

站用变压器用电流互感器变比选择研究

高松,何立新,胡德峰,王亚莉

(四川电力设计咨询有限责任公司,四川成都 610041)

摘要: 为了同时满足测量精度和继电保护整定的需求,站用变压器高压侧电流互感器变比选择常常面临困难。通过分析站用变压器保护的配置和整定原则,结合保护装置精确工作电流范围,计算出了电流互感器变比的上下限范围。在此基础上,通过分析电流互感器测量、保护绕组的变比关系得出了常用 10 kV、35 kV 站用变压器保护和测量的变比推荐值,以便工程实际应用。

关键词: 站用变压器; 电流互感器; 变比; 继电保护

中图分类号: TM452 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2019)02-0068-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.02.014

Research on Transformation Ratio Selection of Current Transfer for Auxiliary Transformer

Gao Song, He Lixin, Hu Defeng, Wang Yali

(Sichuan Electric Power Design & Consulting Co., Ltd., Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: In order to satisfy the requirements of measurement accuracy and relay protection setting simultaneously, the transformation ratio selection of current transformer in high voltage side of auxiliary transformer is a common problem faced in projects. Based on the research about the principle of relay protective configuration, the setting calculation of protection relaying and the precise work current range of protection devices, the upper and lower limits for the transformation ratio of current transformer are derived. And then, by analyzing the relationship between measuring winding and protection winding, the recommended transformation ratios of measuring winding and protection winding used in high voltage side of 10 kV and 35 kV auxiliary transformer are given for practical using.

Key words: auxiliary transformer; current transformer; transformation ratio; relay protection

0 引言

变电站的低压侧短路水平通常为 20 ~ 40 kA, 而站用变压器额定电流仅为几安到几十安。若为方便测量和保护整定,按站用变压器额定负荷电流选择,则故障短路时电流互感器可能因承受数百上千倍短路电流而产生严重过饱进而影响其性能;若按故障短路时不饱和为条件选择电流互感器,则其电流将远大于负荷电流,且需要较高的准确限值系数,易造成测量误差难以保证、保护整定困难、投资费用增加等问题^[1-4]。

根据 DL/T 866-2015《电流互感器和电压互感器选择及计算规程》第 8.2.4 条、8.2.5 条文解释可知:1) 在外部短路故障时,3 ~ 35 kV 系统电流互感

器在给定暂态系数不小于 2 条件下,通常难以满足准确限值系数要求,因此在保证装置可靠动作的前提下,允许有较大误差;2) 当最大限值电流小于系统最大短路电流时,准确限值电流大于微机保护整定值 2 倍,可保证装置可靠动作^[5]。

为方便电流互感器选型,在分析站用变压器保护配置和整定计算的基础上,结合保护装置精确工作电流范围,计算出了电流互感器变比的上下限范围。结合电流互感器测量、保护绕组的变比关系给出了常用 10 kV、35 kV 站用变压器保护和测量的变比推荐值。

1 保护的配置

根据 GB/T 14285-2006《继电保护和安全自动

装置技术规程》规定,站用变压器一般配置电流速断保护、过电流保护及装设在其低压侧中性线的零序过流保护^[6]。

电流速断保护应能保证在电流互感器深度饱和之前,快速、可靠切出站用变压器电源侧引出线和套管及变压器内部部分线圈故障;过电流保护应能准确检测到站用变压器低压侧母线或馈线支路发生短路故障电流,并经一定延时切出故障。这就要求电流互感器既能在大短路电流时避免深度饱和,又能在小电流过负荷时准确检测,因此其变比选择十分重要。

2 整定计算

站用变压器额定容量 S_e ,站用变压器高压侧额定电压 U_e ,取基准容量 $S_j = S_e$,基准电压 $U_j = 1.05 U_e$ 。站用电低压系统短路电流计算宜按高压侧保护电气的开断容量或高压侧的短路容量确定。

设断路器开关电流为 I_k ,系统短路容量 $S_d^* = \sqrt{3} U_j I_k$,折合到容量 S_e 电抗值为

$$X_s^* = \frac{S_j}{S_d^*} \quad (1)$$

站用变压器阻抗标么值为

$$X_{syb}^* = \frac{U_d\%}{100} \times \frac{S_e}{S_e} = \frac{U_d\%}{100} \quad (2)$$

