

# 第三代移动通信信道模型仿真分析

梁 超<sup>1</sup>, 项铁铭<sup>1</sup>, 刘 超<sup>2</sup>, 官伯然<sup>1</sup>

(1 杭州电子科技大学天线与微波技术研究所, 浙江 杭州 310018 2 杭州电子科技大学通信工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对信道性能的好坏直接决定着人们通信的质量, 为了更好地评估无线信道的性能, 首先为第三代移动通信信道模型建立了仿真平台; 针对频率选择性多径衰落的仿真方法运算量大的问题, 在一种新的移动信道模型的基础上采用了抽样延迟的仿真方法, 运算量小且容易实现, 并根据 MT-2000 标准所提供的参数, 分别得到了室内移动、室外步行以及车辆移动三种条件下的信号包络, 仿真结果表明方法能很好的仿真频率选择性衰落信道, 从而使得对于 3G 无线信道性能的评估更加方便。

关键词: 信道模型; 路径损耗; 多径衰落

中图分类号: TN929.5

## Simulation and Analysis of Channel Model in 3G Mobile Communications

LIANG Chao, XIANG Tie-ming, LIU Chao, GUAN Bo-ran

(1 Antenna and Microwave Technology Research Center, Hangzhou Zhejiang 310018 China

2 School of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou Zhejiang 310018, China)

ABSTRACT: The channel performance directly determines the quality of communications, so in order to evaluate the channel performance more efficiently, firstly, a simulation platform is established for channel models in 3G mobile communications. Secondly, owing to the complexity of the general simulation method used for frequency-selective multiple-path fading, this paper utilizes a new mobile channel model and presents a new method called Sample Delay, which is simpler and can be more easily realized. And through using the parameters supplied by MT-2000 standard, the signal envelope can be acquired in three test environments: indoor, outdoor and vehicular. The simulation results show that this method could simulate frequency-selective fading channel efficiently, so 3G wireless channel performance can be evaluated more conveniently.

KEYWORDS: Channel model; Path loss; Multiple-path fading

## 1 引言

不久前, 我国电信行业进行重组, 此举标志着我国的 3G 通信时代即将到来, 由此人们对第三代移动通信的发展也越来越关注, 同时 3G 系统性能的研究也越来越深入, 其中包括编码、分集技术、同步、信道、服务质量等等。众所周知, 对电波传播进行实测是十分困难的, 所以很多情况下对系统的预测研究都主要是通过仿真进行的, 而作为通信系统的重要组成部分, 无线信道模型的研究至关重要, 与有线信道是平衡和可预测的情况不同, 无线信道是随机的、不可预测的, 所以为了评估无线信道性能, 国际无线通信联盟 (ITU) 对传播环境特征进行了广泛的研究和考虑<sup>[1]</sup>, 包括大城市、小城市、郊区、乡村和沙漠地区, 给出了 MT-2000 的测试环境以及这

些测试环境下的多径延迟线参数, 可以根据这些参数对 3G 信道进行建模和仿真。

值得一提的是, 现行的 3G 系统都是建立在 MT-2000 所提供的系统结构之上的, 该标准为所有主要的无线通信协议提供了统一的 3G 无线通信平台, 而且我国提出的 TD-SCDMA 也将 MT-2000 标准作为其无线网络的应用平台, 在网络和业务能力上也使得满足 MT-2000 的要求。对于信道模型的研究, 一般集中于路径损耗模型和脉冲响应模型两个方面, 前者主要用于预测不同环境下信号的路径损耗, 而后者则主要用于描述多径时延扩展及衰落效应影响下的接收场强的快速波动情况。但是前人对 3G 信道模型的仿真研究存在着多多少少的不足, 文献[2]设计了 MT-2000 信道模拟器, 但是只给出了 Simulink 下的信道脉冲响应模型的部分仿真结果, 没有对路径损耗模型进行说明。3G 无线

信道是一个频率选择性衰落信道,而文献[3]提出的Jakes模型是一种确定性的仿真模型,并不适用于满足广义平稳非相关散射的频率选择性衰落信道。文献[4]所给出的频率选择性衰落信道的仿真方法是直接在各条路径上进行延迟,其运算量较大。

