

# ZJSEE

3 浙 江 省 电 力 学 会 标 准

4 T/ZJSEE XXXX-YYYY

5

## 6 配电网电磁暂态数字实时仿真技术导则

7 Technical guidelines for electromagnetic transient digital  
8 simulation in distribution network  
9 (与国际标准一致性程度的标识)

10 (征求意见稿)

11

2024-01-01 发布

2024-06-01 实施

浙江省电力学会 发布



12

13

## 目 次

14 前 言 ..... II

15 1 范围 ..... 1

16 2 规范性引用文件 ..... 1

17 3 术语和定义 ..... 1

18 4 数字仿真系统要求及性能 ..... 2

19 4.1 一般要求 ..... 2

20 4.2 功能 ..... 2

21 4.3 性能 ..... 2

22 5 配电网主要设备模型 ..... 3

23 5.1 电源模型 ..... 3

24 5.2 电网模型 ..... 3

25 5.3 负荷模型 ..... 4

26 5.4 储能模型 ..... 4

27 5.5 二次系统 ..... 4

28 6 仿真流程 ..... 4

29 6.1 一般要求 ..... 4

30 6.2 仿真初始化 ..... 4

31 6.3 仿真模型及参数校验 ..... 4

32 6.4 仿真试验及分析 ..... 4

33 6.5 仿真结果校核 ..... 5

34 6.6 仿真报告编制 ..... 5

35

36

37

## 前 言

38 本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定  
39 起草。

40 请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

41 本文件由浙江省电力学会提出。

42 本文件由浙江省电力学会供电专业委员会技术归口和解释。

43 本文件起草单位：。

44 本文件主要起草人：。

45 本文件首次发布。

46 本文件在执行过程中的意见或建议反馈至浙江省电力学会标准工作委员会（地址：浙江省杭州市南  
47 复路1号，邮编：310008，网址：<http://www.zjsee.org/>，邮箱：[zjseeorg\\_bz@163.com](mailto:zjseeorg_bz@163.com)）。

48

49

## 配电网电磁暂态数字实时仿真技术导则

### 50 1 范围

51 本文件规定了配电网电磁暂态数字仿真系统的功能及性能、通用流程、应用场景等技术要求。  
52 本文件适用于配电网电磁暂态数字仿真，以及基于电磁暂态数字仿真技术开展的电网分析和试验。

### 53 2 规范性引用文件

54 下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，  
55 仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本  
56 文件。

57 GB/T 7261 继电保护和安全自动装置基本试验方法  
58 GB/T 15544.1 三相交流系统短路电流计算  
59 GB/T 22239 信息安全技术网络安全等级保护基本要求  
60 GB/T 22384 电力系统安全稳定控制系统检验规范  
61 GB/T 36278 电动汽车充换电设施接入配电网技术规范  
62 GB 38755 电力系统安全稳定导则  
63 GB/T 40601 电力系统实时数字仿真技术要求  
64 GB/T 50865 光伏发电接入配电网设计规范  
65 DL/T 755 电力系统安全稳定导则  
66 DL/T 1563 中压配电网可靠性评估导则  
67 DL/T 2041 分布式电源接入电网承载力评估导则  
68 DL/T 2246 电化学储能电站并网运行与控制技术规范  
69 Q/GDW 10738 配电网规划设计技术导则  
70 Q/GDW 11375 配电网规划计算分析数据规范术语和定义

