

基于 CDIO 理念的多音阶简易电子琴电路实验的教学设计

于沛¹ 于晟伟^{1*} 王慧颖^{1*} 李晶² 孙墨¹ 孟瑜¹ 李姚¹

(1.中国消防救援学院, 北京 北京 102202, 2.北京石油化工学院, 北京 北京 102617)

摘要: 随着 CDIO 工程教育理念的推广, 其在实践教学中的应用受到广泛关注。本文以多音阶简易电子琴实验教学为例, 探讨 CDIO 理念在电子线路设计实验课程中的应用。将实验分为四个阶段: 构思阶段, 学生在教师引导下明确任务需求并分组讨论形成方案设计简报; 设计阶段, 通过 Proteus 软件仿真优化电路方案; 实施阶段, 完成原理图设计、PCB 制作及电路调试, 锻炼动手能力; 运行阶段, 小组展示作品并进行组间互评。通过全流程实践, 学生系统掌握了电子线路设计技能, 提升团队合作与创新能力, 为电子类课程实践教学提供参考, 实现了知识传授与能力培养的有机统一, 有效提高学生的工程实践能力。

关键词: CDIO; 电工与电子技术; 555 定时器; 简易电子琴

基金项目: 北京市教育委员会科研计划项目资助(KM202410017006); 北京石油化工学院课程思政示范课建设项目(ZDKCSZ202203004)

DOI: doi.org/10.70693/rwsk.v1i5.973

一、引言

CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate, 即构思—设计—实现—运行) 理念以学生为中心, 提供了“由点及线到面至体”的结构层次序列, 旨在通过系统的培养模式提升学生全方位的能力^[1]。很多教师专家将 CDIO 理念应用于教学实践中。向勇^[2]结合虚实结合的实验室建设和智慧平台应用, 创新实验教学方法, 提升学生工程思维素养。刘扬^[3]构建基于 CDIO 的三级实验项目体系, 培养学生从项目构思到运作的全过程能力。陈曦^[4]融合 OBE 和 CDIO 理念, 提出闭环管理教改方案, 通过任务增量划分和分级量化考核, 提升学生复杂数字系统构建能力, 创新实验教学方法。孙天晨^[5]开发基于 CDIO 理念的电路实验教学系统, 通过一体化教学资源、及时反馈机制和项目教学环节, 有效提升学生工程实践能力, 为电路实验教学提供新方法。罗东梅^[6]结合 CDIO 和 OBE 理念, 构建多元化课程资源和混合教学模式。段荣霞^[7]构建“三阶段、三平台、四环节”的线上线下融合式教学模式, 将思政元素融入教学过程, 通过项目驱动和全过程考核, 提升学生的综合能力和创新能力。

本文基于 CDIO 理念进行多音阶简易电子琴实验教学, 使学员深入理解 555 定时器的工作原理及其在多谐振荡器中的应用; 系统掌握电子线路设计的全流程, 包括电路设计、仿真、PCB 制作、调试与优化; 提高解决实际工程问题的能力, 培养团队合作和创新思维。让学生从产品构思到运行整个周期内, 通过主动探究、实践操作、有机融合的方式来了解工程、认识工程, 从而实现基础知识、个人能力、团队协作能力及工程系统能力 4 个层面的全方位。

二、基于 CDIO 的电路实验教学流程设计

作者简介: 于沛 (1989—), 女, 博士, 副教授, 研究方向为电工电子教学、消防救援装备;

于晟伟 (1995—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为偏微分方程、次黎曼流形、动力系统、复杂网络、高等数学教育;

王慧颖, 女, 博士, 副教授, 研究方向数学建模、大数据分析、大学数学教育;

李晶 (1987—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为硬件电路仿真教学;

孙墨 (2006—), 男, 本科在读;

孟瑜 (1989—), 女, 学士, 研究方向为教学管理;

李姚 (1999—), 男, 本科在读。

通信作者: 于晟伟, 王慧颖

结合 CDIO 工程教学理念，以“多音阶简易电子琴”为例阐释在实验教学中的应用过程。实验要求：以 555 定时器为基础构成多谐振荡器，要求实现高、中、低音阶的切换以及十二平均律的输入，使用喇叭来发出不同的音阶^[8,9]。教师为学生提供一套项目化、系统化的电子线路设计的全流程实验学习流程^[10]。学生在学习过程中，体会从方案设计、仿真、PCB 设计、电路板制作、功能验证、成品的全流程。如表 1 所示为基于 CDIO 理念的“多音阶简易电子琴”教学流程。

表 1 基于 CDIO 理念的多音阶简易电子琴电路实验教学流程

阶段	阶段名称	内容
1	构思	指导教师布置多音阶简易电子琴的实验要求，并给出 3-4 种实现方式，学生自由 3-4 人分组选题并设置组内人员分工，形成方案设计简报；指导教师根据小组简报情况，提出改进建议；
2	设计	查阅网络资源，选定虚拟电路元件，使用 Proteus 软件电路仿真，验证设计方案的正确性和可行性；
3	实施	仿真正确后，原理图设计、PCB 布局布线、焊接电子元器件、波形和功能测试。在指导教师的协助下，锻炼学生的动手能力和理论联系实际的能力；
4	运行	以小组为单位对各小组设计的实验作品进行功能展示，介绍设计方案、设计过程、实验过程中出现为问题和解决办法。指导教师点评和组间互评的方式共同提升学习效果。

三、实验案例

(一) 实验方案设计

实验方案组成框图如图 1 所示，方案包括电源、按键、选频、功率放大、扬声器模块以保证电子琴系统的正常工作。其中电源模块为系统提供总体电能；按键模块实现十二平均律的选择；选频模块实现低中高三音阶的转换；功率放大模块实现将输出波形进行放大处理，以驱动扬声器正常工作；扬声器模块实现音频的输出。



