

一种高精度、高采样率的模拟隔离采样电路设计

游昊¹,石恒初¹,杨远航¹,李银银¹,朱青成¹,徐腾飞²

(1. 云南电力调度控制中心, 云南 昆明 650011;

2. 山东山大电力技术股份有限公司, 山东 济南 250101)

摘要:为了解决便携录波装置需要采样不同输入电压的交直流电压采样、不同输入电流的交直流电流信号且采样率要求较高的问题,设计了一种适用于便携录波装置的模拟信号隔离采样电路。采用了MAX11901转换芯片,根据采样信号的不同分为大信号采样电路和小信号采样电路。搭建隔离采样电路,并对测试结果进行精确性分析,表明该电路可适用于多种信号输入,精度可以优于0.5%,采样率可以达到500 kHz,具有较高的实用和推广价值。

关键词:便携录波;隔离采样;0.5%精度;500 kHz采样率

中图分类号:TN911.3;TP391.4 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd23546

Design of an Analog Isolation Sampling Circuit with High Precision and High Sampling Rate

YOU Hao¹, SHI Hengchu¹, YANG Yuanhang¹, LI Yinyin¹, ZHU Qingcheng¹, XU Tengfei²

(1. Yunnan Electric Power Dispatching and Controlling Center, Kunming 650011, Yunnan, China;

2. Shandong University Electric Power Technology Co., Ltd., Jinan 250101, Shandong, China)

Abstract: In order to solve the problems that the portable wave recording device needs to sample AC/DC voltage samples with different input voltages, AC/DC current signals with different input currents and high sampling rate, an analog signal isolation sampling circuit was designed for portable wave recording device. The MAX11901 conversion chip was used, in which the sampling circuit was divided into large signal sampling circuit and small signal sampling circuit according to the difference of sampling signal. An isolation sampling circuit was built and the accuracy of the test results were analyzed. The analysis result shows that the circuit is suitable for a variety of signal inputs, the accuracy can be better than 0.5%, and the sampling rate can reach 500 kHz. It has high practical and popularizing value.

Key words: portable wave recording; isolated sampling; 0.5% accuracy; 500 kHz sampling rate

由于能源和经济发展的不平衡,高压直流输电大容量、远距离的输电优势,在我国“西电东送,全国联网”战略中发挥了重要作用^[1-4]。多端直流输电系统是指含有多个整流站或多个逆变站的直流输电系统,它与交流系统有多个连接端口,能够实现多个电源区域向多个负荷中心供电,其换流站可以在整流与逆变之间切换,为电网提供了一种更为灵活、快捷的输电方式。柔性直流输电技术是基于可关断电力电子器件,通常是绝缘栅双极型晶体管(insulated-gate bipolar transistor, IGBT),及电压源型换流器的新型直流输电技术,其具有能向无源系统供电、具备动态

无功支撑能力、无需交流滤波装置等诸多技术优势。发展多端柔性直流输电技术,是解决我国能源利用问题、发展我国柔性直流输电技术的必然趋势^[5-6]。为配合柔性直流输电关键技术的研究,研究用于柔性直流输电调试、运行和维护的专用现场便携式检修测试和故障分析技术,开发便携式检修测试和故障分析系统,对提高柔性直流输电二次系统现场检修维护工作效率具有重要意义。

由于换流站的特殊性,不同区域设备的故障有其自己的特点,并且直流核心设备的故障形式和机理与交流系统中的一般元件有很大差别,虽然国外众多厂家也推出来不少应用于直流系统

的故障录波系统,如ABB技术路线的直流换流站控制保护系统中,故障录波的分析与诊断主要依赖于SCADA系统中工程师工作站所提供的数据,而国内的主流厂家针对直流系统推出故障录波装置,主要集中于数字FT3信号的采集,模拟部分采样率只有20 kHz,不能满足柔性直流输电对高采样率的要求^[7-8]。

为了解决上述问题,本文采用Maxim公司MAX11901模数转换芯片,TI公司的OPA2350运放芯片,ADI公司的ADuM6401数字隔离芯片等设计了一套高精度、高采样率的模拟采样电路。

