

《自整角机/旋转变压器模拟器校准规范》

试验验证报告

中国计量科学研究院

一、验证试验目的

选取 2 台自整角机旋转变压器模拟器校准规范作为试验对象，按校准规范中规定的主要检测项目进行检测，验证该校准规范的正确性和可行性。

二、验证试验项目

1 自整角机模拟器电角度示值误差

1.1 试验方法

验证中采用 7.2.2.3 对被校自整角机/旋转变压器模拟器的自整角机模式进行试验。

1.2 验证系统组成和所用设备

名称	测量范围	等级	编号
隔离式宽频感应分压器	0~1	3×10^{-7}	21TM001
相角电压表	(0~150) V	20 μ V	555009

1.3 被校自整角机/旋转变压器模拟器

序号	设备名称	型号	技术指标	设备编号	制造厂
1	同步解算标准器	5300	0.0005°	176411	North Atlantic

1.4 试验条件

环境温度：20.3℃

相对湿度：55%

1.5 原始数据

表 1.1 解算模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	误差 (°)	扩展不确定度 (°)
0.0000	0.00000	0.00000	$U=0.0001$ ($k=2$)
15.0000	15.00052	0.00052	
30.0000	30.00076	0.00076	
45.0000	45.00092	0.00092	
60.0000	59.99997	-0.00003	
75.0000	75.00001	0.00001	
90.0000	90.00000	0.00000	
105.0000	104.99999	-0.00001	
120.0000	120.00007	0.00007	
135.0000	135.00000	0.00000	
150.0000	149.9992	-0.00080	
165.0000	164.99953	-0.00047	
180.0000	180.00000	0.00000	
195.0000	195.00042	0.00042	
210.0000	210.0008	0.00080	
225.0000	225.00095	0.00095	
240.0000	240.00001	0.00001	
255.0000	255.00001	0.00001	
270.0000	270.00000	0.00000	
285.0000	284.99999	-0.00001	
300.0000	300.00007	0.00007	
315.0000	315.00003	0.00003	
330.0000	329.99924	-0.00076	
345.0000	344.99958	-0.00042	

频率：400 Hz； V_{REF} ：26 V； V_{L-L} ：11.8 V

表 1.2 解算模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	误差 (°)	扩展不确定度 (°)
0.00000	0.00000	0.00000	$U=0.0001$ ($k=2$)
0.00052	15.00026	0.00026	
0.00076	30.00055	0.00055	
0.00092	45.00066	0.00066	
-0.00003	59.99962	-0.00038	
0.00001	74.99990	-0.00010	
0.00000	90.00000	0.00000	
-0.00001	105.00004	0.00004	
0.00007	120.00020	0.00020	
0.00000	135.00017	0.00017	
-0.00080	149.99945	-0.00055	
-0.00047	164.99969	-0.00031	
0.00000	180.00000	0.00000	
0.00042	195.00026	0.00026	
0.00080	210.00063	0.00063	
0.00095	225.00069	0.00069	
0.00001	239.99988	-0.00012	
0.00001	254.99990	-0.00010	
0.00000	270.00000	0.00000	
-0.00001	285.00010	0.00010	
0.00007	300.00020	0.00020	
0.00003	315.00017	0.00017	
-0.00076	329.99945	-0.00055	
-0.00042	344.99974	-0.00026	

频率: 400 Hz; V_{REF} : 26 V; $V_{\text{L-L}}$: 26 V

表 1.3 解算模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	误差 (°)	扩展不确定度 (°)
0.00000	0.00000	0.00000	$U=0.0001$ ($k=2$)
0.00052	14.99999	-0.00001	
0.00076	30.00029	0.00029	
0.00092	45.00029	0.00029	
-0.00003	59.99997	-0.00003	
0.00001	75.00001	0.00001	
0.00000	90.00000	0.00000	
-0.00001	104.99999	-0.00001	
0.00007	119.99999	-0.00001	
0.00000	135.00040	0.00040	
-0.00080	149.99971	-0.00029	
-0.00047	164.99985	-0.00015	
0.00000	180.00000	0.00000	
0.00042	195.00015	0.00015	
0.00080	210.00029	0.00029	
0.00095	225.00032	0.00032	
0.00001	240.00001	0.00001	
0.00001	255.00001	0.00001	
0.00000	270.00000	0.00000	
-0.00001	284.99999	-0.00001	
0.00007	299.99999	-0.00001	
0.00003	315.00046	0.00046	
-0.00076	329.99975	-0.00025	
-0.00042	344.99990	-0.00010	

