

用现代电子技术革新物理电磁学实验的意义

现代电子技术的飞速发展，极大地改变着人类的生产和生活方式，对现代教育提出了新的要求和挑战，同时也为现代教育提供了新的教育方式和方法。时代要求物理实验的方式和方法不断革新，从而培养出有较强创新能力的新型人才。传统物理实验尽管有许多可取之处，仍是目前实验教学的主要方法，但也存在一些严重的不足之处，如：数目较少、操作复杂、效果不明显、设备笨重昂贵、缺乏趣味性和对先进电子技术的介绍等，已明显不适应现代物理教学的要求。

现代电子元器件数目繁多，在物理实验教学中如能有选择地引进部分最有价值的器件，如：发光二极管（LED）、音乐集成电路、场效应管、运算放大器、数字集成电路等，结合教学实际，灵活运用于实验教学之中，必将使物理实验旧貌换新颜，必将促进物理实验教学质量的全面提高。因为现代电子技术具有许多传统实验技术无可比拟的优越性。

1. 由于采用了新的电子元件，大大提高了实验的效果，而且能够做出许多传统方法不能做出的实验。

2. 使学生熟悉，并且学会使用部分新型电子元件，了解它们的一些特性，能提高学生的学习兴趣，开阔眼界，为将来学习高新技术打下坚实的基础。

3. 采用现代电子技术能够使实验设备的体积、重量大大减小，易于实现小型化，便于携带和储存。

4. 由于现代电子元器件的性价比非常高，质优而价廉，并且功能强大，性能稳定，能够使实验成本显著降低，为国家节约实验经费，便于学生人手一仪。这样就能增加学生动手操作的机会，进

进一步增强他们对物理知识的感性和理性认识。在推广普及实验器材的同时，能够带动相关产业的发展，带来一定的社会效益和经济效益。

5. 用现代电子技术易于实现声、光、电技术的综合运用，对学生提供多种感官刺激，加深学生对实验的印象，强化学生记忆，特别是多媒体技术、CAI 课件的应用，更使物理实验教学的质量进一步提高。

以下是用现代电子技术对电磁学实验所做的部分粗浅的研究。

用现代电子技术革新物理电磁学实验的研究

一. 发光二极管在电磁学实验中的应用

发光二极管和普通二极管一样，它也是由一个PN结组成的，并且具有单向导电性。当给发光二极管加上正向电压后，PN结的空间电荷势垒降低，载流子的扩散运动大于漂移运动，致使p区的空穴注入n区，n区的电子注入p区，双方注入的电子和空穴就会产生复合。电子和空穴复合时，就会释放能量，对于发光二极管来说，复合时释放的能量大部分以发光的形式出现。

发光二极管的种类很多，不同材料制成的发光二极管能发出不同颜色的光，如：红色、绿色、蓝色、黄色等。发光二极管的启动电压约2伏，工作电流约几十毫安，是指示电流方向的理想器件。在电学中凡需指示电流方向的实验，大都可用发光二极管显示。

(一) 发光二极管的简单应用举例

1. 显示二极管的单向导电性。电路如图1所示，LED直径为10mm。

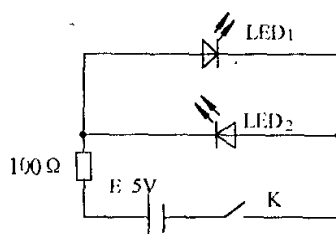


图-1

进一步增强他们对物理知识的感性和理性认识。在推广普及实验器材的同时，能够带动相关产业的发展，带来一定的社会效益和经济效益。

5. 用现代电子技术易于实现声、光、电技术的综合运用，对学生提供多种感官刺激，加深学生对实验的印象，强化学生记忆，特别是多媒体技术、CAI 课件的应用，更使物理实验教学的质量进一步提高。

以下是用现代电子技术对电磁学实验所做的部分粗浅的研究。

用现代电子技术革新物理电磁学实验的研究

一. 发光二极管在电磁学实验中的应用

发光二极管和普通二极管一样，它也是由一个PN结组成的，并且具有单向导电性。当给发光二极管加上正向电压后，PN结的空间电荷势垒降低，载流子的扩散运动大于漂移运动，致使p区的空穴注入n区，n区的电子注入p区，双方注入的电子和空穴就会产生复合。电子和空穴复合时，就会释放能量，对于发光二极管来说，复合时释放的能量大部分以发光的形式出现。

发光二极管的种类很多，不同材料制成的发光二极管能发出不同颜色的光，如：红色、绿色、蓝色、黄色等。发光二极管的启动电压约2伏，工作电流约几十毫安，是指示电流方向的理想器件。在电学中凡需指示电流方向的实验，大都可用发光二极管显示。

(一) 发光二极管的简单应用举例

1. 显示二极管的单向导电性。电路如图1所示，LED直径为10mm。

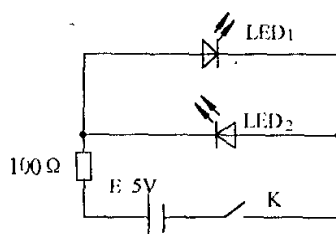


图-1

进一步增强他们对物理知识的感性和理性认识。在推广普及实验器材的同时，能够带动相关产业的发展，带来一定的社会效益和经济效益。

5. 用现代电子技术易于实现声、光、电技术的综合运用，对学生提供多种感官刺激，加深学生对实验的印象，强化学生记忆，特别是多媒体技术、CAI 课件的应用，更使物理实验教学的质量进一步提高。

以下是用现代电子技术对电磁学实验所做的部分粗浅的研究。

用现代电子技术革新物理电磁学实验的研究

一. 发光二极管在电磁学实验中的应用

发光二极管和普通二极管一样，它也是由一个PN结组成的，并且具有单向导电性。当给发光二极管加上正向电压后，PN结的空间电荷势垒降低，载流子的扩散运动大于漂移运动，致使p区的空穴注入n区，n区的电子注入p区，双方注入的电子和空穴就会产生复合。电子和空穴复合时，就会释放能量，对于发光二极管来说，复合时释放的能量大部分以发光的形式出现。

发光二极管的种类很多，不同材料制成的发光二极管能发出不同颜色的光，如：红色、绿色、蓝色、黄色等。发光二极管的启动电压约2伏，工作电流约几十毫安，是指示电流方向的理想器件。在电学中凡需指示电流方向的实验，大都可用发光二极管显示。

(一) 发光二极管的简单应用举例

1. 显示二极管的单向导电性。电路如图1所示，LED直径为10mm。

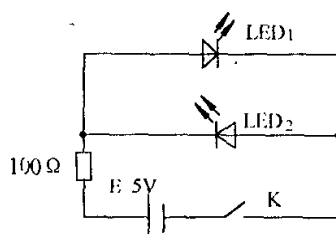


图-1

闭合电键K，红色LED₁亮，绿色LED₂不亮；将电源极性反接，再闭合电键K，则LED₂亮，LED₁不亮，这说明二极管具有单向导电性。

2. 显示电流从高电位流向低电位

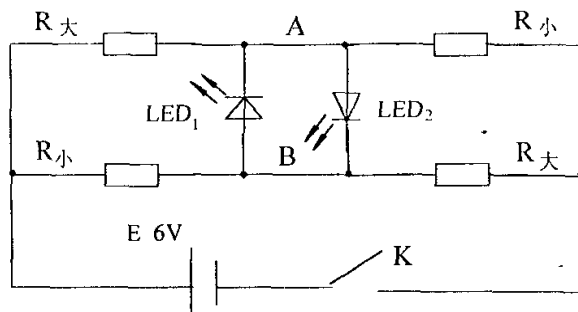


图-2

如图2，

$R_大=300$ 欧姆， $R_小=100$ 欧姆，则B点电位高于A点电位。接通电键K，则LED₁亮，LED₂不亮。说明电流是从高电位流向低电位。

3. 电容器的充电、放电过程

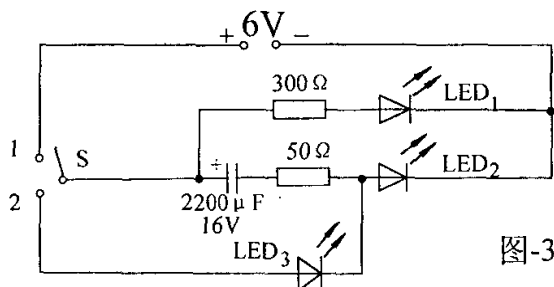


图-3

电路如图3，电键S打到1处，LED₁立刻亮了，而且亮度保持不变，而LED₂只是在电键合上瞬间闪亮一下，以后变暗，接着熄灭。这说明了电容的充电电流刚开始最大，以后变小，电容充满后

电流为零；S打到2处，LED₁马上熄灭，而LED₃则闪亮一秒左右熄灭，这说明了电容储存的电荷通过LED₃，50Ω电阻以放电电流的形式释放。

4. 显示自感现象

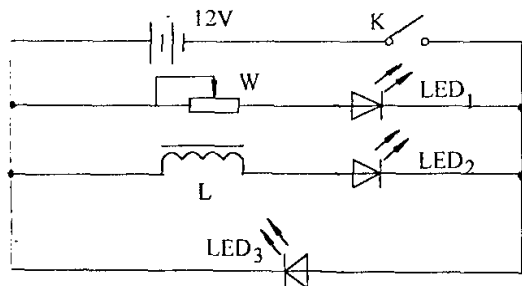


图-4

如图4，L为40w日光灯镇流器，其内阻为45Ω，W为电位器，阻值为100Ω。实验时，先调节W，使LED₁、LED₂的发光亮度相同，合上开关K；LED₁立即亮，而LED₂则稍后才亮，LED₃反接不亮，这演示了充电自感现象；打开开关K，LED₁立刻熄灭，而LED₂、LED₃则闪亮后才熄灭。这演示了断电自感现象。与传统实验相比，它清晰地显示了二种自感电动势的方向，而且体积小，成本低。

(二) 利用发光二极管制作实验仪器

1. 能区分正、负电的电子验电器

现行教材中采用验电器来检验电荷的存在。这种方法只能检验电荷是否存在，而不能区别是正电还是负电，难以在学生头脑中形成两种电荷的概念。采用发光二极管、运放等现代电子器件可制成电子验电器，能形象显示物体是带正电还是带负电。

电路原理如图5，电路中场效应管T与R₃、R₄、R₄'、D₃、D₃'组成惠斯登电桥。D₃将A点电压稳定在3v左右，D₃'将A'点电压稳定在3v左右，适当选取R₄'使A点与A'点的电位相差0.02v左右，W用来调节电桥平衡，W'用来进行微调，以使A、A'

电流为零；S打到2处，LED₁马上熄灭，而LED₃则闪亮一秒左右熄灭，这说明了电容储存的电荷通过LED₃，50Ω电阻以放电电流的形式释放。

4. 显示自感现象

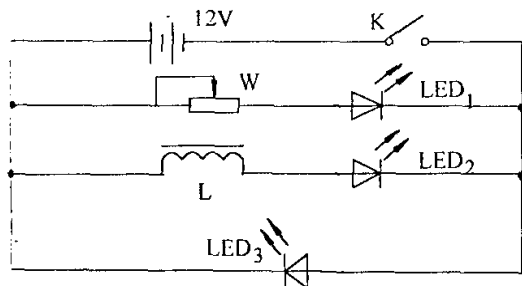


图-4

如图4，L为40w日光灯镇流器，其内阻为45Ω，W为电位器，阻值为100Ω。实验时，先调节W，使LED₁、LED₂的发光亮度相同，合上开关K；LED₁立即亮，而LED₂则稍后才亮，LED₃反接不亮，这演示了充电自感现象；打开开关K，LED₁立刻熄灭，而LED₂、LED₃则闪亮后才熄灭。这演示了断电自感现象。与传统实验相比，它清晰地显示了二种自感电动势的方向，而且体积小，成本低。

(二) 利用发光二极管制作实验仪器

1. 能区分正、负电的电子验电器

现行教材中采用验电器来检验电荷的存在。这种方法只能检验电荷是否存在，而不能区别是正电还是负电，难以在学生头脑中形成两种电荷的概念。采用发光二极管、运放等现代电子器件可制成电子验电器，能形象显示物体是带正电还是带负电。

电路原理如图5，电路中场效应管T与R₃、R₄、R₄'、D₃、D₃'组成惠斯登电桥。D₃将A点电压稳定在3v左右，D₃'将A'点电压稳定在3v左右，适当选取R₄'使A点与A'点的电位相差0.02v左右，W用来调节电桥平衡，W'用来进行微调，以使A、A'

电流为零；S打到2处，LED₁马上熄灭，而LED₃则闪亮一秒左右熄灭，这说明了电容储存的电荷通过LED₃，50Ω电阻以放电电流的形式释放。

4. 显示自感现象

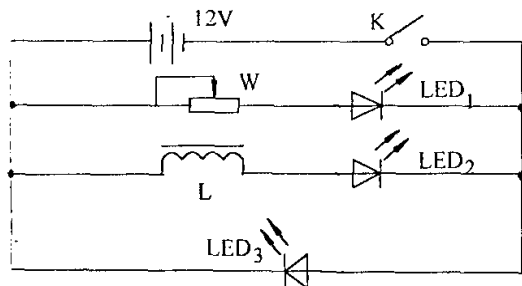


图-4

如图4，L为40w日光灯镇流器，其内阻为45Ω，W为电位器，阻值为100Ω。实验时，先调节W，使LED₁、LED₂的发光亮度相同，合上开关K；LED₁立即亮，而LED₂则稍后才亮，LED₃反接不亮，这演示了充电自感现象；打开开关K，LED₁立刻熄灭，而LED₂、LED₃则闪亮后才熄灭。这演示了断电自感现象。与传统实验相比，它清晰地显示了二种自感电动势的方向，而且体积小，成本低。

