

Малошумящие усилители фирмы Linear Technology

Параметры микросхем и их применение в активных матрицах

Корпорация Linear Technology Corporation специализируется на производстве различных аналоговых микросхем. Есть среди них усилители, компараторы, источники опорного напряжения, монолитные фильтры, линейные стабилизаторы, DC/DC-конвертеры, зарядные устройства, конвертеры данных, микросхемы интерфейсов связи, схемы обработки радиочастотного сигнала и многое другое. В предыдущем номере журнала были рассмотрены маломощные ОУ этой фирмы. В настоящей статье речь пойдет об ОУ, которые отнесены производителем к малошумящим.

Игорь Безверхний

ibb@ua.fm

При работе с сигналом, который имеет очень малый уровень, и в ряде иных случаев очень важно, чтобы усилитель, обрабатывающий этот сигнал, добавлял к нему минимум собственных шумов. Специально для этих целей Linear Technology выпускает 57 микросхем малошумящих ОУ (Low Noise Amplifiers). Поскольку большинство из этих микросхем может поставляться в нескольких корпусах, реальное число разновидностей малошумящих ОУ значительно больше.

Микросхемы малошумящих ОУ изготавливаются фирмой Linear Technology как одинарные (одноканальные), так и двоянные (двухканальные), строенные (трехканальные) и счетверенные (четырёхканальные). Причем существует ряд малошумящих ОУ с одинаковыми параметрами и разным количеством каналов. Они имеют в маркировке близкие номера. Например:

- LT1398 (сдвоенные) и LT1399 (строенные);
- LT6202 (одинарный), LT6203 (сдвоенные) и LT6204 (счетверенные);
- LT6233 (одинарный), LT6234 (сдвоенные) и LT6235 (счетверенные).

Особенности и основные параметры микросхем малошумящих ОУ, по которым можно осуществлять первичный выбор этих микросхем, сведены в таблицу.

Для осуществления предварительного (первичного) выбора малошумящих ОУ для каждой микросхемы в таблице указано количество каналов, тип корпуса и три основных параметра:

- спектральная плотность ЭДС шума;
- частота единичного усиления (GBW);
- ток потребления без нагрузки (I_S).

Рассмотрим подробнее микросхемы LT1398 и LT1399 и LT1399HV.

Малошумящие усилители LT1398, LT1399 и LT1399HV фирмы Linear Technology

Микросхемы малошумящих ОУ LT1398 и LT1399 предназначены для применения в качестве широко-

полосных усилителей и могут использоваться как микшерные и масштабирующие усилители в оргтехнике, телевизионной и звуковой аппаратуре. Например, на этих микросхемах могут быть изготовлены следующие устройства:

- драйверы для передачи RGB-сигналов по кабелю;
- драйверы для передачи ПЦТ(В)С (Полного Цветного Телевизионного (Видео) Сигнала) по кабелю;
- драйверы ЖКД;
- активные матрицы для преобразования RGB-сигналов в яркостной и цветоразностные сигналы;
- активные матрицы для преобразования яркостного и цветоразностных сигналов в RGB-сигналы.

Микросхема LT1398 представляет собой двухканальный ОУ и изготавливается в корпусе SO-16, а LT1399 — это трехканальный ОУ в корпусах SSOPN-16, SO-16.

Напряжение питания микросхем LT1398 и LT1399 — от 4 до 6 В. Микросхема LT1399HV изготавливается только в корпусе SO-16 и отличается от LT1399 только повышенным напряжением питания (4–7,5 В).

Основные параметры (см. также таблицу):

- скорость нарастания напряжения (SR — Slew Rate) у этих микросхем составляет 800 В/мкс;
- коэффициент ослабления синфазного сигнала (CMRR — Common Mode Rejection Ratio) равен 52 дБ;
- коэффициент подавления пульсаций напряжения питания (PSRR — Power-Supply Rejection Ratio) равен 70 дБ.

Каждый из этих ОУ имеет вход разрешения, в обозначении которого присутствует сокращение EN (от английского enable — разрешение, допуск). При подаче на этот вывод низкого потенциала ОУ замирается (Shutdown) и его ток потребления уменьшается практически до нуля. Цоколевку этих микросхем можно увидеть на рис. 1.

