

文章编号:1005-0523(2018)04-0106-06

# 基于 Simulink 的低压交流断路器建模与仿真

傅军栋<sup>1</sup>, 丁雨彤<sup>1</sup>, 涂习武<sup>2</sup>

(1. 华东交通大学电气与自动化工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 湖北省建筑设计院, 湖北 武汉 430212)

**摘要:** Simulink 仿真平台自带的断路器模块功能简单, 不能满足建筑配电仿真需要。低压交流断路器实现线路保护的的主要功能单元为短延时脱扣器和长延时脱扣器, 通过分析 2 种脱扣器的功能, 在 Simulink 中搭建两种脱扣器的仿真模型, 并在交流配电系统中验证, 仿真结果表明新建的两种脱扣器满足保护功能要求, 适用于建筑配电仿真。

**关键词:** Simulink 仿真; 低压断路器; 短延时脱扣器; 长延时脱扣器; 建筑配电

**中图分类号:** TM721

**文献标志码:** A

目前建筑供配电设计主要使用 AutoCAD、天正电气、浩辰电气等设计软件, 这些软件只提供简单的单个设备负荷计算功能, 无法对整个供配电系统进行仿真<sup>[1-3]</sup>。SIMARIS Design<sup>[4]</sup>比较完善, 可以对配电系统进行仿真计算, 但只有稳态计算的电压(U Voltage)、电流(I Current)和功率(P Power)因数数据, 无法通过波形直观分析系统运行状态, 无法进行暂态分析。

因缺乏仿真设计, 设计时为考虑实际使用的安全性, 变压器、断路器、电缆等选用比实际需要偏大, 既加大了投资又造成浪费<sup>[5-7]</sup>; 对系统实际运行状态无法较全面的估计, 器件参数选择不合理, 造成配电系统在实际使用时发生欠电压、三相电流不平衡等情况。同时建筑供配电课程教学中, 实物实验较难进行, 仿真实验缺乏仿真系统, 学生不能直观的了解和分析建筑供配电系统各组成部分和电气元件功能。

而电力网设计, 已经发展到了仿真设计阶段, Matlab、ATP-EMTP、Power World、PSASP 等软件能对电力系统进行仿真, 使电网设计更接近实际, 同时也能发现设计的不合理之处并帮助设计者进行优化设计<sup>[8-10]</sup>。电力系统课程相关的学习也会应用 Matlab、EMTP、PSASP 等软件, 使学生较能直观的了解和分析电力系统运行过程。

利用 Matlab/Simulink 仿真软件参照电力系统建模和分析方法, 对建筑供配电系统进行建模分析有利于检验负荷、短路计算是否准确, 有利于直观观测系统各部分运行状态, 有利于开展有关建筑供配电系统相关的其它研究, 有利于解决大部分供配电实验无法在实验室进行, 学生不能直观的分析建筑供配电系统的常见问题。

## 1 低压配电断路器模块

### 1.1 Simulink 自带断路器模块

建筑供配电系统的主要器件包括变压器、线缆、断路器、隔离开关, 以及各类用电设备和监测计量仪表。

在 Simulink 仿真平台中, 变压器、线缆以及各类用电设备能满足建筑供配电系统仿真要求, 但供配电系统中重要的保护器件低压断路器却十分简单。

收稿日期: 2018-03-14

作者简介: 傅军栋(1972—), 男, 副教授, 研究方向为电力系统、建筑电气及智能化

系统自带的断路器模块相当于串联 1 个电阻的理想开关,只是简单的开断。而实际配电使用的断路器是根据线路电流大小来延时选择开断;因此系统自带的断路器模块不能满足配电系统仿真需要。需按实际断路器动作特性建立新的断路器仿真模块用于配电系统仿真。

## 1.2 低压交流断路器工作原理

断路器的分断功能由过电流脱扣器完成,过电流脱扣器包括定时限过流脱扣器(又称短延时电流脱扣器)和反时限过电流脱扣器(又称长延时过电流脱扣器)。短延时过流脱扣器实现断路器短路保护功能,长延时脱扣器实现断路器过载保护功能。