(二) 利用发光二极管制作实验仪器

1. 能区分正、负电的电子验电器

现行教材中采用验电器来检验电荷的存在。这种方法只能检验电荷是否存在，而不能区别是正电还是负电，难以在学生头脑中形成两种电荷的概念。采用发光二极管、运放等现代电子器件可制成电子验电器，能形象显示物体是带正电还是带负电。

电路原理如图5，电路中场效应管T与R₃、R₄、R₄'、D₃、D₃'组成惠斯登电桥。D₃将A点电压稳定在3v左右，D₃'将A'点电压稳定在3v左右，适当选取R₄'使A点与A'点的电位相差0.02v左右，W用来调节电桥平衡，W'用来进行微调，以使A、A'

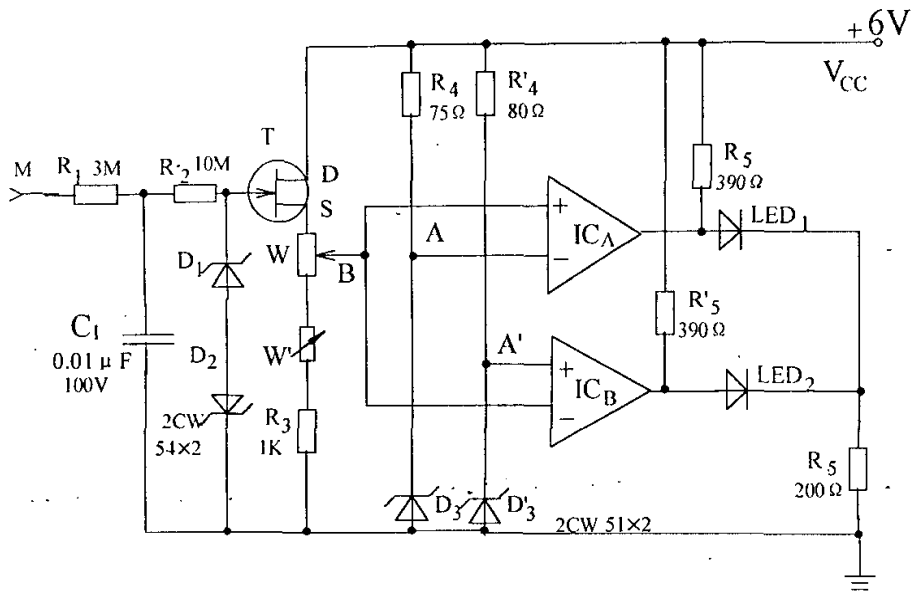


图-5

、B 三点电位近似相等。

当带电物体接触到验电器的接触端M时，在 C_1 两端产生电位差，该电位差加到T的G极和S极之间，因此T的S极和D极间电阻发生变化，电桥失去平衡，B点和A点间将产生电位差。当物体带正电荷时， C_1 两端电位上正下负，T的S、D极间电阻减小，B点电位升高，因此比较器 I_{CA} 输出高电平（约5v），红色LED D_1 亮，比较器 I_{CB} 输出低电平（约0.5v），绿色LED D_2 不亮，显示被测物体带正电荷；当被测物体带负电荷时， C_1 两端电位上负下正，T的S、D极间电阻增大，B点电位低于A'点电位， I_{CA} 输出低电平（约0.5v）， I_{CB} 输出高电平（约5v），绿色LED D_2 亮，红色LED D_1 不亮，显示被测物体带负电荷；当物体不带电时，A、A'、B三点电位近似相等， I_{CA} 、 I_{CB} 均输出低电平，红、绿LED均不亮。电路中 R_1 用以限制 C_1 充电电流， R_2 用以限制 C_1 放电电流，稳压管 D_1 、 D_2 用以限制加到T的栅极电位，以保护T

管，安装时，应注意使M与地可靠绝缘。

本电路的关键器件是场效应管T（3DG7）和比较器LM339，LM339是四运算放大器。理论上， R_4' 、 D_3' 支路可以省略，而把A'点直接接在A点上即可，只要调节A、B两点的电位相等，则两LED均应不亮。实际制做过程中，起初也并未加入 R_4' 、 D_3' 支路。结果，无论如何调节W，两LED均有一个亮。为此又在电位器W上串接了一个680欧姆的可调电阻，进行微调，但仍不能调节到两LED均不亮的状态。这说明，运算放大器的开环增益巨大，约 10^5 数量级，两个输入端电压大于几十微伏，输出端对地电压就是4伏。只有二输入端电压小于10微伏，二个LED才能均不亮。而要使A、B两点电位小于10微伏，用手动W'

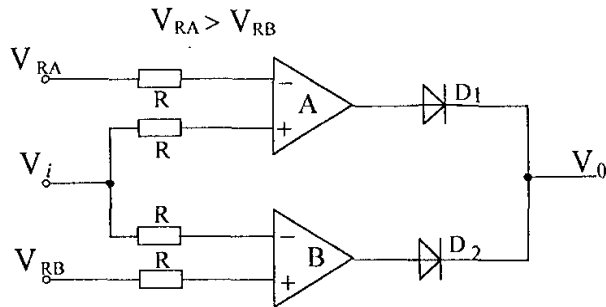


图-6 双限比较器

的方法是绝对达不到的。因此，加入 R_4' 、 D_3' 支路，组成双限比较器。

原理如下：

R_4' 、 D_3' 支路的接入，使原电路实际上变成了一个双限比较器，电路原理如图6所示，其传输特性如图7所示。双限比较器有两个参考电压 V_{RA} 和 V_{RB} 。设参考电压 $V_{RA} > V_{RB}$ 。当 $V_i > V_{RA}$ 时，A

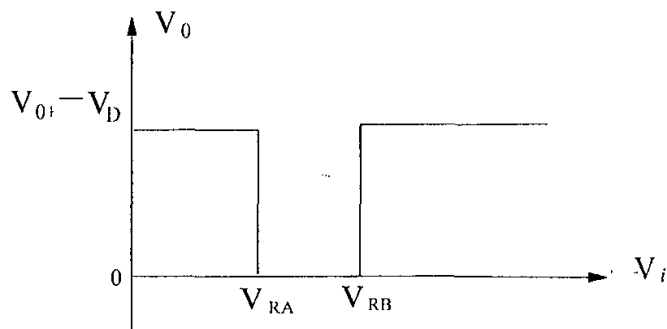


图-7 传输特性

输出为正，B输出为负，这时 D_1 导通 D_2 截止，输出为高电压 $V_0 + -V_D$ ；当 $V_i < V_{RB}$ 时，则B输出为正， D_2 导通，而A输出为负， D_1 截止，输出仍为高电压；只有当 V_i 在 V_{RA} 与 V_{RB} 之间时，A、B均输出低电压， D_1 、 D_2 截止，输出电压为零。

当然，加入 R_4' 、 D_3' 支路组成双限比较器后，使得仪器的灵敏度有所降低，但能使仪器正常工作。适当减小A与A'两点的电压，亦可使仪器达到相当高的灵敏度。

本仪器曾在兖州大成高中高二年级试用，收到良好的教学效果。学生普遍认为，通过这个仪器他们确实认识到存在两种电荷，有些学生说：“以前只是听老师说用仪器可以区分两种电荷，现在终于见到区分它们的仪器了。”另外，仪器本身也引起了学生的兴趣，激发了他们进一步学习物理的热情。

2. 交变电场信号演示器

本仪器的核心器件是CD4017集成电路，CD4017集成电路如图8所示，是内含译码器的5级约翰逊十进制计数器，计数器在时钟禁止 \overline{EN} 为低电平，时钟脉冲上升沿时进位，其 Q_0 — Q_4 依次出现高电平。同时，当 Q_0 从高电平跳变为低电平时，进位脉冲C由低电平上跳为高电平。

时钟禁止输入为高电平时，时钟被禁止，输出状态保持不变。

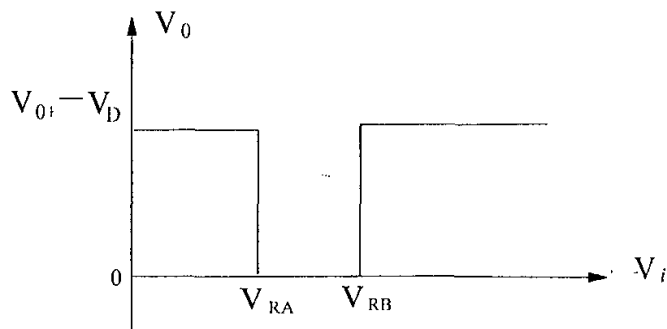


图-7 传输特性

输出为正，B输出为负，这时 D_1 导通 D_2 截止，输出为高电压 $V_{0i} - V_D$ ；当 $V_i < V_{RB}$ 时，则B输出为正， D_2 导通，而A输出为负， D_1 截止，输出仍为高电压；只有当 V_i 在 V_{RA} 与 V_{RB} 之间时，A、B均输出低电压， D_1 、 D_2 截止，输出电压为零。

当然，加入 R_4' 、 D_3' 支路组成双限比较器后，使得仪器的灵敏度有所降低，但能使仪器正常工作。适当减小A与A'两点的电压，亦可使仪器达到相当高的灵敏度。

本仪器曾在兖州大成高中高二年级试用，收到良好的教学效果。学生普遍认为，通过这个仪器他们确实认识到存在两种电荷，有些学生说：“以前只是听老师说用仪器可以区分两种电荷，现在终于见到区分它们的仪器了。”另外，仪器本身也引起了学生的兴趣，激发了他们进一步学习物理的热情。

2. 交变电场信号演示器

本仪器的核心器件是CD4017集成电路，CD4017集成电路如图8所示，是内含译码器的5级约翰逊十进制计数器，计数器在时钟禁止 \overline{EN} 为低电平，时钟脉冲上升沿时进位，其 $Q_0 - Q_4$ 依次出现高电平。同时，当 Q_0 从高电平跳变为低电平时，进位脉冲C由低电平上跳为高电平。

时钟禁止输入为高电平时，时钟被禁止，输出状态保持不变。

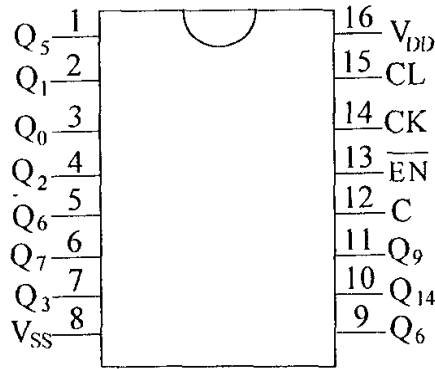


图-8

当复位端 CL 为高电平时，计数器清零， $Q_1 \sim Q_9$ 输出低电平， Q_0 高电平，当需要多位计数时，进位端 C 可作联机使用。

中学物理电磁场理论阐述了变化的电场产生磁场，变化的磁场产生电场，从而形成电磁波，而电磁波是看不见摸不着的只能通过仪器间接感知。采用下述交变电场信号演示器能够显示交变电场的客观存在，使学生进一步加深对电磁理论的理解。电路原理如图 9 所示，为使电场信号有效地对集成元件的 CK ，计数端产生作用，故在 CK 端引入了一根感应线 L 。电路中有 10 只发光二极管，由

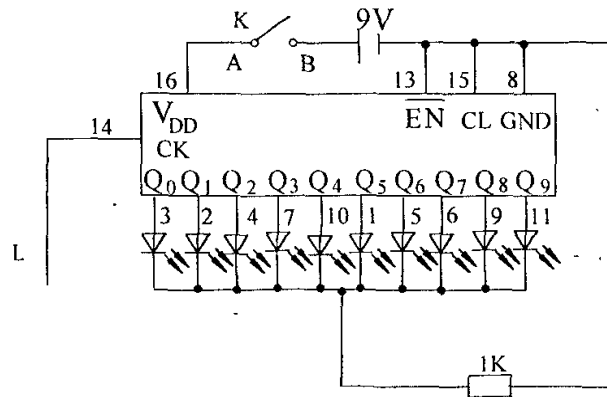


图-9

发光二极管的扫描闪光显示及其快慢，可显示交变电场的存在，及

其频率的高低。1千欧姆电阻是所有发光二极管的公用限流电阻，电源为9 v 叠层电池。平时让电源开关断开。

演示时，合上K，以市电电线附近的交变电场为感知对象。若感应线离市电电线较远，则感应线周围电场极弱，没有交变信号输入CK，无法触发集成电路计数，10只发光二极管只有一只固定发光。当将感应线移至电源插座或电源线周围时，交变的磁场在L中产生频率为50Hz的感应电动势，能触发集成电路计数，10只发光二极管会快速地闪烁发光，扫描周期为0.2秒。当慢慢地把感应线远移市电到一定距离，会发现闪烁现象停止，只有一只发光二极管点亮。实验表明，当用一只手抓住感应线，另一只手在市电插座上来回晃动（电路应远离插座），此时，10只发光二极管的闪烁速度就会发生一些变化。

