ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

α — Угол перекоса растров
ω — Круговая частота
τ — Постоянная цепи; пропускание растра, сопряжения
θ — Угол первого порядка дифракции
σ — Среднее квадратическое отклонение
δ — Частная погрешность
Δ — Погрешность измерительного средства
Σ/Δ — Сигма-дельта АЦП (модулятор)
Com — Компаратор
d — Дискрета; размер светоизлучающей поверхности
DC — Дешифратор (Decoder)
Dp — Дроссель
F — Логическая функция, частота колебаний
β — Коэффициент передачи положительной обратной связи
γ — Фазовое смещение
f — Фокусное расстояние
g — Рабочий зазор в сопряжении
I — Количество информации
L — Индуктивность
$К_Т$ — Класс точности
ℓ — Пространственная линейная координата
MUX — Мультиплексор (Multiplexer)
P^0 — Потребляемая мощность в состоянии «0»
P^1 — Потребляемая мощность в состоянии «1»
P1 — Перенос
P2 — Заем
PE — Вход управления записью (загрузка)
Q — Состояние триггера не меняется; прямой выход триггера; кварцевый резонатор
R — Резистор; вектор результирующего сигнала
S — Расходимость светового потока
$t_з^{0,1}$ — Задержка фронта импульса
$t_з^{1,0}$ — Задержка спада импульса

U — Постоянное электрическое напряжение
$U_г$ — Напряжение гистерезиса
u — Мгновенное значение электрического сигнала
U^0 — Уровень логического нуля
U^{01} — Переход из «0» в «1»
U^1 — Уровень логической единицы
U^{10} — Переход из «1» в «0»
$U_л$ — Логический перепад
$U_п$ — Уровень переключения ЛЭ
$U_{п.ст.}$ — Уровень статической помехи
V — Вход разрешения, связанный с тактом логикой И
VD — Диод полупроводниковый
VT — Транзистор
W — Ширина муаровых полос
w — Шаг растровой меры
X/Y — Преобразователь кода
x, *y*, *z*, q — Логические переменные
Z — Третье состояние (высокого импеданса)
j_b — Фазовый сдвиг колебаний цепью ПОС
$j_к$ — Фазовый сдвиг колебаний усилителем
B(n) — Содержимое двоичного кода
А — Адрес, адресное устройство
а — Емкостный коэффициент
α — Расстояние между фотоприемниками
АГ — Стандартный формирователь импульсов
АЗУ (CAM) — Ассоциативное запоминающее устройство
Аср — Средняя работа переключения
АЦП — Аналого-цифровой преобразователь
БИС — Большая интегральная схема
БИТ — Двоичная единица информации (Binary digit)
ЗС — Запрещенное состояние
ЗУ — Запоминающее устройство
И — Конъюнкция
$И^2Л$ — Интегральная инжекционная логика
ИЖК — Индикатор жидкокристаллический
ИЛИ — Дизъюнкция
К — Килоединица, коэффициент усиления
КМОПТЛ — Комплементарная МОП-транзисторная логика
$К_{об}$ — Коэффициент объединения по входу
$К_{раз}$ — Коэффициент разветвления по выходу
$К_{сч}$ — Коэффициент (модуль) счета
$К_ф$ — Коэффициент функциональной интеграции
ЛЭ — Логический элемент
М — Число запрещенных состояний, мегаединица
МКТ — Многоколлекторный транзистор
МОПТЛ — МОП-транзисторная логика
МЭТ — Многоэмиттерный транзистор
Н — Энтропия системы
НЕ — Отрицание (инверсия)
ОЗУ (RAM) — Оперативное запоминающее устройство
ОИС — Отсчетно-измерительная система

