

СТРУКТУРЫ ИНВЕРСНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ МАТРИЦ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОД-ТОК ДВОИЧНОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

Рассматриваются основные принципы построения инверсных резистивных матриц (ИРМ) для преобразователей код-ток (ПКТ) двоичной системы счисления (ДСС). Получены оптимальные структуры ИРМ для ПКТ.

The subject of the article is basic principles of creating inverse matrix resistive in current D/A conversion (DAC) schemes for the binary-coded numbers (BCD). Optimal structure of inverse matrix resistive for current DAC is obtained.

Ключові слова: преобразователь код-ток, инверсная резистивная матрица, двоичная система счисления.

Введение

Преобразователи код-ток (ПКТ) используются в цифровой измерительной аппаратуре (в аналого-цифровых преобразователях АЦП последовательного счёта и поразрядного уравнивания), для формирования управляющих сигналов в системах автоматического управления и регулирования, а также в цифро-аналоговых вычислительных комплексах (гибридных вычислительных системах).

Инверсная резистивная матрица (ИРМ) для ПКТ – это формирователь эталонных токов I_{ref_i} ($i = \overline{1, n}$), у которого эталонные токи пропорциональны весам разрядов декодируемого числа g_i ($i = \overline{1, n}$). Так как $I_{ref_i} = m_d g_i I_{ref}$, ($i = \overline{1, n}$), а $m_d = const$, следовательно $I_{ref_i} \sim g_i$ ($i = \overline{1, n}$).

Для ИРМ значения сопротивлений резисторов R_i ($i = \overline{1, n}$) обратно пропорциональны требуемым значениям весов разрядов g_i ($i = \overline{1, n}$), т.е. $R_i \sim 1/g_i$ ($i = \overline{1, n}$), причем коэффициент пропорциональности можно выбрать любым, но он должен быть одинаков для всех разрядов.

Рассмотрим ИРМ для однополярных ПКТ для двоичной системы счисления.

ИРМ параллельного типа

Однополярная исходная математическая переменная $0 \leq A \leq 1$ кодируется «n» двоичными разрядами следующим образом $0, a_1 a_2 \dots a_n$, где a_i ($i = \overline{1, n}$) значение цифры i -го разряда.

Для двоичной системы счисления $g_i = 2^{-i}$ ($i = \overline{1, n}$).

Из этого следует, что расчет значений сопротивлений резисторов R_i ($i = \overline{1, n}$) ИРМ параллельного типа для ПКТ осуществляется по следующей формуле

$$R_i \sim 2^{-i} (i = \overline{1, n}) \quad (1),$$

причем коэффициент пропорциональности может быть выбран любым. Удобно выбирать коэффициент пропорциональности таким, чтобы $R_1 = R$, т.е. $R_1 = R * 2^0$.

Далее согласно (1) значение сопротивления каждого следующего резистора должно быть в 2 раза больше значения сопротивления предыдущего резистора.

На рисунке 1 приведена ИРМ параллельного типа для ПКТ ДСС, для которой

$$R_i = R * 2^{i-1} (i = \overline{1, n}). \quad (2)$$

В такой ИРМ параллельного типа для ПКТ ДСС используется большое количество резисторов ($n + 1$) и большое количество номиналов (n), причем разброс номиналов составляет $\frac{R_{max}}{R_{min}} = 2n - 1$ (без учета R_n).

Сопротивление R_{n+1} выбрано равным R_n .

Комбинированные структуры ИРМ ПКТ ДСС

Чтобы уменьшить количество номиналов и их разброс часто используют эквивалентные преобразования структуры включением резисторов связи $R_{s,s+1}$ ($s = \overline{1, n-1}$), которые подключаются между s и $s+1$ точками ИРМ параллельного типа.

