

# AN14205

i.MX 9系列——启动时间测量方法

第1版—2024年1月31日

应用笔记

## 文档信息

信息	内容
关键词	AN14205、i.MX 9、GPIO、启动时间测量
摘要	本文介绍了一种使用GPIO引脚测量i.MX 9平台启动时间的方法。



## 1 介绍

本文介绍一种使用GPIO引脚测量i.MX 9平台启动时间的方法。

本文的主要目标包括：

- 修改引导加载程序和系统映像来进行测量
- 设置电路板和外部逻辑分析仪工具

### 1.1 软件环境

本次测量使用的是Linux BSP [6.1.36\\_2.1.0](#)版本。实验中采用了imx-image-full Yocto映像。假设用户操作的是Ubuntu PC。

### 1.2 硬件设置及设备

- 开发套件：[恩智浦i.MX 93 11x11 EVK LPDDR4](#)
- 微型SD卡：本次实验使用的是SanDisk Ultra 32GB micro SDHC I Class 10。
- USB-Type C电缆，用于调试端口。
- 逻辑分析仪：至少满足以下要求，可用于测量时间：
  - 4个通道
  - 10MS/s采样率

## 2 总体概述

本节介绍获取未经启动优化的干净系统的基线测量值所需遵循的标准流程。

### 2.1 选择测试用的GPIO引脚

在不同启动阶段，通用引脚可生成脉冲信号。理想情况下，应从引导加载程序和Linux均未使用的引脚中选择所需的GPIO引脚。为此，需要查看相关的设备树。

但如果无法找到未使用的引脚，则必须禁用当前占用该引脚的外设模块。此外，强烈建议从电路板上的扩展连接器中选择引脚，以便于操作。

### 2.2 在引导加载程序和Linux层更新设备树

选择所需的引脚后，必须在设备树级别进行一些修改。

首先，检查所需引脚的功能，并找出与GPIO功能相关的宏。这些头文件的位置可能因所使用的电路板而不同。

其次，如果某个引脚被其他外设模块占用，则必须禁用相应的模块。具体做法是在该外设模块的配置信息中将状态属性设置为“禁用”。

最后，在“pinctrl\_hog”部分，使用所选引脚的GPIO宏和管脚配置值(SW\_PAD\_CTL\_PAD\_\*)来定义适当的引脚复用设置。

### 2.3 添加第一个脉冲生成器

第一个测量周期发生在电路板POR和引导加载程序SPL部分的board\_init\_f函数执行之间。如需生成脉冲，必须将引脚配置为输出。

之后，该引脚可在短时间内驱动为高电平状态，随后转换为低电平状态。由于只需要捕捉脉冲的上升沿，因此无需在状态转换中设置任何延迟。

## 2.4 添加第二个脉冲生成器

第二个测量周期发生在引导加载程序SPL部分的`board_init_f`函数执行完毕与从U-Boot控制台开始加载内核映像之前。在此期间，可以使用U-Boot的GPIO命令进行状态切换，这些命令既可以写入位于`include/configs/`目录下的电路板配置文件中，也可以在启动U-Boot时通过其菜单直接输入。

## 2.5 添加第三个脉冲生成器

第三个测量周期发生在U-Boot控制台加载内核映像与内核启动期间启动的第一个进程 (`system`) 之间。此时的引脚切换与生成第一个脉冲的情况类似。

## 2.6 使用逻辑分析仪测量总时间

构建引导加载程序和Linux映像并将其闪存到电路板后，即可开始测量阶段。

启动逻辑分析仪软件的记录模式，并按下电路板上的复位按钮来测量启动时间。记录应在所选GPIO引脚的第三个上升沿后停止。所用的启动时间是从nRST信号的上升沿到GPIO引脚第三个上升沿之间的时间。

# 3 示例

本节介绍具体示例。

## 3.1 i.MX 93

本节介绍i.MX 93的示例。

### 3.1.1 选择引脚

所选的引脚是指定电路板上J1001扩展连接器的第29个引脚。在基板原理图中，此引脚标记为`EXP_GPIO_IO05`。在参考手册中查找指定引脚时，请查看所用`GPIO2_IO05`管脚的功能。