ОУ — Операционный усилитель
ПЗУ (ROM) — Постоянное запоминающее устройство
ПЛМ — Программируемая логическая матрица
ПР — Преобразователь двоично-десятичного кода в код управления семисегментными индикаторами
РИ — Расширитель импульсов
РПЗУ (PROM) — Репрограммируемое постоянное запоминающее устройство
С — Вход синхронизации (такт), обозначение электрической емкости
СБИС — Сверхбольшая интегральная схема
СДНФ — Совершенная дизъюнктивная нормальная форма
СКНФ — Совершенная конъюнктивная нормальная форма
СМ — Сумматор
$СТ_2$ — Счетчик триггерный двоичный
$СТ_{2/10}$ — Счетчик триггерный двоично-десятичный
СУ — Сравнивающее устройство (компаратор)
Т — Триггер, такт
ТТ — Триггер MS-типа
ТТЛ — Транзисторно-транзисторная логика
ТТЛШ — Транзисторно-транзисторная логика с диодами (транзисторами) Шотки
ФР — Фоторезист
ЦАП — Цифроаналоговый преобразователь
ЭСЛ — Эмиттерно-связанная логика
ЯП — Ячейка памяти

ПРЕДИСЛОВИЕ

Эффективность любого производства, особенно в приборостроении, в значительной степени определяется качеством измерительных приборов. Если еще до середины XX в. превалировали механические измерительные приборы с визуальным отсчетом результата измерения, то в настоящее время в измерительной технике используются преимущественно электронные приборы. Измерительную информацию такие приборы получают от первичных преобразователей (датчиков), основанных на различных физических принципах работы. Это позволяет получать измерительную информацию в виде цифрового кода и автоматически обрабатывать ее на ЭВМ.

Развитие информационно-измерительных систем позволяет оперативно обрабатывать большие массивы информации без вмешательства оператора, т. е. практически исключается субъективный фактор. Однако развитие средств обработки информации предъявляет жесткие требовании как к единству формы представления измерительной информации, так и к отдельным параметрам. Среди последних наиболее важными являются точность измерений, надежность работы измерительных приборов и их быстродействие.

Жесткая конкуренция на мировом рынке средств измерения накладывает определенные требования на конструкции измерительных приборов. Они должны быть дешевыми, а следовательно, конструктивно простыми, иметь достаточно большой срок наработки на отказ и обеспечивать требуемую точность измерений. На первый взгляд эти требования противоречивы, если точность и надежность средств измерения обеспечивать конструктивными методами. Однако как при конструировании приборов, получении первичной измерительной информации, так и на уровне ее обработки широкое распространение получили различные методы повышения точности измерений, среди которых следует выделить так называемую структурную компенсацию основных погрешностей измерений.

Под структурной компенсацией погрешности автор понимает разработку и реализацию метода получения и преобразования измерительной информации, при котором конструкция прибора (чувствительного элемента) или измерительной схемы оказывается практически нечувствительной к влиянию того или иного фактора, например, температуры, непрямолинейности направляющих, изменения зазора в узле чувствительного элемента и пр. Это, в свою очередь, позволяет снизить требования к точности обработки элементов конструкции, исключить регулировочные и юстировочные устройства, обеспечить более жесткие условия эксплуатации.

Важным этапом разработки конструкции средств измерения является рациональная элементная база. Это в равной мере касается как технологических параметров механической части приборов (степень стандартизации и унификации, использование специализированного или стандартного оборудования, сложности сборочного процесса и т. д.), так и элементной базы современной электроники.

Развитие микроэлектроники позволило создать не только широкую элементную базу с практически неограниченными возможностями, но и обеспечить высокие эксплуатационные параметры приборов на их основе. Если транзисторная схемотехника требовала от разработчика хороших профессиональных качеств в области электроники с обязательным макетированием отдельных узлов, то для современных разработок нужны знания основ прикладной математики и навыки составления схем с жесткой или программируемой логикой. Вопросы макетирования, при необходимости, могут быть реализованы виртуальными средствами с минимальными финансовыми и временными затратами.

ВВЕДЕНИЕ

Современные приборы для измерения физических величин отличаются многообразием физических принципов работы и способов их технической реализации. В общем виде их можно представить как некоторый набор механических, оптических, магнитных, электрических и других параметров, тесно взаимосвязанных между собой. Последнее позволяет, например, оптические или механические параметры регулировать электронными средствами и наоборот. Важным здесь зачастую оказывается отказ от традиционных методов регулировки и выбор рациональных решений.

Указанное обстоятельство обуславливает определенные требования к подготовке специалистов в области приборостроения. Современный инженер должен иметь широкий кругозор в таких областях знаний, как измерительная техника и метрология, конструирование, дискретная (цифровая) схемотехника, оптика, и в некоторых смежных областях. Естественно, нельзя подготовить специалиста с глубокими знаниями во всех перечисленных областях в рамках одной программы. И здесь на первый план в учебном процессе выходит методология межпредметных связей и дозирование необходимого уровня знаний в сочетании с высокой эффективностью усвоения материала.

