

《半导体集成电路 低噪声运算放大器》团体标准

征求意见稿 编制说明

一、任务来源

随着现代电子技术的飞速发展，半导体集成电路在各个领域的应用日益广泛。其中，低噪声运算放大器作为集成电路的重要组成部分，其性能的优化与提升对于整个电子系统的性能具有至关重要的影响。在现代电子系统中，噪声是一个不可忽视的问题。噪声的存在会干扰信号的传输与处理，导致系统性能下降，甚至无法正常工作。特别是在高精度模拟电路和微弱信号放大等领域，噪声的影响尤为显著。因此，研究和开发低噪声运算放大器具有极其重要的意义。

低噪声运算放大器是一种差分输入、单端输出的极高增益放大器，其关键指标包括低频噪声、宽带噪声、电流噪声以及增益带宽积等。这些指标直接决定了放大器的噪声性能和适用场景。例如，在高阻抗电路中，电流噪声可能主导总噪声，因此需要特别关注电流噪声的大小。而在高频应用中，则需要选择具有高带宽的运算放大器，但同时也需要权衡噪声性能。

此外，随着工艺技术的进步，特征尺寸越来越小，噪声对电路性能的影响也越来越大。因此，在设计和制造低噪声运算放大器时，需要充分考虑工艺因素对噪声性能的影响，并采取有效的措施来降低噪声。目前，市场上已经出现了多种低噪声运算放大器产品，这些产品具有优异的噪声性能和广泛的应用场景，如高保真音频、医疗仪器、专业音频设备、高速数据采集等。然而，随着应用需求的不断变化和升级，对于低噪声运算放大器的性能要求也在不断提高。

目前，低噪声运算放大器相关的国家标准有GB/T 11299.7-1989 卫星通信地球站无线电设备测量方法 第二部分:分系统测量 第三节:低噪声放大器。GB/T 11299.7-1989在测量方法和适用范围上存在明显差异主要针对卫星通信地球站的无线电设备，特别是分系统测量中的低噪声放大器，其内容更偏向于特定应用场景的测试程序和要求。而本团体标准作为半导体集成电路领域的标准，将不仅涵盖低噪声运算放大器的设计、制造和测试，还强调集成电路层面的性能优化和噪声控制，提供更为全面的技术指标和测试方法。

针对低噪声运算放大器的一般要求、电气性能要求、环境适应性要求等，急需立项《半导体集成电路低噪声运算放大器》该标准，为行业提供统一的技术规范，有助于构建系统的标准体系。

先进性与创新性:

1. 超低噪声性能设计: 突破传统运放噪声控制瓶颈，在 1kHz 频率下等效输入噪声电压密度 $\leq 1.5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，10Hz~100kHz 宽带噪声电压有效值 $\leq 10\mu\text{V}$ ，同时将闪烁噪声拐角频率控制在 $\leq 10\text{Hz}$ 。该

设计通过优化电路结构与器件工艺，有效抑制低频闪烁噪声与高频热噪声，解决微弱信号（如医疗传感器、量子检测信号）放大时的噪声干扰问题，适配高精度测量场景。

2. 宽频带高增益协同优化：实现“高增益 + 宽频带”双重优势，直流至 1MHz 频段内开环电压增益 $\geq 120\text{dB}$ ， -3dB 小信号带宽 $\geq 10\text{MHz}$ 、 1dB 压缩点大信号带宽 $\geq 5\text{MHz}$ 。传统运放常面临“增益提升则带宽缩减”的权衡难题，本项目通过补偿电路设计打破这一限制，可同时满足高频信号（如射频通信信号）放大与小信号精准放大需求，拓宽应用场景边界。

3. 超高线性度保障机制：采用线性化电路拓扑， 1kHz 、 1V_{rms} 输出条件下总谐波失真（THD） $\leq 0.001\%$ ， 100MHz 频段内三阶交调截点（IIP3） $\geq 40\text{dBm}$ 。低 THD 减少信号失真，确保放大后信号的完整性（如音频、高清视频信号）；高 IIP3 则提升抗干扰能力，避免多信号叠加时的交调失真，适配通信、测试测量等对信号纯度要求严苛的领域。

