

ТОКОВЫЙ КОМПАРАТОР ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО ИНДИКАТОРА ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫХ ПРОЦЕССОВ

В. И. Калашников

Харьков

При исследовании динамических систем методами моделирования, как правило, требуется визуальное наблюдение и сравнение одновременно нескольких медленно изменяющихся напряжений в диапазоне амплитуд от 0 до ± 100 в. Для этих целей используют электронные индикаторы инфранизких частот с последовательным подключением входов к одному усилителю постоянного тока, который управляет лучом по вертикали. Чем больше количество одновременно наблюдаемых процессов, тем сложнее коммутатор, тем труднее суммировать модулированные входные напряжения и тем меньше время, которое отводится на прочерчивание каждого процесса на экране. Последнее особенно существенно, так как либо требует повышения частоты коммутации, либо уменьшает верхнюю границу исследуемых частот.

Использование телевизионного принципа развертки низкочастотных процессов на экране [1, 2] значительно упрощает схему индикатора на много каналов и устраняет ряд недостатков обычных устройств: исчезает необходимость в усилителе развертки по вертикали, который является усилителем постоянного тока с присущим ему дрейфом нуля, устраняется электронный коммутатор и схема суммирования импульсно модулированных напряжений в большом динамическом диапазоне амплитуд.

В устройстве инфранизкочастотного индикатора с разверткой телевизионного типа появляется принципиально новый узел-компаратор, служащий для выработки короткого импульса напряжения, для засвечивания трубки в момент равенства двух напряжений, из которых одно является входным процессом, а второе — напряжением вертикальной развертки.

Схема компаратора. Основным показателем компаратора является точность сравнения и стабильность порога, определяющего момент запуска формирователя импульса. Высокий уровень напряжений аналоговых машин позволяет достаточно точно реализовать источник тока в $1 \div 5$ ма, что дает возможность использовать истоковый компаратор с применением в качестве порогового элемента туннельного диода из арсенида галлия. Схема компаратора с выходным каскадом суммирования импульсов приведена на рис. 1.

Туннельный диод подключен к общей точке сопротивлений, которые служат для создания токов от сравниваемых напряжений. Условие срабатывания туннельного диода (переход из *A* в точку *B* на рис. 2) может быть выражено неравенством

$$\frac{U_{см} - U_{п}}{R_{см}} + \frac{U_{вх} - U_{п}}{R_{вх}} + \frac{U_{в} - U_{п}}{R_{в}} - I_{п} \geq 0, \quad (1)$$

где I_n и U_n — соответственно ток и напряжение пика в характеристике туннельного диода,

$U_{вх}$ — напряжение наблюдаемого процесса,

U_b — напряжение вертикальной пилообразной развертки,

$U_{см}$ — напряжение смещения изображения по вертикали экрана.

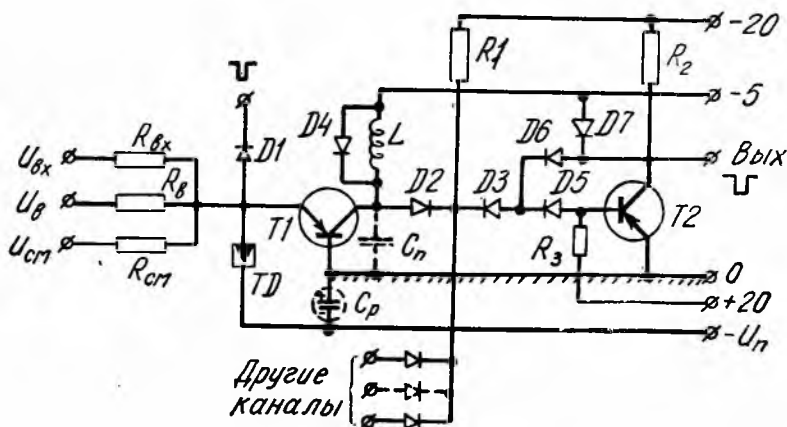


Рис. 1.

