

<<< RGBからYCbCrへの変換について >>>

マイコンから出力されるRGB及びSYNC信号を元に、コンポーネント(YCbCr)信号に変換する式を求める。

(1) RGBと発色の関係(デジタルRGBの場合)

| | white | yellow | cyan | green | magenta | red | blue | black | sync |
|---------|-------|--------|------|-------|---------|-----|------|-------|------|
| | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| B (論理値) | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | |
| R (論理値) | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| G (論理値) | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

計算式

赤信号on:1 off:0
 青信号on:1 off:0
 緑信号on:1 off:0

(2) RGB信号→コンポーネント(YCbCr)信号への変換式

CQ出版「ビデオ信号の基礎とその操作法」のp37の算出式を元にして、RGBからY信号及び青、赤の色差信号を算出 (各色出力無し=0%、最大値=100%)

| | | | | | | | | |
|---------------|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|---|
| Y信号 (%) | 100 | 88.6 | 70.1 | 58.7 | 41.3 | 29.9 | 11.4 | 0 |
| B-Y (%) …Cb信号 | 0 | -88.6 | 29.9 | -58.7 | 58.7 | -29.9 | 88.6 | 0 |
| R-Y (%) …Cr信号 | 0 | 11.4 | -70.1 | -58.7 | 58.7 | 70.1 | -11.4 | 0 |
| B (%) | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| R (%) | 100 | 100 | 0 | 0 | 100 | 100 | 0 | 0 |

+0.587G+0.114B+0.299R (※1)
 -0.587G+0.886B-0.299R (※2)
 -0.587G-0.114B+0.701R (※3)

(B-Y)+Y信号 (※2)
 (R-Y)+Y信号 (※3)

- ※1: 人間の目ではG→R→Bの順で明るく感じるため、Y信号中のRGBの比率を按分 (RGBすべて含む場合は100)
- ※2: 青成分がある場合は100から、青成分がない場合は0からY信号を引いた値 (つまりY信号を足せば青信号に戻る)
- ※3: 赤成分がある場合は100から、赤成分がない場合は0からY信号を引いた値 (つまりY信号を足せば赤信号に戻る)

(3) 各信号の百分率(100%)から電圧(V)への変換

各信号の閾値は以下のとおりなので、(2)の表における最大値が以下の閾値に納まるように換算を行う。

→Y信号 : 0.0~0.7Vの0.7Vpp (シンクロ信号を含めると、-0.3V~0.7Vの1Vpp)
 B-Y : -0.35~0.35Vの0.7Vpp
 R-Y : -0.35~0.35Vの0.7Vpp

