

交直流合成大电流发生装置研究

王忠东¹, 骆潘钊², 卢树峰¹, 杨世海¹, 陈刚¹, 徐敏锐¹, 周玉¹

(1. 江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103;

2. 华中科技大学 电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 研制了一种交直流合成大电流发生装置, 其由交流电流源、直流电流源、交直流合成系统和监控与分析系统4个部分组成, 分别介绍了各部分的工作原理和功能。该装置在交流大电流线路中串联大容量电容组用于阻隔直流, 使得交流电流源回路和直流电流源回路形成交直流叠加的共同支路, 且交流电流源和直流电流源互不影响。性能测试结果表明, 装置的交、直流回路互不影响, 且通过被测电流互感器的电流为交流大电流和直流电流的叠加。

关键词: 交流; 直流; 电容器; 电流互感器

中图分类号: TM 425

文献标识码: B

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.12.020

0 引言

互感器在变电站中起着给后续计量、保护及监控设备提供信号的重要作用, 其运行的稳定性尤为重要。直流偏磁和剩磁均会影响互感器误差, 从而影响计量和保护性能^[1-3]。交、直流混合运行的电网结构使得交、直流系统之间的相互影响愈加明显, 双极高压直流输电线路检修或单极故障时需以单极-大地回线方式运行时, 会有很大的直流电流流过接地极, 此时会在大地上形成恒定的直流电流场, 产生地表电位差, 在交流网络中变压器绕组、架空线和大地形成的回路中产生直流电流, 从而在变压器和电流互感器(TA)回路中产生直流偏磁^[4-6]。电力系统的线路切合操作、短路故障时, 线路电流在暂态过程中存在直流分量, 从而使电流互感器铁芯产生剩磁^[7]。直流偏磁与各类剩磁都会加剧电流互感器铁芯过饱和磁化, 从而使得运行中的电流互感器的导磁率下降、实际误差值变大, 超出各绕组准确级范围, 影响电能计量结算平衡甚至造成继电保护装置误动^[8-10]。

研究能模拟现场直流偏磁供电环境和互感器剩磁特性的大电流发生装置, 对电流互感器直流偏磁和剩磁产生的影响进行理论分析、试验研究, 并在设计、生产、试验、运行环节对互感器直流偏磁和剩磁进行判断、分析、测量、控制, 可以为电力系统安全生产和营销计量提供深入的科技支撑, 具有重要意义^[11]。

目前对于互感器的直流偏磁特性的研究^[12], 有2种方式来模拟一次侧交直流合成电流以研究互感器直流偏磁特性。

a. 交流电流回路和直流电流回路各自同时穿过

电流互感器来模拟一次侧带直流偏置的交流大电流, 交流大电流和直流电流都通过电流互感器一次侧, 互感器铁芯中磁场为交流电流磁场和直流电流磁场的叠加, 其叠加效果和一次侧通交直流合成大电流效果相似。但该试验方式仅限于穿心式电流互感器, 现场实际的运行产品一般都是一个一次导电杆安装好的电流互感器, 因此该方案不适用于对非穿心式电流互感器类型进行研究。

b. 采用任意电流发生装置来产生含有直流分量的工频交流电流模拟电流互感器一次侧波形, 该装置产生含有直流分量的工频交流电流, 可以直接连接互感器一次导电杆, 进行实验研究。但这种方式产生的电流大小有限, 制造成本高、设备结构复杂, 如果需要产生大电流, 其可靠性很难保证, 并且设备体积较大。

交流大电流和直流电流合成的单匝大电流发生器是亟待研究和开发的新技术。本文提出一种基于电容隔直交直流合成大电流发生装置, 该装置采用电容隔直的技术方案, 通过大容量无极性电容通交流阻直流的电流特性, 使得交流电流源回路和直流电流源回路能够形成交直流叠加的单匝共同支路, 交流电流和直流电流同时流过该支路, 同时交流电流源和直流电流源互不影响, 因此适用于互感器直流偏流或偏磁相关实验研究。

