О РАСЧЕТЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ ПРИ ЗАМЫКАНИИ КОНТАКТОВ РЕЛЕ

О. В. Хомицкий
Харьков

Наиболее распространенной количественной характеристикой надежности реле является интенсивность отказов. Это связано с удобством выполнения расчетов многоэлементных устройств и возможностью использовать в частных случаях в качестве приближенного экспоненциальный закон.

Интенсивность отказов зависит от времени работы t и от числа циклов n. Поэтому надежность контакта равна

$$P = \exp\left[-\int_{t_1}^{t_2}\int_{n_1}^{n_2} \lambda(t,\ n)\, dndt\right]. \qquad (1)$$

В пределах $t_2 - t_1$ время цикла — величина случайная, поэтому P также случайная величина.

В частных случаях t и n могут быть связаны функционально частотой срабатывания $\nu = \frac{\Delta n\,(t)}{\Delta t\,(n)}$. Иногда принимают, что интенсивность от-

каза состоит из двух членов, один из которых зависит от времени, а второй — от числа циклов. В этом случае уравнение (1) упрощается.

Экспериментальные и особенно аналитические методы определения надежности позволяют наиболее просто в качестве первичной величины получить вероятность единичного замыкания контакта $P_{1n}(t)$, время жизни которого t и число выполненных циклов до момента анализа — n. Основные выражения для последующих расчетов приведены в таблице.

Интенсивность отказа для промежутков времени между замыканиями при наличии закона распределения параметра, определяющего надежность и его изменения во времени, может быть найдена известными методами. Незамыкание контактов и повышение сопротивления сверх допустимого предела наиболее частая причина отказа реле.

Контактирующие поверхности всегда шероховаты. Соприкосновение происходит в отдельных пятнах контакта, составляющих фактическую площадь соприкосновения в пределах контурной площади касания. Пятно контакта может состоять из пятен с металлическим, квазиметаллическим контактом, контактом по пленкам либо частицам пыли.

Сопротивление реального a-пятна можно приближенно представить в виде

$$R_{мj} = k_{1j}k_{2j}k_{3j}k_{4j}k_{шj}\frac{\rho}{2a_j}, \qquad (2)$$

где k_{1j}, k_{2j}, k_{3j}, k_{4j}, $k_{шj}$ — коэффициенты, зависящие от толщины пленки, формы пятна, расположения пятен, длины области стягивания, параметров шероховатости;

ρ — удельное сопротивление материала контакта;

a_j — радиус пятна контакта. Контактная проводимость $\gamma_м$ при числе a-пятен m, равна

$$\gamma_м = \sum_{j=1}^{m}\frac{1}{R_{мj}}. \qquad (3)$$

Исследования электрических контактов показывают, что нормальное, сравнительно малое контактное сопротивление для чистых поверхностей достигается при величине давления намного меньшей, чем обычные величины контактного нажатия. Практически любое соприкосновение по металлу обеспечивает нормальную работу.

В связи с этим рассматривать надежность замыкания можно в два этапа:

1. Расчет вероятности замыкания, т. е. создания металлического или квазиметаллического контакта.

2. Расчет вероятности получения допустимого контактного сопротивления.

При этом второе целесообразно только при весьма высокой вероятности замыкания контактов.

Эти положения являются исходными для расчета надежности при единичном замыкании, которая, в свою очередь, используется для нахождения интенсивности отказов.

Величина внешних воздействий, необходимая для замыкания, зависит от характеристик поверхности, загрязняющего покрытия, параметров нагрузки. Вероятность замыкания контактов должна стремиться к нулю, если стремится к нулю напряжение $U_c \to 0$ и сила сжатия контактов $N \to 0$, т. е. $P(N \to 0,\ U_c \to 0) \to 0$. При возрастании N вероятность создания необходимой контактной проводимости стремится к единице, так как она возникает в результате сжатия поверхностей и деформации материала контакта и пленки.

Зависимость $P_{1n}(t)$ от времени и числа циклов		Вероятность исправной работы за число циклов $\Delta n = n_2 - n_1$
Не зависит от числа циклов и времени		$P_{\Delta n} = P_1^{\Delta n} = \exp\left[-\lambda_n \Delta n\right]$
Зависит от числа циклов, не зависит от времени		$P_{\Delta n} = \prod_{i=n_1+1}^{n_2} P_{1i} = \exp\left[-\int_{n_1}^{n_2} \lambda_u du\right] = \exp\left[-\sum_{i=n_1+1}^{n_2} \lambda_{n_i}\right]$
Не зависит от числа циклов, зависит от времени		$P_{\Delta n} = \prod_{\substack{i=1 \\ \tau_i = t_s + \frac{i}{\nu}}}^{i=\Delta n} P_1(\tau_i) = \exp\left[-\sum_{\substack{i=1 \\ \tau_i = t_s + \frac{i}{\nu}}}^{i=\Delta n} \lambda_{n_i} \tau_i\right]$
Зависит от числа циклов и времени	Можно разделить влияние n и t	$P = P_{\Delta n} P_{\Delta t} = \prod_{i=n_1+1}^{n_2} P_{1i} \prod_{\substack{i=1 \\ \tau_i = t_s + \frac{i}{\nu}}}^{\substack{i=\Delta t \nu \\ \tau_i = t_s}} P_1(\tau_i) = \exp\times$
	Нельзя разделить влияние n и t	$P = \prod_{\substack{i=n_1+1 \\ \tau_i = t_s + \frac{i-n_1}{\nu}}}^{\substack{i=n_2 \\ \tau_i = t_s}} P_{1i}(\tau_i) = \exp\times$

