

# Research on Method of Power System Electromagnetic Transient External System Equivalence Based on Fault Current Distribution

Min Cao<sup>1</sup>, Furong Yin<sup>2</sup>, Yun Xia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Electric Power Science Research Institute of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming Yunnan

<sup>2</sup>Kunming Energy Technology Co., Ltd., Kunming Yunnan

<sup>3</sup>Beijing In-To Simulation Technology Co., Ltd., Beijing

Email: 761443032@qq.com

Received: Aug. 4<sup>th</sup>, 2016; accepted: Aug. 28<sup>th</sup>, 2016; published: Aug. 31<sup>st</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Due to fact that the importance of electric power system is higher and higher, the simulation as an important means of accident prevention is very necessary. In order to improve the simulation efficiency, an equivalent area is generally used for simulation system. Two common equivalent methods, Ward equivalent method and network equivalent method, have its advantages and disadvantages and cannot satisfy the requirement of large system more nodes. This paper, to solve above problems, according to a research unit based on the research and development of dynamic partitioning of power system electromagnetic transient simulation software, studies the use of two kinds of common external system equivalence method and dynamic partitioning method, and puts forward the existing problems and future development trend.

## Keywords

The Electromagnetic Transient Simulation, Ward Equivalent Method, Network Equivalent Method, Dynamic Partitioning

---

# 基于动态分区的电力系统电磁暂态外部系统等值方法研究

曹 敏<sup>1</sup>, 尹福荣<sup>2</sup>, 夏 芸<sup>3</sup>

<sup>1</sup>云南电网有限责任公司电力科学研究院, 云南 昆明

<sup>2</sup>昆明能讯科技有限责任公司, 云南 昆明

<sup>3</sup>北京殷图仿真技术有限公司, 北京

Email: 761443032@qq.com

收稿日期: 2016年8月4日; 录用日期: 2016年8月28日; 发布日期: 2016年8月31日

## 摘 要

随着电力系统的重要性越来越高, 仿真作为预防事故的重要手段也显得尤为必要, 为提高仿真效率一般将仿真区域外的系统做一个等值, 而目前常见的两种等值方法Ward等值法和网络等值法各有优缺点且无法满足大系统多节点的要求。针对以上问题, 本文提出了一种基于动态分区的电力系统电磁暂态仿真外部系统等值方法, 用来满足大系统多节点情况下的仿真需求, 并提出了存在的问题及未来的发展趋势。

## 关键词

电磁暂态仿真, Ward等值法, 网络等值法, 动态分区

## 1. 引言

随着社会的发展, 电在生活中起到的作用越来越大, 一旦电网发生故障, 会对社会经济造成极大的损失。因此, 在规划和建设电力系统时, 必须对各种预想情况进行模拟, 以防止各种事故的发生。为了保证电力系统的安全运行, 必须使用高精度的电力系统仿真软件对电力系统进行仿真[1]。

若对整片电网进行电磁暂态仿真, 由于电网的庞大复杂, 往往费时费力。而实际上在进行电磁暂态仿真时, 一般只对某一片区的电网暂态变化感兴趣。因此, 可以通过详细仿真“内部系统”也即感兴趣的那部分电网, 简化并等值“外部系统”即其余部分的电网来提高电磁暂态仿真的效率[2]。但在大系统多节点的情况下, 需要仿真的区域比较多, 单独的简化等值一部分网络并不满足大系统仿真的需求。

本文针对单独简化等值一部分网络不满足大系统仿真需求的问题, 提出了一种基于动态分区的电力系统电磁暂态仿真外部系统等值方法, 并研究分析了此等值方法的技术原理及实现过程。

## 2. 常见仿真外部系统等值方法

目前, 在电力系统中, 有两种常见的外部系统等值方法, 分别是: Ward 等值法(基于工频)、网络等值(FDNE)方法(基于频率), 其中网络等值方法又可根据计算方法的不同分为两种: 利用频率响应零极点的等值方法和利用有理式的等值方法[2]。