1 电路原理

该装置采用电容隔直的技术方案, 在交流大电流线路中串联大容量无极性电容组, 由于电容本身的隔直流通交流特性, 工频交流大电流能通过无极性电容器, 而直流电流却不能通过电容器组构成回路, 使得交流电流源回路和直流电流源回路能够形成交直流叠加的共同支路, 交流电流和直流电流同

收稿日期: 2013-04-08; 修回日期: 2013-10-25

基金项目: 国家电网公司科技项目([2012]505)

Project supported by Science and Technology Foundation of the State Grid Corporation of China([2012]505)

时流过该支路,且交流电流源和直流电流源互不影响。其原理图如图 1 所示。图中 i_1 为交流源支路电流, i_2 为直流源支路电流, i_3 为合成电流支路电流。

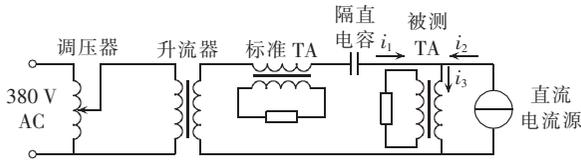


图 1 装置原理图

Fig.1 Schematic diagram of generator

图 1 的电路中有 2 个独立电源,采用叠加定理进行分析^[13]。

图 2 为交流源单独作用时的支路电流分析。由于直流电流源支路阻抗很大,电流合成支路阻抗很小,交流大电流只流过被测电流互感器,构成交流电流回路。此时有:

$$i_{1AC} = K_s \frac{u_1}{Z_s}, i_{2AC} = 0, i_{3AC} = i_{1AC} = K_s \frac{u_1}{Z_s}$$

其中, i_{1AC} 、 i_{2AC} 、 i_{3AC} 分别为交流电源单独作用时,交流源支路电流、直流源支路电流和电流合成支路电流; u_1 为调压器输出电压; K_s 为升流器变比; Z_s 为升流器一次输入阻抗。

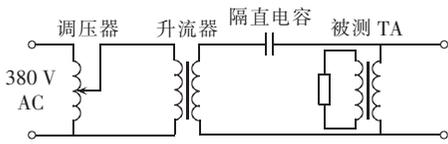


图 2 交流电流源作用下等效电路图

Fig.2 Equivalent circuit with AC source alone

图 3 为直流电流源单独作用时支路电流分析。由于电容的隔直特性,电容器组对直流电流的阻抗很大,直流电流只流过被测电流互感器,构成直流电流回路。此时有:

$$i_{1DC} = 0, i_{2DC} = I_{DC}, i_{3DC} = i_{2DC} = I_{DC}$$

其中, i_{1DC} 、 i_{2DC} 、 i_{3DC} 分别为直流电源单独作用时,交流源支路电流、直流源支路电流和电流合成支路电流; I_{DC} 为直流电流源输出电流。



图 3 直流电流源作用下等效电路图

Fig.3 Equivalent circuit with DC source alone

当交流源和直流源同时作用时有:

$$i_1 = i_{1AC} + i_{1DC} = K_s \frac{u_1}{Z_s}$$

$$i_2 = i_{2AC} + i_{2DC} = I_{DC}$$

$$i_3 = i_{3AC} + i_{3DC} = K_s \frac{u_1}{Z_s} + I_{DC}$$

交流源支路只有交流电流流过,可以采用传统

的电磁式标准电流互感器测量交流电流;直流源支路只有直流电流流过,可以采用霍尔电流传感器进行测量;电流合成支路电流为交流电流和直流电流的叠加,交流电流大小等于标准电流互感器支路交流电流,直流电流大小等于直流电流源支路直流电流。

