Ошибка в монтаже люстры

Задача 4. [ИОШ 2014/15, 9 класс, задача 4] При установке трёхламповой люстры с двумя выключателями была допущена ошибка. В результате этого при замыкании одного из выключателей все три лампы горели неполным накалом. При замыкании другого выключателя нормально горела только одна из ламп, а две другие вообще не горели. Тот же эффект давало одновременное замыкание обоих выключателей. При разомкнутых выключателях все три лампы не горели. Нарисуйте возможную схему выполненного монтажа и объясните, как нужно исправить схему, чтобы при помощи этих выключателей включались и горели полным накалом одна (при замыкании одного выключателя), две (при замыкании второго) или все три лампы (при замыкании обоих выключателей).

▲ **Решение. Что происходит.** Задача на последовательное и параллельное соединение. Лампа рассчитана на напряжение сети $U = 220$ В и горит полным накалом, только если на ней всё это напряжение. «Неполный накал» трёх ламп сразу — признак того, что они соединены *последовательно*: тогда напряжение сети делится между ними. Лампа не горит, если через неё нет тока: её цепь разорвана или её концы соединены проводом (закорочены). Восстановим по этим признакам, где ошибся монтажник.

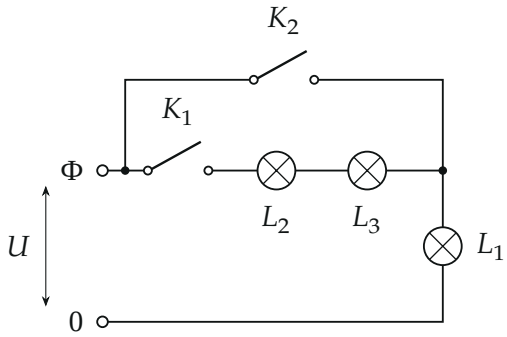
Обозначения. Ф и 0 — провода сети (фаза и ноль), $U = 220$ В между ними; L_1, L_2, L_3 — лампы, все одинаковые, сопротивление каждой R; K_1, K_2 — выключатели. На схемах бирюзовой заливкой показан накал: светлая — неполный, тёмная — полный.

1. Три лампы горят неполным накалом. Если лампы одинаковы и включены последовательно, через них идёт один ток $I = U/(3R)$, и на каждой напряжение

$$U_1 = IR = \frac{U}{3} \approx 73\ \text{В}, \qquad P_1 = \frac{U_1^2}{R} = \frac{1}{9} \cdot \frac{U^2}{R}.$$

Каждая лампа выделяет в девять раз меньше мощности, чем положено, — еле светится. Значит, один выключатель (K_1) замыкает цепь «сеть → L_2 → L_3 → L_1 → сеть».

2. Одна лампа горит полным накалом, две не горят. На горящей лампе (L_1) — всё напряжение сети: второй выключатель K_2 подключает её прямо к фазе. Две другие лампы при этом без тока. Проще всего это получить, если K_2 соединяет фазу с точкой между L_3 и L_1: тогда при разомкнутом K_1 у цепочки L_2–L_3 один конец «висит в воздухе», ток по ней не идёт.

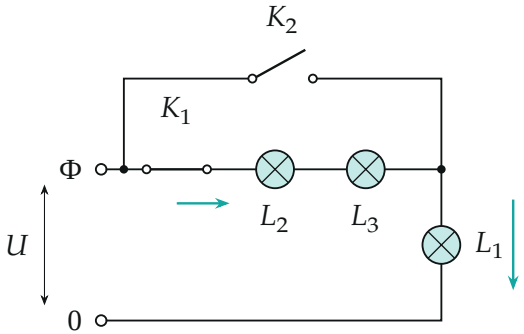


Возможная ошибочная схема: лампы соединены в одну цепочку, K_1 подаёт фазу в её начало, K_2 — в точку перед L_1.

3. Проверим все четыре положения выключателей по этой схеме.

Оба разомкнуты. Фаза ни к одной лампе не подведена — тока нет, лампы не горят. Как в условии.

