



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 201765728 U

(45) 授权公告日 2011. 03. 16

(21) 申请号 200920291181. 2

(22) 申请日 2009. 12. 30

(73) 专利权人 德州学院

地址 253023 山东省德州市德城区大学西路
566 号

(72) 发明人 赵杰

(51) Int. Cl.

G09B 23/18 (2006. 01)

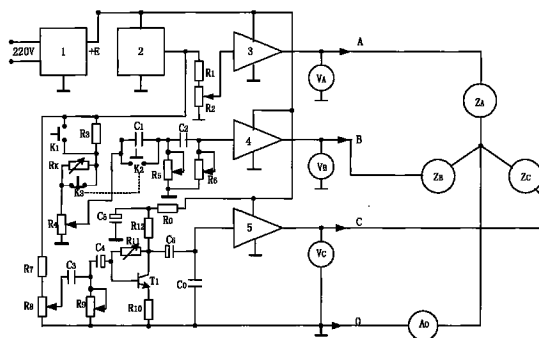
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 实用新型名称

三相交流电实验电源

(57) 摘要

本实用新型公开了一种三相交流电实验电源。它包含正弦振荡器、电压表、电流表，正弦振荡器的信号输出端分别与非移相功放器和两路移相功放器相连，工作电源为上述各电路提供稳压直流电源。可输出三相电压相等、三相电压相位差互隔 120 度、稳定的低压三相交流电，其中公共地线就是三相交流电源的中线。很好地解决了已有的三相交流电实验设备的三相电压和相位差不平衡、不稳定、不安全、功耗和体积大等缺陷。它还可方便地分别观察三相电电压或相位差不平衡引起的中线产生电流现象。本实用新型既可独自成为实验仪器，也可组合到常见的电工电子实践台中。它可用于各类高校的三相交流电实验项目，大幅度提高实验精度和效果，避免了实验触电的危险性。



1. 一种三相交流电实验电源,包括一个工作电源,其特征是还有一个正弦振荡器,正弦振荡器的输出端与非移相放大器的输入端相连,正弦振荡器的输出端还与两个移相放大器的输入端相连,工作电源分别与正弦振荡器、非移相放大器、两个移相放大器的电源输入端相连,电压表与放大器的输出端相并联,工作电源的地线也是三相交流电电源的中线。

2. 按权利要求 1 所述的三相交流电实验电源,其特征是移相放大器由幅度调节电路、移相电路、功率放大器连接而成。

3. 按权利要求 2 所述的三相交流电实验电源,其特征是移相电路的一条由电容和可变电阻构成的 RC 移相电路组成,在移相电路的一个电容上并联一个常断开关,衰减电阻和常通开关并联后与幅度调节电路串联,常断开关和常通开关是一体的机械联动开关。

4. 按权利要求 2 所述的三相交流电实验电源,其特征是移相电路的另一条由单级 RC 移相单元与反相放大器连接组成。

5. 按权利要求 1 所述的三相交流电实验电源,其特征是放大器的输出端与三相电源变压器的低压绕组相接。

6. 按权利要求 1 所述的三相交流电实验电源,其特征是正弦振荡器的末级是一个射极输出器。

三相交流电实验电源

技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种实验装置,尤其是指一种三相交流电实验电源。

背景技术

[0002] 国内各级各类高校,三相交流电实验是理工科大学学生必做的电工电子实验项目之一,而用于该实验的现有实验装置不外乎有两大类:一类是用完全分立的仪器由学生组装实验电路,另一类是在电工电子实验台上安装相关的仪器和器材,学生只要按电路插接连线就可以了。例如 2003 年 6 月化学工业出版社出版的付家才编著的高校实验教材《电工电子实践教程》中的“三相电路电压、电流的测量”的实验项目(第 70-72 页),就是直接采用三相交流市电进行实验的。但上述两大类实验手段中采用的三相交流电都是直接取自三相交流市电,而对于三相交流市电,由于整个电网系统三相负载的不确定性(三相负载在每一时刻都是随机的,导致三相负载不平衡)和供电系统内阻不为零,导致三相电不平衡和不稳定,这表现在三相电压不相等和不稳定,三相电压的相位差也不是 120 度或不稳定。这些都会引起实验结果的误差很大,甚至令师生难以容忍。不仅如此,三相交流市电电压很高,实验仪器和人身安全性低,常发生仪器烧坏等事故,时有触电现象发生(虽然通常由于绝缘好,不太容易发生严重触电事故,但每次实验还是令师生很担心),并且耗电多,每套实验仪器光灯泡的总功耗就达到一二百瓦,实验装置的体积庞大笨重。另外,还不能演示三相交流电源由平衡状态变为不平衡时引起中线电流的变化。

发明内容

[0003] 本实用新型的目的是提供一种三相交流电源的电压幅值和相位差都可调的、输出稳定的、体积小、重量轻、安全节电的三相交流电实验电源,它可方便地观察三相电压幅值或相位差由平衡变为不平衡时,所引起的中线电流的变化。

[0004] 为了实现上述目的,本实用新型包括监视三相交流电的相电压的电压表,测中线电流的电流表,一个把单相 220V 交流市电降压、整流、滤波、稳压组成的工作电源,为后续电路提供稳定的直流电压,还有一个正弦振荡器,正弦振荡器的输出端与非移相功放器的输入端相连,正弦振荡器的输出端还与两个移相功放器的输入端相连。工作电源分别与正弦振荡器、非移相功放器、两个移相功放器的电源输入端相连。电压表与功放器的输出端并联。工作电源的地线也作为三相交流电电源的中线。

