

概括

当今社会，人们在户外旅行或野餐时，常常会出现“低电量焦虑”。为了解决这个问题，我们的团队设计了一种基于两相混合式步进电机的电路作为风力涡轮发电机。它可以将电机产生的两路交流电流转换成5V、164mA的直流电流。本技术报告详细介绍了电路各部分的组成和原理。两路交流电流首先分别通过变压器和二极管电桥进行整流，得到脉冲直流电流。然后，将两个直流电流组合起来，并使用滤波电容器将其转换为平滑的直流电流。LM8705稳压模块用于将电压转换为5V直流电流。另外，输出可靠、安全，并用发光二极管指示电路的工作状态。我们对输入电压进行了多次测试，平均输出电压为5.0002V，满足USB口的供电要求。电路设计简单，所用元件价格低廉，非常容易生产。

目录

1.简介	2
2. 设计概述	3
2.1 变形金刚	3
2.2 二极管整流器	4
2.3滤波电容	8
2.4 稳压器	10
2.5 再次过滤	14
2.6 电流控制	15
3.结果	16
4.结论	17

1.简介

两相混合式步进电机可以通过将外部旋转力转换为电能来发电，通常称为步进电动发电机。由于两相混合式步进电机包含两个线圈，因此可以输出两个交流电信号。具体地，当外力使步进电机旋转时，步进电机中的转子和定子的磁场发生变化，导致定子的两个线圈中产生电势。由于这两个线圈之间的相位差为90度，因此它们产生的电势也是两个相位差为90度的交流电信号。

当使用风驱动电机时，我们需要了解保持扭矩的概念。保持扭矩是指电机静止时所能承受的最大扭矩。因此，如果施加在电机上的风力小于保持扭矩，电机将不会启动。只有当风力大于保持扭矩时，电机才会产生足够的扭矩开始旋转。风力可以通过风速来计算。通常，风速是由气象站或其他风速测量设备测量的，单位通常为m/s。然后，可以使用以下公式将风速转换为风力：

$$F = 0.5 \times \rho \times A \times V^2$$

其中F代表风力（N）， ρ 代表空气密度（kg/m³），A代表风机叶片面积（m²），V代表风速（m/s）。

根据17HS4401电机的参数表，我们知道该电机的保持扭矩为4N/cm。结合实际测量，我们可以确定驱动电机旋转所需的最小风速。

电机转速和风速之间的关系非常复杂。经过大量研究和推导，我们得到了风速与电机转速关系的计算公式：

$$N = (V \times \pi \times D \times eff) / (60 \times p)$$

其中， ω 为电机转速（RPM），V为风速（m/s）， π 为数学常数pi，D为风力机叶片直径（m），eff为风力发电机效率，p 是电机的极数。

对于两相混合式步进电机，给定电机速度下的输出电压可以使用以下公式计算：

$$V = K \times \omega$$

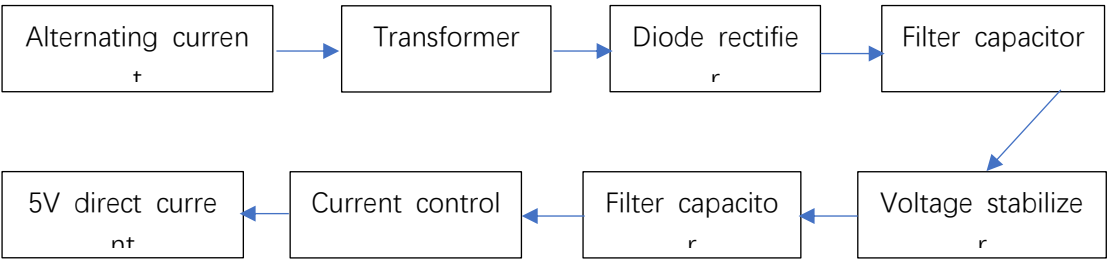
其中 V 是输出电压（以伏特为单位），K 是电机的输出常数（取决于电机的设计和结构）， ω 是电机速度（以弧度/秒为单位）。

根据我们的研究和计算，使用我们提供的这一系列复杂的公式可以粗略地估计出不同风速下的输出电压。由此可知，风速越大，电机产生的交流电压就越大。不过，由于该项目的重点是电路仿真而不是物理搭建，因此我们与教授讨论后得知，在理想的实验室条件下，电机产生的最大电压应该在30V左右。

2. 设计概览

根据前面对电机的分析，我们知道这种两相混合式步进电机将产生两路大小相同、频率相同、相位相差 90 度，即四分之一周期的交流电。根据实验室在强风条件下的理想测量，该电机作为风力发电机产生的最大电压为30V。也就是说，当输入交流电的均方根电压为30V时，我们需要将其转换为5V直流输出。

我们的 团体 设计一个包含变压器、二极管整流桥、滤波电容器和三级稳压器等元件的电路，用于将交流电转换为直流电。首先，两路交流电源分别经过变压器，将电压降低到三级稳压器的最大输入电压35V以内（虽然电机产生的交流电的均方根电压只有30V），其峰值电压将超过40V，会损坏三级稳压器）。然后，交流电经二极管整流桥整流为直流电。此时的直流是脉动的，相当于将沿x轴的负电流翻转为正电流，但其大小随时间变化，波形仍为正弦波。正常的直流电流是指方向和电压恒定且不随时间变化的电流。我们首先将两个转换后的直流电源组合起来，以增加电路中的电流，同时保持电压恒定。然后，我们在电路中使用电容进行滤波，使随时间变化的电压信号稳定，同时滤除一些不稳定的高频和低频信号。至此，我们就获得了稳定的直流电，但其电压远高于5V。此时，我们使用三级稳压器将电压降至5V。最后，我们再次用电容器过滤电压。我们添加一个电阻来控制输出电流在USB接口的最大电流（500mA）以内，然后添加一个发光二极管。如果LED点亮，则表明电路工作正常。



P1 交流电转5V直流电的过程

2.1 变压器

在我们的项目中，在理想的实验室条件下，最大风速产生的理论电压可以达到30V。因此我们选择它是为了保证我们电路的正常工作。由于30V的理论电压是输入交流电压的均方根(RMS)电压，因此我们计算出交流电压的峰值电压为峰值电压= $\sqrt{2} \times \text{RMS电压}$ ，即 $\sqrt{2} \times 30V = 42.43V$ 。它超过了LM7805的最大输入电压35v，因此在获得两相混合式步进电机产生的两个交流电源后，首先使用两个变压器对其进行降压。

变压器由一个磁芯和两个线圈组成，一个称为初级线圈，另一个称为次级线圈。当交流电通过初级线圈时，铁芯内部产生交变磁场。该交变磁场在次级线圈中感应出电流。磁场变化速度越快，次级线圈中感应出的电流越大。当变压器的两个线圈电气连接时，电