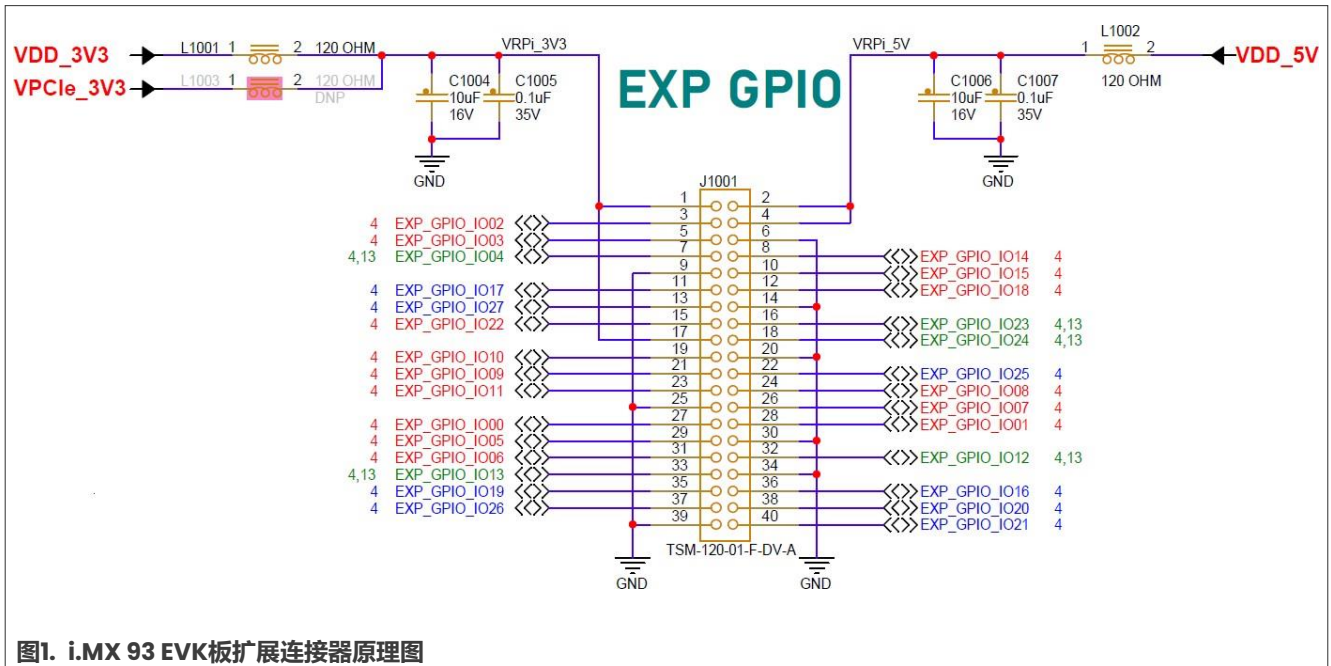


图1. i.MX 93 EVK板扩展连接器原理图

表1. 偏移量

寄存器	偏移量
SW_MUX_CTL_PAD_GPIO_IO05	24h

Bits	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
R	Reserved															
W	Reserved															
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bits	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
R	Reserved												SION	Reserved	MUX_MODE	
W	Reserved												SION	Reserved	MUX_MODE	
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

图2. 表格

表2. 字段

字段	说明
31-5	— 已保留
4	软件输入开启字节。无论MUX_MODE功能如何，都可以强制使用所选的复用模式输入路径。
SION	0 - 输入路由由功能决定。 1 - 强制使用GPIO_IO05管脚的输入路径。
3	— 已保留
2-0	复用模式选择字段。从GPIO_IO05管脚使用的8种iomux模式中选择一种。 000 - 选择复用模式: ALT0复用端口: 对应gpio2实例的GPIO2_IO05端口。

表2. 字段 (续)

字段	说明
MUX_MODE	001 – 选择复用模式: ALT1复用端口: 对应 tpm4 实例的 TPM4_CH0 端口。 10 – 选择复用模式: ALT2复用端口: 对应 pdm 实例的 PDM_BIT_STREAM00 端口。 11 – 选择复用模式: ALT3复用端口: 对应 mediamix 实例的 MEDIAMIX_DISP_DATA01 端口。 100 – 选择复用模式: ALT4复用端口: 对应 lpspi7 实例的 LPSPI7_SIN 端口。 101 – 选择复用模式: ALT5复用端口: 对应 lpuart6 实例的 LPUART6_RX 端口。 110 – 选择复用模式: ALT6复用端口: 对应 lpi2c6 实例的 LPI2C6_SCL 端口。 111 – 选择复用模式: ALT7复用端口: 对应 flexio1 实例的 FLEXIO1_FLEXIO05 端口。

