

### Очевидното не винаги е вярно

Във физиката има някои правила, извлечени от съответните закономерности, които подвеждат със своята простота и, приложени не за случаите, в които са валидни, често водят до погрешни заключения. Такова правило е например следното: ако един консуматор черпи ток  $I_1$ , а друг – ток  $I_2$ , то двата консуматора, включени успоредно във веригата, черпят общ ток  $I_1 + I_2$  (при идеален източник, разбира се). Да приложим това правило при решаване на следната задача.

**Задача.** Медната жичка на бушон за ток до  $I_1 = 5$  А има диаметър  $d_1 = 0,213$  mm, а на бушон за ток до  $I_2 = 15$  А, при същата дължина, диаметърът е  $d_2 = 0,508$  mm. При какъв общ ток ще се прекъсне веригата, ако двата бушона бъдат включени в нея успоредно.

**Качествен анализ.** Автоматичното прилагане на споменатото правило води до решение, което, както ще видим, е погрешно: щом единият бушон пропуска максимален ток 5 А, а другият – 15 А, то двата, свързани успоредно, ще пропуснат максимален ток 20 А. Разсъждавайки така, изпускаме предвид, че когато бушоните са свързани успоредно, токът се разпределя между тях обратно пропорционално на техните съпротивления (по-голямата част от тока – през по-малкото съпротивление). Ако си представим, че напрежението върху бушоните постепенно расте от нула, в момента, когато токът през единия достигне максималната си стойност, токът през другия може да не е стигнал своята максимално допустима стойност, така че сумата от двата тока няма да бъде 20 А, а по-малко. Той би бил точно 20 А само в случай, че двете максимални стойности на токовете през всеки от бушоните се достигнат едновременно, а това зависи, както отбелязахме, от съотношението между двете съпротивления.

Какъв е нашият конкретен случай ще покаже количественото решение на задачата.

**Решение.** Нека първо да пресметнем при какво напрежение се стапя всяка от жичките. За е необходимо да изразим техните съпротивления. Да означим с  $\rho$  специфичното съпротивление на медта, с  $L$  – общата им дължина, а с  $S_1$  и  $S_2$  техните напречни сечения. Тогава съпротивлението на тънката жичка е:

$$(1) \quad R_1 = \rho \frac{L}{S_1},$$

а напрежението, при което тя се стапя:

$$(2) \quad U_1 = R_1 I_1 = \rho \frac{L I_1}{S_1}.$$

По същия начин съпротивлението  $R_2$  и напрежението  $U_2$ , при което се стапя втората, по-дебела жичка, са съответно:

$$(3) \quad R_2 = \rho \frac{L}{S_2}$$

и

$$(4) \quad U_2 = R_2 I_2 = \rho \frac{L I_2}{S_2}.$$

Като отчетем, че напречното сечение на всяка от жичките е право пропорционално на квадрата от диаметъра ѝ, от (2) и (4) за отношението между напреженията, при което настъпва стапяне, намираме:

$$(5) \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1 d_2^2}{I_2 d_1^2}.$$

Заместването в (5) на числените стойности дава резултат:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{5.0,508^2}{15.0,213^2} = 1,9.$$

Оттук следва, че  $U_2 < U_1$  и при подаване на постепенно нарастващо напрежение, първа се стапя по-дебелата жичка, т.е. първо прегаря бушонът за 15 А. При това напрежение токът през него е  $I_2 = 15$  А, а токът през по-тънката жичка, в съответствие с правилата при успоредно свързване на консуматори, е:

$$(6) \quad I_1' = I_2 \frac{R_2}{R_1} = I_2 \frac{d_1^2}{d_2^2} = 2,6 \text{ А.}$$

Общият ток през двата бушона при това положение е  $I_1' + I_2 = 17,6$  А, а не очакваните 20 А. При достигане на 17,6 А първо се стапя дебелата жичка, а след като целият ток остане през тънката, се стапя и тя.

И така, максималният ток, който може да протече в мрежата при успоредно свързване на двата бушона, е не 20 А, а по-малко – 17,6 А.

**Отново на качествено равнище.** Приведеното решение не отчита зависимостта на съпротивлението на жичките от температурата. Температурният коефициент на съпротивлението на медта е  $\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , а температурата ѝ на топене – малко над 1000 °С. Ако приемем, че всяка жичка се стапя при температура 1000 °С, непосредствено преди стапянето нейното съпротивление е около 5 пъти по-голямо, отколкото при стайна температура.