[0005] 为保证正弦振荡器的输出电压稳定,不随后级负载变化的影响,在正弦振荡器的末级是一个射极输出器。

[0006] 两路移相功放器都是由幅度调节电路、移相电路、功率放大器连接而成。这样,非移相功放器、两路移相功放器三者之间就形成了输出电压相位不同的三路正弦交流电,而通过调节各自的幅度调节电路及移相电路,就可方便地调出电压和相位差都符合要求的平衡的三相交流电。

[0007] 移相电路的一条由两个电容和两个可变电阻构成两级 RC 移相单元,可产生稳定、

波形好的超前 120 度的输出电压。在移相电路的一个电容上并联一个常断开关, 衰减电阻和常通开关并联后与幅度调节电路串联。常断开关和常通开关是机械联动的。这样就可以通过控制这个机械联动开关来方便地独立控制三相交流电的一相电源的相位, 变动相位对电压无影响。移相电路的另一条由单级 RC 移相单元与反相放大器连接组成, 可产生稳定、波形好的滞后 120 度的输出电压。

[0008] 为了满足常见的电功率表测电功率时对较高电压的要求, 还将三相电源变压器与三相交流电的输出端可拆式相连。

[0009] 由于本实用新型用单相交流 220V 市电降压整流滤波稳压后, 构成工作电源, 分别提供给正弦波振荡器、非移相功放器、两路移相功放器, 使之产生三路电压和相位差都可调定的三相交流电, 并且带有中线, 这就构成了理想的、真正平衡的、稳定的三相交流电源, 克服了现有三相交流电实验电源直接取自 380V 三相交流市电带来的三相交流电不平衡和不稳定带来的实验误差, 大大提高了实验效果。不仅如此, 由于本实用新型采用 220 单相交流市电供电产生平衡稳定的低压三相交流电, 实验的安全性大大提高, 无触电的危险。由于输出的三相电电压很低, 实验仪器和实验器材也不易损坏了, 实验耗电也大大降低, 符合当今世界的节电原则, 并且在无三相交流电的地方也可做三相交流电实验, 扩展了产品的适用范围。在幅度调节电路的电阻上并联常通开关, 以及在移相电路的电容上并联常断开关, 并使这两个开关机械联动, 就可分别方便地观察三相交流电的电压幅值不平衡或三相交流电的相位差不平衡所导致的中线电流产生现象, 可加深学生对三相电的认识。用三相电源变压器与三相交流电的输出端可拆式相连, 可根据实验需求时选择用其升压, 方便了使用。移相电路由单级移相单元与反相放大器连接组成, 解决了用多级阻容元件进行超宽相移带来的信号极度衰减和波形差的缺陷。本实用新型的体积、重量、成本都低于现有技术的产品, 性价比高。

附图说明

[0010] 图 1 是本实用新型的第一个实施例的电路原理图。

[0011] 图 2 是本实用新型工作电源的电路图。

[0012] 图 3 是本实用新型三相负载中的一相的电路图。

[0013] 图 4 是本实用新型的第一个实施例的简化电路图。

[0014] 图 5 是本实用新型的第二个实施例的电路图。

[0015] 图 6 是本实用新型的单电压表测三个相电压的电路图。

[0016] 图 7 是本实用新型的带升压变压器的电路图。

具体实施方式

[0017] 在图 1 中, 工作电源 1 可把交流市电 220V 转化为稳压的低压直流电, 其内部电路采用现有技术中的降压、整流、滤波、稳压电路构成, 串联或开关稳压电源均可。其电压正极为 +E, 它为正弦振荡器 2、非移相功放器、两路移相功放器提供稳压 +12V 直流电。正弦振荡器 2 可采用现有技术中的文氏桥正弦振荡器, 也可采用其他类型的正弦振荡器, 要求输出波形好、输出频率及电压稳定。文氏桥正弦振荡器的电阻 R13、电容 C7 和 C9、电阻 R17 组成控制振荡频率的选频网络, 三极管 T2 和发射极负反馈电阻 R18、集电极电阻 R16、基极偏置

电阻 R15 构成第一级放大,电阻 R14、电容 C10 构成该级放大的滤波电路,电容 C8、C11 是输入、输出耦合电容。三极管 T3 和发射极负反馈电阻 R20、集电极电阻 R22、基极偏置电阻 R19 和 R21 构成第二级放大,电阻 R23、电容 C12 构成该级放大的滤波电路。微调电阻 R24 为大环路负反馈电阻。电容 C13 是输出耦合电容。电阻 R25 和电容 C14、C15 构成低通滤波器,可减小噪声和防止高频自激。三极管 T4 和发射极负反馈电阻 R28、基极偏置电阻 R26 构成射极输出器,电阻 R27、电容 C17 构成射极输出器的滤波电路。输入、输出耦合电容分别是 C16、C18。电容 C19 起高频滤波作用,进一步防止自激。为了保证振荡频率的稳定,电容 C7 和 C9 要用温度稳定性好的电容(比如涤纶电容等)。

[0018] 非移相功放器由功率放大器 3 和幅度调节电路的电阻 R1 和电位器 R2 构成,为了精密调节输出电压,调节输出电压幅度的电位器 R2 用多圈电位器最好。后述的所有电位器均建议采用多圈电位器,常调节的应选用大体积的多圈电位器,不常调节的可用小型多圈电位器。其中功率放大器 3 可用中功率或大功率音频功放集成电路构成,这样可简化电路提高性能。