2 交直流合成大电流发生装置设计

交直流合成大电流发生装置主要包括交流电流源、直流电流源、交直流合成系统和监控与分析系统 4 个部分。交流电流源由调压器、升流器构成,输出额定电流 5000 A 交流大电流^[14];直流电流源产生额定电流为 50 A 的直流电流;交直流合成系统由大容量无极性电容器组和大电流接线端子组成,将交流大电流和直流电流叠加,产生交流、直流电流合成的单匝大电流,便于互感器进行直流偏磁的相关实验;监控与分析系统监控整个交直流合成大电流发生系统工作状态,分析各个监控环节的数据,并能做出相应的保护动作,从而保证实验设备的可控性和安全性。同时本文所述装置采用模块化设计,各个模块组装连接方便,便于携带、组装和维护,方便实用。

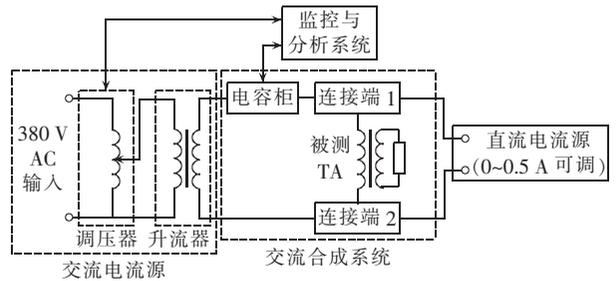


图 4 交直流合成大电流发生装置设计框图

Fig.4 Block diagram of high AC and DC hybrid generator

2.1 交流电流源

交流电流源输出额定电流为 5000 A 工频大电流。在交流电流回路中,线路电感和隔直电容是主要的负载,因此调压器、升流器的选型主要考虑交流电路线路负载。

多股铜导线的直径选为 50 mm,接线的回路面积越小,电感就越小。接线回路面积为 $\sqrt{2} \text{ m} \times \sqrt{2} \text{ m}$ 时,电感量 $L \approx 6 \mu\text{H}$;导线电阻很小,导线长度按 10 m 计算,电阻为 0.09 mΩ。考虑接触电阻,取一定余量后 $R = 0.3 \text{ m}\Omega$ 。隔直电容选用 100 个容量为 0.2 F、电压为 25 V 的无极性电容并联, $C = 100 \times 0.2 \text{ F} = 20 \text{ F}$ 。线路负载为:

$$Z = R + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L = (0.3 + j1.72) \times 10^{-3} (\Omega)$$

升流器开口电压和视在功率分别为:

$$U = IZ = 8.75 (\text{V})$$

$$S = UI = 43.75 (\text{kV} \cdot \text{A})$$

因此选用 2 个容量为 $30 \text{ kV}\cdot\text{A}$ 、开口电压为 6 V 的升流器串联,能满足要求。

调压器容量取一定余量后,容量需大于 $43.75 \div 0.8 = 54.68 \text{ (kV}\cdot\text{A)}$,故选用的调压器容量为 $60 \text{ kV}\cdot\text{A}$ 。

2.2 直流电流源

在直流通路中,直流电流源由功率放大器组成^[15],见图 5。给定的参考电压 U_{ref} 经过同相放大后,接多个电压跟随器,电压跟随器的输出通过均流电阻 R_1 、 R_2 、 \dots 、 R_n 连在一起。功率放大器型号为 PA50^[16],长期输出电流达到 40 A ,峰值输出电流为 100 A 。使用 2 个功率放大器,共计可长期输出 80 A 。使用 1 个散热器,并安装温度传感器,传感器采集功放温度值反馈给计算机,若过热需停止工作,以免烧毁功放。

