

AN13917

i.MX 93功耗测量

第3版—2024年2月29日

应用笔记

文档信息

信息	内容
关键词	AN13917、i.MX 93、MCIMX93-EVK、功耗、i.MX 93电源域
摘要	本应用笔记介绍了如何通过不同的用例在恩智浦 i.MX 93 EVK板上测量i.MX 93应用处理器的电流消耗。



1 介绍

本应用笔记旨在帮助系统设计人员创建功率优化的系统。它介绍了如何通过不同的用例在恩智浦i.MX 93 EVK板上测量i.MX 93应用处理器的电流消耗。

注:

一些用例二进制文件可以在[AN13917SW](#)中找到。

用户可以为i.MX 93处理器选择合适的电源域，并了解各种场景下处理器的预期功耗。

注: 本应用笔记中报告的结果并不保证适用于所有情况，因为所提供的数据是基于对小批量样本进行的经验性测量。

2 缩略语

[表1](#)列出了本文中使用的缩略语。

表1. 缩略语

缩略语	含义
CA55	Arm Cortex-A55处理器
CM33	Arm Cortex-M33处理器
ADC	模数转换器
AHB	Arm AMBA高性能总线
APLL	辅助锁相环时钟发生器
Arm	高级RISC机器处理器架构
AXI	Arm高级可扩展接口
BSP	板级支持包
BBNSM	电池供电的非安全模块
BBSM	电池供电的安全模块
CCM	时钟控制器模块
DAC	数模转换器
DDR	双数据速率DRAM
DMA	i.MX 93直接存储器存取控制器
DRAM	动态随机存取存储器
EVK	评估套件
FIRC	FAST内部参考时钟
GND	接地
GPIO	通用输入/输出
High-Z	高阻抗
I/Os	输入/输出
IOMUX	芯片级I/O多路复用
IOMUXC	i.MX 93输入/输出多路复用控制器

表1. 缩略语 (续)

缩略语	含义
LDO	低压降稳压器
LPAV	低功耗音频/视频域
LPDDR4	低功耗DDR4 SDRAM, 带1.1V I/O电源
LPDDR4x	低功耗DDR4 SDRAM, 带0.6V I/O电源
LPTMR	i.MX 93低功耗定时器
LVD	低压检测器
MIPI-CSI	MIPI-摄像头串行接口控制器
MIPI-DSI	MIPI-显示器串行接口控制器
MU	i.MX 93消息单元
ND	标称驱动 (Nominal drive)
OD	过载 (Overdrive)
OTP	一次性可编程
PCB	印刷电路板
PLL	锁相环时钟发生器
PMC	电源管理控制器
PMIC	电源管理集成电路
RAM	随机存取存储器
ROM	只读存储器
RTC	实时时钟
SDK	软件开发套件
SIM	i.MX 93系统集成模块
SIRC	慢速内部参考时钟
SoC	片上系统
SPLL	系统锁相环时钟发生器
SRAM	片上静态随机存取存储器
TCM	Cortex-M33紧密耦合存储器
UART	通用异步收发器
USB	通用串行总线
USB 2.0	USB 2.0版外设
USB OTG	即插即用的USB
VFS	电压和频率缩放
WFI	等待中断
WUU	唤醒单元

3 i.MX 93的电源架构

该芯片的电源架构基于这样一个假设：使用PMIC来为处理器的所有电源轨供电，可以构建成本最低的系统。

图1所示为整个SoC的电源架构图。

注：图1仅显示了电源，未展示内部LDO稳压器可能需要的电容。

图1中的数值仅供参考。有关实际值，请参阅《i.MX 93 EVK应用处理器数据手册》。

从架构的角度来看，大多数SoC的数字和模拟逻辑可以通过外部PMIC电源或内部电源开关在低功耗模式下进行电源门控。

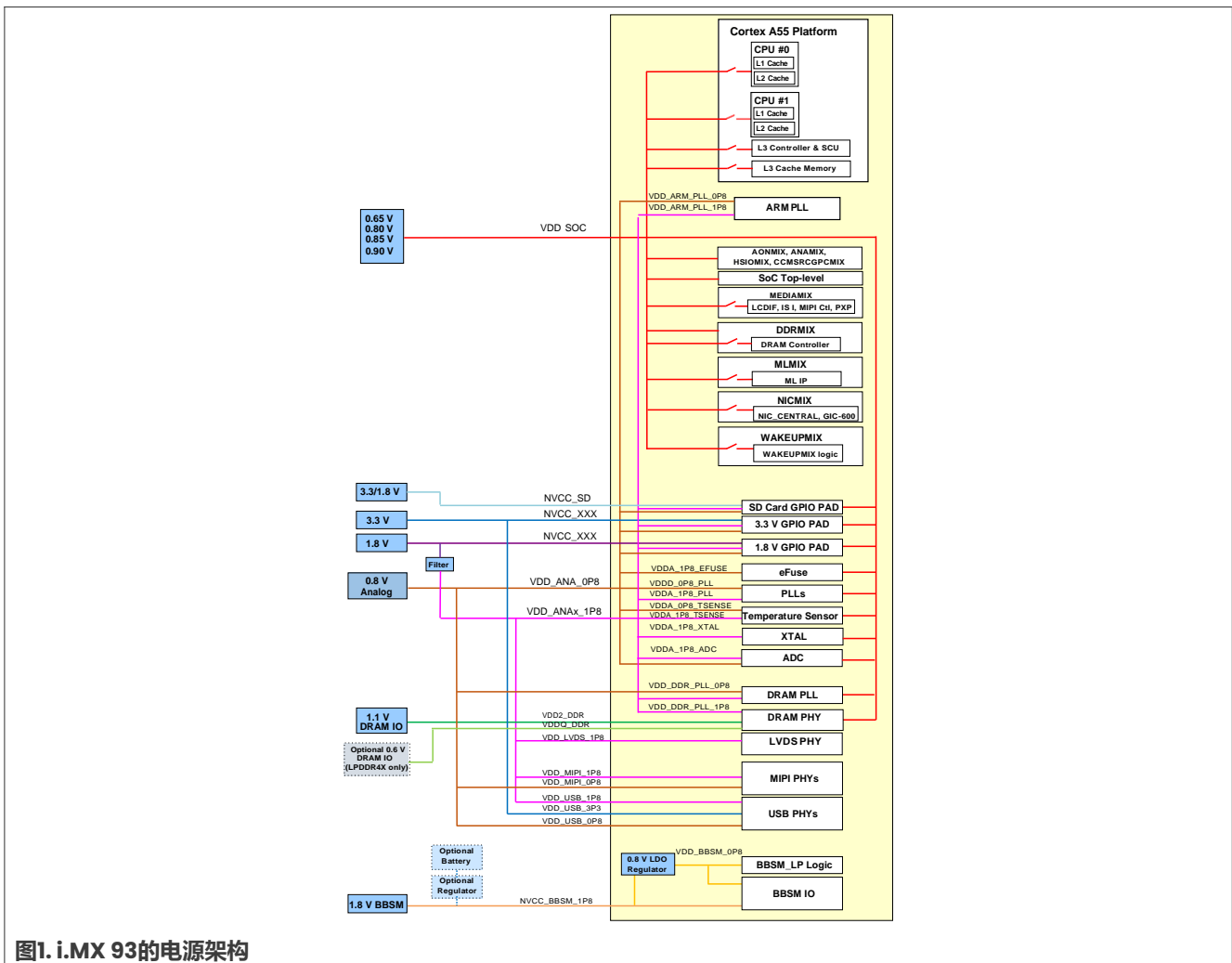


图1. i.MX 93的电源架构

表2汇总了所有外部电源轨的运行条件。

注：表2未包含支持内部LDO稳压器所需的电容I/O。此表中的值仅供参考。有关实际值，请参阅《i.MX 93 EVK应用处理器数据手册》。

表2. 外部电源

电源轨	V _{min} (V)	V _{typ} (V)	V _{max} (V)	说明
VDD_SOC	0.85	0.90	0.95	SoC的电源, 过载 (Overdrive) 模式
	0.80	0.85	0.90	SoC的电源, 标称 (Nominal drive) 模式
	0.76	0.80	0.84	SoC的电源, 低载 (Low-drive) 模式
	0.61	0.65	0.70	SoC的电源, 挂起模式
VDD_ANAx_OP8 VDD_MIPI_OP8 VDD_USB_OP8	0.76	0.80	0.84	PLL、温度传感器、LVCMOS I/O、MIPI和USB PHY的数字电源
VDD_ANAx_IP8 VDD_LVDS_IP8 VDD_MIPI_IP8 VDD_USB_IP8 VDD_ANAVDET_IP8	1.71	1.80	1.89	用于PLL、eFuse、温度传感器、LVCMOS电压检测参考、ADC、24 MHz XTAL、LVDS、MIPI和USB PHY的1.8V电源
VDD_USB_3P3	3.07	3.30	3.45	USB PHY的3.3V电源 (V _{max} 与NVCC GPIO电源支持的V _{max} 一致)
VDD2_DDR VDDQ_DDR (用于LPDDR4)	1.06	1.10	1.14	根据LPDDR4 PHY的电压公差
VDD2_DDR VDDQ_DDR (用于LPDDR4X)	0.57	0.60	0.67	根据LPDDR4X PHY的电压公差
NVCC_BBISM_IP8	1.62	1.80	1.98	BBISM块的GPIO的I/O电源
NVCC_AON NVCC_SD2 NVCC_GPIO NVCC_WAKEUP	1.62	1.80	1.98	GPIO在1.8V模式下的电源
	3.00	3.30	3.47	GPIO在3.3V模式下的电源

4 i.MX 93电源概述

本节介绍i.MX 93处理器的不同电源域和模式。

4.1 i.MX 93电源域概述

为了优化低功耗模式下的功耗，i.MX93具有多个电源域。因此，大多数SoC数字和模拟逻辑在低功耗模式下通过内部电源开关或来自PMIC的外部电源进行电源门控。

注：表3中的数值仅供参考。有关实际值，请参阅《i.MX 93 EVK应用处理器数据手册》。

表3. SoC电源域

域	电源	类型	物理域
CPU	VDD_SOC	数字	Cortex-A55核
PDCEU0	带开关的VDD_SOC	数字	Cortex-A55核

表3. SoC电源域 (续)

域	电源	类型	物理域
PDCPU1	带开关的VDD_SOC	数字	Cortex-A55核
PDPLAT	带开关的VDD_SOC	数字	Cortex-A55核
PDL3	带开关的VDD_SOC	数字	Cortex-A55核
ML	带开关的VDD_SOC	数字	MLMIX
SOC	VDD_SOC	数字	CCMSRCGPMIX、AONMIX、ANAMIX (数字部分) 和SoC上部
MEDIA_LOGIC	带开关的VDD_SOC	数字	MEDIAMIX (不包括常开LDB/LVDS逻辑和PHY)
Wake-up	带开关的VDD_SOC	数字	WAKEUPMIX
DRAM_LOGIC	带开关的VDD_SOC	数字	DDRC (控制器/PLL相关逻辑, 但并非PHY相关逻辑)
NIC	带开关的VDD_SOC	数字	NICMIX
BBSM_LOGIC	VDD_BBSM_IP8	数字	BBSMMIX
ANALOG_0P8	VDDA_0P8	模拟	ANAMIX (模拟0.8部分)
ANALOG_1P8	VDDA_1P8	模拟	ANAMIX (模拟1.8部分)
LVDS_PHY_IP8	VDD_LVDS_IP8	模拟	LVDS PHY (MEDIAMIX)
MIPI_PHY_0P8	VDD_MIPI_0P8	数字	MIPI PHY (MEDIAMIX)
MIPI_PHY_1P8	VDD_MIPI_1P8	模拟	MIPI PHY (MEDIAMIX)
USB_PHY_3P3	VDD_USB_3P3	模拟	USB PHY (HSIOMIX)
USB_PHY_1P8	VDD_USB_1P8	模拟	USB PHY (HSIOMIX)
USB_PHY_0P8	VDD_USB_0P8	数字	USB PHY (HSIOMIX)
DRAM_IO	VDDQ_DDR	I/O	DDRMIX
ANALOG_DRAM	VDDA_DRAM	模拟	DDRMIX
NVCC_<XXX>	NVCC_<XXX>	I/O	1.8V/3.3V GPIO
BBSM_IO	NVCC_BBSM	I/O	BBSM I/O管脚

注:

- 有关每个电源轨的建议操作条件, 以及由每个I/O电压电源供电的引脚组的详细描述, 请参阅《[i.MX 93 EVK应用处理器数据手册](#)》。
- 有关i.MX 93电源架构的更多详细信息, 请参阅《[i.MX 93应用处理器参考手册](#)》(文档[IMX93RM](#))。

4.2 i.MX 93的电源模式概述

i.MX 93支持以下电源模式:

- 运行模式:** 在此模式下, Cortex-A55 CPU处于活动状态并正常运行。为了省电, 可以关闭某些部分。
- 低功耗运行模式:** 此模式是指所有外部电源轨都开启的低功耗运行模式。在此模式下, 所有不必要的电源域(MIX)都可以关闭。AONMIX和内部模块(如OSC24M/PLL), 在此模式下是例外。AONMIX中的Cortex CPU执行所有计算和数据处理任务。Cortex-A55断电, DRAM可以处于自刷新/保留模式。

- **空闲模式**：当没有线程在运行且没有高速设备在使用时，CPU可以自动进入此模式。CPU可以进入电源门控状态，但保留L3数据，DRAM和总线时钟减少。大部分内部逻辑是时钟门控的；但仍供电。在此模式下，来自PMIC的所有外部电源保持不变，并且大多数IP保持其状态。因此，与运行模式相比，此模式下的中断响应更快速。
- **挂起模式**：此模式被定义为最节能的模式，因为它会关闭所有时钟和所有不必要的电源。在这种模式下，Cortex-A55 CPU被完全电源门控，所有内部数字逻辑以及可以断电的模拟电路都关闭，所有PHY均电源门控。VDD_SOC（及相关数字电源）电压降至“挂起模式”电压。与空闲模式相比，此模式的退出时间更长，但能耗也更低。
- **BBSM模式**：此模式也称为RTC模式。在这种模式下，为了保持RTC和BBSM逻辑活动，只有BBSM域的电源保持开启。
- **关闭模式**：在此模式下，所有电源轨均关闭。

4.2.1 低功耗模式

表4列出了空闲模式、挂起模式和BBSM模式下每个模块的状态。

注：表4中的值仅供参考。有关实际值，请参阅《i.MX 93 EVK应用处理器数据手册》。

表4. 低功耗模式定义

参数	空闲	挂起	BBSM
CCM LPM模式	等待	停止	N/A
Cortex A55 CPU0	OFF	OFF	OFF
Cortex A55 CPU1	OFF	OFF	OFF
共享L3缓存	ON	OFF	OFF
DISPLAY	OFF	OFF	OFF
DRAM控制器和PHY	ON	OFF	OFF
WAKEUPMIX	ON	OFF	OFF
MLMIX	根据需要开启	OFF	OFF
NICMIX	ON	OFF	OFF
ARM_PLL	OFF	OFF	OFF
DRAM_PLL	OFF	OFF	OFF
SYSTEM_PLL1	ON	OFF	OFF
XTAL	ON	OFF	OFF
RTC	ON	ON	ON
外部DRAM设备	自刷新 ^[1]	自刷新 ^[2]	OFF
USB PHY	处于低功耗状态	OFF	OFF
DRAM时钟	266MHz	OFF	OFF
AXI时钟	133MHz	OFF	OFF
模块时钟	根据需要开启	OFF	OFF
EdgeLock安全区域	ON	ON	OFF
GPIO唤醒	是	是	OFF

表4. 低功耗模式定义 (续)

参数	空闲	挂起	BBSM
RTC唤醒	是	是	是
USB远程唤醒	是	否 ^[3]	否
其他唤醒源	是	否	否

[1] 当没有DRAM访问时，系统自动进入自刷新模式。

[2] 在切换到低功耗模式之前，SW切换到自刷新模式。

[3] 如果在此模式下USB PHY电源开启，则可以支持远程唤醒。

5 i.MX 93处理器功率测量

本文提供了恩智浦在NXP MCIMX93-EVK板上进行i.MX 93功率测量的几个用例的详细信息。这些用例在[第6节](#)中进行了描述。

5.1 硬件和软件要求

[表5](#)提供了功率测量过程中使用的硬件和软件的详细信息。

表5. 使用的硬件和软件

类别	说明
硬件	恩智浦MCIMX93-EVK, 51943 A1 + 51961 B2
软件	Linux内核版本: L6.1.55
	Yocto rootfs
	BCU工具可在 bcu version: 1.1.72 中获得
启动模式	eMMC

注: 对于所使用的软件，使用板载测量电路和BCU软件工具进行测量。这些测量在室温下进行，无热控设备。

5.2 构建i.MX Yocto Project

要构建i.MX Yocto Project，请执行以下步骤：

- 要下载并构建i.MX Yocto Project社区BSP配方层，请运行以下命令：

注: 有关i.MX Yocto Project的更多信息，请参阅《[i.MX Yocto Project用户指南](#)》。

```
repo init -u https://github.com/nxp-imx/imx-manifest -b imx-linux-mickledore -m
imx-6.1.55-2.2.0.xml
repo sync
DISTRO=fsl-imx-xwayland MACHINE=imx93-11x11-lpddr4x-evk source imx-setup-release.sh -b
build-imx93-11x11-lpddr4x-evk
```

- 对于某些音频或视频用例，需要安装gststreamer1.0-libav。将以下命令放在build-imx93-11x11-lpddr4x-evk/conf/local.conf文件的末尾：

```
LICENSE_FLAGS_ACCEPTED += "commercial"
IMAGE_INSTALL:append = "gststreamer1.0-libav"
PACKAGECONFIG:append_pn-gststreamer1.0-libav = "x264"
```

- 要构建，请运行以下命令：

```
bitbake imx-image-full
```


构建镜像可以在build-imx93-11x11-lpddr4x-evk/tmp/deploy/image中找到。

5.3 功耗测量

要测量i.MX 93的功耗，步骤如下：

1. 使用一根微型USB电缆连接主机和MCIMX93-EVK板上的J1401 USB端口。
2. 要在BCU路径中启动监测器，请运行以下命令：

```
bcu monitor -board=imx93evk11b1
```

3. 运行相关的用例。这些用例在[第6节](#)进行了描述。
4. 要重置该值，请在用例开始后按“3”。
5. 要切换测量精度：mA/auto/uA，请按“4”。此步骤为可选。
6. 等待1分钟，并记录BCU中的数据。

测量主要针对[表6](#)中列出的电源域进行。此表还提供了BCU软件中的电源轨与i.MX 93处理器中的电源域之间的映射关系。如需了解更多信息，请下载[BCU.pdf](#)。

表6. 测量的电源域

电源组	电源域	说明
GROUP_SOC_FULL	nvcc_1p8	NVCC_WAKEUP电源轨的电源
	nvcc_3p3	NVCC_AON和NVCC_GPIO电源轨的电源
	nvcc_bbsm_1p8	BBSM块中GPIO的I/O电源
	nvcc_sd2	NVCC_SD2电源轨中GPIO的电源
	vdd2_ddr	DRAM PHY的电源
	vdd_ana_0p8	PLL、温度传感器、LVCMOS I/O、MIPI和USB PHY的电源
	vdd_ana_1p8	用于PLL、eFuse、温度传感器、LVCMOS电压检测参考、ADC、24MHz XTAL、LVDS、MIPI和USB PHY的1.8V电源
	vdd_soc	VDD_SOC的电源
	vdd_usb_3p3	USB PHY的电源
	vddq_ddr	DRAM PHY的电源

6 用例和测量结果

以下各小节介绍了在EVK平台上进行i.MX 93内部功率测量的主要用例和子用例。

注：

- 在运行用例之前，必须运行<configuration_script>.sh来配置环境，请参阅[第8节](#)。
- 对于除TBD外的所有用例，该平台在U-Boot阶段使用默认DTB配置 (imx93-11x11-evk.dtb) 从eMMC启动。
- 电源路径上的电流采样电阻会使每个电源轨上的电压下降。

[表7](#)汇总了在MCIMX93ULP-EVK板上执行的各种用例的功率测量结果。

表7. i.MX 93-EVK功率汇总报告

用例类别	用例	总功率 (GROUP_SOC_FULL中的平均功率之和) (mW)
核基准测试用例	Dhrystone	805.9
	CoreMark	691.9
存储器用例	memset	908.0
	memcpy	913.9
	Stream	1222.8
音频/视频播放用例	音频播放 (gplay)	458.6
	音频低总线播放 (gplay)	255.4
	本地视频播放 (gplay)	636.4
	视频播放流 (gplay)	664.6
图形用例	PXP	544.0
机器学习用例	eIQ基准	725.5
	机器视觉	780.5
存储用例	DD_WRITE_eMMC	420.4
	DD_READ_eMMC	644.9
	DD_WRITE_SD	527.6
	DD_READ_SD	518.2
低功耗模式用例	系统处于空闲状态, 显示器开启, 在OD模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控。	482.5
	系统处于空闲状态, 显示器开启, 在ND模式下运行。	382.0
	系统处于空闲状态, 显示器开启, 在LD模式下运行 (DDR的速度减半)。	315.2
	系统处于空闲状态, 显示器开启, 在LD模式下运行 (通过SWFFC将DDR速度降至最低)。	275.3
	系统处于空闲状态, 显示器关闭, 在OD模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控。	345.6
	系统处于空闲状态, 显示器关闭, 在ND模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控。	288.1
	系统处于空闲状态, 显示器关闭, 在LD模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控 (DDR的速度减半)。	227.2
	系统处于空闲状态, 显示器关闭, 在LD模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控 (通过SWFFC将DDR速度降至最低)	199.9
	系统处于DSM	7.6
	电池	0.1
压力测试用例	2 x A55 Dhrystone + PXP + M33 Core Mark + NPU	1230.5
	2 x A55 Stream + PXP + M33 Core Mark + NPU	1264.1

表7. i.MX 93-EVK功率汇总报告 (续)

用例类别	用例	总功率 (GROUP_SOC_FULL中的平均功率之和) (mW)
产品用例	Linux挂起 + M33 CoreMark (TCM)	128.2
	Linux挂起 + M33处于WFI状态	122.4
	Linux挂起 + M33处理FlexCAN事务	132.3
	智能门铃	772.1

6.1 核基准测试用例

以下用例场景已经使用Cortex A55核进行了测试：

- Dhrystone
- CoreMark

6.1.1 Dhrystone

Dhrystone是一个综合基准测试，用于衡量处理器和编译器的整数计算性能。Dhrystone基准测试的小尺寸使其能够适应一级缓存，并最大限度地减少对二级缓存和DDR的访问。

在这个用例中，两个Cortex-A55核执行Dhrystone测试。因为Dhrystone是一个单线程基准测试，所以已经启动了两个实例。两个Cortex-A55核都在1.7GHz的频率下循环运行测试。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. 显示器关闭。
4. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量Dhrystone的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh，请参阅[第8节](#)。
3. 运行dhrystone_loop.sh：

```
while [ "1" == "1" ]; do
  taskset -c 0 ./dhry2 &
  taskset -c 1 ./dhry2
done
```

4. 测量功率并记录结果。

[表8](#)列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表8. i.MX 93-11x11-EVK_B_Dhrystone_loop的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	0.6	1.1	6.72	40.35
	lpd4x_vdd2	1.1	5.1	5.6		

表8. i.MX 93-11x11-EVK_B_Dhrystone_loop的测量结果 (平均值) (续)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
	lpd4x_vddq	0.6	0	0		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.3	0.6	805.87	
	nvcc_3p3	3.3	3.6	12		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.1	17.3	18.9		
	vdd_ana_0p8	0.79	16.5	13		
	vdd_ana_lp8	1.79	12.5	22.4		
	vdd_soc	0.89	821.2	731.4		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.03	0.1		
	vddq_ddr	0.6	6.8	4.1		

6.1.2 CoreMark

CoreMark是一种现代化且复杂的基准测试，可以准确地测量处理器的性能，旨在取代旧的Dhrystone基准测试。Arm建议使用CoreMark而不是Dhrystone。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. 显示器关闭。
4. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量CoreMark的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh，请参阅第8节。
3. 运行coremark_loop.sh：

```
while true; do
  ./coremark > /dev/null 2>&1
done
```

注：为了获得最佳性能，请按以下方式进行编译：

```
make XCFLAGS="-DMULTITHREAD=2 -DUSE_PTHREAD -pthread"
```