2.1 电流速断保护^[7-8]

电流速断保护具有接线简单、动作迅速等优点,能瞬时切除变压器电源侧引出线和套管及变压器内

部部分线圈的故障。站用变压器电流速断保护整定值,按躲过变压器负荷母线短路时流过保护的最大短路电流计算,即

$$I_{op-I} = K_{rel} I_{1k2,max}^{(3)} \quad (3)$$

式中: K_{rel} 为可靠系数,取 1.4; $I_{1k2,max}^{(3)}$ 为最大运行方式下,变压器负荷侧母线短路时流过保护的最大短路电流。

站用变压器低压侧三相短路后,高压侧保护安装处的电流值为

$$I_{1k2,max}^{(3)} = \frac{1}{X_s^* + X_{syb}^*} \times \frac{S_e}{\sqrt{3} U_e} \times 10^3 \quad (4)$$

2.2 过电流保护^[7-8]

过流保护可以反应外部故障引起的变压器绕组过流,同时作为变压器内部故障时的气体保护的后备保护和低压母线保护的主保护。其保护动作电流 I_{op-II} 应按躲过变压器可能出现的最大负荷电流 $I_{L,max}$ 来整定,即

$$I_{op-II} = \frac{K_{rel}}{K_r} \times I_{L,max} \quad (5)$$

式中: K_{rel} 为可靠系数,取 1.4; K_r 为返回系数,取 0.85。

站用变压器的最大负荷电流按其额定电流选取,即

$$I_{L,max} = I_g = 1.05 \times \frac{S_e}{\sqrt{3} U_e} \quad (6)$$

2.3 常用站用变保护整定计算结果

根据上述电流速断保护和过电流保护整定值的计算方法,计算出 DL/T 5155-2016 中常用站用变压器电流速断保护整定值和过电流整定值,如表 1、表 2 所示^[9]。

表 1 常用 10 kV/0.4 kV 变压器保护整定值计算结果

容量 /kVA	$U_d\%$	一次电流 /A	系统阻抗 $X_s /(\text{p. u.})$			电流速断保护整定值/A			过电流整定值 /A
			25 kA	31.5 kA	40 kA	25 kA	31.5 kA	40 kA	
160	4.0	9.237 604	0.000 352	0.000 279	0.000 220	305.234 8	305.785 1	306.236 3	15.214 88
200	4.0	11.547 010	0.000 440	0.000 349	0.000 275	380.713 4	381.569 9	382.272 7	19.018 60
250	4.0	14.433 760	0.000 550	0.000 436	0.000 344	474.601 2	475.932 9	477.026 8	23.773 25
310	4.0	17.897 860	0.000 682	0.000 541	0.000 426	586.596 4	588.632 1	590.306 5	29.478 83
400	4.0	23.094 010	0.000 880	0.000 698	0.000 550	753.233 5	756.593 4	759.361 8	38.037 19
500	4.0	28.867 510	0.001 100	0.000 873	0.000 687	936.503 3	941.702 7	945.995 4	47.546 49
630	4.5	36.373 070	0.001 386	0.001 100	0.000 866	1 045.527 0	1 052.011 0	1 057.371 0	59.908 58
800	4.5	46.188 020	0.001 760	0.001 396	0.001 100	1 317.037 0	1 327.343 0	1 335.887 0	76.074 39
1000	4.5	57.735 030	0.002 199	0.001 746	0.001 375	1 630.953 0	1 646.788 0	1 659.960 0	95.092 99