低压交流断路器工作原理<sup>[11-13]</sup>如图 1 所示。线路正常时,电磁铁 p 闭合,锁扣和卡口锁住,主触头 a 接通电路。当线路中发生短路时,瞬时脱扣器 g 中的电磁铁产生的吸力大于反力弹簧 k 的弹力,衔铁 i 向下带动杠杆 e 向上运动,锁扣 c 和卡扣 b 脱扣,弹簧 f 拉动锁扣 b 向左运动,断路器动静触头断开,实现对电路的短路保护<sup>[14]</sup>。

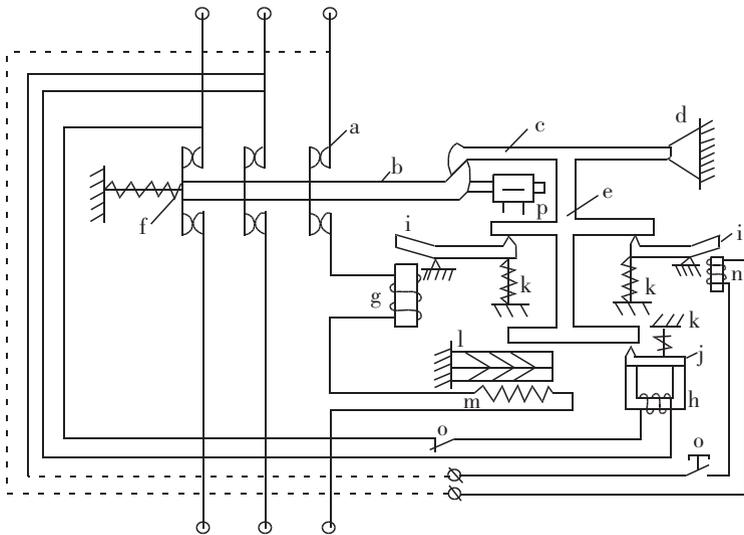


图 1 低压断路器原理图

Fig.1 Schematic diagram of low-voltage circuit breaker

当线路过载时,热脱扣器电热丝 m 发热使热双金属片 l 向上弯曲变形,推动杠杆 e 运动实现过载脱扣。当线路低于正常电压一定值时,欠压脱扣器 h 中的电磁铁所产生的电磁力不足以克服弹簧 k 的拉力,衔铁 j 向上运动,同时推动杠杆 e 向上运动,实现欠压脱扣<sup>[15]</sup>。

## 2 新建断路器脱扣器模型

### 2.1 短延时过电流脱扣器建模

断路器的短路脱扣动作靠瞬时脱扣器完成,在 Simulink 中,可将其简化为一个电流比较模型,当电流超过设定值(断路器整定电流)时,开关断开,实现断路器的瞬时脱扣功能。

如图 2 所示,线路电流转换为有效值后与断路器电流整定值比较,当线路电流超过整定值时,比较器输出 1,经延时器延时后控制理想开关断开。但是,由于系统为开环控制,当开关断开后,线路电流变为 0,比电流整定值小,比较器输出为 0,开关又会闭合,此后开关会不断的开闭,系统输出不稳定。增加反馈环节,将模型改为闭环系统,以使系统输出稳定。

根据模型框图在 Simulink 仿真环境下建立的瞬时、定时限过电流脱扣器模型如图 3 所示。“Discrete RMS value”为有效值转换模块;“Current Set”设置电流整定值;“CM”为电流测量模块,输出电流数值;“Time Set”设置延时时间,一般为 0.02 s;“Variable TrimeDelay”为延时模块;“in1”为输入端;“in2”为输出端;“Ideal Switch”为理想开关;“g”端信号控制开关开断。