Назначение выводов понятно из сокращенного обозначения на рис. 1 и поэтому отдельно не приводится.

Подробную информацию по микросхемам LT1398, LT1399 и LT1399HV можно найти в технической документации по этим микросхемам [3].

Таблица. Малошумящие ОУ фирмы Linear Technology

Типы МС	Количество каналов	Спектральная плотность ЭДС шума (Enoise Density), нВ/Гц ^{1/2}	Частота единичного усиления (GBW), МГц	Ток потребления без нагрузки (I _q), мА	Корпуса
LT1001	1	9,6	0,8	1,5	DIP-8, SO-8
LT1007	1	2,5	8	2,6	DIP-8, SO-8
LT1028	1	0,85	75	7,4	DIP-8, SO-8, SOW-16
LT1037	1	2,5	60	2,6	DIP-8, SO-8
LT1115	1	0,9	70	8,5	DIP-8, SOW-16
LT1128	1	0,85	20	7,4	DIP-8, SO-8
LT1206	1	3,6	66	20	DDPAK-7, DIP-8, SO-8, TO-220
LT1210	1	3	66	35	DDPAK-7, SO-16, TO-220
LT1222	1	3	500	8	SO-8
LT1226	1	2,6	1000	7	SO-8
LT1227	1	3,2	140	10	DIP-8, SO-8
LT1395	1	4,5	400	4,6	SO-8, SOT23-5, SOT23-6
LT1677	1	3,2	7,2	2,75	DIP-8, SO-8
LT1722	1	3,8	200	3,7	SO-8, SOT23-5
LT1792	1	4,2	5,6	4,2	DIP-8, SO-8
LT1806	1	3,5	325	9	SO-8, SOT23-6
LT6013	1	9,5	1,6	0,145	DFN-8, SO-8
LT6200	1	0,95	165	20	SO-8, SOT23-6
LT6200-10	1	0,95	1600	20	SO-8, SOT23-6
LT6200-5	1	0,95	800	20	SO-8, SOT23-6
LT6202	1	1,9	100	2,8	SO-8, SOT23-5
LT6230	1	1,1	215	3,3	SOT23-6
LT6230-10	1	1,1	1450	3,3	SOT23-6
LT6233	1	1,9	60	1,15	SOT23-6
LT6233-10	1	1,9	375	1,15	SOT23-6
LT1113	2	4,5	5,6	5,3	DIP-8, SO-8
LT1124	2	2,7	12,5	2,3	DIP-8, SO-8
LT1126	2	2,7	65	2,6	DIP-8, SO-8
LT1169	2	6	5,3	5,3	DIP-8, SO-8
LT1207	2	3,6	66	20	SO-16
LT1229	2	3,2	100	6	DIP-8, SO-8
LT1253	2	3	250	6	DIP-8, SO-8
LT1259	2	3,6	130	5	DIP-14, SO-14
LT1396	2	4,5	400	4,6	DFN-8, MS-8, SO-8
LT1398	2	4,5	300	4,6	SO-16
LT1497	2	3	59	6	SO-8, SO-16
LT1678	2	3,9	20	2	SO-8
LT1723	2	3,8	200	3,7	DIP-28, SO-8
LT1807	2	3,5	325	9	MS-8, SO-8
LT6014	2	9,5	1,6	0,145	DFN-8, SO-8
LT6201	2	0,95	165	20	DFN-8, SO-8
LT6203	2	1,9	100	2,8	DFN-8, MS-8, SO-8
LT6231	2	1,1	215	3,3	DFN-8, SO-8
LT6234	2	1,9	60	1,15	DFN-8, SO-8
LT1260	3	3,6	130	5	DIP-16, SO-16
LT1399	3	4,5	300	4,6	SSOPN-16, SO-16
LT1399HV	3	4,5	300	4,6	SO-16
LT1125	4	2,7	12,5	2,3	DIP-14, SO-16
LT1127	4	2,7	65	2,6	DIP-14, SO-16
LT1230	4	3,2	100	6	DIP-14, SO-14
LT1254	4	3	250	6	SO-14, N-14
LT1397	4	4,5	400	4,6	SO-14, SSOPN-16
LT1679	4	3,9	20	2	SO-14
LT1724	4	3,8	200	3,7	SO-14
LT6204	4	1,9	100	2,8	DFN-8, MS-8, SO-14, SSOPN-16
LT6232	4	1,1	215	3,3	SSOPN-16
LT6235	4	1,9	60	1,15	SSOPN-16