Цифровая схемотехника базируется на алгебре логики, требующей определенных знаний двоичной системы счисления. Поэтому первые две главы посвящены позиционным системам счисления и основам алгебры логики. Наряду с изучением отдельных устройств дискретной схемотехники представлена глава, посвященная устройствам линейной схемотехники, позволяющая сформировать определенные знания, необходимые при обработке первичных электрических сигналов. В последних двух главах рассматриваются специальные прикладные вопросы схемотехники.

Изучение законов и устройств дискретной техники обеспечивает лишь базовую подготовку. Рассмотрение приложений к решению конкретных задач приводит к повышению усвоения предложенного материала, его дополнительного осмысления.

Область измерительной техники весьма обширна. Она включает не только современные приборы с различными физическими принципами преобразования измерительной информации, но и множество специфических схемных решений. В связи с невозможностью уложить объемный материал в узкие временные рамки учебных планов автор ограничился прикладными задачами, применительно к прецизионным растровым преобразователям линейных перемещений, поскольку решение данных задач в них имеет универсальный характер. Изложена теория муаровых растровых сопряжений с позиций волновой теории света, позволяющая объяснить такие понятия, как коэффициент модуляции растрового сопряжения, объяснить форму функции преобразования, дифракционные и интерференционные проявления, обеспечить рациональную компоновку узлов преобразователя. Систематизирована и изложена теория фазовых электронных интерполяторов применительно к двухфазной системе квадратурных измерительных сигналов преобразования, дана схемотехника отдельных функциональных узлов отсчетно-измерительной системы линейных перемещений, как дискретной, так и линейной электроники.

Книга предназначена для студентов вузов, проходящих подготовку по направлению «Приборостроение», не имеющих глубоких знаний в электронике, оптике и прикладной математике. Автор надеется, что отдельные разделы книги будут полезны специалистам в области схемотехники, оптоэлектроники и измерительной техники.

ГЛАВА 1

СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ И КОДЫ

Совокупность приемов наименования и обозначения чисел называется системой счисления. Применение той или иной системы предполагает использование определенных способов выполнения операций.

Исторически сложилось два типа систем счисления: непозиционные и позиционные.

1.1. НЕПОЗИЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

Непозиционной называется такая система счисления, у которой количественное содержание цифры определяется только ее графическим обозначением. Такой системы придерживались в Древней Греции, на Руси, в Римском государстве, до нашего времени сохранилась и в какой-то мере используется только римская. В ней для обозначения целых чисел используются символы определенного вида, а все другие целые числа по известным правилам записываются с их помощью. Цифры обозначаются так: I — 1, V — 5, X — 10, L — 50, C — 100, D — 500, M — 1000 и записываются начиная с бо́льшего. При этом цифры, имеющие меньшее содержание (вес), стоящие перед бо́льшими, — вычитаются, стоящие за бо́льшими — суммируются. Например, число CLXI обозначает — 161, а число CLIX — 159. Число 976 в римской системе счисления запишется как CMLXXVI.

Римская система, как и другие непозиционные системы счисления, мало приспособлена для выполнения арифметических операций и в настоящее время применяется лишь для обозначения юбилейных дат, глав книг и т. п.

1.2. ПОЗИЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

Позиционной называется такая система счисления, в которой один и тот же цифровой знак (символ) имеет различное количественное содержание в зависимости от его местоположения (позиции) в последовательности цифр. Например, в числе 505,15 цифра 5, стоящая на первом месте (разряд сотен), указывает количество сотен, содержащихся в рассматриваемом числе. Цифра 5, стоящая перед запятой (разряд единиц), указывает количество единиц, а пятерка в крайней позиции — количество сотых долей единицы, содержащихся в числе. Форма записи числа называется кодом.

Принцип записи кода числа в системах этого типа одинаков и состоит в следующем:

1) число записывается как последовательность цифр;

2) целая часть числа отделяется от дробной запятой;

3) цифра, стоящая слева от запятой, показывает количество единиц, следующие (для десятичной системы счисления) — количество десятков, сотен и т .д.; вообще, каждая цифра целой или дробной части числа имеет значение в 10 раз большее, чем предыдущая цифра.