1 方案设计

目前故障录波装置模拟采样率一般不超过20 kHz,为实现500 kHz采样速率,通用方案主要有2种:并行双通道实时采样(也称为并行双通道时间交替采样)和单通道实时采样^[9-10]。

并行双通道实时采样是将被采样信号同时接入两个完全一样的采样电路,这两个采样电路采样频率为要求频率的一半。一个在时钟上升沿采样,另外一个在时钟下降沿采样。并且第二个时钟要比第一个时钟延迟180°。两套系统采样结果合起来的采样频率即为所要求的频率^[11]。具体来说所要求的采样频率为500 kHz,周期为2 μs。同时接入两片模数转换器(analog to digital converters, ADC),采样频率为250 kHz,周期为4 μs,通过时钟的相位延迟实现延迟2 μs。这样在4个μs的时间内就可以采样两次数据,达到了500 kHz的采样频率。这种方案既有效地提高了系统的采样率又降低了对数据存储和传输的要求,进而实现了500 kHz的采样率。缺点是需设计两套相同的采样电路和时钟信号,电路和算法复杂。

单通道实时采样是指采用1个500 kHz的采集通道工作,优点是电路设计简单,缺点是对数据存储和传输速率要求较高。

并行双通道实时采样方案需要2个完全一样采样频率大于500 ksps的ADC,控制逻辑也比较复杂,需要把时钟进行相位延迟,然后在程序内部将2片AD的采样结果再合成为1个采样结果,单通道实时采样方案需要1个采样频率大于1 Msps的ADC,只要CPU的处理速度满足要求,控制逻辑相对简单,

经分析500 ksps和1 Msps的ADC价格以及装置的CPU性能,考虑到装置的整体设计情况,

选用了单通道实时采样方案,方案如图1所示。

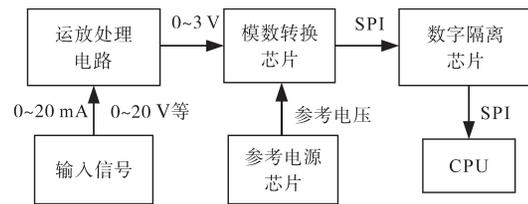


图1 方案框图

Fig.1 The block diagram of the project

2 系统硬件设计

2.1 AD采样电路设计

ADC芯片选用了Maxim公司的MAX11901芯片,MAX11901是一款16位、1.6 Msps单通道、带内部参考缓冲器的全差分逐次逼近型(successive approximation register, SAR) ADC^[12]。电源包括参考缓冲器的3.3 V电源、1.8 V模拟电源、1.8 V数字电源和1.5~3.6 V数字接口电源,通过串行外设接口(serial peripheral interface, SPI)方式与控制芯片通讯,可以达到95.2 dB的信噪比(signal noise ratio, SNR)和-115 dB的总谐波失真(total harmonic distortion, THD),保证了16位分辨率。

为了保证采样精度,ADC参考电源选择外部输入参考电源方式,选用了ADI公司的ADR3430电源芯片,ADR3430A为低成本、低功耗、高精度的基准电压源,具有±0.1%的初始精度、低工作电流和低输出噪声特性,采用SOT-23(small outline transistor-23,小外形晶体管封装)小型封装。在电路中输入内部参考电源3.3 V(3.3 V_ISO),输出3 V基准参考电源(3V_REF)。

工作电源选用了TI公司的TLV7111518D电源芯片,TLV7111518D为双通道、低压降线性稳压器(low dropout regulator, LDR),在整个温度范围内提供了2%的典型准确度。在电路中产生1.8 V和1.5 V电源。其中1.8 V电源提供给MAX11901模拟部分AVDD(1.8 V_ISO)和数字部分DVDD(1.8 V_ISO)。1.5 V电源提供给采样电路做直流参考源(1.5 V_ISO)。

AD的数字接口电源OVDD(3.3 V_ISO)同样用内部参考电源3.3 V提供。

为了实现外部输入和内部电路的隔离选用了ADI公司的ADuM6401数字隔离芯片,ADuM6401为isoPower集成式隔离式DC-DC转换器,具备4路直流至25 Mbps(NRZ)信号隔离通道,在电路中将SPI信号、电源、地进行隔离。