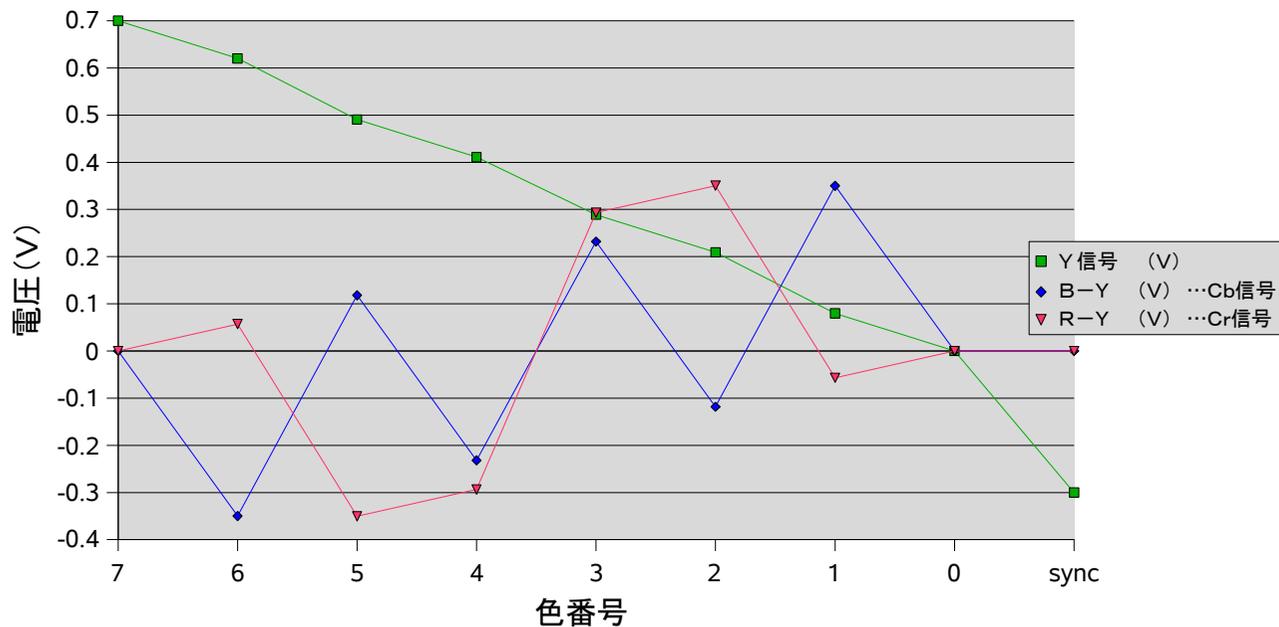
| | white | yellow | cyan | green | magenta red | blue | black | 0 sync |
|---------------|-------|--------|-------|-------|-------------|-------|-------|--------|
| Y信号 (V) | 0.7 | 0.62 | 0.49 | 0.41 | 0.29 | 0.21 | 0.08 | 0 |
| B-Y (V) …Cb信号 | 0 | -0.35 | 0.12 | -0.23 | 0.23 | -0.12 | 0.35 | 0 |
| R-Y (V) …Cr信号 | 0 | 0.06 | -0.35 | -0.29 | 0.29 | 0.35 | -0.06 | 0 |

$Y \text{信号} \div 100\% \times 0.7V$ (※4)
 $(B-Y) \div 88.6\% \times 0.35V$ (※5)
 $(R-Y) \div 70.1\% \times 0.35V$ (※6)

- ※4: ペDESTALレベルを0Vとした時に、Y信号は0~0.7Vとなるので、(2)÷100×0.7VでY信号の電圧が算出される
- ※5: ペDESTALレベルを0Vとした時に、Cb信号は-0.35~+0.35Vとなる。
また、黄色の時に絶対値が88.6と最大になるので、(2)÷88.6×0.35VでCb信号の電圧が算出される
- ※6: ペDESTALレベルを0Vとした時に、Cr信号は-0.35~+0.35Vとなる。
また、シアンや赤の時に絶対値が70.1と次第になるので、(2)÷70.1×0.35VでCr信号の電圧が算出される

(4) 上記(3)の電圧をグラフ化したもの

コンポーネント端子 各信号の出力電圧



(5) 念のためにwikipediaで調べてみたRGB→YCbCrの変換式

wikipediaで、「色空間」を検索し、「3. 放送用」の「YCbCr」について調べた結果、RGBからYCbCrへの変換式は

$$\begin{aligned} Y &= 0.29891 \times R + 0.58661 \times G + 0.11448 \times B \\ Cb (U) &= -0.16874 \times R - 0.33126 \times G + 0.50000 \times B \\ Cr (V) &= 0.50000 \times R - 0.41869 \times G - 0.08131 \times B \end{aligned}$$

とある。

→RGBがそれぞれ0もしくは1を取ると仮定して上記の式に代入すると、Yの閾値は0. 0～1. 0となり、Cb及びCrの閾値は-0. 5～+0. 5となる。

(6) 上記の(3)の式と(5)の式を比較してみて…

(3)と(5)の各色について出力電圧を比較してみると、両者とも同じ事を表現していることがわかる。

→Y信号の閾値を0. 0～0. 7V、Cb信号Cr信号の閾値を-3. 5～+3. 5に相当するように換算すると、(3)の出力電圧はすべて(5)と一致する。
AVRの各ピンの出力は0Vもしくは5Vなので、その出力電圧を0. 14倍してから(5)の計算式に入れると(3)のYCbCr信号と同じ数値になる。