4. 宽频带高电源抑制比：直流至 1MHz 频段内电源抑制比（PSRR） $\geq 100\text{dB}$ ，可有效抑制电源纹波对输出信号的影响。工业控制、汽车电子等场景中，电源电压易受负载波动影响产生纹波，高 PSRR 能确保运放在电源不稳定环境下仍保持输出稳定，无需额外增加电源滤波模块，简化系统设计并降低成本。

5. 分级稳定性与环境适配：区分商业级（ $-20^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ ）与工业级（ $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ ）工作温度范围，同时在单位增益闭环下相位裕度 $\geq 60^{\circ}$ 。分级温度设计适配不同应用场景（如室内电子设备与户外工业设备），高相位裕度则避免运放在闭环工作时出现振荡，确保复杂工况下的长期稳定运行，提升产品可靠性与环境适应性。

《半导体集成电路 低噪声运算放大器》团体标准的制定，具有以下几方面的意义：

1. 提升产品质量与性能

标准化确保了低噪声运算放大器在设计、制造和测试过程中遵循统一的技术规范和质量标准。这有助于减少生产过程中的变量，提高产品的稳定性和一致性，从而提升整体的产品质量和性能。标准化的低噪声运算放大器能够更好地满足高精度模拟电路的需求，为各种应用场景提供可靠的技术支持。

2. 促进技术创新与产业升级

标准化工作推动了行业内的技术交流与合作，加速了新技术的研发和应用。通过制定统一的标准，企业可以更加专注于技术创新，提升产品的核心竞争力。同时，标准化也有助于推动半导体集成电路产业的升级，提高整个行业的生产效率和市场竞争力。

3. 降低生产成本与风险

标准化的实施有助于实现生产流程的自动化和规模化，从而降低生产成本。此外，统一的标准可以减少因技术差异导致的兼容性问题，降低企业在产品开发和市场推广过程中的风险。对于低噪声运算放大器而言，标准化有助于企业更好地把握市场需求，提高产品的市场占有率和盈利能力。

4. 保障市场公平竞争

标准化为半导体集成电路行业提供了一个公平、透明的竞争环境。通过制定统一的技术标准和质量要求，可以确保所有企业在同一水平线上进行竞争，避免了因技术壁垒导致的不公平竞争现象。这有助于激发企业的创新活力，推动整个行业的健康发展。

二、起草单位所作工作

1、起草单位

本标准由XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX单位等共同起草。

2、主要起草单位及其所作工作

本文件主要起草单位及工作职责见表1。

表1 主要起草单位及工作职责

起草单位	工作职责
XXXX、XXXX、XXXX	项目主编单位，负责标准制定的统筹规划与安排，标准内容和试验方案编制与确定，标准水平的把握及标准编制运行的组织协调。人员中包括了行业资深专业人员，行业管理人员。
XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX	实际生产单位、负责汇报实际生产数据、试验方法，参与标准编制。

三、标准的编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前的行业现状，按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定及相关要求编制。

四、标准编制过程

4.1 调研阶段

1. 技术现状调研：调研发现当前低噪声运放存在三大技术短板：一是噪声控制局限，多数产品 1kHz 噪声电压密度 $\geq 3\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，闪烁噪声拐角频率 $\geq 50\text{Hz}$ ，难以满足微弱信号放大需求；二是增益与带宽协同不足，高频段（ $\geq 5\text{MHz}$ ）开环增益普遍低于 100dB，无法兼顾精度与速度；三是温度稳定性差，工业级产品低温（ $\leq -30^\circ\text{C}$ ）下增益衰减超 10%，适配性受限。此外，测试方法缺乏统一规范，不同厂商噪声、线性度测试条件差异大，产品性能可比性低。

2. 市场需求分析：走访医疗设备、通信设备、测试测量仪器及工业控制领域企业，核心需求集中于四点：一是低噪声，医疗心电监测、量子检测需噪声电压密度 $\leq 2\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；二是宽频带，5G 通信、射频测

试需 $\geq 10\text{MHz}$ 带宽；三是高线性，音频设备、高清视频传输需 $\text{THD} \leq 0.01\%$ ；四是环境适应性，工业户外设备需 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 稳定工作，市场对“低噪声 + 宽频带 + 高可靠”一体化运放需求迫切。

