

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

输变电设备在线监测装置校准规范
特高频局部放电在线监测装置

Calibration Specification for On-line Monitoring Device of Ultra High Frequency

Partial Discharge On-line Monitoring Device

(征求意见稿)

(本稿完成时间 2022.5.8)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局发布

输变电设备在线监测装置校准规范
特高频局部放电在线监测装置

JJF XXXX-XX

Calibration Specification for On-line

Monitoring Device of Ultra High

Frequency Partial Discharge On-line Monitoring Device

归口单位：全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引 言	<u>II</u>
1 范围	<u>1</u>
2 引用文件	<u>1</u>
3 术语和计量单位	<u>1</u>
4 概述	<u>1</u>
5 计量性能要求	<u>2</u>
5.1 上下限频率	<u>2</u>
5.2 幅值线性	<u>2</u>
6 校准条件	<u>2</u>
6.1 环境条件	<u>2</u>
6.2 测量标准及辅助设备	<u>2</u>
7 校准项目和方法	<u>3</u>
7.1 校准项目	<u>3</u>
7.2 校准方法	<u>3</u>
8 校准结果表达	<u>6</u>
8.1 数据处理	<u>6</u>
9 复校时间间隔	<u>6</u>
附录 A 实验室环境下幅值线性校准方法	<u>7</u>
附录 B 安装后及运行中的装置校准方法	<u>8</u>
附录 C 校准原始记录格式	<u>9</u>
附录 D 校准证书内页格式	<u>11</u>
附录 E 不确定度评定示例	<u>13</u>

引言

本文件依据国家计量技术规范 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编制。
JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语与定义》与
JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性
系列规范。
本规范首次制定。

输变电设备在线监测装置校准规范

特高频局部放电在线监测装置

1 范围

本规范适用于输变电设备特高频局部放电在线监测装置的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

DL/T1694.1-2017 高压测试仪器及设备校准规范 第1部分：特高频局部放电在线监测装置。

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 特高频局部放电在线监测装置 Ultra high frequency partial discharge online device

监测运行中电气设备内部局部放电时产生特高频信号幅值及特征的一种装置。

3.2 幅频特性 Magnitude-frequency characteristic

表征特高频局部放电传感器将局部放电辐射的电磁波能量转换为电压信号的能力。

3.3 镜面单锥横电磁波小室 (TEM 小室) Mirror monoconical TEM cell

由金属平面和圆锥天线构成的用于标定脉冲电磁场传感器的系统。

3.4 吉赫兹横电磁波小室 (GTEM 小室) GHz transverse electromagnetic cell

是一种由 TEM Cell 与电波暗室混合而成的结构形式，为避免内部电磁波的反射和谐振，外形上设计成尖锥形，末段具备吸波材料和负载。

4 概述

特高频局部放电在线监测装置（以下简称装置）作为监测运行中电气设备内部局部放电时产生特高频信号的测量装置，主要由测量传感器和智能电子设备单元（IED）及状态接入控制器单元（CAC）三部分组成。装置是利用特高频传感器采集局部放电信号，并将信号输入到智能电子设备单元（IED），智能电子设备单元（IED）经过信号处理、计算得到局部放电的幅值和特征，按照约定的通信协议将测量结果上传至状态接入控制器单元（CAC），装置工作流程如图1所示。

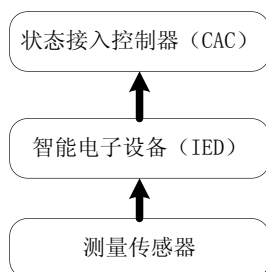


图1 装置工作流程图

5 计量性能要求

5.1 上下限频率

上下限截止频率在 300MHz-3GHz 之间，上下限频率最大允许误差：实验室校准最大允许误差一般不超过±15%。

5.2 幅值线性

装置幅值线性测量最大允许误差：实验室校准最大允许误差一般不超过±15%。

6 校准条件

6.1 环境条件

实验室校准条件应满足以下要求：

- 电源电压：(220±11) V；
- 电源频率：(50±0.5) Hz；
- 环境温度：(20±5) °C；
- 环境湿度：(30~80) %RH；
- 周围无影响正常校准工作的电磁场。