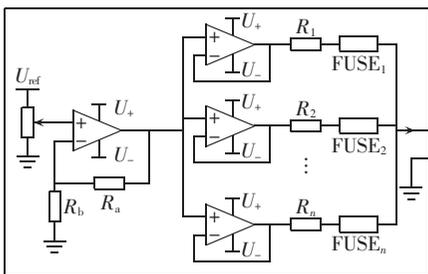


图 5 直流电流源电路原理图

Fig.5 Schematic diagram of DC source

如图 5 所示,直流通路的阻抗很小,按 $10 \text{ m}\Omega$ 计算,通过 50 A 直流电流时的压降为 0.5 V ,消耗功率 25 W 。功率放大器 PA50 的内部功耗是 400 W ,输出 40 A 时的输出电压摆幅为 8 V ,所以电源应选用 $\pm 10 \text{ V}$ 、 1 kW 的直流稳压电源。使用功率放大器的优点是输出直流电流纹波小,避免了直流电流中的纹波成为被测电流互感器新的误差来源。

并联的功放电路间必须做到负载的平均分配。运放的开环增益对温度变化并不高度稳定,同一类型的不同器件也会存在极大差异。尤其是功放在使用一段时间后,元件值发生变化和运行特点改变,可能会导致一些电路超载,最终导致过热和故障。为了克服上述缺点,设计了使并联功率放大电路的负载大致平均分配的手段:多个相同的电压跟随器电路连接在同相放大器和负载之间,负载和每个电压跟随器电路之间连接的是均流电阻。通过选用相同阻值的电阻,使得放大器之间较为平均地分配负载。均流电阻阻值一般选为每个功放的额定负载阻抗的 0.5% ,这个值也可由经验推导公式确定。确定均流电阻阻值 R_b 的经验公式为:

$$R_b = \frac{nR_L(K_1 - K_2)}{\delta K_1 K_2}$$

$$\delta = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{(I_{\text{max}} + I_{\text{min}})/2}$$

其中, R_L 为负载阻抗值; n 为分担负载的功放数目; K_1 为功放的开环电压增益最大值; K_2 为功放的开环电压增益最小值; I_{max} 为功率放大器电路中输出最大电流; I_{min} 为功率放大器电路中输出最小电流。

在本文设计中, K_2 取 5×10^4 , K_1 取 1.25×10^5 , I_{max} 取 25 A , I_{min} 取 0 A , R_L 取 $10 \text{ m}\Omega$, n 取 2,代入式(2)得出 $\delta = 2$,代入式(1)得出 $R_b = 0.12 \mu\Omega$,即 R_b 取 $0.12 \mu\Omega$ 就可以达到均流的作用。按照负载阻抗的 0.5% 来计算, R_b 取 $0.1 \text{ m}\Omega$ 。综合考虑电阻的制作、功率消耗、电阻的精度等,选用 R_b 为 $1 \text{ m}\Omega$ 。此时每个均流电阻消耗功率为 0.6 W , 2 个均流电阻消耗功率约 1.2 W 。

2.3 交直流合成系统

交直流合成系统由大容量无极性电容器组和大电流接线端子组成,通过隔直电容器组将电流回路分为交流回路和直流回路,从而实现交流大电流和直流电流的叠加。

隔直电容器组设计采用的大容量无极性隔直电容的参数为:耐压值 25 V ;串联等效电阻(ESR)为 $3 \text{ m}\Omega$;标准容量为 0.2 F ;允许偏差为 $\pm 20\%$;最高工作温度为 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 。采用 100 个该种无极性电容器并联^[14],额定交流电流大小为 5000 A ,平均每个电容器通过的电流为 50 A ,发热功率为 7.5 W ,100 个电容器的总损耗约为 750 W 。考虑为电容加散热装置,一方面有利于试验的安全性,另一方面可以延长电容的使用寿命。

隔直电容器组设计采用分组电容设计方式,设计中采用小容量无极性电容并联分组方式,分为多组,并采用冗余设计,一部分电容器组故障,其他电容器组也能维持系统正常工作。每个电容器组采用电流传感器进行监测,当该电容器组过流、失流时,则通过监控与分析系统控制调压器动作,并报警指示。切除故障电容器组后,升流系统可继续工作,保证系统可靠性和安全性。

