

使用弱磁技术实现交流感应电机（ACIM） 的无传感器磁场定向控制（FOC）

第一作者: Mihai Cheles
Microchip Technology Inc.
第二作者: Dr.-Ing. Hafedh Sammoud
APPCON Technologies SUARL

简介

从消费应用到汽车应用领域，不同功率和体积的交流感应电机（AC induction motor, ACIM）都获得了广泛的应用。在众多可能的应用中，一些应用场合需要具备高速运行能力，而只需在低速时输出高转矩。属于消费应用的洗衣机和电力机车中的牵引应用是具有这一需求的两种应用场合。这些要求促使了一种被认为是“弱磁”的感应电机控制技术的产生。

本应用笔记介绍了如何使用 dsPIC[®] 数字信号控制器（Digital Signal Controller, DSC）对交流感应电机实现具有弱磁控制功能的无传感器磁场定向控制（FOC），从而实现扩展转速范围的高性能控制。

本应用笔记是 AN1162（交流感应电机（ACIM）的无传感器磁场定向控制（FOC），该应用笔记也包含了弱磁控制模块的设计细节）的扩展。本应用笔记在给出一些概念之前假定读者已阅读 AN1162 并熟悉其中的相关内容。

控制策略

无传感器磁场定向控制

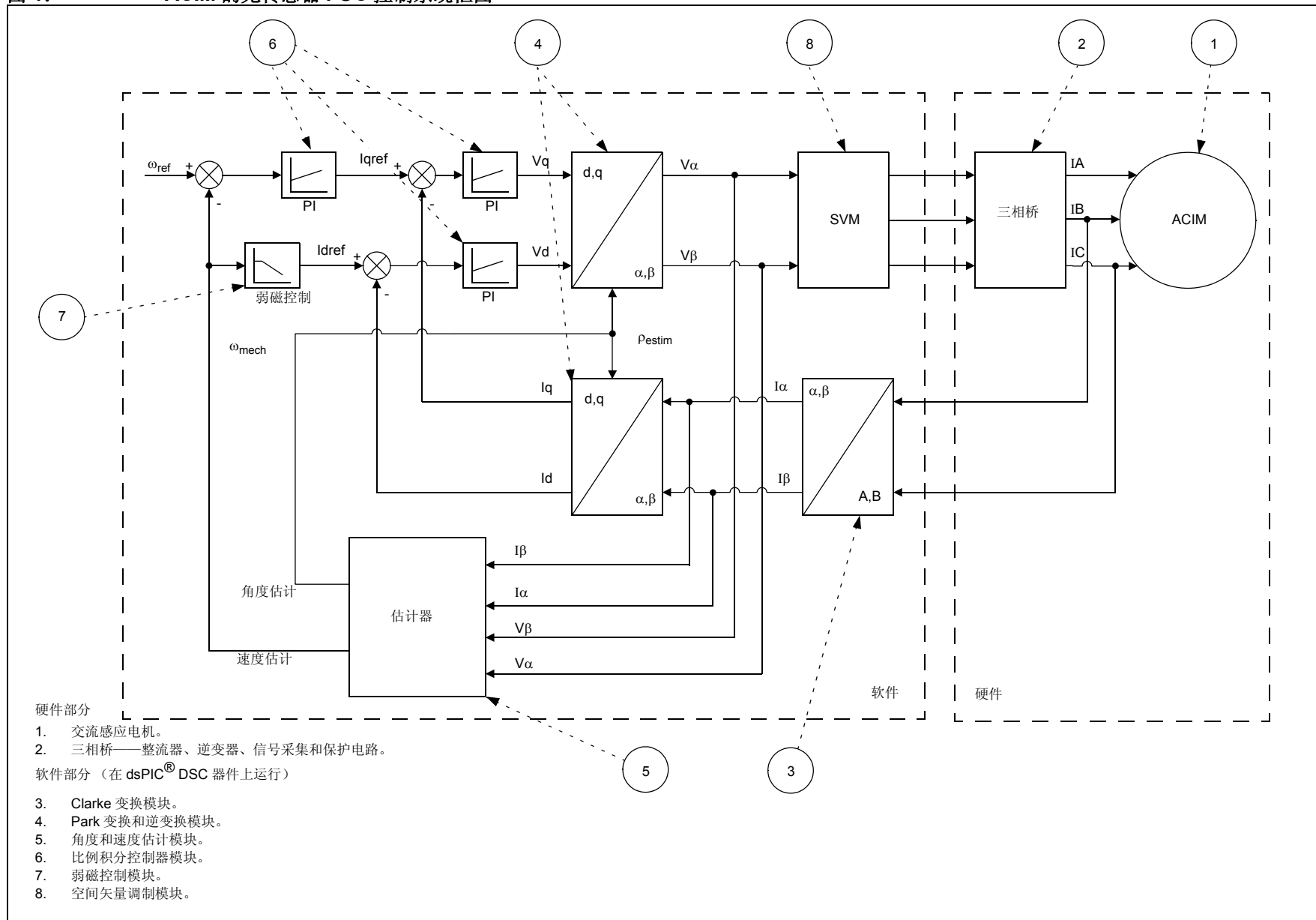
应用于 ACIM 的磁场定向控制原理是以实现励磁电流分量和转矩电流分量之间的解耦为基础。这种解耦使感应电机控制能像直流电机控制一样简单。磁场定向控制技术意味着需要实现从静止定子坐标系到旋转的转子坐标系之间的变换。这种变换使得定子电流分量之间的解耦成为可能，即可实现励磁电流分量和转矩电流分量之间的解耦。

这种解耦策略是基于转子旋转坐标系下的感应电机数学方程。在将静止定子坐标系变换到转子旋转坐标系时，需要确定转子磁通的位置。转子位置可通过直接测量或使用其他可测参数（如相电流和相电压）来估计。术语“无传感器”控制表示省却了转速测量传感器。

图 1 给出了磁场定向控制的控制框图，并对各组成部分进行了介绍。特别需要指出，弱磁模块需要使用电机机械转速作为输入，其输出将产生与励磁电流分量相对应的 d 轴电流。

