

文章编号:1005-0523(2013)04-0082-07

基于单因素利率模型的SHIBOR利率行为实证研究

侯文琪,潘善宝

(华南理工大学经济与贸易学院,广东 广州 510006)

摘要:由于利率期限结构在金融资产定价和风险管理上十分重要,在总结和分析已有文献的基础上,使用单因素利率模型对SHIBOR利率期限结构进行了实证研究。研究表明:在各单因素利率模型(Vasicek, CIR, CKLS)对SHIBOR利率行为特征的拟合效果上, Vasicek模型的拟合效果最佳,不仅模型各系数估计值统计上显著,而且其预测误差估计统计量最令人满意。Vasicek模型对SHIBOR市场利率动态特征具有较好的刻画和描述能力,是较理想的利率模型,在研究我国利率特征上具有较好的适用性。

关键词:利率模型;SHIBOR;实证

中图分类号:F832.5

文献标志码:A

随着我国利率市场化和汇率市场化改革的不断深入推进,我国企业与机构面临的利率风险逐步凸显,发展利率衍生品,管理利率风险成为市场需要。我国利率衍生品市场的稳步快速发展,合理地利率衍生定价是国内金融机构面临的首要问题。

利率衍生品的估值比股票和外汇衍生品的估值要困难得多,其主要原因在于利率的行为过程比股票价格或者汇率的行为过程要复杂得多,其定价需要能有效描述利率随时间演变利率期限结构。因此,利率期限结构理论和模型的研究成为目前金融工程领域中一份十分重要的基础性研究工作,它的研究和发展对于利率衍生品定价的合理性有重大影响。

上海银行间同业拆放利率(SHIBOR),这个被寄予为“我国未来基准利率”的利率,自其2007年1月4日正式运行以来已过去了6年,其在利率体系中的影响力逐渐增强,以其为定价参照系的金融衍生产品越来越多,已基本确立了我国货币市场基准利率地位,在稳步推进利率市场化改革和金融市场基准利率体系建设的大背景下,对其进行利率期限结构研究,其理论意义和实际意义不言而喻。因此,着重以SHIBOR为对象进行利率期限结构模型研究,以期能找出最能拟合我国利率动态特征的利率模型。

1 文献综述

现代利率期限结构理论的研究,学者们一般从定性和定量两个角度来进行研究。在定性研究上,从马克思的剩余价值理论决定资金的价格(利率),到后来西方国家比较著名的预期理论,流动性偏好理论和市场分割理论,被划为传统的利率期限结构理论。现代的利率期限结构理论依靠定量分析技术,根据市场的具体情况进行建模,然后得到利率期限结构,包括静态期限结构和动态期限结构两大类。前者以具体时点的静态市场数据为基础按照特定的模型方法对利率期限结构进行拟合,其方法主要包括插值法和拟合类模型两大类,后者则着重考察利率的动态变化过程,引入随机过程对利率的变化过程进行研究。动态利率期限结构是利率模型核心与发展方向。

在动态利率期限结构模型的研究上,国内外学者们从多角度、多方面对利率的随机行为进行了研究,相继提出了大量的利率期限结构模型,从单因素到多因素模型,从均衡模型到无套利模型等,对市场利率

收稿日期:2013-06-10

作者简介:侯文琪(1986—),男,硕士研究生,研究方向为金融工程。

的动态特征研究逐渐深入,这对金融衍生品的发展有重要的促进作用。

均衡模型通过预先假设投资者的选择偏好、利率的风险价格等因素,在一般均衡的框架下推导利率的演化过程,输入相关的经济变量,利率是输出变量。该模型以准确地预测市场利率走势为目标,而不管产品定价与当前观察到的市场价格是否相匹配。单因素均衡模型以短期利率 r_t 作为唯一的解释变量来描述利率的动态变化,常见的单因素模型包括 Merton^[1], Vasicek^[2], Dothan^[3], CIR^[4], CKLS^[5]等。多因素均衡模型则通过增加其它因素(如当前利率水平、宏观经济政策变化等)来解释利率的变化过程,常见的多因素模型包括: Brennan-Schwartz 模型^[6], Fong-Vasicek 模型^[7], Longstaff-Schwartz 模型^[8]等。