能以磁场的形式在它们之间传输。这是基于法拉第电磁感应定律，该定律指出，当导体置于变化的磁场中时，它会产生电动势 (EMF)。

根据磁通量守恒定律，变压器中的总磁通量必须保持恒定，因此变压器的输入功率等于其输出功率。因此，变压器的输入电压、输出电压和电流之间的关系可以表示为：

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

其中 V_p 和 V_s 代表初级和次级线圈的电压， N_p 和 N_s 分别代表初级和次级线圈的匝数。

利用该公式，降压变压器的输出电压可计算如下：

$$V_s = V_p \times (N_s / N_p)$$

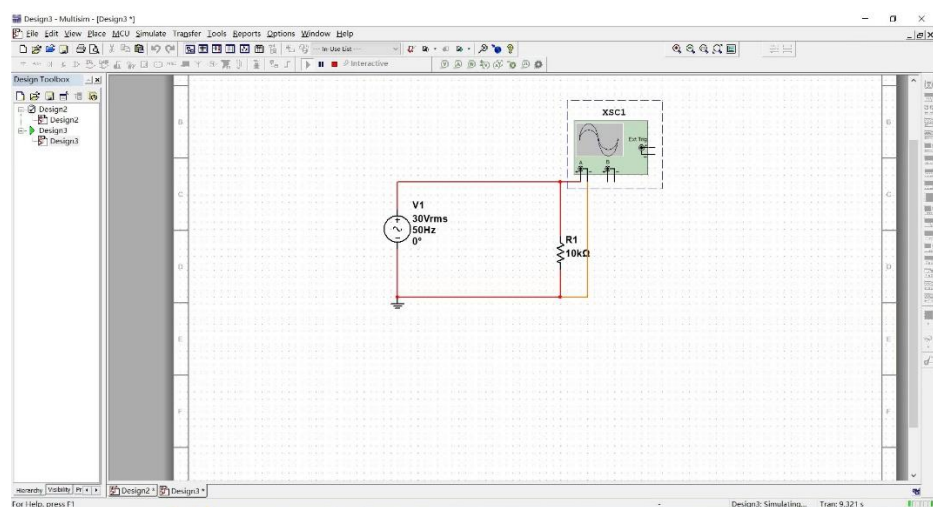
在我们使用的降压变压器中，次级线圈的匝数少于初级线圈的匝数，导致输出电压较低。所以，当初级线圈的电压为42.43伏，初级线圈的匝数为1.5，次级线圈的匝数为1时，则次级线圈的电压为：

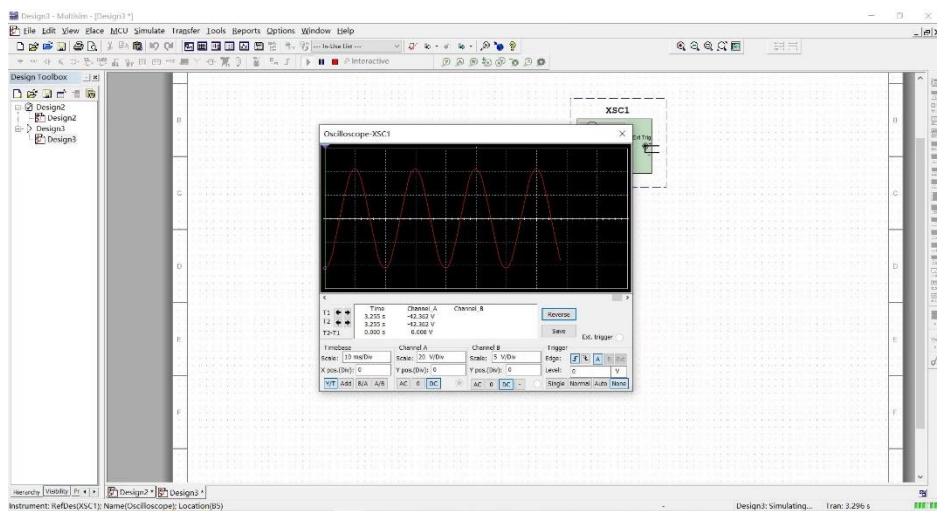
$$V_s = 42.43 \times (2/3) = 28.29 \text{ volts}$$