上述实验成功的关键条件是必须把集成电路的CK端悬空。这套装置可采用较简单的方法装配完成，购置一只双列16脚集成电路插座，所有元件均在插座脚上焊接连好后，再把CD4017对应插入插座即可。

3. LC振荡演示器

LC电磁振荡实验是电磁学部分的重要基础实验。高中物理介绍这个实验时，是从电容器对回路放电形成振荡电流的演示实验角度来阐述振荡的物理过程的。因而本实验需要演示振荡电流。演示电流最容易想到和最容易被学生接受的方法就是以电流表来进行演示，课本上介绍的就是这种方法。然而，由于电流太小，使得单纯依靠电流表进行演示的方法根本行不通，因而成为教学难点。究其原因，除电磁振荡的物理过程本身抽象之外，主要是演示实验的难度大，效果差，学生在课堂上难以获得直观形象的感知。课本中安排用指针式电流计演示的效果与其文字叙述相差太远。如果设法改进，使演示的电路和效果与课本所叙述的一致或基本一致，就可以

其频率的高低。1千欧姆电阻是所有发光二极管的公用限流电阻，电源为9 v 叠层电池。平时让电源开关断开。

演示时，合上K，以市电电线附近的交变电场为感知对象。若感应线离市电电线较远，则感应线周围电场极弱，没有交变信号输入CK，无法触发集成电路计数，10只发光二极管只有一只固定发光。当将感应线移至电源插座或电源线周围时，交变的磁场在L中产生频率为50Hz的感应电动势，能触发集成电路计数，10只发光二极管会快速地闪烁发光，扫描周期为0.2秒。当慢慢地把感应线远移市电到一定距离，会发现闪烁现象停止，只有一只发光二极管点亮。实验表明，当用一只手抓住感应线，另一只手在市电插座上来回晃动（电路应远离插座），此时，10只发光二极管的闪烁速度就会发生一些变化。

上述实验成功的关键条件是必须把集成电路的CK端悬空。这套装置可采用较简单的方法装配完成，购置一只双列16脚集成电路插座，所有元件均在插座脚上焊接连好后，再把CD4017对应插入插座即可。

3. LC振荡演示器

LC电磁振荡实验是电磁学部分的重要基础实验。高中物理介绍这个实验时，是从电容器对回路放电形成振荡电流的演示实验角度来阐述振荡的物理过程的。因而本实验需要演示振荡电流。演示电流最容易想到和最容易被学生接受的方法就是以电流表来进行演示，课本上介绍的就是这种方法。然而，由于电流太小，使得单纯依靠电流表进行演示的方法根本行不通，因而成为教学难点。究其原因，除电磁振荡的物理过程本身抽象之外，主要是演示实验的难度大，效果差，学生在课堂上难以获得直观形象的感知。课本中安排用指针式电流计演示的效果与其文字叙述相差太远。如果设法改进，使演示的电路和效果与课本所叙述的一致或基本一致，就可以

找到解决这个教学难点的突破口。

课本中所给出的实验电路非常简单，但对演示实验恰恰提出了并不简单的四点基本要求：

(1) 演示电路是LC自由振荡电路，而不是别的稍复杂的电路。

(2) 展现的现象是交替变化的振荡电流而不是电压。

(3) 展示的振荡电流现象应是明显直观的，应能展示多次振荡。

(4) 改变L值或C值均能明显展示振荡周期（或频率）的相应改变。

多年来，物理教育工作者对这个实验进行了深入的研究，各种报刊上发表的文章，分别在不同程度上改善了某些效果，在某些方面取得了一些进展。然而，真正方便、直观，完全满足上述四点基本要求的实验方法，还有待进一步探索。

常用演示方法的效果分析

A.大型演示电表（G档）演示

高中物理教科书（实验本第二册 p 169 页）叙述这个实验时写道：“会看到电流表的指针左右摆动。”实际上，由于电流表的内阻在500欧姆左右，较大的电能损耗使LC回路大多处于临界或过阻尼状态，回路上实际上没有振荡电流。指针摆动是其系统的机械自由振动（ $f = 0.5\text{Hz}$ ），而不是回路上的振荡电流。改变L或C的值看不出频率的变化。若电表上装有阻尼装置，则这种摆动极不明显，根本不能说明振荡现象。若电表上接上分流电路板，虽然内阻有所降低，但又使灵敏度降低同时产生了电磁阻尼，再加上系统惯性的影响，即使系统振荡了，指针亦不能及时指示（因为回路振荡的频率远大于指针及系统的固有频率，指针跟不上回路电流的变化）。所以，按照课本所说的方法去演示，效果极差，还可能看

到假象。为改善演示效果，采用变压器反馈振荡电路。由于电路获得能量补充而形成等幅振荡，示教电表能够处于比较稳定的受迫振动状态，演示效果有所改善，达到了教材的后三点要求，但电路和书中的有所不同。为讲清这个问题，又需要向学生讲授有关电子线路的知识。而此时学生对电子线路还未接触，极有可能越讲越讲不明白。回避电路问题，则极易让学生产生疑问甚至是误解，使得改进效果有所降低。因而这种方法亦非尽善尽美。其它补充能量型的振荡电路有同样的缺点。

B. 发光二极管演示

用两只发光二极管或一只双色发光二极管，反向并联取代示教电表，其余与课本叙述相同。这种方法在一般情况下也是很困难的。原因是，发光二极管是非线性电阻耗能元件（对LC回路耗能不少），在其导通区域一般要1.8V---2.5V的正向电压，发光电流在1mA---40mA之间，其等效电阻值约60欧姆---1800欧姆，平均电阻值和示教电表G档内阻相差不大。当电流小于1mA时，等效电阻大，能耗也大，使LC回路不振荡。欲使回路振荡，则需增加电感量而减小电阻值。一般中学物理实验室，没有能够产生几到几十赫兹的振荡电流的电感器。若能找到或自制满足要求的电感器件，适当选取电容器，用发光二极管显示的效果还是不错的。因为发光二极管能准确地显示电流的方向，这不同于指针式电流表。另外，加上一定的放大环节，利用发光二极管显示，则效果进一步提高，但同样面临解释电路的问题。

C. 示波器显示

把L上的电压信号输入示波器的外输入，去掉示教电表，其余与课本所述相同。选择合适的L、C值，适当调节示波器，可以直接看到阻尼振荡波形，尽管时间短暂，其显示效果非常理想，美中不足的是显示的是电压波形而不是电流波形。但可根据欧姆定律略

加解释。因此，用示波器显示是一种可行的方法。

综上所述，现在使用的种种方法，都与课本要求不那么一致，电路改进往往产生新的问题。所以，有效的改进应当从教材对实验的基本要求出发，研究影响演示效果的主要因素，有针对性地找出行之有效的改进措施。

影响演示效果的主要因素分析：

A.来自回路的能量损耗。实际的L C低频振荡电路远不是理想或近似无能耗的等幅振荡电路，它的能耗不仅较大而且对初始时刻提供的能量消耗很快。振荡电流实际上是幅值呈指数规律减小的，其表达式为：

$$i=I_0e^{-Rt/2L}\text{COS}(\omega t+\phi)$$

式中R是L自身电阻与串联电路的电流显示器件的内阻和其它损耗能量（如C漏电损耗、杂散电磁场等）的等效折算电阻之和，不仅不能忽略，而且在选择电路参数、元件时，稍有不慎，就使回路处于临界阻尼或过阻尼状态而不振荡。

B.电流显示器件的特性。是否有振荡电流靠它来显示，它的特性对演示效果有直接的影响。第一是器件的内阻要很小，大了极可能使回路不振荡，至少使回路振荡衰减加剧以至难以显示。如示电表，发光二极管的内阻都较大。第二是显示特性要好，灵敏度要高，显示反应速度要快（快到与电流同步），显示可见度大及电流值显示范围大，哪一项不合要求都能使演示效果变差或失败。所以，指针式电表难以显示。发光二极管显示特性虽好，但内阻大，直接使用困难较大，但经过一定的改进后，能收到较好的效果。示波器显示特性好而输入电阻太大，通常显示的是电压，显示电流则需要做一些改进。总之，合适的电流显示器件是本实验要解决的主要问题之一。

C.视觉观察对本实验有比较苛刻的要求。电流显示现象要有一

定的可见距离（5—7 m），因而受视力限制，对电流显示器件的要求比较高。因视觉暂留时间在0.1s左右，人眼观察电流的方向显示对振荡电流的频率范围也有苛刻的限制，一般在20 Hz以下，大了无法看清电流方向的交替变化。

这三个因素常常是相互牵制交织在一起的，忽略了哪一个都会使演示效果大为降低，因而，演示这个实验的难度较大。

改进演示效果的基本途径

根据上述论述，改进LC电磁振荡演示效果的基本途径应当是：降低回路能耗，即降低R值，合理设计回路参数和选择合适的电流显示器件。

A.LC回路的参数设计

LC回路的参量有L、C、总电阻R和初态充电电压 U_0 。为了降低R值，先忽略C的漏电，显示器件内阻等其它部分电阻的影响，故回路能耗主要来自L的自身电阻。所以，要选择的L，电感量要大而自身电阻又要足够小，这确实有点困难。考察电流衰减规律 $i = I_0 e^{-Rt/2L} \cos(\omega t + \phi)$ ，对确定的频率而言，衰减因子的时间常数 $\tau = 2L / R$ 决定了能显示多少次振荡。假定 $\tau = 1 \text{ s}$ ， $f = 5 \text{ Hz}$ 则 τ 内能显示5次振荡。若显示器件性能良好，便能显示2—3 τ 内的10—15次振荡电流。所以选择L不是单靠L值，而是根据L值， $\tau = 2L / R$ 的值和f值来兼顾。一般来说， τ 值在0.8—2秒的L器件即可使用，挑选难度也不太大。通常可供选用的成品L器件如下表所示。（见下页）

有的电感器件经过改进则容易满足实验要求。例如，取500VA调压器铁芯，用直径1mm的铜漆包线绕800匝，在500匝、700匝处各抽一头，可得约2H、5.5H、11H、14H的电感，相应的 τ 值约为2 s、4 s、4.5 s、5 s，亦可直接使用调压变压器线圈。

| 参数值 参数 | 器件 2000VA调压 器初级 | 500VA调 压器初级 | 电子管收音机用 电源变压器初级 | 500VA调 压器改绕 |
|-------------------|-----------------------|----------------|--------------------|----------------|
| L(H) | 1-2 | 9-12 | 25-30 | 2-14 |
| R(Ω) | 2 | 15 | 50 | 2-6 |
| $\tau = 2L/R$ (S) | 1-2 | 1.2-1.6 | 1-1.2 | 2-5 |

注：铁芯电感器件的L值与铁芯磁化特性有关，故测量值与测试条件有关，本表仅供参考。

其次是选C，因频率低，C值较大，主将要考虑漏电情况。大容量电容器中，耐压高而漏电小的，市售耐压25v，50v的电解电容都可选用。由于是定性演示，可按 $C = 1/4 \pi^2 f^2 L$ 进行估算，参考C值的系列规格，就近选定C值。估算与实验结果相差不大。

对于充电电压，可简单地从低到高试验确定，一般在10v—24v之间（小于C的耐压值）

B. 选用合适的电流显示器件

直接用示教电表显示是行不通的，因为示教电表的输入阻抗在500欧姆以上，当它串入LC回路后，使回路衰减时间常数 τ 大大减小，电路难以振荡。一般中学没有L值很大， τ 值也较大的电感器。所以，百欧姆级内阻的示教电表直接用来演示本实验是行不通的。但在补充能量型的演示实验中还是可用的。发光二极管由于内阻也较大，直接演示的振荡次数较少，亦可进行电压放大演示。或用示波器直接显示阻尼振荡波形。

革新实验的基本方法

A. 利用发光二极管显示

通过上述分析，可以看到，直接显示振荡电流需要L值很大， τ 值较大的电感器。若能得到这样的电感器，配以发光二极管显

示，能够取得一定的演示效果。但直接演示的振荡次数较少，可把振荡信号加以放大，再通过发光二极管显示则效果有显著提高。

a. 发光二极管直接显示振荡电流

演示电磁振荡成功的条件是 LC 回路中电阻 $R < 2\sqrt{LC}$ 。因此，必须设法减小回路电阻，同时，R、L、C 要搭配适当。C 用 100 或 150 微法的金属纸介质电容器，L 用大电感，自藕变压

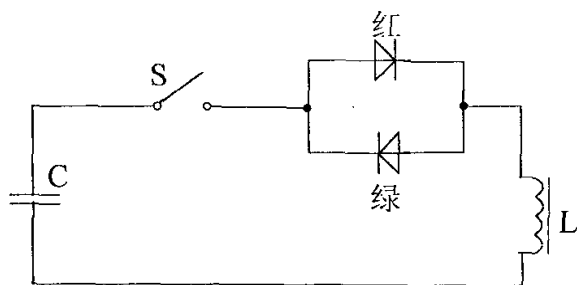


图-10

器的原线圈，则基本满足振荡条件。电路如图 10 所示，给电容器充电后，闭合开关 S，则红、绿两只发光二极管交替发光，说明电路中存在振荡电流。为减少回路的电阻，曾设想用 6 只发光二极管来演示，电路如图 11 所示。