频率：400 Hz； V_{REF} ：26 V； V_{L-L} ：90 V

1.6 试验验证结果

在校准规范规定的试验条件下，试品电角度误差符合规范要求。

1.7 结论

验证结果表明校准规范项目和技术要求合理、方法正确，可操作性较强。

1.8 验证时间和人员

验证时间：2022 年 9 月 7 日

验证人员：王维、刘夏

2 旋转变压器模拟器电角度示值误差

2.1 试验方法

验证中采用 7.2.3.3 对被校自整角机/旋转变压器模拟器的旋转变压器模式进行试验。

2.2 验证系统组成和所用设备

名称	测量范围	等级	编号
隔离式宽频感应分压器	0~1	3×10^{-7}	21TM001
相角电压表	(0~150) V	20 μ V	555009

2.3 被校自整角机/旋转变压器模拟器

序号	设备名称	型号	技术指标	设备编号	制造厂
1	同步解算标准器	5300	0.0005°	176411	North Atlantic

2.4 试验条件

环境温度：20.3℃

相对湿度：55%

2.5 原始数据

表 2.1 同步模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	误差 (°)	扩展不确定度 (°)
0.00000	-0.00046	-0.00046	$U=0.0001$ ($k=2$)
0.00052	14.99993	-0.00007	
0.00076	30.00033	0.00033	
0.00092	45.00063	0.00063	
-0.00003	60.00084	0.00084	
0.00001	74.99993	-0.00007	
0.00000	90.00013	0.00013	
-0.00001	105.00020	0.00020	
0.00007	120.00040	0.00040	
0.00000	134.99980	-0.00020	
-0.00080	149.99934	-0.00066	
-0.00047	165.00026	0.00026	
0.00000	180.00055	0.00055	
0.00042	194.99993	-0.00007	
0.00080	210.00033	0.00033	
0.00095	225.00069	0.00069	
0.00001	240.00084	0.00084	
0.00001	254.99999	-0.00001	
0.00000	270.00013	0.00013	
-0.00001	285.00026	0.00026	
0.00007	300.00040	0.00040	
0.00003	314.99980	-0.00020	
-0.00076	329.99993	-0.00007	
-0.00042	345.00026	0.00026	

频率: 400 Hz; V_{REF} : 26 V; $V_{\text{L-L}}$: 11.8 V

表 2.2 同步模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	误差 (°)	扩展不确定度 (°)
0.00000	-0.00040	-0.00040	$U=0.0001$ ($k=2$)
0.00052	14.99993	-0.00007	
0.00076	30.00033	0.00033	
0.00092	45.00057	0.00057	
-0.00003	60.00074	0.00074	
0.00001	74.99993	-0.00007	
0.00000	90.00007	0.00007	
-0.00001	105.00020	0.00020	
0.00007	120.00030	0.00030	
0.00000	134.99974	-0.00026	
-0.00080	149.99934	-0.00066	
-0.00047	165.00026	0.00026	
0.00000	180.00050	0.00050	
0.00042	194.99999	-0.00001	
0.00080	210.00033	0.00033	
0.00095	225.00063	0.00063	
0.00001	240.00074	0.00074	
0.00001	254.99999	-0.00001	
0.00000	270.00007	0.00007	
-0.00001	285.00020	0.00020	
0.00007	300.00035	0.00035	
0.00003	314.99980	-0.00020	
-0.00076	329.99993	-0.00007	
-0.00042	345.00026	0.00026	

频率：400 Hz； V_{REF} ：26 V； V_{L-L} ：26 V

表 2.3 同步模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	误差 (°)	扩展不确定度 (°)
0.00000	-0.00011	-0.00011	$U=0.0001$ ($k=2$)
0.00052	15.00011	0.00011	
0.00076	30.00040	0.00040	
0.00092	45.00051	0.00051	
-0.00003	60.00060	0.00060	
0.00001	75.00005	0.00005	
0.00000	90.00007	0.00007	
-0.00001	104.99989	-0.00011	
0.00007	120.00005	0.00005	
0.00000	134.99993	-0.00007	
-0.00080	149.99993	-0.00007	
-0.00047	165.00001	0.00001	
0.00000	180.00015	0.00015	
0.00042	195.00011	0.00011	
0.00080	210.00040	0.00040	
0.00095	225.00051	0.00051	
0.00001	240.00055	0.00055	
0.00001	255.00011	0.00011	
0.00000	270.00007	0.00007	
-0.00001	284.99989	-0.00011	
0.00007	300.00005	0.00005	
0.00003	314.99999	-0.00001	
-0.00076	329.99993	-0.00007	
-0.00042	345.00007	0.00007	

