

Особенности процессов обработки и передачи информации в вычислительных устройствах

В.В. Лосев, Ю.А. Чаплыгин, Т.Ю. Крупкина, М.Г. Путря

Национальный исследовательский университет МИЭТ, dsd@miee.ru

Аннотация — Рассматриваются особенности процессов обработки и передачи информации в вычислительных устройствах. Впервые предложена классификация элементов хранения по способу сохранения информации и необходимости использования источника питания, основанная на понятии обобщенной пружины. Предложена структурная схема базового логического вентиля, описывающая работу всех известных разновидностей базовых логических вентилях. Рассмотрены возможные типы характеристики обобщенной пружины в базовом логическом вентице. Проведено обобщение требований, предъявляемых к адиабатической логике, на широкий класс электронной элементной базы.

Ключевые слова — быстрдействие, потребляемая мощность, логический вентиль, элемент хранения информации, базовый логический вентиль, адиабатическая логика.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время энергетические возможности повышения скорости передачи информации на фоне шума в технике связи установлены [1-10]. Теорема Шеннона [2,3,6] устанавливает предельную скорость передачи информации в зависимости от полосы пропускания канала связи и отношения мощностей сигнал/шум, а также доказывает возможность неограниченного приближения к этому пределу за счет применения специальных систем кодирования сигналов.

В вычислительной технике эти вопросы нельзя считать решенными. В частности, отсутствует единый подход к анализу элементарных ячеек, использующих различные физические механизмы сигнала (включая квантовые), недостаточно исследованы возможности улучшения скоростных и энергетических характеристик за счет применения не двоичной системы кодирования и использования принципа термодинамической обратимости [1-4].

В данной статье с общих позиций рассматриваются особенности процессов обработки и передачи информации в вычислительных устройствах. Основной концепцией, принятой при анализе физических свойств элементарных ячеек, является введение понятия “обобщенной пружины” как основного их элемента.

Любой двоичный вентиль содержит некоторую обобщенную пружину, деформация которой соответствует логическим состояниям вентиля. Такой пружиной может быть газ, механическая пружина, конденсатор и т.п. Работа по деформации пружины есть $dA = FdX$, где F - обобщенная сила, X - обобщенное перемещение. Для газа обобщенными координатами являются P и V , для конденсатора (электронная логика) — V и Q .

Введение понятия обобщенной пружины обусловлено требованиями к составу термодинамически обратимых вентилях, как вентилях обладающих наименьшей потребляемой энергией из всех известных [1,11-14].

Предлагаемая концепция позволит классифицировать все известные элементы производства и хранения информации и определить их предельные энергетические возможности.

Целью работы является обобщение требований предъявляемых к термодинамически обратимым устройствам обработки информации на широкий класс вычислительных устройств для минимизации потребляемой мощности.

II. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

A. Состав цифрового устройства

Большие цифровые устройства обработки информации, подобные компьютеру, содержат логические блоки и запоминающие устройства. Элементарными ячейками этих устройств являются логические элементы (ЛЭ) и элементы памяти (ЭП). ЭП производят копии имеющейся информации для ее сохранения. ЛЭ производят новую информацию. ЛЭ и ЭП соединяются каналами связи.

ЭП содержит элемент хранения информации (ЭХ), способный сохранять записанную в него информацию после снятия сигнала, а также устройства, обеспечивающие возможность выборки нужного ЭП в матрице памяти, записи информации в выбранный ЭП и считывания информации. Режимы хранения, записи и считывания информации устанавливаются соответствующими сигналами управления с помощью логических элементов.

В. Характеризация энергией, а не мощностью

ЛЭ и ЭП в блоках устройства являются передатчиками и приемниками сигнала. Распространение сигнала по каналам связи имеет волновой характер. При этом энергия сигнала, переданного по каналу связи, частично поглощается приемником, а частично отражается.

При полном поглощении сигнала канал связи является согласованным, а приемник представляет для него активную нагрузку. В этом случае во время действия сигнала энергия рассеивается в приемнике непрерывно, и сигнал характеризуется мощностью. Такая ситуация имеет место в системах связи. Минимизация мощности сигнала осуществляется путем использования частотных фильтров, подавляющих шумы за пределами частотного спектра сигнала.