[0019] 第一路移相功放器由其幅度调节电路的电阻 R3、 R_k 、R4、移相电路的电容 C1、C2 和电位器 R5、R6(也即该移相电路由电容和可变电阻构成的 RC 移相电路构成)以及功率放大器 4 构成。为了演示三相电压或相位差不平衡引起的中线电流或中点位移现象,还在电阻 R_k 和电容 C1 上分别并联一个常通和常断开关,并且这两个开关机械联动(本发明称机械联动开关),比如用一个常见的双刀双位钮子拨动开关就可实现该功能;电阻 R3 上还要并联一个独立的按钮开关,以独立改变该相输出的电压并且松手后自动恢复电压平衡。在产品调试时,开关 K1、K2、K3 应该在如图 1 所示的状态(K1、K2 断,K3 通)。在非移相功放器的输出端 A 和该路移相功放器的输出端 B 分别接入双踪示波器的 X、Y 输入端,首先调节电阻 R5、R6,使输出端 B 比输出端 A 电压相位超前 120 度,再调节 R2、R4,使输出端 B 与输出端 A 电压相等(比如 2.2V),然后再拨动机械联动开关到 K2 接通、K3 断开的位置(应在仪器面板上把该状态标上相位差非平衡态),调节微调电阻 R_k (应该用小型多圈微调电阻),使输出端 B 与输出端 A 电压再次相等。此时,非移相功放器和第一路移相功放器就调好了。

[0020] 第二路移相功放器的幅度调节电路由电阻 R7、电位器 R8 构成。前级移相电路由电容 C3、电位器 R9 构成电压超前 60 度的单级 RC 移相单元。三极管 T1、负反馈电阻 R10、偏置微调电阻 R11、集电极电阻 R12、滤波电容 C5、滤波电阻 R_0 、输入输出耦合电容 C4 和 C6、高频滤波电容 C_0 构成反相放大器,它可使输出电压滞后 180 度,与其前面的由电容 C3、电位器 R9 构成的电压超前 60 度的单级 RC 移相单元组合后,总移相为滞后 $-180+60 = -120$ 度。再把该电压信号送入功率放大器 5,就从输出端 C 输出滞后输出端 A 为 120 度的电压。这样一来,输出端 A、B、C 的输出电压相位差互差 120 度,再把工作电源的地线作为三相交流电源的中线,三相四线制的三相交流电源就形成了。调节第二路移相功放器的方法是:先在非移相功放器的输出端 A 和第二路移相功放器的输出端 C 分别接入双踪示波器的 X、Y 输入端,首先调节电阻 R9,使输出端 C 比输出端 A 电压相位滞后 120 度,再调节 R8,使输出端 C 与输出端 A 电压相等(比如 2.2V)。此时,第二路移相功放器就调好了。

[0021] 上述两路移相功放器在调节时,也可先调节 R4 或 R8,使两路输出电压幅度与输出端 A 大致相等,再调节各自的相位差,这样就不用大幅度调节示波器的垂直幅度就可以进行相位差的比较。另外,调节相位差时幅度会有变化,建议幅度和相位差交替调节。

[0022] 功率放大器 3 和 4 与功率放大器 5 完全相同。为了简化电路,把功率放大器 3 和 4 都画成了框图的形式,但其内部电路与下述的功率放大器 5 内部电路是完全相同的,所以只对功率放大器 5 详述就可。功率放大器 5 内部电路是这样的:电阻 R29 和电容 C21 构成输入端低通滤波器。输入耦合电容 C20 接功放集成电路 TDA2030A 的输入端一脚,功放集成电路 TDA2030A 的第三、五脚分别接工作电源的地和正极 +E,功放集成电路 TDA2030A 的第二脚接电容 C22,电容 C22 的负极端与负反馈电阻 R30 和 R31 相连形成负反馈电路。电阻 R32、电容 C24 组成防止自激的电路。C23 为滤波电容。功放集成电路 TDA2030A 的第四脚为功率放大输出端,并与输出耦合电容 C25 相接,电容 C25 的负极端接三相负载的一相负载 Z_C 。功率放大器 3 和功率放大器 4 的输出端分别接另外两相负载 Z_A 和 Z_B 。用于监视三相相电压的三个交流电压表 V_A 、 V_B 、 V_C 的两端分别并联在三个输出端 A、B、C 和地之间。

[0023] 三相负载 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 的每一相都可做成图 3 所示的电路结构,并且要把各元件安装在一个小塑料盒或塑料固定架上,还要引出两个电极 X、Y。负载电阻 R_L 可用耐高温的 0.5W 或以上的金属膜电阻,发光二极管 D5、D6 反相并联后,与限流电阻 R_x 串联构成发光显示,可使学生对各种实验状态下每相电压的变化有个直观的认识。发光二极管 D5、D6 要用导通电压 1.8V 左右的普通发光二极管,以保证较低电压也可发光显示。也可去掉一个发光二极管,但此情况下限流电阻 R_x 要比负载电阻 R_L 大 10 倍以上,这样可避免单个发光二极管的严重非线性影响该相负载的总电阻值所致的实验精度降低。由于在三相交流电实验中,有对称负载(即三个负载 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 阻值或阻抗完全相等)和不对称负载两种情况的实验内容,所以可以制作三个完全相同的负载,再加一个阻值不同的负载,以供实验时学生选择。本仪器的相电压最好调在 2.2V,这样线电压对应 3.8V,和市电电压在数字上是相似的只是小了 100 倍,这有利于加深学生对相电压与线电压 $\sqrt{3}$ 倍关系的认识。当然,三相负载 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 的每一相也可用市面上常见的手电筒 2.2V 或 3.8V 小灯泡,优点是亮度高,但耗电比前述的多,寿命短,且阻值不一定相等,不一定能得到很平衡的三相负载。