现场校准条件应满足以下要求：

- 环境温度：(-25~70) °C；
- 相对湿度：5%~100%。

注：实施现场校准时测量标准所处环境参照实验室校准条件。

6.2 测量标准及辅助设备

实验室校准用设备见表1中的规定。

表1 实验室校准用设备

序号	设备名称	性能指标
1	标准射频信号发生器	频率范围：应覆盖被校装置的频率范围； 功率电平幅值调节范围：不小于(-80~+10) dBm，且能覆盖待检局放在线监测装置动态范围； 与镜面单锥 TEM 小室组合作为标准电场信号发生装置使用时，最大允许误差优于被校装置最大允许误差的 1/3
2	标准脉冲发生器	输出幅值不低于 100V,宜为可调的方波或双指数脉冲； 上升沿：(20%~80%)≤300ps； 半波时间 4ns~100ns； 峰值电压不确定度优于 5%
3	校准系统主控模块	示波器的模拟带宽要求应覆盖被校装置的频率范围，采样率不低于被校装置最高频率的 5 倍，幅值测量最大允许误差优于被校装置最大允许误差的 1/3。
4	镜面单锥 TEM 小室	频率范围：应覆盖（300MHz~3GHz）； 输入阻抗：50Ω±2Ω； 电压驻波比：≤2； 规格尺寸：母线长不小于 1.5m； 地面的水平度不超过 ±0.3° 场均匀度：不超过±3dB
	或者 吉赫兹横电磁波小室 (GTEM 小室)	频率范围：应覆盖（300MHz~1.5GHz）； 输入阻抗：50Ω±2Ω； 电压驻波比：≤2； 规格尺寸：≥3000×1000×1000mm(长×宽×高) 场均匀度：不超过±3dB
5	标准电场探头	频率范围：应覆盖被校装置频率范围； 电场强度测量范围：优于 1V/m~50V/m； 电压驻波比：≤2； 最大允许误差：优于被校装置最大允许误差的 1/3

7 校准项目和方法

7.1 校准项目

校准项目包括上下限截止频率、幅值线性。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

7.2.1.1 外观及通电检查

采用目测法进行外观检查，检查内容包括：

——装置本体和功能单元外观情况，包括接地端钮和接地标识；

——装置面板或铭牌是否明确标明名称、型号、测量范围、最大允许误差、制造厂名称、出厂日期、出厂编号等信息；

——装置通电后，显示屏、指示灯应正常，各单元应正常工作。

7.2.1.2 通信检查

如图 2 所示接线，射频信号发生器输出一合适的标准信号，检查装置本地显示单元读数与 CAC 读数是否一致，装置各组成单元（包括测量传感器、智能电子设备单元及状态接入控制器单元等）应通信正常。

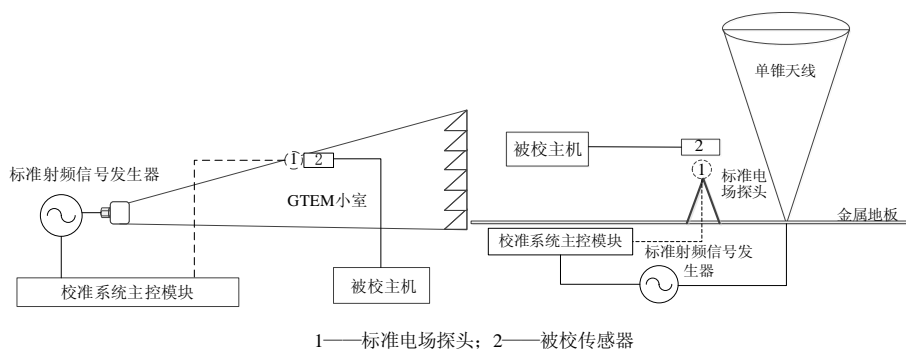
7.2.1.3 灵敏度检查

如图 2 所示接线，调节标准射频信号发生器输出，直到被校装置能够以不小于 2 的信噪比可靠反映出信号，得出此时的入射场强，该场强即为被校装置的灵敏度，灵敏度一般不大于 -57dBm。

7.2.1.4 短时稳定性检查

如图 2 所示接线，将被校装置开机连续工作 4h，注入一定的标定信号，检查检测仪各项功能是否正常，并记录刚开机和连续工作 4h 后的信号幅值，幅值的变化一般不超过 $\pm 5\%$ 。

7.2.2 上下限截止频率



(a) GTEM 小室校准接线示意 (b) 镜面单锥 TEM 小室校准接线示意

图 2 实验室校准接线图

校准接线如图 2，根据被校装置频率选择辅助设备（GTEM 小室适合频率 300MHz-1.5GHz，镜面单锥 TEM 小室适合 300MHz-3GHz），在保持输出幅值不变的情况下，设置标准射频信号发生器输出频率为被校装置上下限截止频率的中间值，并调节标准射频信号源输出频率在中间值附近找到被校装置输出幅值最大且相对平稳区域的频率点，