Если приемник представляет для канала связи реактивную нагрузку, большая часть энергии отражается от приемника. Часть отраженной энергии рассеивается в канале связи, а часть возвращается к передатчику. Если передатчик также представляет для отраженного сигнала реактивную нагрузку, отраженные сигналы циркулируют, затухая, между передатчиком и приемником. После затухания отражений сигнал достигает на входе приемника установившегося значения, и диссипация энергии сигнала прекращается. В этом случае сигнал характеризуется энергией. Реактивность нагрузки определяет полосу пропускания канала связи, автоматически уравнивая ее с полосой шума. При реактивной нагрузке время установления сигнала много больше времени распространения сигнала по каналу связи, что приводит к потере быстродействия. Тем не менее именно такая ситуация имеет место в каналах связи между ЛЭ и ЭП больших современных устройств обработки информации, поскольку согласование каналов связи требует слишком больших затрат мощности. Согласованные каналы используются только для связи между крупными блоками устройства. Далее мы будем полагать, что нагрузка каналов связи является реактивной. При этом сигнал характеризуется единственной степенью свободы, и средняя энергия теплового шума составляет:

$$W_{NT} = kT / 2 . \quad (1)$$

С. Кодово-импульсная модуляция

При использовании КИМ сигнал квантуется. Различимость сигналов на фоне шума обеспечивается условием

$$K = \Delta F / N_{\sigma} \gg 1, \quad (2)$$

где ΔF — интервал квантования амплитуды сигнала, $N_{\sigma} \sim W_N^{1/2}$ — среднеквадратичное значение шума, W_N — полная средняя энергия шума. Поскольку в вычислительных устройствах статистические методы

приема информации не используются, условие (2) является необходимым.

Д. Термодинамическая модель

Энергия сигнала затрачивается на совершение работы A над ЭХ или ЛЭ, в результате чего изменяется их энергетическое состояние. Поэтому ЭХ и ЛЭ должны содержать некоторое рабочее тело, обладающее свойством обобщенной пружины. В изотермических условиях состояние пружины описывается уравнением

$$dA = FdX + P_{spring} dt , \quad (3)$$

где F — обобщенная сила (сигнал), X — обобщенная деформация пружины. Основной характеристикой обобщенной пружины является функция $F(X)$. Поддержание реальной пружины в деформированном состоянии может требовать некоторого дополнительного расхода мощности $P_{spring}(X)$ (утечка энергии). Роль обобщенной пружины выполняет обычно преобладающая суммарная реактивность входа устройства производства информации (ЭП или ЛЭ) и канала связи. Это может быть система механических пружин (F — сила, X — деформация), электрическая емкость (F — напряжение, X — заряд), баллон с газом (F — давление, X — объем).

«Паразитные» реактивности принципиально необходимы для выполнения условия (2). Если в электронной системе реактивность имеет емкостный характер, энергия теплового шума составляет $W_{NT} = kT / 2 = CV_{NT}^2 / 2$, а шумовое напряжение $V_{NT} = \sqrt{kT / C}$. При конечном значении кванта амплитуды сигнала $\Delta F \equiv \Delta V$ условие (2) $\Delta V \gg V_{NT}$ выполнено только при конечной емкости C .

Е. Назначение источника питания

Источником обобщенной силы, которая используется для деформации пружин, является источник питания.

III. ЭЛЕМЕНТЫ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Элемент хранения информации (ЭХ) — устройство, способное под действием входного сигнала переходить в одно из нескольких (более одного) устойчивых состояний, соответствующих информационному коду входного сигнала, и сохранять это состояние в течение достаточно длительного времени по окончании действия входного сигнала.

Элементы хранения информации (ЭХ) можно разделить на 2 группы: 1) статические ЭХ — сохраняют информацию неограниченное время; 2) динамические ЭХ — требуют периодической регенерации записанной информации.

А. Статические ЭХ

По принципу действия статические ЭХ делятся на 2 группы: ЭХ с потенциальным барьером (барьерами); ЭХ с гистерезисом.

ЭХ с потенциальным барьером представляют собой некоторую обобщенную пружину с высокой упругостью, выполненную таким образом, что ее характеристика $F(X)$ имеет участок (или участки) отрицательного наклона (рис. 1), где $dF/dX < 0$. При этом зависимость потенциальной энергии пружины от деформации $U(X) = \int_0^X F(X)dX$ имеет минимумы, соответствующие устойчивым состояниям равновесия — логическим состояниям. В режиме хранения информации входной сигнал снимается ($F = 0$), и энергия пружины минимальна.

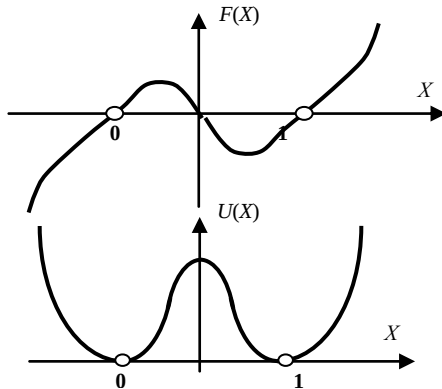
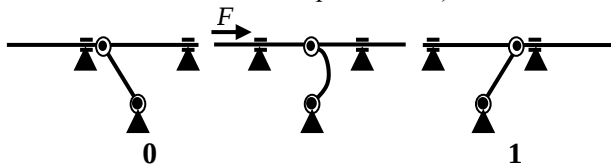


Рис. 1. Статический ЭХ с потенциальным барьером

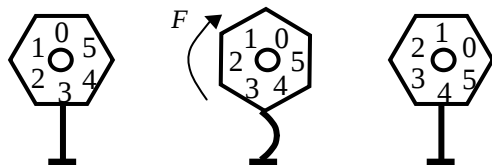
ЭХ с потенциальным барьером не требуют источника питания и не потребляют мощность в режиме хранения (т.е. являются энергонезависимыми). Для абсолютно упругой пружины процесс переключения под действием входного сигнала может быть термодинамически обратимым (адиабатическим). Например, адиабатическим может быть изотермическое (медленное) циклическое переключение: $\oint FdX = 0$.