4. 测量功率并记录结果。

表9列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表9. i.MX 93-11x11-EVK_B_CoreMark_loop的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vddl	1.8	0.44	0.8	5.91	38

表9. i.MX 93-11x11-EVK_B_CoreMark_loop的测量结果 (平均值) (续)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
	lpd4x_vdd2	1.1	4.7	5.2		
	lpd4x_vddq	0.6	0	0		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.56	1	691.85	
	nvcc_3p3	3.3	4.1	13.4		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_dds	1.1	17.5	19.2		
	vdd_ana_0p8	0.79	16.5	13		
	vdd_ana_lp8	1.79	12.5	22.4		
	vdd_soc	0.89	689.8	615.5		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.03	0.1		
vddq_dds	0.6	6.7	4			

6.2 存储器用例

以下以存储器为中心的用例场景已经过了测试：

- memset
- memcpy
- Stream

memset和memcpy是perf-bench的一部分，perf-bench是基准套件的通用框架。

6.2.1 memset

memset用例通过多种方式评估简单内存集的性能。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. 存储器缓冲区的大小设置为1024MB。
4. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量memset的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh，请参阅[第8节](#)。
3. 运行memset_loop.sh：

```
while true; do
  buff_size=`cat /proc/meminfo | grep CmaFree | awk '{print$2}'`
  perf bench -f simple mem memset -l 20000 -s ${buff_size}KB
done
```

4. 测量功率并记录结果。

表10列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表10. i.MX 93-11x11-EVK_B_memset_loop的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	3.4	6	71.77	41
	lpd4x_vdd2	1.09	60.2	65.8		
	lpd4x_vddq	0.6	0	0		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.28	0.5	907.97	
	nvcc_3p3	3.3	3.7	12.3		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.09	44.4	48.5		
	vdd_ana_0p8	0.79	16.6	13.1		
	vdd_ana_1p8	1.79	12.5	22.4		
	vdd_soc	0.89	863.2	768.6		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.59	66.2	39.2			

6.2.2 memcpy

memcpy用例通过多种方式评估简单存储器拷贝的性能。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. 存储器缓冲区的大小设置为1024MB。
4. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量memcpy的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh，请参阅第8节。
3. 运行memcpy_loop.sh：

```
while true; do
  buff_size=`cat /proc/meminfo | grep CmaFree | awk '{print$2}'`
  perf bench -f simple mem memcpy -l 20000 -s ${buff_size}KB
done
```

4. 测量功率并记录结果。

表11列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表11. i.MX 93-11x11-EVK_B_memcpy_loop的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	3.7	6.7	89.93	41
	lpd4x_vdd2	1.09	73.8	80.4		
	lpd4x_vddq	0.6	4.8	2.8		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.17	0.3	913.93	
	nvcc_3p3	3.3	3.7	12.3		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.09	41.1	45		
	vdd_ana_0p8	0.79	16.6	13.1		
	vdd_ana_lp8	1.79	12.4	22.3		
	vdd_soc	0.89	905.7	805.8		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	19.7	11.7			

6.2.3 Stream

Stream基准测试是一个简单的综合基准测试程序，用于测量简单向量内核的可持续内存带宽 (MB/s) 和相应的计算速率。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. 包括所有阶段，如“复制”、“缩放”、“添加”和“三元组”。
4. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量stream的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh，请参阅第8节。
3. 运行streamcpy_loop.sh：

```
while [ "1" == "1" ]; do
  taskset -c 0 stream -M 200M -N 1000 &
  taskset -c 1 stream -M 200M -N 1000
done
```

4. 测量功率并记录结果。

表12列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表12. i.MX 93-11x11-EVK_B_stream_loop的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	4.9	8.8	109.65	45

表12. i.MX 93-11x11-EVK_B_stream_loop的测量结果 (平均值) (续)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
	lpd4x_vdd2	1.09	87.1	94.9		
	lpd4x_vddq	0.6	10	6		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.11	0.2	1222.81	
	nvcc_3p3	3.3	3.8	12.5		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_dds	1.09	50.7	55.5		
	vdd_ana_0p8	0.79	16.8	13.2		
	vdd_ana_lp8	1.79	12.4	22.3		
	vdd_soc	0.89	1241.6	1100.4		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.03	0.1		
	vddq_dds	0.6	25.6	15.2		

6.3 音频/视频播放用例

以下音频用例场景已经过了测试：

- 音频播放 (gplay)
- 音频低总线播放 (gplay)
- 本地视频播放 (gplay)
- 视频播放流 (gplay)

6.3.1 音频播放 (gplay)

对于此用例，音频文件是比特率为128kbit/s、采样率为44kHz的MP3文件。CA55处理音频解码、I²S和音频编解码器。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量音频播放的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh，请参阅[第8节](#)。
3. 运行gplay_audio.sh：

```
gplay-1.0 Mpeg1L3_44kHz_128kbps_s_Ed_Rush_Sabotage_mplayer.mp3
```

注：请准备好自己的MP3文件。为了获得与本文相似的结果，请确保音频比特率约为128kbit/s。

4. 测量功率并记录结果。

注：

如果没有声音，请使用以下命令查询和设置声卡：

```
pacmd list-sinks
pacmd set-default-sink $index #Select the item index with the wm8962 keyword
```

表13列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表13. i.MX 93-11x11-EVK_B_gplay_audio-default的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	1	1.8	11.76	34
	lpd4x_vdd2	1.1	8.9	9.7		
	lpd4x_vddq	0.6	0.5	0.3		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.17	0.3	458.63	
	nvcc_3p3	3.3	6.2	20.4		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.1	17.8	19.5		
	vdd_ana_0p8	0.79	20.2	15.9		
	vdd_ana_1p8	1.79	13.7	24.5		
	vdd_soc	0.89	414.1	370.5		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	6.8	4.1			

6.3.2 音频低总线播放 (gplay)

对于此用例，音频文件是采样率为32kHz的24位WAV文件。CA55处理音频解码、I²S和音频编解码器。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为1.4GHz。
2. DDR数据速率设置为625MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量音频低总线播放的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk-1d.dtb启动Linux镜像。
2. 运行DDRC_625MTS_setup.sh (数据速率为625MT/s)，请参阅第8节。
3. 运行gplay_audio.sh：

```
gplay-1.0 Mpeg1L3_44kHz_128kbps_s_Ed_Rush_Sabotage_mplayer.mp3
```

注：请准备好自己的MP3文件。为了获得与本文相似的结果，请确保音频比特率约为128kbit/s。

4. 测量功率并记录结果。

表14列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表14. i.MX 93-11x11-EVK_B_audio_low_power_50 MHz的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	1.3	2.4	12.25	30
	lpd4x_vdd2	1.1	7.7	8.4		
	lpd4x_vddq	0.6	2.5	1.5		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.22	0.4	255.39	
	nvcc_3p3	3.3	6.2	20.6		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.1	4.7	5.1		
	vdd_ana_0p8	0.79	20.2	15.9		
	vdd_ana_lp8	1.79	9.9	17.7		
	vdd_soc	0.8	235.1	187.6		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	7.9	4.7			

6.3.3 本地视频播放 (gplay)

对于此用例，i.MX 93 EVK板通过MIPI转HDMI转换卡 ([IMX-MIPI-HDMI](#)) 连接到HDMI显示器。

播放的视频文件是一个以H.264编码和480p分辨率压缩的MP4格式文件，帧率为每秒24帧。音频采用AAC-LC编码，具有44.1kHz的采样率和双通道配置。

注：在这个SoC中，没有硬件解码器，所以使用了软件解码器。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量本地视频播放的功耗，步骤如下：

1. 通过MIPI转HDMI转换卡 ([IMX-MIPI-HDMI](#)) 将HDMI显示器连接到电路板。
2. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
3. 要让系统进入空闲模式，请运行setup_video.sh。请参阅[第8节](#)。
4. 运行gplay_videoplayback.sh：

```
gplay-1.0 ./480p24.mp4
```

注：请准备自己的MP4文件。要获得相似的结果，需要确保该文件的分辨率为480p，具有24帧速率，约200kbit/s的比特率，并以H.264格式进行编码。

5. 测量功率并记录结果。

[表15](#)列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表15. i.MX 93-11x11-EVK_B_gplay_videoplayback的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	2.9	5.2	56.85	37
	lpd4x_vdd2	1.09	44.3	48.3		
	lpd4x_vddq	0.6	5.7	3.4		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	0	0.7	636.4	
	nvcc_3p3	3.3	6.3	20.9		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.09	25.4	27.8		
	vdd_ana_0p8	0.78	34.4	26.8		
	vdd_ana_lp8	1.78	23	41		
	vdd_soc	0.89	569.7	508.7		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
	vddq_ddr	0.6	11.8	7		

6.3.4 视频播放流 (gplay)

对于此用例，i.MX 93 EVK板通过MIPI转HDMI转换卡 (**IMX-MIPI-HDMI**) 连接到HDMI显示器。

用于播放的视频文件通过HTTP进行流式传输。它是以H.264编码、480p分辨率压缩的MP4文件，帧率为每秒24帧。音频采用AAC1编码，具有44.1kHz的采样率和双通道配置。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量视频播放流的功耗，步骤如下：

1. 将PC和电路板连接到同一个本地网络。
2. 在PC上准备名为480p24.mp4的视频文件。
3. 在服务器PC上，执行以下步骤：
 - a. 对于Windows，请从<https://nodejs.org/en>下载Node.js并安装。
 - b. 要安装http-server服务器，请使用以下命令：

```
npm install http-server -g
```

- c. 在终端中输入包含目标视频的目标文件夹。
 - d. 要获得类似于<ip address:port>的<ip_server>，请使用"http-server -c-1"。
4. 在电路板上，执行以下步骤：
 - a. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
 - b. 通过MIPI到HDMI转换卡 (**IMX-MIPI-HDMI**) 将HDMI显示器连接到电路板。
 - c. 在电路板上运行setup_video_stream.sh。参见第8节。

d. 在电路板上运行以下命令：

```
gplay-1.0 http://<ip_server>/480p24.mp4
```

e. 测量电路板的功率并记录结果。

表16列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表16. i.MX 93-11x11-EVK_B_gplay_video_stream的测量结果（平均值）

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	2.9	5.1	56.81	38
	lpd4x_vdd2	1.09	44.4	48.4		
	lpd4x_vddq	0.6	5.6	3.3		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	6.5	11.6	664.63	
	nvcc_3p3	3.3	5.9	19.3		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.09	24.9	27.3		
	vdd_ana_0p8	0.78	34.7	27.1		
	vdd_ana_lp8	1.78	23	41		
	vdd_soc	0.89	591.2	527.8		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.03	0.1		
vddq_ddr	0.6	11.9	7.1			

6.4 图形用例

对于此用例，PXP用于执行2D操作。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

- CPU频率设置为最大值1.7GHz。
- DDR数据速率设置为3733MT/s。
- CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量图形的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup_video.sh。
3. 运行PXP_test.sh，请参阅第8节。
4. 测量功率并记录结果。

表17列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表17. i.MX 93-11x11-EVK_B_PXP的测量结果（平均值）

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	2.9	5.2	55.25	36

表17. i.MX 93-11x11-EVK_B_PXP的测量结果 (平均值) (续)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
	lpd4x_vdd2	1.09	43.2	47.1		
	lpd4x_vddq	0.6	4.9	2.9		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	0.56	1	543.98	
	nvcc_3p3	3.3	4.1	13.4		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.09	26	28.5		
	vdd_ana_0p8	0.78	29.7	23.2		
	vdd_ana_lp8	1.78	21.8	38.9		
	vdd_soc	0.89	478.3	427.7		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
	vddq_ddr	0.6	13	7.7		

6.5 机器学习用例

经过测试的机器学习用例场景如下：

- eIQ基准测试
- 机器视觉

6.5.1 eIQ基准测试

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33正在运行NPU软件驱动程序。

要测量eIQ基准测试的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh，请参阅[第8节](#)。
3. 要在/usr/bin/tensorflow-lite-2.12.1/examples路径下生成mobilenet_v1_1.0_224_quant_vela.tflite模型文件，请运行以下命令：

```
vela mobilenet_v1_1.0_224_quant.tflite
```

4. 从输出中将mobilenet_v1_1.0_224_quant_vela.tflite复制到/usr/bin/tensorflow-lite-2.12.1/examples。
5. 将ML_vela.sh复制到rootfs中的/usr/bin/tensorflow-lite-2.12.1/examples，然后运行以下命令：

```
/usr/bin/tensorflow-lite-2.12.1/examples/ML_vela.sh 1
```