图 1 实验方案设计图

(二) 实验电路仿真

采用 Proteus 软件进行原理仿真设计如图 2 所示，将 NE555 的 2、6、7 脚连接构成多谐振荡器，并联电阻、电容构成 RC 振荡电路，通过改变串联电阻值改变振荡频率，连接 3 脚输出产生的音频，连接示波器可以观察到产生正确的波形图。

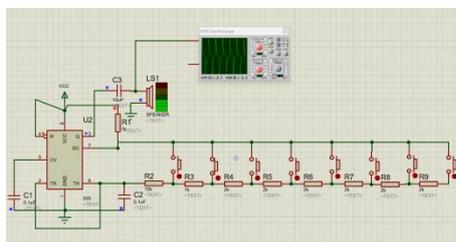


图 2 Proteus 软件仿真原理图

(三) 具体实施

3.1 原理图设计

555 定时器的多音阶简易电子琴设计与实现，包括电源、按键、选频、功率放大、扬声器模块以实现该电子琴正常运作。电源模块为系统供能提供电源，选频模块实现低中高音阶的转换，功率放大模块实现声音的放大，

接口模块设计为多按键进行交互。通过按钮开关来实现不同的 RC 调频网络，从而控制 555 多谐振荡器不同频率的波形输出；再经过音频功率放大器的放大，高、中、低音阶的切换以及十二平均律的输出。

3.1.1 电源模块设计

如图 3 所示为电源模块原理图，选用 6Pin TYPE-C 进行 5V 供电，使用 5.8mm 平头双掷有锁开关控制整体电流通断；使用 LED 灯检测电路的实际工作情况，同时串联限流电阻防止 LED 灯因电流过大导致烧毁；并将未使用的 CC1，CC2 接口串联下拉电阻进行接地处理，保证了系统供电的稳定性。

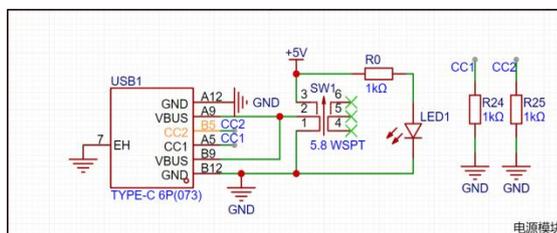


图 3 电源模块原理图

3.1.2 按键模块设计

通过 555 多谐振荡器输出不同频率的波形。由 555 定时器和外接元件 R_1 、 R_2 、 C 构成的多谐振荡器如图 4 所示，脚 2 与脚 6 直接相连。利用电源通过 R_1 、 R_2 向 C 充电，以及 C 通过 R_2 向放电端 DC 放电，使电路产生振荡。电容 C 在 $2/3 VCC$ 和 $1/3 VCC$ 之间充电和放电，从而在输出端得到一系列的矩形波。输出信号的时间参数为：

$$t_{w1} = 0.7(R_1 + R_2)C \tag{1}$$

$$t_{w2} = 0.7R_2C \tag{2}$$

$$T = t_{w1} + t_{w2} = 0.7(R_1 + 2R_2)C \tag{3}$$

其中， t_{w1} 为 VC 由 $1/3VCC$ 上升到 $2/3VCC$ 所需的时间， t_{w2} 为电容 C 放电所需的时间。所以，555 多谐振荡器输出矩形波的频率为：

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.7(R_1+2R_2)C} = \frac{1.43}{(R_1+2R_2)C} \tag{4}$$

为了调节输出波形的频率，我们取 $R_1=1k\Omega$ ， $C=0.4\mu F$ ，于是得到只含 R_2 变量的单变量关系式：

$$f = \frac{1.43 \times 10^7}{4(1+2R_2)} \tag{5}$$

通过改变 R_2 的大小就可获得不同输出频率的信号，在频率 f 已知的条件下，其相应的电阻 R_2 为：

$$R_2 = \frac{1.43 \times 10^7}{8f} - 2000 \tag{6}$$

由上述公式计算可以得到低音阶各音调所需调的电阻如下表 2 所示。

表 2 各音调对应电阻 (三线表)

音调	do	do#	re	re#	mi#	fa	fa#	sol	sol#	la	la#	si	do
阻值 (Ω)	11645	10906	10159	9495	8833	8243	7662	7119	6614	6125	5671	5236	4835

结合实际元器件进行筛选与近似值处理后，设计出如图 4 所示的选频模块原理图。其中 $U6$ 为可调电阻，随着阻值的调整，方便使用者调音或进行滑音演奏。

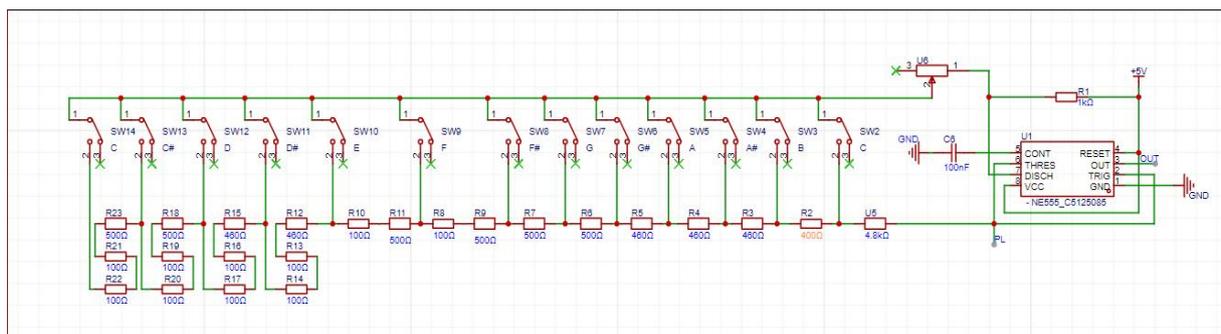


图 4 按键模块原理图

3.1.3 选频模块设计

在按键模块设计中，已经完成了低音阶电路的设计。由公式（4）可以得出，在电阻固定情况下，输出频率 f 是受电容 C 控制的。因此，改变电容 C 的大小，即可实现低音阶到中、高音阶的转换。中音的频率是低音的 2 倍，高音的频率是低音的 4 倍。使用单刀三掷开关进行切换，即可便捷的切换高、中、低频；将三个电容都分别并联一个 LED 灯，通过不同 LED 灯的亮灭以快速确定高中低频的选用。

