

机械工人职业技能培训教材



电工基础

(中级工适用)

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

理论技能尽在其中



机械工业出版社

机械工人职业技能培训教材

电 工 基 础

(中级工适用)

机械工业职业技能鉴定指导中心 编



机械工业出版社

本书的主要内容有：直流电路，磁性材料与磁路，正弦交流电路，直流电机和同步电机，晶体管放大和振荡电路，晶闸管及其应用，数字电路基础和电工测量等。

本书内容以基本概念和原理为主，加强电路分析，注重实际能力的培养，语言简练，通俗易懂，具有工人培训教材的特色。本书可作为电工类中级培训教材，也可供其他工种人员自学及工程技术人员参考。

电 工 基 础

（中级工适用）

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

*

责任编辑：郑文斌 版式设计：张世琴

封面设计：姚 毅 责任校对：吴美英

责任印制：何全君

*

机械工业出版社出版（北京市百万庄大街 22 号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

北京京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 850mm×1168mm¹/₃₂·印张 8.25·字数 215 千字

1999 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印数 0 001—6 000·定价：14.00 元

*

ISBN 7-111-01929-6/TM·783

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

机械工人职业技能培训教材与题库 编审委员会名单

(按姓氏笔画排列)

主任委员	邵奇惠			
副主任委员	史丽雯	李成云	苏泽民	陈瑞藻
	谷政协	张文利	郝广发	(常务)
委	于新民	田力飞	田永康	关连英
员	刘亚琴	孙旭	李明全	李玲
	李超群	吴志清	张岚	张佩娟
	邵正元	杨国林	范申平	姜世勇
	赵惠敏	施斌	徐顺年	董无岸
技术顾问	杨溥泉			
本书主编	李廷法			
参编	熊开东	郭再泉	王亚娟	
	陆荣	李巍巍		
本书主审	彭罗良			

前 言

这套教材及试题库是为了与原劳动部、机械工业部联合颁发的机械工业《职业技能鉴定规范》配套，为了提高广大机械工人的职业技能水平而编写的。

三百六十行，各行各业对从业人员都有自己特有的职业技能要求。从业人员必须熟练地掌握本行业、本岗位的职业技能，具备一定的包括职业技能在内的职业素质，才能胜任工作，把工作做好，为社会做出应有的贡献，实现自己的人生价值。

机械制造业是技术密集型的行业。这个行业对其职工职业素质的要求比较高。在科学技术迅速发展的今天，更是这样。机械行业职工队伍的一半以上是技术工人。他们是企业的主体，是振兴和发展我国机械工业极其重要的技术力量。技术工人队伍的素质如何，直接关系到行业、企业的生存和发展。在市场经济条件下，企业之间的竞争，归根结底是人才的竞争。优秀的技术工人是企业各类人才中重要的组成部分。企业必须有一支高素质的技术工人队伍，有一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠，才能保证产品质量，提高生产效率，降低物质消耗，使企业获得经济效益；才能支持企业不断推出新产品去占领市场，在激烈的市场竞争中立于不败之地。

机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训，重视工人培训教材等基础建设工作，并在几十年的实践中积累了丰富的经验。尤其是在“七五”和“八五”期间，先后组织编写出版了《机械工人技术理论培训教材》149种，《机械工人操作技能培训教材》85种，以及配套的习题集、试题库和各种辅助性教材共约700种，基本满足了机械行业工人职业培训的需要。上述各类教材以其行业针对性、实用性强，职业工种覆盖面广，层次齐备和成龙

配套等特点,受到全国机械行业工人培训、考核部门和广大机械工人的欢迎。

1994年以来,我国相继颁布了《劳动法》、《职业教育法》,逐步推行了职业技能鉴定和职业资格证书制度。我国的职业技能培训开始走上了法制化轨道。为适应新形势的要求,进一步提高机械行业技术工人队伍的素质,实现机械、汽车工业跨世纪的战略目标,我们在组织修改、修订《机械工人技术理论培训教材》,使其以新的面貌继续发挥在行业工人职业培训工作中的作用的同时,又组织编写了这套《机械工人职业技能培训教材》和《技能鉴定考核题库》,共87种,以更好地满足行业和社会的需要。