В привычной всем десятичной системе счисления принято десять различных цифр: 0, 1, ..., 9, а запись кода числа M = 1920,47 означает:

$$M = 1 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 0 \cdot 10^0 + 4 \cdot 10^{-1} + 7 \cdot 10^{-2}.$$

Количество различных символов, применяемых для обозначения кода числа, называют основанием системы счисления q. Основание определяет наименование системы счисления:

2 — двоичная;

3 — троичная;

6 — шестеричная;

8 — восьмеричная и т. д.

Чтобы отличить, в какой системе счисления записано число, его принято помечать соответствующим нижним индексом, например, 1011_2; $423{,}1_8$; $0{,}0631_{10}$. В дальнейшем мы будем опускать индексы, поскольку будем иметь дело преимущественно с двоичными кодами чисел.

Количественное значение кода числа любой позиционной системы счисления определяется следующим рядом

$$N=\sum_{j=-m}^{n} a_i q^j,$$

где a_i — изображение цифр (символов) в данной системе счисления; q — основание системы счисления; n — цифры, имеющие положительные индексы, соответствуют целой, а m — цифры, имеющие отрицательные индексы — дробной частям числа.

Величины q^n, q^{n-1}, $\ldots q^0$, $\ldots q^{-m}$ называют весовыми коэффициентами или просто весами разрядов. Коды, представляющие позиционные системы счисления, обычно называют позиционными или весовыми кодами, и любое число содержит весовые коэффициенты.

Кроме десятичной системы счисления широкое распространение получила двоичная система счисления, т. е. система, имеющая основание 2. Распространение двоичной системы связано с ее известными преимуществами в выполнении арифметических операций, легкости представления двух устойчивых состояний, изображения цифр 0 и 1 в разрядах числа. В двоичной системе счисления любое число составляется как сумма весовых коэффициентов.

Порядок счета в любой позиционной системе одинаков. При счете символы располагаются в порядке возрастания от 0. После того как в данном разряде использованы все применяемые для данной системы счисления символы, производится переход к исходному символу и перенос единицы в старший разряд. Перенос принято обозначать латинской буквой P. Чем меньше основание системы счисления (количество используемых символов), тем быстрее растет разрядность числа. Рассмотрим порядок счета в различных системах счисления (табл. 1).

Из примера видно, что каждое десятичное число от 0 до 16 кодируется набором из различных символов, используемых в конкретной системе счисления. Таких наборов (комбинаций значений) — q^n: 10^n — для десятичной, 2^n — для двоичной, 8^n — для восьмеричной и 16^n — для шестнадцатеричной систем счисления, где n — число разрядов кода числа. Максимальное число, которое может быть представлено n-разрядами, равно q^n-1. Весовые коэффициенты по разрядам равны соответственно: 1–10–100 — и т. д. для десятичной; 1–2–4–8 — и т. д. для двоичной; 1–8–64–512 — и т. д. для восьмеричной и 1–16–256–4096 — для шестнадцатеричной систем счисления. Для дробных значений весовые коэффициенты будут соответственно равны обратному значению весовых коэффициентов, например, 1/2–1/4–1/8 — и т. д. для двоичного

Таблица 1

Натуральные коды некоторых позиционных систем счисления

Десятичная	Двоичная	Восьмеричная	Шестнадцатеричная
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10 000	20	10

кода. Рассмотренные коды, в которых представлены натуральные числа, носят название прямых натуральных кодов.

Зная весовые коэффициенты, можно без труда преобразовать, например, двоичное число в десятичное (найти десятичный эквивалент), — 101 101 = 32 + 8 + 4 + 1 = 45. Наоборот, двоичный код десятичного числа, например 85, определится как сумма весовых коэффициентов, а именно: 85 = 64 + 16 + 4 + 1 = 1 010 101.

Следует заметить, что сдвиг кода числа влево или вправо относительно запятой в любой позиционной системе счисления изменяет его содержимое в число раз, равное основанию системы счисления. Например, десятичное число 254,76 при сдвиге влево увеличивается в 10 раз (2547,6), а двоичное число 101 101,01 в 2 раза (1 011 010,1).