2.4 监控与分析系统

监控与分析系统采用高可靠性工控机和多通道数据采集输出卡构成智能监控保护终端,配置相应的电流、电压、温度等传感器,实时监控整个交直流合成大电流发生系统工作状态,分析各个监控环节的数据,并能做出相应的保护动作,从而保证实验设备的可控性和安全性。

监控与分析系统可实现如下功能。

a. 电容器组电流监测与保护:通过智能监控保护终端实时采集各路各电容器组电流波形,监测该电容器组的工作情况,出现故障则切断系统电源。

b. 电容器组温度监测与过热保护:电容柜采用

温控系统,当电容器工作温度上升到一定程度时,监控系统发出报警,防止工作温升而引起故障。

c. 交流大电流支路电流、直流电流支路电流、交直流合成支路电流监测与保护:通过检测交流回路电流、直流回路电流以及公共支路电流,来判断整个升流器系统的工作状态,如有铁磁谐振、谐波过大等情况,能及时报警,保证升流器系统工作时的安全性和可靠性。

d. 被测电流互感器两端电压监测与保护:采用电压传感器监测被测电流互感器两端电压值,识别接线连接错误或者被测电流互感器测试工作过程中的问题,并实施保护。

2.5 试验线路连接故障分析

试验时如果发生线路的意外开路,有可能造成试验无法顺利进行,但不会有安全问题,分析如下。

试验电路主要有交流电源侧支路、直流电源侧支路、被测电流互感器支路这 3 条支路(下文分别以支路①、②、③表示)。现讨论若某支路发生接线故障而未接入到电路中的情况。

若支路①未接入电路,如图 6 所示,只有直流电流源加在被测电流互感器上,升流器二次侧开路。因为升流器的额定开口电压仅为 10 V,所以不存在安全问题。

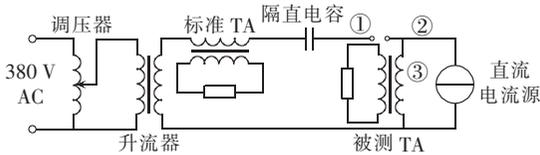


图 6 接线故障电路图

Fig.6 Schematic diagram of wiring fault

若支路②未接入电路,只有交流电流源加在被测电流互感器上,直流电流源开路。直流电流源中功率放大器的供电电源仅为 ± 10 V,所以开路时电流源输出端口的电压不会超过 ± 10 V,不存在安全问题。

若支路③未接入电路,升流器二次侧和直流电流源通过隔直电容连接在一起。由于隔直电容的存在,直流电流源相当于开路,如前文所述,开路时不存在安全问题。升流器的负载为隔直电容和直流电流源,由于直流电流源的阻抗很大,升流器近似于开路,其二次侧电流将会非常小。

综上所述,试验过程中,如出现接线故障或意外开路情况,则不构成良好的电流回路,试验无法顺利进行,但不会引起设备损坏以及其他的安全问题。只要解决故障,试验可以继续。

3 系统性能测试

测试目的是通过采集交流电流支路、直流电流支路、合成电流支路的波形数据,并进行 FFT 数据分

析,从而得到各个支路的直流电流及工频电流情况。该测试中交流电流支路和合成电流支路采用准确度为 0.5%、额定电流为 5000 A 的霍尔电流传感器来采集电流波形;直流电流支路采用准确度为 0.5%、额定电流为 50 A 的霍尔电流传感器来采集电流波形。最后通过 NI 公司的 24 位高精度数据采集卡采集各个支路波形数据,并通过 LABVIEW 平台编程软件进行数据计算和分析。

当直流电流的变化范围为 0~50 A、交流电流的变化范围为 0~5000 A 时,测试数据如表 1 所示。

表 1 各支路电流波形数据 FFT 分析
Tab.1 FFT analysis of current waveform for different branches