[0024] 学生在做三相负载作星形接法的实验内容时,要三相四线制三相电源,需要有一根中线。因为三个功率放大器 3、4、5 的输出是共地的,所以地线就是中线 0,可在中线 0 上串联一个交流电流表 A_0 ,实验时可观察和测量三相交流电源平衡输出且对称负载无中线电流、三相交流电源不平衡输出或不对称负载产生中线电流的实验内容,当然,交流电流表 A_0 也可由学生外接。三个交流电压表 V_A 、 V_B 、 V_C 是用来监视或测量三相交流电源的三个相电压的,在中线断开后三相负载上的电压要另外接交流电压表,因此时两者是不同的。三个交流电压表 V_A 、 V_B 、 V_C 也可共用一个电压表 V 配合一个转换开关 K_B 分别测三个相电压,如图 6 所示,其中转换开关 K_B 为一个波段开关,A、B、C 为三个功率放大器的输出端。三相负载 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 作三角形接法时,也要外接交流电压表,因为此时要测三相交流电源的线电压及每相负载上的相电压。在本产品的外壳上也可再安装一个量程 5V 左右的交流电压表,在该表上引出两根导线并分别接上测试表笔,再配合交流电流表 A_0 (此时该电流表就不能以固定接入方式接入整机电路内,而要采取电流表的两接线与整个电路插接式连接的结构才行),就可不用任何外接电表进行实验了。

[0025] 图 2 是本实用新型用的一种串联式稳压电源构成的工作电源 1。变压器 B_V 可用 10W 左右的小型电源变压器,次级电压 18V 左右。二极管 D1、D2、D3、D4 构成桥式整流器。IC1 为三端稳压集成块 7812,其输入、输出、地端分别为 a、c、b,电容 C26、C28 为低频滤波电

容,电容 C27、C29 为高频滤波电容。输出端 +E 可输出 +12V 的直流电压且电压很稳定。工作电源 1 用市面上直流开关稳压电源也可。

[0026] 图 4 是本实施例图 1 的简化图,只是把图 1 的正弦振荡器的 2 改成框图,把图 1 的功率放大器 5 也改成框图的形式,其余的两图完全相同,不再叙述。

[0027] 图 5 是本实用新型的第二个实施例的电路图,绝大部分电路与第一个实施例相同,区别仅在于第二路移相功放器的移相电路是由四个 RC 移相单元组合而成,并且由于四个 RC 移相单元组合以后,对信号衰减太大,还必须在其后增加一个高放大倍数的同相放大器 6。同相放大器 6 可用常见的两级共射放大器组合而成,第一级放大反相,第二级放大再一次反相,组合结果是最后放大输出的和输入端的输入信号同相。

[0028] 图 7 是本实用新型的带升压变压器的电路图。其目的在于让本实用新型可配合实验室现有的常用电功率表用两表法测三相负载的电功率。由于前述电路的输出电压在几伏的数量级,普通电功率表是无法读数的(当然,去电表厂定做或新购置电压几伏的功率表最好了)。在图 7 中,三相电源变压器 B_H 可由三个完全相同的单相升压变压器连接而成,也可用现有技术的采用一个“日”字铁芯制成一个三相电源变压器,其变压比(或初次级绕组匝数比)为 1 : 40 左右,就可将 3.8V 电压升高到 100 多伏,此时常见的普通电功率表就可用了。这样一来,三相交流电的所有实验项目都可以做了。图 7 中三相电源变压器 B_H 的初级绕组(或称三相电源变压器的低压绕组)的端子 A_1 、 B_1 、 C_1 为同名端,分别与功放器的三个输出端 A、B、C 可拆式连接,另三个端子连在一起接中线 O_1 ;次级 A_2 、 B_2 、 C_2 为同名端,另三个端子连在一起接成中线 O_2 ,这样在 A_2 、 B_2 、 C_2 三个输出端之间可输出 100 多伏的线电压。虽然 100 多伏,但由于对大地电隔离且电源内阻高电流小,不会危及人身安全。相应地此时的三相负载就要增加电阻值到 10K 以上,发光二极管也要相应提高阻值。

[0029] 三相电源变压器 B_H 应为和其他部分可拆式连接,以便于使用者自主选择是否用该变压器进行实验。

[0030] 本实用新型的各元器件的具体参数如下(前面讲过的就不在此重复了):