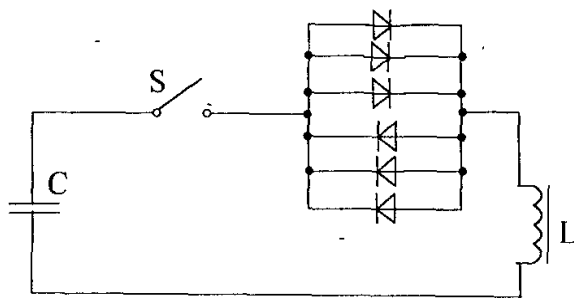


图-11

用 3 只发光二极管并联代替图 10 中的 1 只发光二极管。实验结果并没有明显提高，究其原因，是因为电容器所储存的能量较

少，而 3 只发光二极管并联耗能较大。

b.增加放大环节的发光二极管演示
电路如图 1 2 所示，

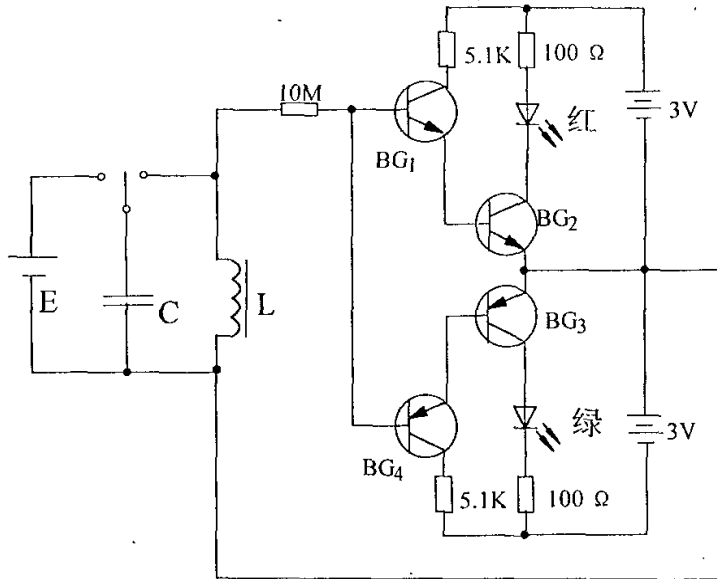


图-12

BG₁和BG₂采用NPN型三极管组成复合管以提高放大倍数，放大倍数 β 选用200左右的，可用S8050，BG₃和BG₄选用PNP型S8550。当K拨向电感L时，产生电磁振荡，在L两端产生交替变化的正负电压。当A端为正时，BG₁和BG₂导通，相应的发光二极管发红光；当A端为负时，BG₃和BG₄导通，相应的发光二极管发绿光。C选用100—200微法的交流电容，耐压大于50伏，充电电压一般小于50伏，也可根据情况提高，L用大电感，自藕变压器的原线圈。电感器是实验成败的关键，一定要选用电阻小的。只要连接和操作无误，一般可观察到发光二极管闪光数次。

B.利用示波器显示电磁振荡

把LC振荡信号引入示波器，适当调节示波器，可观察到阻尼

振荡波形。

二. 音乐集成电路在电磁学实验中的应用

音乐集成电路的灵敏度很高，耗电极微，再配以发声也很灵敏的压电陶瓷片，或把信号放大后带动扬声器，可以构成一个“微弱直流检测装置”。一般电磁学实验中，凡需检测较小电流的实验，都可以用音乐集成电路来检测，在这一领域音乐集成电路的应用非常广泛，如检验伏打电池、水果电池、手摇发电机产生的直流电，通电螺线管产生的磁场，电容器的充电、放电等等。

音乐集成电路的种类很多，可根据实验需要，采用合适的音乐集成电路制成相应的仪器。电子音乐门铃是容易得到的，现成的实验仪器。现在，家庭大都装有这种门铃，学生也非常熟悉，可直接拿来做实验。众所周知，按下按钮的作用是使音乐集成电路通电从而发出音乐。当用导体连接按钮里的两个接线柱时，音乐集成电路接通发声，而用绝缘体连接，则不发出声音。用这种方法可区分导体和绝缘体。当二极管的两极接触按钮里的两个接线柱时，若是正向连接则音乐门铃响个不停；若是反向连接则音乐门铃不响。用这种方法可验证二极管的单向导电性。电容器的充电过程亦可用电子音乐门铃加以验证。把一个几十微法的电容连接于接按钮里的两个接线柱上，则门铃响过一段时间后就停止了，这说明电容器充电时电路中有电流，此电流给电容器充电，当电容器两端电压与门铃提供的电压相等时，充电结束，电路中没有电流，音乐集成电路也就停止发声了。

利用某些音乐集成电路稍加安装就可制成简单的仪器，应用于电磁学实验。如图 1 3 所示，采用 F 2 7 玩具音乐集成电路，它能发出炮声和枪声两种声音。外接三极管（S 9 0 1 3）一只，电容 2 5 伏，1 微法一只，电阻 2 2 千欧一只，扬声器内阻为 8 欧姆。若 3、4 两端点以导线连接，则发出炮声，绝缘体则不发声。4、

振荡波形。

二. 音乐集成电路在电磁学实验中的应用

音乐集成电路的灵敏度很高，耗电极微，再配以发声也很灵敏的压电陶瓷片，或把信号放大后带动扬声器，可以构成一个“微弱直流检测装置”。一般电磁学实验中，凡需检测较小电流的实验，都可以用音乐集成电路来检测，在这一领域音乐集成电路的应用非常广泛，如检验伏打电池、水果电池、手摇发电机产生的直流电，通电螺线管产生的磁场，电容器的充电、放电等等。

音乐集成电路的种类很多，可根据实验需要，采用合适的音乐集成电路制成相应的仪器。电子音乐门铃是容易得到的，现成的实验仪器。现在，家庭大都装有这种门铃，学生也非常熟悉，可直接拿来做实验。众所周知，按下按钮的作用是使音乐集成电路通电从而发出音乐。当用导体连接按钮里的两个接线柱时，音乐集成电路接通发声，而用绝缘体连接，则不发出声音。用这种方法可区分导体和绝缘体。当二极管的两极接触按钮里的两个接线柱时，若是正向连接则音乐门铃响个不停；若是反向连接则音乐门铃不响。用这种方法可验证二极管的单向导电性。电容器的充电过程亦可用电子音乐门铃加以验证。把一个几十微法的电容连接于接按钮里的两个接线柱上，则门铃响过一段时间后就停止了，这说明电容器充电时电路中有电流，此电流给电容器充电，当电容器两端电压与门铃提供的电压相等时，充电结束，电路中没有电流，音乐集成电路也就停止发声了。

利用某些音乐集成电路稍加安装就可制成简单的仪器，应用于电磁学实验。如图 1 3 所示，采用 F 2 7 玩具音乐集成电路，它能发出炮声和枪声两种声音。外接三极管（S 9 0 1 3）一只，电容 2 5 伏，1 微法一只，电阻 2 2 千欧一只，扬声器内阻为 8 欧姆。若 3、4 两端点以导线连接，则发出炮声，绝缘体则不发声。4、

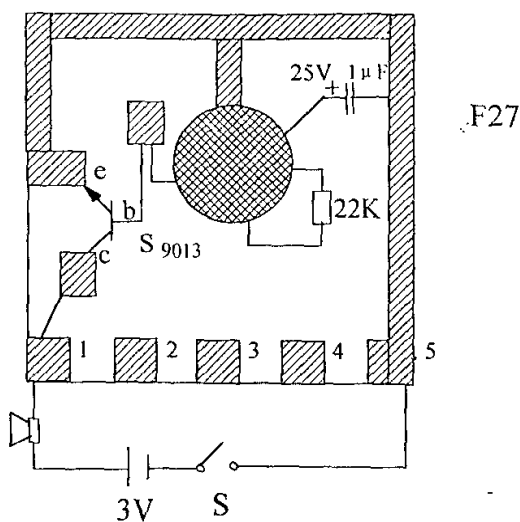


图-13

5 两端点以导线连接也不发出声音，但加以微小电压则可使扬声器发出声音。利用它的这些性质可做一些相应的实验。例如，电容器的充、放电实验。把一个电容器连接于 3、4 两端，由于电容器充电相当于电路短暂接通，则扬声器发出声音。电容器充电完毕相当于电路断路，则扬声器停止发声。这一特性可检验电容器的充电过程，电容器容量的大小（容量越大，充电过程越长，发声时间越长），以及电容串、并联后总电容的变化情况（根据发声的长短）。把一只充过电的电容器接在 4、5 两端上，则有电压加在了 4、5 两端，扬声器发出声音，说明电容器放电，随着放电过程的结束，扬声器停止发声。这一点亦可检验电容器容量的大小，串、并联后总电容的变化情况（根据发声的长短）。

三. 电教媒体在电磁学实验中的应用

随着科技的发展和人民生活水平的提高，电教媒体日益普及。教学中如能利用好电教媒体则能优化实验过程，增强实验效果，特别是，在培养学生动手能力和创新能力方面有着十分重要的作用。

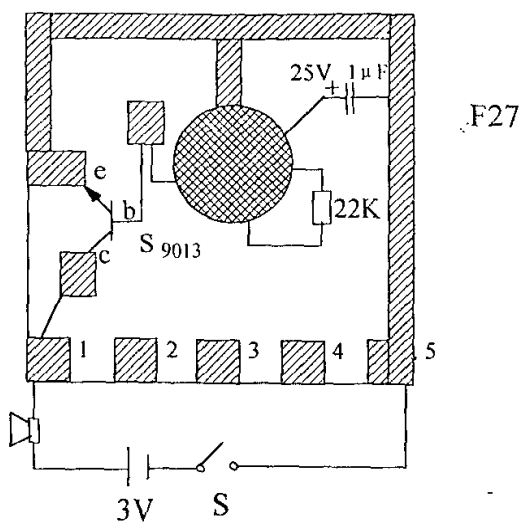


图-13

5 两端点以导线连接也不发出声音，但加以微小电压则可使扬声器发出声音。利用它的这些性质可做一些相应的实验。例如，电容器的充、放电实验。把一个电容器连接于 3、4 两端，由于电容器充电相当于电路短暂接通，则扬声器发出声音。电容器充电完毕相当于电路断路，则扬声器停止发声。这一特性可检验电容器的充电过程，电容器容量的大小（容量越大，充电过程越长，发声时间越长），以及电容串、并联后总电容的变化情况（根据发声的长短）。把一只充过电的电容器接在 4、5 两端上，则有电压加在了 4、5 两端，扬声器发出声音，说明电容器放电，随着放电过程的结束，扬声器停止发声。这一点亦可检验电容器容量的大小，串、并联后总电容的变化情况（根据发声的长短）。

三. 电教媒体在电磁学实验中的应用

随着科技的发展和人民生活水平的提高，电教媒体日益普及。教学中如能利用好电教媒体则能优化实验过程，增强实验效果，特别是，在培养学生动手能力和创新能力方面有着十分重要的作用。

1. 黑白电视机在电磁学实验中的应用

目前，我国存有的黑白电视机很多，利用闲置、废旧黑白电视机稍加改造，就可用于物理实验中，不仅能弥补教学仪器的缺乏，而且，由于黑白电视机是学生非常熟悉的家电，更加了实验的可信度。有利于调动学生的积极性。

A. 作稳压电源

黑白电视机由交流220伏市电供电，在其内部有着相当稳定可靠的稳压电源。黑白电视机一般先把220伏，50赫兹的交流电经变压器降压成16伏左右，再经整流、滤波，稳压输出12伏直流供机内各部分使用。因此，只要切断12伏输出端至机内各单元电路的印刷线路板上的铜箔，再用二根导线把电源引至机外，就可作一台稳压电源使用。其额定输出电流2安左右。调节机内稳压单元的输出电压调整电位器，可使输出电压在6伏至此12伏之间选择。

B. 作高压发生器

在一些物理实验中需要用到高压电源。黑白电视内行输出变压器输出的阳极高压可做高压发生器。取下高压帽，在高压输出端连接一只（彩电用）高压聚焦电位器（注意绝缘），经高压聚焦电位器分压后取出合适的电压（调节高压聚焦电位器手柄）。此高压电源可做静电实验、气体放电实验等。

C. 演示带电粒子在磁场中的偏转

电视机的荧光屏之所以发光形成光栅，是机内加速电场及行扫描电路和场扫描电路共同作用的结果。从显象管尾部的电子枪发射的电子束，经阳极高压产生的电场加速成高速电子流，撞击荧光屏上的荧光粉，产生受击辐射。在不加偏转磁场的情况下，电子只打在荧光屏的中心形成亮点。实验时，先断开场偏转线圈，使荧光屏中间出现一条水平亮线，然后用蹄形磁铁卡在显象管的管茎上（注意不要损坏管茎），形成水平磁场。这时可以看到荧光屏上的亮线

明显向上（或向下）移动，磁场越强，移动距离越大，把磁极对调，亮线移动方向相反。

此演示实验不仅验证了带电粒子在磁场中运动受到洛伦兹力这一现象，而且可以定性说明公式 $F=qvB\sin\theta$ 之中B的作用，即磁感应强度B越大，F越大，偏转位移越大。同时，这个实验也是验证左手定则的一种好方法。

D. 作音频功率放大器

黑白电视机的伴音功放，可做实验用音频功率放大器。其额定输出功率为2瓦左右。改装方法是：切断原机音量电位器上端（非地端）铜箔，另加一只1微法，耐压25伏的电解电容至此端，从该电容器的另一端（正极）输入音频信号。