6. 测量功率并记录结果。

[表18](#)列出了当此用例应用于i.MX 93处理器时的测量结果。

表18. i.MX 93-11x11-EVK_B_eIQ的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	2.1	3.7	32.61	38
	lpd4x_vdd2	1.09	24.8	27.2		
	lpd4x_vddq	0.6	2.9	1.7		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	0.44	0.8	771.2	
	nvcc_3p3	3.3	4.1	13.6		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.09	21.9	23.9		
	vdd_ana_0p8	0.78	16.5	13.1		
	vdd_ana_lp8	1.78	12.5	22.4		
	vdd_soc	0.89	772.5	688.4		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	1.8	9.4	5.6			

6.5.2 机器视觉

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33正在运行NPU软件驱动程序。

要测量机器视觉的功耗，步骤如下：

1. 在[ON Semiconductor](#)下载ap1302固件，并将其重命名为ap1302.fw。
2. 将ap1302.fw复制到路径/lib/firmware/imx/camera/下的目标电路板。
3. 将API302 MIPI摄像头与i.MX 93 EVK上的J801连接。
4. 通过HDMI接口将显示器连接到电路板。
5. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
6. 将经过训练的神经网络ssd_mobilenet_v2_coco_quant_postprocess.tflite和coco_labels.txt下载到路径/usr/bin/tensorflow-lite-2.12.1/examples。要生成vela文件，请运行以下命令：

```
vela ssd_mobilenet_v2_coco_quant_postprocess.tflite
```

7. 运行setup_video_stream.sh。
8. 将名为mobilenet_v1_1.0_224_quant_vela.tflite的MV_vela.sh模型文件和名为coco_labels.txt的标签文件复制到rootfs中的/usr/bin/tensorflow-lite-2.12.1/examples，并运行以下命令：

```
/usr/bin/tensorflow-lite-2.12.1/examples/MV_vela.sh
```

9. 测量功率并记录结果。

[表19](#)列出了当此用例应用于i.MX 93处理器时的测量结果。

表19. i.MX 93-11x11-EVK_B_machine vision的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	4.1	7.4	84.29	40
	lpd4x_vdd2	1.09	66.1	72		
	lpd4x_vddq	0.6	8.2	4.9		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	0.17	0.3	780.47	
	nvcc_3p3	3.3	3.5	11.5		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.09	30.5	33.4		
	vdd_ana_0p8	0.78	35	27.3		
	vdd_ana_lp8	1.78	24.6	43.9		
	vdd_soc	0.89	730.6	651.4		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.03	0.1		
vddq_ddr	0.6	15.5	9.3			

6.6 存储用例

测试的存储用例场景如下：

- DD_WRITE_eMMC
- DD_READ_eMMC
- DD_WRITE_SD
- DD_READ_SD

6.6.1 DD_WRITE_eMMC

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。
4. 内核为单个文件提前读取的最大数据量设置为512kB。

要测量DD_WRITE_eMMC的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh。
3. 在eMMC分区上复制dd_write.sh并运行。
4. 测量功率并记录结果。

[表20](#)列出了当此用例应用于i.MX 93处理器时的测量结果。

表20. i.MX 93-11x11-EVK_B_DD_WRITE_eMMC的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	0.67	1.2	8.62	34
	lpd4x_vdd2	1.1	6.8	7.4		
	lpd4x_vddq	0.6	0.17	0.1		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	7.4	13.3	420.43	
	nvcc_3p3	3.3	4	13.4		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.1	17.9	19.6		
	vdd_ana_0p8	0.79	16.4	12.9		
	vdd_ana_1p8	1.79	12.5	22.4		
	vdd_soc	0.9	370.1	331.2		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	7	4.2			

6.6.2 DD_READ_eMMC

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。
4. 内核为单个文件提前读取的最大数据量设置为512kB。

要测量DD_READ_eMMC的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh。
3. 确保存在文件dd_obs_testfile，并将其重命名为dd_obs_testfile。
4. 在eMMC分区上复制dd_read_bs4096.sh并运行。
5. 测量功率并记录结果。

[表21](#)列出了当此用例应用于i.MX 93处理器时的测量结果。

表21. i.MX 93-11x11-EVK_B_DD_READ_eMMC的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	2.5	4.4	39.63	37
	lpd4x_vdd2	1.09	30.4	33.3		
	lpd4x_vddq	0.6	3.3	2		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	7.7	13.7	644.85	
	nvcc_3p3	3.3	4	13.1		

表21. i.MX 93-11x11-EVK_B_DD_READ_eMMC的测量结果 (平均值) (续)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_dds	1.09	23.6	25.9		
	vdd_ana_0p8	0.79	16.7	13.1		
	vdd_ana_lp8	1.79	12.5	22.3		
	vdd_soc	0.89	612.1	546.3		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
	vddq_dds	0.6	11.7	7		

6.6.3 DD_WRITE_SD

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。
4. 内核为单个文件提前读取的最大数据量设置为512kB。

要测量DD_WRITE_SD的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh。
3. 在SD分区上复制dd_write.sh并运行。
4. 测量功率并记录结果。

表22列出了当此用例应用于i.MX 93处理器时的测量结果。

表22. i.MX 93-11x11-EVK_B_DD_WRITE_SD10的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	1.1	2	13.22	35
	lpd4x_vdd2	1.1	10.1	11		
	lpd4x_vddq	0.6	0.33	0.2		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.28	0.5	527.58	
	nvcc_3p3	3.3	0.76	2.5		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	1.79	14.7	26.3		
	vdd2_dds	1.1	18.3	20		
	vdd_ana_0p8	0.79	16.6	13.1		
	vdd_ana_lp8	1.79	12.5	22.5		

表22. i.MX 93-11x11-EVK_B_DD_WRITE_SD10的测量结果 (平均值) (续)

电源轨标签	平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
vdd_soc	0.89	490	438		
vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_dds	0.6	7.4	4.4		

6.6.4 DD_READ_SD

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。
4. 内核为单个文件提前读取的最大数据量设置为512kB。

要测量DD_READ_SD的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh。
3. 确保存在dd_obs_testfile文件，并将其重命名为dd_ibs_testfile。
4. 在SD分区上复制dd_read.sh并运行。
5. 测量功率并记录结果。

表23列出了当此用例应用于i.MX 93处理器时的测量结果。

表23. i.MX 93-11x11-EVK_B_DD_READ_SD10的测量结果 (平均值)

电源轨标签	平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	1.3	2.4	18.51
	lpd4x_vdd2	1.1	14.1	15.5	
	lpd4x_vddq	0.6	1.1	0.7	
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.22	0.4	518.22
	nvcc_3p3	3.3	0.76	2.5	
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2	
	nvcc_sd2	1.79	15.5	27.8	
	vdd2_dds	1.1	19	20.8	
	vdd_ana_0p8	0.79	16.6	13.1	
	vdd_ana_lp8	1.79	12.5	22.4	
	vdd_soc	0.89	476.1	425.8	
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2	
	vddq_dds	0.6	8.3	5	

6.7 低功耗模式用例

以下低功耗模式用例场景已经过了测试：

- 系统处于空闲状态，显示器开启，在OD模式下运行，启用了DDRC自动时钟门控。
- 系统处于空闲状态，显示器开启，在ND模式下运行。
- 系统处于空闲状态，显示器开启，在LD模式下运行（DDR的速度减半）。
- 系统处于空闲状态，显示器开启，在LD模式下运行（DDR速度降至最低，使用了SWFFC）。
- 系统处于空闲状态，显示器开启，在OD模式下运行，未启用DDRC自动时钟门控。
- 系统处于空闲状态，显示器开启，在ND模式下运行，未启用DDRC自动时钟门控
- 系统处于空闲状态，显示器开启，在LD模式下运行，未启用DDRC自动时钟门控（DDR的速度减半）。
- 系统处于空闲状态，显示器开启，在LD模式下运行，未启用DDRC自动时钟门控（DDR速度降至最低，使用了SWFFC）
- 系统处于DSM
- 电池

6.7.1 系统处于空闲状态，显示器开启，在OD模式下运行，启用了DDRC自动时钟门控

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU默认频率设置为1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量“系统处于空闲状态，显示器开启，在OD模式下运行，启用了DDRC自动时钟门控”时的功耗，步骤如下：

1. 通过MIPI转HDMI转换卡（[IMX-MIPI-HDMI](#)）将HDMI显示器连接到电路板。
2. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
3. 运行setup_video.sh。
4. 默认模式为OD模式。
5. 测量功率并记录结果。

[表24](#)列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表24. i.MX 93-11x11-EVK_B_System_idle_w_display_on_OD_mode_DDRC_auto_clock_gating的测量结果（平均值）

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	1.6	2.9	28.42	30
	lpd4x_vdd2	1.09	20.8	22.8		
	lpd4x_vddq	0.6	4.6	2.8		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	2.23	0.4	482.51	
	nvcc_3p3	3.3	3.7	12.3		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_dds	1.1	18.7	20.4		
	vdd_ana_0p8	0.78	30.6	23.9		
vdd_ana_lp8	1.79	21.9	39.1			

表24. i.MX 93-11x11-EVK_B_System_idle_w_display_on_OD_mode_DDRC_auto_clock_gating的测量结果 (平均值) (续)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
	vdd_soc	0.9	423	378.6		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
	vddq_dds	0.6	7.3	4.4		

6.7.2 系统处于空闲状态，显示器开启，在ND模式下运行

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU默认频率设置为1.4GHz。
2. DDR数据速率设置为2800MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量“系统处于空闲状态，显示器开启，在ND模式下运行，启用了DDRC自动时钟门控”时的功耗，步骤如下：

1. 通过MIPI转HDMI转换卡 ([IMX-MIPI-HDMI](#)) 将HDMI显示器连接到电路板。
2. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
3. 运行setup_video.sh。
4. 要使系统进入ND模式，请运行以下命令：

```
echo 1 > /sys/devices/platform/imx93-lpm/mode
```

5. 测量功率并记录结果。

表25列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表25. i.MX 93-11x11-EVK_B_System_idle_w_display_on_OD_mode_DDRC_auto_clock_gating的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	1.3	2.4	29.5	31
	lpd4x_vdd2	1.09	19.3	21.1		
	lpd4x_vddq	0.6	10.1	6		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	0.17	0.3	381.95	
	nvcc_3p3	3.3	4	13.2		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_dds	1.1	11.6	12.7		
	vdd_ana_0p8	0.78	31.3	24.5		
	vdd_ana_lp8	1.78	22.1	39.5		
	vdd_soc	0.85	334.7	283.1		
vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2			

表25. i.MX 93-11x11-EVK_B_System_idle_w_display_on_ND_mode_DDRC_auto_clock_gating的测量结果 (平均值) (续)

电源轨标签	平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
vddq_dds	0.6	8.8	5.3		

6.7.3 系统处于空闲状态，显示器开启，在LD模式下运行 (DDR的速度减半)

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU默认频率设置为0.9GHz。
2. DDR频率设置为1866MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量“系统处于空闲状态，显示器开启，在LD模式下运行，启用了DDRC自动时钟门控 (DDR的速度减半)”时的功耗，步骤如下：

1. 通过MIPI转HDMI转换卡 ([IMX-MIPI-HDMI](#)) 将HDMI显示器连接到电路板。
2. 使用imx93-11x11-evk-ld.dtb启动Linux镜像。
3. 运行setup_video.sh。
4. 要使系统进入LD模式 (DDR的速度减半)，请运行以下命令：

```
echo 2 > /sys/devices/platform/imx93-lpm/mode
```

5. 测量功率并记录结果。

表26列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表26. i.MX 93-11x11-EVK_B_System_idle_w_display_on_LD_mode_half_speed_DDR的测量结果 (平均值)

电源轨标签	平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	1.5	2.8	29.73
	lpd4x_vdd2	1.09	19.1	20.9	
	lpd4x_vddq	0.6	10.2	6.1	
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	0.5	0.9	315.18
	nvcc_3p3	3.3	4	13.2	
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2	
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1	
	vdd2_dds	1.1	11.6	12.7	
	vdd_ana_0p8	0.78	30.7	24	
	vdd_ana_1p8	1.78	21.8	38.9	
	vdd_soc	0.8	272	217	
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2	
	vddq_dds	0.6	8.6	5.1	