[0031] 三极管 T1 为低频放大小功率三极管 C945,三极管 T2、T3、T4 全为低频放大小功率三极管 C9013。二极管 D1、D2、D3、D4 全为 1N4007。电阻 R1、R2、R3、R4、R5、R6、R7、R8、R9、R10、R11、R12、R13、R14、R15、R16、R17、R18、R19、R20、R21、R22、R23、R24、R25、R26、R27、R28、R29、R30、R31、R32、R33、R34、R35、R36、 R_K 、 R_0 分别为 3.9、1、0.1、1、50、50、20、1、10、0.33、1000、6.3、16、1、500、1、16、0.62、1.5、0.039、15、2、1、2、50、200、0.36、1、1、0.004、0.18、0.005、50、50、50、50、5、0.5 千欧姆(K Ω)。但对电位器来说上述阻值仅是指其最大标称值,参考调节值见后述。负载电阻 R_L 全可用阻值 10–80 Ω 的金属膜电阻,相应的限流电阻 R_x 用 300–1300 Ω 的普通电阻。电容 C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C8、C9、C10、C11、C12、C13、C14、C15、C16、C17、C18、C19、C20、C21、C22、C23、C24、C25、C26、C27、C28、C29、C30、C31、C32、C33、 C_0 分别为 0.01、0.01、0.2、10、100、10、0.05、10、0.05、100、10、100、10、0.01、0.01、10、100、10、0.01、4.7、0.001、220、470、0.1、470、1000、0.1、1000、0.01、0.01、0.01、0.01、0.01、0.01 微法拉(μ f),电解电容 C26 的耐压要等于或大于 25V,其余的电解电容全可用耐压 16V 的。三端稳压集成块 7812 和三个功放集成电路 TDA2030A 都要加散热片。三个交流电压表 V_A 、 V_B 、 V_C 以及交流电流表 A_0 可用指针式电表,以降低成本,提高产品的可靠性。

[0032] 本人依据本实用新型的技术方案制作了一个样机,很成功。下面将部分实测参数

叙述如下：正弦振荡器的振荡频率为 195Hz，其中负反馈微调电阻 R24 调节在 1.6K。微调电阻 R_k 、R11 分别调节在 3.1、470K 的阻值上。调节相位差的多圈电位器 R5、R6、R9 分别调节在 27、50、2.6K 上，并且调节幅度调节电位器 R2、R4、R8 丝毫不影响三相交流电压之间的相位差。输出的三个相电压和三个线电压平衡很好，且满足线电压和相电压的之间 $\sqrt{3}$ 倍的关系。中线电流在平衡负载时仅 0.00025A，几乎逼近零。拨动机械联动开关 K2、K3 到任一种状态时，相位差和电压值互不影响。输出的三相交流电是不失真的正弦波。整机功耗还不到 9W，远远小于已有技术的耗电量。

[0033] 第一路移相功放器和第二路移相功放器合称移相功放器。当开关 K1 接通时，第一路移相功放器的输出电压 V_B 提高（由原来的 2.2V 升高到 2.45V，正好模拟交流市电电压升高的幅值），导致人为的三相电压幅值不平衡，可观察由此引起的中线电流产生的现象；拨动机械联动开关 K2、K3 到 K2 通 K3 断状态时，只改变相位差而电压值不变，导致人为的三相电压的相位差不平衡，可观察由此引起的中线电流产生的现象。如果 K1 采用按钮开关，可看完三相电压幅值不平衡后自动断开复位，自动恢复平衡三相电的输出，这对加深学生对三相交流电理论的理解和记忆大有好处。开关 K1、K2、K3、 R_k 也可接到第二路移相功放器相应位置，与前者效果相似。开关 K1 和机械联动开关 K2、K3 要按在机壳的操作面板上，以方便控制操作。

[0034] 这样，在输出端 A 输出一个电压可调的正弦波低压交流电，在输出端 B 和输出端 C 分别可得到一个与输出端 A 相位差分别是 120 度和 240 度（或称负 120 度）的两路低频交流电，并且输出电压大小可通过各自的幅度调节电路的电位器 R4、R8 分别调节，并可调到与输出端 A 相同的电压值。因这三路低频交流电都是共地的，所以，工作电源 1 的地线就相当于三相交流电源的中线 0。这样，就可从输出端 A、B、C、0 得到相位差互隔 120 度、电压值相等的真正平衡的三相四线交流电源。另外还由于采用稳压电源供电，所以这三路输出电压和相位差也很稳定，不受市电电压变化及相位变化的影响。

[0035] 三个监视三相交流电的电压的电压表 V_A 、 V_B 、 V_C ，直接安装在机壳上的控制面板上，以方便观测。三相负载 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 要各自制作在一个小塑料壳内并把其两端制成插头形状。与之配套的插座也应固定在机壳上，但每相负载对应的插座不能直接连成星型接法，每个接点要多配几个内部导线相连的插座，再外配上若干插线，以使学生做实验时自主地接成星型或三角形接法和用电表测量。

[0036] 本实用新型的机壳可以做成任意形状，如：可以是长方形的，也可以做成很直观的面板型的，再从面板上画上电路结构图和连线图，再配上相应插孔和插头线，可启发学生的发明创造意识，因这是综合电工学、电子线路等不同领域的知识组成的电路，完全不同于已有的三相交流电产生方法。还可以将本实用新型组合到现有的常见大型电工电子实验台上，显著提高其性能和实验效果。

[0037] 本实用新型可做许多变化，比如：把两级 RC 移相单元改成三级 RC 移相单元，不过此时 RC 元件的参数要改变。第二路移相功放器的反相放大器也可用一个升压变压器接成反相接法代替，不过此时成本提高，体积增大。