2. 摄、录像机辅助物理实验教学

目前，用于教学的音像资料很多，可根据教学需要选取。也可适当选择录制一些教育电视台播放的物理实验，以及一些科普节目，如：超导现象，磁悬浮列车等，灵活运用于教学中。

某些实验，由于不便观察和对实验条件要求较高等原因，可利用摄像机事先摄制成录像片，在不便演示的情况下，直接播放，亦能收到很好的教学效果。如，静电实验，要求空气比较干燥，在潮湿的环境中实验难以成功。若实验时，环境比较潮湿，则可播放录像加以演示。录像片的另一优点是可利用播放器对图像进行放大，便于后排学生观察。如，奥斯特电流磁效应实验，多用电表的使用，日光灯的安装等实验，由于器件较小，通过录像放大后则便于全体学生观察。另外，录像片还可以把多个实验连系在一起，便于讲解和增大课堂容量。

3. 制作CAI课件辅助物理实验教学

CAI课件是一种新兴的教学方法，它可以演示复杂和抽象的物理过程，能够形象化地演示出常规方法观察不到的变化过程，并能

模拟演示各种实验，是提高教学质量，特别是实验教学质量的重要方法。

CAI 课件的制作是一项复杂的工作，一般需要多人合作完成。在山师老师们的亲切指导帮助下，与其他同学一起制作完成了一件 CAI 课件，取名为“中学物理多媒体教学光盘”。包括“电磁感应”、“多用电表的使用”、“静电现象”和“日光灯”四部分内容。所利用的软件主要有 Authorware、Premiere、Photoshop 等。由于制作过程比较复杂，具体过程不再赘述，仅列“日光灯”部分的流程图(见附图)。

四. 数字显示电表的制作

目前，物理教材中有关电压、电流等物理量的测量仪器大都为指针式电表。这种电表调整较为繁琐，读数不够方便，精度也不够准确，在工农业生产及科研中已逐渐被数字式电表所取代，数字式电表已在众多领域中显示出其优越性。电磁学实验中，若能适当采用，不仅能方便实验，使测得的数据更加准确，而且可使学生了解数字式电表的特性和使用方法，为他们以后的工作、生活打下一定的基础。

数字式电表主要有液晶显示和发光二极管显示。液晶显示由于其能见度较低，不宜在演示实验中采用。而发光二极管的能见度很高，是演示实验的理想器材。市售发光二极管显示的数字电表大都价格昂贵，一般学校大都难以承受，而且其功能很多，普通的实验大多用不上，购买这样的电表对一般学校来说无疑是一种资源浪费。为达到经济实用的目的，可购买价格较低的发光二极管数显电表表头，稍加安装就可制成实用的数字显示电表。这样的电表能测量电流、电压，而成本不过几十元，是部分取代指针式电表的理想数显电表。具体制作方法举例如下：

表头选用深圳新星仪表厂生产的 ST5735 系列 $3\frac{1}{2}$ 位发光二极管

模拟演示各种实验，是提高教学质量，特别是实验教学质量的重要方法。

CAI 课件的制作是一项复杂的工作，一般需要多人合作完成。在山师老师们的亲切指导帮助下，与其他同学一起制作完成了一件 CAI 课件，取名为“中学物理多媒体教学光盘”。包括“电磁感应”、“多用电表的使用”、“静电现象”和“日光灯”四部分内容。所利用的软件主要有 Authorware、Premiere、Photoshop 等。由于制作过程比较复杂，具体过程不再赘述，仅列“日光灯”部分的流程图(见附图)。

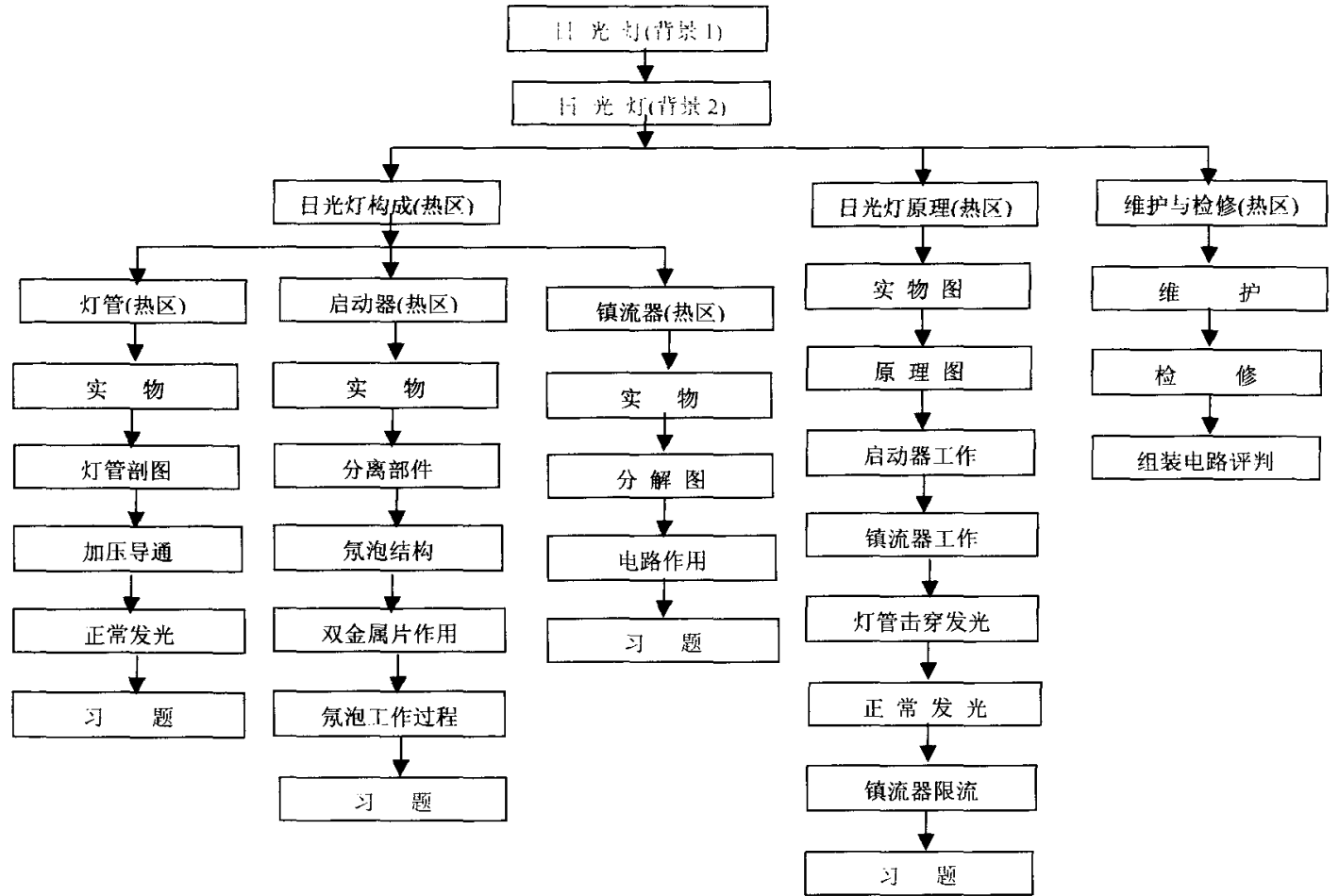
四. 数字显示电表的制作

目前，物理教材中有关电压、电流等物理量的测量仪器大都为指针式电表。这种电表调整较为繁琐，读数不够方便，精度也不够准确，在工农业生产及科研中已逐渐被数字式电表所取代，数字式电表已在众多领域中显示出其优越性。电磁学实验中，若能适当采用，不仅能方便实验，使测得的数据更加准确，而且可使学生了解数字式电表的特性和使用方法，为他们以后的工作、生活打下一定的基础。

数字式电表主要有液晶显示和发光二极管显示。液晶显示由于其能见度较低，不宜在演示实验中采用。而发光二极管的能见度很高，是演示实验的理想器材。市售发光二极管显示的数字电表大都价格昂贵，一般学校大都难以承受，而且其功能很多，普通的实验大多用不上，购买这样的电表对一般学校来说无疑是一种资源浪费。为达到经济实用的目的，可购买价格较低的发光二极管数显电表表头，稍加安装就可制成实用的数字显示电表。这样的电表能测量电流、电压，而成本不过几十元，是部分取代指针式电表的理想数显电表。具体制作方法举例如下：

表头选用深圳新星仪表厂生产的 ST5735 系列 $3\frac{1}{2}$ 位发光二极管

2. 原理一及前



显示数字面板表。该仪表可直接作为数字式电压表、电流表使用，它采用卡式塑料面罩，将仪表推入机箱面板的窗口卡住，安装十分方便。

技术条件

1. 使用条件

- (1) . 电源：直流稳压 $5\text{v} \pm 5\%$ ，纹波 $< 2\text{mv}$ 。
- (2) . 温度范围：额定使用范围 $0\text{--}40^{\circ}\text{C}$
- (3) . 相对湿度： $20\%\text{--}90\%\text{RH}$
- (4) . 冲击振动：符合电子工业部标环境实验 II 组仪器要求。

2. 显示方式：发光二极管及小数点显示，字高 14.2mm ，红、绿、黄可选（本仪器选用红色）。

3. 极性转换：自动测正电压，无符号显示；自动测负电压，显示“—”号。

4. 功耗： $\leq 120\text{mw}$ 。

5. 过量程显示：显示板最高位显“1”，其余各位不显数字。

6. 外型尺寸： $79\text{mm} \times 43\text{mm} \times 22\text{mm}$

7. 净重： 40g 。

安装使用

1. 安装

图14示出在机箱面板上的开口尺寸及公差要求，面板的厚度为 $1\text{--}2.5\text{mm}$ 为宜。

2. 外接电路

图15示出了位于面板后表面左下方的电源接线端 Z_1 和右下方的信号接线端 Z_2 与外接电路的接线关系。INHI表示信号高电平输入端，INLO是低电平输入端，注意接入极性不能错，特别是电源接入极性，接反会烧毁集成电路。

3. 小数点定位

22页-1

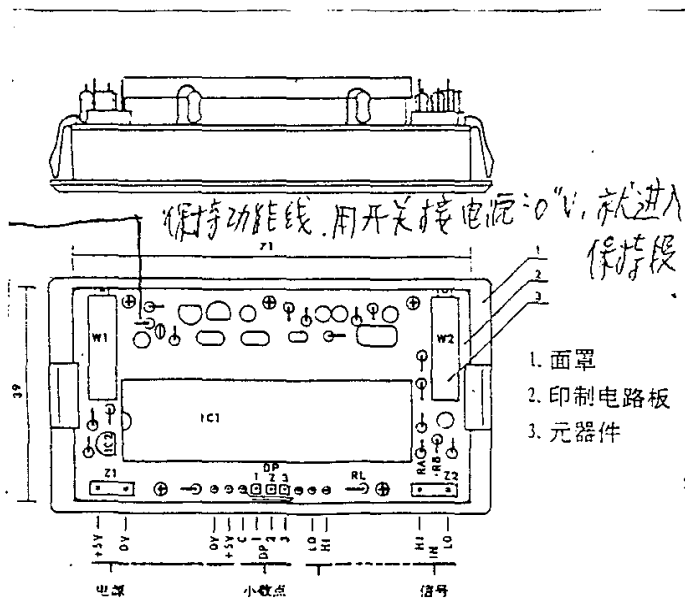


图-15

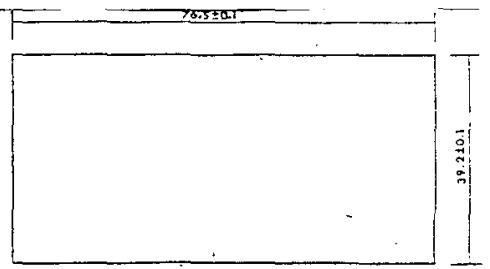


图-14

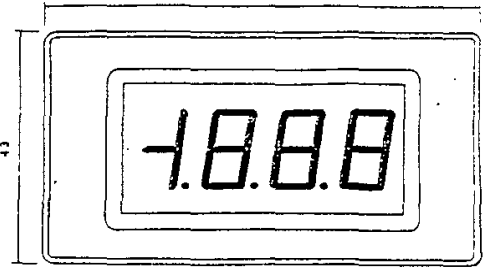


图-16

面板上可定的小数点有三个，从右到左分别为 DP_1 、 DP_2 、 DP_3 （图16），其驱动端位于面板反面中部下方的印刷线路板上，标有 $DP_{1,2,3}$ 与其下方的公共端印刷线路间构成了三个活口（图15），用焊锡封住那个接口，那个接口的小数点就显亮。

4. 调零与调满度

对于输入端接地或浮地的使用类型，例如电压表，没有调零的问题。因为所用的 A / D 电路 7107 有自动归零的功能。只需校准满度值，校准微调电位器位于电路板左上角，微调量相对中心值 $\geq \pm 10\%$

5. 量程变换

ST5135 系列产品中，电压表的基本量程有两种，即 200 mV 和 2 v。但面表板的输入端，设有 1:100 的分压器，在基本表上处于开路状态。一旦接入后，可把量程扩大到 100 倍，即 200 mV 扩至 20 v，2 v 扩至 200 v。其方法是，把输入电阻 RB 处电路板反面的活接口用锡封住，就完成了接入分压器的工作，然后再用校准源校准扩大量程后的满度值。