有关交流感应电机磁场定向控制方面的其他信息，可参阅 AN1162（参见“参考文献”）。

图 1: ACIM 的无传感器 FOC 控制系统框图



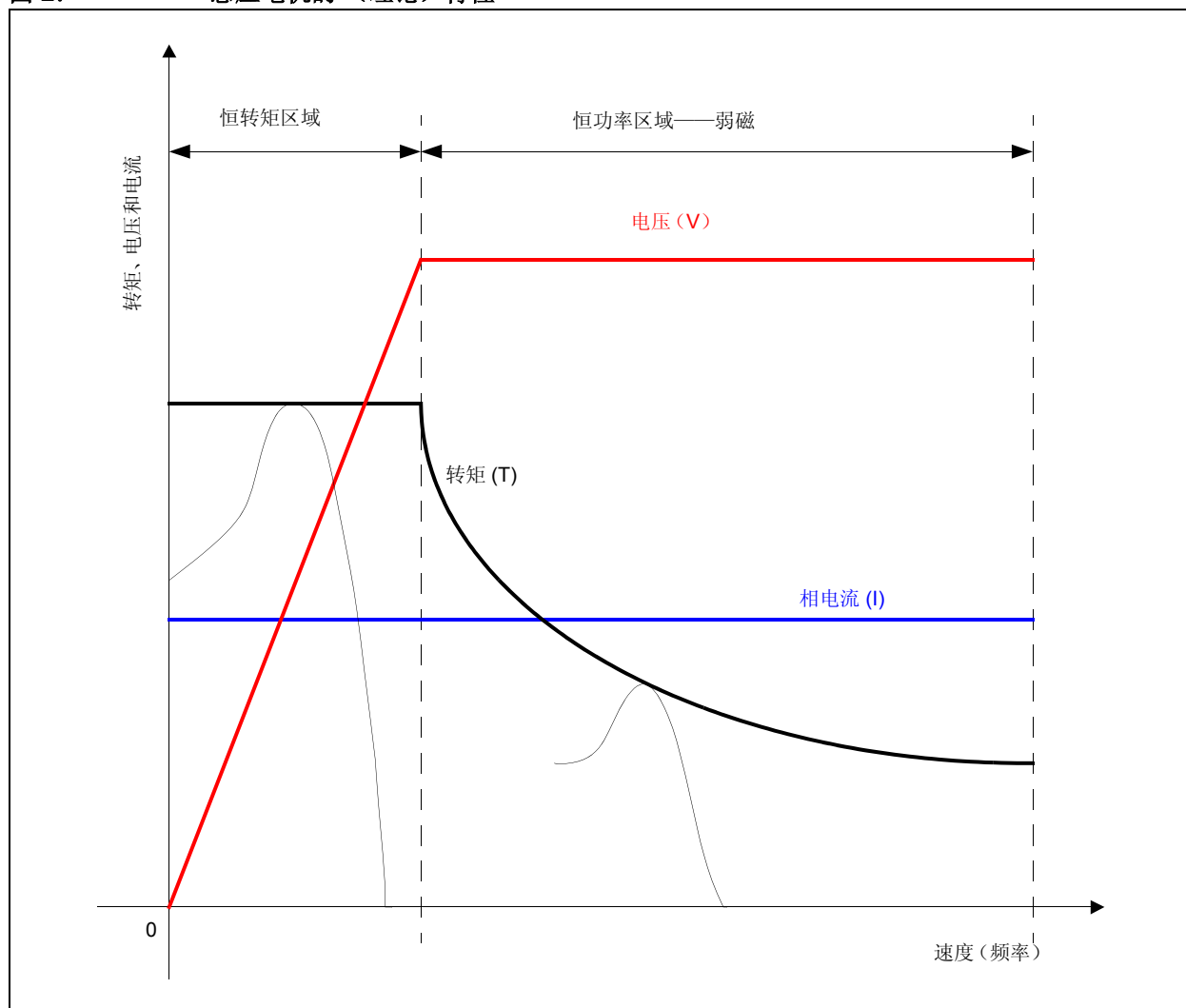
弱磁控制

弱磁控制指的是使电机转速能够高于恒转矩区域所能实现最高转速的控制策略。

交流感应电机磁场定向控制的恒转矩区域与恒功率区域（即弱磁）的区别在于，能够提供给电机的最大电压不同。

在恒功率区域，大多数情况下最大电压是逆变器输出的特征参数。在弱磁运行区域限制以下的整个转速范围，电机的最大输出转矩是恒定的，但是一旦转速超过这一限定值，最大转矩值将减小，如图 2 所示。

图 2: 感应电机的（理论）特性



感应电机的转矩由公式 1 表示。

公式 1:

$$T = \frac{3P}{2} \frac{1}{1 + \sigma_R} \Psi_{mR} \cdot i_{Sq}$$

其中:

T = 转矩

P = 极对数

Ψ_{mR} = 磁通

i_{Sq} = 转矩电流分量

$$\sigma_R = \frac{L_R}{L_M} - 1$$

L_R = 转子电感

L_M = 互感

通过选择励磁电流来实现最大转矩电流比, 可获得电机的额定转矩。理论上, 如果不考虑磁饱和现象, 那么在所有可允许的定子电流范围内, 当励磁电流 (i_{mR}) 等于定子电流的转矩电流分量 (i_{Sq}) 时可获得最大的转矩电流比。励磁电流分量负责产生励磁磁通。该分量取决于电流的 d 轴分量, 如公式 2 所示。

公式 2:

$$T_R \frac{di_{mR}}{dt} + i_{mR} = i_{Sd}$$

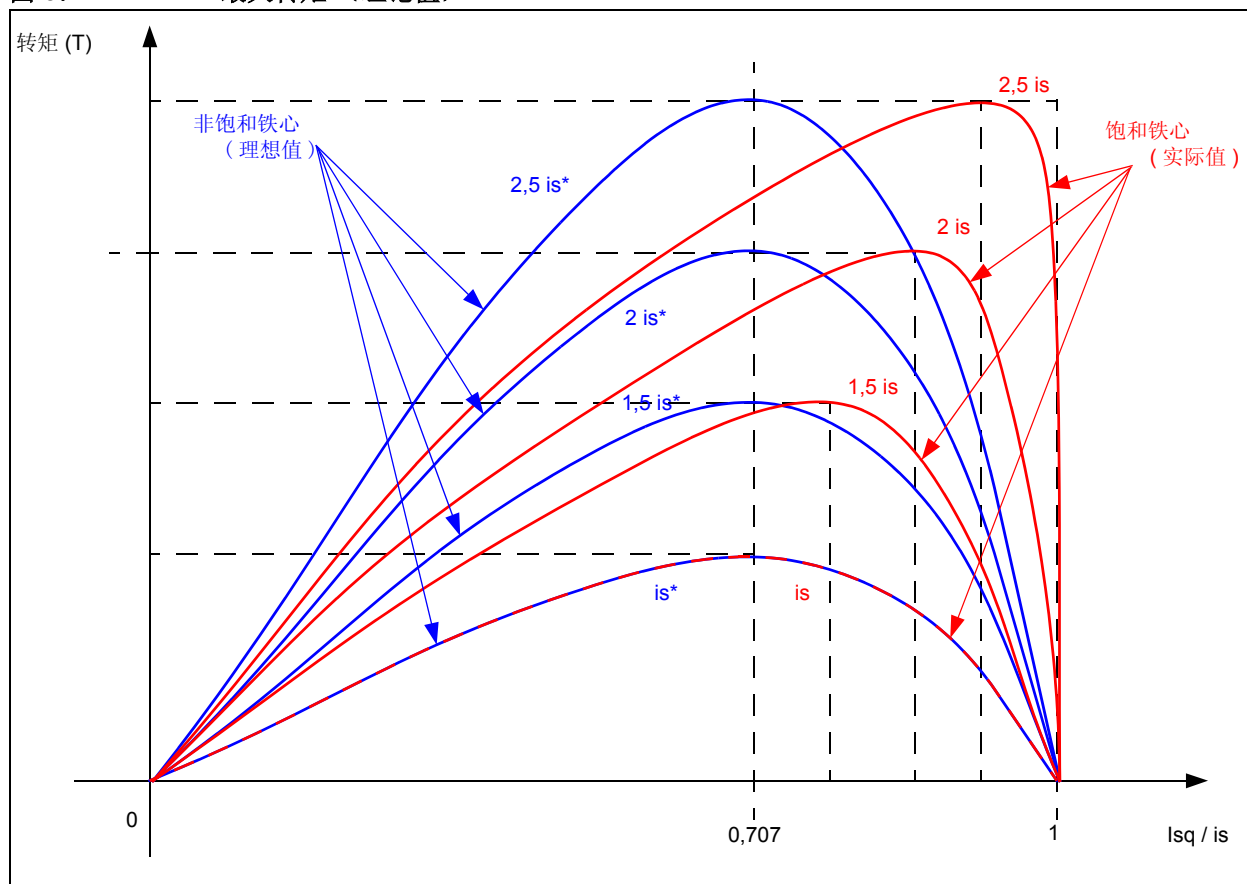
其中:

T_R = 转子时间常数

i_{mR} = 励磁电流

i_{Sd} = 励磁电流分量

图 3: 最大转矩 (理论值)



当实际运行中电机处于磁饱和状态时，在相同的定子电流范围内，电机实际的最大转矩电流比将不能实现给定的励磁电流 / 转矩电流比设定值。

励磁磁通增加与励磁电流存在非线性关系，即实现较小的磁通增加需要施加较大的电流。因此，如果想要获得最大的转矩电流比，建议将大部分的电流增量设置于转矩电流分量的调节上。

逆变器的功率限制和高转速运行的需求可通过降低转矩输出来同时满足。弱磁控制是适合机车牵引或家用电器这种只有在低速运行时才需要高转矩输出的应用场合的最佳策略。

弱磁运行过程中，当转矩降低时，就需要考虑保持较高的转矩电流比。同时，考虑到公式 3，反电动势（BEMF）将与转子的速度成正比。因此，当公式的右边项等于逆变器最大电压时（即左边项）时，最高的可实现转速将受到限制。当通过降低励磁电流来实现 BEMF 减小的目的时，将使得转速增加获得更大的空间，但同时，根据公式 1，转矩也将减小。

公式 3:

$$\underline{u}_S = (R_S + j\omega\sigma L_S)\underline{i}_S + \underbrace{j\omega(1-\sigma)L_S\underline{i}_{mR}}_{BEMF}$$

其中:

\underline{u}_S = 定子电压矢量

\underline{i}_S = 定子电流矢量

R_S = 定子电阻

ω = 角速度

$$\sigma = 1 - \frac{L_M^2}{L_S \cdot L_R}$$

L_S = 定子电感

L_R = 转子电感

L_M = 互感

图 4 给出了公式 3 的图形表示，其中 U_{max} 为最大电压。

定子电压的 d-q 两个分量与定子电压矢量之间的关系由公式 4（取模）表示。

公式 4:

$$u_S = \sqrt{u_{Sd}^2 + u_{Sq}^2}$$

其中:

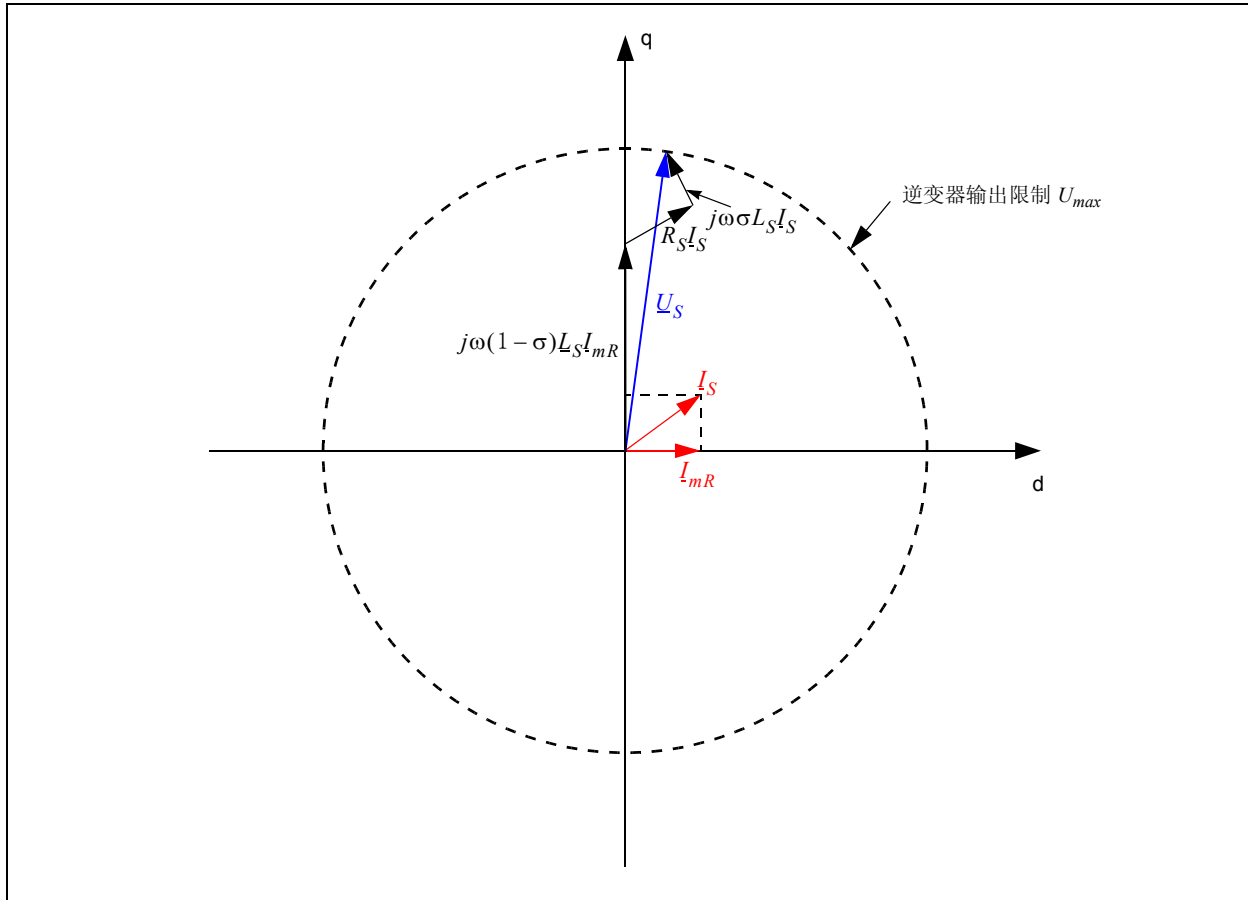
u_S = 定子电压

u_{Sd} = 励磁电压分量

u_{Sq} = 转矩电压分量

由公式 4 可知，最大定子电压限制实际上是对 d 和 q 两个分量项电压的限制。根据控制方案可知，这一限制是由于 d-q 电流控制器出现饱和而造成的。减小励磁电流将使得控制器退出饱和并使系统摆脱图 4 所示的限制状态。

图 4: 定子方程的表示



所提出的解决方案采用转子速度作为弱磁模块的输入。励磁电流是转速的函数，对其的调节可使控制系统避免受到前面所述限制的影响。BEMF 稳态幅值取决于励磁电流。它的减小将导致公式 4 中的右边项小于逆变器最大运行电压幅值。图 5 对这一情形进行了描述。

在确定弱磁运行时的逆变器输出稳态电压指定值时，必须考虑以下两个标准：

- 在任何时刻都应具备应对负载变化或在出现加速命令时能够增加输出电压的能力——这解读为最大电压余量；
- 可实现最大逆变器输出电压以使电机电流最小，从而实现高效率——这解读为最小电压余量

根据经验，电压余量应在 10% 至 25% 之间，以同时满足上述两个标准。由于当前应用无需考虑高瞬态性能或负载变化的要求，因此选择 15% 的电压余量。

由于速度变化是缓慢实现的（即瞬态性能要求不高），因此无需额外的磁通控制器。只需将弱磁模块的输出直接连接到电流控制器。

励磁电流是转子速度的函数，该电流的确定是通过一系列开环 V/Hz 的空载实验来获得的。对于每一组实验，V/Hz 比都将改变。在频率变化以及 85% 的最大逆变器输出电压实验条件下，通过测量电流的 d 轴分量（表示稳态的励磁电流）来获得励磁电流。假定电机运行于空载条件下，由于此时没有转矩产生（不考虑轴承摩擦因素，该影响非常小），因此稳态时 d 轴电流分量等于励磁电流。如图 6 所示，对几个不同实验中获得的数值进行了汇总来表征励磁电流和频率的函数关系。