### 3.1.2 更新U-Boot设备树

为了获取必要的文件, 需要下载U-Boot源代码:

```
$ git clone https://github.com/nxp-imx/uboot-imx
$ cd uboot-imx
$ git checkout lf-6.1.36-2.1.0
```

更新设备树时, 必须确定与所需功能相关的宏。此信息位于arch/arm/dts/imx93-pinfunc.h文件中。在这种情况下, 需要使用的宏是MX93\_PAD\_GPIO\_IO05\_GPIO2\_IO05。然而, 仅使用该宏还不足以完成适当的引脚复用设置, 因为它还需要表示管脚配置的第六个值。该值已添加到相关设备树中。

```
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_GPIO2_IO05 0x0024 0x01D4 0x0000 0x0 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_TPM4_CH0 0x0024 0x01D4 0x0000 0x1 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_PDM_BIT_STREAM00 0x0024 0x01D4 0x0438 0x2 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_MEDIAMIX_DISP_DATA01 0x0024 0x01D4 0x0000 0x3 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_LPSPI7_SIN 0x0024 0x01D4 0x0000 0x4 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_LPUART6_RX 0x0024 0x01D4 0x0000 0x5 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_LPI2C6_SCL 0x0024 0x01D4 0x03F0 0x16 0x1
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_FLEXIO1_FLEXIO05 0x0024 0x01D4 0x0380 0x7 0x0
```

查看i.MX 93 EVK板的相关DTS文件(arch/arm/dts/imx93-11x11-evk.dts), 发现此引脚未被使用。因此, 无需禁用此引脚。

要使用具有GPIO功能的引脚, 必须在iomuxc节点中添加以下引脚复用:

```
pinctrl_hog: hoggrp
{
    fsl,pins = <
        MX93_PAD_GPIO_IO05_GPIO2_IO05 0x59e
    >;
};
```

**注意:** 0x59e配置基于SW\_PAD\_CTL\_PAD\_GPIO\_IO23寄存器中的以下管脚设置:

- **驱动强度字段:** X4
- **压摆率字段:** 快速压摆率
- **上拉字段:** 无上拉字段
- **下拉字段:** 有下拉字段
- **开漏字段:** 禁用
- **Schmitt触发器字段:** 无Schmitt输入

### 3.1.3 更新Linux设备树

为了获取所需的文件，需要下载Linux源代码：

```
$ git clone https://github.com/nxp-imx/linux-imx
$ cd linux-imx
$ git checkout lf-6.1.36-2.1.0
```

更新设备树时，需要找到与所需功能相关的宏。该信息位于arch/arm64/boot/dts/freescale/imx93-pinfunc.h文件。在这种情况下，您需要使用的宏是MX93\_PAD\_GPIO\_IO05\_GPIO2\_IO05。不过，仅使用该宏还不足以完成适当的引脚复用设置，因为它还需要表示管脚配置的第六个值。这个值已添加到相关设备树文件中。

```
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_GPIO2_IO05      0x0024 0x01D4 0x0000 0x0 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_TPM4_CH0       0x0024 0x01D4 0x0000 0x1 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_PDM_BIT_STREAM00 0x0024 0x01D4 0x0438 0x2 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_MEDIAMIX_DISP_DATA01 0x0024 0x01D4 0x0000 0x3 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_LPSPI7_SIN     0x0024 0x01D4 0x0000 0x4 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_LPUART6_RX     0x0024 0x01D4 0x0000 0x5 0x0
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_LPI2C6_SCL     0x0024 0x01D4 0x03F0 0x16 0x1
#define MX93_PAD_GPIO_IO05_FLEXIO1_FLEXIO05 0x0024 0x01D4 0x0380 0x7 0x0
```

查看i.MX 93 EVK板的相关DTS文件 (arch/arm64/boot/dts/freescale/imx93-11x11-evk.dts)，发现此引脚未被使用。因此无需禁用。

如需使用此引脚的GPIO功能，必须在iomuxc中添加以下引脚复用设置：

**注意：**如果所选管脚有其他引脚复用配置，则必须用以下引脚复用配置替换相应引脚复用，才能在linux中成功生成脉冲。

```
pinctrl_hog: hoggrp
{
    fsl,pins = <
        MX93_PAD_GPIO_IO05_GPIO2_IO05 0x59e
    >;
};
```