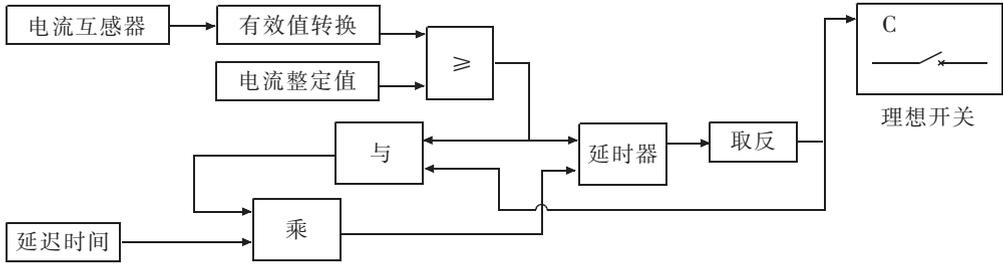


图2 瞬时、定时限过电流脱扣器数学模型框图

Fig.2 Instantaneous or time limit diagram of current release model

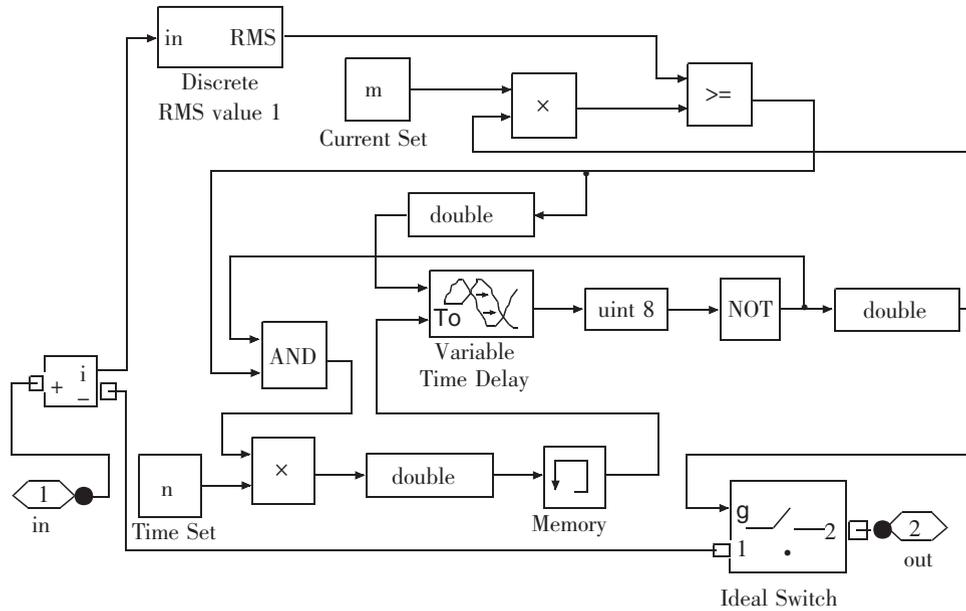


图3 瞬时、定时限过电流脱扣器 Simulink 模型

Fig.3 Instantaneous or time limit diagram of Simulink model

2.2 长延时过电流脱扣器建模

长延时过电流脱扣器主要用于线路过载保护,动作时间与线路电流有关,可由时间—电流特性曲线确定。

在断路器的时间—电流特性曲线<sup>[6]</sup>上取若干点,通过 polyfit 函数拟合出曲线的数学表达式。将 2 条曲线通过 Matlab 进行曲线拟合,得时间—电流曲线数学表达式“TimeAndCurrent1”函数。

在图 2 的模型基础上,将延迟时间改为线路电流与整定电流的比值经时间—电流函数所求后的值,此延迟时间随线路电流大小而变化。改进后的模型框图如图 4 所示。

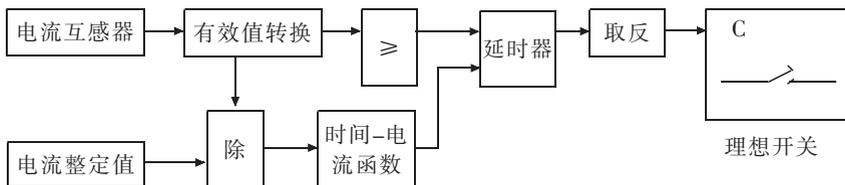


图4 长延时过电流脱扣器模型框图

Fig.4 Long-delay model diagram of current release

长延时过电流脱扣器 Simulink 模型如图 5 所示,“CurrentSet”设置断路器额定电流,“MATLAB Function”调用“TimeAndCurrent1”函数,依据电流大小得出延迟时间,经“VariableTrimeDelay”延迟控制开关“Ideal Switch”断开。