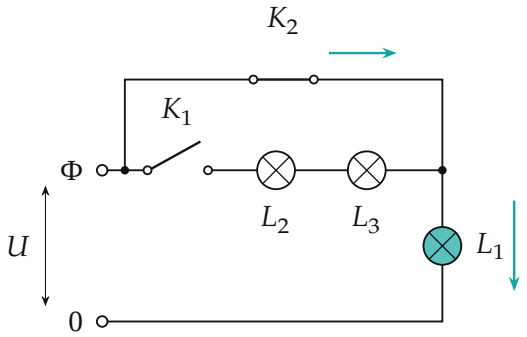
Замкнут K_1. Ток идёт по всей цепочке $L_2 \to L_3 \to L_1$, лампы соединены последовательно и горят неполным накалом (пункт 1).



Замкнут K_1: один ток через три лампы, на каждой $U/3$.

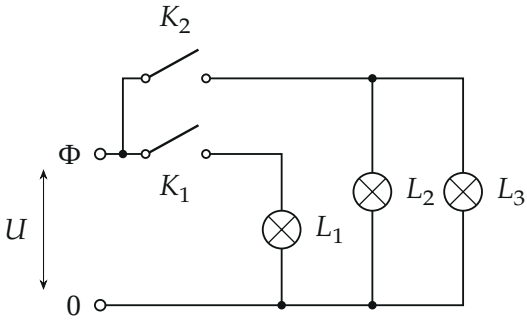
Замкнут K_2. На L_1 — полное напряжение сети, она горит нормально. Цепочка L_2–L_3 подключена к фазе только одним концом (через точку перед L_1), второй конец оборван разомкнутым K_1 — тока нет.

Замкнуты оба. Оба конца цепочки L_2–L_3 подключены к фазе, разность потенциалов на ней ноль — лампы закорочены и не горят; L_1 по-прежнему под полным напряжением. Картина та же, что при одном K_2, — в точности как в условии.



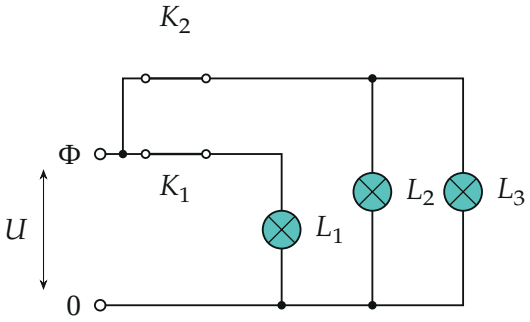
Замкнут K_2 (или оба): горит только L_1, по L_2 и L_3 ток не идёт.

4. Правильная схема. Чтобы каждая лампа горела полным накалом, на каждой должно быть напряжение сети — все три подключаются к сети *параллельно*, каждая своим проводом между фазой и нулём. Выключатель управляет той группой ламп, в провод фазы которой он стоит: K_1 — лампой L_1, K_2 — парой L_2, L_3, соединённых между собой параллельно.



Правильная схема: каждая лампа — между фазой и нулём; K_1 включает L_1, K_2 — L_2 и L_3.

Проверка положений: замкнут K_1 — горит одна L_1; замкнут K_2 — горят две, L_2 и L_3; замкнуты оба — горят все три, и каждая под напряжением U, потому что ветви параллельны и друг на друга не влияют.



Оба выключателя замкнуты: все три лампы под полным напряжением сети.

Обратите внимание. Ошибочная схема — не единственная. Годится любая, где K_1 подаёт фазу на три лампы, соединённые последовательно, а K_2 подаёт фазу прямо на одну из крайних ламп цепочки (ту, что примыкает к нулю). Если же K_2 присоединить к точке между L_2 и L_3, при его замыкании горели бы вполнакала две лампы L_3 и L_1 — это противоречит условию.

Проверка. В ошибочной схеме при замкнутом K_1 на каждой лампе $U/3$, мощность $1/9$ номинальной — «неполный накал»; при замкнутом K_2 на L_1 ровно U. В правильной схеме на каждой включённой лампе ровно U при любом положении другого выключателя.

Ответ. Ошибка: лампы соединены последовательно; K_1 подаёт фазу на всю цепочку L_2–L_3–L_1 (три лампы вполнакала, на каждой $U/3$), K_2 — на точку между L_3 и L_1 (горит только L_1, а L_2, L_3 обесточены или закорочены). Правильно: все лампы параллельно между фазой и нулём, K_1 в проводе к L_1, K_2 — в общем проводе к параллельно соединённым L_2 и L_3.