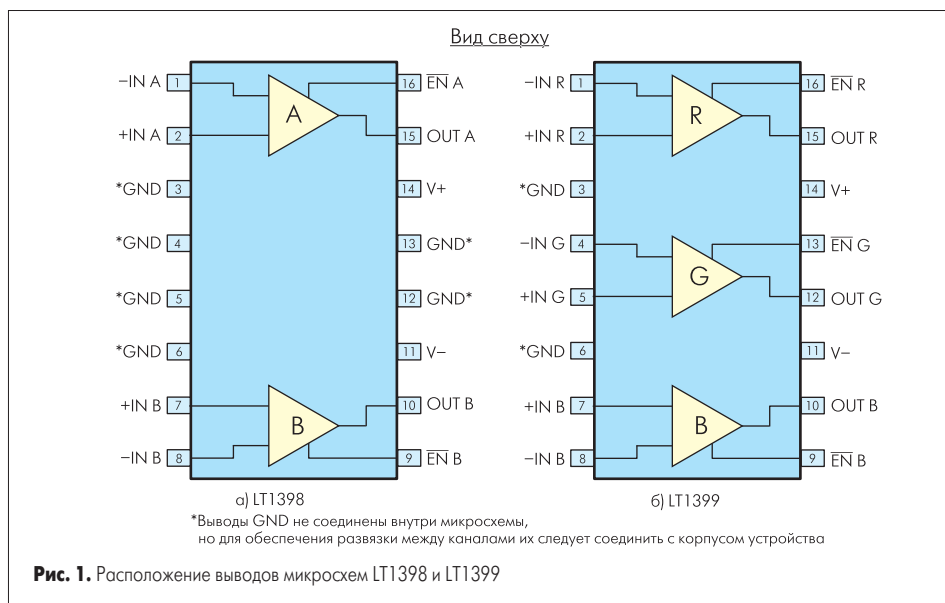


Рис. 1. Расположение выводов микросхем LT1398 и LT1399

Немного теории

Ниже будет приведено краткое описание двух активных матриц: одна для преобразования RGB-сигналов в яркостной и цветоразностные сигналы, а другая для обратного преобразования яркостного и цветоразностных сигналов в RGB-сигналы. Поэтому вспомним, что представляют собой эти сигналы. Это удобно делать по испытательным сигналам вертикальных цветных полос, которые показаны на рис. 2.

Непосредственно в передающей камере или в видеокамере на выходе передающей ТВ-трубки, в видеокарте ПК и даже в телевизионных игровых приставках формируются сигнал основных цветов E_R (красного), E_G (зеленого) и E_B (синего). Эти сигналы можно после определенной обработки использовать для получения изображения на экране телевизора и монитора, но в системах цветного телевидения, а иногда и в мониторах вычислительных устройств, для формирования изображения передаются следующие три сигнала:

- яркостной сигнал (E_Y);
- цветоразностный сигнал красного (E_{R-Y});
- цветоразностный сигнал синего (E_{B-Y}).

Яркостной сигнал (E_Y) можно получить, сложив сигналы основных цветов (E_R , E_G и E_B) в следующей пропорции:

$$E_Y = 0,3E_R + 0,59E_G + 0,11E_B. \quad (1)$$

Это осуществляется с помощью трехвходовой суммирующей матрицы. С помощью двухвходовых матриц можно получить цветоразностные сигналы красного и синего, так как сигнал $E_{R-Y} = E_R - E_Y$, а $E_{B-Y} = E_B - E_Y$ (рис. 2).