因此,本文在ITU-T 2000标准的研究基础上,采用了一种Jakes模型的改进型算法<sup>[5]</sup>,该仿真模型通过在各条路径的到达角及初始相位上都引入一个随机相移,使其一阶和二阶统计特性都能与Clark参考模型很好的吻合,从而很好地克服了Jakes模型的缺陷。在此基础上又通过抽样延迟的仿真方法实现了多径频率选择性衰落,该方法与通常所使用的时间延迟的仿真方法相比,具有运算量小,且容易实现的优点,而且在对比了两种方法的仿真结果之后发现,不论在信号包络还是信号电平的均值上两种方法都是十分接近的,从而证明抽样延迟的仿真方法是可行的。与此同时,本文还给出了3G信道的路径损耗模型的仿真结果,并对此进行了分析,为今后这方面的工作提供了参考。

## 2 基本理论

### 2.1 不同测试环境下的路径损耗模型

3G信道的路径损耗模型对传播环境特征进行了广泛的研究和考虑,不但给出了室内环境的模型公式,而且还给出了室外到室内/步行环境以及车载环境的模型公式。

#### 1) 室内办公室测试环境路径损耗模型

室内路径损耗模型以下面简化形式表示,它来自 COST 231的附录 1提出的室内模型。从干扰的观点看,距离的慢增长是路径损耗的最坏情况。

$$L = 37 + 30 \lg d + 18 \cdot 3 \cdot F^{(F+2)/(F+1)-0.46} \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

式中,  $d$ 为收发信机的距离间隔(m),  $F$ 为在传播路径中楼层的数目。

#### 2) 室外到室内/步行测试环境损耗模型

这个模型仅仅对非视线(NLOS Non-Line-of-Sight)情况是有效的。小区小、反射功率低是这类环境的特点,并且要求基站位于室外,天线高度较低。

$$L = 40 \lg d + 30 \lg f_c + 49 \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

式中,  $d$ 为收发信机的距离间隔(km),  $f_c$ 为载波频率,对 ITU-T 2000频段的应用,载波频率为 2000MHz。

#### 3) 车载测试环境路径损耗模型

这个模型适用于市区和郊区测试环境,但是不适用于建筑物高度几乎是相同的高层建筑物核心区测试环境。

$$L = 40(1 - 4 \times 10^{-3} \Delta h_b) \lg d - 18 \lg \Delta h_b + 21 \lg f_c + 80 \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

式中,  $d$ 为基站和移动台之间的间隔(km),  $f_c$ 为载波频率,  $\Delta h_b$ 为从建筑物平均顶层高度向上测量的发射天线高度(m),对  $\Delta h_b = 15 \sim 50\text{m}$ 都是有效的。

### 2.2 频率选择性多径衰落的算法实现

无线信道的特性虽然难以预测,但仍可以根据实际测量

的数据以及影响信号传输的因素建模。无线信道中影响信号衰落的因素有多径传播、接收机的移动速度、信号的传输带宽等等。总的来说,3G无线信道是一个频率选择性瑞利信道,而ITU-T M 1225标准建议采用6径衰落模型来仿真其信道脉冲响应模型,并且定义了每一径的相关参数和多普勒频率特性。对于每一径的瑞利衰落的仿真,本文采用一种Jakes模型的改进型算法来实现,其能够产生满足瑞利统计特性和相应多普勒频谱特性的多个不相关多径过程,满足6径模型的要求。

由于用户终端所接收到的信号是  $N$ 条多路信号的叠加,因此用户所接收到的信号  $R(t)$  可以表示为

$$R(t) = \sqrt{2} \sum_{n=1}^N C_n e^{j(\omega_m t \cos \alpha_n + \phi_n)} \quad (4)$$

其中

$$C_n = \sqrt{P(\alpha_n)} = \frac{1}{2\pi} d\alpha, \omega_m = 2\pi f_m \quad (5)$$

$f_m$ 为最大多普勒频移,  $C_n$ 表示第  $n$ 条路径的衰减,  $\alpha_n$ 表示第  $n$ 条路径的到达角,  $\phi_n$ 表示经过路径  $n$ 后附加的相移。