表 2 常用 35 kV/0.4 kV 变压器保护整定值计算结果

容量 /kVA	$U_d\%$	一次电流 /A	系统阻抗 $X_s/(p.u.)$			电流速断保护整定值/A			过电流整定值 /A
			25 kA	31.5 kA	40 kA	25 kA	31.5 kA	40 kA	
160	6.5	2.771 281	0.000 106	0.000 083 788	0.000 065 983	56.754 62	56.773 61	56.789 15	4.564 463
200	6.5	3.464 102	0.000 132	0.000 104 735	0.000 082 479	70.914 52	70.944 18	70.968 44	5.705 579
250	6.5	4.330 127	0.000 165	0.000 130 918	0.000 103 098	88.598 27	88.644 58	88.682 46	7.131 974
310	6.5	5.369 358	0.000 205	0.000 162 339	0.000 127 842	109.795 20	109.866 30	109.924 50	8.843 648
400	6.5	6.928 203	0.000 264	0.000 209 469	0.000 164 957	141.542 30	141.660 50	141.757 20	11.411 160
500	6.5	8.660 254	0.000 330	0.000 261 837	0.000 206 197	176.749 10	176.933 50	177.084 50	14.263 950
630	6.5	10.911 920	0.000 416	0.000 329 914	0.000 259 808	222.411 90	222.703 90	222.943 10	17.972 570
800	6.5	13.856 410	0.000 528	0.000 418 939	0.000 329 914	281.944 30	282.413 80	282.798 60	22.822 320
1000	6.5	17.320 510	0.000 660	0.000 523 674	0.000 412 393	351.722 10	352.452 90	353.052 50	28.527 900

表 3 10 kV 站用变各变比(数值上等于 CT 额定电流)限值及站用变高压电流

容量 /kVA	上 限		下 限			一次电流 I_g /A	$5I_g$ /A
	$A=0.1$	$A=0.05$	$K_{alf}=20$	$K_{alf}=30$	$K_{alf}=40$		
160	152	304	31	21	16	9.24	46.19
200	190	380	39	26	20	11.55	57.73
250	237	475	48	32	24	14.43	72.17
310	294	589	60	40	30	17.90	89.49
400	380	760	74	51	38	23.09	115.47
500	475	950	95	64	48	28.86	144.34
630	599	1198	106	71	53	36.37	181.87
800	760	1521	134	90	67	56.19	230.94
1000	950	1901	166	111	83	57.74	288.67

根据高压侧保护电气的开断容量折算出的系统阻抗与站用变压器阻抗相比,至少相差一两个数量级,因此计算站用变压器低压侧短路电流时,高压侧开断容量的影响有限。从表 1 和表 2 可以看出,高压侧断路器开断水平分别选取 25 kA、31.5 kA、40 kA 时,电流速断保护的整定值相差很小,对保护整定而言可以忽略^[10-11]。

3 变比的选取

3.1 影响变比的因素

一方面,站用变压器容量相对较小,高压侧正常工作电流很小,因而 CT 不能选得过大,即便为满足测量精度和保护准确限值系数的要求,保护和测量计量二次绕组选用不同变比,其变比也不宜过大,宜采用 1:2。

同时,站用变压器保测一体化装置的精确工作电流有一定范围,而站用变压器过流保护的整定值

较小,若变比过大,可能造成过流保护整定值超过电流保护启动元件的电流下限,导致过电流无法整定。

另一方面,系统发生短路后,短路电流较大,为保证保护装置的可靠动作,电流变比不宜过小。

3.2 电流变比上限的确定

设变比最大值(上限)为 N_{max} , N_{max} 需要满足的条件为^[12-13]

$$I_{op-II}/N_{max} \geq A \times I_{20} \quad (7)$$

式中: I_{op-II} 为过流保护整定值; A 为站用变压器保护装置的精确工作电流下限值; I_{20} 为电流互感器二次侧额定电流,取 1 A 或 5 A,按 $I_{20}=1$ A 考虑。二次电流额定电流为 1 A,则变比与一次额定电流在数值上相等。

3.3 电流变比下限的确定

设变比最小值(下限)为 N_{min} ,为满足电流互感器最大限值电流大于保护最大动作电流整定值的 2 倍的要求^[14],即 $I_{pr}K_{alf} \geq 2I_{op-I}$ 。 N_{min} 需要满足的条件为

$$N_{\min} K_{\text{alf}} \geq 2I_{\text{op}-1} \quad (8)$$

3.4 推荐变比的选择

根据上述变比上下限计算方法,计算出10 kV站用变压器各变比(数值上等于CT额定电流)限值及站用变压器高压一次额定电流如表3所示。

从表3可以看出,随着容量的增加,变比的上下限值均增大。

保护用电流互感器变比上限值主要由保护装置的精确工作电流下限值和过电流保护整定值决定。在过电流保护整定值一定的情况下,保护装置的精确工作电流下限值越小,则变比上限值越大。

