



模块 2

实验 2: 电压、电流和功率



实验 2：电压、电流和功率

2.0 目标

本实验的目标是回顾基础电路理论，以帮助您有能力使用处理器控制机器人系统中的传感器和执行机构。

1. 您会学习电压、电流和功率的概念
2. 您会使用电阻、电容和 LED 进行实验
3. 您会分析电路的直流和交流响应
4. 您会使用电压分析电路的直流响应
5. 您会使用信号发生器和示波器分析电路的交流响应

小知识：当任何两个电子元件相连时（例如传感器和处理器，或是处理器和执行机构），很重要的一点是要控制好二者之间的电压和电流等级。另外，当处理的信号随时间而变化时，电阻、电容和电感都将影响结果。

2.1 入门

2.1.1 从下面的软件工程起步

如果您手边没有信号发生器和示波器，您可以打开 **TEaS** 工程并激活 **TEaS scope** 作为虚拟示波器。该工程将会使用 **P4.4** 引脚作为示波器输入引脚。同时它还将在 **P4.5** 引脚上产生一个方波。您可以通过调整 **main.c** 文件中的 **FREQ** 参数来改变方波的频率。

2.1.2 参考资料

- CarbonFilmResistor.pdf 电阻的数据手册
- CeramicCapacitor.pdf 陶瓷电容的数据手册
- LTL-10223W.pdf 10 mA 红色 LED 的数据手册
- HLMP-4700.pdf 2 mA 红色 LED 的数据手册

2.1.3 阅读材料

Volume 1 Section 1.7, Chapter 3, and Section 5.3
Embedded Systems: Introduction to the MSP432 Microcontroller",

Volume 2 Sections 1.1, 2.1, and 2.5
Embedded Systems: Real-Time Interfacing to the MSP432 Microcontroller",

2.1.4 本实验所需组件

Quantity	Description	Manufacturer	Mfg P/N
1	MSP-EXP432P401R LaunchPad	TI	MSP-EXP432P401R
1	Red 10mA 5mm,	Lite-On	LTL-10223W
1	Red 2mA 5mm,	Broadcom	HLMP-4700
1	Carbon 1/6W, 5%, 220 ohms	Yageo	CFR-12JB-220R
1	Carbon 1/6W, 5%, 470 ohms	Yageo	CFR-12JB-470R
1	Carbon 1/6W, 5%, 22k	Yageo	CFR-12JB-22K
1	Carbon 1/6W, 5%, 33k	Yageo	CFR-12JB-33K
1	Ceramic, Z5U, -20/+80%, 0.47 µF	Kemet	C320C474M5U5TA

2.1.5 所需实验设备

示波器（单通道或双通道，10 kHz 采样率）
信号发生器（10 Hz 到 1000 Hz 波形频率）



实验 2：电压、电流和功率

2.2 系统设计要求

本实验的目的是测量通过电阻、电容和 LED 的电压和电流。

对于电阻，您应该可以观察到它遵从欧姆定律：

$$V/I = R$$

当您进行电阻实验时，您将面对的是直流电压（恒定的、不随时间变化的）。尽管实验中仅使用直流电，但欧姆定律其实也适用于交流电。

对于电容，您将观察到它的电抗：

$$V/I = X = 1/(2\pi fC)$$

上式中 V 是交流电压的幅值， I 是交流电流的幅值。在直流条件下，电容的电抗是无限大（直流电频率为 0）。因此在直流条件下，电容不会传导任何电流。因此，在电容实验中您将使用交流电压。

LED 是一种半导体器件，它的电压/电流响应是非线性的。您的目标是通过实验观察这种非线性响应。与电阻实验一样，您将研究的是 LED 的直流电压-电流特性。这种非线性响应同样适用于交流场合。

2.3 实验准备

如果您有信号发生器和示波器，您可以直接使用它们。然而，如果您没有这两种仪器，您可以打开 **TEaS** 工程，让它在 LaunchPad 上运行，同时在电脑上打开 **TEaSdisplay** 程序来显示结果。