Для преобразования кода числа из одной системы счисления в другую можно пользоваться относительно простыми формулами. Принцип преобразования кодов чисел сводится к арифметической операции деления, например, десятичного числа на основание системы счисления, в которой необходимо представить это число. Деление производится до тех пор, пока частное от деления окажется меньше основания новой системы счисления. Число в новой системе счисления образуется из последнего частного и остатков деления, начиная с последнего, и читается справа налево.

Рассмотрим пример перевода десятичного числа 168 в двоичную систему счисления.

$$
\begin{array}{r|r|r|r|r|r|r|r}
-168 & 2 & & & & & & \\
168 & -84 & 2 & & & & & \\
\mathbf{0} & 84 & -42 & 2 & & & & \\
 & \mathbf{0} & 42 & -21 & 2 & & & \\
 & & \mathbf{0} & 20 & -10 & 2 & & \\
 & & & \mathbf{1} & 10 & -5 & 2 & \\
 & & & & \mathbf{0} & 4 & -2 & 2 \\
 & & & & & \mathbf{1} & 2 & 1 \\
 & & & & & & \mathbf{0} &
\end{array}
$$

Таким образом,

$$168_{10} = 10\,101\,000_2.$$

Перевод дробной части десятичного числа производится отдельно и по несколько другим правилам путем последовательного умножения дробной части получаемых разрядов на два. Процесс умножения продолжается до тех пор, пока двоичное число не будет вычислено с заданной степенью точности.

$$
\begin{array}{r|l}
\times\ \mathbf{0,} & 543 \\
 & \quad\ \ 2 \\ \hline
\times\ \mathbf{1,} & 086 \\
 & \quad\ \ 2 \\ \hline
\times\ \mathbf{0,} & 172 \\
 & \quad\ \ 2 \\ \hline
\times\ \mathbf{0,} & 344 \\
 & \quad\ \ 2 \\ \hline
\mathbf{0,} & 688
\end{array}
\qquad
\begin{array}{r|l}
\times\ \mathbf{0,} & 688 \\
 & \quad\ \ 2 \\ \hline
\times\ \mathbf{1,} & 376 \\
 & \quad\ \ 2 \\ \hline
\times\ \mathbf{0,} & 752 \\
 & \quad\ \ 2 \\ \hline
\times\ \mathbf{1,} & 504 \\
 & \quad\ \ 2 \\ \hline
\mathbf{1,} & 008
\end{array}
$$

Для рассматриваемого случая результат записывается в следующем виде:

$$0{,}543_{10} = 0{,}10001011_2.$$

В реальных устройствах перевод чисел из одного кода в другой, например из двоичного в двоично-десятичный и наоборот, производится на специальных устройствах, которые носят название преобразователи кодов. Преобразование кода рассмотренным примером путем умножения нерационально, так как занимает много времени.

1.3. АРИФМЕТИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ В ПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СЧИСЛЕНИЯ

К арифметическим операциям относят: суммирование, умножение, вычитание и деление. Рассмотрим эти операции в представленной последовательности.

Суммирование. Правила суммирования:

$$0 + 0 = 0; \quad 0 + 1 = 1; \quad 1 + 0 = 1;$$
$$1 + 1 = 0 + \mathrm{P} = (10); \quad 1 + 1 + \mathrm{P} = 11 = (1 + \mathrm{P}).$$

$$
\begin{array}{r}
+\ 1101 \\
0110 \\ \hline
10011
\end{array}
$$

Знание этих правил позволяет производить суммирование любых двоичных кодов. При этом не следует забывать, что при суммировании разрядность двоичного кода может быть увеличена на один разряд. Просуммируем два четырехразрядных двоичных кода, например 1101 и 0110, которым соответствуют десятичные числа 13 и 6. Нетрудно убедиться, что результат суммирования соответствует десятичному числу 19.