以此频率点为中心频率，设置标准射频信号发生器正弦波脉冲调制信号输出频率为被校装置的中心频率，调节特高频信号幅值使被校装置处于幅值的 70% 左右。保持该点电场强度不变，用被校传感器替代电场探头，向下调节正弦波信号频率，使被校装置显示值降幅达到 6dB，记录此时信号源的频率作为被校装置的下限频率 f_x ；同理，从被校装置中心频率点往上增加频率值，找出并记录上限频率，而后与装置标称上下限截止频率 f_0 进行比较，误差按 (1) 计算。

$$\gamma_f = \frac{f_x - f_0}{f_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

γ_f ——被校装置上、下频率测量值的相对误差；

f_0 ——被校装置上下限截止频率标称值，MHz；

f_x ——被校装置上、下限频率实测值，MHz。

7.2.3 幅值线性

按图 2 所示接线，根据被校装置上下限频率选择 GTEM 小室或镜面单锥 TEM 小室（GTEM 小室适合频率 300MHz-1.5GHz，镜面单锥 TEM 小室适合 300MHz-3GHz），在被校装置频率测试范围内，取上下限频率和中心频率 3 个频率点进行幅值校准。记下被校装置最大示值 B 以及射频信号发生器标准值 A 。依次降低输入信号至原信号的 λ_i 倍（ λ_i 的选取：被校装置的幅值测量上限的 25%、50%、75%、100% 及测量下限值，其它校准点可根据实际需要进行增补），记下被校装置相应示值 B_λ 。被校装置在各测量点的幅值线性误差按式 (2) 计算：

$$\varepsilon_f = \frac{B_\lambda / B - \lambda_i}{\lambda_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

λ_i ——标准信号的比例；

A ——标准值；

B_λ ——示值；

ε_f ——幅值线性误差。

注：(2) 式中如有对数形式的值，则需要换算到线性坐标系，换算方法参考附录 A。

8 校准结果表达

8.1 数据处理

校准数据结果末位应与测量结果扩展不确定度的末位对齐。

8.2 校准证书

测试仪经校准后出具校准证书，校准证书由封面和校准数据页组成。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

实验室环境下幅值线性校准方法见附录 A，安装后及运行中的装置校准方法见附录 B，校准原始记录格式见附录 C，校准证书内页格式见附录 D，不确定度的评定示例见附录 E。

9 复校时间间隔

装置投运后应在装置出现报警、数据异常时进行校准。

附录 A 实验室环境下幅值线性校准方法

(规范性附录)

A.1 单位换算方法

本规范的主要校准参量是“幅值线性”，其分子分母随时信号激励一同变化。考虑到各厂生产的监测装置量值表示形式不一致，不要求分子分母量纲一致，分子分母的坐标系应属于同一形式（同为线性或同为对数坐标系），若出现坐标系不一致的情况，需在处理校准数据时先进行坐标系变换。如标准值、试品示值如果是分贝形式（对数坐标系），都要通过单位换算折算为绝对量（线性坐标系），可根据式(A1)进行单位换算，针对 50Ω 阻抗的射频系统，单位 dBm 表示以 1mW 为基准功率的功率电平值。为便于计算幅值线性，需要将对数表示的功率电平换算为电压。

$$10\lg\left(\frac{P}{P_0}\right) = 20\lg\left(\frac{U}{U_0}\right) \quad (\text{A1})$$

A.2 典型场强发生设备及校准原理

(1) 采用 GTEM 小室开展校准

采用可测量连续信号的电场探头（如 EP600 型电场探头）作为传递标准，与被校局放在线监测装置的传感器一同置于 GTEM 小室的适当区域，例如顶板上板开孔处或芯板下部 1/3 处均可。为在 GTEM 小室适当位置产生足够强度的信号，通过标准射频信号发生器向 GTEM 小室注入连续信号，直接测得指定位置的电场强度值，从而开展对局放在线监测装置的校准。

(2) 采用镜面单锥系统开展校准

通过采用该系统，可产生空间可计算电磁场。镜面单锥系统是由金属平面和圆锥天线构成的用于标定脉冲电磁场传感器的系统，可以注入连续信号或脉冲信号，并通过计算获得指定位置的电场强度值，从而开展对局放在线监测装置的校准。

其溯源方法是对镜面单锥系统的电气参数进行溯源，通过一系列公式计算获得电场强度标准值，或通过电场探头监测固定位置的电场强度，从而开展对局放在线监测装置的校准。

附录 B 安装后及运行中的装置校准方法

(资料性附录)