Примеры статических ЭХ с потенциальным барьером:

1. Пружинный выключатель (F — механическая сила, X — механическое перемещение).



2. Револьверный барабан.



ЭХ с гистерезисом можно разделить на 2 группы: пассивные и активные.

Пассивные статические ЭХ с гистерезисом представляют собой обобщенную пружину, упругость которой нарушается при достаточно большой деформации, вследствие чего зависимость $F(X)$ монотонна, но имеет гистерезис, причем петля гистерезиса на плоскости (F, X) охватывает начало координат (рис. 2).

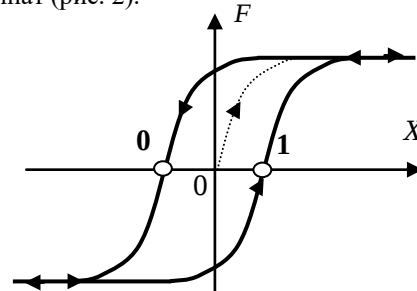


Рис. 2. Пассивный статический ЭХ с гистерезисом

В режиме хранения информации входной сигнал также снимается ($F = 0$), однако энергия пружины в состояниях 0 и 1 не имеет минимума. Эти ЭХ также не требуют источника питания и не потребляют мощность в режиме хранения (т.е. являются энергонезависимыми). Но процесс их переключения не может быть обратимым — даже в отсутствие шума при циклическом переключении рассеивается энергия, равная площади петли гистерезиса.

Примеры пассивных статических ЭХ с гистерезисом:

1. Дроссель с ферромагнитным сердечником (F — ток, X — магнитный поток).

2. Сегнетоэлектрический конденсатор (F — напряжение, X — заряд).

В активных статических ЭХ с гистерезисом петля гистерезиса на плоскости (F, X) не охватывает начало координат (рис. 3). При этом в режиме хранения информации входной сигнал должен иметь конечную величину ($F \neq 0$). Такую ситуацию можно трактовать как хранение информации с помощью источника питания F_{feed} (рис. 3). При этом в режиме хранения информации $F = F_{feed}$ мощность от источника питания может не потребляться.

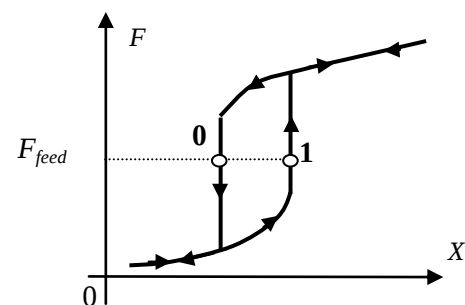


Рис. 3. Активный статический ЭХ с гистерезисом

Пример активного статического ЭХ с гистерезисом:

Электронный двухполюсник с неоднозначной ВАХ (рис. 4). Такую ВАХ имеет, например, последовательное соединение негатрона N-типа с элементом нагрузки — например, резистором с достаточно большим сопротивлением. Обобщенной пружиной является емкость (рис. 4а), обобщенной силой — напряжение ($F = V$), обобщенной деформацией — заряд в емкости ($X = Q$). Аналогичным образом можно использовать негатрон S-типа, где обобщенной пружиной является последовательная индуктивность ($F = I$, $X = \Phi$).