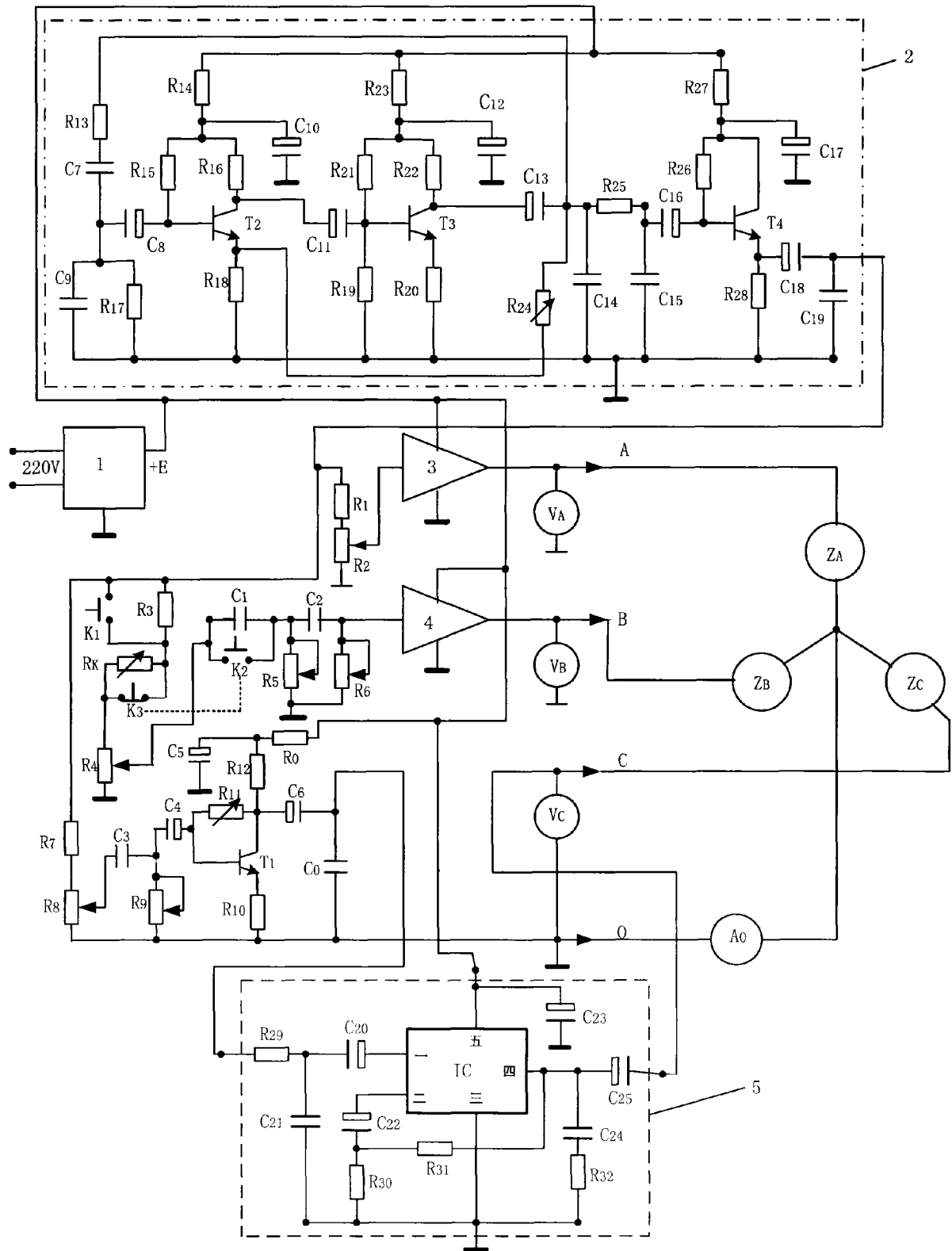


图 1

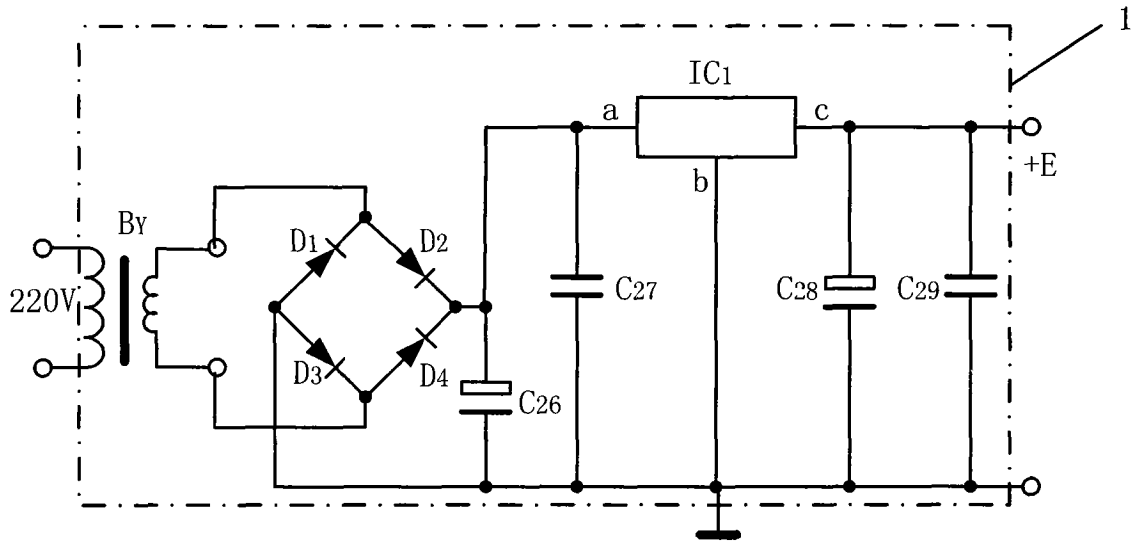


图 2