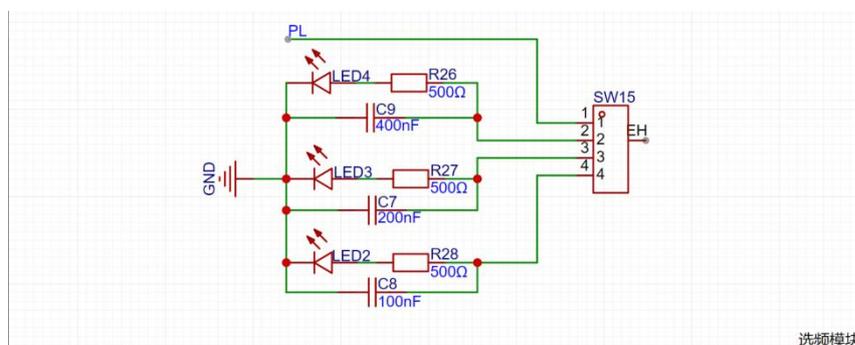


图 5 选频模块原理图

3.1.4 功率放大模块设计

如图 6 所示为功率放大模块，由 BX-PH2.0-4PZZ 和 LM386M-1 组成。使用 BX-PH2.0-4PZZ 接口实现电路板与外部扬声器之间的连接和信号传输，该模块实现了电路转化为音频的关键步骤。LM386M-1 实现功率放大，根据 LM386M-1 的数据手册确定功率放大器的放大倍率。公式（7）和（8）为放大倍数和输出公式，其中 β 为晶体管电流放大系数， R_C 为集电极电阻， r_{be} 为基极-发射极等效电阻。

$$A_v \approx -\beta \frac{R_C}{r_{be}} \quad (7)$$

$$u_0 = A_v \cdot u_i \quad (8)$$

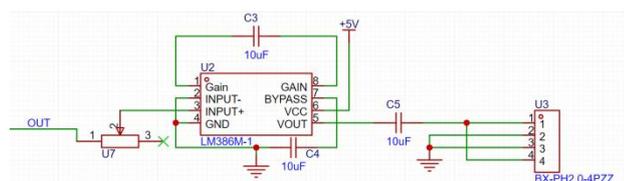


图 6 功率放大模块原理图

3.2 PCB 图设计

3.2.1 布局设计

根据电路原理图导入 PCB 板并确认主板大小后，将电路板所需的输入、输出接口优先放置在主板边缘，便于使用者使用，将各模块分类别集中放置，避免出现飞线交叉，确保各系统元件的顺利连接，将 LED 灯放置在对应功能的附近，即完成 PCB 板的布局设计如图 7 所示。

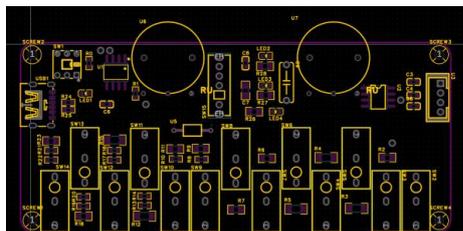
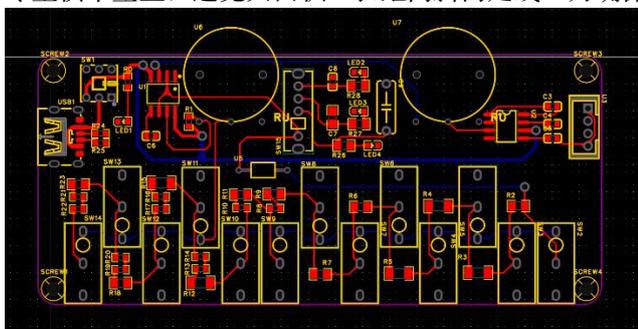


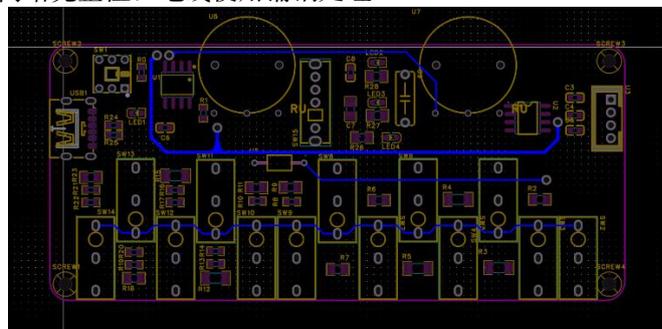
图 7 PCB 布局设计

3.2.2 布线设计

布线规则设置为电源线 (VBUS 5V 等) 0.5 毫米，信号线 (普通引脚) 0.25 毫米。使用双层板进行布线如图 8 所示，按照标准设计与美观规范，相同层之内避免出现直角、锐角布线，重要信号线尽可能远离主板边缘，在各引脚线路交叉处使用泪滴；不同层之间线路不平行走线，减少不必要的过孔数量，必要位置做净空处理；走线尽量横平竖直，避免大面积、长距离斜向走线。为确保网络完整性，地线使用铺铜处理。