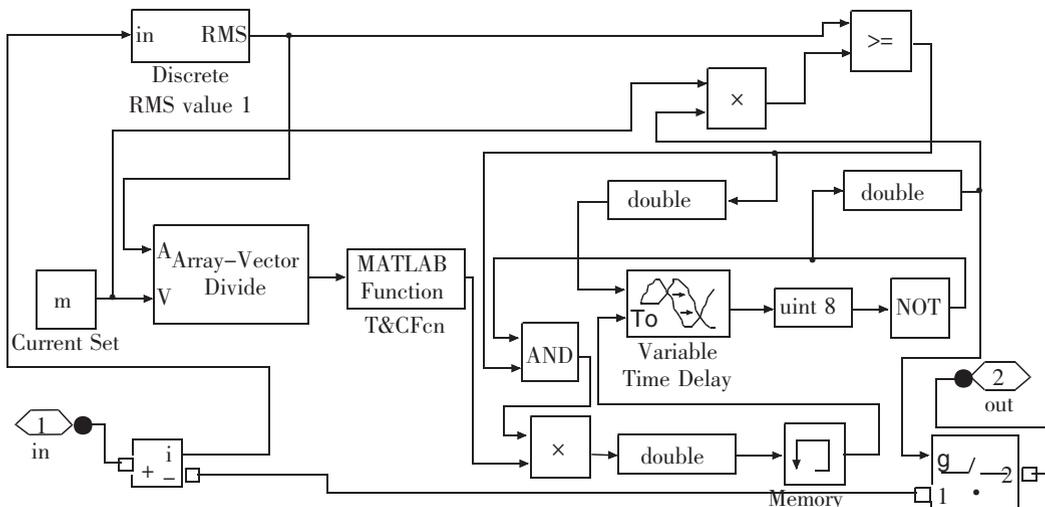


图 5 长延时过电流脱扣器 Simulink 模型

Fig.5 Long-delay over-current release Simulink model

### 3 新脱扣器模块功能校验

为校验新建脱扣器模块功能的正确性,将两种脱扣器模块放在实际配电三相电路中,设置线路短路故障,通过观测线路电流来判断新建断路器模块功能是否正确。

如图 6,A 相“Breaker”为 SimPowerSystemS 自带断路器模型,B 相“LOCR”为反时限过电流脱扣器模型(由图 3 模型进行封装),C 相“SOCR”为定时限过电流脱扣器模型(由图 5 模型进行封装),“Load1”为 10 kW 正常负荷,“Load2”为 100 kW 正常负荷,通过“3-Break”开关在仿真开始后 0.04 s 时投载,通过“Scope”示波器观察各相电流波形。

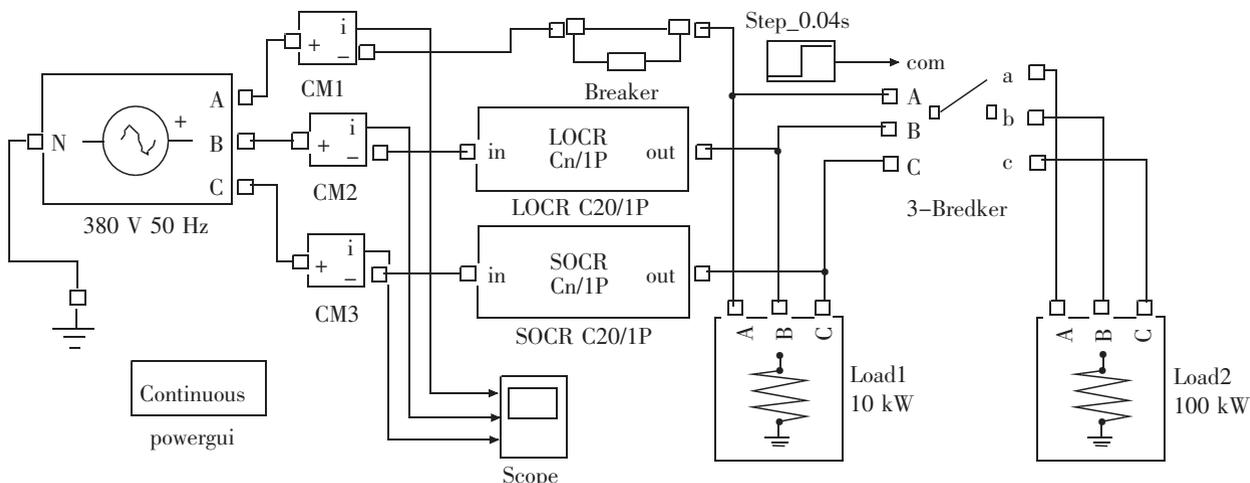


图 6 过负荷简易仿真模型图

Fig.6 Simple simulation model of overload

仿真开始时,负荷  $P_1=10 \text{ kW}$ ,各相电流为

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_n} = \frac{10}{\sqrt{3} \times 0.38} = 15.19 \text{ A} \quad (1)$$