3. 相关标准研究：梳理半导体集成电路领域现有标准，发现存在三大空白：一是缺乏低噪声运放专项噪声指标（如闪烁噪声拐角频率）定义；二是线性度、电源抑制比的测试频段覆盖不足（现有标准多局限于 100kHz 以内）；三是环境适应性分级（商业级 / 工业级）与稳定性（相位裕度）要求缺失，导致产品性能评价无统一依据，需通过本标准补充系统技术规范。

4. 产业链调研：调研覆盖芯片设计厂商、晶圆制造企业、封装测试厂商及下游应用企业，发现产业链协同存在壁垒：上游晶圆工艺（如低噪声器件工艺）与设计需求不匹配，导致设计指标难以落地；下游应用企业因测试方法不统一，需额外投入资源验证不同厂商产品兼容性；封装环节缺乏防静电、防潮专项要求，影响产品长期可靠性，需通过标准打通上下游技术协同通道。

5. 行业问题与挑战：调研指出行业面临三大挑战：一是性能权衡难题，噪声、增益、带宽、线性度难以同时优化，研发成本高；二是测试成本高，噪声、线性度测试需高精度仪器（如频谱分析仪、失真分析仪），中小企业负担重；三是可靠性风险，高湿、高温环境下产品故障率超 5% ，缺乏统一的环境适应性验证标准，标准需针对性提出技术要求与解决方案。

4.2 立项阶段

2025年6月20日，中国技术市场协会正式批准《半导体集成电路 低噪声运算放大器》立项。

4.3 起草阶段

4.3.1 成立标准制定工作组，根据《半导体集成电路 低噪声运算放大器》编制需要，XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX等机构相关专家成立标准制定工作组。

4.3.2 形成标准草案：根据工作计划及分工安排，在系统参考、学习已有标准及研究的基础上，标准制定工作组完成《半导体集成电路 低噪声运算放大器》各部分内容，并于2025年6月25日汇总形成标准草案。

4.3.3 2025年9月9日，通过腾讯会议线上召开了《半导体集成电路 低噪声运算放大器》团体标准讨论会，与会代表30余人参加会议。会上，标准编制组就该标准立项背景和标准框架分别进行了介绍。与会专家和代表就标准名称、框架结构、定义、范围、技术指标等内容进行了深入讨论。明确了该标准编制工作方向，并提出了一系列标准内容的完善措施和修改意见、建议。在讨论会结束后标准编制工作组根据与会专家及参会代表的意见和建议，对标准稿进行了修改完善，形成了标准征求意见稿和编制说明。

4.4 征求意见阶段

2025年10月30日，本标准由中国技术市场协会在全国团体标准信息平台面向社会进行公开征求意见，同时由编制工作组向相关单位进行定向征求意见，具体见《征求意见汇总表》。

五、标准主要内容

根据生产企业XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX等单位的产品数据得到以下主要技术内容：

1. 等效输入噪声电压密度（1kHz 下 $\leq 1.5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ）：该指标衡量运放自身产生的噪声强度，数值越低对微弱信号放大越有利。医疗心电监测、光电传感器等场景中，输入信号幅度常低至微伏级甚至纳伏级，高噪声会掩盖有效信号导致测量误差。 $1.5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的指标可最大限度降低运放自身噪声干扰，确保微弱信号被精准放大，是高精度测量设备的核心性能保障。

2. 开环电压增益（直流至 1MHz $\geq 120\text{dB}$ ）：开环电压增益反映运放对输入信号的放大能力，数值越高信号放大精度越高。小信号（如传感器输出的毫伏级信号）放大时，高增益可减少信号衰减，提升输出信号的信噪比；宽频段（至 1MHz）高增益则确保高频小信号（如高速数据采集信号）仍能被精准放大，避免因频段不同导致的放大精度差异，适配多频段信号处理需求。

3. 总谐波失真（THD $\leq 0.001\%$ ，1kHz、1Vrms）：THD 衡量输出信号与输入信号的波形相似度，数值越低信号失真越小。音频设备、高清视频传输等场景中，信号失真会导致音质劣化、图像模糊；通信领域中，失真信号会干扰其他信道，影响传输质量。 0.001% 的 THD 可确保放大后信号基本还原原始波形，满足对信号纯度要求严苛的应用场景。