(a) 顶层布线



(b) 底层布线

图 8 PCB 布线设计

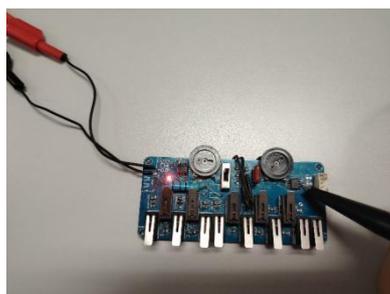
3.2.3 制版、焊接与调试

上传 PCB 图进行制版如图 9 (a) 所示，焊接前要首先确定元器件数量、种类、封装规格是否与 BOM 表 (如图 9 (b) 所示) 符合。优先焊接较难焊接的贴片、多引脚元器件，为避免烙铁高温损害塑料元器件，应在其余元器件焊接结束后，再焊接易受高温损害的元器件。焊接时，应确保焊盘、烙铁温度合适，必要时使用助焊剂辅助焊接的顺利进行，避免出现虚焊。单个器件焊接结束后，使用万用表测量是否虚焊，防止后续调试时出现较为严重的系统故障。焊接结束后，在确保各元器件功能正常的情况下进行通电调试，同时使用可调电源、万用表、示波器等实验设施辅助调试。如图 10 (a) 所示为实物电路板，10 (b) 所示为功能验证图。