Испытательные сигналы вертикальных цветных полос создают на экране телевизора или монитора восемь вертикальных полос белого, желтого, голубого, зеленого, пурпурного, красного, синего и черного цветов. Все эти цвета формируются как смесь трех основных цветов. Это хорошо видно на рис. 2 по графикам сигналов E_R , E_G и E_B . На этом рисунке показана активная часть строки (прямой ход) каждого из изображенных сигналов. Высокие уровни этих сигналов соответствуют макси-

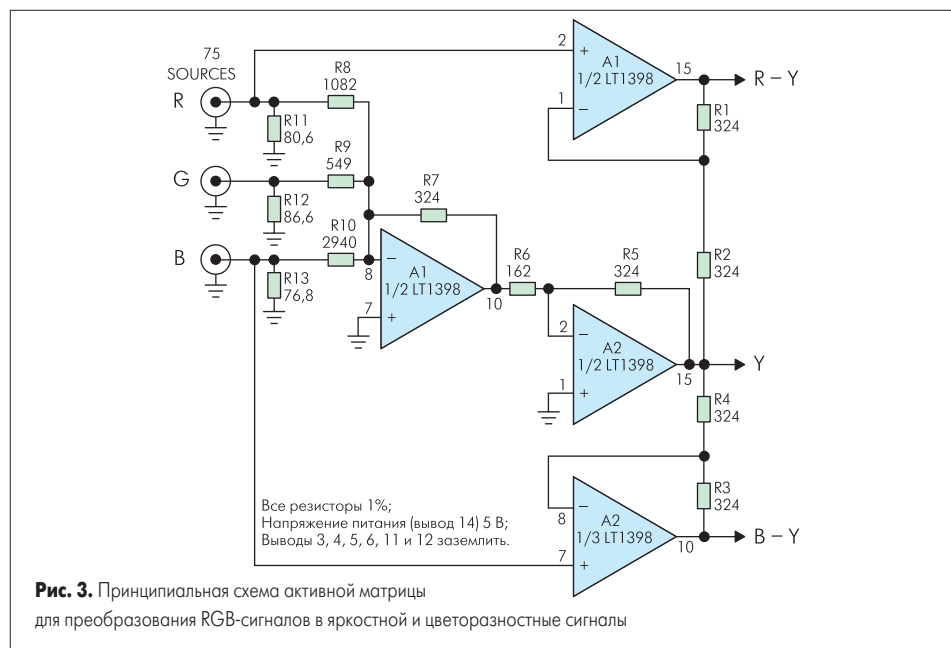
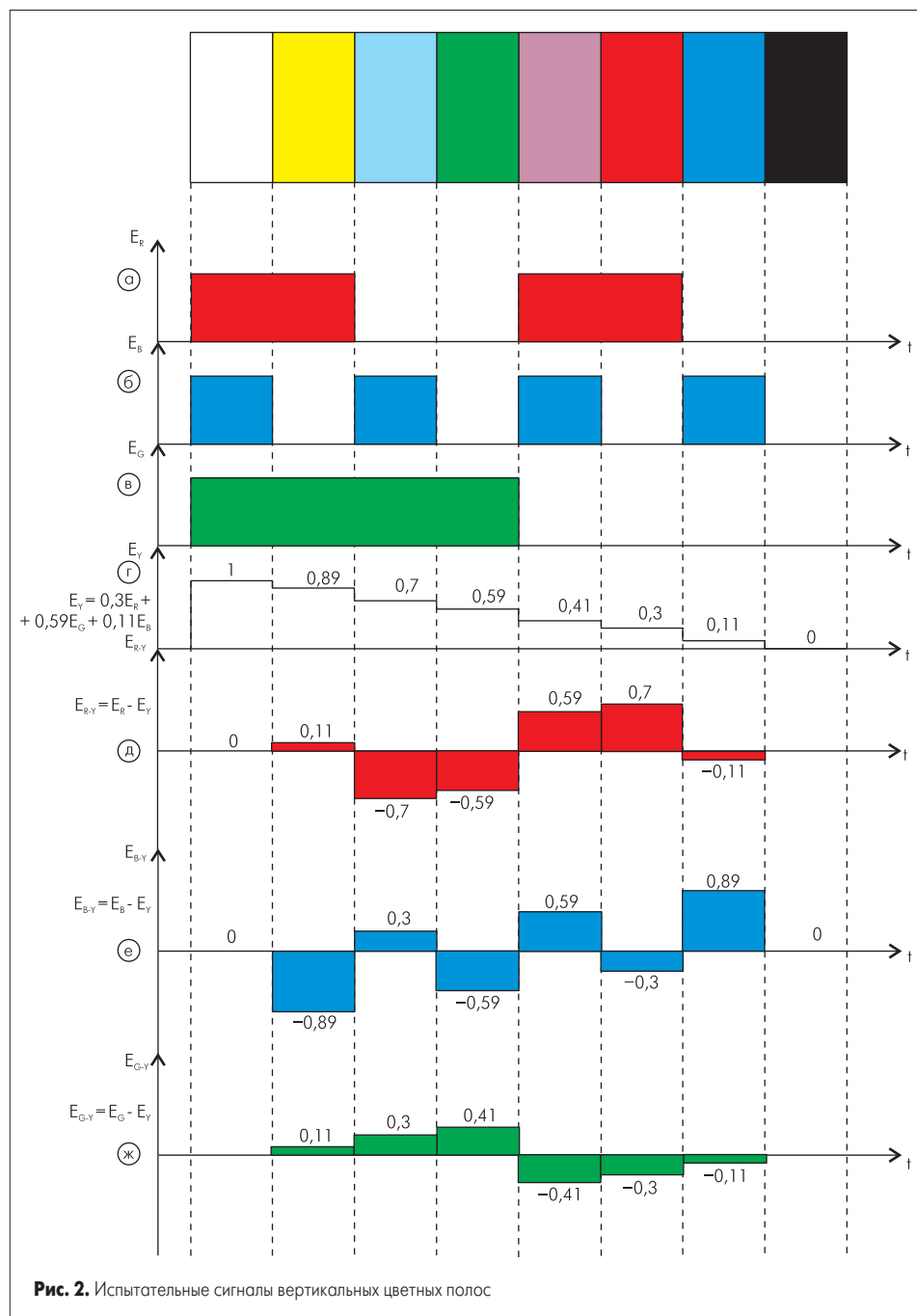
мальной яркости соответствующего цвета, а низкий уровень — отсутствию свечения этого цвета. Так, на белой полосе имеются все три цвета, на желтой — R и G, на голубой — G и B, на пурпурной — B и R, а на черной полосе отсутствуют все цвета.