6.7.4 系统处于空闲状态，显示器开启，在LD模式下运行（DDR速度降至最低，使用了SWFFC）

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU默认频率设置为0.9GHz。
2. DDR频率设置为625MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量“系统处于空闲状态，显示器开启，在LD模式下运行（DDR速度降至最低，使用了SWFFC）”时的功耗，步骤如下：

1. 通过MIPI转HDMI转换卡（[IMX-MIPI-HDMI](#)）将HDMI显示器连接到电路板。
2. 使用imx93-11x11-evk-ld.dtb启动Linux镜像。
3. 运行setup_video.sh。
4. 要使系统进入LD模式，通过SWFFC降DDR速度降至最低，请运行以下命令：

```
echo 3 > /sys/devices/platform/imx93-lpm/mode
```

5. 测量功率并记录结果。

[表27](#)列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表27. i.MX 93-11x11-EVK_B_System_idle_w_display_on_LD_mode_lowest_speed_DDR_SWFFC的测量结果（平均值）

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	1.9	3.4	42.17	30
	lpd4x_vdd2	1.1	20.3	22.2		
	lpd4x_vddq	0.59	27.9	16.5		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	0.30	0.5	275.26	
	nvcc_3p3	3.3	3.7	12.3		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.1	9.7	10.6		
	vdd_ana_0p8	0.78	30.7	24		
	vdd_ana_lp8	1.79	18.1	32.3		
	vdd_soc	0.8	232.6	185.6		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	10.8	6.4			

6.7.5 系统处于空闲状态，显示器关闭，在OD模式下运行，启用了DDRC自动时钟门控

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU默认频率设置为1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量“系统处于空闲状态，显示器关闭，在OD模式下运行，启用了DDRC自动时钟门控”时的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh。
3. 默认模式为OD模式。
4. 要启用auto_clk_gating，请运行以下命令：

```
echo 256 > /sys/devices/platform/imx93-lpm/auto_clk_gating
```

其中256表示进入DDR空闲状态的持续时间；单位为时钟周期。

5. 测量功率并记录结果。

表28列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表28. i.MX 93-11x11-EVK_B_System_idle_w/o_display_on_OD_mode_DDRC_auto_clock_gating的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	0.5	0.9	6.42	29
	lpd4x_vdd2	1.1	5.1	5.5		
	lpd4x_vddq	0.6	0	0		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0	0.2	345.56	
	nvcc_3p3	3.3	3.7	12.4		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.1	17.3	18.9		
	vdd_ana_0p8	0.79	16.3	12.9		
	vdd_ana_lp8	1.79	12.5	22.5		
	vdd_soc	0.9	302.6	271.2		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	6.7	4			

6.7.6 系统处于空闲状态，显示器关闭，在ND模式下运行，启用了DDRC自动时钟门控

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU默认频率设置为1.4GHz。
2. DDR数据速率设置为2880MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量“系统处于空闲状态，显示器关闭，在ND模式下运行，启用了DDRC自动时钟门控”时的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh。
3. 要使系统进入ND模式，并启用DDRC自动时钟门，请运行以下命令：

```
echo 1 > /sys/devices/platform/imx93-lpm/mode
```

4. 要启用auto_clk_gating, 请运行以下命令:

```
echo 256 > /sys/devices/platform/imx93-lpm/auto_clk_gating
```

其中256表示进入DDR空闲状态的持续时间; 单位为时钟周期。

5. 测量功率并记录结果。

表29列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表29. i.MX 93-11x11-EVK_B_system_idle_w/o_display_on_ND_mode_DDRC_auto_clock_gating的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	0.39	0.7	5.72	29
	lpd4x_vdd2	1.1	4.5	5		
	lpd4x_vddq	0.6	0.17	0.1		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0	0.3	288.11	
	nvcc_3p3	3.3	3.8	12.5		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.1	8.7	9.6		
	vdd_ana_0p8	0.79	17	13.4		
	vdd_ana_lp8	1.79	12.7	22.8		
	vdd_soc	0.85	261.8	221.6		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	7.5	4.5			

6.7.7 系统处于空闲状态, 显示器关闭, 在LD模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控 (DDR的速度减半)

当该用例正在运行时, 系统的状态如下:

1. CPU默认频率设置为0.9GHz。
2. DDR数据速率设置为1866MT/s。
3. CM33处于复位保持状态, 等待复位信号释放。

要测量“系统处于空闲状态, 显示器关闭, 在LD模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控 (DDR的速度减半)”时的功耗, 步骤如下:

1. 使用imx93-11x11-evk-ld.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh。
3. 要使系统进入LD模式 (DDR的速度减半), 请运行以下命令:

```
echo 2 > /sys/devices/platform/imx93-lpm/mode
```

4. 要启用auto_clk_gating, 请运行以下命令:

```
echo 256 > /sys/devices/platform/imx93-lpm/auto_clk_gating
```

其中256表示进入DDR空闲状态的持续时间; 单位为时钟周期。

5. 测量功率并记录结果。

表30列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表30. i.MX 93-11x11-EVK_B_system_idle_w/o_display_on_LD_mode_DDRC_auto_clock_gating_half_speed_DDR的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	0.44	0.8	5.42	29
	lpd4x_vdd2	1.1	4.2	4.6		
	lpd4x_vddq	0.6	0	0		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.17	0.3	227.21	
	nvcc_3p3	3.3	3.9	12.9		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3		
	vdd2_ddr	1.1	8.9	9.8		
	vdd_ana_0p8	0.79	16.3	12.9		
	vdd_ana_lp8	1.79	12.5	22.3		
	vdd_soc	0.8	201.7	161.1		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	7.5	4.5			

6.7.8 系统处于空闲状态，显示器关闭，在LD模式下运行，启用了DDRC自动时钟门控（DDR速度降至最低，使用了SWFFC）

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU默认频率设置为0.9GHz。
2. DDR数据速率设置为625MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量“系统处于空闲状态，显示器关闭，在LD模式下运行，启用了DDRC自动时钟门控（DDR速度降至最低，使用了SWFFC）”时的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk-ld.dtb启动Linux镜像。
2. 运行setup.sh。
3. 要使系统进入LD模式（DDR速度降至最低，使用SWFFC），请运行以下命令：

```
echo 3 > /sys/devices/platform/imx93-lpm/mode
```

4. 要启用auto_clk_gating，请运行以下命令：

```
echo 256 > /sys/devices/platform/imx93-lpm/auto_clk_gating
```

其中256表示进入DDR空闲状态的持续时间；单位为时钟周期。

5. 测量功率并记录结果。

表31列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表31. i.MX 93-11x11-EVK_B_system_idle_w/o_display_on_LD_mode_DDRC_auto_clock_gating_lowest_speed_DDR_SWFCC的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	0.44	0.8	5.12	28
	lpd4x_vdd2	1.1	3.9	4.3		
	lpd4x_vddq	0.6	0	0		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.22	0.4	199.88	
	nvcc_3p3	3.3	4	13.1		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.1	3.5	3.8		
	vdd_ana_0p8	0.79	16.3	12.9		
	vdd_ana_lp8	1.79	8.8	15.7		
	vdd_soc	0.8	183.6	146.6		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	6.7	4			

6.7.9 系统处于DSM

该用例基于挂起模式，这意味着以下几点：

- CA55集群关闭
- MEDIAMIX关闭
- NICMIX关闭
- WAKEUPMIX开启
- PLL关闭
- 24 M OSC关闭
- PMIC处于STBY模式

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. DDR处于保留模式。
2. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量系统在DSM时的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk-DSM.dtb启动Linux镜像。
2. 要使系统进入挂起（深度睡眠）模式，请运行以下命令：

```
echo mem > /sys/power/state
```

3. 测量功率并记录结果。

[表32](#)列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表32. i.MX 93-11x11-EVK_B_DSM的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	0.39	0.7	1.77	无法测量芯片温度，因为CA55核已被挂起。
	lpd4x_vdd2	1.1	0.9	1.0		
	lpd4x_vddq	0	0	0		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.5	0.9	7.56	
	nvcc_3p3	3.3	0.33	1.1		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.24	0.8		
	vdd2_ddr	1.1	0.18	0.2		
	vdd_ana_0p8	0.8	0.75	0.6		
	vdd_ana_1p8	1.8	0.78	1.4		
	vdd_soc	0.65	3.5	2.3		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0	0	0			

6.7.10 电池

i.MX 93处理器的BBSM模式是一种低功耗模式，其中只有BBSM域电源保持开启。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. 除NVCC_BBSM_IP8外，所有电源均处于外部关闭状态。
2. 安全实时时钟（SRTC）保持并正常运行。
3. 保留防篡改逻辑。
4. SNVS处于1.8V DGO（VBAT输入：3V）。
5. 关闭CA55和LPAV中的所有时钟和PLLS。

要配置和运行该用例，步骤如下：

1. 在CA55中使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 按下ON/OFF（打开/关闭）键3秒钟。
3. 测量功率并记录结果。

[表33](#)列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表33. i.MX 93-11x11-EVK_B_Battery的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (μW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	0	0	0	-0.075	无法测量芯片温度，因为CA55核已被挂起。
	lpd4x_vdd2	0	0	0		
	lpd4x_vddq	0	0	0		

表33. i.MX 93-11x11-EVK_B_Battery的测量结果 (平均值) (续)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (μW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	0	0	0	97.978	
	nvcc_3p3	0	0	0		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.06	0.1		
	nvcc_sd2	0	0	0		
	vdd2_ddr	0	0	0		
	vdd_ana_0p8	0	0	0		
	vdd_ana_lp8	0	0	0		
	vdd_soc	0	0	0		
	vdd_usb_3p3	0	0	0		
	vddq_ddr	0	0	0		

6.8 压力测试用例

以下压力用例场景已经过了测试：

- 2 x CA55 Dhrystone+ PXP + CM33 CoreMark + NPU
- 2 x CA55 Stream+ PXP + CM33 CoreMark + NPU

6.8.1 2 x CA55 Dhrystone + PXP + CM33 CoreMark + NPU

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. LCDIF和PXP用于GUI渲染和显示。
4. CA55用于Dhrystone。
5. CM33用于CoreMark和NPU。

要测量“2 x CA55 Dhrystone + PXP + CM33 CoreMark + NPU”的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 备份/lib/firmware/ethosu_firmware。将ethosu_apps_rpmsg_coremark.out复制到/lib/firmware，并将其重命名为ethosu_firmware。对于其他与NPU相关的情况，请使用默认设置。
3. 将名为mobilenet_v1_1.0_224_quant_vela.tflite的模型复制到/usr/bin/tensorflow-lite-2.12.1/examples。ML_vela.sh中的TensorFlow版本必须一致。
4. 运行setup_video.sh。
5. 同时运行dhrystone_loop.sh、PXP_test.sh和ML_vela.sh。
6. 测量功率并记录结果。

表34列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表34. i.MX 93-11x11-EVK_B_2xCA55_Dhrystone_PXP_CM33_CoreMark_NPU的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	4	7.3	98.7	48
	lpd4x_vdd2	1.09	76.7	83.4		
	lpd4x_vddq	0.59	13.6	8.1		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	0.45	0.8	1230.48	
	nvcc_3p3	3.3	3.7	12.1		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.09	33	36.2		
	vdd_ana_0p8	0.78	33.8	26.4		
	vdd_ana_1p8	1.78	22.9	40.8		
	vdd_soc	0.89	1243.2	1101.3		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	15.9	9.5			

6.8.2 2 x CA55 Stream + PXP + CM33 CoreMark + NPU

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. LCDIF和PXP用于GUI渲染和显示。
4. CA55用于Stream。
5. CM33用于CoreMark和NPU。

要测量“2 x CA55 Stream + PXP + CM33 CoreMark + NPU”的功耗，步骤如下：

1. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
2. 备份/lib/firmware/ethosu_firmware。将ethosu_apps_rpmsg_coremark.out复制到/lib/firmware，并将其重命名为ethosu_firmware。对于其他与NPU相关的情况，请使用默认设置。
3. 将名为mobilenet_v1_1.0_224_quant_vela.tflite的模型复制到/usr/bin/tensorflow-lite-2.12.1/examples。ML_vela.sh中的TensorFlow版本必须一致。
4. 运行setup_video.sh。
5. 同时运行streamcpy_loop.sh、PXP_test.sh和ML_vela.sh。
6. 测量功率并记录结果。