现在 V_s 处于 LM7805 的安全工作范围内。

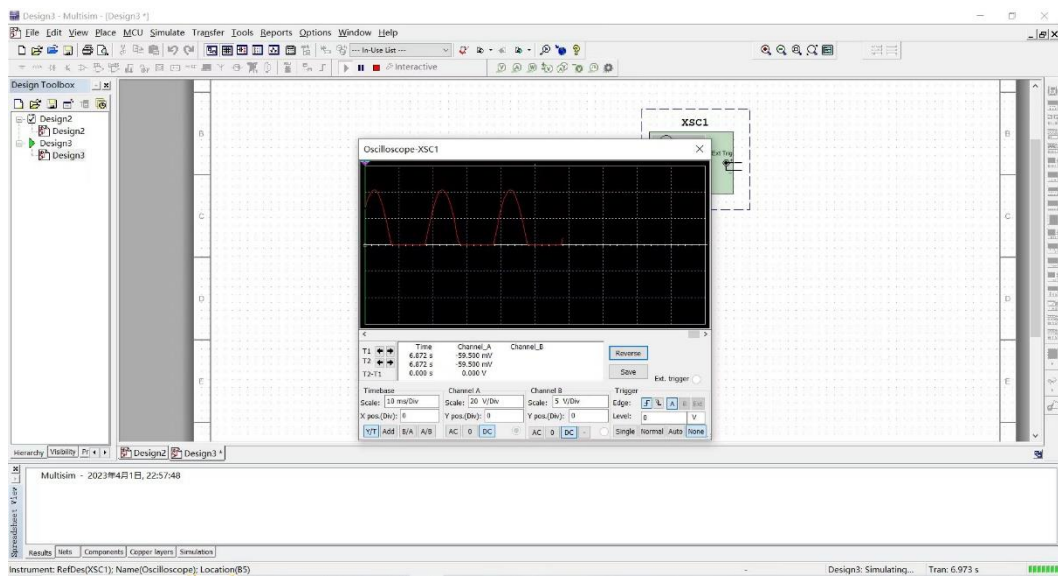
2.2 二极管整流器

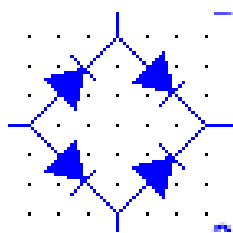
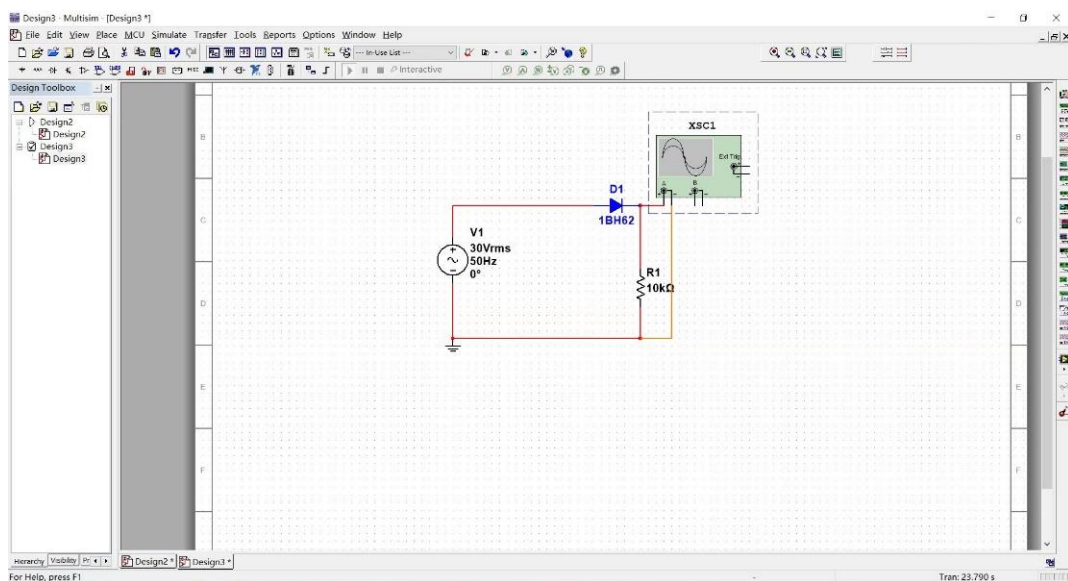
两相混合式步进电机产生的电压是交流 (AC) 信号。通过仿真软件，我们可以清晰地观察到电流变化方向时产生的正弦波信号。





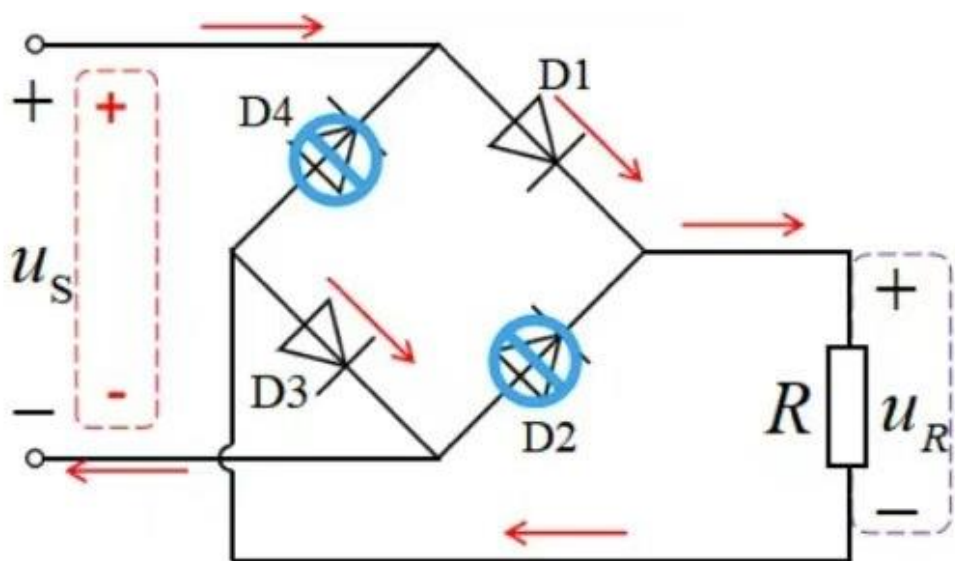
而我们需要的是直流电。通过仿真可以看出，在电路中添加二极管会遮挡x轴以下的波形。这是因为二极管具有单向导电性，仅允许电流沿一个方向流动。然而，产生的直流电是不连续的，仅包含半个周期。输出仅获得正弦波的正半部分，而丢失了负半部分，造成很大的浪费。



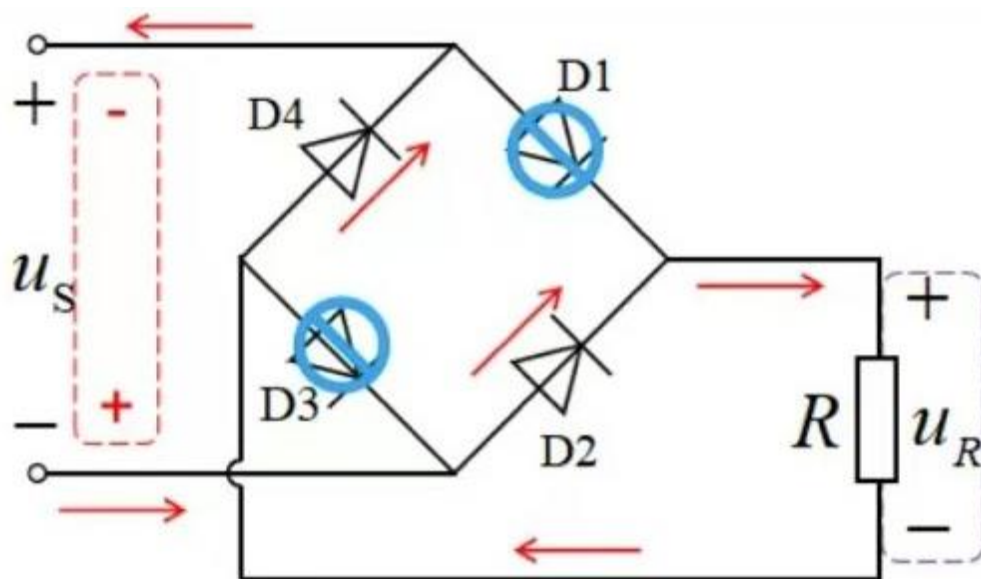


因此，单二极管整流并不是一个好的解决方案。我们需要使用四个二极管构建全桥电路，将交流电压转换为脉冲直流电压。桥式整流器使用四个成对的二极管。当施加输入正弦波的正半部分时，两个二极管导通，从而产生正输出。当施加输入正弦波的负半部分时，另外两个二极管导通。由于这些二极管是反向的，因此输出仍然是正弦波的正半部分。