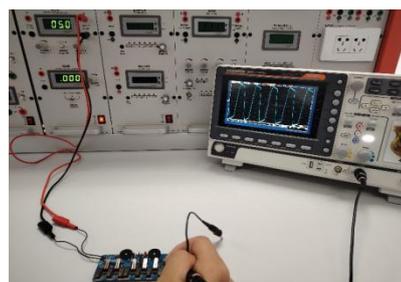


(a) 制版

No.	数量	单位	符号	封装	阻/容/电感	贴片数量
1	2	10kΩ	C5, C4, C3	0805	10kΩ	100
2	2	100kΩ	C6, C8	0805	100kΩ	100
3	2	200kΩ	C7	0805	200kΩ	50
4	4	400kΩ	C9	CAP_10L_1K_4_R2_9_FT_400kΩ		5
5	1	1kΩ	LED1, LED2, LED3, LED4, LED5, LED6, LED7, LED8, LED9, LED10, LED11, LED12, LED13, LED14, LED15, LED16, LED17, LED18, LED19, LED20, LED21, LED22, LED23, LED24, LED25, LED26, LED27, LED28, LED29, LED30, LED31, LED32, LED33, LED34, LED35, LED36, LED37, LED38, LED39, LED40, LED41, LED42, LED43, LED44, LED45, LED46, LED47, LED48, LED49, LED50, LED51, LED52, LED53, LED54, LED55, LED56, LED57, LED58, LED59, LED60, LED61, LED62, LED63, LED64, LED65, LED66, LED67, LED68, LED69, LED70, LED71, LED72, LED73, LED74, LED75, LED76, LED77, LED78, LED79, LED80, LED81, LED82, LED83, LED84, LED85, LED86, LED87, LED88, LED89, LED90, LED91, LED92, LED93, LED94, LED95, LED96, LED97, LED98, LED99, LED100, LED101, LED102, LED103, LED104, LED105, LED106, LED107, LED108, LED109, LED110, LED111, LED112, LED113, LED114, LED115, LED116, LED117, LED118, LED119, LED120, LED121, LED122, LED123, LED124, LED125, LED126, LED127, LED128, LED129, LED130, LED131, LED132, LED133, LED134, LED135, LED136, LED137, LED138, LED139, LED140, LED141, LED142, LED143, LED144, LED145, LED146, LED147, LED148, LED149, LED150, LED151, LED152, LED153, LED154, LED155, LED156, LED157, LED158, LED159, LED160, LED161, LED162, LED163, LED164, LED165, LED166, LED167, LED168, LED169, LED170, LED171, LED172, LED173, LED174, LED175, LED176, LED177, LED178, LED179, LED180, LED181, LED182, LED183, LED184, LED185, LED186, LED187, LED188, LED189, LED190, LED191, LED192, LED193, LED194, LED195, LED196, LED197, LED198, LED199, LED200, LED201, LED202, LED203, LED204, LED205, LED206, LED207, LED208, LED209, LED210, LED211, LED212, LED213, LED214, LED215, LED216, LED217, LED218, LED219, LED220, LED221, LED222, LED223, LED224, LED225, LED226, LED227, LED228, LED229, LED230, LED231, LED232, LED233, LED234, LED235, LED236, LED237, LED238, LED239, LED240, LED241, LED242, LED243, LED244, LED245, LED246, LED247, LED248, LED249, LED250, LED251, LED252, LED253, LED254, LED255, LED256, LED257, LED258, LED259, LED260, LED261, LED262, LED263, LED264, LED265, LED266, LED267, LED268, LED269, LED270, LED271, LED272, LED273, LED274, LED275, LED276, LED277, LED278, LED279, LED280, LED281, LED282, LED283, LED284, LED285, LED286, LED287, LED288, LED289, LED290, LED291, LED292, LED293, LED294, LED295, LED296, LED297, LED298, LED299, LED300, LED301, LED302, LED303, LED304, LED305, LED306, LED307, LED308, LED309, LED310, LED311, LED312, LED313, LED314, LED315, LED316, LED317, LED318, LED319, LED320, LED321, LED322, LED323, LED324, LED325, LED326, LED327, LED328, LED329, LED330, LED331, LED332, LED333, LED334, LED335, LED336, LED337, LED338, LED339, LED340, LED341, LED342, LED343, LED344, LED345, LED346, LED347, LED348, LED349, LED350, LED351, LED352, LED353, LED354, LED355, LED356, LED357, LED358, LED359, LED360, LED361, LED362, LED363, LED364, LED365, LED366, LED367, LED368, LED369, LED370, LED371, LED372, LED373, LED374, LED375, LED376, LED377, LED378, LED379, LED380, LED381, LED382, LED383, LED384, LED385, LED386, LED387, LED388, LED389, LED390, LED391, LED392, LED393, LED394, LED395, LED396, LED397, LED398, LED399, LED400, LED401, LED402, LED403, LED404, LED405, LED406, LED407, LED408, LED409, LED410, LED411, LED412, LED413, LED414, LED415, LED416, LED417, LED418, LED419, LED420, LED421, LED422, LED423, LED424, LED425, LED426, LED427, LED428, LED429, LED430, LED431, LED432, LED433, LED434, LED435, LED436, LED437, LED438, LED439, LED440, LED441, LED442, LED443, LED444, LED445, LED446, LED447, LED448, LED449, LED450, LED451, LED452, LED453, LED454, LED455, LED456, LED457, LED458, LED459, LED460, LED461, LED462, LED463, LED464, LED465, LED466, LED467, LED468, LED469, LED470, LED471, LED472, LED473, LED474, LED475, LED476, LED477, LED478, LED479, LED480, LED481, LED482, LED483, LED484, LED485, LED486, LED487, LED488, LED489, LED490, LED491, LED492, LED493, LED494, LED495, LED496, LED497, LED498, LED499, LED500, LED501, LED502, LED503, LED504, LED505, LED506, LED507, LED508, LED509, LED510, LED511, LED512, LED513, LED514, LED515, LED516, LED517, LED518, LED519, LED520, LED521, LED522, LED523, LED524, LED525, LED526, LED527, LED528, LED529, LED530, LED531, LED532, LED533, LED534, LED535, LED536, LED537, LED538, LED539, LED540, LED541, LED542, LED543, LED544, LED545, LED546, LED547, LED548, LED549, LED550, LED551, LED552, LED553, LED554, LED555, LED556, LED557, LED558, LED559, LED560, LED561, LED562, LED563, LED564, LED565, LED566, LED567, LED568, LED569, LED570, LED571, LED572, LED573, LED574, LED575, LED576, LED577, LED578, LED579, LED580, LED581, LED582, LED583, LED584, LED585, LED586, LED587, LED588, LED589, LED590, LED591, LED592, LED593, LED594, LED595, LED596, LED597, LED598, LED599, LED600, LED601, LED602, LED603, LED604, LED605, LED606, LED607, LED608, LED609, LED610, LED611, LED612, LED613, LED614, LED615, LED616, LED617, LED618, LED619, LED620, LED621, LED622, LED623, LED624, LED625, LED626, LED627, LED628, LED629, LED630, LED631, LED632, LED633, LED634, LED635, LED636, LED637, LED638, LED639, LED640, LED641, LED642, LED643, LED644, LED645, LED646, LED647, LED648, LED649, LED650, LED651, LED652, LED653, LED654, LED655, LED656, LED657, LED658, LED659, LED660, LED661, LED662, LED663, LED664, LED665, LED666, LED667, LED668, LED669, LED670, LED671, LED672, LED673, LED674, LED675, LED676, LED677, LED678, LED679, LED680, LED681, LED682, LED683, LED684, LED685, LED686, LED687, LED688, LED689, LED690, LED691, LED692, LED693, LED694, LED695, LED696, LED697, LED698, LED699, LED700, LED701, LED702, LED703, LED704, LED705, LED706, LED707, LED708, LED709, LED710, LED711, LED712, LED713, LED714, LED715, LED716, LED717, LED718, LED719, LED720, LED721, LED722, LED723, LED724, LED725, LED726, LED727, LED728, LED729, LED730, LED731, LED732, LED733, LED734, LED735, LED736, LED737, LED738, LED739, LED740, LED741, LED742, LED743, LED744, LED745, LED746, LED747, LED748, LED749, LED750, LED751, LED752, LED753, LED754, LED755, LED756, LED757, LED758, LED759, LED760, LED761, LED762, LED763, LED764, LED765, LED766, LED767, LED768, LED769, LED770, LED771, LED772, LED773, LED774, LED775, LED776, LED777, LED778, LED779, LED780, LED781, LED782, LED783, LED784, LED785, LED786, LED787, LED788, LED789, LED790, LED791, LED792, LED793, LED794, LED795, LED796, LED797, LED798, LED799, LED800, LED801, LED802, LED803, LED804, LED805, LED806, LED807, LED808, LED809, LED810, LED811, LED812, LED813, LED814, LED815, LED816, LED817, LED818, LED819, LED820, LED821, LED822, LED823, LED824, LED825, LED826, LED827, LED828, LED829, LED830, LED831, LED832, LED833, LED834, LED835, LED836, LED837, LED838, LED839, LED840, LED841, LED842, LED843, LED844, LED845, LED846, LED847, LED848, LED849, LED850, LED851, LED852, LED853, LED854, LED855, LED856, LED857, LED858, LED859, LED860, LED861, LED862, LED863, LED864, LED865, LED866, LED867, LED868, LED869, LED870, LED871, LED872, LED873, LED874, LED875, LED876, LED877, LED878, LED879, LED880, LED881, LED882, LED883, LED884, LED885, LED886, LED887, LED888, LED889, LED890, LED891, LED892, LED893, LED894, LED895, LED896, LED897, LED898, LED899, LED900, LED901, LED902, LED903, LED904, LED905, LED906, LED907, LED908, LED909, LED910, LED911, LED912, LED913, LED914, LED915, LED916, LED917, LED918, LED919, LED920, LED921, LED922, LED923, LED924, LED925, LED926, LED927, LED928, LED929, LED930, LED931, LED932, LED933, LED934, LED935, LED936, LED937, LED938, LED939, LED940, LED941, LED942, LED943, LED944, LED945, LED946, LED947, LED948, LED949, LED950, LED951, LED952, LED953, LED954, LED955, LED956, LED957, LED958, LED959, LED960, LED961, LED962, LED963, LED964, LED965, LED966, LED967, LED968, LED969, LED970, LED971, LED972, LED973, LED974, LED975, LED976, LED977, LED978, LED979, LED980, LED981, LED982, LED983, LED984, LED985, LED986, LED987, LED988, LED989, LED990, LED991, LED992, LED993, LED994, LED995, LED996, LED997, LED998, LED999, LED1000, LED1001, LED1002, LED1003, LED1004, LED1005, LED1006, LED1007, LED1008, LED1009, LED1010, LED1011, LED1012, LED1013, LED1014, LED1015, LED1016, LED1017, LED1018, LED1019, LED1020, LED1021, LED1022, LED1023, LED1024, LED1025, LED1026, LED1027, LED1028, LED1029, LED1030, LED1031, LED1032, LED1033, LED1034, LED1035, LED1036, LED1037, LED1038, LED1039, LED1040, LED1041, LED1042, LED1043, LED1044, LED1045, LED1046, LED1047, LED1048, LED1049, LED1050, LED1051, LED1052, LED1053, LED1054, LED1055, LED1056, LED1057, LED1058, LED1059, LED1060, LED1061, LED1062, LED1063, LED1064, LED1065, LED1066, LED1067, LED1068, LED1069, LED1070, LED1071, LED1072, LED1073, LED1074, LED1075, LED1076, LED1077, LED1078, LED1079, LED1080, LED1081, LED1082, LED1083, LED1084, LED1085, LED1086, LED1087, LED1088, LED1089, LED1090, LED1091, LED1092, LED1093, LED1094, LED1095, LED1096, LED1097, LED1098, LED1099, LED1100, LED1101, LED1102, LED1103, LED1104, LED1105, LED1106, LED1107, LED1108, LED1109, LED1110, LED1111, LED1112, LED1113, LED1114, LED1115, LED1116, LED1117, LED1118, LED1119, LED1120, LED1121, LED1122, LED1123, LED1124, LED1125, LED1126, LED1127, LED1128, LED1129, LED1130, LED1131, LED1132, LED1133, LED1134, LED1135, LED1136, LED1137, LED1138, LED1139, LED1140, LED1141, LED1142, LED1143, LED1144, LED1145, LED1146, LED1147, LED1148, LED1149, LED1150, LED1151, LED1152, LED1153, LED1154, LED1155, LED1156, LED1157, LED1158, LED1159, LED1160, LED1161, LED1162, LED1163, LED1164, LED1165, LED1166, LED1167, LED1168, LED1169, LED1170, LED1171, LED1172, LED1173, LED1174, LED1175, LED1176, LED1177, LED1178, LED1179, LED1180, LED1181, LED1182, LED1183, LED1184, LED1185, LED1186, LED1187, LED1188, LED1189, LED1190, LED1191, LED1192, LED1193, LED1194, LED1195, LED1196, LED1197, LED1198, LED1199, LED1200, LED1201, LED1202, LED1203, LED1204, LED1205, LED1206, LED1207, LED1208, LED1209, LED1210, LED1211, LED1212, LED1213, LED1214, LED1215, LED1216, LED1217, LED1218, LED1219, LED1220, LED1221, LED1222, LED1223, LED1224, LED1225, LED1226, LED1227, LED1228, LED1229, LED1230, LED1231, LED1232, LED1233, LED1234, LED1235, LED1236, LED1237, LED1238, LED1239, LED1240, LED1241, LED1242, LED1243, LED1244, LED1245, LED1246, LED1247, LED1248, LED1249, LED1250, LED1251, LED1252, LED1253, LED1254, LED1255, LED1256, LED1257, LED1258, LED1259, LED1260, LED1261, LED1262, LED1263, LED1264, LED1265, LED1266, LED1267, LED1268, LED1269, LED1270, LED1271, LED1272, LED1273, LED1274, LED1275, LED1276, LED1277, LED1278, LED1279, LED1280, LED1281, LED1282, LED1283, LED1284, LED1285, LED1286, LED1287, LED1288, LED1289, LED1290, LED1291, LED1292, LED1293, LED1294, LED1295, LED1296, LED1297, LED1298, LED1299, LED1300, LED1301, LED1302, LED1303, LED1304, LED1305, LED1306, LED1307, LED1308, LED1309, LED1310, LED1311, LED1312, LED1313, LED1314, LED1315, LED1316, LED1317, LED1318, LED1319, LED1320, LED1321, LED1322, LED1323, LED1324, LED1325, LED1326, LED1327, LED1328, LED1329, LED1330, LED1331, LED1332, LED1333, LED1334, LED1335, LED1336, LED1337, LED1338, LED1339, LED1340, LED1341, LED1342, LED1343, LED1344, LED1345, LED1346, LED1347, LED1348, LED1349, LED1350, LED1351, LED1352, LED1353, LED1354, LED1355, LED1356, LED1357, LED1358, LED1359, LED1360, LED1361, LED1362, LED1363, LED1364, LED1365, LED1366, LED1367, LED1368, LED