Анализ этого выражения позволяет выбрать необходимые диапазоны изменения всех токов, положив в основу требование, чтобы при $U_{вх} = 0$ и $U_{см} = 0$ линия процесса прочерчивалась в середине экрана, т. е. срабатывание должно происходить при половинном значении амплитуды вертикальной развертки

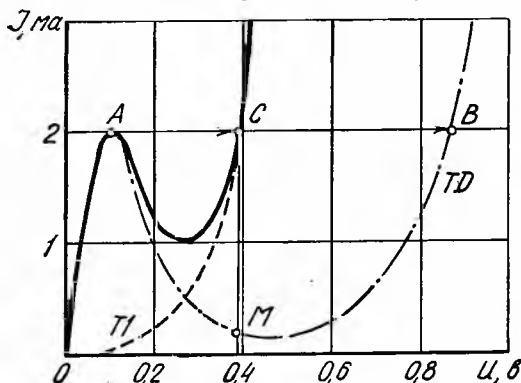


Рис. 2.

$$\frac{U_{вх}}{R_{вх}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{U_b}{R_b} + \frac{U_{см}}{R_{см}} - I_n - U_n \times \left(\frac{1}{R_{вх}} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_{см}} \right) = 0. \quad (2)$$

Отсюда при $U_{вх} = 0$ и $U_{см} = 0$

$$\frac{U_b}{R_b} = 2 \left[I_n + U_n \left(\frac{1}{R_{вх}} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_{см}} \right) \right].$$

Ток от наблюдаемого двуполярного процесса при условии изображения его на всей рабочей части экрана, должен быть связан с током развертки, как

$$2 \frac{U_{вх \text{ макс}}}{R_{вх}} = \frac{U_b}{R_b}.$$

Увеличить или уменьшить изображение можно, выполнив следующие

неравенства путем изменения либо $R_{вх}$, либо $R_{в}$, либо $U_{в}$, оставляя напряжение развертки на отклоняющих пластинах постоянным: для усиления

$$2 \frac{U_{вх макс}}{R_{вх}} > \frac{U_{в}}{R_{в}},$$

для ослабления

$$2 \frac{U_{вх макс}}{R_{вх}} < \frac{U_{в}}{R_{в}}.$$

Для сдвига изображения по вертикали на половину экрана вверх или вниз $U_{см}$ должно изменяться в обе стороны в пределах от 0 до значения, определяемого соотношением

$$\frac{U_{см}}{R_{см}} = \frac{1}{2} \frac{U_{в}}{R_{в}}.$$

Срабатывание туннельного диода с подключенным в общую точку эмиттером триода $T1$ переводит входную схему в точку C (рис. 2), лежащую на общей вольтамперной характеристике туннельного диода и эмиттерного перехода. Ток, ответвляемый при этом в эмиттер, будет близок по величине к I_n (отрезок CM). Для данной схемы был применен туннельный диод с пиковым током равным 2 ма . Это позволило построить схему с достаточно большим входным сопротивлением (порядка 50 ком при шкале $0 \rightarrow 100\text{ в}$). Возврат туннельного диода в исходное состояние при $U_{в} = 0$ осуществляется специальным импульсом сброса, подводимым в общую точку через кремниевый диод $D1$ с большим обратным сопротивлением. Чтобы в суммирующую точку через эмиттер триода уменьшить ток $I_{зо}$, сильно меняющийся с температурой, второй конец туннельного диода подключается к источнику смещения, напряжение которого равно U_n . При этом член с U_n в (2) выпадает. Динамический диапазон входного тока в данной схеме должен быть равен динамическому диапазону входного напряжения, т. е. величине порядка 1000. При максимальном входном токе, равном $+1\text{ ма}$, обеспечение такого динамического диапазона возможно лишь в случае, когда температурные флуктуации и шумы в суммарном токе и пиковом токе туннельного диода будут составлять не более 1 мка . Существенным здесь является нестабильность вершины на вольтамперной характеристике туннельного диода. Из [3] и экспериментов, проведенных в Харьковском политехническом институте для диодов из арсенида галлия, изменение пика составляет около 0,0005 от I_n на 1°C , что позволяет работать с нужным динамическим диапазоном в интервале температур в 2°C . Ограничение напряжения на туннельном диоде после его срабатывания, осуществляемое тириодом, благоприятно сказывается на температуре перехода, так как вольтамперная характеристика диода спадает от пикового тока до напряжения ограничения в первом приближении, по линии равной мощности. Для большей стабильности тепловых характеристик туннельный диод помещается в металлическую масляную ампулу, что исключает быстро протекающие флуктуации пикового тока, вызванные конвекцией теплового воздуха, и служит целям экранировки.