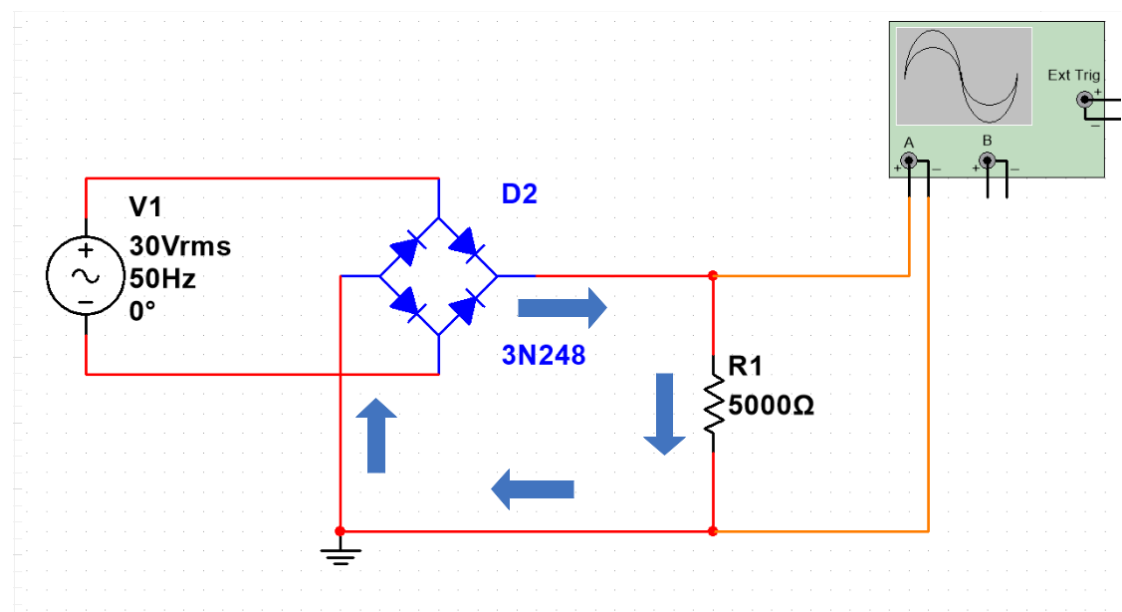
当正极在上时，输入电压对D1和D3施加正向电压，使它们导通，同时对D2和D4施加反向电压，使它们截止。这样就形成了一个由电源、D1、R、D3组成的电路，产生一个半波整流电压，其顶部正极性，R底部负极性。



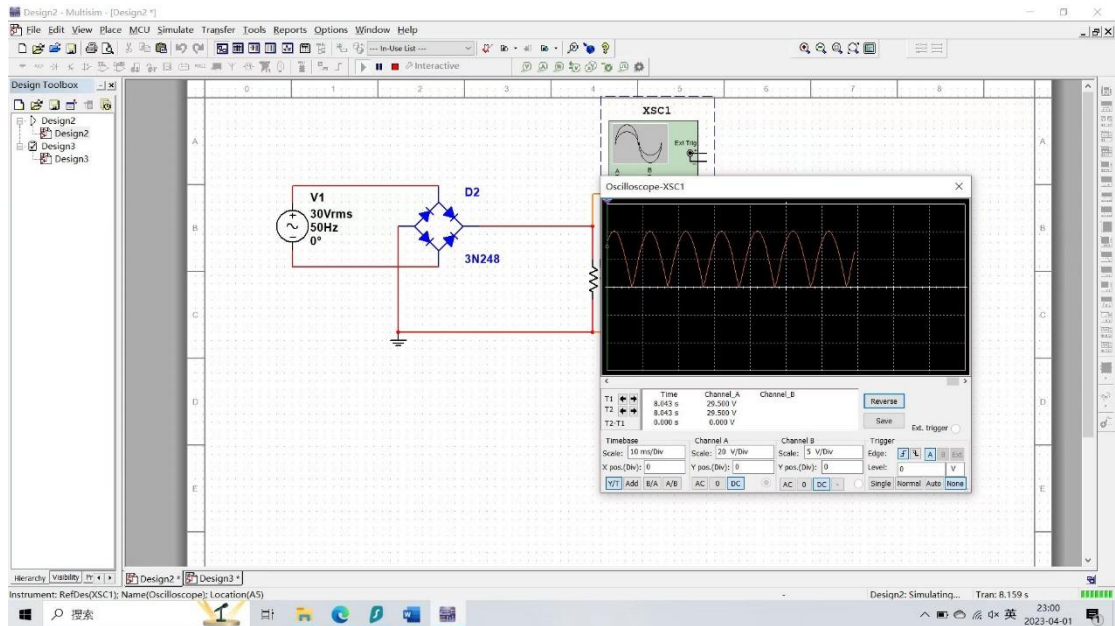
当负极在顶部时，输入电压对D4和D2施加正向电压，使它们导通，同时对D3和D1施加反向电压，使它们截止。这样就形成了由电源、D4、R和D2组成的电路，产生半波整流电压，其顶部正极性，R底部负极性。



当两个方向的电流合在一起时，无论电源正极的方向如何，流经电阻R的电流方向始终是从上到下，保持不变。这使得电路中流经整流桥左右两侧的电流成为直流。



添加全桥电路后，通过仿真可以看出，输出的是脉冲直流电，也就是说负电流沿x轴折叠，变成了正电流。与半波整流器相比，桥式整流器对输入正弦波的利用效率提高了一倍。桥式整流是将交流电转变为直流电的第一步。



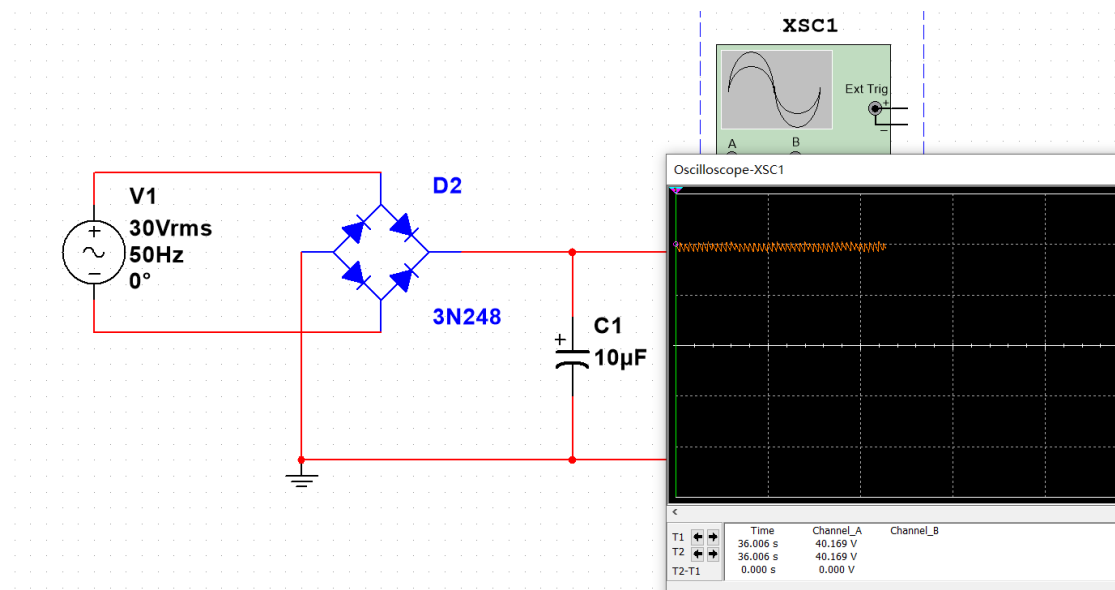
需要注意的是，当使用两相混合步进电机产生两个交流电源时，必须将它们转换为直流电源才能组合。这是因为由于电机的性质，两个交流电压相差 90 度。然而，合并交流电源的必要条件是电压电平、波形、频率和相位均相同。如果不满足这些条件，组合电源可能会导致电压不稳定、电流不平衡、功率损耗等问题。