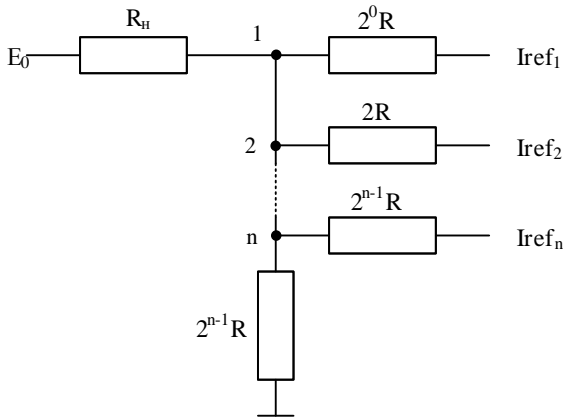


Рис.1. ИРМ параллельного типа

Для этого определяют значения сопротивлений резисторов $R_{eq,s+1}$ ($s = \overline{1, n-1}$), выбирают значения коэффициентов эквивалентного преобразования C_{s+1} ($s = \overline{1, n-1}$) и определяют значения сопротивлений резисторов связи $R_{s,s+1}$ ($s = \overline{1, n-1}$) по формуле

$$R_{s,s+1} = \frac{C_{s+1}-1}{C_{s+1}} R_{eq,s+1} \quad (s = \overline{1, n-1}).$$

Если выбрать $C_{s+1} = 2$ ($s = \overline{1, n-1}$), то при включении одного резистора связи сопротивления примыкающих к нему резисторов становятся одинаковыми, так как $R_s = R * 2^{s-1}$, сопротивление резистора R_{s+1} уменьшается в 2 раза и новое значение R_{s+1} будет равно значению сопротивления резистора R_s

$$\frac{R_{s+1}}{2} = \frac{2^s R}{2} = R * 2^{s-1} = R_s.$$

Кроме того, при включении любого одного резистора связи $R_{s,s+1}$ ($s = \overline{1, n-1}$) становится на один старший номинал меньше, т.к.

$$\frac{R_n}{2} = \frac{R_{n+1}}{2} = 2^{n-1} * \frac{R}{2} = R * 2^{n-2}.$$

При включении любого одного резистора связи $R_{s,s+1}$ ($s = \overline{1, n-1}$), сопротивление этого резистора связи в 2 раза меньше сопротивления резистора R_s т.к. для $C_{s+1} = 2$ получаем

$$R_{s,s+1} = 0.5 R_{eq,s+1} = 0.5 R_s \quad (s = \overline{1, n-1}).$$

Таким образом исходная параллельная ИРМ содержит 2 номинала (без учета сопротивления нагрузки), то есть при включении $(n-2)$ резисторов связи $R_{s,s+1}$ ($s = \overline{2, n-1}$) при $C_{s+1} = 2$ ($s = \overline{2, n-1}$) получаем минимальную комбинированную структуру ИРМ (рис. 2а) из двух номиналов $R - 2R$, т.к. $n - (n-2) = 2$.

Если включить еще один резистор связи R_{12} и выбрать $C_2 = 2$, то сопротивление $R_{12} = \frac{R}{2}$ и получается минимальная комбинированная (так называемая конечная) ИРМ (рис. 2б) из двух номиналов $R - \frac{R}{2}$, т.к. один младший номинал $\frac{R}{2}$ добавился и один старший $2R$ исчез.

В таких комбинированных структурах ИРМ разброс номиналов равняется 2, количество номиналов равняется 2, но при этом количество всех резисторов равняется $(2n-1)$ (рис. 2а) или $2n$ (рис. 2б).

Если же в исходную ИРМ параллельного типа включить $(n-3)$ резистора связи $R_{s,s+1}$ ($s = \overline{3, n-1}$), получаем комбинированную структуру ИРМ (рис. 2в), которая состоит из четырех номиналов $\frac{R}{4} - R - 2R - 4R$. Разброс номиналов увеличивается до 16, но количество резисторов уменьшается до $(2n-2)$.