图 5: 定子电压余量方程

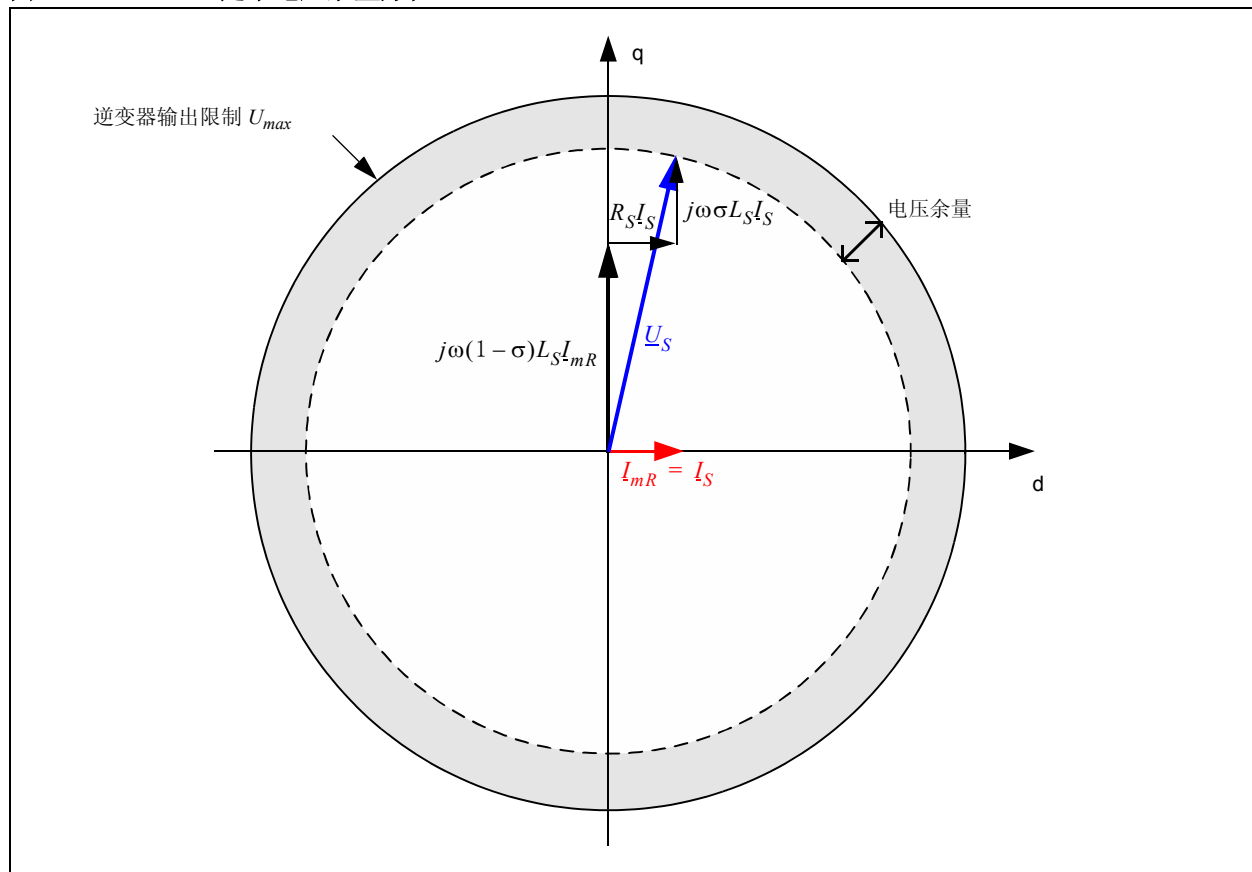
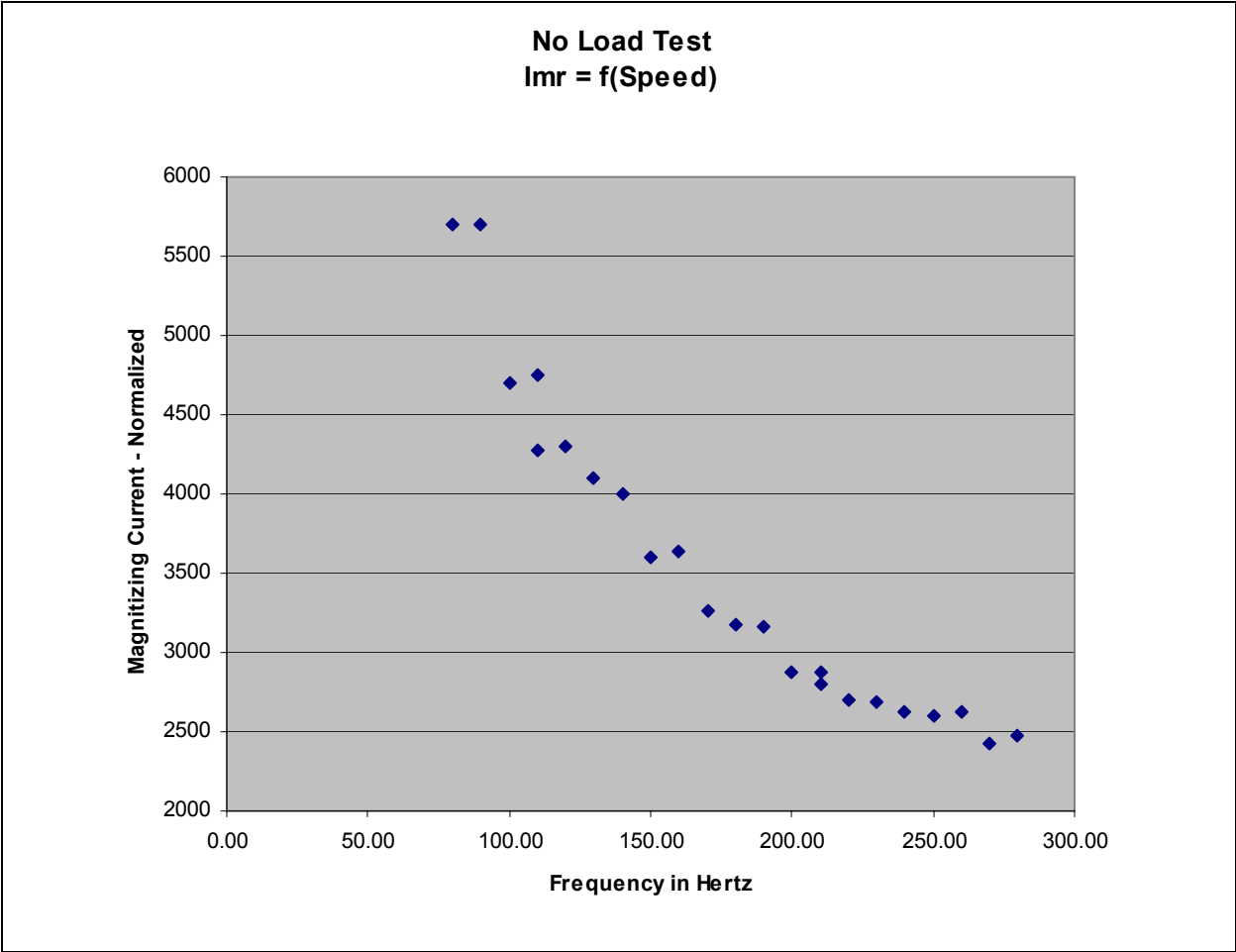


图 6: 励磁电流是转速的函数（实测）



如前所述，转子磁通随励磁电流的变化呈现非线性关系，这是由于铁心可能出现饱和。公式 5 给出了转子磁通、励磁电流和互感之间的关系。

公式 5:

$$\Psi_{mR} = L_0 \cdot i_{mR}$$

其中:
 Ψ_{mR} = 励磁磁通
 $L_0 = L_M$ (互感)
 i_{mR} = 励磁电流

在确定 L_0 电感时，可假定 $L_S = L_R$ 。在空载条件下，可计算出 L_S ，如公式 6 所示：

公式 6:

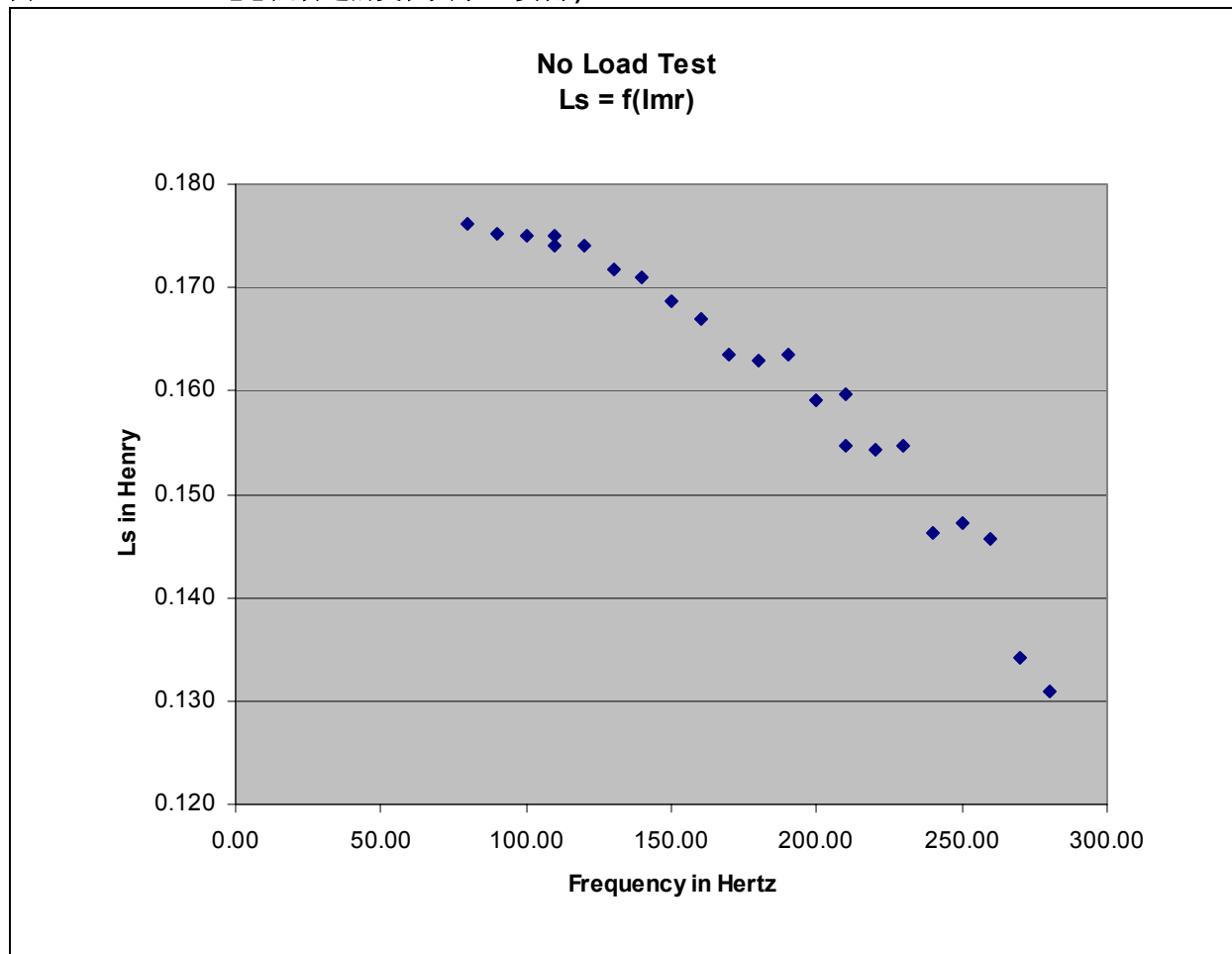
$$L_S = \frac{1}{\omega_S} \sqrt{\frac{u_S^2}{i_S^2} - R_S^2}$$

其中:
 u_S = 定子电压
 i_S = 定子电流
 L_S = 定子电感
 R_S = 定子电阻
 ω_S = 定子角速度

考虑到 L_S 和 L_R 可能发生变化而 L_0 假定保持不变, L_S 变化曲线的确定将使得该结果足以推广到其他电感参数。图 7 显示了实验结果, 从中可见在基速和最大转速之间 L_S 最大的变化大约是 25%。

Excel 文件 MagnetizingCurve_FW.xls 中给出了用于获取磁化和定子电感 (L_S) 变化曲线的实验结果示例, 该文件位于软件归档中 (参见附录 A “源代码”)。

图 7: 电感随转速的变化关系 (实测)



软件实现

本应用笔记对 AN1162（交流感应电机（ACIM）的无传感器磁场定向控制（FOC））（参见“参考文献”）进行了扩展和增强。扩展增强部分包括设计了新的弱磁模块以及增加了现有参数变量受到弱磁运行影响时的自适应功能。

C 编程函数和变量

弱磁模块以参考机械转速作为输入，而以励磁电流的参考值作为输出。每十毫秒将调用一次该函数，调用频率可由头文件 UserParms.h 中定义的 UpdateTime 常量来设定。UserParms.h 定义了磁化曲线的查询表。当参考指令（斜坡发生器输出）高于恒转矩区域确定的速度限制，将施加弱磁控制。

定义一个 18x 整数数组并通过查询表对其进行初始化。在计算励磁电流 i_{mR} 的参考值时，使用插值的方法来使曲线光滑。对于每一个速度参考值，都通过计算一个指针来访问查询表中相应的单元，如示例 1 所示。

在例 1 中，qMotorSpeed 表示速度参考值，而 qFwOnSpeed 为弱磁控制切入时的初始速度。它们之间的偏差除以 2^{10} 即可获得访问查询表所需的指针。除法项反映了前述通过实验获得磁化曲线采样的间隔粒度。

例 1:

```
// FW 表中的指针
FdWeakParm.qIndex = (qMotorSpeed - FdWeakParm.qFwOnSpeed) >> 10;
```

例 2:

```
// 对表中两个结果之间实现插值
FdWeakParm.qIdRef=
FdWeakParm.qFwCurve[FdWeakParm.qIndex]-
(((long)(FdWeakParm.qFwCurve[FdWeakParm.qIndex]-
FdWeakParm.qFwCurve[FdWeakParm.qIndex+1]))*(long)(qMotorSpeed-
((FdWeakParm.qIndex<<10)+FdWeakParm.qFwOnSpeed)))>>10);
```

公式 7:

$$MotorEstimParm.qL0Fw = 2^{14} \frac{L_S}{L_{S0}} \cong 2^{14} \frac{L_R}{L_{R0}} \cong 2^{14} \frac{L_M}{L_{M0}}$$

其中具有指针 0 的测量结果是与基速对应的值。

励磁电流的参考值在 FdWeakParm.qFwCurve[FdWeakParm.qIndex] 和 FdWeakParm.qFwCurve[FdWeakParm.qIndex + 1] 之间。

MotorEstimParm.qL0FW 表征定子电感 (L_S) 变化曲线上数据点的间隔，该值从磁化曲线确定实验中获得，其中转速为确定定子电感 (L_{S0}) 时基速值的两倍。为了获得更为准确的结果，通过对由确定定子电感变化曲线的实验所获得的相邻两个实验结果进行插值计算来获得 L_S 。