Складывая сигналы основных цветов на графиках рис. 2 по формуле (1), получим яркостной сигнал E_Y ступенчатой формы. Учитывая значения сигналов основных цветов (E_R , E_G и E_B), сделаем это для желтой полосы $E_{Y(\text{«желтая полоса»})} = 0,3 \times 1 + 0,59 \times 1 + 0,11 \times 0 = 0,89$. Для пурпурной полосы уровень яркостного сигнала $E_{Y(\text{«пурпурная полоса»})} = 0,3 \times 1 + 0,59 \times 0 + 0,11 \times 1 = 0,41$. Аналогично можно подсчитать уровни яркостного сигнала для других полос. Пользуясь описанным выше методом, можно из каждого сигнала основного цвета E_R , E_G и E_B вычесть яркостной сигнал E_Y , в результате чего мы получим соответствующие цветоразностные сигналы E_{R-Y} , E_{G-Y} и E_{B-Y} . Их форму для вертикальных цветных полос также можно увидеть на рис. 2д–ж. Используя подобным образом графики рис. 2, можно разобраться в физике процессов, происходящих и при обратном преобразовании яркостного и цветоразностных сигналов в сигналы основных цветов.

Активная матрица для преобразования RGB-сигналов в яркостной и цветоразностные сигналы

Схема (см. рис. 3) и упрощенная информация с кратким описанием этого устройства на английском языке имеется в документе с кратким номером DN-213 [4].

Документ DN-213 (Design Note 213) — это рекомендации разработчику по применению микросхемы LT1399. Матрица в схеме из DN-213 собрана на четырех ОУ, то есть в схеме из DN-213 используется целиком одна микросхема LT1399 и один ОУ из другой. Такое решение вполне допустимо и даже рационально, если два других ОУ второй микросхемы LT1399 задействованы в других узлах устройства. Если нет, то матрицу лучше собрать на двух LT1398, как указано на рис. 3.