如果要使用 TEaS 示波器，您需要将 LaunchPad 与您的电脑通过 USB 连接起来，然后编译并运行 TEaS 工程。

请注意您需要 TEaS 工程初始化时默认的模式就是示波器模式。

警告：必须保证被测电压处于 0 至 3.3V 之间。

TEaS 工程必须运行在 MSP432 处理器上，且 LaunchPad 必须连接到电脑的 USB 接口。您要测量的信号通过 P4.4 引脚输入。

要观察测量结果，请执行以下步骤：

1. 打开电脑上的 **TEaSdisplay** 应用程序
2. 点击 **COM->OpenNextPort** 以连接 MSP432
3. 点击 **View->Oscilloscope** 并观察波形

在 **TEaSdisplay** 应用程序中，您可以按下 F6/F7 来调整时间轴，也可以按下向上/向下键来调整触发电平。采样率被固定为 10 kHz，输入电压范围是 0 至 3.3V，采样精度为 8 位。

2.4 实验步骤

2.4.1 欧姆定律

您将使用 4 个不同的电阻（例如 220, 470, 22k and 33k）来进行实验。任意阻值在 220 到 33k 之间的电阻都可以使用。如果您有万用表，请用它测量一下 4 个电阻的真实阻值。如果没有万用表，您可以假设电阻色环上读出的阻值就是真实阻值。

从 4 个电阻中挑选 2 个搭建图 1 所示的电路，并搭建 4 种不同组合（例如 220+22k, 470+22k, 470+33k, 或 22k+33k），使用 LaunchPad 上提供的 3.3V 作为电源。连接时必须同时连接 LaunchPad 上的 3.3V 和 GND 引脚。

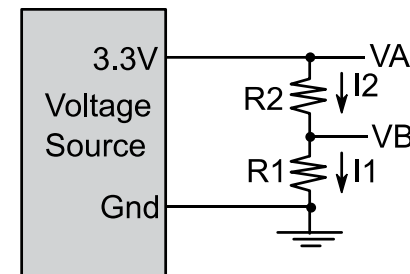


图 1. 电阻实验电路



实验 2：电压、电流和功率

对于每个电路，测量 VA 和 VB。电阻 R2 上的电压等于 VA-VB。计算下面两个电流：

$$I2 = (VA-VB)/R2$$
$$I1 = VB/R1$$

如果 I2 等于 I1，证明欧姆定律是正确的。如果您有电流表，也可以用电流表测量 I1 和 I2 的真实值，并于计算结果相比较。

对于每个电路，计算每个电阻上消耗的功率：

$$P2 = (VA-VB)*I2$$
$$P1 = VB*I1$$

测量完毕后填写下面的表 1。

R2	VA-VB	I2	P2	R2	VB	I1	P1
220				22k			
470				22k			
470				33k			
22k				33k			

表 1. 欧姆定律的实验验证

2.4.2 测量电容的电抗

您将使用图 2 中所示电路来研究电容的特性。如前文所述，我们将使用交流电来进行这个实验。您将使用信号发生器来产生一个交流信号 VA，并用示波器来测量交流信号 VA-VB 和 VB。最好使用正弦波作为实验中的交流信号，但理论上使用其他交流信号，如方波也是可以的。

这个电路工作在截止频率下时表现是最有趣的：

$$f_c = 1/(2\pi RC)$$

例如，当 R=470Ω 且 C=0.47μF 时，截止频率等于 720 Hz。您可以选择任意截止频率在 100 Hz 到 1000 Hz 之间的电阻和电容来进行此实验。

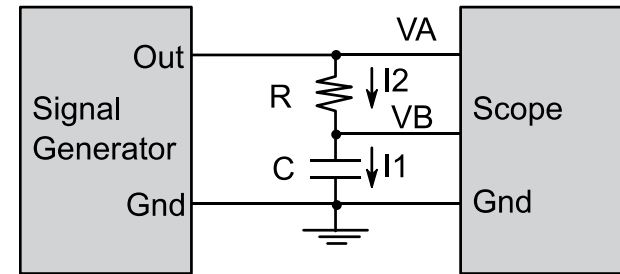


图 2. RC 电路

使用 4 个不同频率的交流电压来进行实验。计算不同频率下的电抗 $X = 1/(2\pi fC)$ 。

计算

$$I2 = (VA-VB)/R$$
$$I1 = VB/X$$

理论上，I2 的计算结果应与 I1 相等。测量完毕后填写下面的表 2。

f	R	VA-VB	I2	C	X	VB	I1
100	470			0.47μF			
500	470			0.47μF			
720	470			0.47μF			
1000	470			0.47μF			