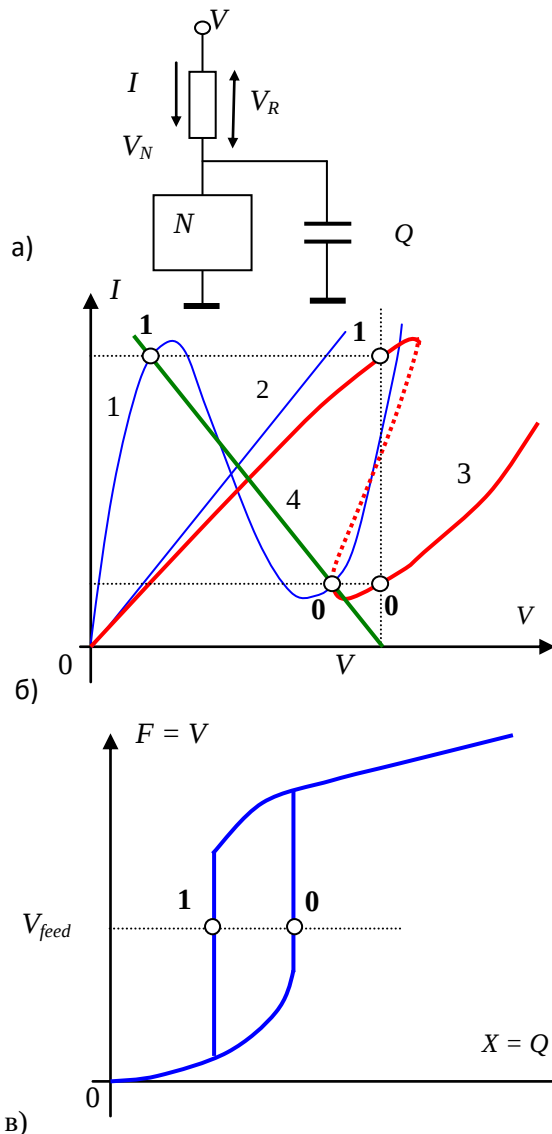


Рис. 4. Активный статический ЭХ с гистерезисом на основе негатрона N-типа (а - электрическая схема; б - ВАХ: 1 - негатрона, 2 - нагрузки, 3 - элемента хранения, 4 - линия нагрузки; в - характеристика $X(F) = V(Q)$.)

Неоднозначную ВАХ можно получить с помощью кольцевого включения четного числа логических

инверторов. Так ВАХ триггера на транзисторах, измеренная между шиной питания и нагрузкой в одном из плеч, неоднозначна по току. В случае триггера на КМДП-транзисторах ЭХ не потребляет мощности в режиме хранения информации. Если установку информации производить с помощью дополнительных входных транзисторов по двум входам (RS-триггер), такой ЭХ при управляемом напряжении питания может работать в адиабатическом режиме, если записанная информация известна (в этом случае энергия, запасенная в пружине, может быть возвращена источнику сигнала F_{in}).

В. Динамические ЭХ

В динамических элементах памяти ЭХ представляет собой обобщенную пружину, деформация которой (запись информации) производится входным сигналом F_{in} через защелку, управляемую сигналом синхронизации (тактовым сигналом F_{CL}) — рис. 5. Защелка сохраняет состояние, в котором пружина находилась к моменту окончания тактового сигнала. Реальная защелка может иметь утечку, в результате которой в режиме хранения ($F_{CL} = 0$) энергия пружины W релаксирует к значению $W(F_{in})$ со скоростью $P_{esc} = [W - W(F_{in})] / \tau$. Поэтому период импульсов синхронизации T_{CL} должен быть много меньше времени релаксации τ . Характеристика обобщенной пружины $F_{in}(X)$ в динамических ЭХ монотонна.

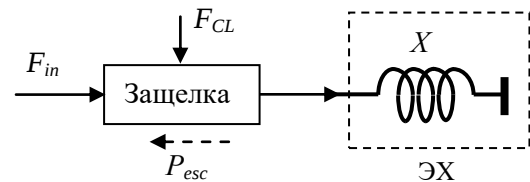


Рис. 5. ЭХ в динамическом элементе памяти

Динамические ЭХ не требуют источника питания и не потребляют мощность в режиме хранения. Однако в виду утечки деформации пружины они не могут быть полностью т/д обратимыми. В пренебрежении утечками т/д обратимость возможна при условии, что записанная информация сохраняется в устройстве, программирующем работу ЭХ (в этом случае энергия, запасенная в пружине, может быть возвращена источнику сигнала F_{in}).

Если время релаксации энергии пружины достаточно велико, динамические ЭХ могут считаться энергонезависимыми. В известных энергонезависимых динамических ЭХ перезаписи информации предшествует ее стирание с помощью воздействия специальных импульсов стирания. Такие ЭХ применяются в РПЗУ.

С. Классификация ЭХ

Уточненная классификация ЭХ с использованием понятия обобщенной пружины приведена в таблице 1.

Таблица 1

Классификация элементов хранения информации

Тип ЭХ		Основные свойства			Пример
		Источник питания	Отсутствие диссипации энергии в режиме хранения	Т/д обратимость ¹⁾	
Статические	С потенциальным барьером	Нет	Да	Да	Механический выключатель
	Пассивные	Нет	Да	Нет	Ферромагнитный дроссель
	Активные	Есть	Нет	Нет	ТД, РТД, тиристор
	С обратной связью	Есть	Возможно	Возможна	Триггер на транзисторах
Динамические		Нет	Да ²⁾	Возможна ²⁾	1) электронный; 2) атом, молекула

1) Полная т/д обратимость возможна только при условии сохранения записанной информации в устройстве, программирующем работу ЭХ.

2) В пренебрежении токами утечки.