《机械工人职业技能培训教材》是依据原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》编写的,包括18个机械工业通用工种。各工种均按《职业技能鉴定规范》中初、中、高三级“知识要求”(主要是“专业知识”部分)和“技能要求”分三册编写,适合于不同等级工人职业培训、自学和参加鉴定考核使用;对多个工种有共同要求的“基本知识”如识图、制图知识等,另编写了公共教材,以利于单科培训和工人自学提高。试题库分别按工种和学科编写。

本套教材继续保持了行业针对性强和注重实用性的特点,采用了国家最新标准、法定计量单位和最新名词、术语;各工种教材则更加突出了理论和实践的结合,将“专业知识”和“操作技能”有机地融于一体,形成了本套教材的一个新的特色。

本套教材是由机械工业相对集中和发达的上海、天津、江苏、山东、四川、安徽、沈阳等地区机械行业管理部门和中国第一汽车集团公司等企业组织有关专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师编写的。在此,谨向为编写本套教材付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢!教材中难免存在不足和错误,诚恳希望专家和广大读者批评指正。

机械工业职业技能鉴定指导中心

目 录

前言

第一章 直流电路	1
第一节 基尔霍夫定律	1
第二节 电压源和电流源及其等效变换	5
第三节 叠加原理	9
第四节 戴维南定理	11
复习思考题	15
第二章 磁性材料与磁路	17
第一节 铁磁性材料及其磁性能	17
第二节 磁路和磁路定律	21
第三节 电磁铁	27
复习思考题	30
第三章 正弦交流电路	32
第一节 正弦交流电的表示方法	32
第二节 电阻、电感和电容的串联电路	33
第三节 感性负载与电容的并联电路	42
第四节 三相交流电路	47
复习思考题	59
第四章 直流电机和同步电机	61
第一节 直流电机的结构和工作原理	61
第二节 直流电机的换向	70
第三节 直流发电机的运行特性	73
第四节 直流电动机的机械特性	77
第五节 同步电机简介	80
第六节 三相同步电动机	82
复习思考题	84
第五章 晶体管放大电路和振荡电路	85

第一节	单管放大电路	85
第二节	放大电路的图解分析法	90
第三节	放大电路的微变等效电路法	94
第四节	静态工作点稳定的放大电路	99
第五节	射极输出器	102
第六节	场效应管及其放大电路	104
第七节	多级放大电路	109
第八节	放大电路中的反馈	114
第九节	正弦波振荡电路	116
第十节	功率放大电路	124
第十一节	识图练习	131
复习思考题		136
第六章	晶闸管及其应用	140
第一节	晶闸管	140
第二节	可控整流电路	144
第三节	晶闸管的触发电路	156
第四节	晶闸管的保护	160
第五节	交流调压电路	162
复习思考题		165
第七章	数字电路基础	167
第一节	数字电路的特点	167
第二节	逻辑门电路	173
第三节	逻辑代数知识	182
复习思考题		186
第八章	电工测量仪表	188
第一节	电工测量的基本方法	188
第二节	直流电流和电压的测量	196
第三节	交流电流和电压的测量	204
第四节	万用表	207
第五节	功率的测量	220
第六节	电能的测量	229
第七节	电阻、电容和电感的测量	236
复习思考题		249

附录.....	251
附录 A 场效应管的型号与主要参数	251
附录 B 光电耦合器选录	252
附录 C 部分音频集成功率放大器的型号和主要参数	253
附录 D KP 型晶闸管型号和主要参数	254
参考文献	254

第一章 直流电路

培训要求 能用基尔霍夫定律、电压源电流源、叠加原理和戴维南定理分析电路。

第一节 基尔霍夫定律

在《电工基础》(初级工适用)中讨论的电路,都可用电阻串并联关系和欧姆定律进行分析计算,这种电路称为简单电路。但对于比较复杂的电路,仅靠欧姆定律是不够的,还必须应用基尔霍夫定律。所谓复杂电路是指电阻不能用串并联化简的电路,如图 1-1 所示。图中的 R_1 、 R_2 和 R_3 之间不存在串并联关系。另外,在复杂电路中各处电流的真实方向不容易确定,所以必须首先假设参考方向。