不同厂家生产的保护装置过流整定值范围见表4。

表4 不同厂家保护装置过流整定范围

生产厂家	过流整定值范围
南京南瑞继保电气有限公司	$0.1I_n \sim 20I_n$
长园深瑞继保自动化有限公司	$0.05I_n \sim 20I_n$
国电南京自动化股份有限公司	$0.04I_n \sim 20I_n$
北京四方继保自动化股份有限公司	$0.05I_n \sim 20I_n$

由于南京南瑞继保电气有限公司生产的保护装置过流整定范围最小,为了变比选择的普适性,10 kV站用变压器CT变比选择时过电流整定范围按 $0.1I_n \sim 20I_n$ 考虑。

变比下限值由电流速断保护的整定值决定,从表3中可以看到容量为1000 kVA的10 kV站用变压器,电流互感器变比选择166/1,准确限值系数取20,即可保证保护可靠动作。因此一般电流互感器准确限值系数选择20即可,不需要再放大准确限值系数。

但在变比满足最大上限值的情况下,变比选择越大,准确限值系数越大,则当发生故障时,电流互感器的过饱和系数越低,裕度越大,保护装置不易因

CT过饱和而导致保护拒动或越级跳闸。

同一台电流互感器,各二次绕组变比宜一致。为满足计量、测量准确性,电流互感器额定电流应尽量接近较小的负荷电流;而为了避免互感器深度饱和,应避免选用较高的准确限值系数,电流互感器额定电流应尽量选择较大一些。若根据实际需要,保护和测量二次绕组选用不同变比,其变比也不宜过大,宜采用1:2。测量计量也可采用中间抽头方式,以获得小电流。一般0.2级测量电流互感器在20%~120%额定电流范围内,能保证测量精度。

综合分析,推荐10 kV站用变压器电流互感器变比选择如表5所示。同理可计算出35 kV站用变压器各变比(数值上等于CT额定电流)限值及站用变高压一次额定电流如表6所示。从表6中可以看出,当保护装置的精确工作电流范围为 $0.1I_n \sim 20I_n$ 时,160 kVA、200 kVA、250 kVA站用变压器变比值上限均小于100,若精确工作电流范围为 $0.05I_n \sim 20I_n$ 时,比值上限可提高一倍。分别考虑精确工作电流范围的不同,推荐互感器变比如表7所示。

表5 10 kV站用变压器电流互感器变比推荐值

容量/kVA	保护(10P20)/A	测量(0.2级)/A	实际电流与CT额定电流比值/%
160	100/1	(50-100)/1(50/1)	18
200	100/1	(50-100)/1(50/1)	23
250	100/1	50-100/1(50/1)	29
310	100/1	50-100/1(50/1)	36
400	100/1	50-100/1(50/1)	56
500	100/1	50-100/1(50/1)	58
630	200/1	(100-200)/1(100/1)	36
800	200/1	(100-200)/1(100/1)	46
1000	200/1	(100-200)/1(100/1)	58

表6 35 kV站用变压器各变比(数值上等于CT额定电流)限值及站用变高压电流

容量/kVA	上限		下限			一次电流 I_g /A	$5I_g$ /A
	$A=0.1$	$A=0.05$	$K_{\text{alf}}=20$	$K_{\text{alf}}=30$	$K_{\text{alf}}=40$		
160	45	91	6	4	3	2.77	13.86
200	57	114	8	5	4	3.46	17.32
250	71	142	9	6	5	4.33	21.65
310	88	176	11	8	6	5.37	26.87
400	114	228	15	10	8	6.93	34.64
500	142	285	18	12	9	8.66	43.30
630	179	359	23	15	12	10.91	54.56
800	228	456	29	19	15	13.86	69.60
1000	285	570	36	24	18	17.32	86.60

表7 35 kV 站用变电流互感器变比推荐值

容量 /kVA	保护 (10P20) /A	测量 (0.2级) /A	测量变比选	实际电流与CT额定电流比值/%
160	2×50/1	2×(25-50)/1	25/1	11
200	2×50/1	2×(25-50)/1	25/1	14
250	2×50/1	2×(25-50)/1	25/1	17
310	2×50/1	2×(25-50)/1	25/1	21
400	2×100/1	2×(50-100)/1	50/1	14
500	2×100/1	2×(50-100)/1	50/1	17
630	2×100/1	2×(50-100)/1	50/1	21
800	200/1	(100-200)/1	100/1	14
1000	200/1	(100-200)/1	100/1	11

