

电蚊拍的教学应用

罗道正

逢甲大学物理教学研究中心暨光电物理研究所

台中市西屯区文华路 100 号 40724

电邮：djlwo@fcu.edu.tw

收稿日期：二零零二年六月十三日（十二月十六日再修定）

内容

[摘要](#)

[前言](#)

[主要原理](#)

[制作工具与材料](#)

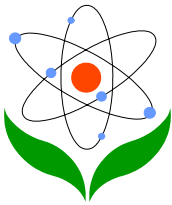
[电蚊拍的教学应用](#)

[操作时的注意事项](#)

[参考资料](#)

摘要

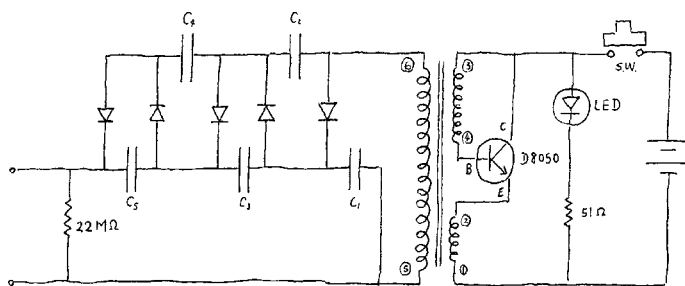
本文旨在介绍市面上容易买到，价钱在新台币 100 元左右且又不会太危险的电蚊拍，在普通物理电磁学范围的几种教学应用，相关的应用原理包括游离电压、电容与介电质、以及法拉第定律。



前言

当我在尝试修理故障的电蚊拍时，发觉线路上的几种基本电子电路组件刚好和大一普通物理电磁学所介绍的几种基本电路组件几乎相同，利用电阻、电容、电感(变压线圈)、整流半导体和晶体管物理特性的完美组合，不但提供了人蚊大战中我方最环保又有效的近迫防御武装，亦成为课堂上十分吸引学生兴趣的精彩教具。

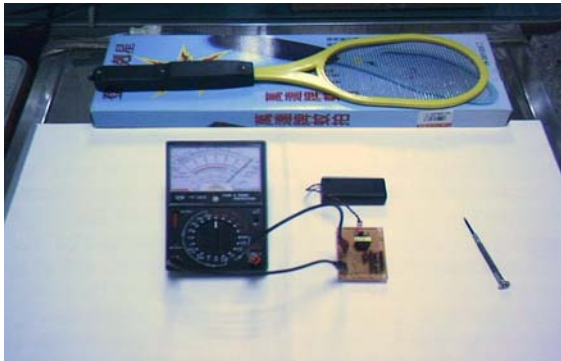
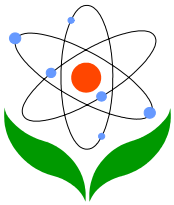
主要原理



图一

先看电蚊拍的电路图(如图一)，这和 He-Ne 气体雷射管的点亮电路是很像的，线圈变压器一共有三组绕线，其中两组圈数较少的绕线和晶体管共同负责产生间歇振荡讯号，另外一组圈数较多的绕线负责将电压升高，然后由一连串的整流半导体和电容器组合成垒增倍压电路，巧妙的将电压一倍又一倍的提高，最后在输出端加上放电保护电阻以免回授太强而造成晶体管被破坏。

当我们用一般的多用途电表当作伏特计，直接去量测此一电路时，遇到的困难是电压过高，通常会超出普通电表的量测范围，为了克服此一困难，我在晶体管的回授振荡电路之中加上一个 $2\text{k}\Omega$ 到 $10\text{k}\Omega$ 的可变电阻，它能有效的衰减回授讯号，使输出端的电压成为可以任意调变的大小(这时此一电路即成为低功率的可变高电压直流电源)，然后就能轻易地读出这电路上每一处的直流和交流电压值。