### 2.1. Ward 等值法

Ward 等值法适用于电力系统的工频情况, 其原理如下图 1 所示。

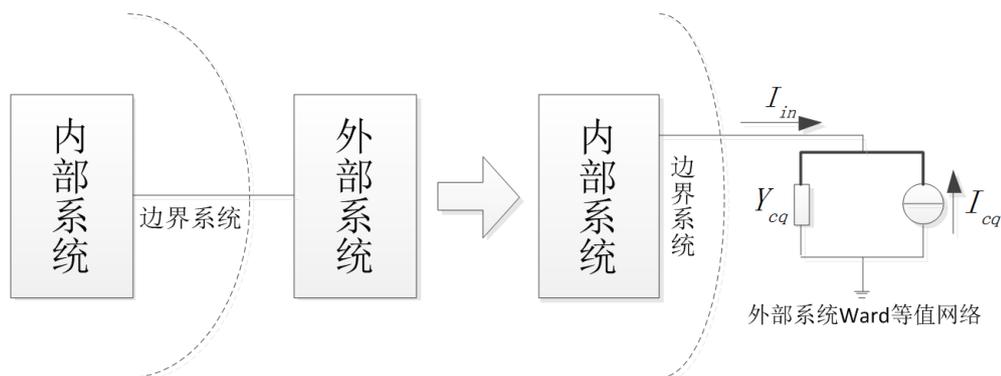


Figure 1. Ward equivalent circuit for external system  
图 1. 外部系统 Ward 等值

图 1 中  $I_{cq}$  为外部系统的等效电流、 $Y_{cq}$  为外部系统的等值导纳、 $I_m$  为外部系统的端口电流。使用该算法确定 Ward 等值电路的原理就是：利用诺顿等值原理，计算出等效电流  $I_{cq}$  以及等值导纳  $Y_{cq}$  [3]。

该方法实现过程方便，计算过程简单，适用于对结果精度要求不高、计算效率要求比较高的情况；缺点是由于此方法只适用于工频情况，而在实际的工作情况中，电力系统发生故障时往往谐波的影响是很大的，是无法忽略的，此时使用此方法的等值效果就不是很理想了。

## 2.2. 网络等值法

网络等值方法的基本思想是：通过相应的等值方法，构造一个虚拟的外部系统的等值网络，使这个虚拟网络具有相同或者近似的实际外部网络端口处频率特性。由此可见，该方法可以适用于很宽的频段范围，因此更能真实的模拟电力系统实际的故障情况，所以使用该方法的等值精度会非常高。

### 2.2.1. 零极点匹配等值方法

零极点匹配等值方法需要先求得外部网络端口处的极点频率和零点频率，然后构建一个由简单原件 C, L, R 组成的简单电路，使得该简单电路在极点频率或者零点频率情况下的阻抗值，与实际外部网络在极点频率与零点频率情况下的阻抗值近似相等。

使用该方法相对于 Ward 等值法在等值精度上是有了提高，但是由于此方法的极点频率以及零点频率是通过观察及测量得到的，因此也存在了一定的误差，所以使用此方法还是不能得到令人满意的外部系统等值精度。

### 2.2.2. 基于有理式的等值方法

该等值方法是通过对有理函数式(1)进行求解，最终得到相应的外部系统等值电路。

$$f_{fit} = \frac{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n}{1 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_ns^n} \approx f(s) \quad (1)$$

由于此方法是通过严谨的数学计算来得到最终等值电路，故相对零极点匹配等值方法来讲，此方法求解过程比较复杂，但具有能够令人满意的精度。

## 3. 基于动态分区的仿真外部系统等值方法

本文第二章节介绍的两种外部系统等值方法各有优缺点：Ward 等值法求解速度快但精度不高；网络等值法精度高但求解速度慢[4]。且在节点比较多的大系统中，需要仿真的区域比较多，此时需要使用动态分区方法去结合 Ward 等值法或者网络等值法进行仿真外部系统的等值。使用此种等值方法等值外部

系统需经过图形建模、动态分区、等值计算三大步骤。

### 3.1. 图形建模

使用基于动态分区的外部系统等值方法需先建立正确的电网一次模型图。为便于分区，本文采用分层建模的方法，即分为站间和站内两层建模，假设有 13 个厂站分别是 A~M，其中 A、B、C 三个厂站为电源站，则建好的站间模型图如图 2 所示。

### 3.2. 动态分区

动态分区的意思就是可以根据选择的仿真区域由软件自动的区分内部区域和外部区域。在建好模型的基础上，可以根据需求对电网模型进行分区处理，假设需要进行的仿真区域有 2 处，如表 1 所示。

则电网模型根据此表自动区分的内部区域及外部区域如图 3 所示，红色边框内即为内部区域。

### 3.3. 等值计算

在动态分区结束后，各种情况下的外部区域对内部区域的等值，可根据动态分区的结果分别进行计算，具体的等值计算方法可根据需要自由的选择 Ward 等值法或网络等值法。

若仿真区域如表 1 所示：在线路 8 故障，仿真级数为 1 级时，则可根据图 3 上半部分的动态分区图计算出外部区域对 E、F、J、L 这 4 个边界厂站的等值阻抗  $Z_{X-E}$ 、 $Z_{X-F}$ 、 $Z_{X-J}$ 、 $Z_{X-L}$ ；在线路 10 故障，仿真级数为 1 级时，则可根据图 3 下半部分的动态分区图计算出外部区域对 H、M 这 2 个边界厂站的等值阻抗  $Z_{X-H}$ 、 $Z_{X-M}$ 。