### 71 3 术语和定义

72 下列术语和定义适用于本文件。

#### 73 3.1

74 **电磁暂态仿真** *electromagnetic transient simulation*

75 模拟电力电子装置快速暂态和电力系统故障或操作引起的非正弦暂态过程的仿真技术，仿真步长为  
76 纳秒级到微秒级，动态过程持续时间从微秒至数秒。

#### 77 3.2

78 **数字实时仿真** *real time digital simulation*

79 与自然界实际物理过程推进速度一致的数字仿真。

#### 80 3.3

81 **数字非实时仿真** *non-real-time digital simulation*

82 与自然界实际物理过程推进速度不一致的数字仿真，根据与实际物理时间快慢比较，可以细分为  
83 超实时仿真和欠实时仿真。

#### 84 3.4

85 **数字仿真系统** *digital simulator*

86 具备数字仿真能力的计算硬件与软件的总称。

#### 87 3.5

88 **实时性** *real time*

89 数字实时仿真系统在每个仿真步长内完成数字仿真模型计算和输入/输出数据交互，并在仿真步长  
90 结束时刻作出反应的特性。

#### 91 同步性 synchronism

92 数字实时仿真系统的仿真与实际电力系统的运行是同步的，系统中的电气行为与实际电力系统中的  
93 电气行为在时间和性能上保持协调一致。

### 94 3.6

#### 95 系统图 system diagram

96 按照图形拓扑关系规则，依据一定的排布成图规则和特定数据类型，从地理电网模型抽取的反映区  
97 域电网连接关系的逻辑图。

### 98 3.7

#### 99 单线图 line diagram

100 将电网地理接线图中单条线路（馈线）以横平竖直展现的，反映电网设备连接关系和状态的逻辑图。

## 101 4 数字仿真系统要求及性能

### 102 4.1 一般要求

103 数字仿真系统应包括硬件及软件，其功能及性能应满足 GB/T 40601 的要求，并满足以下要求。

### 104 4.2 功能

#### 105 4.2.1 数据转换与拼接

106 仿真器应具备电网模型数据转换与拼接功能，并满足以下要求：

107 a) 数据转换应具备导入常用电网仿真软件（EMTP、PSCAD 等）模型数据和机电暂态仿真数据的功  
108 能；

109 b) 数据拼接应具备电网分区域建模，以及分区模型的导入和拼接功能。

#### 110 4.2.2 模型解耦并行计算

111 数字仿真系统宜具备解耦功能，可评估模型计算量，将原始模型解耦为多个子模型并行计算求解，  
112 并行仿真结果与串行仿真结果一致。

#### 113 4.2.3 初始化

114 数字仿真系统可从零状态启动或从稳态直接启动，进入用户指定的初始运行工况，宜具备仿真过程  
115 中的断面保存和载入功能，可基于断面数据进行仿真初始化并继续仿真。

#### 116 4.2.4 批处理

117 数字仿真系统宜具备建立事件序列并在仿真启动后依据设定自动依次触发事件的功能。宜通过故障  
118 模板定义批量作业，并依次自动完成批量作业仿真及结果回收分析工作。

#### 119 4.2.5 仿真计算功能

120 配电网计算分析功能主要包括以下内容：

121 a) 针对配电网主要设备及不同类型的电源进行编辑建模，设定用于计算分析所需的模型参数。

122 b) 对计算分析的基础数据进行校验的功能，主要包括拓扑模型参数校验、设备模型参数校验、其  
123 他计算参数校验等内容。

124 c) 涉及配电网所有核心计算分析功能，主要包括潮流计算、短路电流计算等内容。

### 125 4.3 性能

#### 126 4.3.1 仿真规模及步长

127 仿真规模及步长应符合以下规定：

128 a) 配电网电磁暂态数字仿真规模应与仿真场景和仿真目标相适应，确保所关注仿真对象的暂态特  
129 性不失真。

130 b) 可依据仿真目标选取不同的仿真步长, 机电暂态典型仿真步长为 10 毫秒, 电磁暂态典型仿真  
131 步长为 50 微秒, 电磁暂态小步长仿真典型步长应不大于 5 微秒。

#### 132 4.3.2 实时性、同步性和稳定性

133 数字仿真系统内计算单元应按照设定的仿真步长向前积分求解, 当进行实时仿真时每步计算物理耗  
134 时均不超过仿真步长。

135 数字实时仿真系统应具备长时间稳定同步运行能力, 以满足不同仿真场景需求, 连续稳定运行时间  
136 应不少于 24 小时。

#### 137 4.3.3 网络安全

138 数字仿真系统应具备安全保护能力, 并符合 GB/T 22239 的规定。

### 139 5 配电网主要设备模型

#### 140 5.1 电源模型

##### 141 5.1.1 同步电机模型

142 同步电机模型应反映电机稳态、暂态和动态特性, 宜根据励磁调节装置、调速器、电力系统静态稳  
143 定器 (PSS) 等控制作用, 采用不低于六阶的派克 (Park) 模型。

144 电机内部故障模拟宜采用相域发电机模型, 定子绕组或转子绕组上应设置故障点。

##### 145 5.1.2 光伏模型

146 光伏仿真模型主要包括光伏电池、变流器和控制系统模型等。对于仿真精度要求不高的场景, 光伏  
147 可采用可控电流源模拟, 变流器采用开关函数或平均值模型。对于仿真精度要求较高的场景, 光伏电池  
148 宜采用 5 参数等效电路模型, 变流器采用电力电子开关模型。

149 光伏模型输入参数包括光照强度和温度。光伏电站模型宜等值为单机模型, 通常视为 PQ 节点。光  
150 伏模型的接入系统条件应满足 GB/T50865 的有关规定。