当保护装置的精确工作电流范围为 $0.1I_n \sim 20I_n$ 时,一次绕组串联,范围为 $0.05I_n \sim 20I_n$ 时一次绕组并联,即可满足变比上下限要求。

3.5 变比选择的进一步分析

35 kV 容量为 160 ~ 310 kVA 的站用变压器,其电流互感器变比较小,动、热稳定需要满足较高要求时,可能制造困难。

一方面,变比较小是受到电流变比上限的影响,变比上限与精确工作电流范围及过电流整定值有关,若保护装置招标文件中明确精确工作电流范围为 $0.05I_n \sim 20I_n$,则变比上限可提高。过电流整定值以变压器可能出现的最大负荷电流 $I_{L,max}$ 来整定, K_{rel} 可靠系数取 1.4,返回系数取 0.85。过电流保护的灵敏度需为

$$K_{sen} = \frac{K_{k,min}}{I_{op}} \quad (9)$$

式中, $K_{k,min}$ 为最小运行方式下,在灵敏度校验点发生两相短路时,流过保护装置的最小短路电流。低压侧两相短路,保护安装处的电流值大约为三相短路时的 $\sqrt{3}/2$ 倍,经计算得过流保护的灵敏度大约在 7.65 ~ 7.69,远大于在被保护变压器低压母线上短路时要求的 $K_{sen} \geq 1.5$ 。因此可以将过流保护的整定值可适当提高 1 ~ 2 倍,则变比上限也会同步提高。

另一方面,站用变压器高压侧实际电流较小,若额定电流较大,可能会影响测量精度,可以采用精度在 1% ~ 120% 额定范围满足要求的 0.2S 级测量绕组。

综上所述,最终推荐 35 kV 站用变电流互感器变比选择如表 8 所示。

表8 35 kV 站用变电流互感器变比最终推荐值

容量 /kVA	保护 (10P20) /A	测量 (0.2级) /A	实际电流与CT额定电流比值/%
160	100/1	(50-100)/1(50/1)	6
200	100/1	(50-100)/1(50/1)	7
250	100/1	(50-100)/1(50/1)	9
310	100/1	(50-100)/1(50/1)	11
400	200/1	(50-100)/1(50/1)	12
500	200/1	(50-100)/1(50/1)	18
630	200/1	(50-100)/1(50/1)	22
800	200/1	(50-100)/1(50/1)	28
1000	200/1	(50-100)/1(50/1)	34

4 结 语

通过保护整定计算并结合保护装置的电流精确工作范围,得到了站用变压器保护用 CT 的保护变比上下限值。根据上下限值结果可知,以保证保护装置正确动作为原则选择电流互感器时,其准确限值系数一般取 20 即可。

以测量电流互感器额定电流选择保护与测量绕组宜采用同一变比,若不同变比时宜采用 1:2 的原则,给出了 10 kV、35 kV 常用站用变压器保护、测量的变比推荐值。

35 kV 站用变压器高压侧实际电流较小,若电流互感器额定电流较大时,可考虑采用 0.2S 精度互感器。

35 kV 过电流保护整定值过小可能导致保护变比上限很小,影响电流互感器的选择,可在满足灵敏度的前提下,适当增大过电流保护定值,从而选择较大变比的互感器。

参考文献

- [1] 袁季修. 电流互感器和电压互感器[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [2] 沈诗佳. 电力系统继电保护及二次回路[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [3] 姜百超. 220 kV 开关站站用变电流互感器参数选择[J]. 供用电, 2016, 33(2): 69-72.
- [4] 张航. 论变电站站用变压器保护用电流互感器的配置[J]. 科技资讯, 2012(25): 119-120.