### 3.1.4 添加SPL GPIO支持

要在SPL中使用GPIO API，必须使用menuconfig启用SPL GPIO支持。运行以下命令可应用默认配置并打开配置菜单：

```
ARCH=arm CROSS_COMPILE=aarch64-linux-gnu- make imx93_11x11_evk_defconfig
ARCH=arm CROSS_COMPILE=aarch64-linux-gnu- make menuconfig
```

使用“/”搜索功能，键入SPL\_GPIO，然后按Enter进行查找。



```
int ret;

/* Clear the BSS. */
memset(_bss_start, 0, _bss_end - _bss_start);

timer_init();

arch_cpu_init();

board_early_init_f();

spl_early_init();

gpio_request(TIMED_GPIO, "timed_gpio");
gpio_direction_output(TIMED_GPIO, 1);
gpio_direction_output(TIMED_GPIO, 0);

preloader_console_init();
```

### 3.1.6 在include/configs/imx93\_evk.h中添加第二个脉冲生成器

负责切换引脚的命令被添加到引导加载程序的环境变量中，位于加载映像属性的位置。在加载映像之前设置该引脚，并在加载后复位它。

```
"loadimage=gpio set GPIO2_05; fatload mmc ${mmcdev}:${mmcpart} ${loadaddr}
${image}; gpio clear GPIO2_05\" \
```

此变量也可以在U-Boot启动过程中修改。按下任意键启动电路板并停止U-Boot启动。可使用edit命令修改loadimage变量。完成修改后，使用saveenv命令保存更改，使其永久生效。

修改U-Boot源文件后，必须重建文件并将其写入SD卡。如需构建U-Boot源文件，请参阅《i.MX Linux用户指南》（文件IMXLUG）中的第4.5.12节和第4.5.13节。

构建U-Boot映像后，将其写入SD卡：

```
$ sudo dd if=flash.bin of=/dev/sd<x> bs=1k seek=32 conv=fsync
```

**注意：**查看读卡器分区，并将sd<x>替换为相应的分区。

### 3.1.7 在init/main.c中添加第三个脉冲生成器

在这种情况下，第三个脉冲的生成与第一个脉冲的生成类似。要使用GPIO API，必须包含GPIO库，以及定义GPIO引脚编号的宏。在文件开头添加以下几行：

```
#include <linux/gpio.h>
#define IMX_GPIO_NR(port, index) (((port)-1)*32)+((index)&31)
```

需要在文件中声明包含GPIO组和GPIO引脚对的宏。

```
#define TIMED_GPIO IMX_GPIO_NR(2, 5)
```

现在，在run\_init\_process()函数中添加第三个脉冲。在此函数中，启动systemd进程。在函数开头添加脉冲：

```
static int run_init_process(const char *init_filename)
```



```

{
    const char *const *p;

    argv_init[0] = init_filename;

    gpio_request(TIMED_GPIO, "timed_gpio");
    gpio_direction_output(TIMED_GPIO, 1);
    gpio_direction_output(TIMED_GPIO, 0);
}