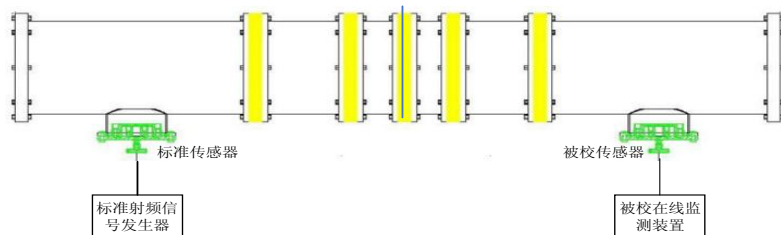


图 B.1 现场校准接线图

安装后及运行中的装置校准时，应对试验现场的环境温度、相对湿度进行记录。装置带电运行工况下，可采用相对法对装置上下限截止频率和幅值线性进行校准。

上下限截止频率校准按图 B.1 所示接线，以待校传感器相邻的传感器为标准传感器，将标准射频信号发生器输出线与标准传感器相连，后续按照 7.2 的步骤进行。对于外置式传感器，依照上述方法对其它传感器进行校准；对于内置式传感器，交换被校传感器和标准传感器接线位置，依照上述方法进行相邻传感器校准，现场校准最大允许误差一般不超过 $\pm 20\%$ 。

幅值线性校准采用相对法，按图 B.1 所示接线，以待校传感器相邻的传感器为标准传感器，将标准射频信号发生器输出线与标准传感器相连，标准射频信号发生器产生不同频率的标准特高频信号，在被校装置频率测试范围内，取上、下限频率和中心频率 3 个频率点进行幅值校准，记下被校装置最大示值 B 以及射频信号发生器示值 A 。依次降低输入信号至原信号的 λ_1 倍（如果是对数形式，则需要换算到线性坐标系），记下被校装置相应示值 B_2 。对于外置式传感器，依照上述方法对其它传感器进行校准；对于内置式传感器，交换被校传感器和标准传感器接线位置，依照上述方法进行相邻传感器校准，现场校准最大允许误差一般不超过 $\pm 20\%$ 。

附录 C 校准原始记录格式

特高频局放在线监测装置校准记录

送检单位				证书编号	
器具名称			型号规格		
出厂编号		出厂日期		准 确 度	
制 造 厂					
校准日期		审 核 员		校准员	
受样日期		样品编号		委托文件编号	

环境条件： 温度℃ 湿度% RH

1. 检定时使用的计量标准器具：

2. 校准依据

1) _____

2) _____

3. 校准时使用的计量标准器件

型号及名称	
制造厂商	
技术指标	
器具编号	
证书有效期限	

4. 上、下限频率

频带	标称值 (MHz)	实测值 (MHz)
下限频率		
上限频率		

5. 幅值线性误差

序号	标准幅值设定	被校显示值
	测量频率：	
1		

2		
3		
4		
5		

6. 灵敏度

7. 重复性

8. 通信检查

9. 备注及说明

附录 D 校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

<校准机构授权说明>				
校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059.1 的要求。				
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 它		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名 称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

第 X 页 共 X 页

校准结果

(校准项目及校准结果)
(校准项目及校准结果)

一、绝缘电阻

电源部分对机壳 MΩ

二、介电强度

试验电压 kV 试验时间

三、上、下限频率

频带	标称值 (MHz)	实测值 (MHz)
下限频率		
上限频率		

四、幅值线性误差

序号	标准幅值设定	被校显示值
	测量频率:	
1		
2		
3		
4		
5		

五、检测灵敏度

六、重复性

七、通信检查

八、备注及说明

说明:

根据客户要求和校准文件的规定，通常情况下个月校准一次。

声明:

1. 仅对加盖“XXXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

校准员: 核验员:

附录 E 不确定度评定示例

E.1 概述

E.1.1 计量标准

主要计量标准设备为标准射频信号发生器，其相应技术性能如下

序号	标准设备名称	技术指标
1	标准射频信号发生器	频率范围：9kHz~3GHz； 功率调节范围：（-80~+10）dBm。 功率调节范围：（-80~+10）dBm，最大允许误差±1 dBm

E.1.2 被测对象

序号	被校设备名称	技术指标
1	特高频局放在线监测装置	测量频率范围：（300~1500）MHz 测量功率范围：（-70 ~+10）dBm 分辨力：0.01dBm 测量准确度：±1 dBm