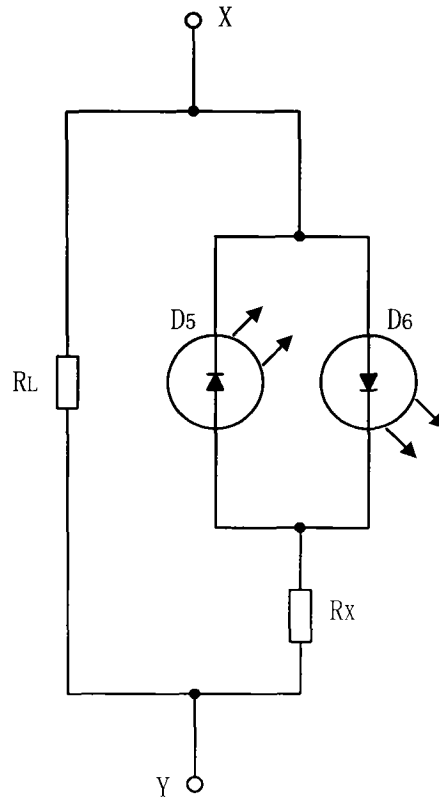


图 3

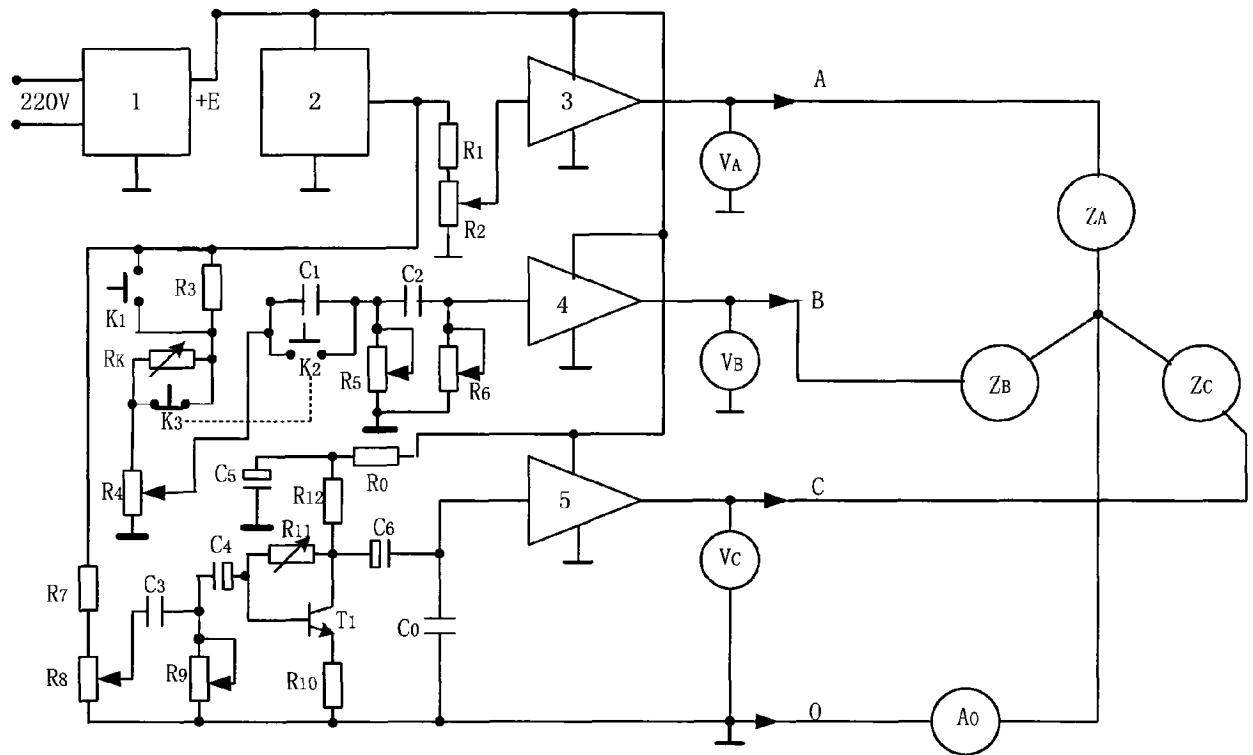


图 4

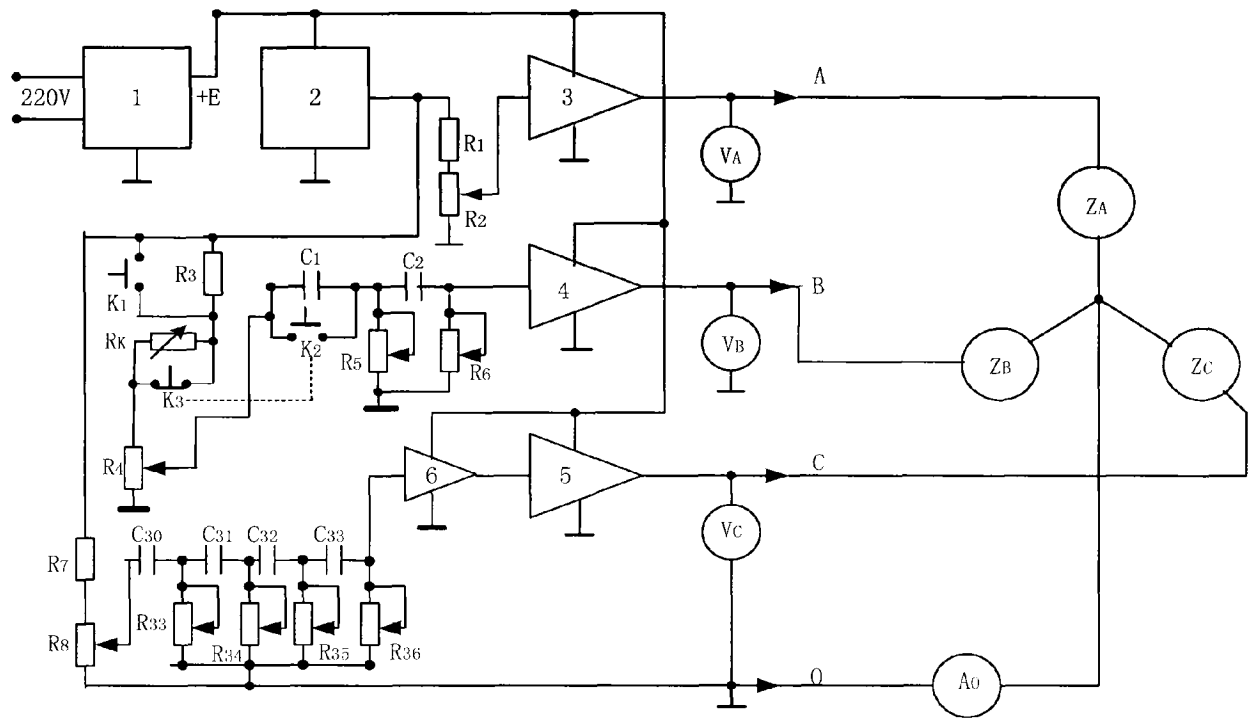