IV. БАЗОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ВЕНТИЛИ

Базовый логический вентиль (БЛВ) — устройство производства информации, содержащее систему ключей и систему опроса. Информация, произведенная ЛЭ-передатчиком, поступает на БЛВ-приемник через канал связи. В достаточно сложном устройстве производства информации разветвленная цепь БЛВ произвольной длины должна быть работоспособна. Поэтому выходные сигналы должны быть идентичными входным (т.к. являются входными сигналами для аналогичных БЛВ).

Состояние ключей определяется входными сигналами F_{in} и, возможно, синхронизирующими (тактовыми) сигналами F_{CL} . Система опроса вырабатывает выходной сигнал (или выходные сигналы) F_{out} под действием источника питания F_{feed} в соответствии с состояниями ключей, а также осуществляет компенсацию потерь энергии в ключах и усиление мощности выходного сигнала (для его разветвления). Выходной сигнал передает информацию, произведенную БЛВ-передатчиком на вход БЛВ-приемника через канал связи.

Энергия сигнала затрачивается на совершение работы A над ключами и каналом связи. Поэтому система ключ — канал связи должна обладать свойством обобщенной пружины, состояние которой

описывается уравнением (3). Система опроса также может потреблять в статическом состоянии мощность $P_{inquest}(F_{out})$.

Структурная схема базового логического вентиля представлена на рис. 6. По этой схеме, по-видимому, работают все известные БЛВ.

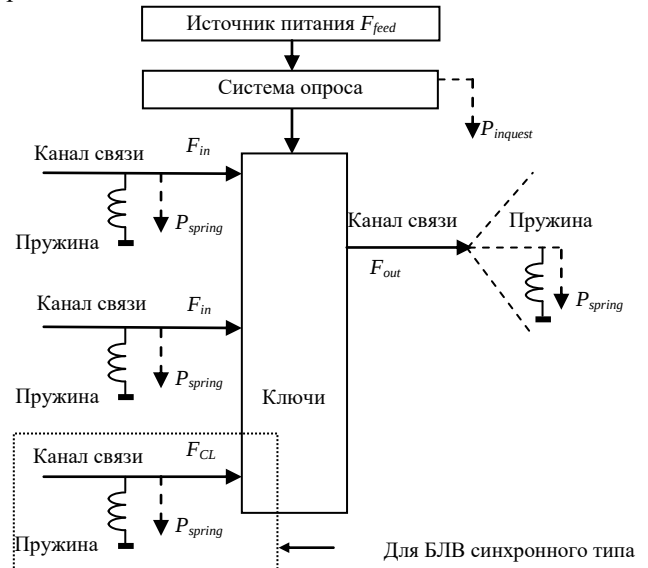


Рис. 6. Структурная схема базового логического вентиля

По виду временной диаграммы БЛВ делятся на два типа: 1) асинхронные — выходной сигнал изменяется по мере изменения входных сигналов, вход синхронизации отсутствует; 2) синхронные — выходной сигнал изменяется только при изменении сигнала синхронизации (тактового сигнала). По способу организации системы опроса БЛВ также делятся на два типа: 1) статические — выходной канал связи постоянно подключен к системе опроса; 2) динамические — выходной канал связи подключается к системе опроса только при определенном значении сигнала синхронизации.

БЛВ должен обладать свойством функциональной полноты, т.е. возможностью реализации системой идентичных БЛВ произвольной логической функции.

Для электронных БЛВ обобщенной пружиной является входная реактивность ключа и реактивность канала связи. Современная микроэлектроника идет по пути снижения энергопотребления за счет уменьшения рабочих токов. Поэтому в большинстве электронных ключей входная реактивность имеет емкостный характер (энергия электрического поля много больше, чем магнитного), обобщенная сила соответствует напряжению ($F=V$), а обобщенная деформация — заряду, накопленному во входной емкости ключа и канале связи ($X=Q$). При конечной величине входного тока I_{in} в статическом состоянии мощность $P_{spring} = V_{in} I_{in}$.

Примеры электронных БЛВ

А. Статический КМДП-вентиль асинхронного типа

На рис. 7 приведена схема статического КМДП вентиль асинхронного типа.

Ключи — КМДП транзисторы; каналы связи — провода; пружины — входные емкости транзисторов и емкости каналов связи; источник питания — источник ЭДС V_{feed} ; система опроса — соединение ключей с источником питания; мощности P_{spring} и $P_{inquest}$ практически равны нулю.

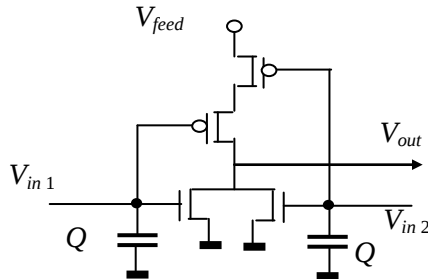


Рис. 7. Статический КМДП-вентиль асинхронного типа

В. Статический ЭСЛ-вентиль асинхронного типа

На рис. 8 приведена схема статического ЭСЛ вентиль асинхронного типа.