无套利模型以目前观测到的利率期限结构作为输入变量,不需要对消费者的偏好进行假定,根据无套利关系来选择漂移率参数,具有很好的灵活的。常见的无套利模型包括: Ho-Lee 模型(1986)^[9], Hull-White 模型^[10], Black-Derman-Tony (BDT)模型^[11], Heath-Jarrow-Morton (HJM)模型^[12]等。

由于现代利率模型结构是如此的重要,学者们对它的研究从未停止过,现阶段比较有影响力的新模型包括市场模型 (Brace-Gatarek-Musiek/Jamshidian 模型, LMM&SMM)^[13], 随机跳跃模型 (Jump-Diffusion 模型)^[14]和机制转换模型^[15], 这些模型扩大的利率模型研究的视角,对深入了解利率动态结构有重要作用。

然而学者们在过去40年里提出的各种利率期限结构模型虽都具有一些合理的特征,却都不是完美的理想模型。如果一个模型描述了利率期限结构的历史变化,并且与经济理论一致,则该模型计算一定很复杂,实际应用中耗时且不一定具有现实意义。反过来,如果模型过于简单,其经济理论基础可能不够坚实,或者不能很好地描写历史数据,因此目前为止,完美的模型还未找到。在实际应用中,需要根据市场环境的不同、任务的不同来选择适当够用的模型。

针对我国特殊的市场环境,我国学者们在利率期限结构上进行了不少研究,以期能找出合适的利率结构的模型方法。总的来说,我国学者在这方面的研究还相对较少,研究还不够深入,有待进一步进行研究。国内较具有代表性的研究包括:吴雄伟,谢赤^[16]以上海交易所4周国债回购利率为研究对象,使用极大似然法对CKLS模型的参数进行了估计。林海和郑振龙^[17]以上交所的每周短期利率为对象对比研究了Vasicek模型和CIR模型,发现Vasicek模型的拟合效果更佳。马晓兰,潘冠中^[18]以FR007为研究对象对一组单因子利率模型进行了估计。苏云鹏^[19]对利率期限结构进行了多方面的研究,在单因素模型上,研究发现带有滤波估计的CIR模型较Vasicek对SHIBOR市场的动态特性有更好的拟合效果。

2 模型的选择与转换

在对SHIBOR的利率期限结构的研究上,最终使用单因素的均衡模型(Vasicek, CIR, CKLS)来进行研究。选择该类模型的原因在于:第一,单因素模型结构清晰、比较容易得到解释解,在现实中有广泛的应用与研究,而多因素模型虽在理论上能灵活地考虑多方面因素,但多因素的准确性也带来了计算上的复杂,多数模型无法得到线性解释解,需要应用特殊的数值方法,其实用备受限制。第二,我国的金融市场发育程度使得使用均衡模型较为合适。无套利模型对即期利率期限结构模型视为合理,对资料的敏感性较高,我国利率市场和金融衍生品市场的不完善会把资料缺陷带入利率模型中,造成定价不准。

2.1 Vasicek 模型

Vasicek模型是由Vasicek于1997年提出的,首次将利率均值回复的特征引入方程,模型的缺陷在于仍然存在负利率的可能性,且波动率为恒定常数,不能随 r 的变化而变化,其微分方程如下

$$dr = k(\theta - r)dt + \sigma W_t \quad (1)$$

式中: r 为利率; t 为时间; k 为回复速度; θ 长期均值; σ 波动率参数; W_t 表示 t 时刻的维纳过程。

对微分方程(1)进行离散化处理,令 $\alpha = k\mu$, $\beta = -k$, $\varepsilon_{t+1} = \sigma(W_{t+1} - W_t)$, $y_t = r_{t+1} - r_t$ 得:

$$y_t = (\alpha + \beta r_t) + \varepsilon_{t+1}, E(\varepsilon_{t+1}) = 0, E(\varepsilon_{t+1}^2) = \sigma^2 \quad (2)$$