(注意) ただし、Y信号に含まれているシンクロ信号はこの計算式に含まない。(別途計算が必要)

(7) 以上を踏まえたRGB信号の電圧をYCbCrの電圧に変換する計算式

AVRの各出力ピンの電圧(0Vor5V)からYCbCrの電圧に変換する計算式を以下に示す。

(1)～(3)はRGB各色を0～1で表現しているため、0～5Vとなるように計算式を補正する。また、シンクロ信号についても考慮する。

→シンクロ信号はシンクロ有りを5V、黒レベルを0Vと仮定すると、0. 06倍してそれぞれ-0. 3V、0Vに変換し、Y信号に加算すればシンクロ信号となる。

$$\begin{aligned} Y信号 &= (+0. 587G+0. 114B+0. 299R) \times 0. 7 \div 5 - 0. 06SYNC \\ Cb信号 &= (-0. 587G+0. 886B-0. 299R) \div 0. 886 \times 0. 35 \div 5 \\ Cr信号 &= (-0. 587G-0. 114B+0. 701R) \div 0. 701 \times 0. 35 \div 5 \end{aligned}$$

オペアンプを用いて、上の式のとおりRGBの各電圧を加減算することで、YCbCr信号の電圧に変換することが出来る。以下に入力電圧と出力電圧を示す。

| | white | yellow | cyan | green | magenta red | blue | black | sync |
|-----------|-------|--------|------|-------|-------------|------|-------|------|
| マイコンの出力端子 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| B信号 (V) | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 |
| R信号 (V) | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 |
| G信号 (V) | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SYNC (V) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |

| | white | yellow | cyan | green | magenta red | blue | black | sync | |
|---------------|--------|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|--------|---------|
| オペアンプの出力電圧 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| Y信号 (V) | 0.7000 | 0.6202 | 0.4907 | 0.4109 | 0.2891 | 0.2093 | 0.0798 | 0.0000 | -0.3000 |
| B-Y (V) …Cb信号 | 0.0000 | -0.3500 | 0.1181 | -0.2319 | 0.2319 | -0.1181 | 0.3500 | 0.0000 | 0.0000 |
| R-Y (V) …Cr信号 | 0.0000 | 0.0569 | -0.3500 | -0.2931 | 0.2931 | 0.3500 | -0.0569 | 0.0000 | 0.0000 |

(8)シンクロ信号を(7)と正負逆転した場合

(7)で示したシンクロ信号の正負を逆転し、シンクロ有りを0V、黒レベルを5Vと仮定すると以下の式になる。

$$\begin{aligned}
 Y\text{信号} &= (+0.587G + 0.114B + 0.299R) \times 0.7 \div 5 + 0.06\text{SYNC} - 0.3 \\
 Cb\text{信号} &= (-0.587G + 0.886B - 0.299R) \div 0.886 \times 0.35 \div 5 \\
 Cr\text{信号} &= (-0.587G - 0.114B + 0.701R) \div 0.701 \times 0.35 \div 5
 \end{aligned}$$