Ключи — транзисторы; каналы связи — провода; пружины — входные емкости транзисторов и емкости каналов связи; источник питания — источник ЭДС V_{feed} ; система опроса — соединение ключей с источником питания через резисторы; $P_{spring} = V_{in} I_{in}$; $P_{inquest} = V_{feed} I_{inquest}$.

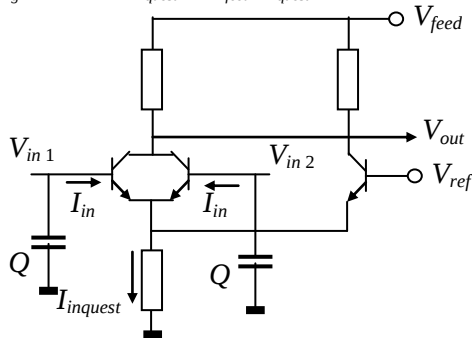


Рис. 8. Статический ЭСЛ-вентиль асинхронного типа

С. Динамический КМДП-вентиль синхронного типа («домино»)

На рис. 9 приведена схема динамического КМДП-вентиль синхронного типа («домино»).

Ключи — транзисторы; каналы связи — провода; пружины — входные емкости транзисторов и емкости каналов связи; источник питания — источник ЭДС V_{feed} ; система опроса — соединение ключей с источником питания; мощности P_{spring} и $P_{inquest}$ практически равны нулю.

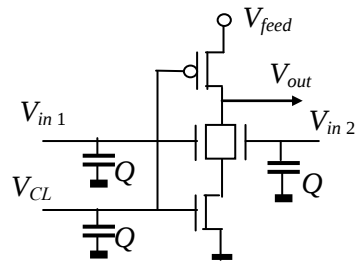


Рис. 9. Динамический КМДП-вентиль синхронного типа

Основными характеристиками БЛВ являются характеристика обобщенной пружины $F(X)$ и передаточная характеристика $F_{out}(F_{in})$. Характеристика обобщенной пружины $F(X)$ определяет ее энергетические свойства (а при отсутствии утечек — и энергетические свойства БЛВ в целом). Передаточная характеристика $F_{out}(F_{in})$ определяет помехоустойчивость БЛВ.

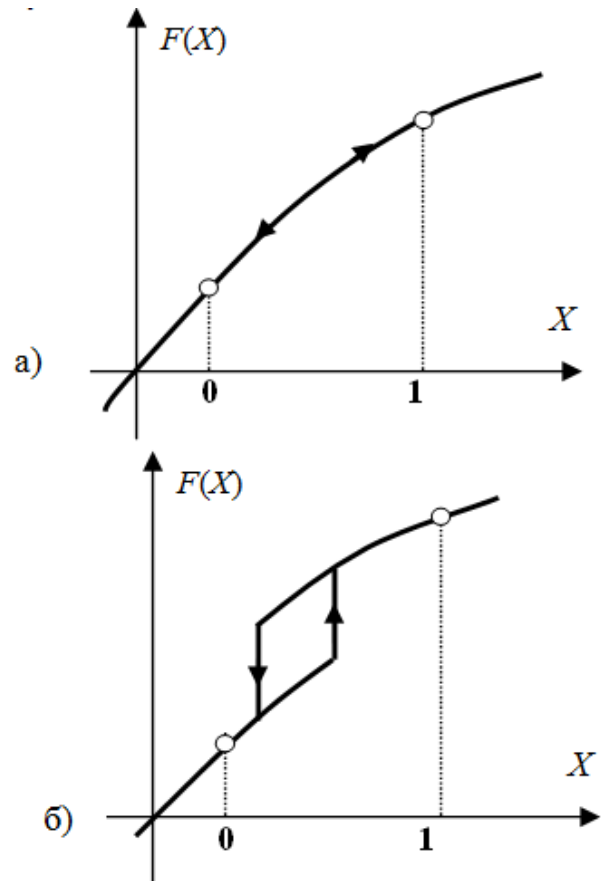


Рис. 10. Характеристика обобщенной пружины в БЛВ

Характеристика обобщенной пружины монотонна и обычно не имеет гистерезиса (рис. 10а). Для абсолютно упругой пружины процесс переключения под действием входного сигнала может быть термодинамически обратимым (адиабатическим), однако для этого необходимо извлекать энергию, запасенную в пружине, в источник питания предыдущего вентиль, сохраняя информацию на его входах. В некоторых случаях в БЛВ применяется

нелинейная положительная обратная связь; при этом характеристика пружины имеет слабый гистерезис.