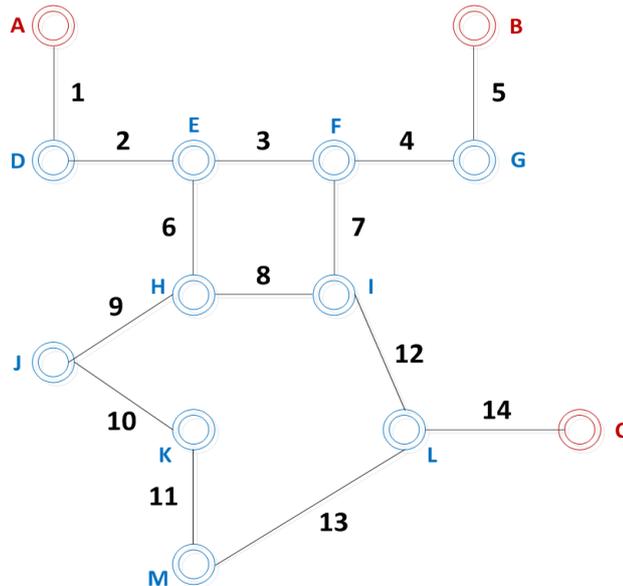


Figure 2. Standing the indirect chart  
图 2. 站间接线图

Table 1. The table of simulation area  
表 1. 仿真区域表

序号	故障线路	仿真级数
1	线路 8	1 级
2	线路 10	1 级

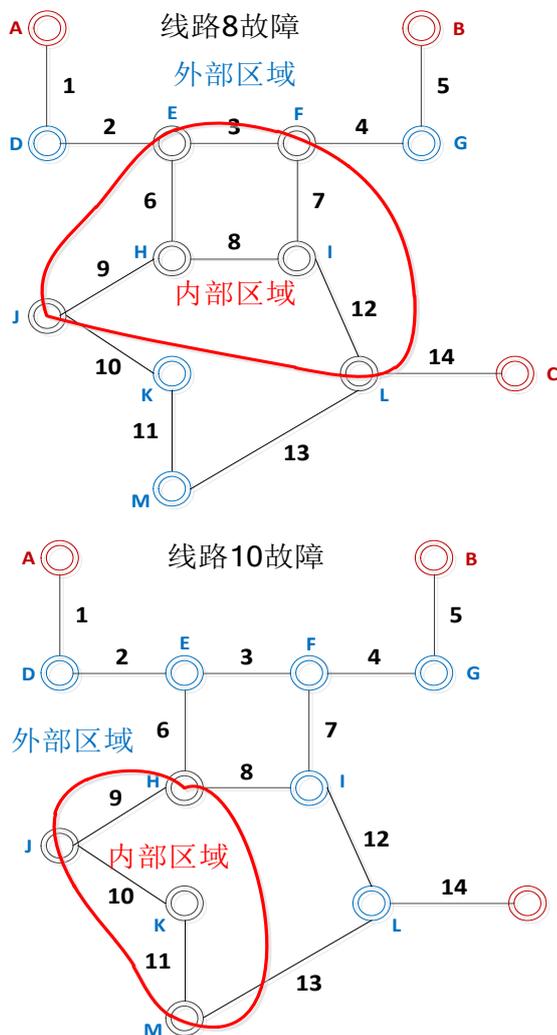


Figure 3. Dynamic partitioning  
图3. 动态分区示意图

在算出外部系统的等值阻抗后，即可根据此等值对内部区域进行高效率、高精度的仿真实验了。

#### 4. 急需解决的问题及未来发展趋势

根据上述分析可知，目前仿真外部系统等值计算常用的两种方法 Ward 等值法及网络等值法各有优缺点，且无法满足大系统多节点的情况。而本文提出的基于动态分区的仿真外部系统等值方法则可以完美的满足大系统多节点情况下的等值需求。

但该方法在外部等值计算过程中无法同时满足精度高及效率高的要求。故仿真外部系统算法未来的趋势必然是要结合两种常用算法的优点。因此，从现有的条件来讲，可以从两方面去考虑：提升计算机的硬件配置来提升计算的效率、从理论上研究出一套结合目前两种算法优点的新算法。

#### 5. 结语

本文针对常用外部等值方法无法满足大系统多节点的情况，提出了一种基于动态分区的电力系统电磁暂态仿真外部系统等值方法，并简单介绍了常用外部等值方法的原理以及提出了这些方法的优缺点和

未来发展趋势。为相关使用人员提供了理论依据，对改进仿真外部系统等值方法具有重大意义。

### 参考文献 (References)

- [1] 靳希, 安平, 张承学. 电力系统电磁暂态仿真软件[J]. 上海电力学院学报, 2004, 20(3): 43-46.
- [2] 林济铿, 闫贻鹏, 刘涛, 等. 电力系统电磁暂态仿真外部系统等值方法综述[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(11): 108-115.
- [3] 孙宏斌, 张伯明, 相年德. Ward 型等值的非线性误差分析与应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(13): 11-15.
- [4] 柳勇军. 电力系统机电暂态和电磁暂态混合仿真技术的研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 清华大学, 2006.

#### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>