Комбинированные структуры ДС ПКТ

Также, помимо приведенных выше комбинированных структур ИРМ для ДСС, используются другие комбинированные структуры.

Таковую структуру ИРМ можно дополнить резисторами связи между парами резисторов (R_{23} , R_{67} и т.д.), выбрав коэффициенты преобразования равными 4. При этом $R_{eq3} = 2R, R_{23} = 1.5R$ и т.д.

В итоге получаем оптимальную комбинированную структуру ИРМ из трех номиналов $R - 1.5R - 2R$ ПКТ ДСС (рис. 3б). Разброс номиналов в такой структуре равен 2 при общем количестве резисторов без учета резистора нагрузки R_n .

ИРМ для биполярных ПКТ ДСС легко можно получить, если добавить к ИРМ однополярного ПКТ один или два выхода.

На рис. 4а изображена ИРМ для биполярного ПКТ инверсного кода ДСС с фиксированным смещением, полученная из структуры $R - \frac{R}{2}$.

На рис. 4в представлена ИРМ для биполярного ПКТ смещенного кода ДСС с биполярными переключателями, также полученная из структуры $R - \frac{R}{2}$.

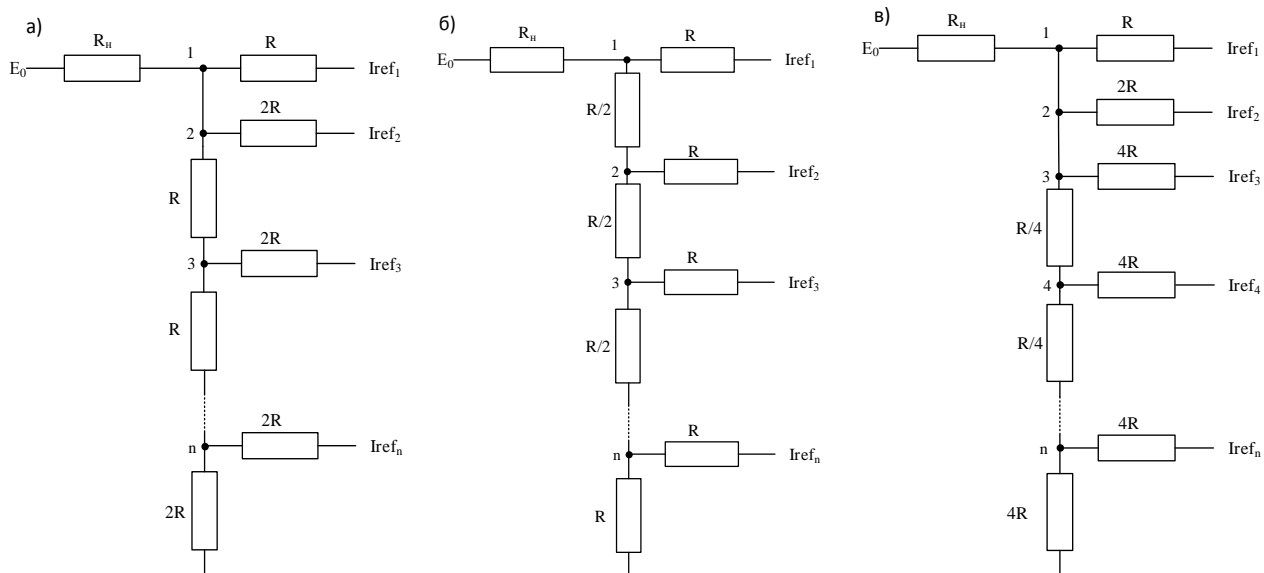


Рис. 2. Комбинированные структуры ИРМ ПКТ ДСС

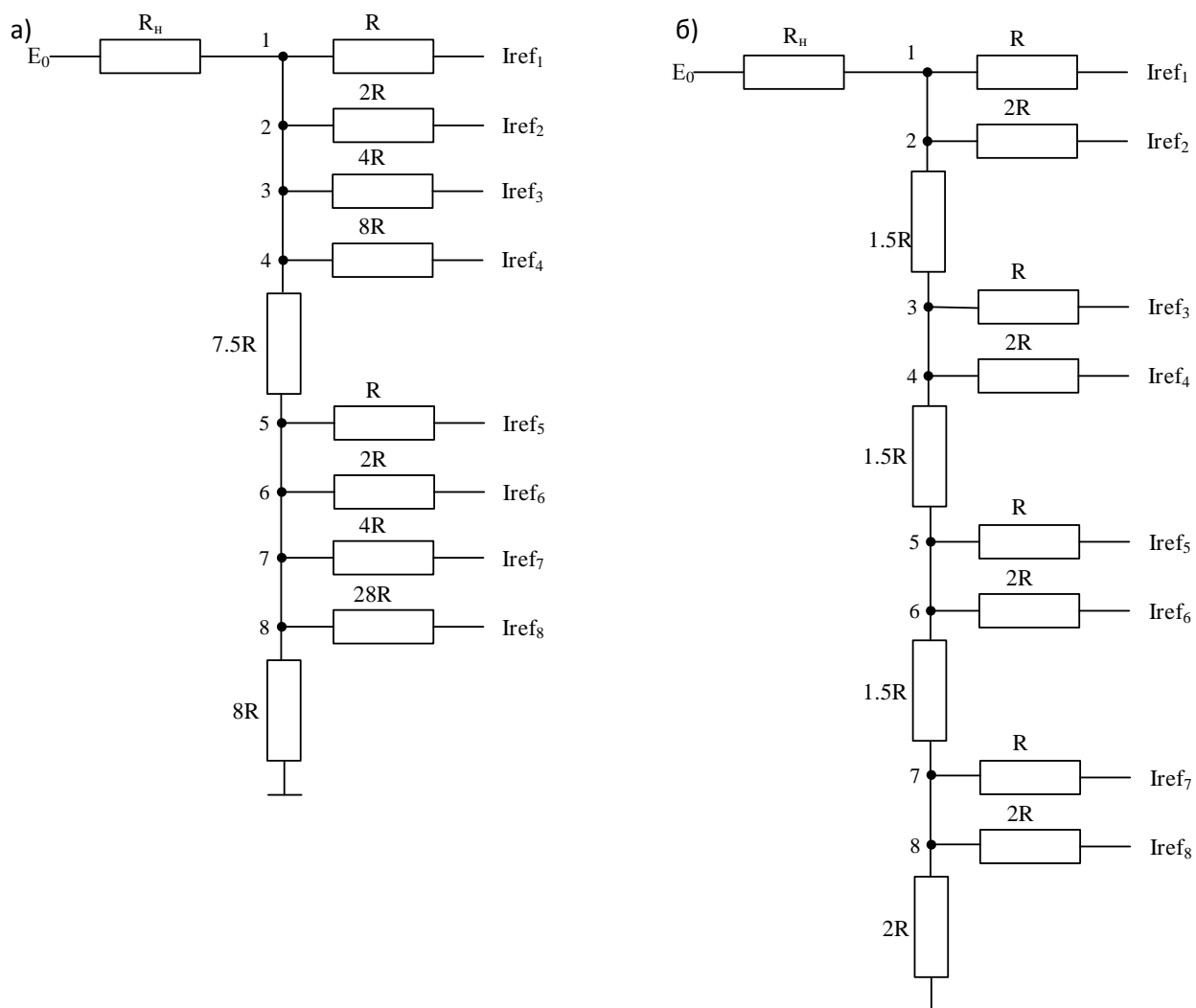


Рис. 3. Комбинированные структуры ИРМ ПКТ

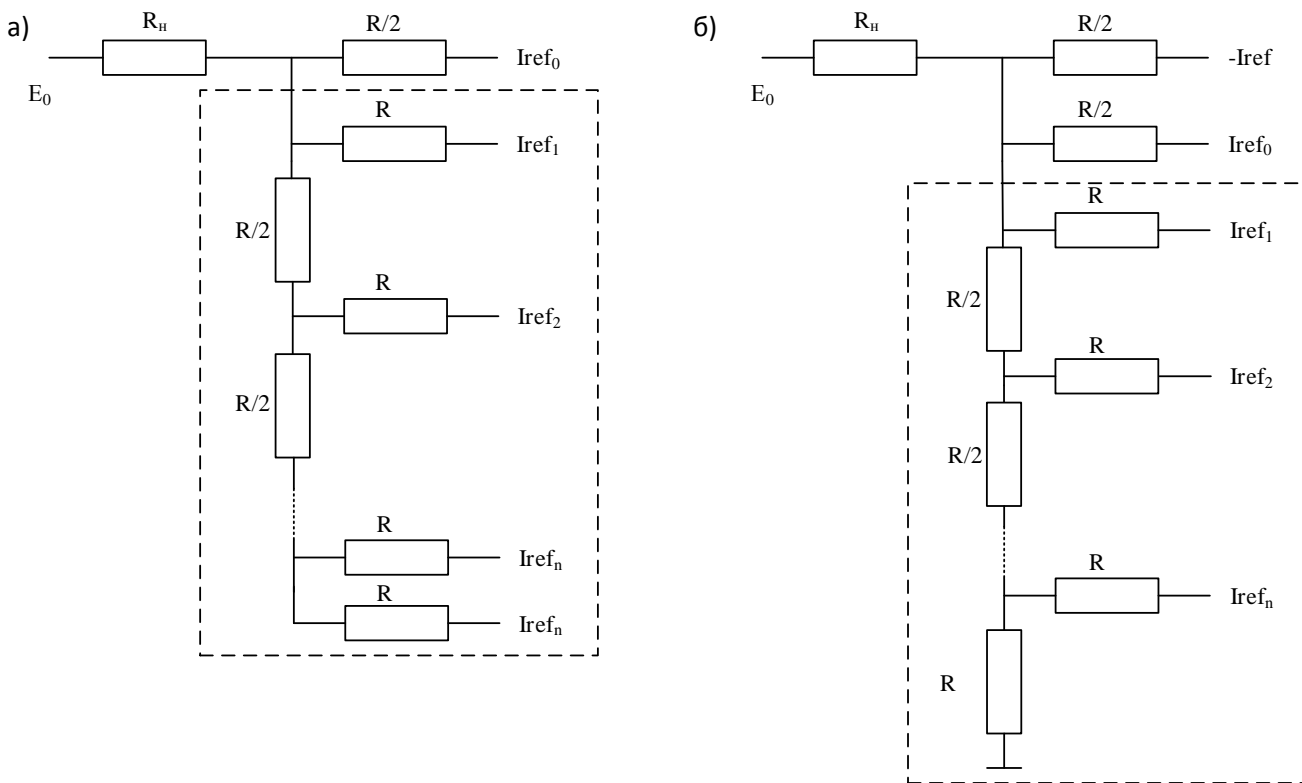


Рис. 4. ИРМ биполярных ПКТ

Выводы

Количество разных номиналов резисторов, разброс номиналов резисторов и количество резисторов, используемых в структуре – параметры, по которым структуры ИРМ для

ПКТ ДСС являются оптимальными. Цифро-аналоговые преобразователи должны использовать минимальное количество номиналов ИРМ и минимальный разброс номиналов ИРМ.

Список литературы

1. Никамин В.А. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. – Санкт-Петербург: Корона принт, 2012.
2. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и цифро-аналоговых электронных устройств. – Москва: Додэка-XXI, 2005. – 528 с.
3. Raj Kamal. Digital Systems Principles and Design. – Pearson Education India, 2007. – 524с.