2.3 滤波电容

接下来，要将脉动直流电转换为我们日常生活中常见的稳定、恒压直流电（电压值不随时间变化），我们需要使用电容器进行滤波。

电容器滤波涉及利用电容器的充电和放电特性来平滑电源信号，消除电源中的高频噪声和瞬态变化。这是通过使用由电阻器和电容器组成的 RC 低通滤波器来实现的。

当输入电压 (V_{in}) 通过电阻器进入电容器时，电容器开始充电，直到其电压等于 V_{in} 。在此过程中，电阻和电容组成的电路产生滤波作用，只允许低频信号通过，而阻挡高频信号。电容器滤波的有效性受电容器的大小、电阻器的阻值以及输入信号的频率影响。

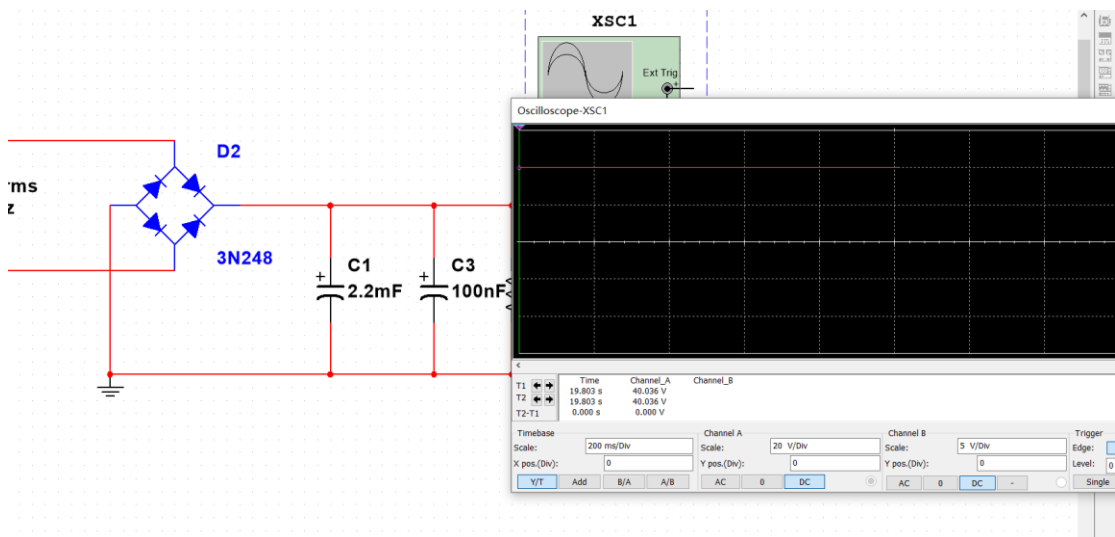
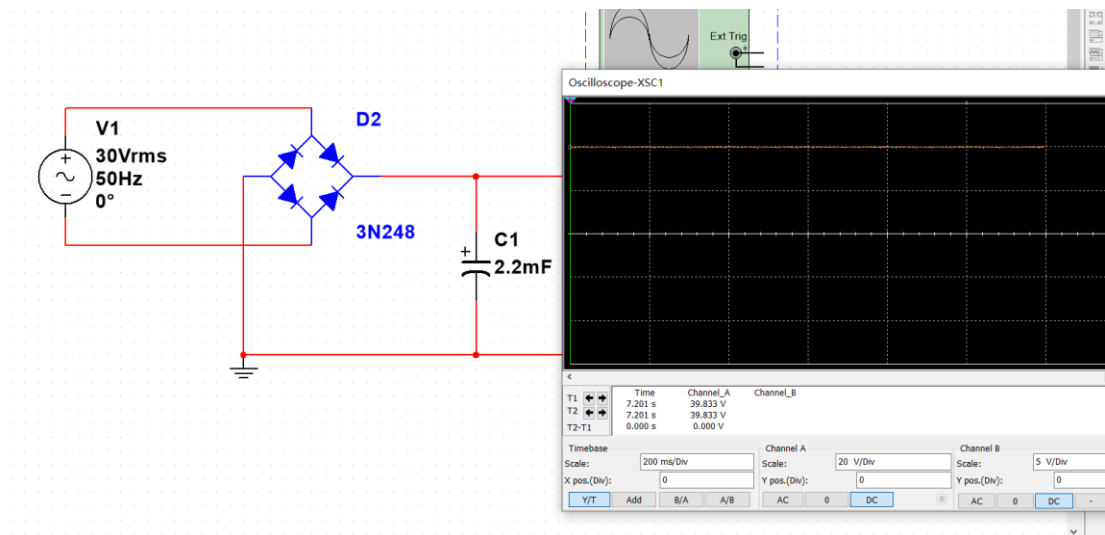


选择合适的电容尺寸和电阻值可以达到滤波器所需的截止频率，从而实现对高频信号的有效滤波。较大的电容器尺寸会导致较低的截止频率和更好的滤波性能，而较高的电阻值也会降低截止频率但会增加功耗。

在实际应用中，根据具体要求选择合适的电容和电阻值非常重要。为了滤除较高频率的信号，应选择较小的电容值和较大的电阻值，而滤除较低频率的信号则需要选择较大的电容值和较小的电阻值。但如果滤波电容的电容量选择过大，会增加稳压器的成本，并导致电源开启时产生较大的浪涌电流。同样，如果电容选择太小，也会导致电源输出电压纹波变大。