假设接收信号的相角以  $d\alpha = 2\pi/N$ 均匀分布,则可以得到

$$C_n = 1/N \quad (6)$$

因此

$$R(t) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N e^{j(\omega_m t \cos \alpha_n + \phi_n)} \quad (7)$$

$$\text{令 } N = 4M, \phi_{n+M} = -\phi_n + \frac{\pi}{2}, \phi_{n+2M} = -\phi_n,$$

$$\phi_{n+3M} = \phi_n + \frac{\pi}{2}, \alpha_n = \frac{(2n-1)\pi + \theta}{N} \quad (8)$$

其中,  $M$ 表示振荡器的个数,  $\theta = [-\pi, \pi]$ 为均匀分布的随机变量,将其代入式(7),可得

$$\begin{aligned} R(t) &= \sqrt{\frac{2}{N}} \left\{ \sum_{n=1}^M 2 \cos(\omega_m t \cos \alpha_n + \phi_n) + \sum_{n=1}^M 2 \cos(\omega_m t \sin \alpha_n + \varphi_n) \right\} \\ &= X_c(t) + X_s(t) \end{aligned} \quad (9)$$

这样,

$$X_c(t) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^M 2 \cos(\omega_m t \cos \alpha_n + \phi_n) \quad (10)$$

$$X_s(t) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^M 2 \cos(\omega_m t \sin \alpha_n + \varphi_n) \quad (11)$$

式中  $X_c(t)$  和  $X_s(t)$  分别是衰落的同相分量和正交分量,且对每一个  $n$ 值,  $\phi_n, \varphi_n$ 都是在  $[-\pi, \pi]$  均匀分布且统计独立的随机变量,计算结果表明,当取  $M \geq 40$ 的时候可以获得很好的结果。

## 3 信道模型仿真

### 3.1 路径损耗模型仿真分析

根据2.1中所述的理论公式,为3G信道的路径损耗模

型建立了仿真平台, 并且针对不同测试环境的特点给出了不同的仿真方法, 有侧重地仿真分析了一些重要因素对信号传输的影响, 仿真结果由图 1~图 3所示。

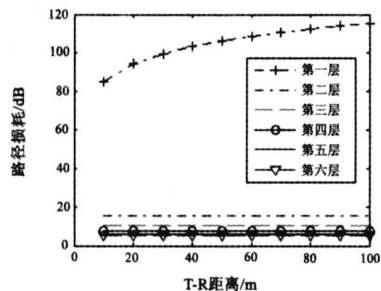


图 1 室内办公室环境路径损耗

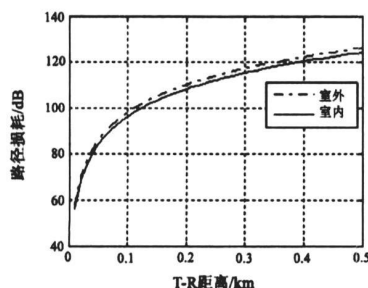


图 2 室外到室内/步行环境路径损耗

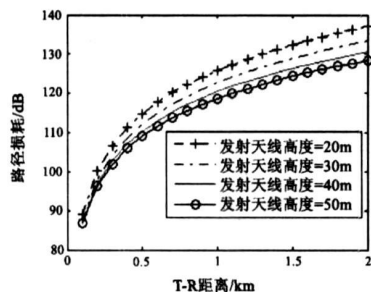


图 3 车载环境路径损耗

图 1反映了不同楼层中, 随收发信机距离变化的室内办公室环境路径损耗。其收发信机距离设定在 100m范围内, 图中显示出从第一层到第六层, 路径损耗依次减小, 其中第一层的路径损耗远远大于其他楼层的路径损耗, 在 100m处达到 115 dB; 而第二层的路径损耗则锐减到 16 dB左右, 在五、六层以上只有非常小的路径损耗<sup>[6]</sup>。同时可以观察到路径损耗在两层以上的楼层中随收发信机距离的变化已经微乎其微, 这是因为室内环境本身所限, 使得距离因素对室内路径损耗的影响变得很小, 这和我们的期望也是一致的。随着楼层的增高, 相邻两层之间路径损耗的差距也越来越小, 估计在六层以上这种差别已几乎表现不出。这也就充分反映出在一楼或地下室手机的接收信号会很差, 而在二楼以

