А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
А В Т О М Е Т Р И Я

№ 5 1965

УДК 621.317.733+621.3.085.4

М. А. АХМАМЕТЬЕВ
(Новосибирск)

О ПОСТРОЕНИИ ШКАЛ МНОГОПРЕДЕЛЬНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ МОСТОВ

Описывается оптимальный способ построения кусочно-линейных шкал многопредельных автоматических мостов, предназначенных для регистрации измеряемых параметров на диаграммной ленте.

В известных автоматических мостах [1] минимальная относительная погрешность измерения при минимальных габаритах шкалы обеспечивается посредством применения образцовых элементов и шкал с логарифмическим законом изменения величин. Трудности изготовления логарифмических образцовых элементов и логарифмических шкал, а также отсутствие диаграммных лент с логарифмической сеткой приводят к необходимости использовать линейные образцовые элементы и кусочно-линейные шкалы [2].

Проектирование кусочно-линейной шкалы многопредельного автоматического моста сводится к выбору числа строк и к обеспечению одинакового числа делений в каждой строке. Первое требование вытекает из того, что для мостов повышенной точности шкала получается большой и конструктивно трудно выполнимой. Например, для того, чтобы при абсолютной погрешности отсчета $\Delta=0{,}15$ *мм* и коэффициенте перекрытия шкалы $n=\frac{X_{\max}}{X_{\min}}=10$ ($X_{\max}$, $X_{\min}$ — предельные значения шкалы) обеспечить относительную погрешность отсчета $\delta=0{,}001$ (0,1%), необходимо взять кусочно-линейную шкалу длиной $l=\frac{\Delta}{\delta}(n-1)=$ $=1{,}35$ *м*. Ясно, что изготовление и применение такой шкалы практически нецелесообразно. С целью получения компактной шкалы обычно делают ее многострочной, разбивая диапазон с коэффициентом перекрытия $n=10$ на ряд поддиапазонов. Второе требование обусловлено тем, что аналоговые автоматические мосты часто используются для регистрации измеряемых параметров на диаграммной ленте, которая имеет лишь одну шкалу.

На рис. 1 приведена очевидная зависимость длины строки $l_{\text{стр}}$ от числа строк k. Так как существенное уменьшение длины строк наблюдается только при увеличении их числа до трех, целесообразно сделать шкалу трехстрочной, разбив диапазон с коэффициентом перекрытия $n=10$ на три поддиапазона. Однако окончательное решение задачи выбора числа строк шкалы зависит от того, позволяет ли данное число строк получить минимальное изменение относительной погрешности и удобный отсчет при одинаковом числе делений в шкалах поддиапазонов.

Известно [3], что для получения минимального изменения относительной погрешности отсчета (измерения) во всем диапазоне измеряемых величин необходимо, чтобы для всех поддиапазонов коэффициент перекрытия n' был одинаковым и минимальным, а именно:

$$n' = n'_{\min} = \sqrt[k]{n}. \tag{1}$$

Обеспечение постоянного числа делений в шкалах поддиапазонов приводит к определенному соотношению между минимальным коэффициентом перекрытия $n'_{\min}$ и числом m, показывающим, во сколько раз цены делений шкал соседних поддиапазонов отличаются друг от друга. Найдем это соотношение.

Для двух соседних поддиапазонов справедливы следующие равенства:

$$\begin{aligned} X'_{\max} - X'_{\min} &= ab, \\ X''_{\max} - X''_{\min} &= mab, \end{aligned} \tag{2}$$

где $X'_{\max}$, $X'_{\min}$ и $X''_{\max}$, $X''_{\min}$ — соответственно максимальные и минимальные значения шкал первого и второго поддиапазонов;

a и ma — цены делений первого и второго поддиапазонов;

b — число делений в шкалах поддиапазонов.