Для обеспечения требования функциональной полноты БЛВ должен обладать свойством инверсии. Поэтому передаточная характеристика БЛВ по любому входу (при отсутствии запрета на переключение по другим входам) должна быть монотонно спадающей. При этом прямая и обращенная передаточные характеристики образуют петли (рис. 11). Помехоустойчивость БЛВ принято оценивать длиной стороны максимального квадрата F_{NM} , вписанного в каждую петлю.

При наличии гистерезиса на характеристике обобщенной пружины $F(X)$ передаточная характеристика также имеет гистерезис, повышающий помехоустойчивость.

В [1] показано, что БЛВ статического типа могут быть полностью т/д обратимыми, а БЛВ динамического типа — частично.

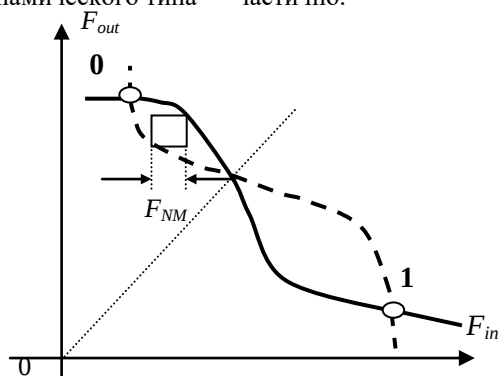


Рис. 11. Передаточная характеристика БЛВ

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Результаты анализа, приведенные в статье, способствуют лучшему пониманию процессов диссипации энергии в логических устройствах в зависимости от их физической реализации. Способы построения базовых логических вентилях могут быть использованы для совершенствования конструкций существующих термодинамически обратимых логических вентилях и разработки новых.

Методически новыми являются следующие результаты:

1. В больших устройствах производства информации каналы связи между логическими элементами и элементами памяти имеют реактивную нагрузку. При этом сигнал следует характеризовать энергией, а не мощностью.

2. Классификация элементов хранения с использованием понятия обобщенной пружины:

а). Элементы хранения информации (ЭХ) и базовые логические вентили (БЛВ) должны содержать рабочее тело, обладающее свойством обобщенной пружины, состояние которой описывается уравнением $dA = FdX$, где F — обобщенная сила (сигнал), X — обобщенная

деформация пружины. Характеристикой обобщенной пружины является функция $F(X)$.

б). Предложена классификация ЭХ по способу сохранения информации, виду характеристической функции $F(X)$ и необходимости использования источника питания.

3. Обобщенная структурная схема базового логического вентиля, основанная на понятии обобщенной пружины, а именно: предложена структурная схема БЛВ, описывающая работу всех известных разновидностей БЛВ, рассмотрены возможные типы характеристики обобщенной пружины в БЛВ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Валиев К.А., Старосельский В.И. Модель и свойства термодинамически обратимого логического вентиля // Микроэлектроника РАН. 2000, т.29, № 2, с.3-18.
- [2] Shannon C.E. Communication in the presense of noise // Proc. IRE, 1949, v.37, N 1, p.10-21.
- [3] Bennett C.H. The thermodynamics of computation - a review // Int. J. of Theor. Phys., 1982, v. 21, № 12, p.p. 905-945.
- [4] Bennett C.H. Logical reversibility of computation. IBM J. of Res. & Dev., 1973, v. 17, № 11, p.p. 525-532.
- [5] Bennett C.H. Time/space trade-offs for reversible computation. SIAM J. Comput., 1989, v.18, № 4, p.p. 766-776.
- [6] Bennett C.H. Notes on the history of reversible computation. IBM J. of Res. & Dev., 1988, v.32, № 1, p.p. 16-23.
- [7] Feinman R.P. Tiny computers obeying quantum mechanical laws. New directions in physics: The Los Alamos 40th anniversary ed N Metropolis, D.M.Kerr and G.Rota (Boston: Academic). 1987, p.p. 7-25.
- [8] Landauer R. Dissipation and noise immunity in computation and communication. Nature, 1988, v.335, 27 Oct., p.p. 779-784.
- [9] Keyes, Landauer R. Minimal energy dissipation in logic // IBM J. of Res. & Dev., 1970, v. 14, № 2, p.p. 152-157.
- [10] Schneider T.D. Sequence logos, machine/channel capacity, Maxwell's demon, and molecular computers: a review of the theory of molecular machines // Nanotechnology, 1994, № 5, p.p. 1-18.
- [11] Лосев В.В., Старосельский В.И. Закономерности энергопотребления в квазиadiaбатических логических вентилях // Микроэлектроника РАН, 2003, Т. 32, № 6, с. 68.
- [12] Лосев В.В., Старосельский В.И. Моделирование энергопотребления в асимптотически адиабатических вентилях статического типа // Микроэлектроника РАН, 2003, Т.32, № 8, с. 43.
- [13] Лосев В.В., Старосельский В.И. Исследование закономерностей энергопотребления в асимптотически адиабатических вентилях статического типа // Микроэлектроника. 2004. Т. 33, № 3. с. 233-239.
- [14] Старосельский В.И. Реверсивная логика // Микроэлектроника РАН. 1999, т. 28, № 3, с. 213-222.