频率：400 Hz； V_{REF} ：26 V； V_{L-L} ：90 V

2.6 试验验证结果

在校准规范规定的试验条件下，试品电角度误差符合规范要求。

2.7 结论

验证结果表明校准规范项目和技术要求合理、方法正确，可操作性较强。

2.8 验证时间和人员

验证时间：2022 年 9 月 7 日

验证人员：王维、刘夏

3 输出参考电压示值误差

3.1 试验方法

验证中采用 7.2.4 对被校自整角机/旋转变压器模拟器进行试验。

3.2 验证系统组成和所用设备

名称	测量范围	等级	编号
数字多用表	(0~150) V	1×10^{-4}	C4525094

3.3 被校自整角机/旋转变压器模拟器

序号	设备名称	型号	技术指标	设备编号	制造厂
1	同步解算标准器	5300	5%	176411	North Atlantic

3.4 试验条件

环境温度：20.3℃

相对湿度：55%

3.5 原始数据

表 3.1 400Hz 下参考电压校准

电压设定值 (V)	实测值 (V)	扩展不确定度 (V)
4	4.02	$U=0.01$ ($k=2$)
11.8	11.87	
26	26.16	
115	116.08	

3.6 试验验证结果

在校准规范规定的试验条件下，试品输出参考电压准确度等级均符合规程要求。

3.7 结论

验证结果表明规范校准项目和技术要求合理、校准方法正确，可操作性较强。

3.8 验证时间和人员

验证时间：2022 年 9 月 7 日

验证人员：王维、刘夏

4 输出线电压示值误差

4.1 试验方法

验证中采用 7.2.5 对被校自整角机/旋转变压器模拟器进行试验。

4.2 验证系统组成和所用设备

名称	测量范围	等级	编号
数字多用表	(0~150) V	1×10^{-4}	C4525094

4.3 被校自整角机/旋转变压器模拟器

序号	设备名称	型号	技术指标	设备编号	制造厂
1	同步解算标准器	5300	5%	176411	North Atlantic

4.4 试验条件

环境温度：20.3℃

相对湿度：55%

4.5 原始数据

表 4.1 400Hz 下线电压校准

电压设定值 (V)	实测值 (V)	扩展不确定度 (V)
2	2.01	$U=0.01$ ($k=2$)
11.8	11.85	
26	26.07	
90	90.11	

4.6 试验验证结果

在校准规范规定的试验条件下，试品输出参考电压准确度等级均符合规程要求。

4.7 结论

验证结果表明规范校准项目和技术要求合理、校准方法正确，可操作性较强。

4.8 验证时间和人员

验证时间：2022 年 9 月 7 日

验证人员：王维、刘夏

5 参考频率示值误差

5.1 试验方法

验证中采用 7.2.6 对被校自整角机/旋转变压器模拟器进行试验。

5.2 验证系统组成和所用设备

名称	测量范围	等级	编号
通用计数器	(1~100M) Hz	1×10^{-5}	4110750

5.3 被校自整角机/旋转变压器模拟器

序号	设备名称	型号	技术指标	设备编号	制造厂
1	同步解算标准器	5300	1%	176411	North Atlantic

5.4 试验条件

环境温度：20.3℃

相对湿度：55%

5.5 原始数据

表 5.1 26V 参考电压下频率校准

频率设定值	实测值	扩展不确定度
400	400.000	$U_{rel}=0.005\%$ ($k=2$)
1200	1200.18	
10000	10000.0	

5.6 试验验证结果

在校准规范规定的试验条件下，试品输出参考电压频率准确度等级均符合规程要求。

5.7 结论

验证结果表明规范校准项目和技术要求合理、校准方法正确，可操作性较强。

5.8 验证时间和人员

验证时间：2022 年 9 月 7 日

验证人员：王维、刘夏

6 自整角机模拟器电角度示值误差

6.1 试验方法

验证中采用 7.2.2.5 对被校自整角机/旋转变压器模拟器的自整角机模式进行试验。

6.2 验证系统组成和所用设备

名称	测量范围	等级	编号
角度位置指示器	0~360°	0.0015°	R11637

6.3 被校自整角机/旋转变压器模拟器

序号	设备名称	型号	技术指标	设备编号	制造厂
1	同步解算模块	A5410C-30-1	0.009°	93720	North Atlantic

6.4 试验条件

环境温度：20.3℃

相对湿度：55%

6.5 原始数据

表 6.1 自整角机模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	扩展不确定度 (°)
0	-0.0014	$U=0.0025\ (k=2)$
15	15.0070	
30	30.0171	
45	45.0234	
60	60.0302	
75	75.0195	
90	90.0002	
105	104.9849	
120	119.9821	
135	134.9751	
150	149.9869	
165	164.9938	
180	180.0010	
195	195.0109	
210	210.0171	
225	225.0235	
240	240.0301	
255	255.0199	
270	270.0002	
285	284.9856	
300	299.9811	
315	314.9740	
330	329.9851	
345	344.9946	