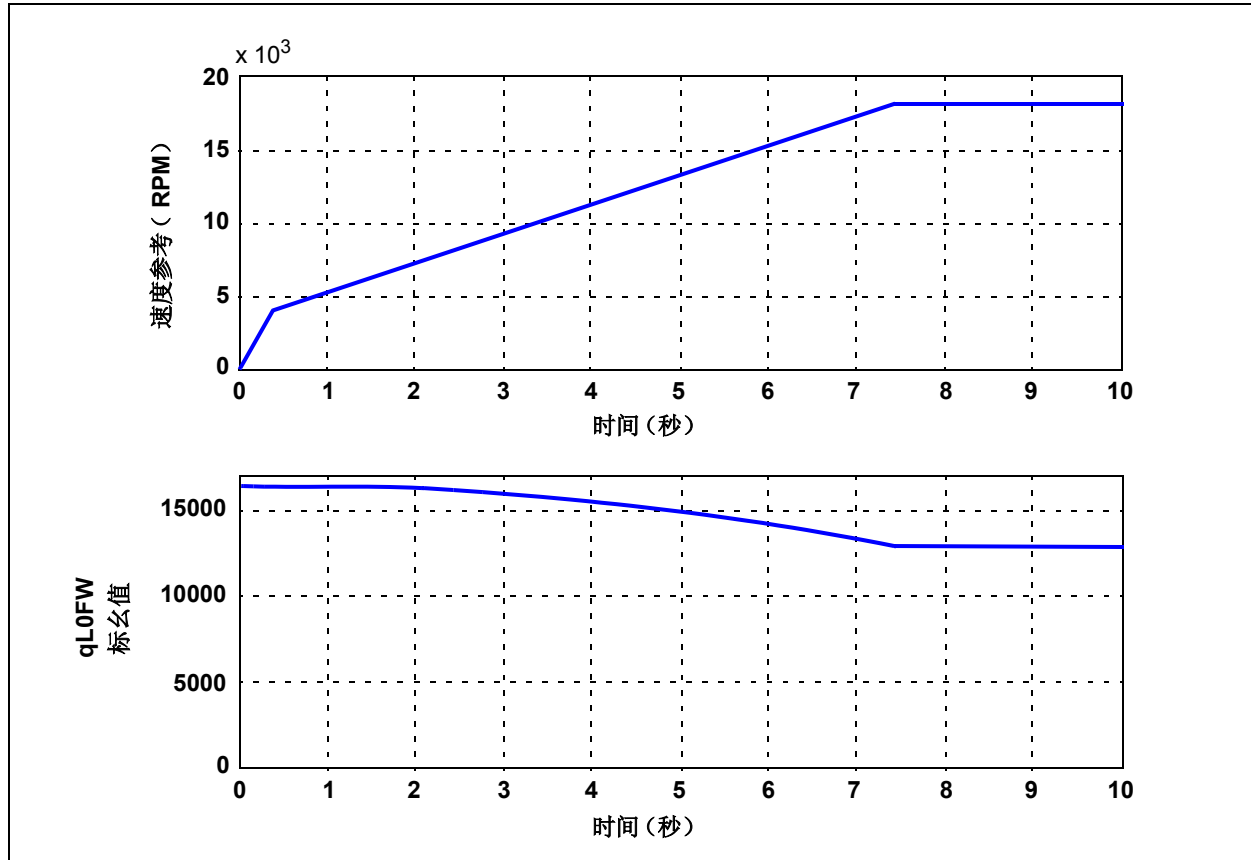
如例 2 所示，计算了插值部分。

执行弱磁功能的函数 FieldWeakening 在 C 文件 FieldWeakening.c 中进行了定义，其性能包括：

- 执行时间：51 周期
- 时钟速度：7.2-8.5 μ s @ 29.491 MHz
- 代码长度：212 字
- RAM：46 字

如前面部分所指出，弱磁区域运行时必须对互感进行自适应修正。考虑到所有电感变化规律为一致的假定条件，互感的自适应律可采用公式 7。图 8 描述了根据电机转速变化时互感 (L_θ) 的变化。

图 8: 弱磁运行时的互感的自适应律



包括电机常数在内的所有其他磁场定向控制所使用的变量也都进行自适应调整以减小弱磁运行时的误差。这些变量为：

- MotorEstimParm.qInvTr
- MotorEstimParm.qLsDt
- MotorEstimParm.qInvPsi
- MotorEstimParm.qRrInvTr

所有软件功能主要最初设计为针对恒功率运行区域，考虑到了电机参数常量；因此，当弱磁运行过程中转速增加时，考虑到参数会发生变化，设计了参数自适应功能。实现自适应功能的函数 `AdaptEstimParm` 在 `FieldWeakening.c` 中进行定义，且具有以下性能：