断路器整定电流  $I_n$  设为 20 A,线路电流  $I_1 < I_n$ ,断路器不动作。 $T_1=0.04 \text{ s}$  时,投入负荷  $P_2=10 \text{ kW}$ ,线路出现过载,此时各相电流为

$$I_2 = \frac{P_1 + P_2}{\sqrt{3} U_n} = \frac{10 + 100}{\sqrt{3} \times 0.38} = 167.09 \text{ A} \quad (2)$$

线路电流  $I_2 > I_n$ , A 相为 SPS 自带断路器, 不动作。B 相为反时限过电流脱扣器, 线路电流与整定值的比值为

$$n = \frac{I_2}{I_n} = \frac{167.09}{20} = 8.35 \quad (3)$$

将  $n=8.35$  代入“TimeAndCurrent1”函数, 求得延迟时间  $T_2=0.06 \text{ s}$ , 即断路器在仿真时间  $0.1 \text{ s}$  时断开。C 相为定时限过电流脱扣器, 延迟时间设为  $0.02 \text{ s}$ , 即断路器在仿真时间  $0.06 \text{ s}$  时断开。整个仿真时间设为  $0.12 \text{ s}$ , 仿真后各相电流波形如图 7 所示。

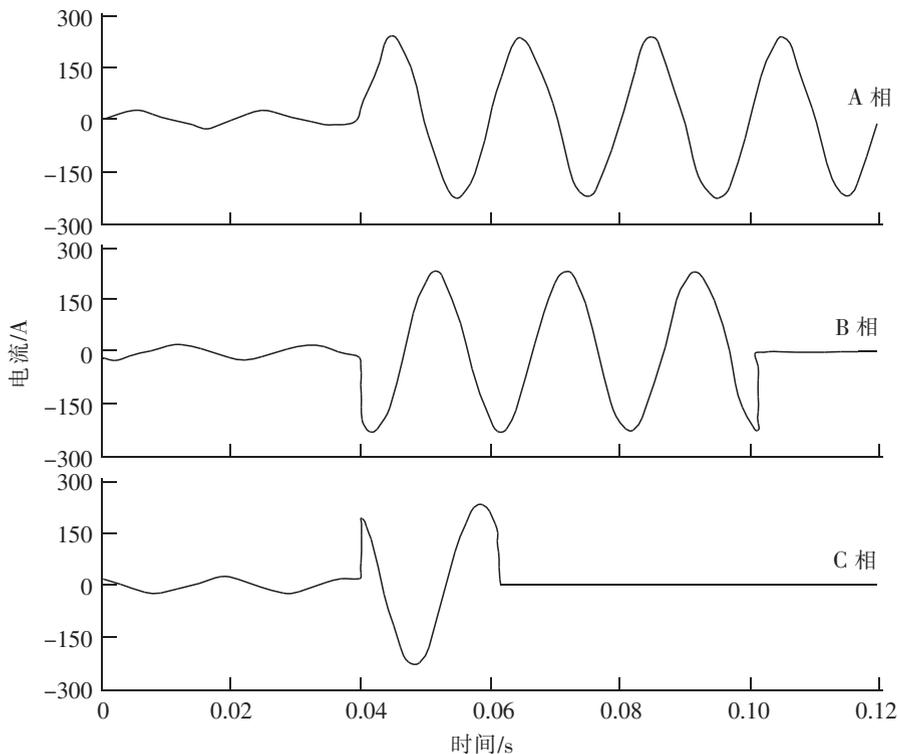


图 7 过负荷简易仿真模型各相电流波形

Fig.7 The simple simulation model of load phase current waveform

图 7 从上至下分别为 A、B、C 三相的相电流波形, 在  $0.04 \text{ s}$  时负荷投入, 三相电流急剧增大, A 相不动作, B 相在  $0.1 \text{ s}$  时断开, C 相在  $0.06 \text{ s}$  时断开, 因 Simulink 内器件非理想器件, B、C 相的断开有稍许延迟, 但不影响对结果判定。