表35列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表35. i.MX 93-11x11-EVK_B_2xCA55_Stream_PXP_CM33_CoreMark_NPU的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	7.1	12.6	158.25	48
	lpd4x_vdd2	1.08	122.5	132.9		
	lpd4x_vddq	0.59	21.6	12.7		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	0.22	0.4	1264.123	
	nvcc_3p3	3.3	3.8	12.6		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.09	47.6	52		
	vdd_ana_0p8	0.78	34	26.5		
	vdd_ana_1p8	1.78	22.8	40.7		
	vdd_soc	0.89	1256.9	1113.1		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
	vddq_ddr	0.6	25.7	15.3		

6.9 产品用例

以下产品用例场景已经过了测试：

- Linux挂起 + CM33 CoreMark基准测试 (TCM)
- Linux挂起 + CM33处于WFI状态
- Linux挂起 + CM33处理FlexCAN 事务
- 智能门铃

6.9.1 Linux挂起 + CM33 CoreMark基准测试 (TCM)

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. Linux操作系统配置为挂起模式。
2. DDR处于自刷新模式。
3. CM33正在运行CoreMark基准测试。

要测量“Linux挂起 + CM33 CoreMark基准测试 (TCM)”的功耗，步骤如下：

1. 将power_mode_switch_flexcan_coremark.bin复制到SD卡上的启动分区。
2. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
3. 在U-Boot中停止。
4. 运行：

```
setenv mmcargs $mmcargs clk_ignore_unused
fatload mmc 1:1 0x80000000
power_mode_switch_flexcan_coremark.binpower_mode_switch_coremark.bin;cp.b 0x80000000
0x201e0000 0x10000;bootaux 0x1ffe0000 0
```

5. 要启动内核，请运行boot。

6. 要让系统进入挂起模式，请运行以下命令：

```
echo mem > /sys/power/state
```

7. 切换到CM33控制台，输入字母“Z”即可运行CoreMark基准测试。

8. 测量功率并记录结果。

表36列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表36. i.MX 93-11x11-EVK_B_DSM_CM33_CoreMark_(TCM)的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	0.5	0.9	1.89	无法测量芯片温度，因为CA55核已被挂起。
	lpd4x_vdd2	1.1	0.9	1		
	lpd4x_vddq	0.6	0	0		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.33	0.6	128.16	
	nvcc_3p3	3.3	3.7	12.4		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.1	0.18	0.2		
	vdd_ana_0p8	0.79	12.8	10.2		
	vdd_ana_lp8	1.79	3.3	5.9		
	vdd_soc	0.9	106.3	95.5		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	0	0			

6.9.2 Linux挂起 + CM33处于等待中断模式

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. Linux操作系统配置为挂起模式。
2. DDR处于自刷新模式。
3. CM33处于“等待中断”（WFI）模式。

要测量“Linux挂起+CM33处于等待中断模式”时的功耗，步骤如下：

1. 将power_mode_switch_flexcan_coremark.bin复制到SD卡上的启动分区。
2. 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
3. 在U-Boot中停止。
4. 运行：

```
setenv mmcargs $mmcargs clk_ignore_unused
fatload mmc 0:1 0x80000000 power_mode_switch_flexcan_coremark.bin
cp.b 0x80000000 0x201e0000 0x10000;bootaux 0x1ffe0000 0
```

5. 要启动内核，请运行boot。

```
echo mem > /sys/power/state
```

6. 要让系统进入挂起模式，请运行以下命令：

7. 切换到CM33控制台，输入字母“B”即可进入WFI模式。
8. 测量功率并记录结果。

表37列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表37. i.MX 93-11x11-EVK_B_DSM_CM33_WFI的测量结果（平均值）

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	0.44	0.8	1.84	无法测量芯片温度，因为CA55核已被挂起。
	lpd4x_vdd2	1.1	1	1.1		
	lpd4x_vddq	0.6	0	0		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.28	0.5	122.41	
	nvcc_3p3	3.3	3.7	12.2		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.1	0.09	0.1		
	vdd_ana_0p8	0.79	12.8	10.2		
	vdd_ana_1p8	1.79	6.14	11.01		
	vdd_soc	0.9	100.3	90.1		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.06	0.2		
vddq_ddr	0.6	0	0			

6.9.3 Linux挂起 + CM33处理FlexCAN事务

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. Linux操作系统配置为挂起模式。
2. DDR处于自刷新模式。
3. CM33正在发送/接收CAN帧。

要测量“Linux挂起 + CM33处于WFI”时的功耗，步骤如下：

1. 准备两块i.MX 93 EVK板，即A板和B板。
2. 将这两块电路板的CAN连接器连接在一起。
3. 在这两块电路板上，执行以下步骤：
 - a. 将power_mode_switch_flexcan_coremark.bin复制到启动设备。
 - b. 启动Linux镜像。
 - c. 在U-Boot中停止。
 - d. 运行：

```
setenv mmcargs $mmcargs clk_ignore_unused
fatload mmc 1:1 ${loadaddr} power_mode_switch_flexcan_coremark.bin;cp.b ${loadaddr}
0x201e0000 0x10000;bootaux 0x1ffe0000 0
fatload mmc ${mmcdev}:${mmcpart} ${fdt_addr_r} ${fdtfile};
fdt addr ${fdt_addr_r};
fdt rm /soc/bus@44000000/can@443a0000;
run mmcargs;
fatload mmc ${mmcdev}:${mmcpart} ${loadaddr} ${image};
run boot_os
```


- e. 切换到CM33控制台，输入字母“Y”，进入CAN测试模式。
4. 在B板上，在CM33控制台中，输入字母“B”，开始接收来自A板的CAN消息。
5. 在A板上，执行以下步骤：
 - a. 在CM33控制台中，输入字母“A”开始发送和接收CAN消息。两个CM33控制台都开始打印日志。
 - b. 要挂起CA55核，请运行以下命令：

```
echo mem > /sys/power/state
```

- c. 仅测量A板的功率值。

[表38](#)列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表38. i.MX 93-11x11-EVK_B_DSM_M33_FlexCAN的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.8	0.5	0.9	2.07	无法测量芯片温度，因为CA55核已被挂起。
	lpd4x_vdd2	1.1	1	1.1		
	lpd4x_vddq	0.6	0	0		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.8	0.39	0.7	132.32	
	nvcc_3p3	3.3	3.8	12.7		
	nvcc_bbsm_lp8	1.79	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.3	0.9	3.1		
	vdd2_ddr	1.1	0.27	0.3		
	vdd_ana_0p8	0.79	12.9	10.2		
	vdd_ana_lp8	1.79	3.3	6		
	vdd_soc	0.9	110.4	99.1		
	vdd_usb_3p3	3.3	0.03	0.1		
	vddq_ddr	0.6	0	0		

6.9.4 智能门铃

对于此用例，门铃是使用摄像头模拟的。在门铃上采集的视频流可以通过网络发送到其他设备。AP1302 MIPI摄像头用于录制视频。视频的分辨率为480p，以H.264格式进行编码，然后通过RTP协议进行传输。在主机上，视频播放软件VLC可以打开会话描述协议（SDP）文件。通过打开该文件，可以查看流媒体视频。

当该用例正在运行时，系统的状态如下：

1. CPU频率设置为最大值1.7GHz。
2. DDR数据速率设置为3733MT/s。
3. CM33处于复位保持状态，等待复位信号释放。

要测量智能门铃的功耗，步骤如下：

1. 从[ON Semiconductor](#)下载ap1302固件，并将其重命名为ap1302.fw。
2. 将ap1302.fw复制到路径/lib/firmware/imx/camera/下的目标电路板。

- 将AP1302 MIPI摄像头与i.MX 93 EVK上的J801连接。
- 使用imx93-11x11-evk.dtb启动Linux镜像。
- 运行setup_video_stream.sh。
- 要录制视频并通过RTP协议进行传输，请运行以下命令：

```
gst-launch-1.0 v4l2src device=/dev/video0 ! \
video/x-raw,width=640,height=480,framerate=30/1 ! \
x264enc tune=zerolatency bitrate=500 speed-preset=superfast ! \
rtph264pay config-interval=10 pt=96 ! \
udpsink host=[HOST_PC_IP] port=50000
```

在主机上使用VLC打开SDP文件。SDP文件中的内容如下：

```
v=0
m=video 5000 RTP/AVP 96
c=IN IP4 [BOARD_IP]
a=rtpmap:96 H264/90000
```

表39列出了当此用例应用于i.MX93处理器时的测量结果。

表39. i.MX 93-11x11-EVK_B_smart_doorbell的测量结果 (平均值)

电源轨标签		平均电压 (V)	平均电流 (mA)	平均功率 (mW)	平均功率之和 (mW)	0区芯片温度 (°C)
GROUP_DRAM	lpd4x_vdd1	1.79	3	5.4	54.3	40
	lpd4x_vdd2	1.09	40.4	44.1		
	lpd4x_vddq	0.6	8.1	4.8		
GROUP_SOC_FULL	nvcc_lp8	1.79	6.5	11.6	772.06	
	nvcc_3p3	3.28	3.2	10.4		
	nvcc_bbsm_lp8	1.81	0.11	0.2		
	nvcc_sd2	3.28	0.9	3		
	vdd2_dds	1.09	22.7	24.9		
	vdd_ana_0p8	0.78	33	25.7		
	vdd_ana_lp8	1.78	23	41.1		
	vdd_soc	0.89	729.6	648.7		
	vdd_usb_3p3	3.28	0.03	0.1		
	vddq_dds	0.6	10.6	6.4		

7 降低功耗

系统总功耗取决于软件优化和系统硬件实现。以下建议列表有助于降低系统功耗。其中一些建议已经在Linux BSP和/或SDK中实现。每个单独用户的系统均可以进行进一步的优化。

注：未来的软件版本计划进一步优化功率。要获取最新的软件版本，请参阅《i.MX软件和开发工具》。

- 当不使用时钟或模块时，通过在CCM中配置寄存器来应用时钟门控。
- 对于运行模式，请使用能够满足应用程序要求的最慢频率。

- 尽量减少正在运行的PLL数量。启用的PLL会消耗几毫安的电流。
- 对Arm核实施电压和频率缩放（VFS），并调整AXI、AHB和IPG总线时钟的频率，可以显著降低功耗。然而，降低操作频率可能会延长访问DDR的时间，进而增加DDR I/O和存储器的功耗。因此，在每种模式下，都应仔细权衡这些因素，以量化它们对系统功率的总体影响。
- 尽可能使SoC处于低功耗模式，只要能满足应用需求即可。考虑以下示例：
 - 当系统可以进入深度睡眠时，将其置于挂起模式。
 - 仅使用CM33核，使系统进入低功耗运行模式。
 - 在低负载使用场景下，关闭CA55核和其他功能域的电源。
- 对于每种操作模式，使用能够满足数据手册中电压规格要求的最低电压（考虑电源容差）。
- DDR接口优化：
 - 精心布局DDR存储器的电路板布线，使PCB走线长度尽可能短。
 - 使用适当的输出驱动阻抗，为DDR接口引脚提供良好的阻抗匹配。为了节省DDR I/O引脚的电流，选择尽可能低的驱动强度来提供所需的性能。
 - LPDDR4/LPDDR4x存储器产品使用最新工艺技术，可以显著降低DDR设备和DDR I/O的功耗。

以下各节提供了有关系统优化的更多详细信息。这些部分未详尽列出可以降低功耗的功能，但展示了最简单和最常见的功能。

- [快速运行和空闲](#)
- [时钟门控](#)
- [DDR自动时钟门控](#)
- [减少PLL](#)
- [核VFS和系统总线缩放](#)
- [降低DDR频率](#)
- [DDR接口优化](#)
- [PHY的电源门控](#)
- [工作负载分布](#)
- [使用OCRAM最大限度地减少DDR访问](#)
- [热管理以减少漏电流](#)
- [标称驱动模式](#)

7.1 快速运行和空闲

恩智浦测试和各项研究表明，对于大多数客户用例，最佳的功率/能耗管理协议是以最大速度运行内核，以应对工作负载，然后尽快降至最低功耗模式。对于需要不断处理数据的应用（例如，低延迟音频播放），这种策略无法提供最佳的节能。但此策略适用于其他标准工作负载。对每个应用程序都应仔细权衡这些因素，以量化对系统功率/能耗的总体影响。