- 执行时间：1800 周期
- 时钟速度：7.2-8.5 μs @ 29.491 MHz
- 代码长度：218 字
- RAM：62 字

图 9 给出的实验结果显示弱磁运行时系统具有较高的稳定性和正确的速度控制曲线。

图 9：对 ACIM 采用具有弱磁控制功能的无传感器磁场定向控制的实验结果

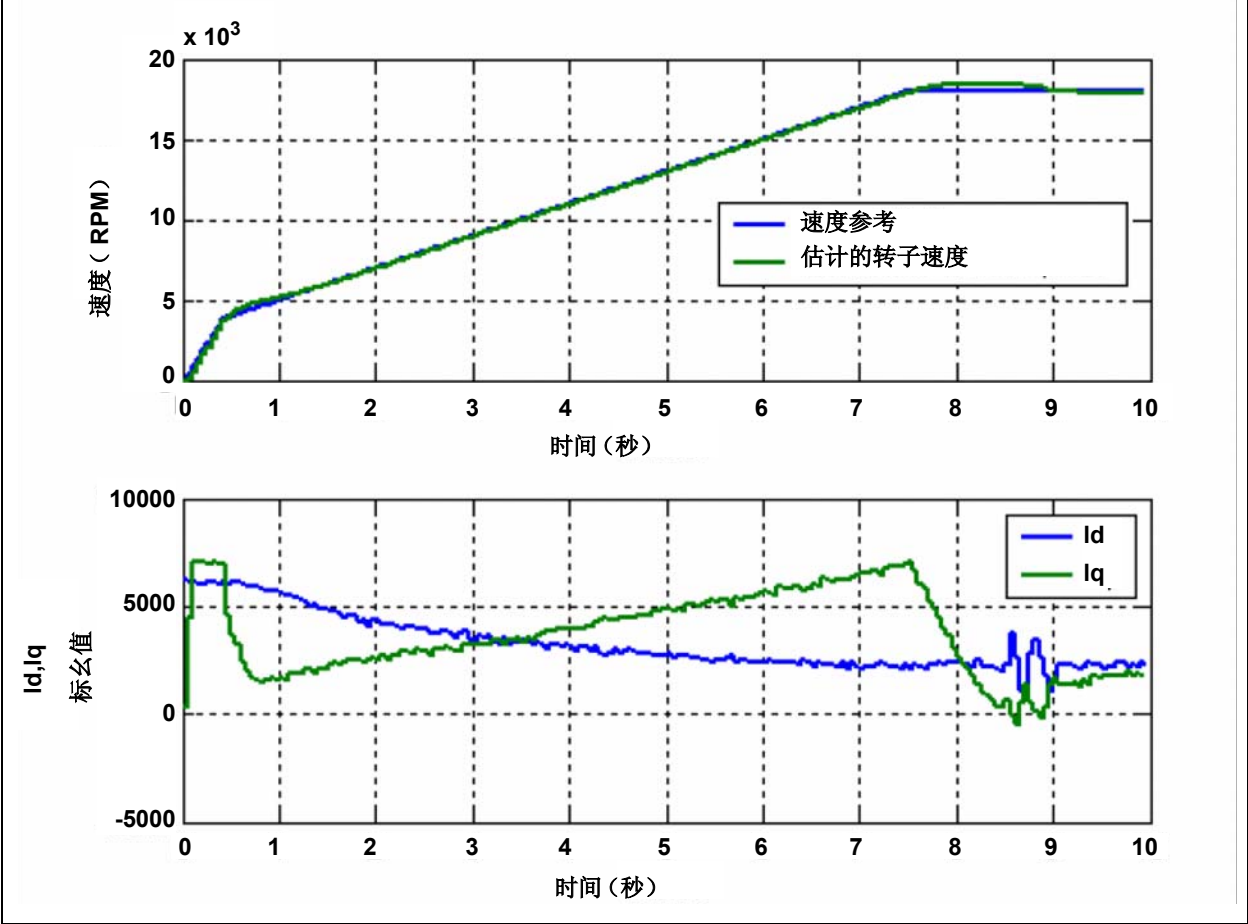


表 1 给出了实测的转矩 - 转速关系曲线和效率结果（计算时包括电机和逆变器）。

表 1：转矩 - 转速实验结果

转速（RPM）	转矩（N*m）	机械输出功率（W）	输入电功率（W）	效率（%）
9400	0.147	146	237	61.6
8500	0.172	153	234	65.4
6800	0.5	360	470	76.6
1100	1.15	135	250	54.0

结论

本应用笔记提供了一种基于 Microchip 的 dsPIC30F 和 dsPIC33F 数字信号控制器对 ACIM 实现具有弱磁控制功能的无传感器磁场定向控制的解决方案。该应用开发在先前发表的应用笔记 AN1162 基础上进行了扩展和补充，提供了感应电机驱动的高性能、宽转速控制解决方案。

参考文献

AN1162——交流感应电机（ACIM）的无传感器磁场定向控制（FOC）（DS01162A_CN），Microchip Technology Inc., 2008

附录 A: 源代码

软件许可协议

Microchip Technology Incorporated（以下简称“本公司”）在此提供的软件旨在向本公司客户提供专门用于 Microchip 生产的产品软件。

本软件为本公司和 / 或其供应商所有，并受到适用的版权法保护。版权所有。使用时违反前述约束的用户可能会依法受到刑事制裁，并可能由于违背本许可的条款和条件而承担民事责任。

本软件是按“现状”提供的。任何形式的保证，无论是明示的、暗示的或法定的，包括但不限于有关适销性和特定用途的暗示保证，均不适用于本软件。对于在任何情况下、因任何原因造成的特殊的、附带的或间接的损害，本公司概不负责。

本应用笔记中提到的所有软件都可从一个 WinZip 归档文件中获得。该归档文件可从如下 Microchip 公司网站下载：

www.microchip.com

注:

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Accuron、dsPIC、KEELOQ、KEELOQ 徽标、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、rfPIC、SmartShun 和 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

FilterLab、Linear Active Thermistor、MXDEV、MXLAB、SEEVAL、SmartSensor 和 The Embedded Control Solutions Company 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、Application Maestro、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、dsPICworks、dsSPEAK、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、In-Circuit Serial Programming、ICSP、ICEPIC、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mTouch、PICKit、PICDEM、PICDEM.net、PICtail、PIC³² 徽标、PowerCal、PowerInfo、PowerMate、PowerTool、REAL ICE、rLAB、Select Mode、Total Endurance、WiperLock 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 是 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2008, Microchip Technology Inc. 版权所有。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2002 认证。公司在 PIC[®] MCU 与 dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®] 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品方面的质量体系流程均符合 ISO/TS-16949:2002。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

全球销售及服务中心

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://support.microchip.com>
网址: www.microchip.com

亚特兰大 **Atlanta**

Duluth, GA
Tel: 678-957-9614
Fax: 678-957-1455

波士顿 **Boston**

Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 **Chicago**

Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 **Dallas**

Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 **Detroit**

Farmington Hills, MI
Tel: 1-248-538-2250
Fax: 1-248-538-2260

科科莫 **Kokomo**

Kokomo, IN
Tel: 1-765-864-8360
Fax: 1-765-864-8387

洛杉矶 **Los Angeles**

Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608

圣克拉拉 **Santa Clara**

Santa Clara, CA
Tel: 408-961-6444
Fax: 408-961-6445

加拿大多伦多 **Toronto**

Mississauga, Ontario,
Canada
Tel: 1-905-673-0699
Fax: 1-905-673-6509

亚太地区

亚太总部 **Asia Pacific Office**

Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京

Tel: 86-10-8528-2100
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都

Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 香港特别行政区

Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 南京

Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青岛

Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海

Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

中国 - 沈阳

Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳

Tel: 86-755-8203-2660
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武汉

Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 厦门

Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 - 西安

Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 珠海

Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

台湾地区 - 高雄

Tel: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-536-4803

台湾地区 - 台北

Tel: 886-2-2500-6610
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 - 新竹

Tel: 886-3-572-9526
Fax: 886-3-572-6459

亚太地区

澳大利亚 **Australia - Sydney**

Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 **India - Bangalore**

Tel: 91-80-4182-8400
Fax: 91-80-4182-8422

印度 **India - New Delhi**

Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 **India - Pune**

Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

日本 **Japan - Yokohama**

Tel: 81-45-471-6166
Fax: 81-45-471-6122

韩国 **Korea - Daegu**

Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 **Korea - Seoul**

Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 **Malaysia - Kuala Lumpur**

Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 **Malaysia - Penang**

Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 **Philippines - Manila**

Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 **Singapore**

Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 **Thailand - Bangkok**

Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

欧洲

奥地利 **Austria - Wels**

Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 **Denmark - Copenhagen**

Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

法国 **France - Paris**

Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 **Germany - Munich**

Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

意大利 **Italy - Milan**

Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

荷兰 **Netherlands - Drunen**

Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

西班牙 **Spain - Madrid**

Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

英国 **UK - Wokingham**

Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820