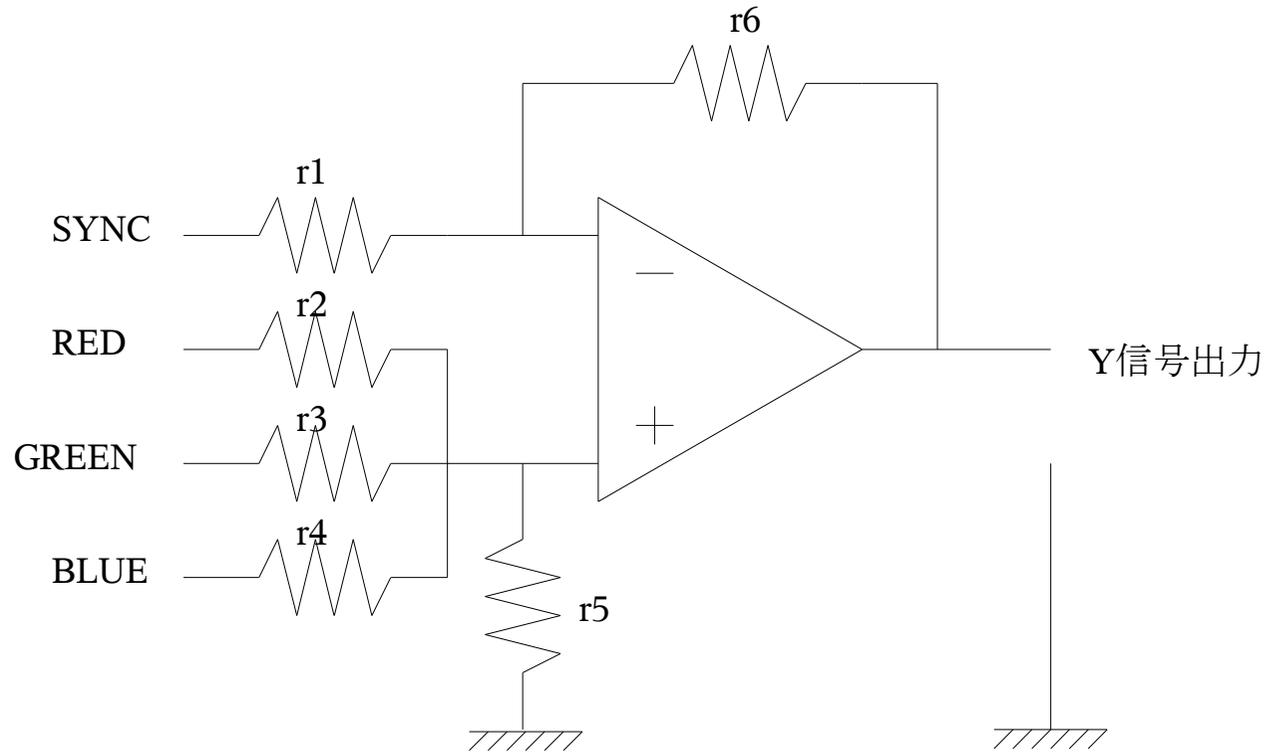
| | white | yellow | cyan | green | magenta red | blue | black | sync |
|-----------|-------|--------|------|-------|-------------|------|-------|------|
| マイコンの出力端子 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| B信号 (V) | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 |
| R信号 (V) | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 |
| G信号 (V) | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SYNC (V) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 |

| | white | yellow | cyan | green | magenta red | blue | black | sync | |
|---------------|--------|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|--------|---------|
| オペアンプの出力電圧 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| Y信号 (V) | 0.7000 | 0.6202 | 0.4907 | 0.4109 | 0.2891 | 0.2093 | 0.0798 | 0.0000 | -0.3000 |
| B-Y (V) …Cb信号 | 0.0000 | -0.3500 | 0.1181 | -0.2319 | 0.2319 | -0.1181 | 0.3500 | 0.0000 | 0.0000 |
| R-Y (V) …Cr信号 | 0.0000 | 0.0569 | -0.3500 | -0.2931 | 0.2931 | 0.3500 | -0.0569 | 0.0000 | 0.0000 |

(7)と(8)の式、どちらを選択するかについては、組み合わせるオペアンプとその周辺回路によってどちらか都合がいい方を選択すればよい。

<<< Y信号用抵抗計算過程 >>>

(1) Y信号生成回路



(2)計算式

$$Y \text{信号} = \alpha \cdot r_2 r_3 r_4 \cdot R + \alpha \cdot r_2 r_4 r_5 \cdot G + \alpha \cdot r_2 r_3 r_5 \cdot B - \frac{r_6}{r_1} S$$

