

16
Г-96

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Лаборатория ядерных проблем

P-445

Т. Тэнзеску

СУПЕРОРТИКОН-УСИЛИТЕЛЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ
С ВЫСОКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

Дубна 1959 год

P-445

Т. Тэнэсеску

СУПЕРОРТИКОН-УСИЛИТЕЛЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ
С ВЫСОКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Изучается способ применения суперортика для работы при очень низких уровнях освещения изображения.

Результат опытных данных показывает, что суперортик при нормальной работе может работать с уровнем освещения в 16 раз меньше уровня, при котором работает самая чувствительная фотопленка.

Показано какие конструктивные изменения были осуществлены на суперортике разными исследователями для того, чтобы снизить еще больше порог освещения. Предлагается для обычного суперортика рабочий режим с быстрой разверткой для увеличения чувствительности. В конце показывается как при помощи обычного суперортика и двух каскадов электронно-оптического усиления изображения можно регистрировать изображения с кинескопа, вызываемые потоком света 50 фотон/мм^2 .

В физике встречается задача создания прибора, способного регистрировать на фотопленке тонкие треки света малой продолжительности: 10^{-8} - 10^{-7} сек. Для этого необходимо усиливать световое изображение до уровня, достаточного для фотографирования. Самая чувствительная фотопленка, существующая в настоящее время /1000 единиц ГОСТ/, требует для освещенных точек приблизительно 0,001 люкс-сек для получения коэффициента пропускания равного 0,33 на негативе. Известно, что понижение этого порога для фотографирования на пленке осуществимо сегодня, если используется предусиление светового изображения при помощи телевизионной установки, содержащей суперортикон. В этом случае на пленке снимается экран окончательного кинескопа телевизионной установки.

Каков же нижний порог освещения суперортикона?

В случае суперортикона ЛИ-17 с обычным растром из 625 линий и 25 кадров/сек экспериментально было получено на экране кинескопа изображение, посылающее на фотокатод в 16 раз меньше света, необходимого для его фотографирования на фотопленке чувствительностью 1000 единиц ГОСТ.

Для получения разборчивого изображения рисунка необходимо было освещение фотокатода примерно равное 0,0015 люкс.

Эти экспериментальные данные действительны для времен выдержки больше 40 миллисекунд. Они неприменимы прямо к коротким освещением, которые мы хотим регистрировать. Но перед суперортиконом можно поставить один или несколько электронно-оптических преобразователей света, способных интегрировать на своих люминесцентных экранах в течение 30-50 мсек короткие световые явления. Эти времена одинаковы по порядку с временем рельефного потенциала на мишени суперортикона.

Рассмотрим интересующие нас главные физические процессы суперортикона.

В промежутке времени между двумя кадрами ток фотоэлектронов способствует зарядке одного элемента мишени положительным зарядом и образует потенциал $V = \frac{q_0}{C}$, где C - емкость одного элемента мишени. В следующий момент коммутирующий пучок интенсивностью I_0 стирает элемент и теряет часть заряда q . Ток равен $i_s = \frac{q}{\Delta t} = \frac{q}{\alpha} v$, где α - сторона

элемента предположенной квадратной формы, V - скорость развертки пучка, Δt - время прохождения одного элемента.

Таким образом, потенциал элемента понижается на $\frac{q}{c}$. Чтобы аннулировать заряд элемента мишени, нужно, чтобы q было равно q_0 . В действительности же часто бывает $q < q_0$ при слабом освещении, и элемент имеет остаточный заряд, который разряжается пучком в следующем кадре или же в дальнейших кадрах. Следовательно, существует опоздание, продолжение сигнала, представляющее светлую точку. Определенному отношению q/q_0 соответствует определенное опоздание разряда мишени при стирании.

Заряд q , потерянный пучком на элементе, зависит от V , i_s и Δt , причем он растет с увеличением любой из этих трех величин, стремясь к верхнему пределу q_0 . Одновременно с увеличением V и i_s растет и ток сигнала i_s . Вообще соотношение $\frac{i_s}{V i_B}$, обозначенное M / коэффициент модуляции пучка/, является функцией V/i_B . Соответствующая зависимость $M=f(V)$ в нижней части имеет степенную форму /рис. 1/, главным образом, благодаря распределению скоростей электронов пучка термической эмиссии. Понижение порога освещения суперорбитрона ограничено внутренним шумом. Этот внутренний шум обусловлен главным дробовым эффектом электронов пучка.

Соотношение сигнал-шум следующее:

$$\frac{S}{N} = \frac{i_s}{\sqrt{2eBi_B}} = K\sqrt{V i_s M}$$

где e - заряд электрона, B - ширина полосы пропускания видео-усилителя.