在讨论基尔霍夫定律以前,首先介绍几个常用的电路名词。

支路: 电路中通过相同电流的每条分支。如图 1-1 中有三条支路,左边支路 AF 和中间支路 BH 含有电源 E_1 和 E_2 ,称为有源支路;右边支路 CD 不含电源,称为无源支路。

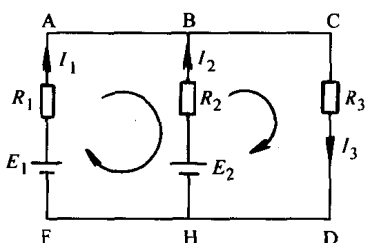


图 1-1 复杂电路

节点: 三条或三条以上的支路的联接点,称为节点,图 1-1 中有 B 和 H 两个节点。

回路: 电路中的任一闭合路径称为回路,如图 1-1 中有三个回路,即 ABHFA、BCDHB 和 ABCDHFA。

一、基尔霍夫电流定律 (KCL)

基尔霍夫电流定律是研究通过节点的各支路电流之间关系的。根据电流连续性原理,任何节点上不可能有电荷的积累现象,所以流入节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。

在图 1-1 所假设的电流参考方向下,对于节点 B,可得到三条支路电流的关系为

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

上式的一般形式为

$$\Sigma I = 0 \quad (1-1)$$

式 (1-1) 表明:任何节点上电流的代数和恒为零,称为基尔霍夫电流定律。通常规定流入节点的电流为正,流出节点的电流为负。

例 1-1 如图 1-1 所示的电路中,已知 $I_1 = 4\text{A}$, $I_3 = 2\text{A}$,求 I_2 。

解 根据基尔霍夫电流定律得

$$I_2 = I_3 - I_1 = 2 - 4\text{A} = -2\text{A}$$

I_2 为负值,表示 I_2 的实际方向和图中的参考方向相反,即 I_2 的实际方向是流出节点 B。如果计算出的电流为正,表示实际方向和假设的参考方向相同。

基尔霍夫电流定律不仅适用于节点,也可推广到封闭面,即通过任一封闭面的电流代数和为零。例如晶体三极管的封闭面有三个电流通过,如图 1-2 所示,则它们之间的关系为

$$I_E = I_B + I_C$$

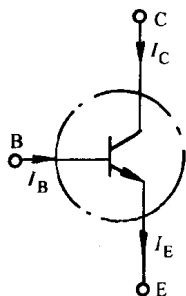


图 1-2 基尔霍夫
电流定律推广

二、基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律是研究回路中各部分电压关系的。其内容是:沿任一回路绕行一周,各段电压的代数和恒为零。即

$$\Sigma U = 0 \quad (1-2)$$

以图 1-1 的 ABHFA 回路为例,回路中 E_1 、 R_1 、 R_2 和 E_2 它们上面电压的代数和为零。假设回路绕行方向为顺时针方向,即

$$-I_2 R_2 + E_2 - E_1 + I_1 R_1 = 0$$

电动势和电阻上电压正、负号的确定方法是:电源电压的方向与回路绕行方向一致时, E 取正,相反时取负。电阻上电流参考

方向与回路绕行方向一致时, IR 取正, 相反时取负。对于 BCDHB 回路, 假设回路绕行方向也为顺时针方向, 则有

$$I_3 R_3 - E_2 + I_2 R_2 = 0$$

基尔霍夫电压定律不仅适用于闭合回路, 还可推广到不闭合电路。例如图 1-3 中, A、B 两点间虽无电路元件连接, 但可假设一个电压的参考方向, 表示这两点间的电压。假设回路绕行方向为顺时针方向, 则根据基尔霍夫电压定律可得

$$U + IR - E = 0$$

或写成

$$U = E - IR, \quad I = \frac{E - U}{R}$$

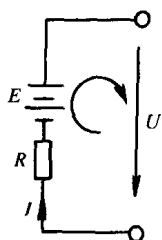


图 1-3 基尔霍夫电压定律推广

应用上式, 可求电路中任意两点间的电压 U 和电路中的电流 I 。例如图 1-3 中的 $E = 12\text{V}$, $I = 0.1\text{A}$, $R = 100\Omega$ 时, 则 $U = E - IR = 12 - 0.1 \times 100\text{V} = 2\text{V}$ 。 U 为正值, 表示 U 的实际方向和图中参考方向相同。