1369, LED1370, LED1371, LED1372, LED1373, LED1374, LED1375, LED1376, LED1377, LED1378, LED1379, LED1380, LED1381, LED1382, LED1383, LED1384, LED1385, LED1386, LED1387, LED1388, LED1389, LED1390, LED1391, LED1392, LED1393, LED1394, LED1395, LED1396, LED1397, LED1398, LED1399, LED1400, LED1401, LED1402, LED1403, LED1404, LED1405, LED1406, LED1407, LED1408, LED1409, LED1410, LED1411, LED1412, LED1413, LED1414, LED1415, LED1416, LED1417, LED1418, LED1419, LED1420, LED1421, LED1422, LED1423, LED1424, LED1425, LED1426, LED1427, LED1428, LED1429, LED1430, LED1431, LED1432, LED1433, LED1434, LED1435, LED1436, LED1437, LED1438, LED1439, LED1440, LED1441, LED1442, LED1443, LED1444, LED1445, LED1446, LED1447, LED1448, LED1449, LED1450, LED1451, LED1452, LED1453, LED1454, LED1455, LED1456, LED1457, LED1458, LED1459, LED1460, LED1461, LED1462, LED1463, LED1464, LED1465, LED1466, LED1467, LED1468, LED1469, LED1470, LED1471, LED1472, LED1473, LED1474, LED1475, LED1476, LED1477, LED1478, LED1479, LED1480, LED1481, LED1482, LED1483, LED1484, LED1485, LED1486, LED1487, LED1488, LED1489, LED1490, LED1491, LED1492, LED1493, LED1494, LED1495, LED1496, LED1497, LED1498, LED1499, LED1500, LED1501, LED1502, LED1503, LED1504, LED1505, LED1506, LED1507, LED1508, LED1509, LED1510, LED1511, LED1512, LED1513, LED1514, LED1515, LED1516, LED1517, LED1518, LED1519, LED1520, LED1521, LED1522, LED1523, LED1524, LED1525, LED1526, LED1527, LED1528, LED1529, LED1530, LED1531, LED1532, LED1533, LED1534, LED1535, LED1536, LED1537, LED1538, LED1539, LED1540, LED1541, LED1542, LED1543, LED1544, LED1545, LED1546, LED1547, LED1548, LED1549, LED1550, LED1551, LED1552, LED1553, LED1554, LED1555, LED1556, LED1557, LED1558, LED1559, LED1560, LED1561, LED1562, LED1563, LED1564, LED1565, LED1566, LED1567, LED1568, LED1569, LED1570, LED1571, LED1572, LED1573, LED1574, LED1575, LED1576, LED1577, LED1578, LED1579, LED1580, LED1581, LED1582, LED1583, LED1584, LED1585, LED1586, LED1587, LED1588, LED1589, LED1590, LED1591, LED1592, LED1593, LED1594, LED1595, LED1596, LED1597, LED1598, LED1599, LED1600, LED1601, LED1602, LED1603, LED1604, LED1605, LED1606, LED1607, LED1608, LED1609, LED1610, LED1611, LED1612, LED1613, LED1614, LED1615, LED1616, LED1617, LED1618, LED1619, LED1620, LED1621, LED1622, LED1623, LED1624, LED1625, LED1626, LED1627, LED1628, LED1629, LED1630, LED1631, LED1632, LED1633, LED1634, LED1635, LED1636, LED1637, LED1638, LED1639, LED1640, LED1641, LED1642, LED1643, LED1644, LED1645, LED1646, LED1647, LED1648, LED1649, LED1650, LED1651, LED1652, LED1653, LED1654, LED1655, LED1656, LED1657, LED1658, LED1659, LED1660, LED1661, LED1662, LED1663, LED1664, LED1665, LED1666, LED1667, LED1668, LED1669, LED1670, LED1671, LED1672, LED1673, LED1674, LED1675, LED1676, LED1677, LED1678, LED1679, LED1680, LED1681, LED1682, LED1683, LED1684, LED1685, LED1686, LED1687, LED1688, LED1689, LED1690, LED1691, LED1692, LED1693, LED1694, LED1695, LED1696, LED1697, LED1698, LED1699, LED1700, LED1701, LED1702, LED1703, LED1704, LED1705, LED1706, LED1707, LED1708, LED1709, LED1710, LED1711, LED1712, LED1713, LED1714, LED1715, LED1716, LED1717, LED1718, LED1719, LED1720, LED1721, LED1722, LED1723, LED1724, LED1725, LED1726, LED1727, LED1728, LED1729, LED1730, LED1731, LED1732, LED1733, LED1734, LED1735, LED1736, LED1737, LED1738, LED1739, LED1740, LED1741, LED1742, LED1743, LED1744, LED1745, LED1746, LED1747, LED1748, LED1749, LED1750, LED1751, LED1752, LED1753, LED1754, LED1755, LED1756, LED1757, LED1758, LED1759, LED1760, LED1761, LED1762, LED1763, LED1764, LED1765, LED1766, LED1767, LED1768, LED1769, LED1770, LED1771, LED1772, LED1773, LED1774, LED1775, LED1776, LED1777, LED1778, LED1779, LED1780, LED1781, LED1782, LED1783, LED1784, LED1785, LED1786, LED1787, LED1788, LED1789, LED1790, LED1791, LED1792, LED1793, LED1794, LED1795, LED1796, LED1797, LED1798, LED1799, LED1800, LED1801, LED1802, LED1803, LED1804, LED1805, LED1806, LED1807, LED1808, LED1809, LED1810, LED1811, LED1812, LED1813, LED1814, LED1815, LED1816, LED1817, LED1818, LED1819, LED1820, LED1821, LED1822, LED1823, LED1824, LED1825, LED1826, LED1827, LED1828, LED1829, LED1830, LED1831, LED1832, LED1833, LED1834, LED1835, LED1836, LED1837, LED1838, LED1839, LED1840, LED1841, LED1842, LED1843, LED1844, LED1845, LED1846, LED1847, LED1848, LED1849, LED1850, LED1851, LED1852, LED1853, LED1854, LED1855, LED1856, LED1857, LED1858, LED1859, LED1860, LED1861, LED1862, LED1863, LED1864, LED1865, LED1866, LED1867, LED1868, LED1869, LED1870, LED1871, LED1872, LED1873, LED1874, LED1875, LED1876, LED1877, LED1878, LED1879, LED1880, LED1881, LED1882, LED1883, LED1884, LED1885, LED1886, LED1887, LED1888, LED1889, LED1890, LED1891, LED1892, LED1893, LED1894, LED1895, LED1896, LED1897, LED1898, LED1899, LED1900, LED1901, LED1902, LED1903, LED1904, LED1905, LED1906, LED1907, LED1908, LED1909, LED1910, LED1911, LED1912, LED1913, LED1914, LED1915, LED1916, LED1917, LED1918, LED1919, LED1920, LED1921, LED1922, LED1923, LED1924, LED1925, LED1926, LED1927, LED1928, LED1929, LED1930, LED1931, LED1932, LED1933, LED1934, LED1935, LED1936, LED1937, LED1938, LED1939, LED1940, LED1941, LED1942, LED1943, LED1944, LED1945, LED1946, LED1947, LED1948, LED1949, LED1950, LED1951, LED1952, LED1953, LED1954, LED1955, LED1956, LED1957, LED1958, LED1959, LED1960, LED1961, LED1962, LED1963, LED1964, LED1965, LED1966, LED1967, LED1968, LED1969, LED1970, LED1971, LED1972, LED1973, LED1974, LED1975, LED1976, LED1977, LED1978, LED1979, LED1980, LED1981, LED1982, LED1983, LED1984, LED1985, LED1986, LED1987, LED1988, LED1989, LED1990, LED1991, LED1992, LED1993, LED1994, LED1995, LED1996, LED1997, LED1998, LED1999, LED2000, LED2001, LED2002, LED2			