频率：400 Hz； V_{REF} ：26 V； V_{L-L} ：11.8 V

表 6.2 自整角机模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	扩展不确定度 (°)
0	-0.0016	$U=0.0025$ ($k=2$)
15	15.0069	
30	30.0167	
45	45.0237	
60	60.0300	
75	75.0197	
90	90.0002	
105	104.9852	
120	119.9819	
135	134.9752	
150	149.9873	
165	164.9943	
180	180.0014	
195	195.0110	
210	210.0168	
225	225.0233	
240	240.0289	
255	255.0188	
270	270.0002	
285	284.9867	
300	299.9802	
315	314.9746	
330	329.9853	
345	344.9959	

频率: 400 Hz; V_{REF} : 115 V; $V_{\text{L-L}}$: 90 V

表 6.3 自整角机模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	扩展不确定度 (°)
0	-0.0069	$U=0.0025$ ($k=2$)
15	15.0041	
30	30.0094	
45	45.0065	
60	60.0082	
75	75.0049	
90	90.0010	
105	105.0016	
120	120.0000	
135	134.9951	
150	149.9938	
165	164.9900	
180	179.9931	
195	195.0042	
210	210.0102	
225	225.0082	
240	240.0099	
255	255.0061	
270	270.0012	
285	284.9928	
300	299.9845	
315	314.9749	
330	329.9757	
345	344.9815	

频率：400 Hz； V_{REF} ：115 V； V_{L-L} ：90 V

6.6 试验验证结果

在校准规范规定的试验条件下，试品电角度误差符合规范要求。

6.7 结论

验证结果表明校准规范项目和技术要求合理、方法正确，可操作性较强。

6.8 验证时间和人员

验证时间：2022 年 9 月 7 日

验证人员：王维、刘夏

7 旋转变压器模拟器电角度示值误差

7.1 试验方法

验证中采用 7.2.3.5 对被校自整角机/旋转变压器模拟器的旋转变压器模式进行试验。

7.2 验证系统组成和所用设备

名称	测量范围	等级	编号
角度位置指示器	0~360°	0.0015°	R11637

7.3 被校自整角机/旋转变压器模拟器

序号	设备名称	型号	技术指标	设备编号	制造厂
1	同步解算模块	A5410C-30-1	0.009°	93720	North Atlantic

7.4 试验条件

环境温度：20.3℃

相对湿度：55%

7.5 原始数据

表 7.1 旋转变压器模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	扩展不确定度 (°)
0	-0.0009	$U=0.0025$ ($k=2$)
15	14.9989	
30	30.0000	
45	45.0011	
60	59.9970	
75	75.0022	
90	90.0018	
105	104.9954	
120	120.0017	
135	134.9977	
150	149.9957	
165	164.9972	
180	179.9994	
195	194.9988	
210	209.9969	
225	225.0012	
240	239.9981	
255	254.9989	
270	269.9989	
285	284.9961	
300	300.0030	
315	314.9990	
330	330.0015	
345	344.9980	

频率：400 Hz；V_{REF}：26 V；V_{L-L}：11.8 V

表 7.2 旋转变压器模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	扩展不确定度 (°)
0	-0.0003	$U=0.0025\ (k=2)$
15	15.0052	
30	29.9948	
45	44.9860	
60	59.9969	
75	75.0000	
90	90.0017	
105	104.9955	
120	120.0019	
135	134.9961	
150	149.9991	
165	164.9937	
180	179.9940	
195	194.9983	
210	209.9925	
225	224.9876	
240	239.9969	
255	254.9966	
270	269.9981	
285	284.9965	
300	300.0033	
315	314.9977	
330	329.9889	
345	344.9852	

频率：5000 Hz； V_{REF}： 7.8 V； V_{L-L}： 3.5 V

表 7.3 旋转变压器模式角度值校准

设定角度 (°)	实测角度 (°)	扩展不确定度 (°)
0	0.0057	$U=0.0025\ (k=2)$
15	15.0037	
30	29.9910	
45	44.9944	
60	59.9765	
75	74.9815	
90	89.9950	
105	105.0145	
120	120.0162	
135	135.0229	
150	150.0157	
165	165.0069	
180	180.0012	
195	195.0012	
210	209.9926	
225	224.9946	
240	239.9781	
255	254.9833	
270	269.9957	
285	285.0090	
300	300.0123	
315	315.0095	
330	330.0041	
345	345.0007	

频率：5000 Hz； V_{REF} ：26 V； V_{L-L} ：11.8 V

6.6 试验验证结果

在校准规范规定的试验条件下，试品电角度误差符合规范要求。

6.7 结论

验证结果表明校准规范项目和技术要求合理、方法正确，可操作性较强。

6.8 验证时间和人员

验证时间：2022 年 9 月 7 日

验证人员：王维、刘夏

编制组

2022 年 10 月