三、支路电流法

在复杂电路中, 通常电源电动势和电路参数是已知的, 而要求解的是各支路电流或电压。这里介绍一种最基本的求解方法——支路电流法。

支路电流法就是以支路电流为未知数, 应用基尔霍夫定律, 列出与支路电流数目相等的独立方程式, 再求解各支路电流。现以图 1-4 所示的电路为例, 说明支路电流法解题的步骤:

(1) 确定支路数, 并标出各支路电流的参考方向。

(2) 确定节点数, 应用基尔霍夫电流定律列出节点电流方程。如果电路中有 n 个节点, 只能列出

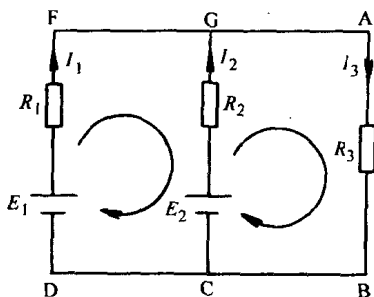


图 1-4 例 1-2 附图

$(n-1)$ 个独立的节点方程。

(3) 假设回路绕行方向, 用基尔霍夫电压定律列出不足的方程式。

(4) 解联立方程, 求解各支路电流。

例 1-2 图 1-4 所示的电路是汽车上的发电机 (E_1)、蓄电池 (E_2) 和负载 (R_3) 并联的原理图。已知 $E_1=12\text{V}$ 、 $E_2=6\text{V}$ 、 $R_1=R_2=1\Omega$ 、 $R_3=4\Omega$, 求各支路电流。

解 (1) 电路中有三条支路, 假设各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的参考方向如图所示。

(2) 列节点电流方程。电路中有 G、C 两个节点, 列出其中一个独立节点电流方程。对节点 G 有

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

(3) 列回路电压方程。电路中有三条支路需列三个方程, 现已列出一个节点电流方程, 尚缺的两个方程, 可列两个回路电压方程。对于 FGCDF 回路, 假设回路绕行方向为顺时针方向, 则

$$-I_2 R_2 + E_2 E_1 + I_1 R_1 = 0 \quad (2)$$

对于 GABCG 回路, 假设回路绕行方向也为顺时针方向, 则

$$I_3 R_3 - E_2 + I_2 R_2 = 0 \quad (3)$$

(4) 将已知数代入方程 (1)、(2)、(3), 解联立方程

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 & (1) \\ -I_2 + 6 - 12 + I_1 = 0 & (2) \\ 4I_3 - 6 + I_2 = 0 & (3) \end{cases}$$

可得: $I_1 = 4\text{A}$, $I_2 = -2\text{A}$, $I_3 = 2\text{A}$ 。

计算是否正确, 可将计算值代入任一方程中进行验算。例如将 I_1 、 I_2 、 I_3 的值代入方程 (1), 得 $4 + (-2) - 2 = 0$, 即计算正确。

图中 I_1 、 I_3 的计算值为正, 表示该支路电流的实际方向与假设的参考方向相同; I_2 为负值, 表示该支路电流的实际方向与假设的参考方向相反。这时蓄电池 E_2 未供出电能, 而是发电机 E_1 向它充电, 吸收电能转成化学能。在汽车行驶时, 车上的发电机 E_1 一方面对负载 (如电灯、风扇) 供电、一方面对蓄电池充电。当

汽车停止时, 发电机 E_1 不工作, 并自动切断发电机支路, 这时由蓄电池 E_2 对负载供电。

由例 1-2 可见, 当两组电源并联, 若要求两组电压同时向负载供电时, 应选择这两组电源的电动势、内阻相等, 否则, 电动势低的电源不但不供电, 反而要消耗电能。