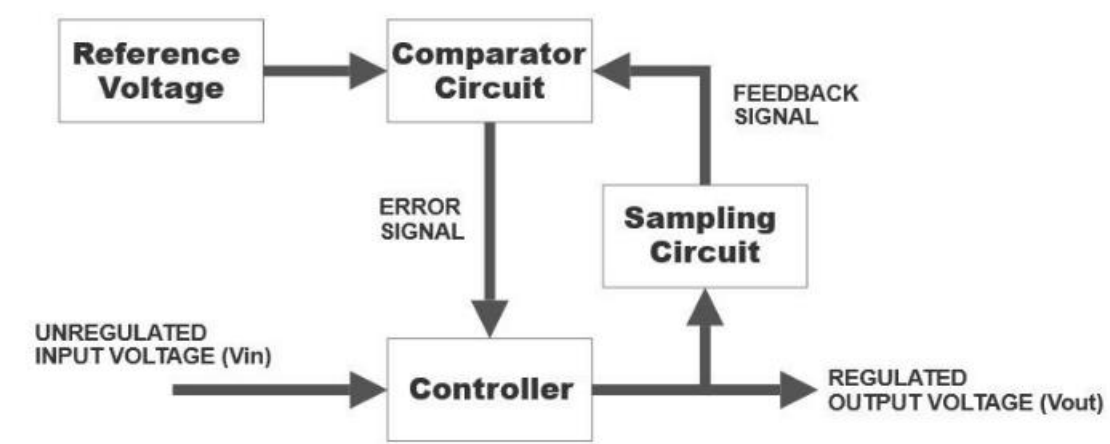
值得注意的是，实验表明，电容器的滤波能力并不随着电容的增加而线性增加，并且存在一个最佳电容值，超过该最佳电容值，电容的进一步增加对滤波能力的改善可以忽略不计。选择电容器时，还必须考虑额定电压、工作温度等其他参数，以保证电路的稳定性和安全运行。

电流通过整流桥后，经过多轮测试，我们放置了一个比较大的电容C1=2.2mF，也称为整流电容。它可以滤除波形中大量的低频输出纹波，快速使电流平滑，只包含偶尔出现的高频输出纹波。接下来在C1之后接一个100nf的电容C3，称为介质电容。其主要作用是滤除细微的高频输出纹波，保护电路。



2.4 稳压器

稳压器是调节电压的重要元件。电压调节是指提供稳定电压而没有噪声或干扰的能力。电压调节器的输出不受负载电流、温度或交流电源线变化的影响。无论输入电压或负载条件如何变化，它都能提供所需的输出电压。电子电路依赖于电压调节器，因为它们需要稳定的电压供应以避免损坏。几乎所有电子产品或家用电器（如电视、冰箱、电脑等）中都存在稳压器，以稳定电源电压。一般来说，电压调节器可以最大限度地减少电压波动以保护设备。在配电系统中，电压调节器位于馈线或变电站中。该系列使用两种类型的稳压器。一种是步进电压调节器，它使用开关调节来调节电流源。另一种是感应调节器，它是类似于感应电机的交流电机，作为辅助电源提供动力，以最大限度地减少电压波动并提供稳定的输出。电压调节器采用反馈控制系统原理，依靠负反馈控制环路。



如上图所示，来自控制器的参考电压信号和反馈信号被提供给比较器电路。比较器电路比较两个值并向控制器发送误差信号，控制器使用来自比较器的误差信号来调整输出电压。

目前，稳压电路主要分为三种类型，包括线性稳压电路、齐纳稳压电路和开关稳压电路。线性稳压器电路是电子产品中最常见的用于维持稳定输出电压的稳压器。线性稳压器就像一个分压电路，其电阻随着负载的变化而变化，并提供恒定的输出电压。

以下是线性稳压器的优点和缺点：

	优势	坏处
1	低输出电压纹波	低的 效率
2	响应速度快	高功耗和高发热
3	低噪声	最大输出电流容量有限

在稳压器的选择上，我们选择了LM7805CT。LM78系列三端稳压IC仅需极少的外围元件即可组成稳压电源，电路内置过流、过温、调整管等保护电路。它可靠、使用方便且价格低廉。集成稳压IC中LM78后面的数字代表三端集成稳压电路的输出电压。例如我们选用的LM7805代表输出电压为+5V。

LM7805CT芯片是一种线性稳压器，用于稳定输入电压并输出固定电压。其最小输入电压为7V，最大输入电压为35V；最低工作温度为0°C，最高工作温度为+70 ° C；负载调整率和线路调整率均为100mV。具体来说，其主要功能包括：

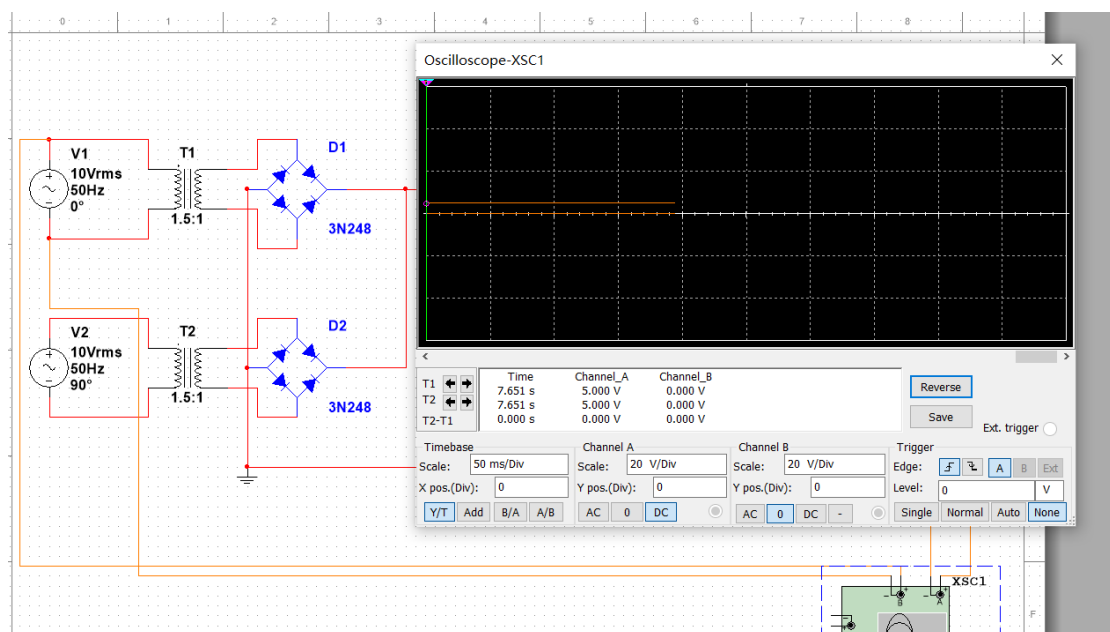
- 1、稳压：LM7805CT芯片的主要功能是将输入电压调整为稳定的输出电压。它可以将输入电压稳定在7V-35V范围内，并将输出电压固定在5V。当输入电压变化时，它可以通过其内部电路保持输出电压恒定。
- 2、限流：为了保证芯片的稳定性，输出端口自动进行限流。 LM7805CT芯片可以输出的最大电流为1A。如果超过这个范围，芯片会自我保护，输出电路不会被损坏。
- 3、热保护：由于稳压元件在工作时会产生大量热量，超过芯片所能承受的范围就会导致芯片烧毁。 LM7805CT芯片内置热保护电路，当温度达到一定程度时，自动切断输出电路，从而保护稳压元件。