2.2 大信号采样电路设计

便携装置需要采样的模拟信号包括直流电压、直流电流、交流电压和交流电流4种。若以采样电路形式而分可以分为大信号采样电路和小信号采样电路。

大信号采样电路的采样信号主要包括0~180 V AC, 0~400 V AC, 0~100 A AC, 0~20 V DC, 0~200 V DC, 0~2 000 V DC; 小信号采样电路的采样信号主要包括0~200 mV DC, 0~20 mA DC。

MAX11901的规格书上要求输入范围为: $(AN+) - (AN-) \in [-3, 3] \text{ V}$, $AN \in [-0.1, 3.1] \text{ V}$ 。为了使满足精度、采样范围、输入阻抗、不同输入电压等的要求, 运放选用了TI公司的OPA2350单电源、双通道、高精度的运放芯片, 采用3.3 V供电。为了满足交流电压输入和运放输入电压的要求, 设计了1.5 V的直流参考电源^[13-15]。

大信号采样电路的具体电路如图2所示, 在实际电路设计中, $R_1=R_2, R_3=R_4=4.99 \text{ k}\Omega$ 。

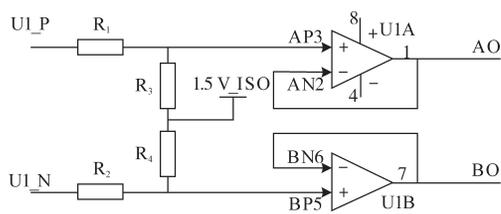


图2 电压采样电路原理图

Fig.2 Schematic of the voltage sampling circuit

根据基尔霍夫定律和运放“虚短”和“虚断”, 由图2可以得到:

$$\frac{V_{IP} - V_{AP}}{R_1} = \frac{V_{AP} - 1.5}{R_3} \quad (1)$$

式中: V_{IP} 为输入差分电压正输入端(U1_P)电压; V_{AP} 为U1A同相输入端(AP)电压。

$$\frac{V_{IN} - V_{BP}}{R_2} = \frac{V_{BP} - 1.5}{R_4} \quad (2)$$

式中: V_{IN} 为输入差分电压负输入端(U1_N)电压; V_{BP} 为U1B同相输入端(BP)电压。

$$V_{AO} = V_{AN} = V_{AP} \quad (3)$$

式中: V_{AO} 为U1A输出端(AO)电压; V_{AN} 为U1A反相输入端(AN)电压。

$$V_{BO} = V_{BN} = V_{BP} \quad (4)$$

式中: V_{BO} 为U1B输出端(BO)电压; V_{BN} 为U1B反相输入端(BN)电压。

由式(1)~式(4)可以得到以下公式:

$$V_{AO} = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \cdot V_{IP} + \frac{R_1}{R_1 + R_3} \cdot 1.5 \quad (5)$$

$$V_{BO} = \frac{R_4}{R_2 + R_4} \cdot V_{IP} + \frac{R_2}{R_2 + R_4} \cdot 1.5 \quad (6)$$

$$(V_{AO} - V_{BO}) = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \cdot (V_{IP} - V_{IN}) \quad (7)$$

$$P_{R1} = \frac{(V_{IP} - V_{AP})^2}{R_1} \approx \frac{V_{IP}^2}{R_1} \quad (8)$$

式中: P_{R1} 为 R_1 电阻承受的功率。

在实际使用时, 可以选择 R_1 和 R_2 的阻值和功率来适应不同类型输入信号。且一般要求电阻功率 $\geq 2 \times$ 电阻实际承受的功率。

下面以0~180 V AC输入为例来计算 R_1 和 R_2 的阻值和功率。

0~180 V交流电压输入时, 输入电压 $V_{in} \in [-254.52, 254.52] \text{ V}$, 需满足运放输出电压范围和ADC引脚输入范围要求, 即

$$(V_{OP} - V_{ON}) \in [-3, 3] \text{ V}$$

则可以得到: $R_1=R_2 \geq 418 \text{ k}\Omega$, 即0~180 V交流电压输入时, R_1 和 R_2 至少选用418 k Ω 以上, 采样电路才能采样0~180 V交流电压, 实际应用中选择 $R_1=R_2=499 \text{ k}\Omega$ 。则