##### 151 5.1.3 风电模型

152 风电模型包括风电机组、变流器和控制系统模型等。对于仿真精度要求不高的场景, 风电机组可采  
153 用可控电流源模拟, 变流器采用开关函数或平均值模型。对于仿真精度要求较高的场景, 风电机组宜采  
154 用双馈和直驱电机高阶模型, 变流器采用电力电子开关模型。

155 风电模型输入参数包括风速、风向等。风力发电站模型宜等值为单机模型, 通常视为 PQ 节点。

#### 156 5.2 电网模型

##### 157 5.2.1 变压器模型

158 对于仿真精度要求较高的场景, 宜采用具备变压器内部故障模拟功能的变压器模型。一般厂站变压  
159 器可采用普通变压器模型。重点厂站变压器宜采用具有饱和特性和磁滞特性的变压器模型。

##### 160 5.2.2 线路模型

161 电缆或架空线路可采用集中参数的 PI 结构模型。长度较长的高压配电网线路, 宜采用频率相关的  
162 分布参数线路模型。

##### 163 5.2.3 开关模型

164 断路器、短路点、隔离开关宜采用电弧模型, 保护间隙、避雷器间隙和绝缘子闪络可采用间隙开关  
165 模型, 其他开关可采用时控理想开关模型。

##### 166 5.2.4 无功补偿模型

167 无功补偿设备一般可采用可控电流源模拟。对于仿真精度要求较高的场景, 可详细模拟无功补偿设  
168 备的动态特性, 包括快速开关器件、电容、反并联二极管、串联电抗。

## 169 5.3 负荷模型

### 170 5.3.1 负荷模型

171 支持对负荷功率动态调节。对于仿真精度要求较高的场景，宜采用包含负荷静特性的典型静态负荷  
172 (ZIP 负荷) 模型和异步电机模型，对于仿真精度要求不高的场景，采用恒阻抗静态负荷模型。

### 173 5.3.2 充换电设施

174 充换电设施一般可采用可控电流源模拟。对于仿真精度要求较高的场景，可详细模拟充换电设施的  
175 动态特性，包括充放电控制模型、电池模型和变流器模型。充换电设施的电压等级、用户等级、接入点  
176 应满足 GB/T36278 的要求。

## 177 5.4 储能模型

178 储能模型主要包括电池、变流器和控制系统模型等，储能模型电池模块一般可采用动态等效电路模  
179 型，变流器采用开关函数或平均值模型。对于仿真精度要求较高的场景，变流器宜采用电力电子开关模  
180 型。

181 储能电站模型宜等值为单机模型，根据控制模式，视为 PQ 节点或 PV 节点。储能模型的接入系统条  
182 件应满足 DL/T 2246 的有关规定。

## 183 5.5 二次系统

184 二次系统模型可根据实际需要，采用实时数字仿真器内基础元件库构建或采用第三方软件平台编码  
185 开发的数字模型。

## 186 6 仿真流程

### 187 6.1 一般要求

188 仿真流程宜包括仿真初始化、仿真模型及参数校验、仿真试验及分析、仿真结果校验、仿真报告编  
189 制，并应符合 GB/T 7261、GB/T 22384、GB 38755、DL/T 1172、DL/T 1563 的规定。

### 190 6.2 仿真初始化

191 配电网电磁暂态数字仿真中应对配电网中相关模型进行初始化，具体如下：

- 192 a) 应具备从零状态启动或从稳态直接启动进入预设运行工况的功能；
- 193 b) 宜具备仿真过程中断而数据保存和载入功能，可基于断面数据进行仿真初始化并继续仿真。

### 194 6.3 仿真模型及参数校验

- 195 a) 数字模型及参数验证，具体如下：
- 196 b) 收集设备现场试验录波数据、理论曲线等；
- 197 c) 调整数字模型运行方式，与对比对象运行方式一致；
- 198 d) 对比数字模型仿真结果与对比对象结果，记录偏差值，判定偏差是否符合设计要求。

### 199 6.4 仿真试验及分析

#### 200 6.4.1 一般规定

201 仿真试验应包括下列内容：

- 202 a) 调整仿真工况基础潮流，使系统稳态状态与试验设计一致或接近；
- 203 b) 设定故障或扰动，可通过时间触发或人为控制触发；
- 204 c) 检查分析运行工况，判断是否具备试验启动条件，具备时，触发相应故障或扰动；
- 205 d) 通过曲线、录波或表计观测设备动作情况及系统响应，对响应正确结果及时记录，对与预期不  
206 一致结果应分析查找问题，并重新试验。