照片一:以多用途电表测量输出电压上限

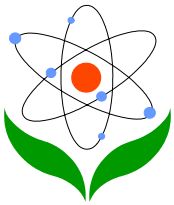


照片二:以多用途电表测量输出电压下限

可供教学应用的讨论项目

间歇振荡电路和线圈变压器可以用来讨论普通物理学之中的磁场、法拉第定律（感应电动势）、RL 电路、线圈变压器和晶体管，按下开关导通晶体管时，一组线圈会产生感应电动势而回授控制晶体管的基极使它开始间歇振荡(重复导通与不导通的状态)，另外的两组线圈是线圈变压器的主线圈和副线圈，这可以将两颗电池的直流电三伏特低电压电源改成交流电电压 100 伏特以上的较高电压。

由一连串的电容器和整流二极管所组成的垒增倍压电路可以用来讨论普通物理学之中的电场、电位、电容器、直流电 RC 电路、基本交流电路和半导体，至于在电蚊拍拍面上相邻的两条裸线各焊上一个凸出的放电接点之后，可以用来讨论普通物理学之中的导体与非导体、静电场和电位差。

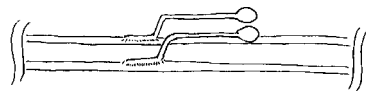


制作工具与材料

1. 电蚊拍一只。
2. 剪下的电子零件接脚或回纹针。
3. 烙铁、焊锡、平口剪和尖嘴钳。
4. $2\text{k}\Omega$ 到 $10\text{k}\Omega$ 的可变电阻一个。
5. 掌上型多用途电表一台。

电蚊拍的教学应用

一. 导体、非导体、静电场和电位

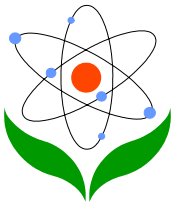


图二

利用已知一般空气在电场强度超过 $3 \times 10^6 \text{ V/m}$ 的条件之下会被游离而开始导电的物理特性[1]，只要在电蚊拍拍面上相邻的两条裸线各焊上一个凸出的放电接点如图二（用剪下的电子零件多余接脚即可），然后调整他们彼此尖端的间隔距离到 0.2mm 以内（约为一张纸的厚度即可），若以 1000 伏特以上的直流电压对此放电接点提供电位差，这将会产生 $(1000\text{V}/0.2\text{mm}) = 5 \times 10^6 \text{ V/m}$ 的电场，可以达到一般空气被游离而开始导电的物理条件，此时放电接点之间会不断的发出电光闪动和霹哩啪啦的声响，添加了声光效果的电蚊拍立刻会吸引您周围所有同学的注意与好奇，让他们拿去轮流玩一玩之后，我觉得同学们会更愿意加入静电学部分关于导体与非导体、静电场和电位差的讨论。



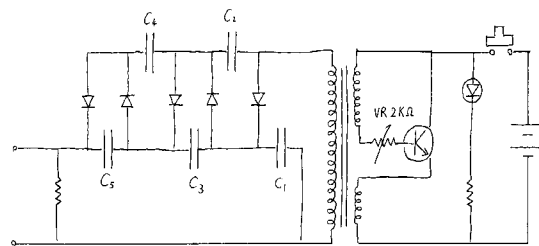
照片三:在电网线上加上两个放电接点



二. 电容器、电容值和介电质材料

如果将纸片滑入电蚊拍的放电接点之间会如何呢？会停止放电或减弱放电吗？还是会反应的更剧烈呢？可以在普通物理课本里查表比较一下空气和纸片的介电常数 ($K=\epsilon/\epsilon_0$) 及介电强度 (V/m)，因为纸片的介电常数是空气的 3.7 倍且纸片的介电强度是空气的 5 倍[2]，所以将纸片滑入电蚊拍的放电接点之间会增加电容值 ($C=Q/V=\epsilon A/d$)，每单位电压能储存的电荷数目增加且操作电压亦增加的结果，自然使得放电接点之间会产生更剧烈的声光效果，足以在纸片上烧出许多小洞，其实每当您用电蚊拍去电蚊子时，如果压着开关电久一点，也会观察到有电光闪动和霹哩啪啦的声响，这适合用来讨论静电学部份关于电容器的电容值、介电质材料。