$$(V_{AO} - V_{BO}) = \frac{4.99}{499 + 4.99} \cdot (V_{IP} - V_{IN}) \in [-2.52, 2.52] \text{ V}$$

$$P_{R1} = \frac{(V_{IP} - V_{AP})^2}{R_1} \approx \frac{V_{IP}^2}{R_1} = \frac{180^2}{499\ 000} = 0.065 \text{ W}$$

$$0.065 \times 2 = 0.13 \text{ W}$$

则 R_1, R_2 的电阻功率至少要达到0.13 W。在实际应用中, 考虑实际情况选用了0.5 W功率的电阻。

交流电流采样选用是电流钳方案, 内部采用互感器方式采样, 将交流电流转换为交流电压输出, 电流钳具体采用的指标为: 10 mV/A, 最大采样范围为100 A。则电流钳输出电压范围为0~1 V, 输入电压 $V_{in} \in [-1.414, 1.414] \text{ V}$ 。因此不需要分压。 $R_1=R_2=0 \Omega$, 功率同样选择了0.5 W。则

$$(V_{AO} - V_{BO}) = \frac{4.99}{0 + 4.99} \cdot (V_{IP} - V_{IN}) \in [-1.414, 1.414] \text{ V}$$

以此类推其余输入信号的采样电阻如表1所示。

表1 大信号采样电路参数值

Tab.1 Large signal sampling circuit parameters

输入范围	$R_1, R_2 / \text{k}\Omega$	功率/ W
0~180 V AC	499	0.5
0~400 V AC	1 000	0.5
0~100 A AC	0	0.5
0~20 V DC	100	0.5
0~200 V DC	750	0.5
0~2 000 V DC	10 000	1.0

2.3 小信号采样电路设计

小信号采样电路的采样信号主要包括 0~200 mV DC, 0~20 mA DC。电阻功率统一选择为 0.25 W。具体电路如图 3 所示。

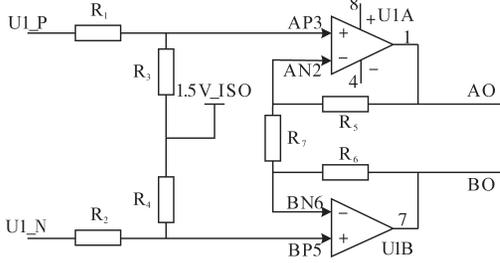


图3 小信号采样电路原理图

Fig.3 Small signal sampling circuit schematic

小采样电路运放及电源设计和大信号采样电路一致。

$$V_{AP} = 1.5 + V_{IP} \quad (9)$$

$$V_{BP} = 1.5 - V_{IN} \quad (10)$$

$$V_{AP} - V_{BP} = V_{IP} - V_{IN} \quad (11)$$

输入信号为电流信号时,则

$$V_{AP} = 1.5 + I_{IN} \cdot R_1 \quad (12)$$

式中: I_{IN} 为输入电流信号电流。

$$V_{BP} = 1.5 - I_{IN} \cdot R_1 \quad (13)$$

$$V_{AP} - V_{BP} = 2I_{IN} \cdot R_1 \quad (14)$$

根据运放“虚短”和“虚断”,可以得到:

$$\frac{V_{AO} - V_{AN}}{R_5} = \frac{V_{AN} - V_{BN}}{R_7} \quad (15)$$

$$\frac{V_{AN} - V_{BN}}{R_7} = \frac{V_{BN} - V_{BO}}{R_6} \quad (16)$$

$$\begin{cases} V_{AN} = V_{AP} \\ V_{BN} = V_{BP} \end{cases} \quad (17)$$

由以上公式可以得到:

$$V_{AO} - V_{BO} = (1 + 2 \cdot \frac{R_5}{R_7})(V_{AP} - V_{BP}) \quad (18)$$

当输入 0~200 mV DC 电压信号时, $R_1=R_2=4.99 \text{ k}\Omega$, $(V_{IP}-V_{IN}) \in [0, 200] \text{ mV}$, 则 $(V_{OP}-V_{ON}) \in [0, 2.4] \text{ V}$ 。