Так как при выполнении условия (1) $X'_{\max} = n'_{\min} X'_{\min}$, $X''_{\max} = n'_{\min} X''_{\min}$ и $X'_{\max} = X''_{\min}$, выражение (2) можно записать так:

$$\begin{aligned} X'_{\max}\left(n'_{\min} - 1\right) &= n'_{\min}\, ab; \\ X'_{\max}\left(n'_{\min} - 1\right) &= mab. \end{aligned} \tag{3}$$

Из (3) следует, что для обеспечения минимальной относительной погрешности отсчета при одинаковом числе делений в шкалах поддиапазонов необходимо выполнить равенство

$$m = n'_{\min}. \tag{4}$$

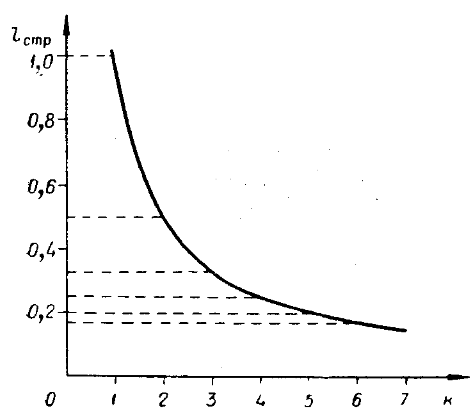

Рис. 1.

Выполнение равенства (4) в шкалах затруднено тем, что при $n=10$ и $k=2, 3, \ldots, 9$ число m является дробным. Следовательно, цены делений шкал соседних поддиапазонов будут также отличаться в дробное число раз, т. е. удобный отсчет можно получить только на одном из поддиапазонов. Для получения удобного отсчета на всех поддиапазонах необходимо, чтобы выполнялось равенство $m=2$. Только в этом случае при построении шкал поддиапазонов могут быть использованы цены делений $0,5 \cdot 10^{\pm p}$, $1 \cdot 10^{\pm p}$, $2 \cdot 10^{\pm p}$ (p — любое целое положительное число), которые, как известно [4], обеспечивают наиболее удобный отсчет. При этом число поддиапазонов необходимо выбрать так, чтобы величина m была меньше минимального коэффициента перекрытия $n'_{\min}$ и как можно меньше отличалась от него. Первое условие, позволяющее исключить разрывы между поддиапазонами, выполняется при $k \leqslant 3$. Второе условие, позволяющее получить минимальную относительную погрешность отсчета, выполняется при $k=3$.

Таким образом, оба условия выполняются при $k=3$. Это означает, что разбиение диапазона с коэффициентом перекрытия $n=10$ на три поддиапазона является оптимальным не только потому, что при небольшом числе поддиапазонов позволяет получить небольшие размеры шкалы, но и потому, что при одинаковом числе делений в шкалах поддиапазонов и удобном отсчете позволяет получить минимальную погрешность отсчета. Так как при $m=2$, $k=3$ и $n=10$ равенство (4) не выполняется, величина коэффициента перекрытия поддиапазонов n' будет отличаться от минимального значения $n'_{\min}$. Нетрудно показать, что для $m \leqslant n'_{\min}$ величина n' может быть найдена следующим образом:

$$n' = \frac{n}{m^{k-1}}. \tag{5}$$

Отсюда следует, что при $m=2$, $k=3$ и $n=10$ коэффициент перекрытия поддиапазонов $n'=2,5$.

Для построения шкалы необходимо знать число делений в шкалах поддиапазонов. Оно должно быть таким, чтобы цена деления шкалы младшего поддиапазона равнялась $0,5 \cdot 10^{\pm p}$, среднего — $1 \cdot 10^{\pm p}$, старшего — $2 \cdot 10^{\pm p}$, т. е. чтобы

$$b = \frac{X_{\min}(n'-1)}{0,5 \cdot 10^{\pm p}}. \tag{6}$$

Из (6) видно, что число делений, дающее наиболее удобный отсчет, зависит от $X_{\min}$. Соответствующим выбором $X_{\min}$ можно получить необходимое число делений в шкалах поддиапазонов (см. таблицу).

Разбиваемый диапазон $X_{\min}-X_{\max}$	1—10	2—20	3—30	4—40	5—50	6—60	7—70	8—80	9—90
Предельные значения поддиапазонов	1—2,5 2—5 4—10	2—5 4—10 8—20	3—7,5 6—15 12—30	4—10 8—20 16—40	5—12,5 10—25 20—50	6—15 12—30 24—60	7—17,5 14—35 28—70	8—20 16—40 32—80	9—22,5 18—45 36—90
Число делений в шкалах поддиапазонов (по формуле (6))	$3 \cdot 10^p$	$6 \cdot 10^p$	$9 \cdot 10^p$	$12 \cdot 10^p$	$15 \cdot 10^p$	$18 \cdot 10^p$	$21 \cdot 10^p$	$24 \cdot 10^p$	$27 \cdot 10^p$

На основе приведенных выше рассуждений для диапазона 1—10 была построена кусочно-линейная шкала ($b=300$), которая изображена на рис. 2. Шкала имеет три поддиапазона 1 — 2,5, 2 — 5 и 4 — 10, на каждом из которых обеспечивается удобный отсчет. Так как коэффициент перекрытия, величина делений и их число остаются одинаковыми для всех поддиапазонов, шкала может быть представлена одной строкой с трехстрочной оцифровкой. Относительная погрешность отсчета внутри диапазона измерения в худшем случае изменяется в 2,5 раза.