由于本仪表采用发光二极管显示，数字高 14.2 mm，非常清晰，即使在教室的最后一排也能清楚地看到面板上的数字，在教学实践中收到了很好的教学效果。

五. 利用集成稳压电路制作学生电源

传统的分立元件构成的稳压电源体积、重量均较大，成本也比较高，尤其是大功率电源，调整管必须配用大面积散热片。

二十世纪七十年代研制成功的输出固定的三端集成稳压器，如 7800 和 7900 系列，把取样电阻和功率调整管均集成在一块芯片上，外围电路少，安装简单，大大简化了设计和安装；得到了广泛的应用，成为集成稳压的主流。随后又出现了输出可调的集成稳压器，如，317 和 337 系列，仅需改变两个外围电阻，就可

面板上可定的小数点有三个，从右到左分别为 DP_1 、 DP_2 、 DP_3 （图16），其驱动端位于面板反面中部下方的印刷线路板上，标有 $DP_{1,2,3}$ 与其下方的公共端印刷线路间构成了三个活口（图15），用焊锡封住那个接口，那个接口的小数点就显亮。

4. 调零与调满度

对于输入端接地或浮地的使用类型，例如电压表，没有调零的问题。因为所用的 A / D 电路 7107 有自动归零的功能。只需校准满度值，校准微调电位器位于电路板左上角，微调量相对中心值 $\geq \pm 10\%$

5. 量程变换

ST 5135 系列产品中，电压表的基本量程有两种，即 200 mV 和 2 v。但面表板的输入端，设有 1:100 的分压器，在基本表上处于开路状态。一旦接入后，可把量程扩大到 100 倍，即 200 mV 扩至 20 v，2 v 扩至 200 v。其方法是，把输入电阻 RB 处电路板反面的活接口用锡封住，就完成了接入分压器的工作，然后再用校准源校准扩大量程后的满度值。

由于本仪表采用发光二极管显示，数字高 14.2 mm，非常清晰，即使在教室的最后一排也能清楚地看到面板上的数字，在教学实践中收到了很好的教学效果。

五. 利用集成稳压电路制作学生电源

传统的分立元件构成的稳压电源体积、重量均较大，成本也比较高，尤其是大功率电源，调整管必须配用大面积散热片。

二十世纪七十年代研制成功的输出固定的三端集成稳压器，如 7800 和 7900 系列，把取样电阻和功率调整管均集成在一块芯片上，外围电路少，安装简单，大大简化了设计和安装；得到了广泛的应用，成为集成稳压的主流。随后又出现了输出可调的集成稳压器，如，317 和 337 系列，仅需改变两个外围电阻，就可

实现不同的输出电压值。目前，集成稳压器的系列很多，已成为稳压电源的主流。

电磁学实验需要多种电源，若采用集成稳压电源，则可在重量、体积、成本等方面大面积降低，极易推广普及，而且质量、性能亦能得到提高。市售集成稳压器功能很多，质量好，但价格高，一般学校不必配备如此高档的学生电源。物理教师可根据教学需要，自制一些成本低而功能实用的学生电源。以下是部分学生稳压电源的制作实例。

1. 固定输出 5 v 的稳压电源

电路如图17所示，

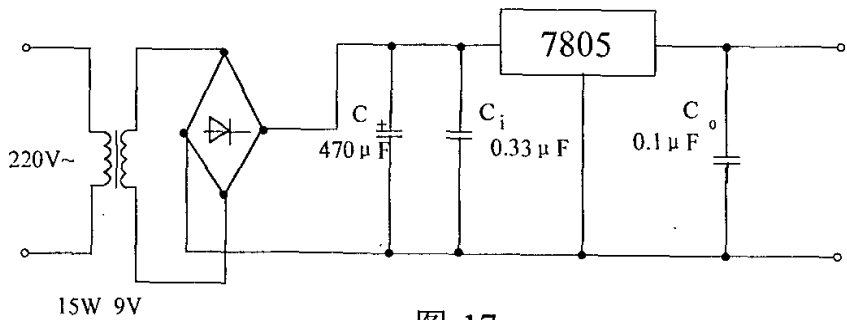


图-17

变压器采用 9 v，1.5 w 变压器，C 为 470 μ F 电解电容， C_i 、 C_o 分别为 0.33 μ F、0.1 μ F，三端集成稳压电路采用 7805。设计、印制好线路板后，把所有元件准确无误地焊接在线路板上，无需调整即可在输出端得到 5 v \pm 1% 的输出电压。

2. 能输出 6 v、9 v、12 v、18 v 的稳压电源

电路如图18所示，变压器采用 15 w 15 v \times 2 变压器，利用 7809 输出 +9 v 电压，7909 输出 -9 v 电压，中心抽头处为 0 v。这样在 1 和 5 两端输出的电压为 +9 v，2 和 5 两端输出的电压为 -9 v，1 和 2 两端的输出电压为 18 v。利用 D_1 -- D_5 把 3 端电压降到约 +6 v，这样 3 和 5 两端可输出约 6 v 的电

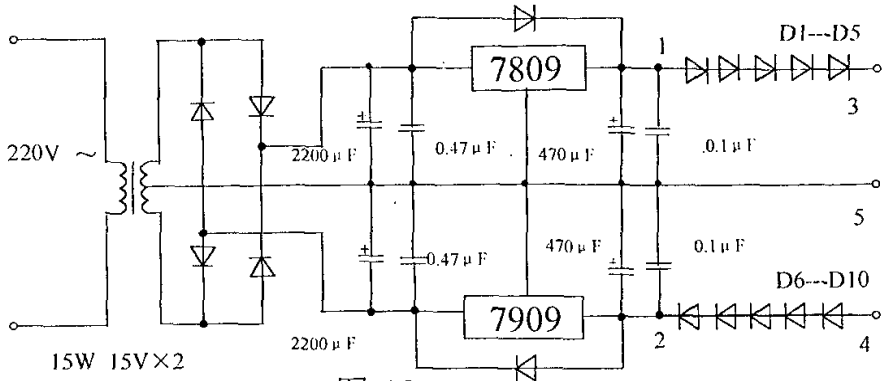


图-18

压；利用 D_6 -- D_{10} 把 4 端电压调整到约 -6 v ，这样 4 和 5 两端可输出约 -6 v 的电压，3 和 4 两端输出电压约为 12 v 。

3. 1.25 v--3.7 v 连续可调的稳压电源

电路如图 19 所示，

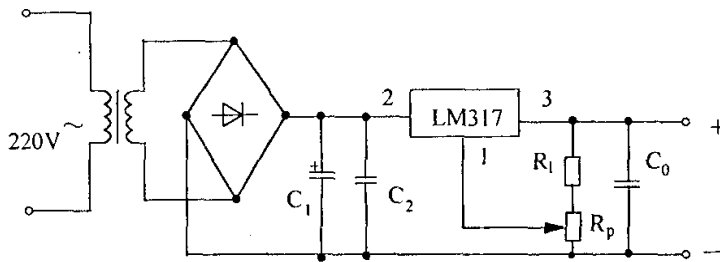


图-19

变压器采用 $15\text{ w } 30\text{ v}$ 变压器， C_1 为 $470\text{ }\mu\text{ F}$ ， C_2 为 $0.1\text{ }\mu\text{ F}$ ， C_0 为 $1\text{ }\mu\text{ F}$ ， R_1 为 $240\text{ }\Omega$ ， R_p 为 $5\text{ k}\Omega$ ，集成稳压块采用 LM317。根据元件的大小，合理设计电路板，把所有元件准确无误地焊接在线路板上后，调节可调电阻 R_p 就可在输出端得到 $1.25\text{ v--}3.7\text{ v}$ 连续可调电压。

六. 万用电表的安装、校正和定标

万用电表是电磁测量、电子测量和电工测量中最基本的，必不

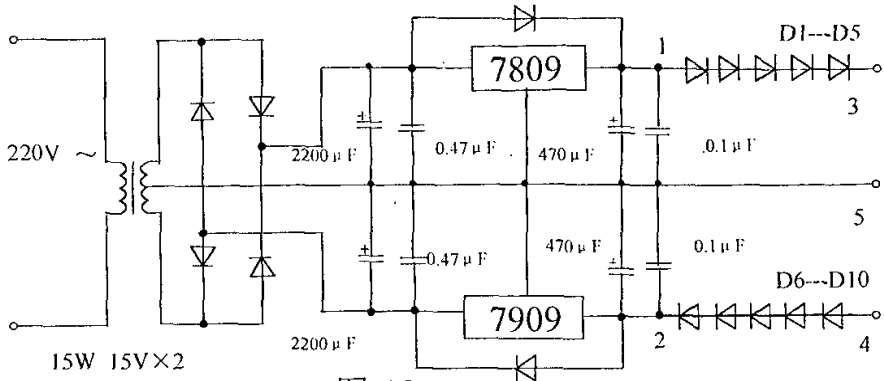


图-18

压；利用 D_6 -- D_{10} 把 4 端电压调整到约 -6 v ，这样 4 和 5 两端可输出约 -6 v 的电压，3 和 4 两端输出电压约为 12 v 。

3. 1.25 v--3.7 v 连续可调的稳压电源

电路如图 19 所示，

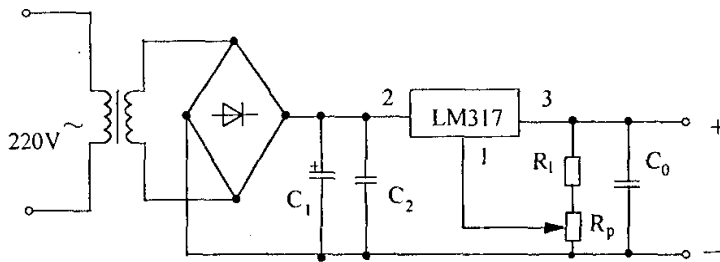


图-19

变压器采用 $15\text{ w } 30\text{ v}$ 变压器， C_1 为 $470\text{ }\mu\text{ F}$ ， C_2 为 $0.1\text{ }\mu\text{ F}$ ， C_0 为 $1\text{ }\mu\text{ F}$ ， R_1 为 $240\text{ }\Omega$ ， R_p 为 $5\text{ k}\Omega$ ，集成稳压块采用 LM317。根据元件的大小，合理设计电路板，把所有元件准确无误地焊接在线路板上后，调节可调电阻 R_p 就可在输出端得到 1.25 v -- 37 v 连续可调电压。

六. 万用电表的安装、校正和定标

万用电表是电磁测量、电子测量和电工测量中最基本的，必不

可少的多功能测量仪表。万用电表分指针式和数字式两种，数字万用电表电路复杂，但测量精度高，功能齐全，除了指针式万用电表能测的交流电压、直流电压、直流电流和电阻外，还能测定交流电流，电容、电感、频率及二、三极管的参数。

磁电式电表的原理，指针式万用电表的基本电路原理，是高中和普通物理教学的重点，制作指针式万用电表，作为重点教学理论的实践内容，加上方法巧妙，所以一直是普通物理电磁学实验中的传统项目。但指针式万用电表与科技含量高的数字式万用电表相比，测项少，在测低电压，小电流和电阻时，精度又太低，价格又相仿，很难激发学生的兴趣。

引进集成运算电路，设计制作带集成电路的高精度的指针式万用电表，既保留了原实验的优点，又克服了原万用电表的痼疾，而且，让学生提前接触业已非常普及的新电子器件，学一点他们认为很神秘、又神通广大的集成电路原理、现代测量原理和技术，一能提高学生的学习兴趣，二能提高指针式万用电表的科技含量，三又能为他们将来学习电子技术准备感性认识和基本常识。

实验目的

- 1、掌握万用电表电路的基本原理。
- 2、学会万用电表的接插方法，定标方法。
- 3、了解万用电表的综合设计方法。

实验仪器

磁电式微安计，4位半数字万用电表，220V、50Hz交流稳压电源；专用稳压直流电源及相应电子器件和模块。

实验原理

指针式万用电表由微安计表头，转换开关和测量电路三部分组成。磁电式表头的内阻 R_g 约5K Ω ，量程为50 μ A，表头上有均匀刻度盘，可以指示各被测量的数值大小。各电学量均有自己的测量分

电路，万用电表通过巧妙的电路组合，并通过转换开关来连接和选择不同的测量电路和量程。磁电式电表内部铜绕线电阻 R_g 随环境温度的升高阻值变大，为了减小环境温度的变化对测量精度的影响，我们选择一个温度系数大的半导体热敏电阻 R_t 与 R_g 相串联， R_t 的阻值随温度升高而变小，这样可以使 R_g 、 R_t 之和受室温变化的影响极小。铜的温度系数为 $3.9 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ ，热敏电阻在室温附近的温度系数约 $4.0 \times 10^{-2}/^\circ\text{C}$ ，所以如 R_g 为 $5\text{K}\Omega$ ，则 R_t 约 500Ω 。为了把握万用表的整体结构和工作原理，我们先分析单个电学量的测量电路及其工作原理。