Features of processing and transmitting information in computing devices

V.V. Losev, Yu.A. Chaplygin, T.Yu. Krupkina, M.G. Putrya

National Research University of Electronic Technology, dsd@miee.ru

Keywords — speed, power consumption, logic gate, information storage cell, basic logic gate, adiabatic logic.

ABSTRACT

Currently, the energy potential of increasing speed of information transmission in the presence of noise in communication technology established [1-14]. Shannon [2,6,7] sets the limit of data transfer rate depending on communication channel bandwidth and signal/noise ratio of capacities, and proves the possibility of unlimited approaching to this limit through the use of special signal coding systems.

In computing, these issues cannot be considered solved. In particular, there is no single approach to the analysis of the unit cells using a variety of physical mechanisms of signal (including quantum); the possibility of improving the speed and power performance through the use of non-binary coding system and use of the principle of thermodynamic reversibility is still insufficiently investigated [1-5].

In this article, with common positions especially processing and transmission of information in computing devices were considered. The basic concept adopted in the analysis of physical properties of elementary cells was the introduction of the concept of generalized spring as their main element. This concept allows you to classify all the known elements of information production and storage, and to determine their maximum energy potential. Because of the reactive nature of the load of communication channels (uncoordinated channels), these characteristics are determined by the ratio of signal power to noise power (not power ratio as in communication technology).

CONCLUSIONS

1. In large data production device, communication links between the logic elements and memory elements have reactive load. The signal should be characterized by energy rather than power.

2. Data storage elements and basic logic gates must contain working fluid, which has the property of generalized spring whose state is described by the equation, where F - the generalized force (signal), X - a generalized spring deformation. The characteristic feature is a generalized spring.

3. Classification of data storage elements for a way to preserve the information, referring to the characteristic function and the need for a power source.

4. Block diagram of basic logic gates describes the work of all the known species. Possible types of generalized characteristics of the spring in basic logic gates was considered.

REFERENCES

- [1] Valiyev K.A., Starosel'skiy V.I. Model' i svoystva termodinamicheskoi obratimogo logicheskogo ventilya // Mikroelektronika RAN. 2000, Vol. 29, No. 2, pp.3-18 (in Russian).
- [2] Shannon C.E. Communication in the presense of noise // Proc. IRE, 1949, Vol. 37, No. 1, pp.10-21.
- [3] Bennett C.H. The thermodynamics of computation - a review // Int. J. of Theor. Phys., 1982, Vol. 21, No. 12, pp. 905-945.
- [4] Bennett C.H. Logical reversibility of computation // IBM J. of Res. & Dev., 1973, Vol. 17, No. 11, pp. 525-532.
- [5] Bennett C.H. Time/space trade-offs for reversible computation // SIAM J. Comput., 1989, Vol. 18, No. 4, pp. 766-776.
- [6] Bennett C.H. Notes on the history of reversible computation // IBM J. of Res. & Dev., 1988, Vol. 32, No. 1, pp. 16-23.
- [7] Feinman R.P. Tiny computers obeying quantum mechanical laws. New directions in physics: The Los Alamos 40th anniversary ed N Metropolis, D.M.Kerr and G.Rota (Boston: Academic). 1987, pp. 7-25.
- [8] Landauer R. Dissipation and noise immunity in computation and communication // Nature, 1988, v. 335, 27 Oct., pp. 779-784.
- [9] Keyes, Landauer R. Minimal energy dissipation in logic // IBM J. of Res. & Dev., 1970, v. 14, No. 2, pp. 152-157.
- [10] Schneider T.D. Sequence logos, machine/channel capacity, Maxwell's demon, and molecular computers: a review of the theory of molecular machines // Nanotechnology, 1994, No. 5, pp. 1-18.
- [11] Losev V.V., Starosel'skiy V.I. Zakonomernosti energopotrebleniya v kvaziadiabaticeskikh logicheskikh ventilyakh // Mikroelektronika RAN, 2003, Vol. 32, No. 6, p. 68 (in Russian).
- [12] Losev V.V., Starosel'skiy V.I. Modelirovaniye energopotrebleniya v asimptoticheski adiabaticeskikh ventilyakh staticheskogo tipa // Mikroelektronika RAN, 2003, Vol. 32, No. 8, p. 43 (in Russian).
- [13] Losev V.V., Starosel'skiy V.I. Issledovaniye zakonomernostey energopotrebleniya v asimptoticheski adiabaticeskikh ventilyakh staticheskogo tipa // Mikroelektronika. 2004. Vol. 33, No. 3, pp. 233-239 (in Russian).
- [14] Starosel'skiy V.I. Reversivnaya logika // Mikroelektronika RAN, 1999, Vol. 28, No. 3, pp. 213-222 (in Russian).