三. RC 电路、电容器的频率响应和阻抗

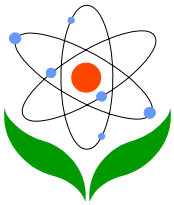


C_1 到 C_5 用 $0.0047\mu F$ 耐压 1000V 以上，可变电阻用 $2k\Omega$ 到 $10k\Omega$ ，其它组件与图一相同

图三

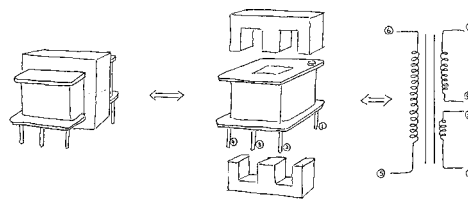
电蚊拍也是很有意思的基本电路教学例子，请参考电路图（如图三），如果在晶体管的回授放大振荡电路之中加上一个适当的可变电阻，它能有效的衰减回授讯号，使输出端的电压成为可以任意调变的大小，调可变电阻使输出端的电压不超过手边电表的量测范围，然后就可以量出这电路上每一处的直流电压值和交流电压值。

电容器 $C_{1\sim 5}$ 可以让高频率的交流电压通过（电容器的交流电阻抗 $X_c=1/\omega C=1/2\pi fC$ ），但是电容器 $C_{1\sim 5}$ 会隔离直流电压（各自达到它的 RC 充电稳态电压值），藉由半导体的单向导电特性，电容器 C_1 和 C_3 之间的直流电压值就成为电容器 C_2 和 C_4 之间交流电压的参考低电位，同理，电容器 C_2 和 C_4 之间的直流电压值就成为电容器 C_3 和 C_5 之间交流电压的参考低电位...，由一连串的电容器和整流二极管所组成的垒增倍压电路可以用来讨论普通物理学继静电学之后的 RC 电路、电容器的频率响应和阻抗。



四. 磁场、法拉第定律和 RL 电路

线圈变压器是常见的磁性电路组件，电蚊拍的线圈变压器通常有六只脚，这三组线圈利用同一只铁蕊内磁通量变化产生的感应电动势去控制晶体管的开关动作和升高电压。



图四

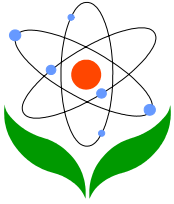
图四是电蚊拍内线圈变压器的分解图，接脚 3 和 4 之间的线圈在按下开关后，此一 RL 电路会容许微小的控制电流开始进入晶体管的基极而造成晶体管的集极与射极之间进入导通的状态，因而有较大的电流进入接脚 1 和 2 之间的线圈，这会造成线圈内铁蕊之磁通量变化而在接脚 5 和 6 之间的线圈上产生出感应电动势，线圈内铁蕊之磁通量变化当然也会在接脚 3 和 4 之间的线圈上产生出感应电动势，而且感应电动势的方向是减少电流进入晶体管的基极而造成晶体管的集极与射极之间进入不导通的状态，以上的晶体管开关动作速度极快，不断重复的结果就产生间歇振荡的电子讯号，因为接脚 5 和 6 之间的线圈数目很多，所以产生出很大的感应电动势送至由电容器和整流二极管所组成的垒增倍压电路，这用来产生低功率的高压电确实简单好用。

最后以我修好的那只电蚊拍为例，线圈变压器接脚 1 和 2 之间的线圈有 12 圈，接脚 3 和 4 之间的线圈有 24 圈，至于接脚 5 和 6 之间的线圈数目则多达 1345 圈，花了约二小时才接好断路的漆包线并一一地绕回去，如果只要判断变压器接脚，以掌上型多用途电表的欧姆档测试即可，圈数越多者电阻越大($R=\rho L/A$)。

操作时的注意事项

改装过的电蚊拍就像是一个瓦斯炉的电子点火器，一定要再三确认附近没有易燃物品和粉尘，以免发生火灾或爆炸的危险意外。

人被电蚊拍电到是极不舒服的，有心脏疾病者更要避免，才能确保安全。



参考资料

[1] Douglas C. Giancoli (2000), Physics for Scientists and Engineers, 3rd Ed., p. 622, Prentice Hall.

[2] 同上, P622.