```

如需构建内核源代码，请参阅《i.MX Linux用户指南》 ([IMXLUG](#)) 第4.5.12节。

将内核映像写入SD卡时，请使用以下命令：

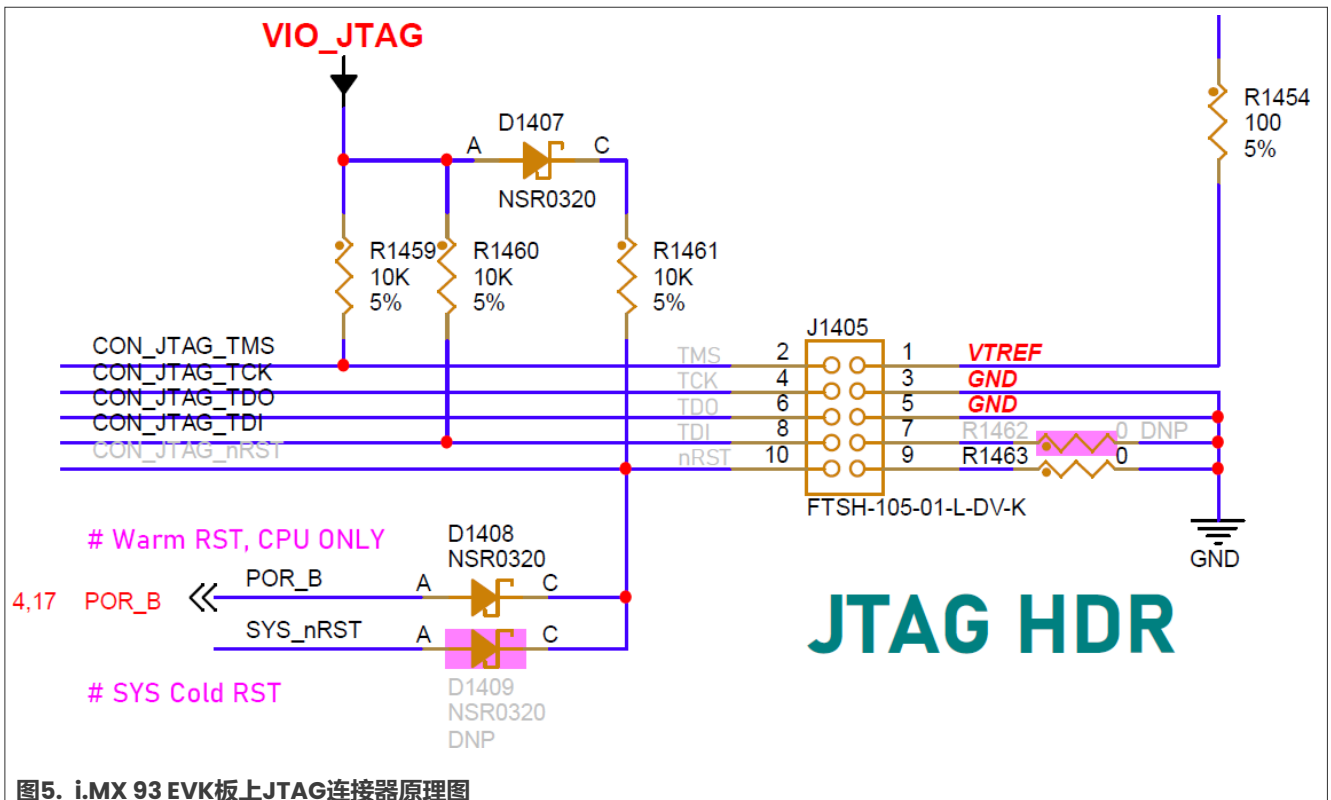
```

$ sudo mount /dev/sd<x>1 /mnt
$ cp Image /mnt
$ umount /mnt