上, 手机的接收信号则明显好很多的现实情况。

图 2主要对比了室外到室内/步行测试环境下, 室外条件和室内条件的路径损耗。假定收发信机距离在 500m范围内, 选取 2000MHz为载波频率, 与图 1中的曲线相比, 图 2中的路径损耗随距离的变化可以说是非常明显的, 尤其是在起初的 100m内, 路径损耗从 55 dB迅速增加到了 95 dB。而且室外的路径损耗要略大于室内一些, 这是因为室外的遮蔽物比较丰富, 特别是路径上的那些树木、车辆等障碍物会对对数正态阴影衰落产生一定的影响。

图 3给出了发射天线高度取不同值时的车载环境路径损耗。收发信机距离设定在 2 km范围内, 仍然选取 2000MHz为载波频率, 发射天线高度分别为 20m、30m、40m和 50m。可以看到, 在收发信机距离相同的条件下, 随着发射天线高度的增加, 其路径损耗依次减小。而且在收发信机距离很近的情况下 (即  $T-R$  距离  $\leq 200m$ ), 不同高度的发射天线所对应的路径损耗之间的差距非常小, 但是在  $T-R$  距离 = 500m 时, 这种差距就会变得非常明显, 而且随着收发信机距离的增加, 这种差距也会越来越大。

### 3.2 信道脉冲响应模型仿真分析

#### 3.2.1 仿真方法

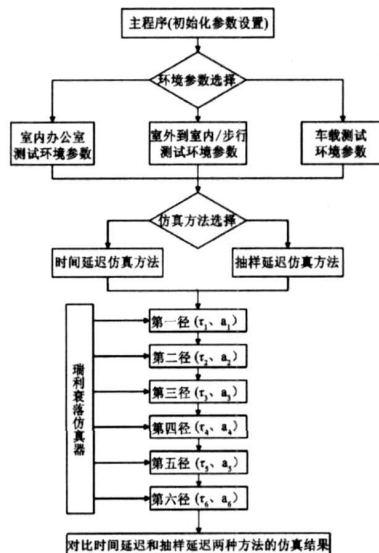


图 4 信道脉冲响应模型仿真流程图

图 4是信道脉冲响应模型的仿真流程图, 在该程序中, 拟采用 6径的频率选择性衰落模型来仿真 3G信道的信道脉冲响应模型。图中的  $\tau_1 \sim \tau_6$  是各径的相对时延,  $a_1 \sim a_6$  为平均功率, 它们在不同的环境下具有不同的值, ITU-R M 1225标准分别给出了室内办公室、室外到室内/步行以及车载三种测试环境中每一径的相对时延和平均功率的具体值, 由表 1所示。

表 1 三种测试环境下的多径延迟线参数

延迟线	室内办公室		室外到室内/步行		车载	
	相对时延 (ns)	平均功率 (dB)	相对时延 (ns)	平均功率 (dB)	相对时延 (ns)	平均功率 (dB)
1	0	0	0	0	0	-2.5
2	100	-3.6	200	-0.9	300	0
3	200	-7.2	800	-4.9	8900	-12.8
4	300	-10.8	1200	-8	12900	-10.0
5	500	-18.8	2300	-7.8	17100	-25.2
6	700	-25.2	3700	-23.9	20000	-16.0

在第三代通信系统中,特别是结合 TD-SCDMA 给出的参数,从而可以设定仿真程序的参数:系统载波频率为 2GHz,码片速率为 1.28Mcps,扩频因子为 16 根据符号速率 (SymbolRate)=码片速率 (ChipRate)/扩频因子 (SFk) 的公式可以算出符号速率为 80kps<sup>[7]</sup>,取符号序列长度为 32000 可得整个衰落包络的时间范围 time 为 0~0.4 秒,并且假定室内移动、室外步行和车辆移动条件下的移动速度分别为 3km/h、10km/h 和 120km/h。

在仿真频率选择性多径衰落时,一般所采用的方法是对每条径进行延迟,然后将延迟后的所有径上的信号能量相加从而得到最终结果,但是这种方法运算量较大,原因在于延迟的时候,各个时间点上的信号能量值都要随之发生改变;针对这个问题,本文给出了一种运算量很小的仿真方法,即抽样延迟的仿真方法。所谓抽样延迟,就是指每条径上的时延将以最晚的那条径为基准,直接抽取所有径在最大相对时延之后的仿真结果并相加。由此可以想象,在该方法中,仿真结果显示的起始时间不再是 0 时刻,而是各径中相对时延最大的那个值,但是这个值相对于整个时间轴来说是非常小的,所以可以忽略不计。