当输入 0~20 mA DC 电流信号时, $R_1=R_2=5.1 \Omega$, $I_{IN} \in [0, 20] \text{ mA}$, 则 $(V_{OP}-V_{ON}) \in [0, 2.448] \text{ V}$ 。

2.4 电阻漂移解决方案

2.2 节、2.3 节中对电阻参数的取值进行了研究,但是实际应用中的电阻是有误差的,这种误差主要由两方面构成,一是电阻本身的精度误差即电阻的精度,另一方面是电阻阻值会随着温度变化而变化即电阻的温度系数。

电路设计的精度要求是 0.5%,满足这个技术指标要从以下两个方面来进行处理:

1) 选用高精度的运放和电阻,运放选用了 TI 的 OPA2350,电阻方面考虑体积、精度、价格等各方面因素,选用了 Viking 的高精度金属膜电阻 CSR0207 系列,电阻精度 0.5%,电阻温度系数 $TCR=25 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$;

2) 整定,虽然选用了高精的运放和电阻,但各个元器件之间还是有误差,不过焊接完成后这个误差就固定了,因此为了采样结果中减少这个误差,在使用之前对电路参数进行整定,先把参数误差标定记录下来,正式使用时再用整定后的参数进行计算,可以进一步减小误差。

3 试验测试与结果分析

按照第 2 节的设计,完成装置的生产后,重点测试相关电路的精度和采样率是否达到设计要求。

3.1 采样电路精度测试

精度测试分为常规采样测试和谐波采样测试。常规采样时输入幅值变化、频率固定(交流信号频率固定为 50 Hz)的模拟量。谐波采样输入幅值固定、频率变化(只测交流信号)的模拟量。

针对不同输入电压和电流,分别通入装置,记录实时监视数据并计算相对误差。

3.1.1 常规采样精度测试

因篇幅关系,测试数据只列出了直流 0~20 mA 和交流 0~400 V 数据,如图 4、图 5 所示。按照《GB/T 14598.301—2020 电力系统连续记录装置技术要求》中 5.5.6 的要求,交流信号相对误差 $\leq 0.5\%$ 。直流信号相对误差 $\leq 1\%$,根据图 4、图 5 的测试数据进行统计和分析,结果如表 2 所示。

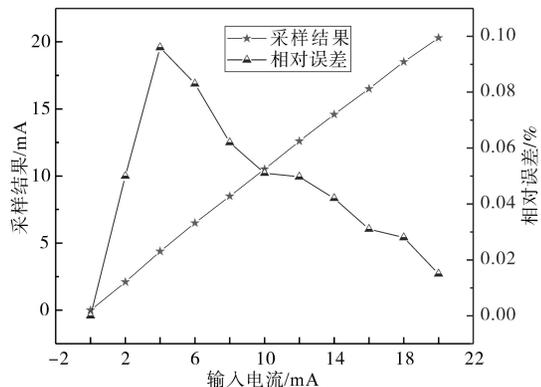


图4 直流 0~20 mA 输入采样结果及相对误差

Fig.4 DC 0~20 mA input sampling results and relative error

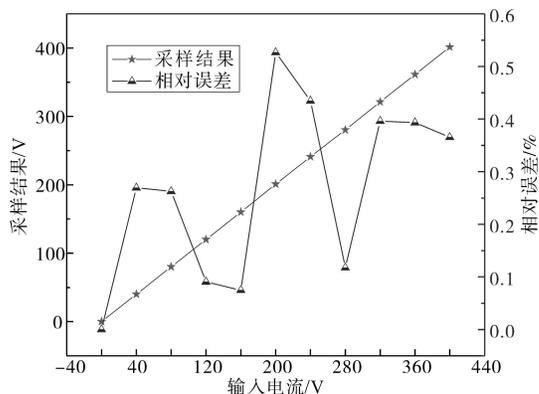


图5 交流0~400 V输入采样结果及相对误差

Fig.5 AC 0~400 V input sampling results and relative error

表2 常规采样测试结果

Tab.2 Conventional sampling test results

输入范围	最大误差/%	最大误差输入值	合格情况
0~20 mA DC	0.100	4 mA	合格
0~200 mV DC	0.390	20 mV	合格
0~20 V DC	0.083	6 V	合格
0~200 V DC	0.245	20 V	合格
0~2 000 V DC	0.128	800 V	合格
0~180 V AC	0.083	18 V	合格
0~400 V AC	0.027	40 V	合格
0~100 A AC	0.037	60 A	合格