表 2. 电容电抗的实验验证

如果您使用 TExaS 示波器，请务必保证电压处在 0 到 3.3V 之间。TExaS 工程将在 P4.5 引脚产生一个方波，您可以使用这个方波来作为交流信号源。您可以通过软件调整方波的频率。



实验 2：电压、电流和功率

2.4.3. 测量 LED 的电压-电流响应

开始之前请先看一下 LED 的数据手册。请选择一个合适的电阻，使得通过 LED 的电流保持在 LED 的正常承受范围内。对于 10 mA 的 LED，220、470 或 690 欧姆的电阻是比较合适的。如果 LED 的工作电流是 1 mA 左右，请选择 1k 左右的电阻。按照图 3 所示搭建电路。

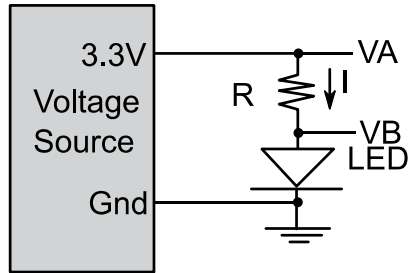


图 3. LED 测试电路

在 4 个不同电阻情况下测量 LED 的参数，例如 220，470，690 和 22k 欧姆。690 欧姆的电阻可以通过串联 220 和 470 欧姆来获得。在每种条件下，计算通过电阻的电流，以及 LED 上消耗的功率。

$$I = (V_A - V_B) / R$$
$$P = I * V_B$$

试一下将 LED 反接。您将观察到 LED 上没有电流流过，LED 将不会发光。将测量结果和 LED 数据手册进行比较。测量完毕后，请填写下方的表 3。请注意 LED 的亮度由它消耗的功率决定。

R	V _A -V _B	V _B	I	P
220				
470				
690				
22k				

表 3. LED 电路的测量结果

2.5 疑难解答

测量结果与理论不符:

- 最有可能的是电路接线错误。
- 再次检查您使用的电阻和电容的值。
- 这是一个测量型的实验，由于仪器设备本身有误差，您的测量结果不会完全与理论值相等。

LED 不亮:

- 如果 LED 上的电流超过限定值，很有可能会损坏 LED。如果您已经损坏了一个 LED，在更换 LED 且再次上电之前请仔细检查您的电路。
- 如前文所述，LED 上的电流只能往一个方向流动。一般引脚较长的那一端是正极。

2.6 请思考

本环节中将列出一些问题，供您在完成实验之后思考。这些问题是为了检验您对于本实验中所涉及到的概念的理解。本模块的目标是体验电阻、电容和 LED 中电压和电流的关系。

- 什么是电压？
- 什么是电流？
- 什么是功率？
- 什么是欧姆定律？
- 欧姆定律是否适用于电容和 LED？
- LED 的亮度由什么决定？
- 如果直接给 LED 两端加上 5V 电压（不要真的这么操作）会发生什么？
- 电阻上消耗的功率跑到哪里去了？



实验 2：电压、电流和功率

2.7 其他挑战

本环节中 will 列出一些与本章知识点有关的挑战项目，您可以在尝试去完成它们。例如：

- 对于电容电路，使用一个双通道示波器同时观察 V_A - V_B （与电容上的电流间接相关）和 V_B （电容电压）。尽管电流和电压都是交流量，但您应发现它们的相位并不相同。
- 电容的复阻抗为 $Z=1/(j2\pi fC)$ 。注意到电抗 $X = |Z|$ 。图 2 中的总阻抗为 $R+Z$ 。电路的增益 (V_B/V_A) 可以表示为 $Z/(R+Z)$ 。请计算电路在截止频率下的增益值。
- 在两个不同的 LED 上进行 LED 实验。有哪些现象是相同的？哪些是不同的？