式中: α , β , ε 分别表示离散后方程的均值,斜率及残差; W_{t+1} 表示 $t+1$ 时刻的维纳过程; r_{t+1} , r_t 分别表

示 $t+1$ 及 t 时刻的利率; ε_{t+1} 为 $t+1$ 时刻的残差; y, μ, E 均为中间变量。

2.2 CIR模型

CIR模型由 Cox, Ingersoll 和 Roll 于 1985 年提出,被广泛应用于对利率敏感的未定权益定价过程,模型不仅体现出了利率均值回复特征,而且瞬时利率不小于零,且瞬时利率的波动率不在是常数,而是 r 的线性函数。其微分方程如下

$$dr = k(\theta - r)dt + \sigma\sqrt{r}dW_t \quad (3)$$

对微分方程进行离散化处理可得:

$$y_t = (\alpha + \beta r_t) + \varepsilon_{t+1}, E(\varepsilon_{t+1}) = 0, E(\varepsilon_{t+1}^2) = \sigma^2 r_t \quad (4)$$

2.3 CKLS模型

CKLS模型由 Chan, Karolyi, Longstaff 和 Sanders 于 1992 年提出,它是提供了一个一般化的模型,将重要的单因素均衡利率模型纳入统一的模型框架之下,不同的参数设定能得出不同的单因素模型,其微分方程如下

$$dr = k(\theta - r)dt + \sigma r^\gamma dW_t \quad (5)$$

式中:系数 γ 决定瞬时利率 r 的波动率的变化方式。

对微分方程(5)进行离散化处理可得

$$y_t = (\alpha + \beta r_t) + \varepsilon_{t+1}, E(\varepsilon_{t+1}) = 0, E(\varepsilon_{t+1}^2) = \sigma^2 r_t^{2\gamma} \quad (6)$$

在模型系数估计方法上,选择使用GMM(广义矩条件估计)法,在使用GMM方法之前,需要得到这几个方程的矩条件,观察3个模型的离散化方程(2)(4)(6),容易知道对应的矩条件 $f_t(\theta)$ 分别如下:

$$f_t(\theta) = \begin{bmatrix} \varepsilon_{t+1} \\ \varepsilon_{t+1} r_t \\ \varepsilon_{t+1}^2 - \sigma^2 \\ \varepsilon_{t+1}^2 r_t - \sigma^2 r_t^2 \end{bmatrix}, f_t(\theta) = \begin{bmatrix} \varepsilon_{t+1} \\ \varepsilon_{t+1} r_t \\ \varepsilon_{t+1}^2 - \sigma^2 r_t^2 \\ \varepsilon_{t+1}^2 r_t - \sigma^2 r_t^2 \end{bmatrix}, f_t(\theta) = \begin{bmatrix} \varepsilon_{t+1} \\ \varepsilon_{t+1} r_t \\ \varepsilon_{t+1}^2 - \sigma^2 r_t^{2\gamma} \\ \varepsilon_{t+1}^2 r_t - \sigma^2 r_t^{2\gamma+1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

3 数据选择

利率模型的重要功能是利率衍生品定价和对冲利率风险。利率模型参数的估计是实现其功能的关键步骤。由于现实的金融市场中不存在瞬时利率 r_t , 我们无法直接得到其观察值,因此学者们在研究时一般以短期利率作为其近似替代。

市场上可观察到的短期利率比价多,选择不同的短期利率来对利率模型进行参数估计会产生明显不同的结果。在数据选择上,我们一般坚持两个原则。第一,相关性原则,即所选择的短期利率其短期变化与其它利率的短期变化相关性最高。第二,交易量原则,即所选择的短期利率交易最为频繁,成交量巨大。

上海银行间同业拆放利率(SHIBOR),是我国重点打造的基准利率,是未来市场化利率体系的核心组成部分。对其利率期限结构进行研究和分析,其理论意义不言而喻。因此,本文在选择短期利率时重点关注短期SHIBOR利率(隔夜、1周、2周、1个月、3个月,共5种)。

对于相关性原则,我们以2007年1月1日到2012年12月32日的短期SHIBOR利率为数据区间,求出其相关系数,如表1所示。可以看出:各短期SHIBOR利率之间的相关性较强。最高相关系数为0.951 703(SHIBOR一周与SHIBOR两周),最低的相关系数为0.774 795(SHIBOR一周与SHIBOR三月)。对于选择与其它利率变化的相关性最强的利率,应该在SHIBOR隔夜、SHIBOR一周及SHIBOR两周中选取,这三种利率的相关性在数值上普遍较高,且差距不大。

对于交易量原则,用于利率模型参数估计的利率品种应在市场上得到较多地使用。根据我国现有的利率互换衍生品,其产品以SHIBOR为浮动端的主要集中在SHIBOR隔夜和SHIBOR三月。如图1所示,比较过去一年的交易数据,以SHIBOR隔夜为浮动端的利率互换的交易量要远远大于SHIBOR三月,因此,根