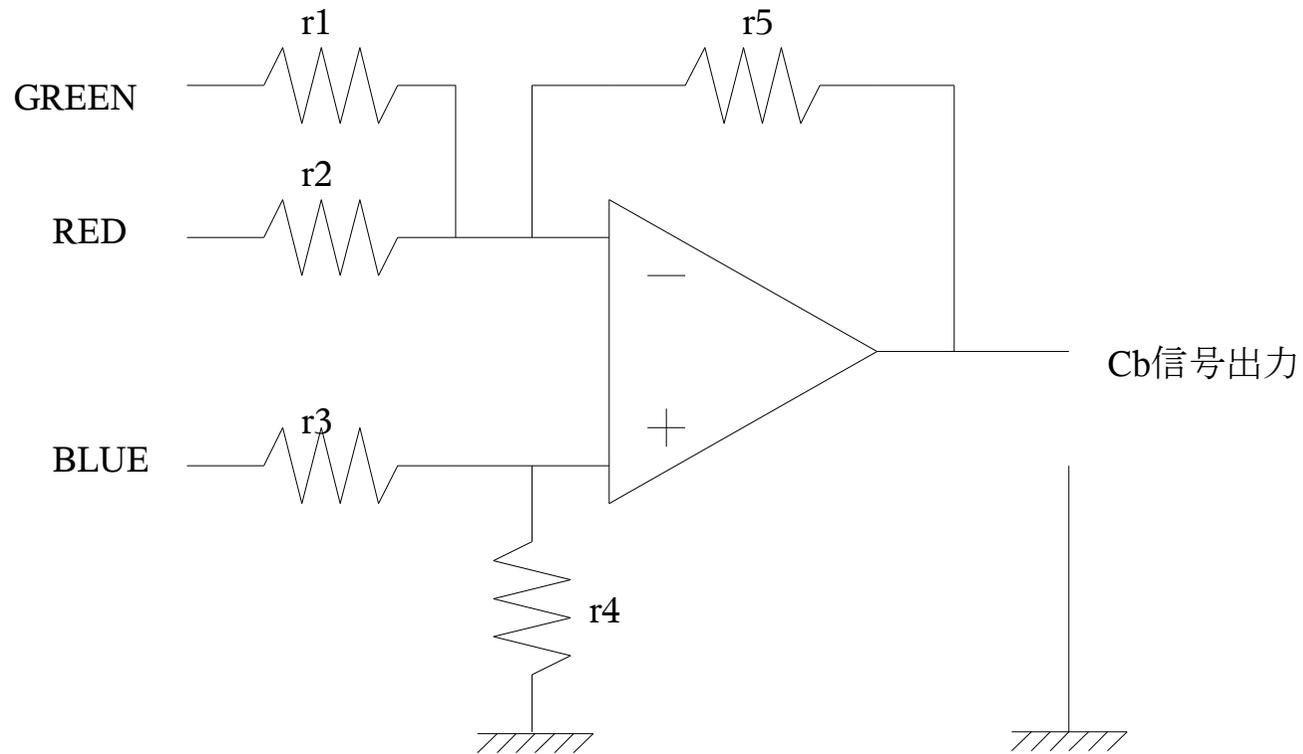
$$\text{ただし } \alpha = \frac{r_1 + r_6}{r_1 (r_2 r_3 r_4 + r_3 r_4 r_5 + r_2 r_4 r_5 + r_2 r_3 r_5)}$$

(3) 抵抗値(入力が5Vppの時の理論値)

| | | 使用抵抗 | | 合成抵抗 | 誤差(%) |
|-----|---------|-------|-------|--------|-------|
| r1: | 10000 Ω | 10000 | | 10,000 | 0 |
| r2: | 11160 Ω | 43000 | 15000 | 11,121 | -0.35 |
| r3: | 5685 Ω | 68000 | 6200 | 5,682 | -0.05 |
| r4: | 29270 Ω | 91000 | 43000 | 29,201 | -0.23 |
| r5: | 510 Ω | 510 | | 510 | 0 |
| r6: | 560 Ω | 560 | | 560 | 0 |