3.1.2 谐波采样精度测试

谐波测试时,输入额定 U_n 为57.735 V/50 Hz,各次谐波含量为20% U_n 即11.547 V。输入额定 I_n 为5 A/50 Hz,各次谐波含量为20% I_n 即1 A。

由于篇幅关系,测试数据只列出了0~400 V数据,如图6所示。

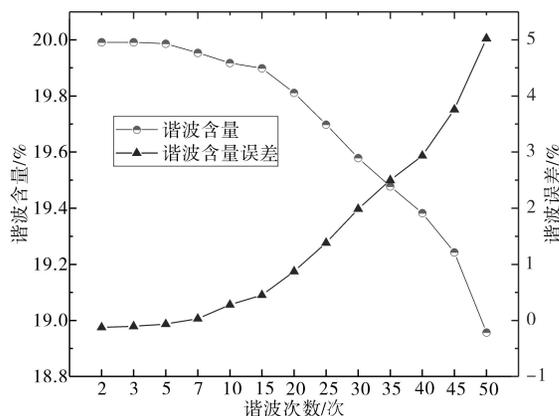


图6 交流0~400 V输入谐波采样结果及相对误差

Fig.6 AC 0~400 V input harmonic sampling results and relative error

按照《GB/T 14598.301—2020 电力系统连续记录装置技术要求》中5.5.6.10的要求:装置应具备25次及以下谐波分析功能,谐波分量测量误差不大于5%。根据图6的测试数据进行统计和分析,结果如表3所示。

表3 谐波采样测试结果

Tab.3 Harmonic sampling test results

输入范围	25次内最大误差/%	50次内最大误差/%	合格情况
0~180 V AC	1.498	5.802	合格
0~400 V AC	1.445	5.695	合格
0~100 A AC	2.500	5.900	合格

由图4~图6可以看出,本文设计的模拟信号隔离采样电路在各种输入信号和范围时,幅值和谐波精度较高,达到了设计要求。

3.2 500 kHz采样率测试

本文的另一个核心设计目标为500 kHz采样率设计,将交流电压通道接入额定电压,启动录波并分析,220 kV正河线合并单元A套PCS221CB各相电压录波图如图7所示。

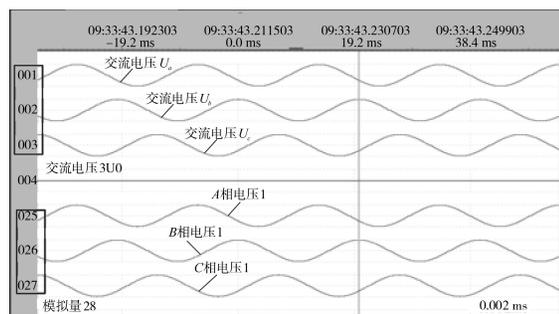


图7 故障录波波形

Fig.7 Fault recorded waveforms

在图7中,实线游标为第109 999个采样点,虚线游标为第110 000个采样点。两个采样点之间相差0.002 ms,即2 μ s,采样频率为500 kHz。达到了设计要求。

4 结论

本文提出了一种适用于便携录波装置的模拟信号隔离采样电路方案,此方案采用单通道ADC芯片,通过简单的电阻匹配应用交直流电压和直流电流等信号。设计了相关装置,对各种输入信号的常规采样、谐波采样和采样率进行测试。测试结果证明了本文提出的采样方案具有很高的精度同时具备了国内最高的故障录波采样率。目前本方案已经批量使用于相关装置,并得到了良好的应用效果。

参考文献

- [1] 梁晓兵,周捷,杨永标,等.基于IEC 61850的新型合并单元的研制[J].电力系统自动化,2007,31(7):85-89.