据交易量原则,应选择SHIBOR隔夜作为研究对象。

表1 短期SHIBOR利率的相关系数

Tab.1 The Correlation coefficients between short-term SHIBOR

SHIBOR	隔夜	一周	两周	一月	三月
隔夜	1	0.924 23	0.885 821	0.879 898	0.765 713
一周	0.924 23	1	0.951 703	0.913 234	0.774 795
两周	0.885 821	0.951 703	1	0.948 637	0.794 335
一月	0.879 898	0.913 234	0.948 637	1	0.876 461
三月	0.765 713	0.774 795	0.794 335	0.876 461	1

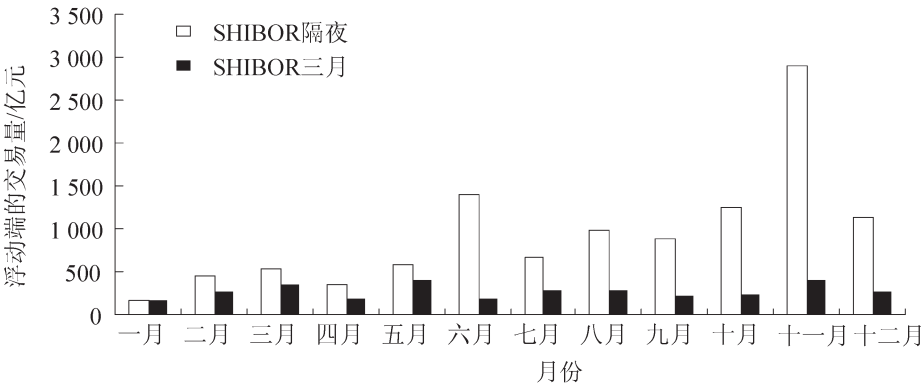


图1 2012年利率互换SHIBOR浮动端的交易量比较

Fig.1 The IRS trading volume of different SHIOR in 2012

结合相关性原则和交易量原则,通过实际数据的比较,在选择瞬时利率 r_t 的近似替代利率上,SHIBOR隔夜是最好的选择,它不仅是短期SHIBOR利率中与其它利率变化相关性最高的,而且也是交易量最大的利率品种。

4 实证分析

4.1 利率数据

根据上一小节的单因子利率模型的数据选择结果,本文进行实证的利率数据时上海同业间隔夜拆放利率(SHIBOR隔夜)。数据区间为2007年1月1日至2012年12月31日,共计1499个数据。数据来源于中国货币网。

在进行实证分析之前,我们先把单利利率数据转化成等价连续复利,计算公式为

$$r(t,T)=\frac{1}{T-t}\ln(1+R(t,T)(T-t))$$

(8)

式中: $T-t$ 为到期期限; $R(t,T)$ 表示转化前的单利利率, $r(t,T)$ 表示转化后的连续复利利率。

由于本文使用的是SHIBOR隔夜拆放利率,因此 $T-t=1/360$ (年)。转化后,我们可将数据总结为表2。

表2 SHIBOR隔夜拆放利率的基本情况

Tab.2 The statistics of SHIBOR_O/N

变量	样本数/个	均值	标准方差	最大值	最小值
r_t	1 499	2.191 678	1.047 036	8.430 095	0.799 923
$y=r_t-r_{t-1}$	1 498	0.001 614	0.365 828	3.380 782	-5.540 17

2 利率模型的参数估计

在利率模型的参数估计上,我们将使用GMM方法,通过运用SAS编程,得出表3和表4的估计结果:

表3 Vasick、CIR、CKLS三个模型的系数估计结果

Table3 The Coefficient estimates results of models

模型	变量	估计值	标准差	t 统计量	P 值
Vasicek	α	-0.100 77	0.041 0	-2.46	0.014 2
	β	0.0476 25	0.021 8	2.18	0.029 2
	σ	0.158 599	0.036 7	4.32	<0.000 1
CIR	α	-0.065 57	0.027 8	-2.35	0.018 7
	β	0.031 374	0.016 5	1.91	0.056 8
	σ	0.123 438	0.027 1	4.55	<0.000 1
CKLS	α	-0.024 32	0.012 8	-1.91	0.056 7
	β	0.009 767	0.009 2	1.06	0.288 8
	σ	-0.080 04	0.018 0	-4.44	<0.000 1
	γ	1.518 523	0.145 9	10.41	<0.000 1