(下转第 90 页)

2.4 积极寻求当地合作伙伴

印尼能源基础设施建设虽然受制于资金短缺、技术落后、经验不足的问题而不得不加大对外开发力度,但其本国对能源行业尤其是电力行业依然采取严苛的保护政策。中资企业对电力能源的投资务必要寻找当地合作伙伴实现本土化经营。与当地有实力、有担当的企业建立长期的合同关系,有助于中资企业快速掌握印尼国家和地方的政策法规,及时了解时局变化,并且在经济、人文各方面进行深入交流、减少冲突、更好融入当地社会,同时中资企业也要积极承担起相应的责任和义务,以使企业能够获得更高更稳定的投资收益。

2.5 充分发挥当地华商的优势

印尼华人经过几百年的繁衍生息,华人口数量已经超过千万,印尼华商在其全国政治、经济、文化与社会领域的地位不容小觑^[11]。积极与印尼中华总商会、印(尼)中商务理事会、印尼华裔总会等华商和华人社会团体建立联系,加深对印尼投资环境、社会环境、法律环境的认识和学习,加强与华商企业的双向合作,有利于中资企业在印尼能建投资市场站稳脚跟。

3 结 语

随着中国“一带一路”倡议的持续健康发展和中国-东盟自由贸易区的成熟运作,中国和印尼在能源建设市场的合作必将持续稳定地开展下去。印尼政府对中资企业总体持欢迎和开放的态度,一系列的投资优惠政策和印尼电力市场的巨大需求也将吸引着中资企业更多地进入到印尼。总体来说,能

够实时把握政治时局,审慎看待对华策略,充分发挥产业优势互补作用,积极承担社会责任,中资企业投资印尼电力能源市场前景光明。

参考文献

- [1] 王树洪,徐庆元. 印尼电力发展规划[J]. 国际工程与劳务, 2017(2): 45-46.
- [2] 林梅,王艺蓉. 新丝路倡议下印尼投资的新机遇及策略[J]. 亚太经济, 2015(4): 74-82.
- [3] 王楚楚. 中资企业在印度尼西亚直接投资的政治风险研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2017.
- [4] 中国民生银行研究院宏观经济研究团队. 印度尼西亚投资机遇及风险分析[J]. 中国国情国力, 2018(2): 66-69.
- [5] 严小青. 印度尼西亚电力市场概况及投资前景分析[J]. 中外能源, 2017, 22(6): 8-14.
- [6] 田原. 印尼大力发展可再生行能源[N]. 经济日报, 2018-02-13(008).
- [7] 潘玥,谭小竹. 印尼对“一带一路”的认知、反应及中国的应对建议[J]. 现代国际关系, 2017(5): 53-54.
- [8] 李广杰,刘晓宇. “一带一路”背景下中国对东盟直接投资的布局优化研究[J]. 东岳论丛, 2017, 38(9): 125-132.
- [9] 王亚琴. 中国-印尼产能合作研究[D]. 广州: 暨南大学, 2018.
- [10] 廖萌. 21世纪海上丝绸之路背景下中国企业投资印尼研究[J]. 亚太经济, 2018(1): 126-132.
- [11] 潘玥. “一带一路”倡议下中国企业投资印度尼西亚的深层问题——以雅加达-万隆高速铁路项目为例的分析[J]. 东南亚纵横, 2018(2): 56-62.

作者简介:

李 洁(1987), 硕士研究生、经济师, 研究方向为电力能源建设市场开发。

(收稿日期: 2019-02-12)

(上接第72页)

- [5] 电流互感器和电压互感器选择及计算规程: DL/T 866-2015[S] 2015.
- [6] 继电保护和安全自动装置技术规程: GB/T 14285-2006[S] 2006.
- [7] 3 kV~110 kV 电网继电保护装置运行整定规程: DL/T 584-2007[S] 2007.
- [8] 陈根永. 电力系统继电保护整定计算原理与算例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
- [9] 220 kV~1000 kV 变电站站用电设计技术规程: DL/T 5155-2016[S] 2016.
- [10] 杨懋渠. 配电变压器一次侧 CT 参数选择分析[J].

- 电气技术, 2015, 18(3): 74-78.
- [11] 蔡强. 如何正确选择中压互感器参数[J]. 电气工程应用, 2012(1): 17-20.
- [12] 朱晓萍,陆以夫. 站用变间隔保护用电流互感器参数选择探讨[J]. 广西电力, 2015, 38(6): 35-37.
- [13] 刘随生. 中压电流互感器主要参数选择[J]. 电力与能源, 2016(5): 652-655.
- [14] 汤继东. 中压系统电流互感器的选用及注意事项[J]. 电气工程应用, 2012(3): 2-12.

作者简介:

高 松(1989), 工程师, 从事变电站电气设计工作。

(收稿日期: 2018-01-19)