Нашето решение би било вярно, ако двете жички бяхме използвали в един бушон (както, противно на всички правила за безопасност и на противопожарните правила, често се прави в стремежа да се “усили” един “изгорял” бушон). В този случай температурите на жичките във всеки момент ще бъдат еднакви, съпротивленията им ще растат едновременно и отношението им няма да се променя, а следователно – няма да се променя и отношението между токовете.

Задачата обаче не е за един бушон с две жички, а за два бушона с по една жичка. В този случай температурата на всяка жичка се определя от нейния ток, и няма основания да смятаме, че температурите са еднакви. Това означава, че и съпротивленията на жичките с увеличаване на напрежението върху тях ще се променят независимо една от друга и отношението им няма да се запазва. Ние не можем да посочим точно решение на проблема, защото не познаваме как температурата на жичките зависи от протичащия през тях ток.

Въпреки всичко, можем да кажем в каква посока ще бъде поправката, която би внесло отчитането на зависимостта на съпротивлението от температурата.

Наистина, когато общото напрежение върху бушоните нарасне така, че токът през по-дебелата жичка да стане 15 А, нейната температура ще е достигнала температурата на топене на медта. В същото време токът през “по-слабия” бушон е

само 2,6 А, далеч от максимално допустимия ток от 5 А, и следователно и температурата на неговата жичка е далеч от температурата на топене. Това означава, че относителното нарастване на съпротивлението на дебелия жичка е значително по-голямо от това на тънката и през тънката жичка ще протича по-голяма част от общия ток, отколкото пресметнатата по-горе. С други думи, поправката, която внася отчитането на температурната зависимост на съпротивлението е в посока, противоположна на поправката при “нулевото” приближение: когато токът през дебелия жичка е 15 А, токът през тънката ще бъде повече от 2,6 А, а сумата им – по-близка до 20 А.

**Върху какво да мислим по-нататък.** Посочените в условието на задачата данни са за два реални бушена. Ето данни за още три бушена:

Максимален ток, А:	30	60	100
Диаметър на жичката, mm:	0,914	1,42	2,03

1. От всичките пет бушена можем да подберем 10 различни комбинации от един по-слаб и един по-мошен бушон. Ако решим задачата за всяка от възможните двойки (както вече направихме за една от тях), дали винаги ще получаваме, че първа се стапя по-дебелата жичка?

2. Дали не е възможно от някакви по-общи съображения да докажем, че винаги първа ще се стапя по-дебелата жичка, така че да отпадне необходимостта да решаваме всичките 10 частни случая?

3. Решението на задачата в нулево приближение (т.е. – когато не отчитаме температурната зависимост на съпротивлението) показва, че когато двата бушена са включени успоредно, максималният ток във веригата намалява с

$$\frac{20 - 17,6}{20} = 0,12 = 12\% \text{ в сравнение с общия ток, който биха пропуснали, ако са}$$

включени в различни вериги. Пресметнете процентното намаление за 10-те възможни двойки от посочените 5 бушена. Сравнете резултатите и направете изводи. Набелязва ли се някаква закономерност?

4. Опитайте аналогични разглеждания, но не за два, а за три успоредни бушена.

**Практически извод.** Ако искате да подсилите верига чрез използване на няколко успоредно свързани предпазителя със стопяеми жички, реална представа какъв ток може да издържи веригата можете да имате само, ако използвате еднакви предпазители – тогава например 5 десетамперови предпазителя биха ви гарантирали ток до 50 А.

**Възможности за опитна проверка.** Направените количествени и качествени разглеждания могат да бъдат изследвани и проверявани опитно – разнообразието от предпазители със стопяеми жички, предназначени например за радиоелектронни апаратури, е достатъчно голямо и е възможно всички измервания да се проведат при ниски, безопасни напрежения. За целта е удобно изследваните бушони поотделно, а след това и свързани успоредно в групи по два или три да се включат във верига последователно с подходящ товар, например малка лампичка, след което напрежението върху тях да се увеличава постепенно, и във всеки от случаите се измерва токът, при който веригата се прекъсва.