序号	I_{DC}/A	I_{AC}/A	FFT 分析结果					
			I_{2DC}	I_{2AC}	I_{1DC}	I_{1AC}	I_{3DC}	I_{3AC}
1	0	0	0.03	0.12	0.39	0.46	0.64	0.45
2	22	0	22.94	0.17	0.44	0.29	23.12	0.07
3	41	0	40.43	0.09	0.11	0.01	41.30	0.13
4	0	4790	0.07	0.19	0.34	4804.13	0.24	4802.97
5	16	4799	15.57	0.03	0.45	4795.32	15.72	4790.78
6	46	4795	46.13	0.12	0.56	4796.24	45.86	4792.36
7	0	1670	0.04	0.13	0.51	1677.42	0.68	1676.74
8	0	3127	0.07	0.19	0.29	3130.45	0.57	3129.54
9	0	4803	0.05	0.08	0.47	4793.86	1.17	4796.45
10	47	1902	47.50	0.15	0.49	1915.35	47.80	1909.24
11	45	3038	44.80	0.12	0.50	3025.49	44.31	3022.90
12	42	4801	41.28	0.17	0.38	4804.92	41.86	4804.56

注: I_{AC} 为交流电源输出电流。

a. 直流电流分析。

从电路结构来看: $I_{3DC}=I_{1DC}+I_{2DC}$,实验数据表明,直流电流源输出变化时,交流源支路中直流电流很小,且 $I_{1DC}\approx 0$,如图 7 所示。而直流支路直流电流和合成电流支路直流电流值相差很小,说明直流电流源的直流电流不会流经升流器回路,而是流经合成电流支路,构成直流电流回路。

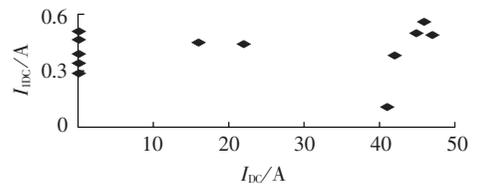


图 7 交流电流支路直流电流分析

Fig.7 DC analysis of AC branch

b. 交流电流分析。

从电路结构来看: $I_{3AC}=I_{1AC}+I_{2AC}$,实验数据表明,升流器交流电流输出变化时,直流电流源支路中交流电流很小,即 $I_{2AC}\approx 0$,如图 8 所示。

直流支路中工频电流值最大值为 0.19 A,交流支路工频电流和合成支路工频电流值相差很小,说明升流器输出的交流大电流不会流经直流电流源,不会影响直流电流源的工作,而是流经合成电流支路,构成交流电流回路。

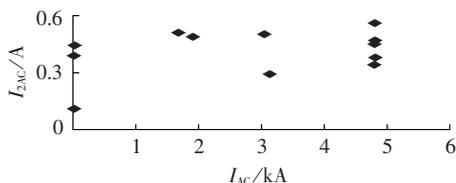


图 8 直流电流支路交流电流分析

Fig.8 AC analysis of DC branch

c. 合成电流支路分析。

由合成电流支路电流 FFT 分析可知,直流分量等于直流源支路直流电流,50 Hz 工频分量等于交流源支路工频电流,合成支路电流为交流源电流和直流源电流的叠加。

4 结论

本装置采用电容隔直的技术方案,通过大容量无极性电容器组通交流阻直流的电流特性,使得装置中形成交流电流源回路和直流电流源回路,从而能够形成交直流叠加的单匝共同支路,交流电流和直流电流同时流过该支路,同时交流电流源和直流电流源互不影响。实验结果表明,电流合成支路中流过被测电流互感器的电流为 5 000 A 交流电流和 50 A 直流电流的叠加,能够开展相关电流互感器直流偏磁和剩磁相关特性的试验研究。

参考文献:

- [1] 李长云,李庆民,李贞,等. 直流偏磁条件下电流互感器的传变特性[J]. 中国电机工程学报,2010,30(19):127-132.
LI Changyun,LI Qingmin,LI Zhen,et al. Transfer characteristics of current transformers with DC bias[J]. Proceedings of the CSEE, 2010,30(19):127-132.
- [2] 郑涛,陈佩璐,刘连光,等. 计及直流偏磁的电流互感器传变特性对差动保护的影响[J]. 电力系统自动化,2012,36(20):89-93.
ZHENG Tao,CHEN Peilu,LIU Lianguang,et al. Transferring characteristics of current transformer affected by DC magnetic bias and its impact on differential protection[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(20):89-93.
- [3] 李长云,李庆民,李贞,等. 直流偏磁和剩磁同时作用下保护用电压互感器的暂态特性研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(23):107-111.
LI Changyun,LI Qingmin,LI Zhen,et al. Research on the transient characteristics of the protective CTS with co-impacts of DC bias and remnant flux[J]. Power System Protection and Control,2010,38(23):107-111.
- [4] EMANUEL A E,ORR J A. Current harmonics measurement by means of current transformers[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2007,22(3):1318-1325.
- [5] 李新年,蒋卫平,李涛. 交直流线路同塔输电对换流变直流偏磁的影响[J]. 电力系统自动化,2011,35(11):87-92.
LI Xinnian,JIANG Weiping,LI Tao. Influence of same tower AC/DC hybrid transmission lines on DC bias of converter transformer[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(11):87-92.
- [6] 李海峰,朱革兰,王钢,等. 直流单极-大地方式谐波特性及其对

交流保护影响的分析[J]. 继电器,2008,36(4):5-9.

LI Haifeng,ZHU Gelan,WANG Gang,et al. Harmonic characteristics of power transformer for DC bias and its impact on power system protection[J]. Relay,2008,36(4):5-9.

- [7] CATALIOTTI A,di CARA D,EMANUEL A E,et al. Characterization of clamp-on current transformers under nonsinusoidal conditions[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2009,24(1):373-380.
- [8] 李春来,汤晓宇,黄业安,等. 计量用 TA 在直流偏磁条件下传变特性的实验与分析[J]. 电力自动化设备,2011,31(7):143-149.
LI Chunlai,TANG Xiaoyu,HUANG Yean,et al. Measurement and analysis of transfer characteristic for metering CT with DC magnetic bias[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(7):143-149.
- [9] 钱家骊,关永刚,徐国政,等. 剩磁对保护型电磁式电流互感器误差影响的仿真研究[J]. 高压电器,2005,41(1):26-28.
QIAN Jiali,GUAN Yonggang,XU Guozheng,et al. Simulation and analysis on error of protective type CT due to residual magnetism[J]. High Voltage Apparatus,2005,41(1):26-28.
- [10] 崔迎宾,谭震宇,李庆民,等. 电流互感器剩磁影响因素和发生规律的仿真分析[J]. 电力系统自动化,2010,34(23):87-91.
CUI Yingbin,TAN Zhenyu,LI Qingmin,et al. Simulation study of influences of different factors on residual flux occurrence in current transformers[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(23):87-91.
- [11] 陈黎来. 电流互感器对电能计量的影响[J]. 电力自动化设备,2011,31(1):138-141.
CHEN Lilai. Effect of CT on electric energy measurement[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(1):138-141.
- [12] 梁仕斌,文华,曹敏,等. 铁芯剩磁对电流互感器性能的影响[J]. 继电器,2007,35(22):27-32.
LIANG Shibin,WEN Hua,CAO Min,et al. The effects of remnant in CT core[J]. Relay,2007,35(22):27-32.
- [13] 付玉明. 电路分析基础[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002:62-65.
- [14] 王守信,孙明德. 输出工频 60 kA 的大电流升流器[J]. 高压技术,1985,10(3):7-9.
WANG Shouxin,SUN Mingde. A 60 kA AC output heavy current transformer[J]. High Voltage Engineering,1985,10(3):7-9.
- [15] 王玉斌. 新型功率运算放大器 PA05 及其在线性功率源中的应用[J]. 电测与仪表,2002,39(10):39-41.
WANG Yubin. A new type power operational amplifier PA05 and its application in linear power source [J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2002,39(10):39-41.
- [16] 宋文峰. 大电流型功率放大器 PA04 及其应用[J]. 国外电子元器件,2003,4(11):37-38.
SONG Wenfeng. High-current operational amplifier PA04 and its application[J]. International Electronic Elements,2003,4(11):37-38.