Таким образом, при построении кусочно-линейных шкал многопредельных автоматических мостов, предназначенных для регистрации измеряемых параметров на диаграммной ленте, необходимо разбивать диапазон с коэффициентом перекрытия $n=10$ на три поддиапазона,

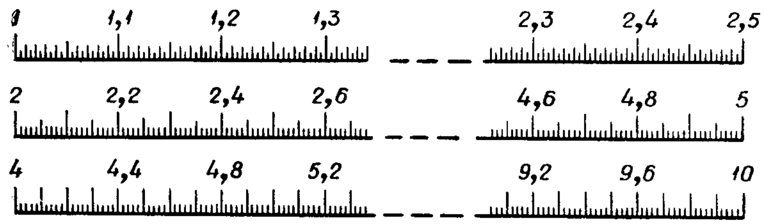

Рис. 2.

каждый из которых должен иметь коэффициент перекрытия $n'=2{,}5$, а число делений шкалы необходимо выбирать таким, чтобы цены делений шкал поддиапазонов были равны $0{,}5\cdot10^{\pm p}$, $1\cdot10^{\pm p}$ и $2\cdot10$. Это позволяет уменьшить относительную погрешность отсчета (измерения) при заданной ширине диаграммной ленты (длине шкалы) или ширину ленты при заданной относительной погрешности отсчета, а также получить простую шкалу с удобным отсчетом.

Некоторым недостатком такого построения является то, что шкалы поддиапазонов частично (до 25%) перекрывают друг друга. Однако для мостов с автоматическим выбором пределов измерения перекрытие поддиапазонов может оказаться даже полезным, поскольку оно позволяет исключить погрешность устройства выбора пределов измерения.

В заключение отметим, что описанный способ построения шкал может быть использован при проектировании шкал других многопредельных приборов, в том числе приборов с нулевыми шкалами. Так, соблюдение требования об одинаковом числе делений и их величине на всех поддиапазонах позволит иметь одну шкалу для всех пределов измерения (рис. 3). Это существенно упростит изготовление шкалы. Так как в этом случае коэффициенты перекрытия пределов измерения равны 2,5 — 2 — 2, то относительная погрешность измерения величин будет отличаться от приведенной относительной погрешности измерения не более чем в 2,5 раза. Выбор пределов измерения, соответствующих максимальным значениям поддиапазонов (см. таблицу), позволит строить многопредельные приборы с улучшенными метрологическими свойствами. Например, если в приборе Ц430 [5] вместо пределов 0,75—3—6—15—60—150—300—600 выбрать пределы 1—2,5—5—10—25—50—100—250—500, которые соответствуют шкале, приведенной на рис. 3, то при увеличении числа пределов всего лишь на единицу относительная погрешность измерения прибора в целом уменьшится в 1,6 раза.

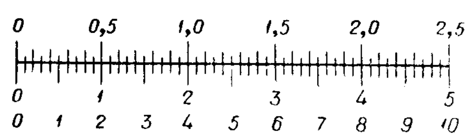

Рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Б. Гриневич. Автоматические мосты переменного тока. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.
2. А. Я. Шрамков. О погрешностях электроизмерительных приборов с нелинейными шкалами.— Труды конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1961.
3. Л. Я. Мизюк, В. Г. Зубов. О расчете пределов и шкал некоторых многопредельных счетно-решающих устройств.— Измерительная техника, 1956, № 5.
4. Государственные стандарты СССР. Электроизмерительные приборы. ГОСТ 5365—57, циферблаты и шкалы. М., Стандартгиз, 1962.
5. Г. П. Шкурин. Справочник по новым электроизмерительным приборам. М., Воениздат, 1964.

Поступила в редакцию
7 мая 1965 г.,
после переработки —
26 июня 1965 г.