Вероятность исправной работы за время $\Delta t = t_2 - t_1$	Интенсивность отказов
$P_{\Delta t} = P_1^{\nu \Delta t(n)} = \exp\left[-\lambda_t \Delta t(n)\right]$	$\lambda_n = \ln \frac{1}{P_1}$ $\lambda_t = \ln \frac{1}{P_1^{\nu}}$
$P_{\Delta t} = \prod_{i=n_1+1}^{n_1+\Delta t \nu} P_{1i} = \exp\left[-\sum_{i=n_1+1}^{n_1+\Delta t \nu} \lambda_{n_i}\right]$	$\lambda_{n_i} = \ln \frac{1}{P_{1i}}$
$P_{\Delta t} = \prod_{\substack{i=1 \\ \tau_i = t_1 + \frac{i}{\nu}}}^{\substack{\tau_i = t_2 \\ i = \Delta t \nu}} P_1(\tau_i) = \exp\left[-\int_{t_1}^{t_2} \lambda_t dt\right] = \exp\left[-\sum_{\substack{i=1 \\ \tau_i = t_1 + \frac{i}{\nu}}}^{\substack{\tau_i = t_2 \\ i = \Delta t \nu}} \lambda_{\tau_i} \cdot \frac{1}{\nu}\right]$	$\lambda_{n_i \tau_i} = \ln \frac{1}{P_1(\tau_i)}$ $\lambda_{\tau_i} = \ln \frac{1}{[P_1(\tau_i)]^{\nu}}$
$\times \left[-\int_{n_1}^{n_2} \lambda_n dn - \int_{t_1}^{t_2} \lambda_t dt\right] = \exp\left[-\sum_{i=n_1+1}^{n_2} \lambda_{n_i} - \sum_{\substack{i=1 \\ \tau_i = t_1 + \frac{i}{\nu}}}^{\substack{\tau_i = t_2 \\ i = \Delta t \cdot \nu}} \lambda_{\tau_i} \cdot \frac{1}{\nu}\right]$	$\lambda_{n_i} = \ln \frac{1}{P_{1i}}$ $\lambda_{\tau_i} = \ln \frac{1}{[P_1(\tau_i)]^{\nu}}$
$\times \left[-\sum_{\substack{i=n_1+1 \\ \tau_i = t_1 + \frac{i-n_1}{\nu}}}^{\substack{\tau_i = t_2 \\ i = n_2}} \lambda_{n_i}(\tau_i) \cdot \frac{1}{\nu}\right]$	$\lambda_{n_i}(\tau_i) = \ln \frac{1}{[P_{1i}(\tau_i)]^{\nu}}$

При достижении необходимой напряженности контакт может быть создан фриттингом. Следовательно,

$P(N \to \infty,\ U_c \to \infty) \to 1;\ P(N \to 0,\ U_c \to \infty) \to 1;\ P(N \to \infty,\ U_c \to 0) \to 1.$

В соответствии с этим вероятность незамыкания контактов $Q_1(R_к)$ определим как произведение вероятностей отсутствия металлического контакта в результате действия давления $Q_N(R_k)$ и в результате действия электрического напряжения $Q_U(R_к)$

$$Q_1(R_k) = Q_N(R_к) \cdot Q_U(R_к). \qquad (4)$$

Наиболее точно указанные величины рассчитываются по методам теории экстремальных значений.

При ограниченном времени замыкания выражение (4) усложнится, так как входящие величины будут зависеть от допустимого времени создания контакта либо заданной проводимости.

ОБ ОСЛАБЛЕНИИ МОЩНОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОМЕХ В КАНАЛЕ С ПРЕДЫСКАЖЕНИЯМИ

В. К. Маригодов

Севастополь

Для оценки переходных помех в групповом тракте многоканальных радиорелейных линий связи или для нелинейных помех в индивидуальных каналах тех же линий наиболее удобно в качестве математического аппарата использовать корреляционный метод [1]. При этом обычно спектральная плотность мощности группового спектра сигнала моделируется нормальным случайным стационарным процессом с равномерным спектром. Такую же модель с некоторыми приближениями для количественной оценки упомянутых помех можно применять и для отдельных каналов. Эффективность введения предыскажений для ослабления мощности шумов, обусловленных нелинейностью амплитудной характеристики тракта модулятор — демодулятор аппаратуры уплотнения отдельного телефонного канала радиорелейной линии, была исследована в [2]. В качестве простейшей модели энергетического спектра сигнала в [2] использовался нормальный случайный стационарный процесс с равномерной спектральной плотностью $G_1 = \text{const}$. Однако такая упрощенная модель не всегда соответствует реальным передаваемым сообщениям.

В статье рассмотрена эффективность предыскажений в отдельном телефонном канале радиорелейной линии с точки зрения ослабления продуктов нелинейности. При этом полагали, что огибающая энергетического спектра сигнала моделируется экспоненциальными отрезками. Некоторые частные случаи аддитивных помех в канале связи и их ослабление в результате введения предыскажений при таком моделировании энергетического спектра фототелеграфного сигнала описаны в [3, 4].

На рисунке представлены в условном масштабе спектральные плотности входного сигнала с экспоненциальной огибающей спектра при отсутствии предыскажений для трех наиболее характерных зон интегрирования в соответствии с методикой [1, 2]. Здесь G_1 — максимальная величина спектральной плотности, f_0 — несущая, f_1 и f_2 — граничные частоты типового телефонного канала, f — текущая частота.

Спектральная плотность нелинейных шумов второго порядка $G_2(f)$ на выходе канала при отсутствии предыскажений равна [1]

$$G_2(f) = \alpha_2^2 \int_{-\infty}^{\infty} G_1(x)\, G_1(f - x)\, dx, \qquad (1)$$