По кривой /рис. 1/ можно опускаться только до той точки, для которой произведение $i_s M$ не уменьшит соотношение $\frac{S}{N}$ ниже предела, соответствующего передаче с допустимым визуальным шумом.

Каким образом можно снизить нижний порог освещения?

А.А.Ротовым был построен суперорбитрон с большим расстоянием между мишенью и сеткой /2/. Таким образом уменьшается емкость C и для того же освещения и того же заряда q_0 получается больший потенциал V . Тогда на кривой рис. 1 $M = \frac{i_s}{i_B}$ будет большим. Этот M можно получить

с разными парными значениями $i_s - i_g$, регулируя ток пучка i_g .

Для сравнения этого нового суперортикаона с обычным суперортикаоном постараемся создать для обоих одинаковые опоздания разрядки мишени стиранием при том же освещении. Для этого нужно иметь одинаковое отношение $\frac{q}{q_0}$. При одинаковом освещении, т.е. при том же q_0 , q должен быть одинаковым для обоих суперортикаонов. Следовательно i_s будет то же, если v и a соответственно равны. Следовательно, так как у нового суперортикаона M больше, то чтобы получить такое же опоздание разрядки мишени, будет нужен меньшее i_g . Теперь, если освещение постепенно уменьшается для обеих трубок, то i_g , v , M и $\frac{S}{N}$ будут уменьшаться. Минимальная величина отношения $\frac{S}{N}$ будет быстро достигнута, в первую очередь, для обычной трубки, а потом для трубки Ротова, так как в последнем случае M больше.

Таким путем удалось снизить нижний порог в 20 - 100 раз по отношению к порогу обычного суперортикаона.

Другой метод снижения порога чувствительности суперортикаонов - это предварительное усиление сигнала до места появления главного шума, т.е. перед коммутированием на мишени.

Г.Мортон и Д.Руди /3/ изучали возможность введения в область трубки между фотокатодом и мишенью одного или нескольких электронно-оптических каскадов для усиления яркости и зарядов оставленных на элементах мишени, используя опыт, приобретенный конструкторами трубок электронно-оптического усиления. В.Р. Декер и Р.Шнеебергер /4/ взяли в качестве мишени полупроводниковую пластинку, в которой предварительно, с помощью эффекта индуцированной проводимости, создают электронное усиление при бомбардировке фотоэлектронов.

Ниже мы предлагаем снизить порог чувствительности при увеличении скорости развертки обычных суперортикаонов. На первый взгляд кажется, что при этом для того же освещения происходит пропорциональное увеличение

$$i_s = \frac{1}{a} q v, \quad \text{т.е. соответственно увеличение чувствительности.}$$

Рассмотрим подробно это решение.

Если мы хотим работать с более низким уровнем освещения, будет меньше $q_0 = fA$, где f - коэффициент, характеризующий первую электронно-оптическую часть суперорбитрона и A - освещение фотокатода в данной точке. Следовательно, и V будет меньше:

Чтобы создать определенное опоздание разрядки, отношение $\beta = \frac{q}{q_0}$ должно иметь определенное значение. Коэффициент β характеризует опоздание и принимает максимальное значение 1, когда опоздание равно нулю.

Тогда

$$q = \beta f A \quad \text{и} \quad i_s = \frac{1}{a} q v = \frac{\beta f}{a} \cdot A \cdot v,$$

т.е. i_s пропорционально не только v , но и A , которое мы хотим уменьшить.

С другой стороны, меньшему V соответствует /рис. 1/ меньшее M . Из вышесказанного при определении функции $M(V)$ вытекает, что она не зависит от скорости v , т.е. можно использовать кривую $M(V)$ суперорбитрона с нормальной скоростью и в случае быстрой развертки. Из условия обеспечения одинакового отношения сигнал-шум $\frac{S}{N} = k \sqrt{i_s M}$ следует, что для меньшего M нужно брать большее i_s .

Если кривая $M(V)$ близка в нижней части к $M = mV^2$, то в вышеуказанных условиях нижний порог чувствительности равен

$$A = \frac{1}{f} \sqrt[3]{\left(\frac{S}{N}\right)^2 \cdot \frac{a c^2}{m \beta k^2} \cdot \frac{1}{v}}.$$

Отсюда видно, что при увеличении v в 27 раз, порог понижается только в три раза. Один способ увеличить это соотношение - это предусмотреть общее слабое освещение фотокатода, на которое накладывается полезное изображение. Таким образом, рабочая точка на кривой $M(V)$ поднимется в более линейную область.