通过比较分析计算结果和仿真结果可知: 短延时脱扣器在故障出现后延时  $0.1 \text{ s}$  时动作, 与设定时间一致, 满足设计要求, 功能正确; 长延时脱扣器在故障出现后延时  $0.06 \text{ s}$  动作, 与理论计算延时示意一致, 功能正确。

#### 4 结论

本文分析了 Simulink 中自带断路器模块的不足, 无法仿真实际中的断路器功能。根据低压交流断路器工作原理, 利用断路器时间-电流特性曲线设计新的断路器脱扣器模型。新设计的短延时脱扣器和长延时脱扣器仿真模块的动作特性与实际的断路器几乎相同, 可用于后续的供配电系统保护仿真。

验证了新建断路器模块在含电机类设备配电系统中的短路保护和过载保护作用。电机起动过程中的较大起动电流不会引起长延时脱扣器的过载保护功能动作。

**参考文献:**

- [1] 崔振勇,高雪强,印建平. CAD 主流软件与现代 CAD 技术发展趋势[J]. 现代制造工程,2001(7):74-80.
- [2] 北京天正软件股份有限公司. T20 天正电气软件 T20-ElecV1.0 使用手册 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [3] 苏州浩辰软件股份有限公司,北京鲁班建筑工作室. 浩辰 ID<sub>6</sub>2005i 电气设计软件使用手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [4] 何友林. SIMARIS design 优化工业和民用配电设计[J]. 电气技术,2014(S1):41-44.
- [5] 范青枫,邹万流. 对建筑电气工程设计中一些问题的思考[J]. 建筑电气,2016,35(1):33-37.
- [6] 傅军栋,喻勇,刘晶. 低压配电网三相不平衡节能算法研究[J]. 华东交通大学学报,2014,31(3):110-114+136.
- [7] 傅军栋,陈俐,康水华,等. 基于蜻蜓算法和支持向量机的变压器故障诊断[J]. 华东交通大学学报,2016,33(4):103-112.
- [8] 王彭,颜湘武,董清. 基于 MATLAB 和 DSP 的电压闪变检测方法的实现[J]. 电测与仪表,2008,45(11):11-13.
- [9] 杨高波,简清华. 基于 Matlab Simulink 的仿真方法研究[J]. 华东交通大学学报,2000,17(4):59-62.
- [10] 孙惠娟,彭春华,廖成. 基于 Power World 的电网稳定性可视化分析[J]. 华东交通大学学报,2010,27(4):57-62.
- [11] 赵莹,胡正勇,冷北雪. 低压断路器机构动力学仿真分析[J]. 电力与能源,2017,38(5):523-528.
- [12] 胡金利. 低压断路器热脱扣稳定性的研究[J]. 电器与能效管理技术,2015(1):17-20.
- [13] 连理枝. 低压断路器及其应用[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [14] 于永站. 低压塑壳式断路器热磁脱扣特性研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2012.
- [15] 徐超. 低压断路器长延时检测调节装置微型化的结构设计及研究[D]. 上海:上海工程技术大学,2015.
- [16] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册[M]. 3 版. 北京:中国电力出版社,2005.

## Modeling and Simulation of Low-Voltage AC Circuit Breaker Based on Simulink

Fu Jundong<sup>1</sup>, Ding Yutong<sup>1</sup>, Tu Xiwu<sup>2</sup>

(1. School of Electrical and Automation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. Hubei Architectural Design Institute, Wuhan 430212, China)

**Abstract:** The function of the circuit breaker module provided in the Simulink simulation platform is simple and cannot meet the needs of building distribution simulation. The main functional units of low-voltage AC circuit breakers for line protection are short-delay release and long-delay release. By analyzing the functions of the two trip units, two types of release models were built in Simulink and were verified in the AC distribution system. The simulation results show that the two new releases meet the requirements of protection functions, and are suitable for building distribution simulation.

**Key words:** Simulink simulation, low voltage circuit breaker; short-delay release; long-delay release; building power distribution