### 3.2.2 仿真结果

图 5(a) 描述的是室内移动条件下的信号电平,其包络曲线相对平滑,所以在接收机缓慢移动的时候,接收信号所受到的影响很小;图 5(b) 是室外步行条件下的信号电平,可以看出该条件下接收信号的衰落更加明显了,波动也更加剧烈了;图 5(c) 给出了车辆移动条件下的信号电平,其接收信号的衰落已经变得非常快,在极短的时间里就可以从 5dB 左右迅速衰减到 -30dB。比较这三种情况的仿真结果,可以了解到随着接收机移动速度的增加,多普勒频移的增大,接收信号电平的衰落会越来越快,因此对数据传输的影响也会越来越大,这也就导致了 3G 系统对室内、室外步行和室外车载情况下的数据传输的上限速率有不同的定义。因此 3G 的无线传输技术对数据传输速率提出的具体要求是室内环境为 2Mbps,室外步行环境为 384kbps,室外车辆移动环境为 144kbps<sup>[7]</sup>。

由图 5 给出的仿真结果可以看到,时间延迟和抽样延迟

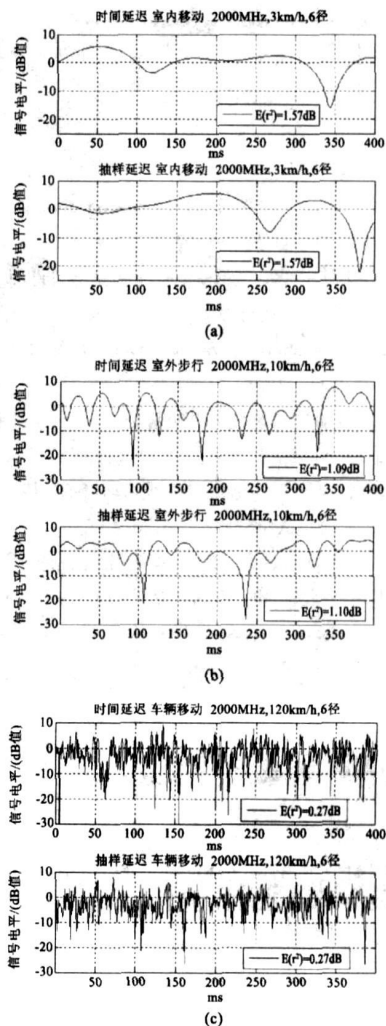


图 5 信道脉冲响应模型的仿真结果

这两种仿真方法所得到的信号包络是十分近似的,而且在不同的运动条件下,这两种方法所得到的接收信号电平的平均值也是比较接近或相同的,这由图中的  $E(r)$  所表示,从而能够验证抽样延迟这种仿真方法是合理的,而且与时间延迟相比,抽样延迟的运算量更小且更容易实现。

## 4 结论

目前,我国正在全面推广 3G 进程,作为第三代移动通信系统的重要部分,信道模型的研究也越来越受到人们的重视。因此,本文利用 MT-2000 的研究成果,结合 TD-SCDMA 标准给出的要求,分别对 3G 信道的路径损耗模型和信道脉冲响应模型进行仿真,仿真结果表明,随着楼层的降低路径损耗会不断增大,而且第一层的路径损耗要远远大于其他楼层;与室内环境相比,室外路径损耗要略大些;对于车载环境,天线高度则起着非常重要的作用,另外,接收机移动速度的提高对数据传输产生的影响也越大。同时,本文还提出采用抽样延迟的仿真方法来仿真频率选择性多径衰落,通过对仿真结果的分析对比,验证了该方法的合理性。但是,与

理论模型相比,实际的信道要复杂得多,要建立与实际信道更接近的模型,就必须不断从实际的信道中采集数据,建立经验数据库,并不断改进和完善现有的模型。

## 参考文献:

- [1] R D Carrell et al. MT-2000 standards radio aspects [J]. IEEE Com Mag 1997, 35(8): 30-40
- [2] 李兴,等. MT-2000基带实时信道模拟器设计[J]. 电子科技大学学报, 2004, 33(4).
- [3] W C Jakes. Microwave Mobile Communications [M]. New York: Wiley, 1974. 11-78
- [4] 杨大成. 移动通信环境: 理论基础、分析方法和建模技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003. 230-237
- [5] 贺中堂, 张力军, 李军科. 一种无线移动信道建模与仿真改进方法 [J]. 南京邮电大学学报, 2006. 26(4).
- [6] Theodore S Rappaport 著, 蔡涛, 李旭, 杜振民译. 无线通信原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1999. 92-93.