1、直流大电压测量回路设计原理

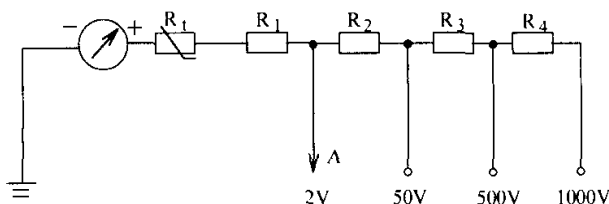


图-20

图20 直流大电压测量电路

用指针式电表测大电压，大电压档的内阻很大，测量精度高，所以大电压测量我们仍采用传统的分压法。图20中，因为对电压表不同量程，满刻度电流都是 I_g ，因此很容易算出 $R_1 = 2\text{V}/I_g - R_g - R_t$ ，约为 $35\text{K}\Omega$ ，同理可算出 R_2 ， R_3 ， R_4 的值。

这里引入电压表的电压灵敏度概念，其意义为，电压表测量每伏电压所提供的内阻值。显然，电压灵敏度的定义式应为 $S_v = 1/I_g$ ，其单位通常用 $\text{K}\Omega/\text{V}$ 来表示。这里，图20中任一电压档的电压灵敏度相等，均为 $20\text{K}\Omega/\text{V}$ 。

2、低电压测量回路设计原理

图21中，IC₁和R₅、R₆组成电位跟随器，跟随器输出电压V₀₁与被测电压V_i总相等。V_i的输入阻抗为10¹²Ω，V₀₁相当于一个内阻仅为10⁻³Ω，电动势随V_i而变的电压源。不言而喻，由集成电路组成的测小电压的电压表测出的任二点的电压值，与原来该二点的相等，测量精度极高，电压灵敏度约为10⁵MΩ/V。

图21中IC₂与R₇--R₁₁组成放大倍数可变的反相放大器，IC₃与R₁₂-

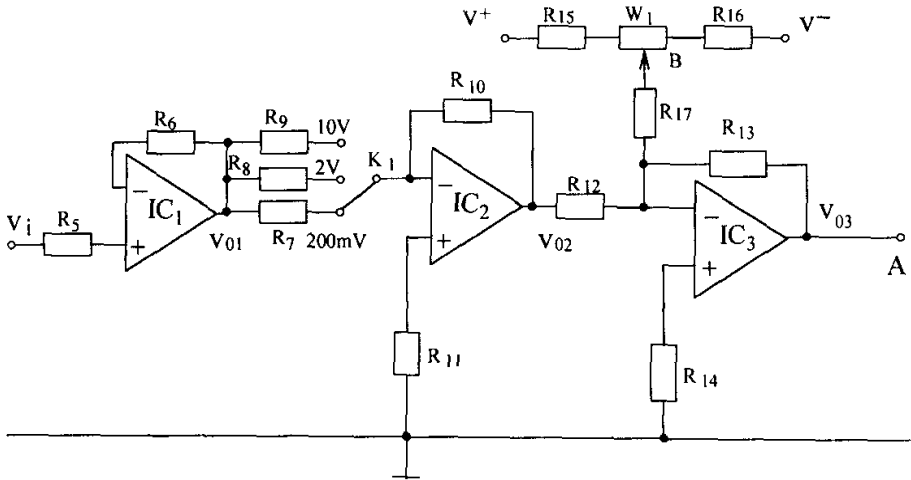


图-21

图21低电压测量电路

-R₁₇又组成一个反相加法器。测量小于10V的低电压时，IC₃输出端与图20中的2V输入端A点连接。因此，当V_i分别为各量程满刻度电压200mV、2V、10V时，各对应V₀₃都应该是2V，表头指针才都能停在满刻度上。

由反相放大器的原理式知，如单刀三掷开关打在R₇上，

$V_{02} = -V_i R_{10} / R_7$ ，这时，满刻度电压为200mv。如R₇=10KΩ， $V_{02} = -2v$ ，则R₁₀=100KΩ，K₁打在R₈时，满刻度电压为2v，同理，R₈=100KΩ，满刻度电压为10v的R₉=500KΩ。

令R₁₂=R₁₃，则 $V_{03} = -V_{02} + V_B R_{13} / R_{17}$ 。

如果 $V_i=0$ 时, $V_{03}=0$, 则 R_{15} --- R_{16} 系统可去掉, 如果 $V_i=0$ 时, $V_{03} \neq 0$, 则可移动多圈电位器 W_1 的活动头, 改变 V_B , 使 $V_{03}=0$, 所以 R_{15} --- R_{16} 系统为调零系统。

3、小电流测量回路设计原理

原指针式万用表有0.05mA、0.5mA、5mA量程, 测量原理如图22, 由分流法可算出, 量程为0.05mA、0.5mA、5mA三档的电流的内阻分别为 $5K\Omega$ 、 556Ω (合上 K_2)、 56Ω , 把这样大内阻的电流表串联在被测电路中测电流, 显然会改变原来待测电流的大小, 产生测量误差。用集成电路测小电流, 电流表内阻为零, 所以测量

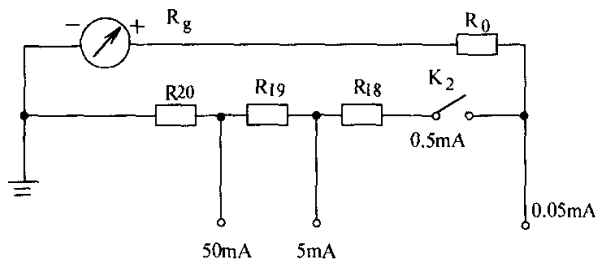


图-22

精度极高, 其测量原理图如图23, IC_4 、 R_{21} 组成短路电流放大器, 电流输入阻抗为零, V_{04} 等于被测电流 I_i 与 R_{21} 的乘积。此量程满度电流为2mA, 测量2mA以下电流时, IC_5 输出端也与图20中的2V输入端A点相接。 IC_5 与 R_{22} - R_{27} 又组成反相加法器, 为了使 $I_i=2mA$ 时, 表头指针打在满刻度上, 则必须使 $V_{05}=2V$, 如果让 $V_{04}=-2V$, 则由短路电流放大器的原理式, $V_{04}=-I_i R_{21}=-2V$, 可得 $R_{21}=1K\Omega$, $V_{05}=-V_{04} R_{24}/R_{22}=2V$, 则 $R_{24}=R_{22}$, R_{25} 、 R_{26} 、 W_2 、 R_{27} 组成调零系统。

4、大电流测量回路

如图24, IC_6 与 R_{31} - R_{33} 组成放大倍数恒定的同相放大器, 放大器输出电压与输入电压的关系为 $V_{06}=(1+R_{33}/R_{31})V_i$ 。

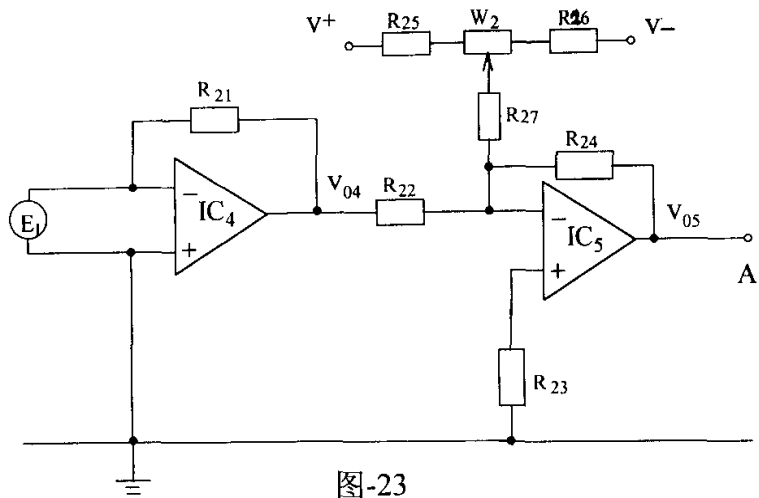


图-23

图23 小电流测量电路

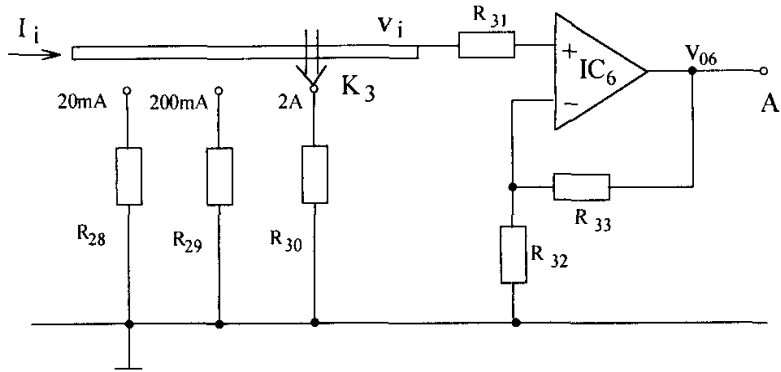


图-24

流
图24大电测量回路

如令电流量程分别为20mA、200mA、2A的三个取压电阻 R_{28} 、 R_{29} 、 R_{30} 的电阻值分别为 1Ω 、 0.1Ω 、 0.01Ω ， IC_6 输出端仍与图20中2V输入端A点连接，则滑动开关 K_3 与 R_{28} 相接合时，满量程电流 I_i 为2

0mA时, V_{06} 应等于2V, 如令 $R_{31}=10K$, 则可算出 $V_i=20mA \times 1.0 \Omega = 20.0mv$ 。

$$R_{33}=(V_{06}-V_i)R_{31}/V_i=(2-0.02) \times 10K/0.02=990K$$

同理, 输入电流为200mA或2A时, 只要把 K_3 与 R_{29} 或 R_{30} 接合就有 $V_{06}=2V$ 。

同相放大器V输入阻抗为 $10^6 \Omega$, 所以 R_{31} 对 R_{28} 、 R_{29} 、 R_{30} 的分流完全可忽略不计(好的运算放大器, 流过 R_{31} 的最大电流为20pA) 这样由 IC_6 为主构建的测大电流20mA、200mA, 2A的电流表, 其内阻仅分别为 1Ω 、 0.1Ω 、 0.01Ω 。

R_{28} 、 R_{29} 、 R_{30} 由温度系数小的康铜丝绕制而成, 其允许通过的电流比实际通过的电流大得多, 而且安装环境具有良好的散热条件, 以免环境温度和电流产生的热量改变它们的电阻值, 影响测量精度。

5、电阻测量回路的设计

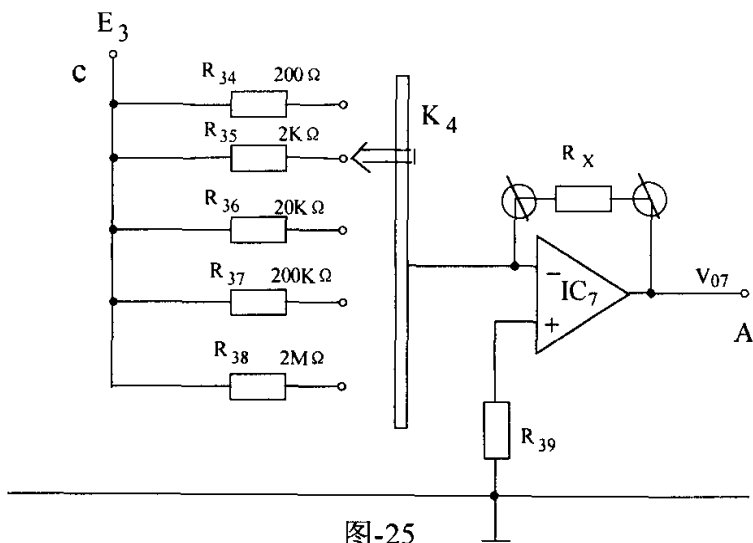


图-25

图25电阻测量电路

显然，图25是一个5种放大倍数的反相放大器，C端接稳压电源 $E_3=2V$ ，测电阻时， IC_7 输出端也与图20中2V输入端A点相连接。被测电阻 R_x 为各量程最大值时， V_{07} 应等于+2V。当滑动开关 K_4 与电阻 R_{34} 接合时，电阻在200 Ω 量程上由反相放大器放大原理可知， $V_{07}=-E_3R_x/R_{34}$ 。

当 $R_x=200 \Omega$ 时， $V_{07}=2V$ ， $E_3=2V$ ，所以，

$R_{34}=200 \Omega$ ，同理可推出 R_{35} -- R_{38} 的值。

由上面推导可知， V_{07} 正比于 R_x ，又 V_{07} 正比于 I_g ， I_g 指微安表内实际通过的电流，所以， R_x 正比于 I_g 。

由此可知，采用集成电路以后，不但大大提高了电阻测量精度，而且电阻标尺刻度均匀，读数方便，读数误差变小，而且仪器能自动归零。

6、交流电压和交流电流测量回路原理

前面设计的测直流的放大电路，经过频率补偿，对500Hz以下的交流电具有与直流相同的放大倍数。因此，如果用这些电路直接测量交流电流和电压，只要后面加整流电路和放大电路，经整流和恰当放大后的电压加在图20中的A端，就可以由表头直接显示交流电压、电流的有效值。

如前述，在测量直流量时，不论是测电流，测电压和测电阻，只要所测量等于该量程的满刻度值，输入图20的2V电压量程档A点的电压都是2V，现在用这些电路来测交流电流和电压的满量程值，输入A点的直流量也应为2V，其他所测量按恒定的倍率减小。

具体整流电路如图26。 IC_8 和 R_{40} - R_{42} 组成反相放大器。

如令 $R_{42}=2R_{40}$ ，则 $V_{08}=2V_i$ ， V_{08} 经二极管 D_1 半波整流，又经 π 型电容滤波，给 IC_9 （-）输入端输入平稳的直流电压，调节 W_5 的值，即调节由 IC_9 为核心组成的反相放大器的放大倍数，使 V_{09} 为