E.1.3 测量方法

使用标准射频信号发生器作为标准器，对一台特高频局放在线监测装置在环境温度为（20±5）℃，相对湿度（30~80）%的条件下放置 24 小时后开始校准。

E.2 数学模型

特高频局放在线监测装置幅值线性测量示值误差 ΔV ：

$$\Delta V = V_X - V_N$$

式中： ΔV ——幅值线性测量误差，mV；

V_X ——被校测试仪幅值线性示值，mV；

V_N ——标准器幅值线性增量设定值，mV。

E.3 不确定度传播率

由于各分量相互独立，故合成标准不确定度为

$$u_c^2(\Delta V) = c_1^2 u^2(V_X) + c_2^2 u^2(V_N)$$

式中，灵敏系数 $c_1 = \partial(\Delta V) / \partial(V_X) = 1$ ， $c_2 = \partial(\Delta V) / \partial(V_N) = -1$ 。

E.4 不确定度评定

校准所用测试线波阻抗均为 50Ω，当标准射频信号发生器设置在特定频率下输出值为

-30dBm 和 -35 dBm 时,对被校特高频局放在线监测装置幅值线性增量误差校准展开不确定度评定。

E.4.1 由标准射频信号发生器输出脉冲电压幅值线性误差引入的不确定度分量 $u(V_{N1})$,用 B 类不确定度评定。

由校准证书给出的标准射频信号发生器输出脉冲电压幅值线性最大允许误差为 ± 0.1 dBm,包含因子 $k=2$,则:

$$u(V_{N1})=0.1 \text{ dBm} / 2=0.05\text{dBm}。$$

E.4.2 被校特高频局放在线监测装置测量分辨力引入的不确定度分量 $u(V_{X1})$,用 B 类不确定度评定。

被校特高频局放在线监测装置分辨力为 0.01dBm,其在 $\pm 0.005\text{dBmV}$ 的区间服从均匀分布,包含因子 $k=\sqrt{3}$,则:

$$u(V_{X1})=0.005 \text{ dBm} / \sqrt{3}=0.0029 \text{ dBm}。$$

E.4.3 由被校特高频局放在线监测装置幅值线性增量测量重复性引入的不确定度分量 $u(V_{X2})$,用 A 类不确定度评定。

对被校特高频局放在线监测装置在频率 700MHz 下,输出标准电压幅值为 -35dBm 和 -30 dBm 两点分别进行 10 次反复测量,数据如下:

单位: dBmV

测量序号	1		2		3		4		5	
被校显示值	-56.1 3	-50.0 7	-57.0 2	-50.1 2	-56.6 3	-49.8 7	-57.0 3	-50.5 5	-55.9 1	-49.3 4
被校测试仪增量值	6.06		6.90		6.76		6.48		6.57	
测量序号	6		7		8		9		10	
被校显示值	-56.4 3	-50.1 1	-56.0 8	-49.1 3	-55.8 8	-50.1 1	-56.7 3	-50.9 0	-55.7 7	-50.7 6
被校测试仪增量值	6.32		6.95		5.77		5.83		5.01	

实测线性增量测量结果的算术平均值

$$\bar{x}=\frac{1}{10}(6.06+6.90+6.76+6.48+6.57+6.32+6.95+5.77+5.83+5.01)$$

=6.265 dBm

其样本标准差 $s(x_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} = 0.6065 \text{ dBm}$

单次测量结果 x_k 的标准不确定度 $u(x_k) = s(x_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} = 0.6065 \text{ dBm}$

实际校准时以单次测量结果为最终测量结果，故 $u(V_{X2}) = s(x_k) = 0.6065 \text{ dBm}$

E.5 标准不确定度分量表

标准不确定度分量	标准不确定度分类	不确定度来源	测量结果分布	标准不确定度分量值 (dBm)
$u(V_{N1})$	B	标准射频信号发生器输出信号幅值增量准确度	均匀	0.05
$u(V_{X1})$	B	被校特高频局放在线监测装置测量分辨力	均匀	0.0029
$u(V_{X2})$	A	被校特高频局放在线监测装置幅值线性增量测量重复性	正态	0.6065

E.6 合成标准不确定度

E.6.1 经过分析不确定度的来源,其各分量互为独立量,则

$$u_c = \sqrt{\sum_{k=1}^3 u_k^2} = \sqrt{u(V_{N1})^2 + u(V_{X1})^2 + u(V_{X2})^2} = 0.6085 \text{ dBm}$$

E.6.2 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$, 则

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.6085 = 1.2 \text{ dBm}$$

E.7 测量结果的表述

该特高频局放在线监测装置在校准装置 700MHz 频率下, 输出标准幅值为 -35dBm 和 -30 dBm 点, 以绝对值表示的幅值线性增量测量结果不确定度为:

$$U = 1.2 \text{ dBm} (k=2)$$