Liang Xiaobing, Zhou Jie, Yang Yongbiao, et al. Development

- of a new type of merging unit based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(7): 85-89.
- [2] 张文亮, 汤涌, 曾南超. 多端高压直流输电技术及应用前景[J]. 电网技术, 2010, 34(9): 1-6.
Zhang Wenliang, Tang Yong, Zeng Nanchao. Multi-terminal HVDC transmission technologies and its application prospects in China [J]. Power System Technology, 2010, 34(9): 1-6.
- [3] 何炎. 多端柔性直流输电有功分配协调及优化控制技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2019.
He Yan. Research on active power distribution coordination and optimal control technology of multi-terminal flexible HVDC transmission [D]. Nanjing: Southeast University, 2019.
- [4] Li Bin, He Jiawei, Tian Jie, *et al.* DC fault analysis for modular multilevel converter-based system[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2017, 5(2): 275-282.
- [5] 丁晓彬. 多端高压直流输电系统保护策略研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2018.
Ding Xiaobin. Research on protection strategy of multi-terminal HVDC system [D]. Beijing: North China Electric Power University (Beijing), 2018.
- [6] 王奥. 背靠背柔直的VSG控制策略及柔直短路特性的仿真研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2018.
Wang Ao. Simulation study on back-to-back flexible VSG control strategy and flexible short circuit characteristics [D]. Beijing: North China Electric Power University (Beijing), 2018.
- [7] 王岩. 大规模光伏经柔直并网系统的协调控制策略研究[D]. 济南: 山东大学, 2018.
Wang Yan. Research on coordinated control strategy of large-scale photovoltaic grid-connected system [D]. Jinan: Shandong University, 2018.
- [8] An Ting, Han Congda, Wu Yanan, *et al.* HVDC grid test models for different application scenarios and load flow studies[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2017, 5(2): 262-274.
- [9] 朱诚, 徐腾飞, 金运昌, 等. 一种高精度模拟信号隔离电路设计[J]. 现代电子技术, 2020, 43(6): 9-12, 17.
Zhu Cheng, Xu Tengfei, Jin Yunchang, *et al.* Design of high precision analog signal isolation circuit[J]. Modern Electronics Technique, 2020, 43(6): 9-12, 17.
- [10] 梁军. 先进电力故障录波监测系统和精确故障定位研究[D]. 济南: 山东大学, 2006.
Liang Jun. Research on advanced power fault recording and monitoring system and accurate fault location [D]. Jinan: Shandong University, 2006.
- [11] Zhang Hao, Xu Honglin, Fan Yichen, *et al.* A time-interleaved pipelined ADC with ultra high speed sampling[J/OL]. Indian Academy of Sciences: (2020-08-18) [2021-05-24]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12046-020-01440-z>.
- [12] MAX11901, 16-bit, 1.6 Msps, Low-power, fully differential SAR ADC data sheet. MAXIM[Z/OL]. [2021-05-24]. <https://www.maximintegrated.com/cn/products/analog/data-converters/analog-to-digital-converters/MAX11901.html>.
- [13] 马文宁. 基于CD4046锁相环的电压隔离采样电路设计[J]. 现代导航, 2019(3): 228-231.
Ma Wenning. Design of voltage isolation sampling circuit based on CD4046 phase locked loop [J]. Modern Navigation, 2019(3): 228-231.
- [14] 刘希高, 凌春晖, 吕馥言, 等. 基于HCNR201的高精度模拟信号隔离电路设计[J]. 仪表技术与传感器, 2017, 1: 147-150, 154.
Liu Xigao, Ling Chunhui, Lü Fuyan, *et al.* Design of high precision analog signal isolation circuit based on HCN201[J]. Instrument Technique and Sensor, 2017, 1: 147-150, 154.
- [15] 王振, 丁立波, 张合. 一种基于HCNR201的高精度绝缘检测电路[J]. 自动化技术与应用, 2018, 37(5): 86-89.
Wang Zhen, Ding Libo, Zhang He. A high-precision insulation detection circuit based on HCN201[J]. Techniques of Automation and Applications, 2018, 37(5): 86-89.

收稿日期: 2021-05-24

修改稿日期: 2021-06-15