通过分析各利率模型系数估计的实证结果可知,在5%的置信水平下,Vasicek模型的拟合效果最好,其全部参数(α , β , σ)的估计值均相当显著。CIR模型的参数 α 和CKLS模型的参数 σ 和 γ 的估计值也体现出了统计上的显著性质,但CIR模型的参数 α 和CKLS模型的参数 α 和 β 却并不显著,因此,在模型系数估计值的显著性上看,我们认为:Vasicek模型较CIR模型和CKLS模型的拟合效果要好。

表4 Vasick、CIR、CKLS三个模型的估计误差统计量

Table 4 The estimation error statistics of models

模型	残差平方和	均方误差	单位均方误差	拟合优度	调整的拟合优度
Vasicek	194.4	0.129 9	0.360 4	0.029 5	0.029 2
CIR	195.6	0.130 7	0.3615	0.023 6	0.023 3
CKLS	198.6	0.132 7	0.364 3	0.008 9	0.008 3

进一步地我们将通过分析模型的估计误差统计量来比较模型的拟合效果。根据表4,从残差平方和,均方误差和拟合优度等估计估计误差统计量上看,Vasicek模型体现出了对SHIBOR市场利率的动态特性具有较好的刻画和描述能力,具有较小的残差平方和及均方误差,拟合优度较高。从拟合效果上看Vasicek模型最好,CIR模型次之、CKLS模型最差。

综合以上分析,我们认为Vasicek模型对我国SHIBOR市场利率动态特征具有较好的刻画和描述能力,相比CIR模型和CKLS模型,Vasicek模型是较理想的利率模型,在研究我国利率特征上具有较好的适用性。将Vasicek模型还原成原来的微分方程形式,代入参数估计结果可得:

$$dr(t) = 0.031\ 374(2.115\ 906 - r_t)dt + 0.158\ 599dW(t) \quad (9)$$

由上式可知,利率的长期均值水平 $r = 2.115\ 906$ (与表2中 r 的样本均值2.191 678相近),这是长期的价值中枢。当 r 小于临界值2.115 906时,漂移项 $0.031\ 374(2.115\ 906 - r_t)$ 为正, r 有向上运动到均值水平的趋势。同理,当 r 等于临界值时, r 有保持不变的趋势,当 r 大于临界值时,漂移项为负, r 有向下运动到均值水平的趋势。由此说明,我国SHIBOR市场利率具有显著的均值回复特征,回复速度为0.031 374。此外,由上式我们还可以看出利率的波动率为0.158 599,波动较小。

5 结束语

由于利率期限结构在金融资产定价和风险管理上是如此的重要,在总结和分析已有文献的基础上,使用单因素利率模型对SHIBOR利率期限结构进行了实证研究。主要研究结论包括:

1) 在利率模型瞬时利率的选择上,SHIBOR隔夜拆借利率是SHIBOR各短期利率中的最佳选择。它不仅具有与其他利率变化最高的相关性,而且其成交量大,交易频繁。

2) 在各单因素利率模型(Vasicek, CIR, CKLS)对SHIBOR利率行为特征的拟合效果上, Vasicek模型的拟合效果最佳,不仅模型各系数估计值统计上显著,而且其预测误差估计统计量最令人满意。Vasicek模型对SHIBOR市场利率动态特征具有较好的刻画和描述能力,是较理想的利率模型,在研究我国利率特征上具有较好的适用性。

3) 根据Vasicek模型的实证结果,我国SHIBOR市场利率具有显著的均值回复特征,回复速度为0.031 374,回复均值为2.115 906%,且波动率为0.158 599,波动较小。

参考文献:

- [1] MERTON R. Rational theory of option pricing[J]. Bell Journal of Economics and Management Science, 1973, 4: 141-183.
- [2] VASICEK O. An equilibrium characterization of the term structure[J]. Journal of Financial Economics, 1977, 5(2): 177-188.
- [3] DOTHAN L. On the Term Structure of Interest Rates[J]. Journal Financial Economics, 1978, 6: 59-69.
- [4] COX J C, INGERSOLL J E, ROSS S A. A theory of the term structure of interest rate[J]. Econometrica. 1985, 53(2): 385-407.
- [5] CHAN K C, KAROLYI G A, LONGSTAFF F A, et al. An empirical comparison of alternative models of the short-term interest rate[J]. Journal of Finance, 1992, 47: 1209-1227.
- [6] BRENNAN M J, SCHWARTZ E S. An equilibrium model of bond pricing and a test of market efficiency[J]. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 1982, 17(3): 301-329.
- [7] FONG H G, VASICEK O A. Interest rate volatility as a stochastic factor[M]. Ohio: Ohio University, 1992: 38-67.
- [8] LONGSTAFF F A, SCHWARTZ E S. Interest rate volatility and term structure: a two-factor general equilibrium model[J]. Journal of Finance, 1992, 47: 1259-1282.
- [9] HO T S Y, LEE S. Term structure movements and pricing of interest rate claims[J]. Journal of Finance, 1986, 41: 1011-1029.
- [10] HULL J, WHITE A. Pricing interest rate derivative securities[J]. Review of Financial Studies, 1990, 3(4): 573-592.
- [11] BLACK F, DERMAN E, TOY W. A one-factor model of interest rates and its application to treasury bond options[J]. Financial Analysts Journal, 1990, 46(1): 33-39.
- [12] HEATH D, JARROW R, MORTON A. Bond pricing and the term structure of interest rates: a new methodology[J]. Econometrica, 1992, 60(1): 77-105.
- [13] BRACE A, GATAREK D, MUSIELA M. The market model of interest rate dynamics[J]. Mathematical Finance, 1997, 7(2): 127-155.
- [14] BAZ J, DAS S R. Analytical approximation of the term structure for jump-diffusion process: a numerical analysis[J]. Journal of Fixed Income, 1996, 6: 78-86.
- [15] BRENNER R J, HARJES R H, KRONER K B. Another look at models of the short-term interest Rate[J]. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 1996, 31(2): 95-107.
- [16] 吴雄伟, 谢赤. 连续时间利率期限结构模型统一框架的演变及其改进[J]. 系统工程理论方法应用, 2002(9): 181-184.
- [17] 林海, 郑振龙. 中国利率动态模型研究[J]. 财经问题研究, 2005(9): 45-49.
- [18] 马晓兰, 潘冠中. 单因子利率期限结构模型的广义矩估计及对中国货币市场的实证检验[J]. 数量经济技术经济研究. 2006(1): 107-116.
- [19] 苏云鹏. 利率期限结构理论、模型及应用研究[D]. 天津大学, 2008: 60-195.

An empirical study on SHIBOR with Single -factor Term Structure of Interest Rate models

Hou Wenqi, Pan Shanbao

(School of Economics and Commerce South China University of Technology, GuangZhou 510006, China)

Abstract: Because the structure of interest rates is so important in financial asset pricing and risk management, on the basis of summary and analysis of existing literature, this article use the single-factor interest rate models to do the empirical research on the structure of SHIBOR interest rate. The results show that; in all of the single-factor interest rate models (Vasicek, CIR, CKLS), on the fitting effect of SHIBOR interest rate behavior characteristics, Vasicek's effect is the best, not only the estimated value of coefficient is statistically significant, but also the estimator of its prediction error is the most satisfying. Vasicek model has batter ability to describe the dynamic characteristic of the SHIBOR market, it's the ideal interest rate model, it has better applicability in the research on characteristics of our country interest rate.

Key words: interest rate model; SHIBOR; empirical research

(上接第68页)

- [12] YONG HYEON CHO. Numerical simulation of the dynamic responses of railway overhead contact lines[J]. Journal of Sound and Vibration, 2008, 315: 433-454.

Effects of Lumped-elements on Transient Simulation of Electrified Railway Catenary

Lv Fuxing, Lun Li

(School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Transient simulation is necessary for catenary overvoltage protection. Unlike the general power system, lumped elements in catenary, such as track circuit, autotransformer and boost transformer, may influence the transient simulation results based on distributed parameter model. Through the simulations of lumped elements, combined with finite-difference time-domain (FDTD), this study maintains that the wave propagation reflected by lumped elements has effects on the waveform of induced voltage and current, which is important for transient calculation and protection in electrified railway systems.

Key words: catenary; lumped-parameter; transient; traveling wave