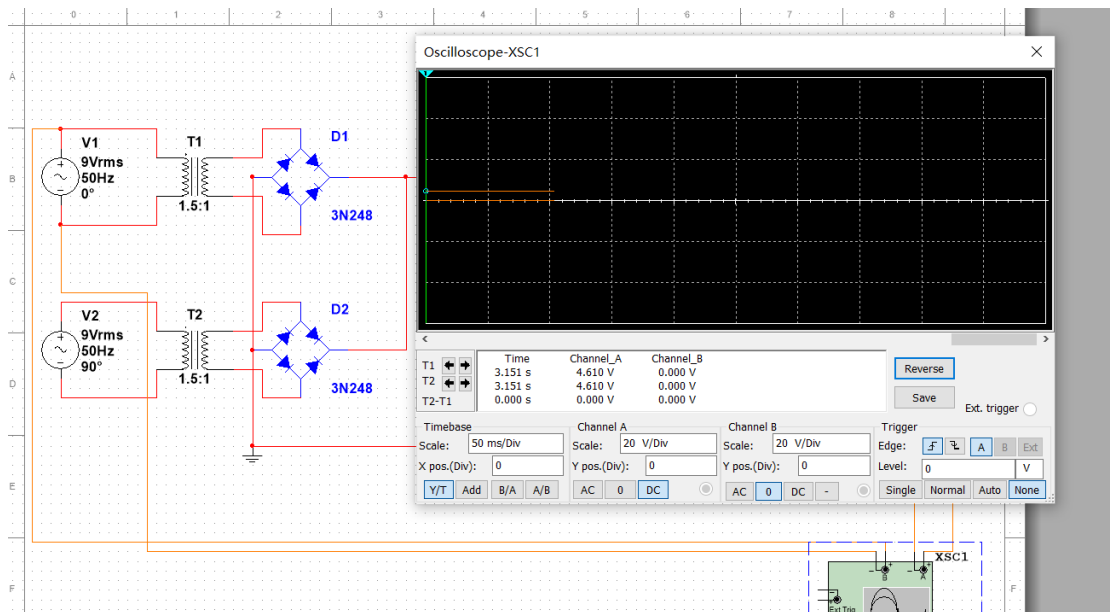
此外，LM7805CT芯片还具有以下优点：

- 1、稳定性高：芯片能保持输出电压恒定，保证电路稳定性。
- 2、使用方便：LM7805CT芯片的接线比较简单。只需将输入电压连接到IN端口，输出端口需要连接到受控设备。
- 3、成本低：LM7805CT芯片价格相对便宜，广泛应用于各种电子设备中。



综上所述，LM7805CT芯片是一款稳压器，用于电路中的电压调整，输出稳定的电压值，保证电路的稳定性和安全性。使用LM7805CT芯片可以稳定电路的运行，并且由于LM7805CT相对便宜，所以它非常适合我们项目的用例。完成电路连接后，我们开始测试电路的运行情况。在测量最小输入电压时，我们得到以下实验数据：



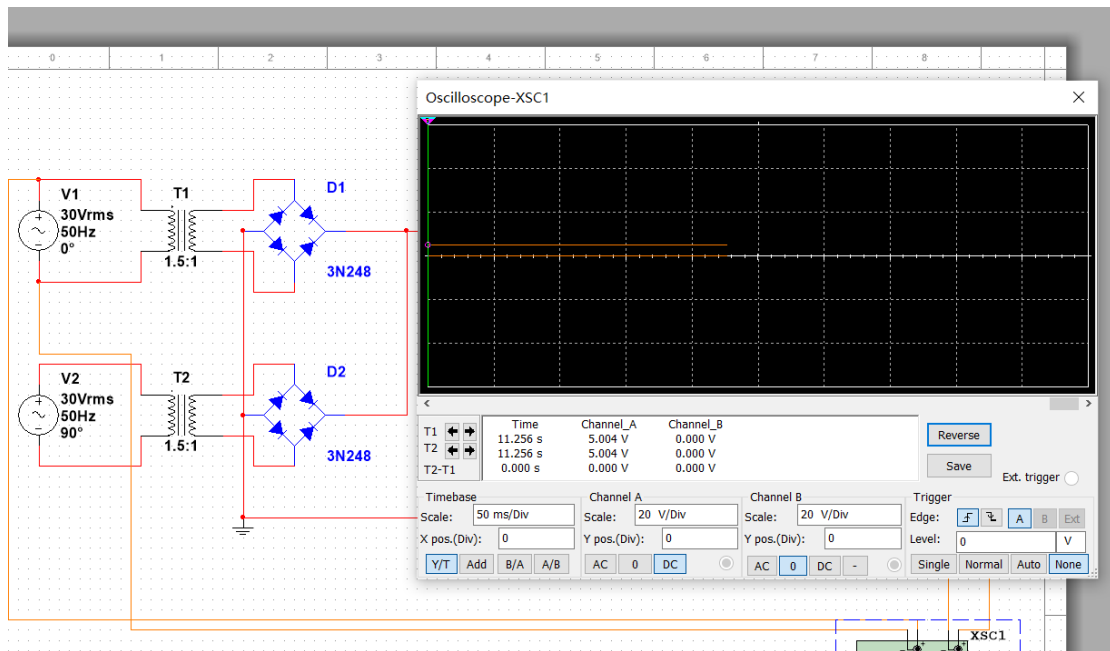


如图所示，电路的直流输出电压为5.000V 输入电压为10V，表明电路工作正常。然而，在一个 当输入电压为9V时，输出电压仅为4.610V，太低，无法满足5V左右的输出要求。因此，我们得出最小输入电压在9V至10V之间。然后我们继续改变输入电压，得到下表：