用户必须尽可能使i.MX 93处于低功耗模式。

7.2 时钟门控

i.MX 93的内部CCM提供了一种可编程方法，用于在不使用某些模块时禁用它们的时钟源。要减少能源浪费，需要始终配置CCM寄存器。

无论在SoC还是PCB上，驱动任何非活动信号，都只是对线路和该信号的负载电容进行充电和放电。在默认情况下，恩智浦BSP发布的软件实施时钟门控。

7.3 DDR自动时钟门控

当总线在DDR BLK_CTRL模块的`ssi_idle_strap`字段中配置的周期数之后进入空闲时，DDR会自动进行时钟门控以节省电力。此功能可以很好地平衡DDR子系统的性能和功率。可以根据实际用例动态调整时钟门控之前的空闲周期数，以优化节能。

在i.MX 93中，`auto_clk_gating`用于启用DDR自动时钟门控。因此，当在设定的空闲计数到期后不访问DDR时，可以节省电力。“写入0”禁用自动时钟门控，“写入非零”值会将`ssi_idle_strip`设置为该非零值，并启用自动时钟门控。小于256的值会降低DDR的性能，因此当用户想要启用该功能时，建议使用大于或等于256的值。当启用自动时钟门控时，像1080 P 60 fps这样高分辨率的显示器在较低的DDR频率下可能会闪烁。建议在显示器/NPU运行时不要调整`auto_clk_gating`。

7.4 减少PLL

每个PLL块在活动状态都会消耗大量电力。每个应用都有独特的要求，如果可能，应该减少运行的PLL数量。i.MX 93中的CCM对每个PLL提供根时钟多路复用和可编程控制，可以通过直接控制模式或CPU低功耗模式进行。因此，允许修改根时钟源以限制PLL源，并减少运行时活动PLL的数量。确保应用在转回全操作状态时考虑PLL重新锁定时间。

7.5 核VFS和系统总线缩放

对Arm核应用VFS并缩放（非动态）NOC、AXI、AHB和IPG系统总线时钟的频率可以显著降低VDD_SOC域的功耗。然而，降低系统频率的操作会导致访问DDR的时间变长，进而增加特定用例的能耗。对每个模式都要权衡这些因素，以量化对系统功耗的总体影响。

7.6 降低DDR频率

如前所述，DDR I/O总线频率也会影响DDR I/O电流。通过软件接口使用DDR的HWFFC/SWFFC技术，可以通过降低DDR频率来显著降低功耗。

7.7 DDR接口优化

要优化DDR接口，建议如下：

- 精心布局DDR存储器的电路板布线，使PCB走线长度尽可能短。走线长度越长、过孔越多，会为信号增加更多的PCB电容，进而导致信号路径上浪费的能源增加。
- 保持片上端接（ODT）值尽可能低。所使用的端接对DDR接口引脚的功耗有很大影响。为了确保ODT变化不会降低总线信号的完整性，需要对DDR接口进行仿真。
- 使用适当的输出驱动阻抗为DDR接口引脚提供良好的阻抗匹配。选择能提供所需性能的最低驱动强度，以减少流经DDR I/O引脚的电流。请记住，必须进行仿真以确保信号的完整性。

- DDR存储器产品使用最新工艺技术，可以显著减少DDR设备和DDR I/O的功耗。
- 确定DDR存储器的大小非常重要。如果您选择了4GB的存储器，却只使用2GB，则会浪费未使用的2GB DDR的刷新电流。
- ECC DDR区域的大小选择非常重要，因为这个功能会使用更多的能源。

7.8 PHY的电源门控

在寻求节能时，未使用模块的PHY经常被忽视。许多PHY包含本地PLL或时钟电路和电压参考，这些组件即使在不使用时也会消耗电力。因此，以太网、MIPI和USB等高速PHY会受到影响。

7.9 工作负载分布

分布式工作负载概念是指审查系统需求，并确定哪个SoC块最适合哪项任务。通过分散工作负载，系统可以更快地返回到“空闲”状态。此过程适用于适合CM33核或ML引擎的多核分布和功能。系统设计人员必须确保设计使用i.MX 93上合适的核来处理特定工作负载或任务，以实现最大效率。虽然说起来容易做起来难，但如果系统能够更快地恢复到低功耗状态（快速运行和空闲），可以显著节省电力。

7.10 使用OCRAM最大限度地减少DDR访问

要大幅节省电力，请将高频访问的代码加载到片上RAM（OCRAM）中。因此，i.MX93和DDR存储器的电流消耗都会减少。使用OCRAM的另一个优势是性能提升，因为DDR存储器访问时间延迟了该代码。

7.11 热管理以减少漏电电流

热管理也是降低功率的关键因素。随着温度的升高，芯片内每个栅极的SoC栅极漏电电流会相应地增加。数百万个高栅极漏电电流的累积，对降低总功耗有重大影响。如前所述，任何节能措施都会降低SoC的温度，并提高芯片的生命周期可靠性。

由于每个系统都是独一无二的，系统设计人员必须确保SoC的工作温度尽可能低，以减少漏电电流损失。如果无法通过软件控制达到这个温度，则设计人员必须通过散热片或其他热管理方法来去除SoC的热量。

7.12 标称驱动模式

默认情况下，恩智浦提供的Linux BSP GA版本将系统配置为以“超驱动”（Overdrive）模式（ODM）运行。某些用户应用不需要此“超驱动”模式及其相关性能。用户可以转换到i.MX 93数据手册中定义的标称或低驱动模式。

8 重要命令

在运行用例之前，必须运行<configuration_script>.sh脚本来配置环境。这些脚本的详细信息如下：

- setup.sh：CPU频率设置为最大值1.7GHz，以实现最佳性能。禁用以太网，停止Weston服务，并关闭显示器。内核为单个文件提前读取的最大数据量设置为512kB。

```
#!/bin/bash
```

```
systemctl stop weston.service
echo 1 > /sys/class/graphics/fb0/blank
partitions=`lsblk |awk '$1 !~/-/{print $1}' |grep 'blk\|sd'`
for partition in $partitions; do
    echo 512 > /sys/block/$partition/queue/read_ahead_kb
done
eth_int=`ifconfig -a | grep 'eth[0-9]'|awk {'print substr($1, 0, 4)'}`
for eth in $eth_int; do
    ifconfig $eth_down
done
```

- `setup_video.sh`: CPU频率设置为最大值1.7GHz，以实现最佳性能。禁用以太网并唤醒显示器。内核为单个文件提前读取的最大数据量设置为512kB。

```
#!/bin/bash
partitions=`lsblk |awk '$1 !~/-/{print $1}' |grep 'blk\|sd'`
for partition in $partitions; do
    echo 512 > /sys/block/$partition/queue/read_ahead_kb
done
eth_int=`ifconfig -a | grep 'eth[0-9]'|awk {'print substr($1, 0, 4)'}`
for eth in $eth_int; do
    ifconfig $eth_down
done
echo 1 > /sys/class/graphics/fb0/blank
echo 0 > /sys/class/graphics/fb0/blank
```

- `setup_video_stream.sh`: CPU频率设置为最大值1.7GHz，以实现最佳性能。要在线播放视频，请打开以太网并唤醒显示器。内核为单个文件提前读取的最大数据量设置为512kB。

```
#!/bin/bash
partitions=`lsblk |awk '$1 !~/-/{print $1}' |grep 'blk\|sd'`
for partition in $partitions; do
    echo 512 > /sys/block/$partition/queue/read_ahead_kb
done
eth_int=`ifconfig -a | grep 'eth[0-9]'|awk {'print substr($1, 0, 4)'}`
for eth in $eth_int;do
    ifconfig $eth up
done
echo 1 > /sys/class/graphics/fb0/blank
echo 0 > /sys/class/graphics/fb0/blank
```

- `DDRC_625MTS_setup.sh`: 运行以下shell脚本后，DDR频率切换到低总线模式312.5MHz（数据速率为625MT/s）。CPU频率设置为最小值1400MHz。DDR VFS旨在节能。禁用以太网，停止Weston服务，并关闭显示器。

```
#!/bin/bash
systemctl stop weston.service
if [ -f /sys/class/graphics/fb0/blank ]; then
    echo 1 > /sys/class/graphics/fb0/blank
fi
eth_int=`ifconfig -a | grep 'eth[0-9]'|awk {'print substr($1, 0, 4)'}`
for eth in $eth_int; do
    ifconfig $eth_down
done
echo 3 > /sys/devices/platform/imx93-lpm/mode
```

- `dd_read.sh`: 此脚本用于在存储设备上运行`dd read`命令。

```
#!/bin/bash
# Since we're dealing with dd, abort if any errors occur
set -e
TEST_FILE=${1:-dd_ibs_testfile}
if [ `id -u` -ne 0 ]; then
```

```

echo "NOTE: Kernel cache will not be cleared between tests without sudo. This will
likely cause inaccurate results." 1>&2 ;fi
count=$(COUNT conv=fsync > /dev/null 2>&1
# Header
PRINTF_FORMAT="%8s : %s\n"
printf "$PRINTF_FORMAT" 'block size' 'transfer rate'
while true
BLOCK_SIZE=4096
do
# Clear kernel cache to ensure more accurate test
[ $EUID -eq 0 ] && [ -e /proc/sys/vm/drop_caches ] && echo 3 >/proc/sys/vm/drop_caches
# Read test file out to /dev/null with specified block size
DD_RESULT=$(dd if=$TEST_FILE of=/dev/null bs=$BLOCK_SIZE 2>&1 1>/dev/null)
# Extract transfer rate
TRANSFER_RATE=$(echo $DD_RESULT | \grep --only-matching -E '[0-9.]+ ([MGk]?B|bytes)/
s(ec)?')
printf "$PRINTF_FORMAT" "$BLOCK_SIZE" "$TRANSFER_RATE"
done

```

- dd_write.sh: 此脚本用于在存储设备上运行dd write命令。

```

#!/bin/bash
# Since we're dealing with dd, abort if any errors occur
set -e
TEST_FILE=${1:-dd_obs_testfile}
TEST_FILE_EXISTS=0
if [ -e "$TEST_FILE" ]; then TEST_FILE_EXISTS=1; fi
TEST_FILE_SIZE=1024000000
if [ $EUID -ne 0 ]; then
echo "NOTE: Kernel cache will not be cleared between tests without sudo. This will
likely cause inaccurate results." 1>&2
fi
# Header
PRINTF_FORMAT="%8s: %s\n"
printf "$PRINTF_FORMAT" 'block size' 'transfer rate'
while true
BLOCK_SIZE=4096
do
# Calculate number of segments required to copy
COUNT=$((TEST_FILE_SIZE / BLOCK_SIZE))
if [ $COUNT -le 0 ]; then
echo "Block size of $BLOCK_SIZE estimated to require $COUNT blocks, aborting further
tests."
break
fi
# Clear kernel cache to ensure more accurate test
[ $EUID -eq 0 ] && [ -e /proc/sys/vm/drop_caches ] && echo 3 > /proc/sys/vm/drop_caches
# Create a test file with the specified block size
DD_RESULT=$(dd if=/dev/zero of=$TEST_FILE bs=$BLOCK_SIZE count=$COUNT conv=fsync 2>&1
1>/dev/null)
# Extract the transfer rate from dd's STDERR output
TRANSFER_RATE=$(echo $DD_RESULT | \grep --only-matching -E '[0-9.]+ ([MGk]?B|bytes)/
s(ec)?')
# Output the result
printf "$PRINTF_FORMAT" "$BLOCK_SIZE" "$TRANSFER_RATE"
done

```

- dhrystone_loop.sh: 该脚本启动Dhrystone示例:

```

while true; do
taskset -c 0 ./dhry2 &
taskset -c 1 ./dhry2
done

```

- ML_vela.sh: 该脚本启动机器学习示例:

```
#!/bin/bash
```

```
echo 4 > /proc/sys/kernel/printk
cd /usr/bin/tensorflow-lite-2.12.1/examples
while true; do
  /usr/bin/tensorflow-lite-2.12.1/examples/benchmark_model \
  --graph=./output/mobilenet_v1_1.0_224_quant_vela.tflite \
  --num_runs=22000 --external_delegate_path=/usr/lib/libethosu_delegate.so
done
```