#### 207 6.4.2 潮流计算

208 配电网潮流计算功能主要包括以下内容：



- 209 a) 根据给定的运行条件和拓扑结构确定网络的运行状态, 计算得出配电网(全部馈线或部分馈线)  
 210 的母线潮流、线段潮流、电源潮流、负荷潮流、单个元件功率损耗以及整体网损等计算结果;  
 211 b) 宜采用适用于配电网的计算方法, 如牛顿法、前推回代法。潮流计算的收敛精度和输电网计算  
 212 相同;  
 213 c) 输出结果宜通过表格、图形标注等方式进行展示, 且要符合相应的数据规范。

#### 214 6.4.3 短路电流计算

215 配电网短路电流计算功能主要包括以下内容:

- 216 a) 支持对配电网进行计算, 可以得出任意节点或馈线段区域内的三相短路、两相短路、单相接地  
 217 短路、两相短路接地等全网短路的计算结果;  
 218 b) 要充分考虑配电网特征、中性点接地方式、上级电网的短路容量和系统的 R/X。有关上级电网  
 219 的短路容量和系统的 R/X 的归算方法可参考 GB/T 15544.1 中的相关内容;  
 220 c) 输出结果宜通过表格、图形标注等方式进行展示, 数据规范可参考 Q/GDW 11375 中的相关内容。

#### 221 6.4.4 电能质量分析

222 配电网电能质量分析主要包括以下内容:

- 223 a) 根据需研究的运行工况, 确定对应的模型参数, 计算得到稳态运行情况;  
 224 b) 确定需要研究的故障集, 故障集的选择应遵循 DL/T755 中的相关内容, 选择需要监测的电气量;  
 225 c) 对选定的故障进行时域仿真计算, 进行暂态电压稳定判断。

#### 226 6.4.5 新能源承载力分析

227 配电网新能源承载力分析主要包括以下内容:

- 228 a) 分析范围应包括分布式电源消纳范围内的各电压等级电网, 评估对象应包括相应的输变电设备;  
 229 b) 宜与电网年度方式分析、电网规划同步周期性开展, 并结合电网结构、用电负荷及电源变化适  
 230 当调整分析周期;  
 231 c) 应开展以 DL/T 2041 为依据的热稳定计算、电压偏差、短路电流、谐波等校核, 确定新能源的  
 232 接入配电网的规模和接入方案。

### 233 6.5 仿真结果校核

#### 234 6.5.1 一般规定

235 仿真结果校核应通过与电网实际故障录波、现场调试试验录波、理论分析结果等对比确定。

#### 236 6.5.2 可信度校核

237 可信度校核方法分为定性分析和定量分析两种:

- 238 a) 定性分析可由用户基于观测和经验判断仿真结果可信度;  
 239 b) 定量分析可通过计算得到仿真结果可信度量化指标, 可采用残差分析和特征量分析等方法。

#### 240 6.5.3 仿真校核

241 仿真校核分为静态校核和动态校核, 指标要求如下:

- 242 a) 静态校核: 关键母线电压、主要机组出力、系统总负荷、网架潮流分布等仿真静态潮流宜与电  
 243 网工况一致;  
 244 b) 动态校核: 状态量变化幅度、频率特性、短路电流水平等仿真动态响应情况与仿真对象一致。

### 245 6.6 仿真报告编制

#### 246 6.6.1 仿真方案

247 说明仿真方案的名称、时间和单位, 采用的仿真方法及模型。

#### 248 6.6.2 仿真波形

249 说明仿真计算程序和计算条件, 提供校核试验波形和仿真计算波形, 提供校核误差评价指标;

250 6.6.3 结论及建议

251 校核仿真内容,并确保结果准确性,列出存在问题和处理意见,主要包括以下内容:

- 252 a) 电压稳定性分析。分析电网在不同负载和电源工况下,电压波动是否在合理的范围内,评估电  
253 压的稳定性水平,及时发现和解决电压不稳定问题。
- 254 b) 负载平衡分析。分析配电网的负载平衡,评估负载平衡程度,并采取措施优化配电网的负载平  
255 衡。
- 256 c) 电力损耗分析。分析配电网的电力损耗,评估电力损耗程度,并采取措施减少电力损耗。
- 257 d) 故障分析。分析短路、接地等各种故障,评估故障的可能性和影响程度,并采取措施防止和解  
258 决故障问题。