在	出去
9. 1V	4. 705V
9. 2V	4. 826V
9. 3V	4. 917V
9. 4V	4. 995V
9. 5V	5. 000V
9. 6V	5. 000V
9. 7V	5. 000V

根据我们的测量，当输入电压高于9.3V时，输出直流电压非常接近5V，当输入电压高于9.5V时，输出直流电压稳定在5.000V。因此，我们得出结论，当风速达到9.3V或更高时，我们的电路可以正常工作，最小输入电压为9.3V。

在我们的场景中，风速产生的理论最大电压可以达到30V，这意味着输入电压为30V。我们将30V代入仿真中，得到以下结果：



根据仿真结果，我们可以看到所设计的电路在30V的输入电压下可以输出5.004V的电压，在这种情况下可以成功运行。

2.5 再次过滤

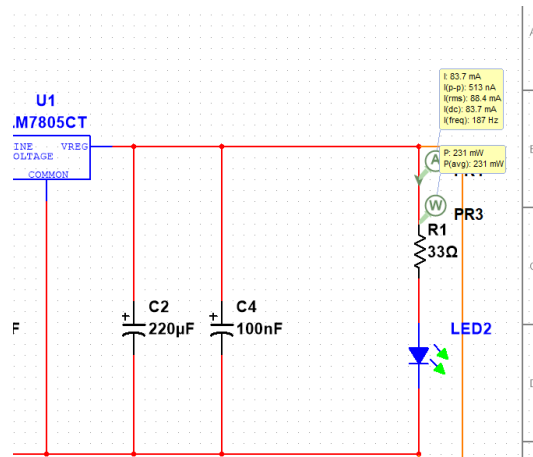
电流通过LM7805后，我们需要再次对电流进行滤波。当连接负载时，负载的功耗并不稳定，负载功耗的大小会发生变化。LM7805的响应速度慢于信号变化的速度，这意味着LM7805的供电速度跟不上负载功耗变化的速度。这可能会导致5V DC电压不稳定或快速波动（来自负载的干扰）。该波动的频率与负载信号的频率相同。

为了减少这种波动，可以在该电路中添加滤波电容器。与常规电源相比，滤波电容的响应速度更快，意味着其充放电速度也比较快，类似于快速变化的小电源。这允许减少波动。只要LM7805不断给这个滤波电容充电，滤波电容就能快速给负载供电。

为了进一步提高滤波电容的性能，可以并联一个大电容和一个小电容。流过电容器的频率与电容器的大小有关。电容器越小，充电时间越短，可以通过它的频率越高。另一方面，小电容器由于尺寸小而具有良好的高频性能，从而降低了ESL并缩短了引线。然而，由于容量较小，小电容器对低频信号的阻抗较大。为了让低频和高频信号都能顺利通过，将大电容与小电容组合在一起。另外，由于小电容能够快速响应瞬时电流，因此将小电容连接在负载附近，以便能够快速向负载供电。因此，在LM7805后添加滤波电容，有助于稳定输出电压，减少负载波动引起的纹波。

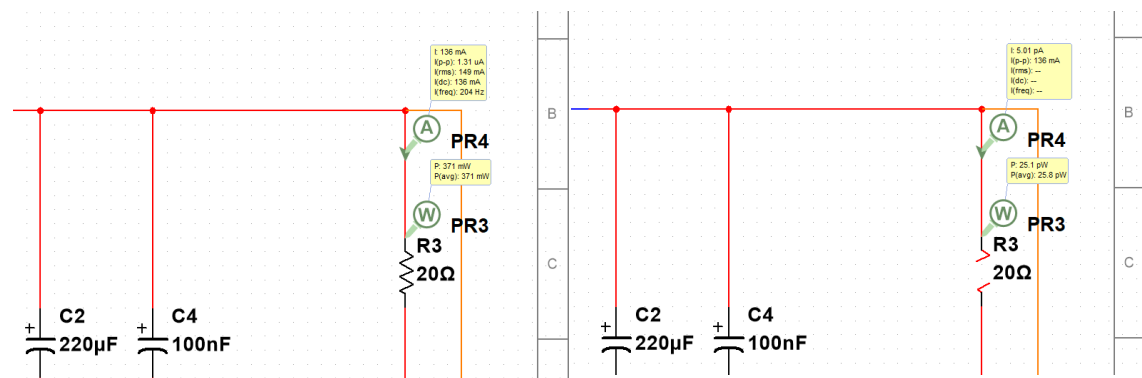
2.6 电流控制

根据USB接口的参数，当使用USB端口作为充电端口时，可以通过的最大电流不应超过500mA（最大功率电流值）。因此，我们需要在电路中添加限流电阻，将输出电流控制在可管理的范围内。最初，我们尝试在电路中直接添加电阻，但产生的电流太小，无法满足USB接口的供电要求。



P2电流只有83.7mA

我们尝试将电阻大小改为20欧姆，得到的电流为136mA，满足要求。然而，此时电阻器上的功率为371mW，超过了电阻器的额定功率250mW。几秒钟后，电阻烧坏了。



因此，我们决定并联两个电阻。根据并联电路的特性，施加在每个支路上的电压保持恒定。根据并联电阻等效电阻计算公式 $R = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$ 可知，电阻并联后总电阻减小。经过反复尝试和计算，我们在电路中并联了两个33欧姆的电阻。每个电阻可承受的功率为222mW，在安全范围内。同时电路中的电流提高到164mA，很好地满足了USB接口的供电要求。

噪声 (标准差):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}$$

因此，设计电路中的标准偏差输出电压为：

$$\sigma = \frac{1}{5}(0.00000004 + 0.00000001 + 0 + 0.00000001 + 0.00000004) = 0.00000002$$

从表格和计算结果可以看出，我们的电路具有极高的精度，可以完美满足USB供电的要求。更重要的是，该电路的生产成本也超低。

4 . 结论

通过对电路各部分的算，可以将输入的交流电压输出。我们平均值为5.0002V，标可以完美满足USB端我们还在电路中设计当由于异常原因电流被烧坏而断路。发光二极管可以指示电路工作正常。制造我们的电路所需的组件总成本

成分	价格
3N248 整流桥*2	0. 9英镑
2. 2mF电容	0. 033 英镑
100nF电容*2	0. 005 英镑
220uF电容	0. 0093 英镑
LM7805CT	0. 47英镑
33 Ω 电阻*2	0. 00 5 英镑
变压器*2	2英镑
1 7 HS 4401电机	3英镑
总计： 6.4223 £	

分析和仿真结果的计流电压转换为稳定的设计的电路输出电压准差仅为0.00000002,口的供电要求。同时,了简单的保护措施。突然增大时，电阻会

仅为 6.4223 英镑，非常容易购买和生产。我们也希望未来能够将电路设计变成成品，在现实生活中测试其性能，并将其完善为野营爱好者可靠的供电电路，让生活更加便捷。