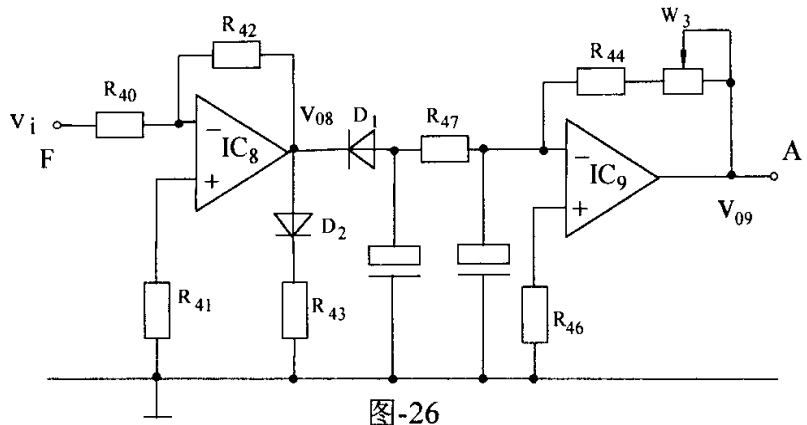


图-26

图26 整流电路

输入A点的交流电压 V_i 的有效值，再把 V_{09} 送入图20的A点，则表头上就能显示所测交流量的有效值。

原来的指针式万用表，有一个无法解决的难题，即所测量为该量程低端的交流电压时，如用200mv量程档测10mv电压，送给二极管整流的电压充其量为100mv，而硅、锗合金二极管分别在0-0.5V、0-0.2V以下不导通，所以，以前的指针式万用表，无法测量500mv以下的交流电。

现在，把集成电路引进指针式万用表以后，就可以在图26的基础上加几个元件解决这个问题，使 10^{-1} mv的交流电压也可以顺利整流。

主要参考文献

1. 任致程等. 青少年及业余爱好者电子制作手册. 北京: 科学技术文献出版社, 2000.
2. 武汉大学电子线路教材编写组. 电子线路. 北京: 高等教育出版社, 1985.
3. 张彤编译. 实用电子学袖珍手册. 人民邮电出版社, 1989.
4. 吴志功等. 青年无线电实用手册. 中国青年出版社, 1984.
5. 林连魁. 青少年数字电路制作指南. 福建科学技术出版社, 1997.
6. 陈其纯. 电子线路. 北京: 高等教育出版社, 1995.
7. 吴润宇等. 实用稳定电源. 北京: 高等教育出版社, 1997.
8. 刘小毛. 利用家用电器辅助物理实验教学. 实验教学与仪器, 2000, (7, 8): 9~10.
9. 谭常青, 刘有根. 利用电教媒体优化物理教学. 实验教学与仪器, 2000, (7, 8): 21.
10. 杨军. 改进LC电磁振荡演示效果的基本途径. 物理教学, 1995, (2): 20~22.
11. 宋国道. 发光二极管在电学实验中的应用. 物理教学, 1995, (2): 43~44.
12. 潘隆军. 黑白电视机在物理实验中的应用举例. 物理教学, 1998, (9): 48~49.
13. 陆先升. 全气候电子验电器的设计制作. 物理教学, 1999, (2): 48~49.
14. 刘成富. 用音乐集成电电路演示几个物理实验. 物理教学, 1999, (11): 45.
15. 阳桂生. 绘制印刷电路板的简单方法. 物理实验, 2000, (1): 25.
16. 杨渠. 用发光二极管演示电磁振荡实验. 中学物理教学参考, 2000, (8): 21.
17. 钱光. 电子验电器. 电子文摘报, 1987, 8, 15.
18. 李宝星. 音乐集成块在中学物理实验中的应用. 电子报合订本, 1990, (

10);44.

19. 黄辉林. 再谈音乐集成块在中学物理实验中的应用. 电子报合订本, 1990, (23): 92.

20. 王东新. 物理实验中的验电器. 电子报, 1990, 11, 18.

21. 张彪. 用于中学物理教学的变色显示微电流(压)计. 电子报, 1994, 12, 18

22. 段康道. 光电效应多用演示器. 电子报, 1995, 7, 23

23. 金有锁. 交变电场信号演示器. 电子报, 1996, 2, 4

24. 徐如. 自制电子验电器. 电子报, 1999, 4, 25

25. 陈仕宽. 小巧的电子验电器. 无线电, 2000, (5): 33

用现代电子技术革新物理电磁学实验的研究

山东师范大学物理系 98 级教育硕士研究生 黄福栋
指导教师 吴淑贞

摘 要

随着科学技术的飞速发展,各种新兴的电子元器件不断涌现,已经而且正在改变着人类生产、生活的方方面面。传统的物理电磁学实验在这方面受到的冲击尤为显著。采用现代电子技术革新电磁学实验是现代物理实验教学急需解决的问题之一。

现代电子技术博大精深,在电磁学实验中如能有选择地引进少数最有价值的器件,如:发光二极管、音乐集成电路、场效应管、运算放大器、数字集成电路等,结合教学实际加以灵活运用,必将促进物理实验教学质量的全面提高。

1、发光二极管的应用

发光二极管具有单向导电性,而且在导通时能发出多种颜色的光,是指示电流方向的理想器件。在电磁学实验中,凡需指示电流方向的实验,一般都可由发光二极管显示。发光二极管可直接用于一些简单的实验,也可与其它元器件一起制成实验仪器,解决教学中的一些难点问题。

2、音乐集成电路的应用

音乐集成电路的灵敏度很高,耗电极微,再配以发声也很灵敏的压电陶瓷片,或把信号放大后带动扬声器,可以构成一个“微弱直流检测装置”。凡需检测较小电流的实验,大都可以用音乐集成电路来检测。在这一领域音乐集成电路的应用非常广泛,如检验伏打电池、水果电池、手摇发电机产生的直流电,通电螺线管产生的磁场,电容器的充电、放电等。

3、电教媒体的应用

电教媒体的应用,进一步推进了电磁学实验的发展。特别是 CAI 课件,不仅能够模拟演示实验的细节和不易观察到的现象,而且具有模拟实验过程,展示传统方法根本无法观察到的现象,综合多个实验进行系统分析等,许多传统方法无可比拟的优越性。CAI 课件应是物理实验发展的重要方面。

另外,电教媒体在信息的汇总、展示、存储、交流等方面是非常方便的,随着科技的进步,这一领域必将得到长足的发展。

4、数字显示电表的应用

数字显示电表以其测量精度高,功能齐全,操作方便等优点,在实用中已很大程度上取代了指针式电表,在高中和普通物理实验中已得到了部分应用。这方面应做一些有益的探讨。

5、集成稳压电源的应用

集成稳压电源以其优良的性能、低廉的成本和操作方便等优点已基本

取代了由分立元件制成的稳压电源。电磁学实验中需要多种电源，采用集成稳压电源能够显著地改善电源性能，提高实验的精度，方便操作，降低成本。由于集成稳压电源的制作较简单，物理教师可根据教学需要自制部分实用的集成稳压电源。

6、用运算放大器对指针式万用电表的改造

指针式万用电表一直是高中和普通物理教学的重点。但指针式万用电表在测量小直流电流、电压和电阻时误差较大，对电压小于 0.2 伏的交流电压则根本无法测量。应用集成运算放大器，加上其它元器件的巧妙结合，可解决上述问题。这样，既保留了原实验的优点，克服了原万用表的痼疾，让学生提前接触业已非常普及的新电子器件，而且能提高学生的学习兴趣 and 实验教学质量，为他们将来学习电子技术准备感性认识和基本常识。

随着科技的发展，用现代电子技术革新物理实验是一个永恒的课题。

关键词：现代电子技术、革新、发光二极管、音乐集成电路、场效应管、运算放大器、数字集成电路

The study and research on innovating in electromagnetic experiments by using modern electronic techniques

HUANG Fu-dong

(Department of Physics, Shandong Normal University, Jinan)

Abstract

With the rapid development of science and technology, all kinds of new and developing electronic devices are constantly springing up, which are changing people's life and production in every aspect. They are especially pounding at traditional electromagnetic experiments. It is one of the most necessary problems that should be solved immediately in modern physical education to adopt modern electronic techniques to innovate in electromagnetic experiments.

Modern electronic techniques have extensive knowledge and profound scholarship. If we can selectively introduce a small amount of most valuable electronic devices, such as LED, musical IC, FET, arithmetic amplifier, digital IC, etc, in electromagnetic experiments, and apply them to practical teaching in a flexible way, we can bring about great improvement in the teaching of physical experiments.

1、The application of LED

取代了由分立元件制成的稳压电源。电磁学实验中需要多种电源，采用集成稳压电源能够显著地改善电源性能，提高实验的精度，方便操作，降低成本。由于集成稳压电源的制作较简单，物理教师可根据教学需要自制部分实用的集成稳压电源。

6、用运算放大器对指针式万用电表的改造

指针式万用电表一直是高中和普通物理教学的重点。但指针式万用电表在测量小直流电流、电压和电阻时误差较大，对电压小于 0.2 伏的交流电压则根本无法测量。应用集成运算放大器，加上其它元器件的巧妙结合，可解决上述问题。这样，既保留了原实验的优点，克服了原万用表的痼疾，让学生提前接触业已非常普及的新电子器件，而且能提高学生的学习兴趣 and 实验教学质量，为他们将来学习电子技术准备感性认识和基本常识。

随着科技的发展，用现代电子技术革新物理实验是一个永恒的课题。

关键词：现代电子技术、革新、发光二极管、音乐集成电路、场效应管、运算放大器、数字集成电路

The study and research on innovating in electromagnetic experiments by using modern electronic techniques

HUANG Fu-dong

(Department of Physics, Shandong Normal University, Jinan)

Abstract

With the rapid development of science and technology, all kinds of new and developing electronic devices are constantly springing up, which are changing people's life and production in every aspect. They are especially pounding at traditional electromagnetic experiments. It is one of the most necessary problems that should be solved immediately in modern physical education to adopt modern electronic techniques to innovate in electromagnetic experiments.

Modern electronic techniques have extensive knowledge and profound scholarship. If we can selectively introduce a small amount of most valuable electronic devices, such as LED, musical IC, FET, arithmetic amplifier, digital IC, etc, in electromagnetic experiments, and apply them to practical teaching in a flexible way, we can bring about great improvement in the teaching of physical experiments.

1、The application of LED

LED has one-way electric conductivity, and it can give off all kinds of colorful light when it is carrying current. It is an ideal device which can indicate the current direction. In electromagnetic experiments, all the experiments that need to indicate the current direction can be shown by LED. We can make some simple experiments by using LED directly. We can also make experimental instruments with LED and other devices to solve some difficulties which we meet with in teaching.

2、 The application of musical IC

Musical IC has high sensitivity. It consumes very little power. A “detector of faint direct current” can be formed by equipping musical IC with electric buzzer which is highly sensitive, or with a loudspeaker using magnified signals. Musical IC can be used to check the weaker current in experiment which needed. In this field , musical IC is used very widely. For example, it can be used to check the direct current produced by Voltaic cells, fruit cells, and hand generator, to check the magnetic field produced by solenoid carrying a current and charge、 discharge of a capacitor, etc.

3、 The application of electrical audio-visual media

The application of electrical audio-visual media gives a fresh impetus to the development of electromagnetic experiments. Especially the CAI courseware, it has great advantages that traditional experiments can not be compared with. For one thing, it not only can imitate and demonstrate the details of the experiments, and the phenomena which can not be seen easily, but also can imitate experiment process, show the phenomena which can never be seen in traditional experiments. Also it can synthesize many experiments and do systems analysis.

Besides, electrical audio-visual media is very convenient to collect, store and exchange information. With the development of science and technology, we can make considerable progress in this field.

4、 The application of digital meter

Digital meter has mostly taken the place of needle meters, with its great advantages, such as high precision, complete function, convenient operation, etc. It has been partly applied in ordinary physical experiments and the experiments made in high school. We can delve further into this aspect.

5、 The application of integrate power supply

The application of integrate power supply has basically replaced this kind of power supply which is made up of separated devices with its better function, lower cost and more convenient operation. In electromagnetic experiments many types of power sources are needed. It is very useful to adopt integrate power supply. Firstly, it can notably improve the power supply function. Secondly, it can

increase the precision. Thirdly, it can reduce the cost. Finally it is convenient to be operated. Since they can be made simply, physics teachers can make some practical integrate power supply themselves according to the needs of teaching.

6、 To reequip needle meter with arithmetic amplifier

Needle meters are mainly used in common physical teaching. But they has larger errors in measuring weak direct current and resistance. It can not measure the alternating current which is lower 0.2 volt at all. The problem above can be solved by applying arithmetic amplifier and using other devices cleverly. Doing this not only can keep the advantages of former experiments, overcome the shortcomings of former meter, but also can help the students to come into contact with the electronic devices which have been widely used, increase their study interests and improve the experimental teaching quality. It can also help the students to prepare perceptual knowledge with their studies on electronic techniques.

With the development of science and technology, it will be an eternal task to improve the physical experiments by using modern electronic techniques.

Key words

modern electronic techniques; innovation; LED; musical IC; field effect transistor; arithmetic amplifier; digital IC.