Формирование импульса. Импульс тока с туннельного диода открывает триод $T1$ типа П403. В коллекторной цепи с малым фронтом, определяемом в основном временем диффузии основных носителей из базы в коллектор, образуется скачок тока. В схеме с общей базой триод обладает большим внутренним сопротивлением и может рассматриваться как идеальный генератор тока. Ступенчатый импульс возбуждает колебания в контуре, образованном индуктивностью и паразитной емкостью порядка

30 нф, в которую входит коллекторная емкость триода, монтажная, емкость диодов и собственная емкость индуктивности. До открытия диода D_2 напряжение будет нарастать по синусоидальному закону

$$U = \frac{I}{C_{\pi}\omega} \sin \omega t, \quad (3)$$

где I — амплитуда импульса тока,

C_{π} — паразитная емкость,

ω — угловая частота резонансного контура в коллекторе.

После включения диода D_2 параллельно контуру добавляется нагрузка, имеющая нелинейный характер, связанный с относительно медленным закрытием диода D_3 и возможным насыщением $T1$. Анализ нелинейного уравнения этого контура позволяет более точно выбрать величину индуктивности при заданной C_{π} и требуемой длительности импульса на выходе, определяемой временем нахождения D_2 в открытом состоянии.

Запаздывание в появлении импульса на выходе по отношению к моменту срабатывания туннельного диода определяется следующими факторами:

- 1) временем нарастания напряжения на эмиттере триода, которое определяется скоростью переключения туннельного диода (≈ 10 нсек);
- 2) временем диффузии основных носителей (для П403 ≈ 10 нсек);
- 3) временем нарастания колебательного процесса (3) до открытия D_2 (при $\omega = 2\pi \cdot 3 \cdot 10^6$, $I = 2 \cdot 10^{-3}$, $C_{\pi} = 30 \cdot 10^{-12}$, $U_{\text{порога}} = 3$ в $\approx 0,1$ мксек);
- 4) временем срабатывания выходной схемы (≈ 80 нсек).

В результате общее запаздывание составляет примерно 0,2 мксек.

При частоте вертикальной развертки 5 кГц и диапазоне изменения тока 2 ма условие равенства (2) нарушается лишь на 2 мка. Это рассогласование для данного применения имеет постоянную величину во всем диапазоне входных токов.

При выборе формирующей индуктивности важно обеспечить нужную длительность импульса на выходе схемы, определяющую время засветки луча. Так как для трубки с диаметром экрана 300 мм скорости развертки луча по вертикали при 5 кГц составляет 1 500 000 мм/сек, то для получения на экране точки диаметром 0,5 мм длительность засвечивающего импульса должна быть около 0,3 мксек, что возможно при $\omega = 2\pi \cdot 3 \cdot 10^6$. Выходная схема [4], построенная на триоде типа П403 обеспечивает формирование импульса с фронтами 30–50 нсек и амплитудой около 5 вольт.

С переходом колебательного процесса в контуре на второй полупериод в коллекторе $T1$ открывается диод $D4$ и гасит колебания. Напряжение коллектора открытого триода $T1$ устанавливается 5 вольт.

Если необходимо иметь много каналов для одновременного наблюдения процессов, нужно на каждый канал поставить свой туннельный диод с набором сопротивлений и полупроводниковый триод с индуктивностью подсоединив последние через диоды в общую точку диодов D_2 и D_3 для суммирования импульсов.

В результате анализа и экспериментального исследования схемы получены данные, позволяющие применить токовый компаратор для построения многоканального индикаторного устройства, предназначенного для наблюдения инфранизкочастотных процессов, получаемых с аналоговых машин.

Схема может применяться и для других целей, в которых необходимо отмечать момент равенства двух токов.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Васильев, В. И. Калашников. Разработка универсального четырехканального электронно-лучевого осциллографа У4ЭО—1. Удостоверение о регистрации № 18008, приоритет от 7 марта 1960.
 2. В. Г. Васильев, В. И. Калашников. Изготовление шестиканального электронно-лучевого индикатора. «Отчет о научно-исследовательской работе», Харьковск. политехн. ин-т, 1961.
 3. Туннельные диоды. Сб. статей под ред. В. И. Фистуля. Изд-во иностр. лит., 1961.
 4. А. И. Прессман. Расчет и проектирование схем на полупроводниковых приборах для цифровых вычислительных машин. Изд-во иностр. лит., 1963.
-