Умножение. Правила умножения:

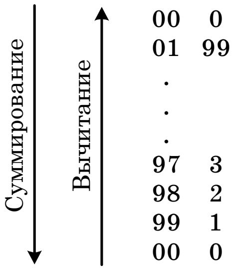
$$0 \times 0 = 0; \quad 0 \times 1 = 0; \quad 1 \times 0 = 0; \quad 1 \times 1 = 1.$$

Как видим таблица умножения двоичных кодов гораздо проще, чем десятичных. Умножение двоичных кодов составляет вычисление произведения модулей сомножителей и присвоение ему знака плюс, если знаки сомножителей одинаковы, и знака минус — в противном случае.

Умножение двоичных кодов производится аналогично умножению десятичных кодов. Например, умножим двоичные коды десятичных чисел 13 и 5. Двоичный код результата умножения соответствует десятичному числу 65. В суммировании участвуют коды множимого числа (13) и множимого, сдвинутого на два разряда влево, т. е. числа 52. Таким образом, операция умножения сводится к операции сдвига множимого и суммирования.

$$\begin{array}{r} \times\begin{array}{r}1101\\101\end{array} \\ \hline +\begin{array}{r}1101\\1101\end{array} \\ \hline 1000001 \end{array}$$

Вычитание. Операция вычитания в десятичной системе счисления, в том виде, в котором мы ее используем, является весьма некорректной. Это следует из правил вычитания. Так, если из меньшей цифры вычитается бóльшая, приходится осуществлять операцию заема единицы из старшего разряда и помечать его точкой. Гораздо корректнее операцию вычитания производить посредством операции суммирования, при этом отрицательное число представлять в некотором коде. Для того чтобы понять, в каком коде представляются отрицательные числа, рассмотрим пример из десятичной системы счисления для двухразрядного числа. Если последовательно прибавлять или вычитать единицу в пределах двух десятичных разрядов, то можно заметить, что несоответствие кодов результату наступает с момента образования отрицательных чисел, т. е. когда из нуля вычитается единица. Отрицательное число 1 имеет код 99; 2 — 98; 3 — 97 и т. д. Нетрудно заметить, что сумма вычитаемого и получаемого кода всегда равна «круглому» числу q^n, т. е. для нашего случая равна 100. Образующийся в



результате код отрицательного числа носит название дополнительного, поскольку он дополняет это число до вида q^n. Следовательно, отрицательное число можно представлять в дополнительном коде. Тогда при суммировании его с вычитающим мы получим истинный результат арифметической операции либо в прямом, либо в дополнительном коде в зависимости от знака результата.

Рассмотрим пример: 52 – 36. Отрицательное число 36 имеет дополнительный код 64. Просуммируем эти коды, учитывая, что при вычитании разрядность результата не может увеличиваться. Из примера видно, что результат вычитания равен 16, перенос единицы в старший разряд свидетельствует лишь о том, что число положительно, а следовательно, представлено в прямом коде. Указанный разряд принято называть знаковым.

$$\begin{array}{r} 52 \\ +\,64 \\ \hline 116 \end{array}$$

Рассмотрим пример, когда из меньшего числа вычитается бо́льшее, т. е. 36 – 52. Отрицательное число –52 имеет дополнительный код, равный 48. В этом случае перенос в старший разряд отсутствует, что означает, что число отрицательно и представлено в дополнительном коде. Если X — прямой код, $\tilde{X}$ — дополнительный код, то $X = 10^2 - \tilde{X} = 16$. Таким образом, операцию вычитания можно заменить операцией суммирования, в которой отрицательное число представляется в дополнительном коде.

$$\begin{array}{r} 36 \\ +\,48 \\ \hline 84 \end{array}$$

Для того чтобы перейти к операции вычитания двоичных кодов, т. е. получению дополнительного кода, необходимо рассмотреть понятие обратного (инверсного) кода. Если мы имеем двоичный код некоторого числа, например 13, т. е. 1101, то обратный код этого числа получается путем замены 0 на 1 и наоборот во всех разрядах этого кода, т. е. если X = 1101, то обратный код $\bar{X} = 0010$. Если сложить прямой и обратный коды, то мы получим результат 1111. Для получения числа вида q^n необходимо прибавить единицу. Отсюда $\tilde{X} = \bar{X} + 1$. Таким образом, дополнительный код любого двоичного числа можно получить просто путем прибавления единицы к обратному коду.

Следует заметить, что понятие обратного кода характерно лишь для двоичной системы счисления. Для других систем счисления это понятие не имеет смысла.