第二节 电压源和电流源及其等效变换

实际的电源 (如发电机、电池) 工作时, 总有一定的电压和电流输出。对负载而言, 电源可看成电压的提供者, 也可看成电流的提供者, 所以电源常用两种等效电路来表示——电压源和电流源。

一、电压源

实际的电源具有一定的电动势 E 和内电阻 R_0 , 如图 1-5a 所示。用电动势 E 和内阻 R_0 串联形式表示的这种电路称为电压源电路, 如图 1-5b 所示, 负载两端得到的电压为

$$U = E - IR_0$$

当电源内阻 R_0 为零时, 则

$$U = E$$

因为电动势 E 通常为常数, 所以负载电阻或输出电流变化时, 其输出电压 U 恒等于 E 。因此, 我们把内阻 $R_0 = 0$ 的电压源称为理想电压源, 或称为恒压源。

理想电压源实际上并不存在, 但如果电源内电阻 R_0 远小于负载电阻 R 时, 即内电阻上的电压 U_0 远小于负载电阻上的电压 U , 于是 $U \approx E$, 基本恒定, 可近似看成恒压源。常用的稳压电源可认为是恒压源。

二、电流源

电源也可用恒定电流 I_s 和内阻 R_0 并联形式表示, 称为电流源, 如图 1-5c 所示。负载上的电流为

$$I = I_s - \frac{U}{R_0}$$

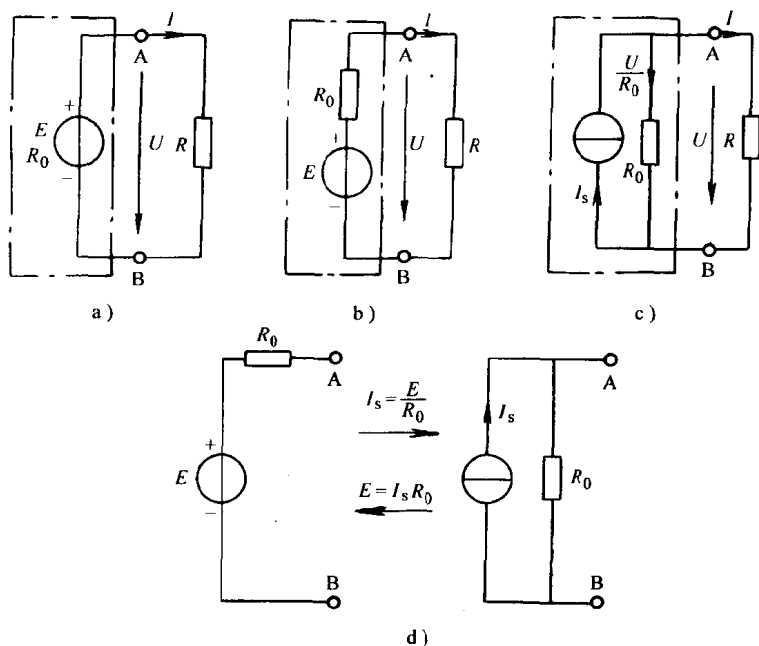


图 1-5 电源

a) 实际电源 b) 电压源 c) 电流源 d) 电压源和电流源的等效变换

式中的 $\frac{U}{R_0'}$ 为电源内电阻的分流电流，当电源内电阻 R_0' 为 ∞ 时，则

$$I = I_s$$

因为恒定电流 I_s 通常为常数，所以负载电阻或输出电压变化时，其输出电流 I 恒等于 I_s 。我们把内阻 $R_0' = \infty$ 的电流源称为理想电流源，或称恒流源。

理想的电流源实际上不存在，但如果电源内阻 R_0' 远大于负载电阻 R 时，即内电阻 R_0' 上的电流 $\frac{U}{R_0'}$ 远小于负载电阻 R 上的电流 I ，于是 $I \approx I_s$ ，基本恒定，可近似看成恒流源，通常放大电路中三极管、光电池等可认为是恒流源。