2.8 接下来是哪些模块？

接下来几个实验中我们将介绍处理器结构，以及软件开发技巧。模块 5 会介绍电源模块，之后我们可以将模块组合起来搭建一个探险机器人：

- 模块 3) 介绍处理器结构及汇编语言开发
- 模块 4) 介绍 C 语言并编写几个机器人要用到的函数
- 模块 5) 开始搭建机器人，包括电池和电源转换
- 模块 6) 学习如何使用微控制器引脚进行输入和输出
- 模块 7) 学习如何利用有限状态机来控制机器人

2.9 您应该已经学会

本环节中我们来回顾一下本模块中您应该已经学会的重要概念：

- 理解电阻上的电压和电流关系。
- 理解电容上的电压和电流关系，了解频率对电抗的影响。
- 理解 LED 上的电压和电流关系，了解电压-电流响应的非线性。了解电能和光能之间的转换关系。
- 了解如何使用万用表和示波器。

IMPORTANT NOTICE FOR TI DESIGN INFORMATION AND RESOURCES

Texas Instruments Incorporated ("TI") technical, application or other design advice, services or information, including, but not limited to, reference designs and materials relating to evaluation modules, (collectively, "TI Resources") are intended to assist designers who are developing applications that incorporate TI products; by downloading, accessing or using any particular TI Resource in any way, you (individually or, if you are acting on behalf of a company, your company) agree to use it solely for this purpose and subject to the terms of this Notice.

TI's provision of TI Resources does not expand or otherwise alter TI's applicable published warranties or warranty disclaimers for TI products, and no additional obligations or liabilities arise from TI providing such TI Resources. TI reserves the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its TI Resources.

You understand and agree that you remain responsible for using your independent analysis, evaluation and judgment in designing your applications and that you have full and exclusive responsibility to assure the safety of your applications and compliance of your applications (and of all TI products used in or for your applications) with all applicable regulations, laws and other applicable requirements. You represent that, with respect to your applications, you have all the necessary expertise to create and implement safeguards that (1) anticipate dangerous consequences of failures, (2) monitor failures and their consequences, and (3) lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate actions. You agree that prior to using or distributing any applications that include TI products, you will thoroughly test such applications and the functionality of such TI products as used in such applications. TI has not conducted any testing other than that specifically described in the published documentation for a particular TI Resource.

You are authorized to use, copy and modify any individual TI Resource only in connection with the development of applications that include the TI product(s) identified in such TI Resource. NO OTHER LICENSE, EXPRESS OR IMPLIED, BY ESTOPPEL OR OTHERWISE TO ANY OTHER TI INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT, AND NO LICENSE TO ANY TECHNOLOGY OR INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT OF TI OR ANY THIRD PARTY IS GRANTED HEREIN, including but not limited to any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information regarding or referencing third-party products or services does not constitute a license to use such products or services, or a warranty or endorsement thereof. Use of TI Resources may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

TI RESOURCES ARE PROVIDED "AS IS" AND WITH ALL FAULTS. TI DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING TI RESOURCES OR USE THEREOF, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ACCURACY OR COMPLETENESS, TITLE, ANY EPIDEMIC FAILURE WARRANTY AND ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF ANY THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

TI SHALL NOT BE LIABLE FOR AND SHALL NOT DEFEND OR INDEMNIFY YOU AGAINST ANY CLAIM, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY INFRINGEMENT CLAIM THAT RELATES TO OR IS BASED ON ANY COMBINATION OF PRODUCTS EVEN IF DESCRIBED IN TI RESOURCES OR OTHERWISE. IN NO EVENT SHALL TI BE LIABLE FOR ANY ACTUAL, DIRECT, SPECIAL, COLLATERAL, INDIRECT, PUNITIVE, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR EXEMPLARY DAMAGES IN CONNECTION WITH OR ARISING OUT OF TI RESOURCES OR USE THEREOF, AND REGARDLESS OF WHETHER TI HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

You agree to fully indemnify TI and its representatives against any damages, costs, losses, and/or liabilities arising out of your non-compliance with the terms and provisions of this Notice.

This Notice applies to TI Resources. Additional terms apply to the use and purchase of certain types of materials, TI products and services. These include; without limitation, TI's standard terms for semiconductor products (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>), [evaluation modules](#), and [samples](http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm) (<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>).

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2018, Texas Instruments Incorporated