图 5

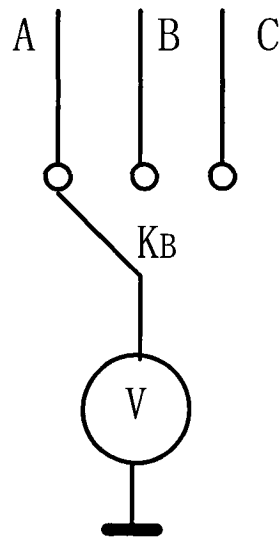


图 6

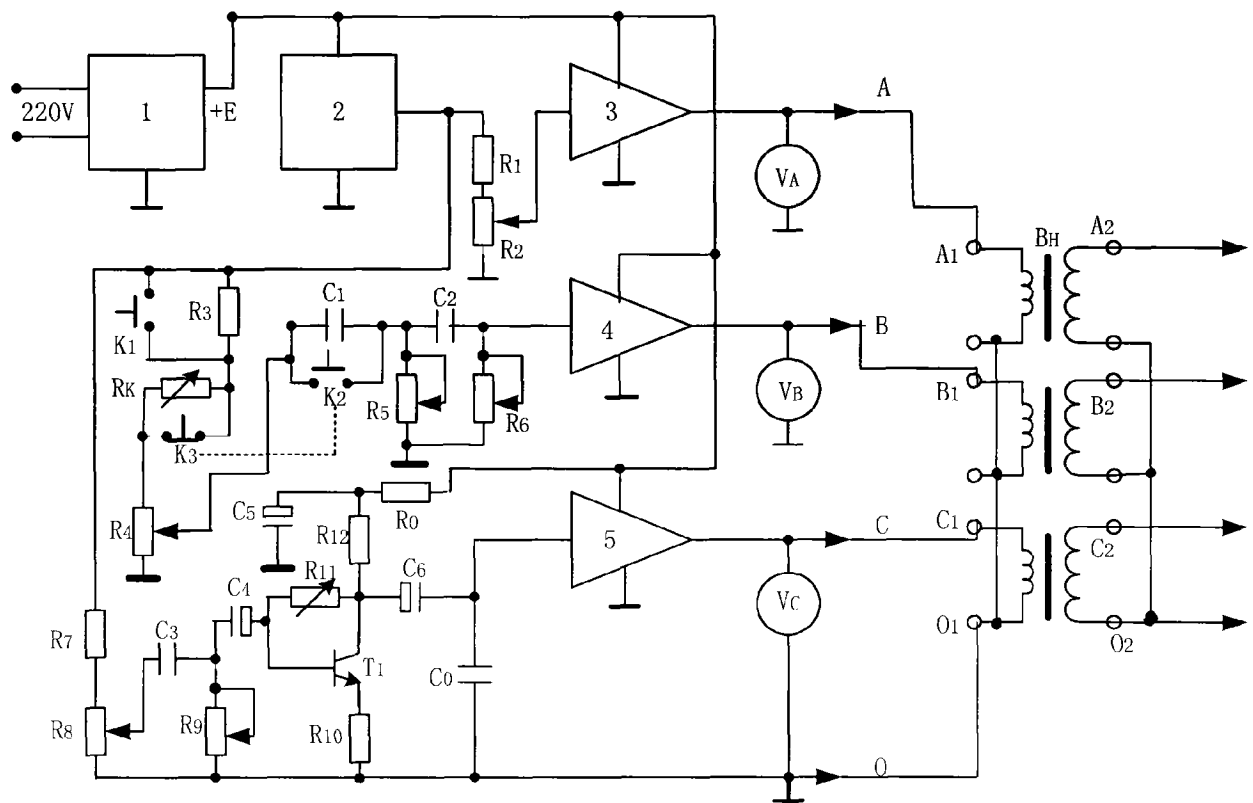


图 7