三、电压源和电流源的等效变换

一个实际电源可用电压源表示，也可用电流源表示。它们既

是电源，就都能对负载供出电压和电流。对于负载而言，当用电压源时得到的电压和电流，与用电流源时得到的电压和电流如果相等，则称它们是等效的。

在图 1-5b 的电压源电路中，负载 R 上得到的电流为

$$I = \frac{E - U}{R_0} = \frac{E}{R_0} - \frac{U}{R_0}$$

在图 1-5c 的电流源电路中，负载 R 上得到的电流为

$$I = I_s - \frac{U}{R_0}$$

根据等效的要求，上述两式的对应项应相等，由此可得电压源与电流源等效变换的条件为

$$\left. \begin{aligned} I_s &= \frac{E}{R_0} \text{ 或 } E = I_s R_0 \\ R_0 &= R_0' \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

电压源和电流源的等效变换如图 1-5d 所示。

由此可见，电流源的恒定电流 $I_s = \frac{E}{R_0}$ ，为电压源的短路电流，电压源与电流源变换时，内电阻不变。

需要注意的是

(1) 电源的等效变换是对电源以外的负载而言，电源内部是不等效的。例如当电压源开路时，内电阻 R_0 上不损耗功率，而电流源开路时，内电阻 R_0' 上损耗功率。

(2) 在变换时，应保持电压源的 E 和电流源的 I_s 方向一致。

(3) 理想的电压源和电流源不能等效变换。因为理想电压源的内电阻 $R_0 = 0$ ，若将它变成电流源， I_s 将变为无穷大，不能得到有限值。同样，理想电流源的内电阻 R_0' 为无穷大，若将它变换成电压源， E 将变为无穷大，也不能得到有限值，故两者不能等效变换。

例 1-3 有一电源的电动势 $E = 24\text{V}$ ，内阻 $R_0 = 1\Omega$ ，负载电阻 $R = 23\Omega$ ，试用两种等效电源求负载的电流和电压。

解 (1) 电压源等效电路如图 1-5b 所示，则

$$I = \frac{E}{R_0 + R} = \frac{24}{1 + 23} \text{A} = 1 \text{A}$$

$$U = IR = 1 \times 23 \text{V} = 23 \text{V}$$

(2) 电流源等效电路如图 1-5c 所示将电压源变换成电流源:

$$I_s = \frac{E}{R_0} = \frac{24}{1} \text{A} = 24 \text{A}$$

内阻 $R_0 = 1 \Omega$

根据分流公式得

$$I = \frac{R_0}{R_0 + R} I_s = \frac{1}{1 + 23} \times 24 \text{A} = 1 \text{A}$$

$$U = IR = 1 \times 23 \text{V} = 23 \text{V}$$

由此可见, 用两种电源计算的负载电流和电压是相同的, 即对负载而言, 两种电源是等效的。

运用电压源和电流源的等效变换, 还可以分析和计算复杂电路。

例 1-4 试用电源等效变换方法计算例 1-2 中 R_3 支路的电流。

解 图 1-6a 电路中, 因两个电压源支路并联, 分别将电压源变成电流源, 如图 1-6b 所示, 即

$$I_{s1} = \frac{E_1}{R_1} = \frac{12}{1} \text{A} = 12 \text{A} \quad (I_{s1} \text{ 与 } R_1 \text{ 并联, } I_{s1} \text{ 方向如图所示})$$

$$I_{s2} = \frac{E_2}{R_2} = \frac{6}{1} \text{A} = 6 \text{A} \quad (I_{s2} \text{ 与 } R_2 \text{ 并联, } I_{s2} \text{ 方向如图所示})$$

将两个并联的电流源合并, 如图 1-6c 所示, 即

$$I_s = I_{s1} + I_{s2} = 12 \text{A} + 6 \text{A} = 18 \text{A}$$

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \times 1}{1 + 1} \Omega = 0.5 \Omega$$

合并的电流源与负载电阻 R_3 串联, 可将电流源变换成电压源, 如图 1-6d 所示, 即

$$E = I_s R_0 = 18 \times 0.5 \text{V} = 9 \text{V}$$

R_0 仍为 0.5Ω