注意：峰值不变的原则phif = 相电压峰值（反电动势）/转子角速度；
* 所以在额定转速下，相电压峰值为（反电动势）23.2\*1.414\*4400/1000 = 144.1V；
* 母线电压利用率100%时相电压峰值为：350/1.732 = 202.0V。

2.4.电机模型仿真（按照峰值不变的原则计算）

根据上述电压电流方程和转矩方程建立电机模型，解算周期为1us，采用欧拉公式计算（以后可以评估解算精度，若不合适采用四阶龙格库塔法）

a.在VF上验证电机模型的正确性：设计相电压为50V，机械转速为2\*pi\*10(rad/s)，下图为电压波形峰值为50V正确，相序为Va，Vb，Vc正确。频率为0.475-0.45 = 0.025s 为40Hz正确。机械转速为62.8rad/s。正确。



b.设计相电压为50V，机械转速为-2\*pi\*10(rad/s)，下图为电压波形峰值为50V正确，相序为Vc，Vb，Va正确。频率为0.325-0.3 = 0.025s 为40Hz正确。机械转速为-62.8rad/s。正确。

