Расчёт коэффициентов шкал поддиапазонов при известном диапазоне измерений

Известно, что измерение с целью минимизации погрешности желательно проводить вблизи максимального значения шкалы измерений. Поэтому, если измеряемая величина может меняться в широких пределах, то весь диапазон измеряемой величины бывает необходимо разбить на поддиапазоны так, чтобы переход к следующему поддиапазону измерений не приводил к отличию измеряемой величины от максимального значения шкалы поддиапазона больше заданного. То есть если максимум шкалы предыдущего поддиапазона измерений равен A_1, а максимум шкалы следующего поддиапазона измерений равен A_2, то при условии отклонения величины от максимума шкалы на 10% коэффициент $k = A_2/A_1$ должен быть равен 1/0,9 = 1,(1).

Таким образом, если весь диапазон измерения составляет A_N при минимальном измеряемом значении, равном A_1, то

$$A_N = A_1 * k^{(N-1)}$$

где N – число поддиапазонов измерения.

Откуда при известной величине k находится число поддиапазонов N:

$$N = \lg (A_N/A_1)/\lg (k) + 1;$$

Поскольку N может получиться не целым числом, то необходимо в качестве N взять ближайшее большее целое, и затем вычислить коэффициент отношения максимальных значений шкалы соседних поддиапазонов измерения k. То же самое необходимо сделать, если просто задано число поддиапазонов:

$$k = (A_N/A_1)^{1/(N-1)}.$$

Пример.

Необходимо измерять ток, меняющийся в пределах от 20 до 200 мА. Таким образом первый поддиапазон можно выбрать от 0 до 20 мА, а последний – от 0 до 200 мА. Предположим, что при переходе от поддиапазона к поддиапазону измеряемая величина должна оставаться в пределах 20% от максимума шкалы нового поддиапазона. В этом случае количество поддиапазонов

$$N = \lg (A_N/A_1)/\lg (k) + 1 = \lg (200/20)/\lg (1/0{,}8) + 1 \approx 11{,}31.$$

То есть при N = 12 заданное условие будет выполняться.

На этом же расчёте основан выбор стандартного ряда номинальных значений резисторов и конденсаторов. Единственная разница в том, что исходно считалось, что границы отклонений предыдущего и следующего номиналов должны совпадать, то есть $A_2 * (1 - r) = A_1 * (1 + r)$, или $A_2/A_1 = (1 + r)/(1 - r)$. Таким образом, если за минимальное значение взять 1, а за максимальное – 10, то при заданном отклонении r = 0,05 (5%) получим

$$N = \lg (A_N/A_1)/\lg (k) + 1 = \lg (10/1)/\lg (1{,}05/0{,}95) + 1 \approx 1/0{,}0434657 + 1 \approx 24{,}007.$$

То есть N должно быть не меньше, чем 25. Исходя из этого посчитаем коэффициент k:

$$k = (A_N/A_1)^{1/(N-1)} = (10/1)^{1/(25-1)} \approx 1{,}1006941712522095691624196247996.$$

Поскольку последний номинал 10 ряда 1…10 является в то же время первым номиналом ряда 10…100, то всего номинальных значений оказывается 24. Это и есть основа для стандартного ряда номинальных значений E24. При этом расчёт для этого ряда ведут с конечным результатом, округлённым до одного знака после запятой.

Пример вычисления номинальных значений с допустимым отклонением ±5%.

Расчёт	Округление	Δ_1	Стандарт	Δ_2	Расчёт	Округление	Δ_1	Стандарт	Δ_2
1,0	1,0		1,0		3,1623	3,2	0,3	3,3	0,3
1,1006	1,1	0,1	1,1	0,1	3,4807	3,5	0,3	3,6	0,3
1,2115	1,2	0,1	1,2	0,1	3,8312	3,8	0,3	3,9	0,3
1,3335	1,3	0,1	1,3	0,1	4,2170	4,2	0,4	4,3	0,4
1,4678	1,5	0,2	1,5	0,2	4,6416	4,6	0,4	4,7	0,4
1,6156	1,6	0,1	1,6	0,1	5,1090	5,1	0,5	5,1	0,4
1,7783	1,8	0,2	1,8	0,2	5,6234	5,6	0,5	5,6	0,5
1,9573	2,0	0,2	2,0	0,2	6,1897	6,2	0,6	6,2	0,6
2,1544	2,2	0,2	2,2	0,2	6,8129	6,8	0,6	6,8	0,6
2,3714	2,4	0,2	2,4	0,2	7,4989	7,5	0,7	7,5	0,7
2,6102	2,6	0,2	2,7	0,3	8,2540	8,2	0,7	8,2	0,7
2,8730	2,9	0,3	3,0	0,3	9,0852	9,1	0,9	9,1	0,9

Можно видеть, что с номинала 2,7 по 4,7 стандартный ряд завышен относительно расчётного значения, что связано (по мнению автора текста, субъективно) со «слишком малым» расстоянием 2,4 – 2,6 и «слишком большим» 4,6 – 5,1 из-за грубого округления. В рядах с большей точностью, где округляют до 2 знаков после запятой, таких расхождений уже нет. Например, в ряду E48 вместо 2,7 стоит номинал 2,61, а вместо 3,3 – номинал 3,16.

Следует отметить, что ряды с большей точностью, чем E24, получены простым удвоением количества номинальных значений для большей совместимости со старыми рядами, хотя стандартная точность элементов, выполненных, например, по ряду E48 не 2,5%, а 2%, и границы отклонений уже не перекрываются.