Это единственное изменение, которое внесено в схему автором этой статьи.

На ОУ с выводами 7, 8, 10 микросхемы A1 и ОУ с выводами 1, 2, 15 микросхемы A2 собрана активная трехходовая матрица для получения яркостного сигнала, который обозначен на схеме как Y. В качестве активной матрицы для получения цветоразностного сигнала красного (R-Y) используется ОУ с выводами 1, 2, 15 микросхемы A1, а на ОУ с выводами 7, 8, 10 микросхемы A2 собрана двухходовая активная матрица, которая обеспечивает получение цветоразностного сигнала синего (B-Y).

Резисторы R11, R12, R13 обеспечивают согласование 75-омных источников входных сигналов RGB со входами устройства. Эти резисторы имеют разные значения номинальных сопротивлений, так как параллельно каждому из них подключены входы матрицы, которые также имеют разные входные сопротивления.

Собственно, сама матрица Y собрана на ОУ микросхемы A1 с выводами 7, 8, 10. Этот ОУ включен как инвертирующий каскад, коэффициенты передачи которого по напряжению для сигнала R определяются по формуле $K_R = R7/R8 = 324/1082 = 0,2994$, для сигнала G — по формуле $K_G = R7/R9 = 324/549 = 0,5902$, а для сигнала B — по формуле $K_B = R7/R10 = 324/2940 = 0,1102$. Результаты вычислений указаны с избыточной точностью (до четвертого знака после запятой). Они практически совпадают с коэффициентами формулы (1), из которой следует, что на выводе 10 микросхемы A1 формируется яркостной сигнал E_Y или Y, как его принято обозначать в зарубежной технической документации. Правда, этот сигнал будет инверсным, и его правильнее обозначить как $-E_Y$ или $-Y$. Далее яркостной сигнал усиливается вдвое инверсным усилителем на ОУ с выводами 1, 2, 15 микросхемы A2, коэффициент усиления которого определяется по формуле $K = R5/R6 = 324/162 = 2$. На выводе 15 микросхемы A2 будет яркостной сигнал в положительной полярности, имеющий двойную амплитуду ($2E_Y$ или $2Y$). Этот сигнал поступает на выход Y устройства и через резисторы R2 и R4 на инвертирующие входы матриц R и B соответственно. На неинвертирующие входы ОУ, на которых собраны эти матрицы, поступают сигналы основных цветов со входов R и B. ОУ производят операции вычитания яркостного сигнала из соответствующего сигнала цветности, и полученные цветоразностные сигналы красного и синего поступают на выходы R-Y и B-Y схемы.

Активная матрица для преобразования яркостного и цветоразностных сигналов в сигналы RGB

Схема (см. рис. 4) и упрощенная информация с кратким описанием этого устройства также приведены в документе DN-213 [4].

Это устройство собрано на одной микросхеме A1 типа LT1399 и состоит собственно из трех матриц:

- красного на ОУ A1.1 (1/3 LT1399);
- синего на ОУ A1.3 (1/3 LT1399);

- зеленого на ОУ А1.2 (1/3 LT1399).

Две первые матрицы имеют одинаковую схему и выполняют простую операцию сложения входных сигналов:

- $E_Y + E_{R-Y} = E_R$;
- $E_Y + E_{B-Y} = E_B$.

Резисторы R1, R2, R12 и R13 обеспечивают развязку между входами устройства. Делитель R3, R4 определяет коэффициент усиления ОУ А1.1 (1/3 LT1399), а R14, R15 — коэффициент усиления ОУ А1.3 (1/3 LT1399).