Практически, поднимая v , встречаем некоторые трудности.

Развертка осуществляется обычным магнитным отклонением. Катушки питаются пилообразным током; при увеличении частоты импульсов пилообразного тока увеличивается и перенапряжение, обуславливаемое этим током.

Нормальная скорость развертки одной линии в случае 25 кадров в сек, и 625 линий в одном кадре соответствует длительности линии в $\frac{1}{25} \times \frac{1}{625} = 64$ мксек; в случае линии в 32 мм это дает скорость 0,5 мм/мксек.

Для того, чтобы избежать перенапряжения в катушках, изготовленных для обычной развертки с пилообразным током, полезно использовать для развертки синусоидальное напряжение. Перемещение луча и скорость /в мм/сек/ при этом равны:

$$\begin{aligned}x &= 16 \sin \omega t \\v &= 16 \omega \cos \omega t.\end{aligned}$$

Для центра скорость получается 16ω . Это соответствует частоте 5 кгц, если мы хотим получать для центра нормальную скорость обычного телевидения; для того, чтобы иметь 625 линий, необходимо, чтобы один кадр длился 0,062 сек, т.е. иметь 16 кадров в секунду. Если мы выберем большую частоту, тогда положение меняется, ток I_s растет. Практически существует верхний предел для этой частоты. Отклоняющие катушки для линий имеют обычно собственную резонансную частоту, приблизительно равную 220 кгц. Рабочая частота должна находиться ниже этой предельной частоты. Если, например, выберем $\omega = 2\pi \times 180$ кгц = $1,13 \times 10^6$, то для центра получается скорость развертки в 36 раз больше нормальной скорости. Для того, чтобы иметь 625 линий, необходимо пропустить 575 кадров в сек; это соответствует 20 кадрам для каждого изображения, сохраняющегося на мишени в течение 29 мсек.

В нашей синусоидальной развертке при этом получится небольшое уширение следа, если иметь ввиду, что фаза сигнала сохраняется. Это не является большим препятствием.

В случае воспроизведения рисунка, образованного из тонких линий на выходе суперортикона, работающего с быстрой разверткой, будем иметь ток сигнала большей амплитуды /пропорциональный $v^{\frac{3}{2}}$ / и с более быстрыми вариациями. Для того, чтобы работать с тем же разрешением, видеоусилитель должен пропускать более крутые фронты. В нашем случае мы должны воспроизводить световые линии, это означает, что на выходе будем иметь короткие импульсы тока. Если развертка линий осуществляется с частотой 180 кгц, т.е. в 36 раз быстрее, чем в нормальном телевидении, где была необходима полоса в 5 мгц, то здесь полоса видеоусилителя должна быть 180 мгц. Кроме труд-

ностей, возникающих при изготовлении усилителей с такой полосой пропускания, стоит дополнительная трудность, вызванная необходимостью большого коэффициента усиления. В самом деле, для того, чтобы иметь постоянную времени, соответствующую фронту сигнала, на выходе суперортикона должна стоять нагрузка в 36 раз меньшая и, следовательно, усиление видеоусилителя должно быть больше. Другая трудность состоит в том, что при увеличении полосы пропускания коэффициент усиления каскада падает. Наконец, новая трудность состоит в том, что при большой полосе растет уровень шумов в усилителе. Но известно, что в случае суперортикона /5/ видимость шумов ограничена сверху, когда полоса пропускания превышает 1 мгц.

Все трудности, перечисленные выше, существенно уменьшаются при использовании одного многокаскадного усилителя с настроенными контурами до частоты $\frac{1}{24}$. Δ - ширина переданного импульса; Q настроенного контура рекомендуется брать небольшим /1-3/ /6/.

Подобная телевизионная установка с быстрой разверткой пучка проверяется в настоящее время. На этой установке намечается проверить вышеизложенные принципы работы, пределы их применимости, а также оптимальные условия работы такой установки.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 декабря 1959 года.



Рис. 1.

Л и т е р а т у р а

1. Гуревич С.Б. Физические процессы в передающих телевизионных трубках. Физматиздат. Москва, 1958 г.
2. Rotow A.A. RCA Review, XVII, Sept. 1956, 425.
3. Morton G. Rudi D. Proc. 2nd Nation Conv. Electronics, June 1958, 113.
4. Deker R.W., Schneeberger R.J. IRE Nation. Conv.Record 1957, Part.3, 156.
5. Гуревич С.Б., Соколов В.И. Техника кино и телевидения. 1958, 3, 40-50.
6. Тэнэсеску Т. Об усилении очень коротких импульсов. /Препринт ОИЯИ/.