<<< Cb信号用抵抗計算過程 >>>

(1)Cb信号生成回路



(2) 計算式

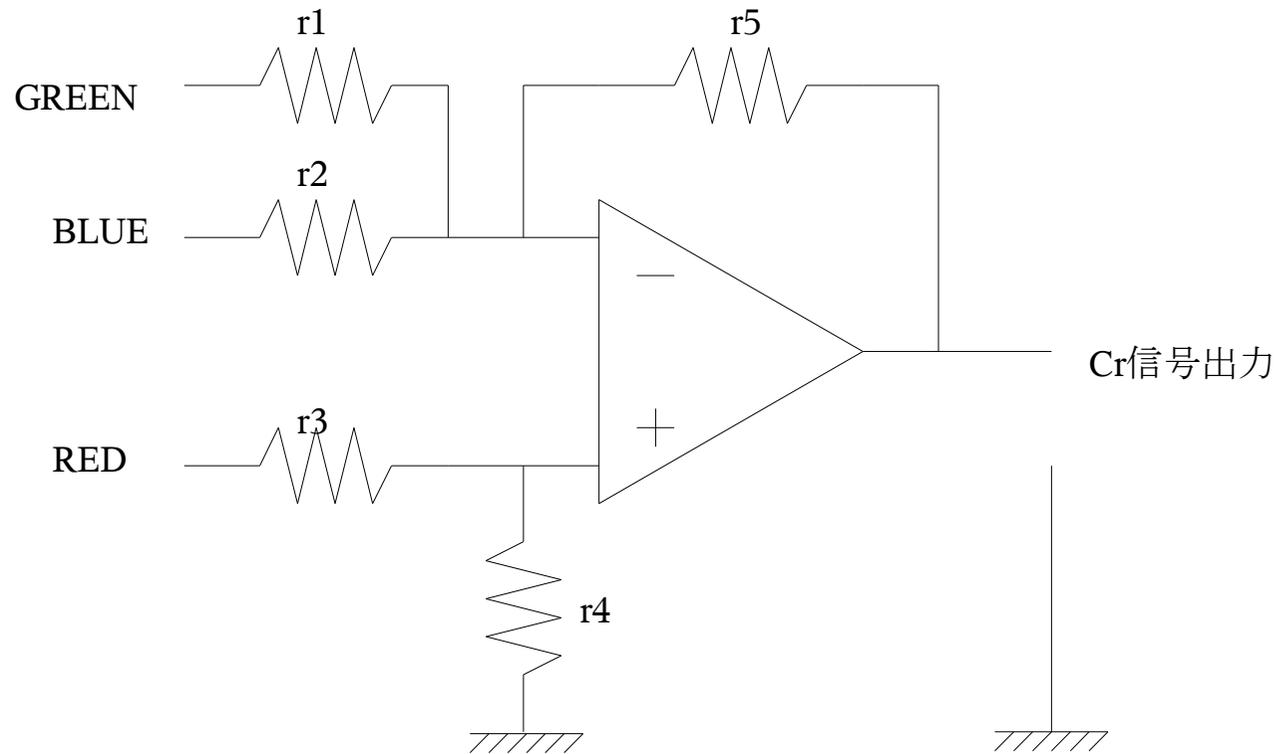
$$C_b \text{信号} = - \frac{r_5}{r_1} G - \frac{r_5}{r_2} R + \frac{r_4 (r_1 r_2 + r_2 r_5 + r_1 r_5)}{r_1 r_2 (r_3 + r_4)} B$$

(3) 抵抗値(入力が5Vppの時の理論値)

| | | 使用抵抗 | | 合成抵抗 誤差(%) | |
|-----|---------|-------|-------|------------|-------|
| r1: | 11000 Ω | 11000 | | 11000 | 0 |
| r2: | 21590 Ω | 43000 | 43000 | 21500 | -0.42 |
| r3: | 14290 Ω | 68000 | 18000 | 14233 | -0.4 |
| r4: | 1000 Ω | 1000 | | 1000 | 0 |
| r5: | 510 Ω | 510 | | 510 | 0 |