(a) 实物电路板



(b) 功能验证

图 10 实物图

(四) 考核评价

采用“五维度”评价体系，从实践能力、学习态度、创新能力、沟通协作能力、团队贡献度等方面全过程全方位考核学生的学习效果。其中实践能力和学习态度的评定方法以客观评价为主，利用软件中自带的 DRC 检查客观评价；创新能力、沟通协作能力和团队贡献度的评定方法结合了学员组内互评和教师综合主观评价。如表 3 所示为具体的考核评价点。

表 3 考核评价点

维度	权重	考核内容	评定方法
实践能力	30%	原理图绘制、PCB 绘制、符号绘制、封装绘制	DRC 检查通过、提交作业客观评价
学习态度	20%	实验报告查阅资料与撰写	官网统计、报告内容客观评价
创新能力	15%	综合答辩项目创新性	综合评价 (教师)
沟通协作能力	20%	团队协作项目沟通协作能力、综合答辩项目沟通协作能力	组内互评 (学生)
团队贡献度	15%	团队协作项目完成度、综合答辩项目完成度	综合评价 (教师)

四、结论

CDIO 工程教育理念对培养高素质工程技术人才具有重要意义。指导教师应找准 CDIO 理念与电子线路设计课程的契合点，从学生的兴趣点出发，发挥工程文化的育人功能，切实提高学生的实践能力，实现知识传授与能力培养的有机统一。

参考文献:

- [1] 李辰,舒睿,刘贵杰.基于 CDIO 理念的“多层次”电工电子实训教学模式探究与实践[J].黑龙江教育(理论与实践),2023,(10):63-65.
- [2] 向勇.基于 CDIO 理念探索电子控制技术实验教学新模式[J].中国教育技术装备,2024,(21):150-153.
- [3] 刘扬.新工科背景下 CDIO 理念在《电工电子学实验》中的应用[J].电脑知识与技术,2020,16(02):142-144+146.
- [4] 陈曦,于金鹏.基于 OBE-CDIO 理念的“数字电子技术”实验教学设计[J].电气电子教学学报,2023,45(01):200-203.
- [5] 孙天晨.基于 CDIO 的电路实验教学系统设计开发与应用研究[D].华东师范大学,2023.
- [6] 罗东梅,何姗姗,孙文玲,等.CDIO-OBE 理念下的嵌入式系统课程改革探索与实践[J].电脑知识与技术,2025,21(08):161-164.
- [7] 段荣霞,郎宾,李楠.基于 CDIO 工程教育模式的“电工电子实训”课程教学设计研究[J].工业和信息化教育,2024,(05):76-80.

- [8] 黄杰庆,戴权晶,刘月红.一种基于 555 定时器的多音阶简易电子琴设计与实现[J].电子制作,2022,30(14):74-76.
- [9] 杨艺敏,刘涛,陈锡华,等.基于 BOPPPS 教学模式的数字电路与逻辑设计课程教学探究——以 NE555 定时器及其应用为例[J].西部素质教育,2025,11(04):173-177.
- [10] 于沛,李晶,丁杨,等.电子电路设计实验全流程教学改革探索[J].电气电子教学学报,2024,46(04):204-207.

Teaching Design of Multi scale Simple Electronic Piano Circuit Experiment Based on CDIO Concept

Yu Pei¹, Yu Chengwei^{1*}, Wang Huiying^{1*}, Li Jing², Sun Mo¹, Meng Yu¹, Li Yao¹

¹ China Fire and Rescue Institute, Beijing 102202, China

² Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China

Abstract: With the promotion of the CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate) engineering education philosophy, its application in practical teaching has attracted widespread attention. This paper takes the Multi-scale Simple Electronic Piano experimental teaching as an example to explore the application of the CDIO philosophy in the electronic circuit design experimental course. The experiment is divided into four stages: In the Conceive stage, students, under the guidance of teachers, clarify the task requirements and form design briefs through group discussions. In the Design stage, students optimize the circuit design through simulation using Proteus software. In the Implement stage, students complete the schematic design, PCB fabrication, and circuit debugging, thereby enhancing their hands-on skills. In the Operate stage, groups showcase their works and conduct peer evaluations. Through the entire process of practice, students systematically master the skills of electronic circuit design, improve their teamwork and innovation abilities, and provide a reference for the practical teaching of electronic courses. It effectively integrates knowledge transmission with capability cultivation and significantly enhances students' engineering practice abilities.

Keywords: CDIO; Electrical and Electronic Technology; 555 Timer; Simple Electronic Piano