- MV_vela.sh: 该脚本启动机器视觉示例:

```
gst-launch-1.0 -v v4l2src device=/dev/video0 ! video/x-raw,width=640,height=480,framerate=30/1 ! tee name=t t. ! queue max-size-buffers=2 leaky=2 ! imxvideoconvert_pxp ! video/x-raw,width=300,height=300,format=BGRA ! videoconvert ! video/x-raw,format=RGB ! tensor_converter ! tensor_filter framework=tensorflow-lite model=./output/ssd_mobilenet_v2_coco_quant_postprocess_vela.tflite custom=Delegate:External,ExtDelegateLib:libethosu_delegate.so ! tensor_decoder mode=bounding_boxes option1=tf-ssd option2=coco_labels.txt option3=0:1:2:3,50 option4=640:480 option5=300:300 ! videoconvert ! mix. t. ! queue max-size-buffers=2 leaky=2 ! imxcompositor_pxp name=mix sink_0::zorder=2 sink_1::zorder=1 sink_0::alpha=0.5 latency=14000000 min-upstream-latency=14000000 ! waylandsink
```

- PXP_test.sh: 该脚本启动PXP示例。

```
gst-launch-1.0 -v imxcompositor_pxp \
name=comp sink_0::xpos=0 sink_0::ypos=0 \
sink_0::width=1280 sink_0::height=800 ! \
waylandsink videotestsrc ! comp.sink_0
```

- streamcpy_loop.sh: 该脚本启动Stream示例:

```
while true; do
  taskset -c 0 stream -M 200M -N 1000 &
  taskset -c 1 stream -M 200M -N 1000
done
```

9 关于本文中源代码的说明

本文中所示的示例代码具有以下版权和BSD-3-Clause许可:

2024年恩智浦版权所有; 在满足以下条件的情况下, 可以源代码和二进制文件的形式重新分发和使用本源代码 (无论是否经过修改):

1. 重新分发源代码必须保留上述版权声明、这些条件和以下免责声明。
2. 以二进制文件形式重新分发时, 必须在文档和/或随分发提供的其他材料中复制上述版权声明、这些条件和以下免责声明。
3. 未经事先书面许可, 不得使用版权所有者的姓名或参与者的姓名为本软件的衍生产品进行背书或推广。

本软件由版权所有者和参与者“按原样”提供, 不承担任何明示或暗示的担保责任, 包括但不限于对适销性和特定用途适用性的暗示保证。在任何情况下, 无论因何种原因或根据何种法律条例, 版权所有或参与者均不对因使用本软件而导致的任何直接、间接、偶然、特殊、惩戒性或后果性损害 (包括但不限于采购替代商品或服务; 使用损失、数据损失或利润损失或业务中断) 承担责任, 无论是因合同、严格责任还是侵权行为 (包括疏忽或其他原因) 造成的, 即使事先被告知有此类损害的可能性也不例外。

10 修订历史

[表40](#)汇总了对本文的修订。

表40. 修订历史

文档ID	发布日期	说明
AN13917 v.3.0	2024年2月29日	<ul style="list-style-type: none">更新了第三季度的功耗数据更新了所有用例的i.MX 93-11x11 EVK测量结果表增加了电池和DDRC自动时钟门控更新了视频播放流 (gplay)
AN13917 v.2.0	2023年9月14日	<ul style="list-style-type: none">更新了第二季度的功耗数据添加了所有用例的SoC温度数据更新了表格，其中包括i.MX 93-11x11 EVK的测量结果
AN13917 v.1.0	2023年4月24日	首次公开发布

Legal information

Definitions

Draft — A draft status on a document indicates that the content is still under internal review and subject to formal approval, which may result in modifications or additions. NXP Semiconductors does not give any representations or warranties as to the accuracy or completeness of information included in a draft version of a document and shall have no liability for the consequences of use of such information.

Disclaimers

Limited warranty and liability — Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, NXP Semiconductors does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information. NXP Semiconductors takes no responsibility for the content in this document if provided by an information source outside of NXP Semiconductors.

In no event shall NXP Semiconductors be liable for any indirect, incidental, punitive, special or consequential damages (including - without limitation - lost profits, lost savings, business interruption, costs related to the removal or replacement of any products or rework charges) whether or not such damages are based on tort (including negligence), warranty, breach of contract or any other legal theory.

Notwithstanding any damages that customer might incur for any reason whatsoever, NXP Semiconductors' aggregate and cumulative liability towards customer for the products described herein shall be limited in accordance with the Terms and conditions of commercial sale of NXP Semiconductors.

Right to make changes — NXP Semiconductors reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

Suitability for use — NXP Semiconductors products are not designed, authorized or warranted to be suitable for use in life support, life-critical or safety-critical systems or equipment, nor in applications where failure or malfunction of an NXP Semiconductors product can reasonably be expected to result in personal injury, death or severe property or environmental damage. NXP Semiconductors and its suppliers accept no liability for inclusion and/or use of NXP Semiconductors products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at the customer's own risk.

Applications — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. NXP Semiconductors makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

Customers are responsible for the design and operation of their applications and products using NXP Semiconductors products, and NXP Semiconductors accepts no liability for any assistance with applications or customer product design. It is customer's sole responsibility to determine whether the NXP Semiconductors product is suitable and fit for the customer's applications and products planned, as well as for the planned application and use of customer's third party customer(s). Customers should provide appropriate design and operating safeguards to minimize the risks associated with their applications and products.

NXP Semiconductors does not accept any liability related to any default, damage, costs or problem which is based on any weakness or default in the customer's applications or products, or the application or use by customer's third party customer(s). Customer is responsible for doing all necessary testing for the customer's applications and products using NXP Semiconductors products in order to avoid a default of the applications and the products or of the application or use by customer's third party customer(s). NXP does not accept any liability in this respect.

Terms and conditions of commercial sale — NXP Semiconductors products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale, as published at <https://www.nxp.com/profile/terms>, unless otherwise agreed in a valid written individual agreement. In case an individual agreement is concluded only the terms and conditions of the respective agreement shall apply. NXP Semiconductors hereby expressly objects to applying the customer's general terms and conditions with regard to the purchase of NXP Semiconductors products by customer.

Export control — This document as well as the item(s) described herein may be subject to export control regulations. Export might require a prior authorization from competent authorities.

Suitability for use in non-automotive qualified products — Unless this document expressly states that this specific NXP Semiconductors product is automotive qualified, the product is not suitable for automotive use. It is neither qualified nor tested in accordance with automotive testing or application requirements. NXP Semiconductors accepts no liability for inclusion and/or use of non-automotive qualified products in automotive equipment or applications.

In the event that customer uses the product for design-in and use in automotive applications to automotive specifications and standards, customer (a) shall use the product without NXP Semiconductors' warranty of the product for such automotive applications, use and specifications, and (b) whenever customer uses the product for automotive applications beyond NXP Semiconductors' specifications such use shall be solely at customer's own risk, and (c) customer fully indemnifies NXP Semiconductors for any liability, damages or failed product claims resulting from customer design and use of the product for automotive applications beyond NXP Semiconductors' standard warranty and NXP Semiconductors' product specifications.

Translations — A non-English (translated) version of a document, including the legal information in that document, is for reference only. The English version shall prevail in case of any discrepancy between the translated and English versions.

Security — Customer understands that all NXP products may be subject to unidentified vulnerabilities or may support established security standards or specifications with known limitations. Customer is responsible for the design and operation of its applications and products throughout their lifecycles to reduce the effect of these vulnerabilities on customer's applications and products. Customer's responsibility also extends to other open and/or proprietary technologies supported by NXP products for use in customer's applications. NXP accepts no liability for any vulnerability. Customer should regularly check security updates from NXP and follow up appropriately. Customer shall select products with security features that best meet rules, regulations, and standards of the intended application and make the ultimate design decisions regarding its products and is solely responsible for compliance with all legal, regulatory, and security related requirements concerning its products, regardless of any information or support that may be provided by NXP.

NXP has a Product Security Incident Response Team (PSIRT) (reachable at PSIRT@nxp.com) that manages the investigation, reporting, and solution release to security vulnerabilities of NXP products.

NXP B.V. — NXP B.V. is not an operating company and it does not distribute or sell products.

Trademarks

Notice: All referenced brands, product names, service names, and trademarks are the property of their respective owners.

NXP — wordmark and logo are trademarks of NXP B.V.

AMBA, Arm, Arm7, Arm7TDMI, Arm9, Arm11, Artisan, big.LITTLE, Cordio, CoreLink, CoreSight, Cortex, DesignStart, DynamIQ, Jazelle, Keil, Mali, Mbed, Mbed Enabled, NEON, POP, RealView, SecurCore, Socrates, Thumb, TrustZone, ULINK, ULINK2, ULINK-ME, ULINK-PLUS, ULINKpro, μ Vision, Versatile — are trademarks and/or registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries or affiliates) in the US and/or elsewhere. The related technology may be protected by any or all of patents, copyrights, designs and trade secrets. All rights reserved.

EdgeLock — is a trademark of NXP B.V.

eIQ — is a trademark of NXP B.V.

i.MX — is a trademark of NXP B.V.

TensorFlow, the TensorFlow logo and any related marks — are trademarks of Google Inc.

目录

1	介绍	2	6.8	压力测试用例	36
2	缩略语	2	6.8.1	2 x CA55 Dhrystone + PXP + CM33 CoreMark + NPU	36
3	i.MX 93的电源架构	4	6.8.2	2 x CA55 Stream + PXP + CM33 CoreMark + NPU	37
4	i.MX 93电源概述	5	6.9	产品用例	38
4.1	i.MX 93电源域概述	5	6.9.1	Linux挂起 + CM33 CoreMark基准测试 (TCM)	38
4.2	i.MX 93的电源模式概述	6	6.9.2	Linux挂起 + CM33处于等待中断模式	39
4.2.1	低功耗模式	7	6.9.3	Linux挂起 + CM33处理FlexCAN事务	40
5	i.MX 93处理器功率测量	8	6.9.4	智能门铃	41
5.1	硬件和软件要求	8	7	降低功耗	42
5.2	构建i.MX Yocto Project	8	7.1	快速运行和空闲	43
5.3	功耗测量	9	7.2	时钟门控	43
6	用例和测量结果	9	7.3	DDRC自动时钟门控	44
6.1	核基准测试用例	11	7.4	减少PLL	44
6.1.1	Dhrystone	11	7.5	核VFS和系统总线缩放	44
6.1.2	CoreMark	12	7.6	降低DDR频率	44
6.2	存储器用例	13	7.7	DDR接口优化	44
6.2.1	memset	13	7.8	PHY的电源门控	45
6.2.2	memcpy	14	7.9	工作负载分布	45
6.2.3	Stream	15	7.10	使用OCRAM最大限度地减少DDR访问	45
6.3	音频/视频播放用例	16	7.11	热管理以减少漏电流	45
6.3.1	音频播放 (gplay)	16	7.12	标称驱动模式	45
6.3.2	音频低总线播放 (gplay)	17	8	重要命令	45
6.3.3	本地视频播放 (gplay)	18	9	关于本文中源代码的说明	48
6.3.4	视频播放流 (gplay)	19	10	修订历史	49
6.4	图形用例	20		法律声明	50
6.5	机器学习用例	21			
6.5.1	elQ基准测试	21			
6.5.2	机器视觉	22			
6.6	存储用例	23			
6.6.1	DD_WRITE_eMMC	23			
6.6.2	DD_READ_eMMC	24			
6.6.3	DD_WRITE_SD	25			
6.6.4	DD_READ_SD	26			
6.7	低功耗模式用例	27			
6.7.1	系统处于空闲状态, 显示器开启, 在OD模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控	27			
6.7.2	系统处于空闲状态, 显示器开启, 在ND模式下运行	28			
6.7.3	系统处于空闲状态, 显示器开启, 在LD模式下运行 (DDR的速度减半)	29			
6.7.4	系统处于空闲状态, 显示器开启, 在LD模式下运行 (DDR速度降至最低, 使用了SWFFC)	30			
6.7.5	系统处于空闲状态, 显示器关闭, 在OD模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控	30			
6.7.6	系统处于空闲状态, 显示器关闭, 在ND模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控	31			
6.7.7	系统处于空闲状态, 显示器关闭, 在LD模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控 (DDR的速度减半)	32			
6.7.8	系统处于空闲状态, 显示器关闭, 在LD模式下运行, 启用了DDRC自动时钟门控 (DDR速度降至最低, 使用了SWFFC)	33			
6.7.9	系统处于DSM	34			
6.7.10	电池	35			

Please be aware that important notices concerning this document and the product(s) described herein, have been included in section 'Legal information'.