Третья матрица немного сложнее. Для того, чтобы разобраться в ее работе, произведем несколько простейших арифметических операций (для 5-го класса средней школы). Давайте внимательно посмотрим на формулу (1). В этой формуле сумма коэффициентов при сигналах основных цветов равна единице ($0,3 + 0,59 + 0,11 = 1$). Используя это свойство, представим сигнал E_Y следующим образом:

$$E_Y = 0,3E_Y + 0,59E_Y + 0,11E_Y. \quad (2)$$

Теперь вычтем из равенства (1) равенство (2):

$$E_Y = 0,3E_R + 0,59E_G + 0,11E_B$$

—

$$E_Y = 0,3E_Y + 0,59E_Y + 0,11E_Y$$

$$E_Y - E_Y = 0,3(E_R - E_Y) + 0,59(E_G - E_Y) + 0,11(E_B - E_Y). \quad (3)$$

Из этого следует, что $0,3E_{R-Y} + 0,59E_{G-Y} + 0,11E_{B-Y} = 0$, а это значит, что цветоразностный сигнал зеленого — это линейная комбинация цветоразностных сигналов красного

и синего. Именно поэтому он не передается ни в одной из систем цветного телевидения. Этот сигнал можно вычислить по формуле:

$$\begin{aligned} E_{G-Y} &= -(0,3E_{R-Y} + 0,11E_{B-Y})/0,59; \\ E_{G-Y} &= -(0,51E_{R-Y} + 0,37E_{B-Y}). \end{aligned} \quad (4)$$

Для получения сигнала зеленого E_G необходимо сложить цветоразностный сигнал зеленого и яркостной сигнал:

$$E_G = E_Y + E_{G-Y}. \quad (5)$$

Если в полученное равенство (5) подставить E_{G-Y} из (4), то мы получим окончательную формулу, которая математически описывает операцию, происходящие в матрице зеленого, которая собрана на ОУ А1.2 (1/3 LT1399):

$$E_G = E_Y - (0,51E_{R-Y} + 0,37E_{B-Y}). \quad (6)$$

Для сложения $0,51E_{R-Y}$ с $0,37E_{B-Y}$ используется матрица с инвертированием, коэффициенты сложения которой задаются отрицательными обратными связями на резисторах R8, R9, R10. Уровень яркостного сигнала задается делителем на резисторах R6, R7. Резисторы R5, R11, R16 обеспечивают согласование выходов схемы с внешними нагрузками.

Литература

1. <http://www.w.linear-tech.com/>.
2. <http://www.w.linear.com/>.
3. LT1398/LT1399/LT1399HV. Low Cost Dual and Triple 300MHz Current Feedback Amplifiers

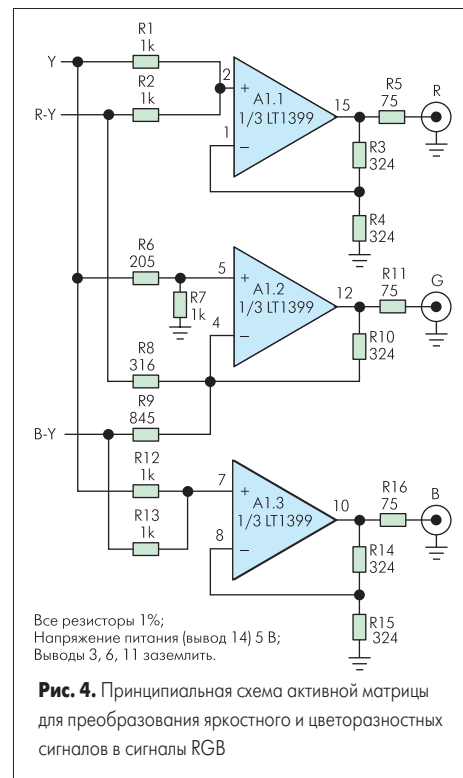


Рис. 4. Принципиальная схема активной матрицы для преобразования яркостного и цветоразностных сигналов в сигналы RGB

with Shutdown. Linear Technology. <http://www.w.linear.com/pc/downloadDocument.do?navId=H0,C1,C1154,C1009,C1026,P1563,D2914>.

4. Hamilton B. LT1399/LT1399HV Triple 300MHz Current Feedback Amplifiers Drive Component Video and LCD Displays. Design Note 213. Linear Technology. <http://www.w.linear.com/pc/downloadDocument.do?navId=H0,C1,C1154,C1009,C1026,P1563,D4424>.