4. 电源抑制比（PSRR $\geq 100\text{dB}$ ，直流至 1MHz）：PSRR 衡量运放抑制电源纹波对输出影响的能力，数值越高抗电源干扰能力越强。工业控制、汽车电子等场景中，电源负载波动会产生纹波（如电压波动 $\pm 0.5\text{V}$ ），若 PSRR 不足，纹波会叠加到输出信号中导致误差。 100dB 的 PSRR 可将电源纹波对输出的影响降至微伏级以下，无需额外增加滤波电路，简化系统设计并提升稳定性。

5. 工作温度范围（工业级 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ ）：该指标定义运放在不同温度环境下的正常工作能力，工业级宽温设计适配户外、高温车间等恶劣环境。户外监测设备、汽车发动机舱电子模块等场景中，温度波动范围大（冬季低温至 -30°C 、夏季高温至 80°C ），宽温设计可确保运放在极端温度下仍保持性能稳定，避免因温度过高 / 过低导致的增益衰减、噪声增大等问题，提升产品环境适配性与可靠性。

六、主要试验（验证）的分析，技术经济论证，预期的经济效果

6.1、主要试验（验证）分析

本项目试验验证围绕“核心性能、环境适应性、一致性”三大维度构建科学体系。核心性能验证方面，噪声性能测试采用低噪声前置放大电路与频谱分析仪，精准测量等效输入噪声电压 / 电流密度及时频特性，确保噪声指标达标；增益与带宽测试通过网络分析仪扫频测量，覆盖直流至 100MHz 频段，验证

增益与带宽的协同性能；线性度测试使用失真分析仪与双音信号源，检测 THD 与 IIP3，保障信号纯度。环境适应性验证通过高低温试验箱模拟商业级 / 工业级温度范围，测试不同温度下的参数稳定性；相位裕度测试通过网络分析仪测量闭环相位特性，避免振荡风险。检验规则区分出厂检验（重点验证噪声、增益等关键指标）与型式检验（全项目覆盖），并明确组批与抽样流程，确保量产产品性能一致性。全维度试验覆盖设计、生产、应用全环节，为标准落地提供可靠技术支撑。

6.2、技术经济论证

技术层面，标准统一低噪声运放的核心指标（如噪声、线性度、PSRR）与测试方法，解决行业“指标定义模糊、测试条件不统一”的问题：一是为研发提供明确技术目标，避免企业盲目试错，缩短研发周期；二是统一测试流程，减少下游应用企业的兼容性验证成本，如无需针对不同厂商产品调整测试设备参数。经济层面，标准推动产业链协同：上游晶圆厂商可聚焦低噪声工艺研发，避免重复投入；中游设计厂商基于统一指标优化设计，降低研发成本；下游应用企业可直接依据标准选型，减少测试与适配成本。此外，高集成度设计（如无需额外电源滤波模块）可简化系统架构，帮助下游企业降低整机成本，形成“标准引领 - 成本优化 - 产业协同”的良性循环。

6.3、预期的经济效果

从行业视角看，标准将推动低噪声运放产业向高端化升级，填补国内高精度运放技术空白，提升我国半导体集成电路领域的核心竞争力，减少对进口高端运放（如 TI、ADI 产品）的依赖，降低产业链供应链风险；同时带动上下游产业（如晶圆制造、测试仪器、医疗设备）发展，形成新的经济增长点。从企业视角看，设计厂商可基于标准开发标准化产品，拓宽市场覆盖面（如同时切入医疗、通信、工业领域）；应用企业通过标准选型降低采购与测试成本，提升产品性价比，增强市场竞争力（如医疗设备厂商可推出更高精度的监测仪器）。从宏观视角看，标准支撑下游高端装备（如精密测试仪器、5G 通信设备、高端医疗设备）的技术升级，助力制造业向高端化、智能化转型，同时推动“双碳”目标实现（如简化系统设计减少电子元件使用，降低能耗），为经济高质量发展注入动力。

七、标准水平分析

7.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，暂无相同类型的国际标准与国外标准，故没有相应的国际标准、国外标准可采用。

7.2 与国际标准及国外标准水平对比

本标准达到国内先进水平。

7.3 与现有标准及制定中的标准协调配套情况

本标准的制定与现有的标准及制定中的标准协调配套，无重复交叉现象。

7.4 设计国内外专利及处置情况

经查，本标准没有涉及国内外专利。

八、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定、检验项目设置等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

九、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

十、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

十一、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

由于本标准首次制定，没有特殊要求。

十二、废止现有有关标准的建议

无。

团体标准起草组

2025 年 10 月