```

### 3.1.8 使用逻辑分析仪测量总时间

设置测量工作台时，首先将逻辑分析仪连接到电路板。起始参考信号是JTAG\_RESET，位于JTAG连接器的第10引脚。



为了捕获所选引脚的上升沿，分析仪的第二个硬件调试器必须连接到J1001扩展连接器上的第29引脚。

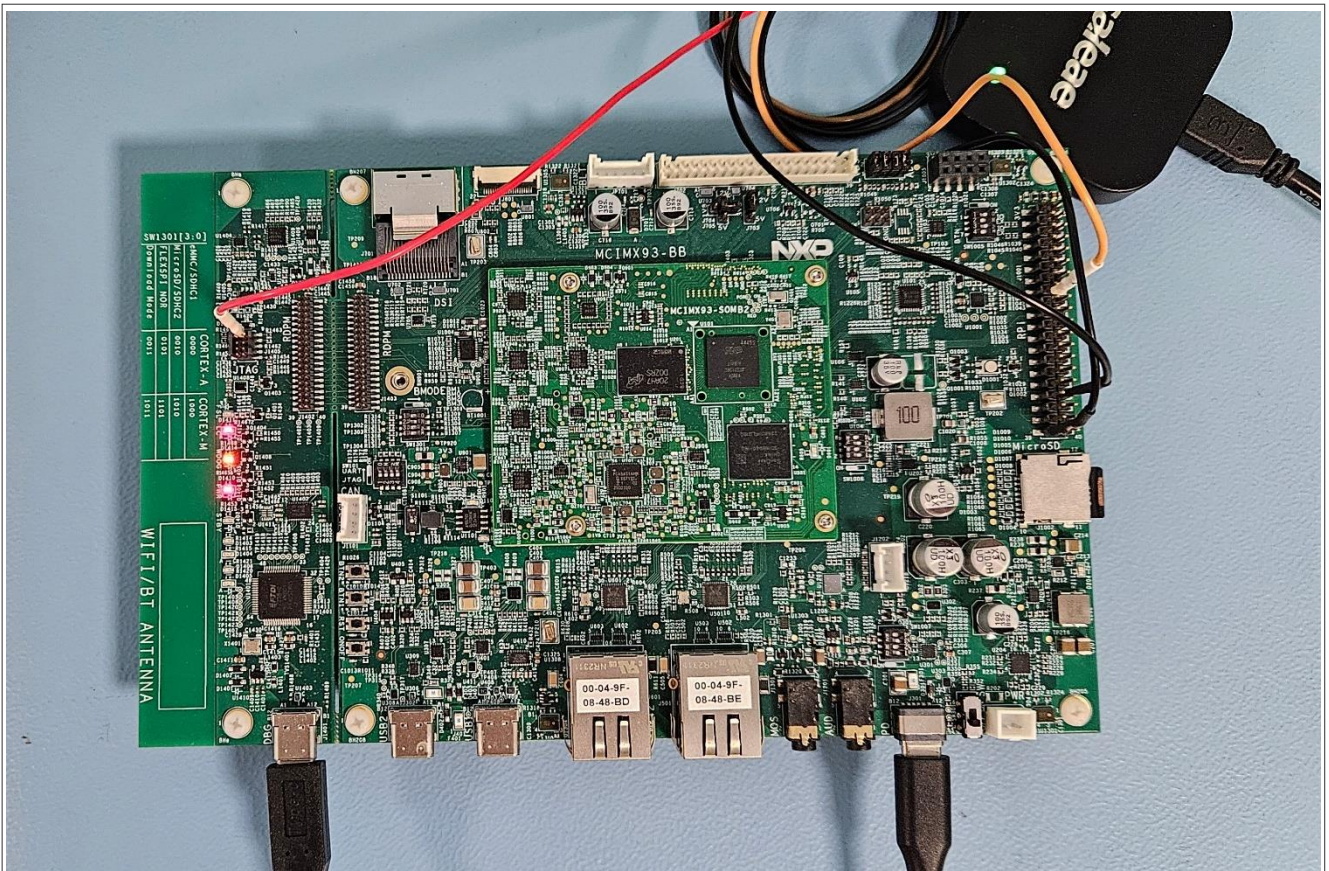


图6. i.MX 93 EVK板上的测量设置

检查两个硬件调试器都与电路板的地线正确相连后，启动逻辑分析仪软件，并配置硬件调试器参数和时间范围。

JTAG\_RESET引脚上应出现一个上升沿，紧接着在所引脚上会出现三个脉冲。此时，记录停止，并放置测量标志，以确定各个阶段所需的时间。在这种配置下，电路板的启动时间是通过各个阶段所用时间相加得出的。



## 4 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。

## 5 修订历史

[表3](#)总结了本文档的修订情况。

表3. 修订历史

文档ID	发布日期	说明
AN14205 v.1	2024年1月31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.cn/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](mailto: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.

**Freescale** — is a trademark of NXP B.V.

**i.MX** — is a trademark of NXP B.V.

**Microsoft, Azure, and ThreadX** — are trademarks of the Microsoft group of companies.

## 目录

<b>1</b>	<b>介绍.....</b>	<b>2</b>
1.1	软件环境.....	2
1.2	硬件设置及设备.....	2
<b>2</b>	<b>总体概述.....</b>	<b>2</b>
2.1	选择测试用的GPIO引脚.....	2
2.2	在引导加载程序和Linux层更新设备树.....	2
2.3	添加第一个脉冲生成器.....	2
2.4	添加第二个脉冲生成器.....	3
2.5	添加第三个脉冲生成器.....	3
2.6	使用逻辑分析仪测量总时间.....	3
<b>3</b>	<b>示例.....</b>	<b>3</b>
3.1	i.MX 93.....	3
3.1.1	选择引脚.....	3
3.1.2	更新U-Boot设备树.....	5
3.1.3	更新Linux设备树.....	6
3.1.4	添加SPL GPIO支持.....	6
3.1.5	在board/freescale/imx93_evk/spl.c中添加第一个脉冲生成器.....	7
3.1.6	在include/configs/imx93_evk.h中添加第二个脉冲生成器.....	8
3.1.7	在init/main.c中添加第三个脉冲生成器.....	8
3.1.8	使用逻辑分析仪测量总时间.....	9
<b>4</b>	<b>关于本文中源代码的说明.....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>修订历史.....</b>	<b>11</b>
	<b>法律声明.....</b>	<b>13</b>

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