作者简介:



王忠东

王忠东(1969-),男,江苏吴江人,高级工程师,硕士,从事互感器、电能计量方面的研究工作(**E-mail**:wzd_jsepc@sina.com);

骆潘钊(1987-),男,湖北武汉人,博士研究生,研究方向为互感器等电磁设备以及智能电网(**E-mail**:411312625@qq.com);
卢树峰(1972-),男,山东茌平人,高级

工程师,硕士,研究方向为互感器、电能计量(**E-mail**:lsf117@tom.com);

杨世海(1976-),男,安徽淮北人,高级工程师,硕士,研究方向为互感器、电能计量(**E-mail**:ysh.young@163.com);

陈刚(1984-),男,湖北黄梅人,工程师,硕士,研究方向

为互感器、电能计量(**E-mail**:cg09_jseprc@sina.com);

徐敏锐(1975-),男,江苏涟水人,高级工程师,硕士,研究方向为互感器、电能计量(**E-mail**:xuminrui18@163.com);

周玉(1982-),男,江苏镇江人,工程师,硕士,从事互感器、电能计量方面的研究工作(**E-mail**:longhu205@163.com)。

Research of high AC and DC hybrid generator

WANG Zhongdong¹, LUO Pandian², LU Shufeng¹, YANG Shihai¹,

CHEN Gang¹, XU Minrui¹, ZHOU Yu¹

(1. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A high AC and DC hybrid generator is developed, which consists of four parts: AC source, DC source, current combination device and monitoring & analysis system. The working principles and functions of each part are introduced. Large-capacity capacitors are serially connected in AC circuit to prevent DC. There is a common branch of AC and DC circuits in the hybrid generator to superpose AC and DC together, without interfering in the AC or DC source. Results of performance test show that, the AC circuit and DC circuit are immune to each other and the high current flowing through the tested current transformer contains both AC and DC.

Key words: AC; DC; capacitors; current transformer

(上接第 121 页 continued from page 121)

2004, 21(5):659-664.

SU Zhenqiang, LU Xianping, SHI Leming, et al. The application of multithreading parallel and distributed computing scale chemical structure searching database[J]. Computers and Applied Chemistry, 2004, 21(5):659-664.

作者简介:

张逸(1984-),男,福建福州人,博士,主要从事电能质量分析与控制系统开发(**E-mail**:zhangyiscu@163.com);

杨洪耕(1949-),男,四川成都人,教授,博士研究生导师,主要从事电能质量分析与控制的研究与教学工作。

Fast parsing of massive PQDIF files

ZHANG Yi¹, YANG Honggeng²

(1. Fujian Electric Power Research Institute, Fuzhou 350007, China;

2. School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: A fast parsing scheme is proposed for PQDIF(Power Quality Data Interchange Format) files, which quickly judges the change of channel series definitions to avoid the repeated parsing of records from same data source. The file reading thread decomposes the observation records and stores them in the task pool while, in parallel, the parsing thread circularly reads and parses the observation records of the task pool and then stores them in the data buffer pool. The proposed scheme is implemented based on the .NET 4.0 programming model which supports the parallel extensions. Test with field massive PQDIF files shows that, the parsing efficiency is significantly improved and the acceleration ratio increases along with the increase of CPU core and data files. Its successful application in Sichuan power quality integrated data platform proves its reliability and practicality.

Key words: power quality; PQDIF; massive data; data processing; thread; parallel programming; parsing; .NET 4.0