- [7] 李世鹤. TD-SCDMA第三代移动通信系统标准 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003-11. 66

## [作者简介]



梁超 (1983-), 男 (汉族), 陕西西安人, 杭州电子科技大学硕士研究生, 研究方向: 微波技术与微波通信;

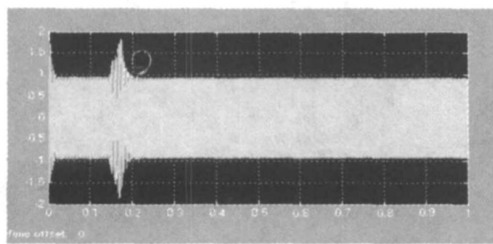
项铁铭 (1976-), 男 (汉族), 浙江杭州人, 博士, 杭州电子科技大学副教授, 硕士生导师, 研究方向: 电

磁场理论研究和数值分析计算, 现代天线设计等;

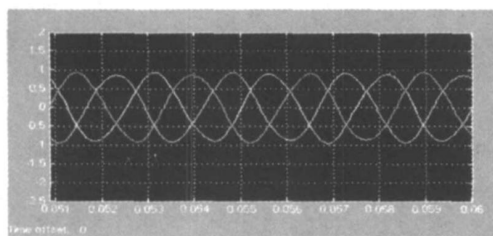
刘超 (1977-), 男 (汉族), 湖北黄陂人, 博士, 杭州电子科技大学通信工程学院讲师, 研究方向: MMO系统、信号检测算法和信道编码;

官伯然 (1955-), 男 (汉族), 山东人, 博士, 杭州电子科技大学教授, 博士生导师, 校长助理, 研究方向: 微波通信与天线、超导电子学等。

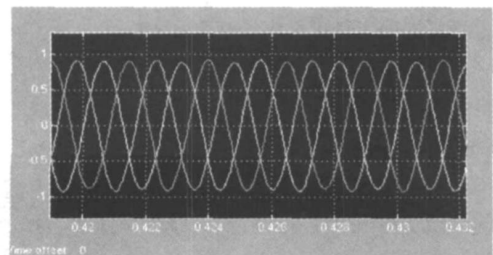
(上接第 46 页)



(a) 转速变化前三相电流波形



(b) 转速变化前三相电流波形



(c) 转速变化后三相电流波形

图 7 功率机定子输出的三相电流波形

## 5 结束语

本文主要分析了变速恒频无刷双馈发电机的结构与工

作原理, 研究了基于定子磁链定向的矢量控制的级联式无刷双馈发电机控制策略。建立了级联式无刷双馈发电机电系统模型, 并进行了仿真研究。结果表明: 采用本文所提出的控制策略, 可以使级联式无刷双馈发电机在转速变化的情况下, 保证发电系统输出恒频恒压。

## 参考文献:

- [1] Chengwu Lin, Fengxiang Wang, Xingjia Yao, Baolong Bai. Study on power control characteristics of VSCF wind power generator [J]. IEEE, 2004, 1(21-24): 784-787.
- [2] 韩安荣. 通用变频器及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005-5
- [3] 谢军. 航空电机学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006-1
- [4] 苑国锋, 柴建云, 李永东. 变速恒频风力发电机组励磁变频器的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005-4. 25(8).
- [5] Wang Zheng et al. Study on equivalent circuit of doubly fed brushless reluctance machine based on frequency referring [J]. ICEMS 2005. 599-602.

## [作者简介]



陈永禄 (1984-), 男 (汉族), 河南人, 在读研究生, 研究方向: 电力电子与电力传动;

李玉忍 (1962-), 男 (汉族), 陕西人, 教授, 博士, 硕士生导师, 研究方向: 电力电子与电力传动, 计算机测控;

范冰洁 (1983-), 女 (汉族), 山西人, 在读硕士, 研究方向: 电力系统及其自动化, 计算机测控;

韩伟 (1983-), 男 (汉族), 山东人, 在读硕士, 研究方向: 电力电子与电力传动, 计算机测控。