<<< Cr信号用抵抗計算過程 >>>

(1) Cr信号生成回路



(2)計算式

$$C_{r\text{信号}} = - \frac{r_5}{r_1} G - \frac{r_5}{r_2} B + \frac{r_4 (r_1 r_2 + r_2 r_5 + r_1 r_5)}{r_1 r_2 (r_3 + r_4)} R$$

(3) 抵抗値(入力が5Vppの時の理論値)

r1: 8701 Ω
r2: 44800 Ω
r3: 14290 Ω
r4: 1000 Ω
r5: 510 Ω

使用抵抗

68000 10000
160000 62000
130000 16000
1000
510

合成抵抗 誤差(%)

8718 0.19
44685 -0.26
14247 -0.3
1000 0
510 0

<<< 導出抵抗値によるシミュレーション結果 >>>

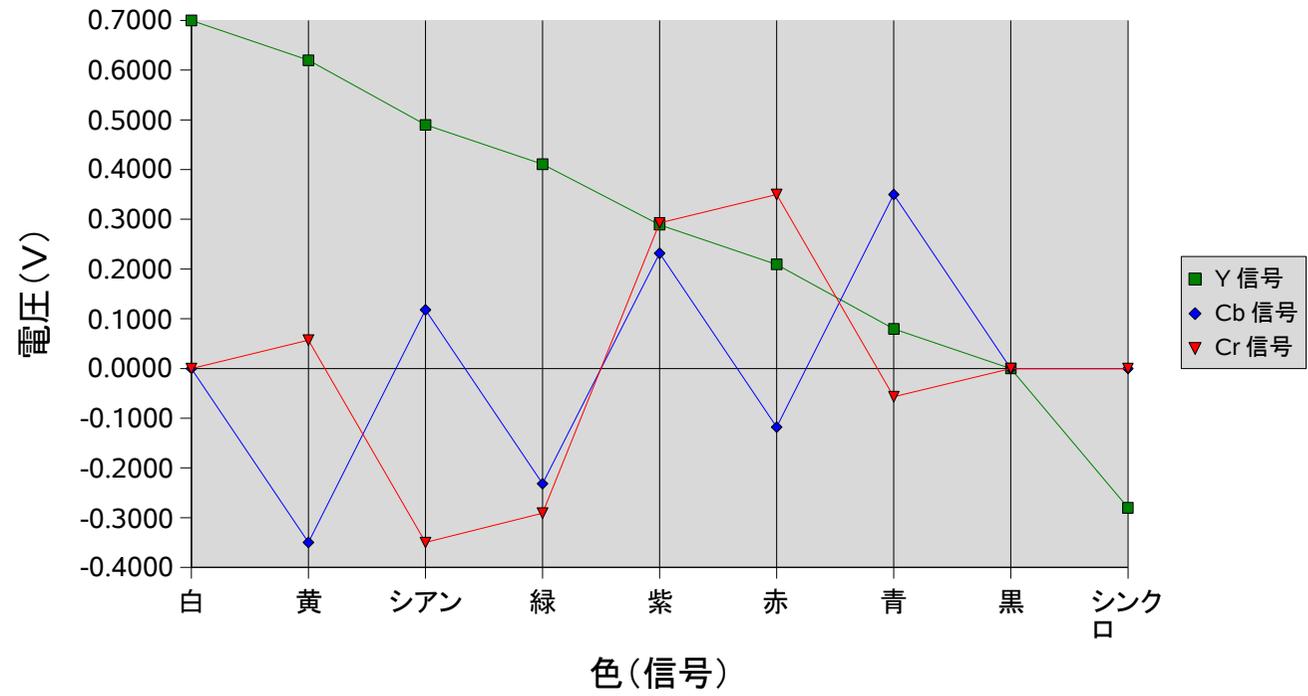
(1)シミュレーター出力電圧表

計算結果の各抵抗値を用いて、circuit maker6.0student版でシミュレーションを実行
以下にシミュレーター上のマルチメーターが示した電圧値をプロットする
(方法:RGB及びSYNCに0Vもしくは5Vの電圧を掛けてオペアンプの出力電圧を読み取る)

| | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 sync | |
|------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | 白 | 黄 | シアン | 緑 | 紫 | 赤 | 青 | 黒 | シンクロ |
| Y信号 | 0.7000 | 0.6200 | 0.4900 | 0.4109 | 0.2891 | 0.2093 | 0.0798 | 0.0000 | -0.2800 |
| Cb信号 | 0.0000 | -0.3499 | 0.1181 | -0.2318 | 0.2318 | -0.1181 | 0.3499 | 0.0000 | 0.0000 |
| Cr信号 | 0.0000 | 0.0568 | -0.3500 | -0.2910 | 0.2930 | 0.3499 | -0.0569 | 0.0000 | 0.0000 |

(2) グラフ

YCbCr 電圧シミュレーション結果



<<< 合成抵抗値による出力電圧(予想値) >>>

(1) 計算元数値

理論抵抗値を元に「合成抵抗表」シート上に存在する近似抵抗値を探し出し、合成する2つの抵抗を選択
実抵抗値(2つの抵抗から算出した合成抵抗値)を元にして、RGB及びSYNCの各係数を再計算

| Y信号用抵抗 | 実抵抗値(合成抵抗値) | 係数 |
|---------|-------------|-----------------------|
| r1 | 10,000 | α 0.0000000000 |
| r2 | 11,121 | Rの係数 0.0419984298 |
| r3 | 5,682 | Gの係数 0.0821992922 |
| r4 | 29,201 | Bの係数 0.0159940970 |
| r5 | 510 | Sの係数 -0.0560000000 |
| r6 | 560 | |
| Cb信号用抵抗 | | |
| r1 | 11000 | Gの係数 -0.0463636364 |
| r2 | 21500 | Rの係数 -0.0237209302 |
| r3 | 14233 | Bの係数 0.0702498265 |
| r4 | 1000 | |
| r5 | 510 | |
| Cr信号用抵抗 | | |
| r1 | 8718 | Gの係数 -0.0585000000 |
| r2 | 44685 | Bの係数 -0.0114133065 |
| r3 | 14247 | Rの係数 0.0701740084 |
| r4 | 1000 | |
| r5 | 510 | |

(2)実抵抗での予想出力電圧計算結果

| 入力 | white | yellow | cyan | green | magenta | red | blue | black | sync |
|-----------|-------|--------|------|-------|---------|-----|------|-------|------|
| マイコンの出力端子 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| B信号 (V) | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| R信号 (V) | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| G信号 (V) | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SYNC (V) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |

$$Y信号 = 0.082199G + 0.015994B + 0.041998R - 0.056000SYNC$$

$$Cb信号 = -0.046364G + 0.070250B - 0.023721R$$

$$Cr信号 = -0.058500G - 0.011413B + 0.070174R$$

| 出力 | white | yellow | cyan | green | magenta | red | blue | black | sync |
|------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| オペアンプの出力電圧 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | sync |
| Y信号 | 0.7010 | 0.6210 | 0.4910 | 0.4110 | 0.2900 | 0.2100 | 0.0800 | 0.0000 | -0.2800 |
| Cb信号 | 0.0008 | -0.3504 | 0.1194 | -0.2318 | 0.2326 | -0.1186 | 0.3512 | 0.0000 | 0.0000 |
| Cr信号 | 0.0013 | 0.0584 | -0.3496 | -0.2925 | 0.2938 | 0.3509 | -0.0571 | 0.0000 | 0.0000 |

(3) グラフ

実抵抗値によるシミュレーション結果(電圧)

