

К ВОПРОСУ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ЗАУРБЕЖНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ

УДК 608.2



А.В. КУШНЕРОВ, И.В. МУРИНОВ

Научно-производственное республиканское унитарное предприятие
«Научно-исследовательский институт технической защиты информации»,
г. Минск, ул. Первомайская, д. 26, к. 2, 246034, Республика Беларусь





Получение достоверной информации об измеряемой мощности является одной из основных задач, решаемых при создании информационно-измерительных преобразователей.

Особенность построения таких устройств состоит в том, что для их создания должны применяться электронные компоненты, реализующие, во-первых, получение корректной информации о мощности путем измерения с требуемой точностью аналоговых сигналов и, во-вторых, обеспечение информационной безопасности для надёжной защиты информации, обмен которой эти устройства обычно осуществляют с центром учёта энергии.

Среди современных электронных компонентов (включая также демонстрационные и отладочные комплекты разработчика), решающих указанную задачу, наиболее широкую известность, распространение и применение получили интегральные микросхемы, производимые лидерами электронной промышленности стран Европы, Азии и США, занимающими значительный процент мирового рынка (см. рис.1).



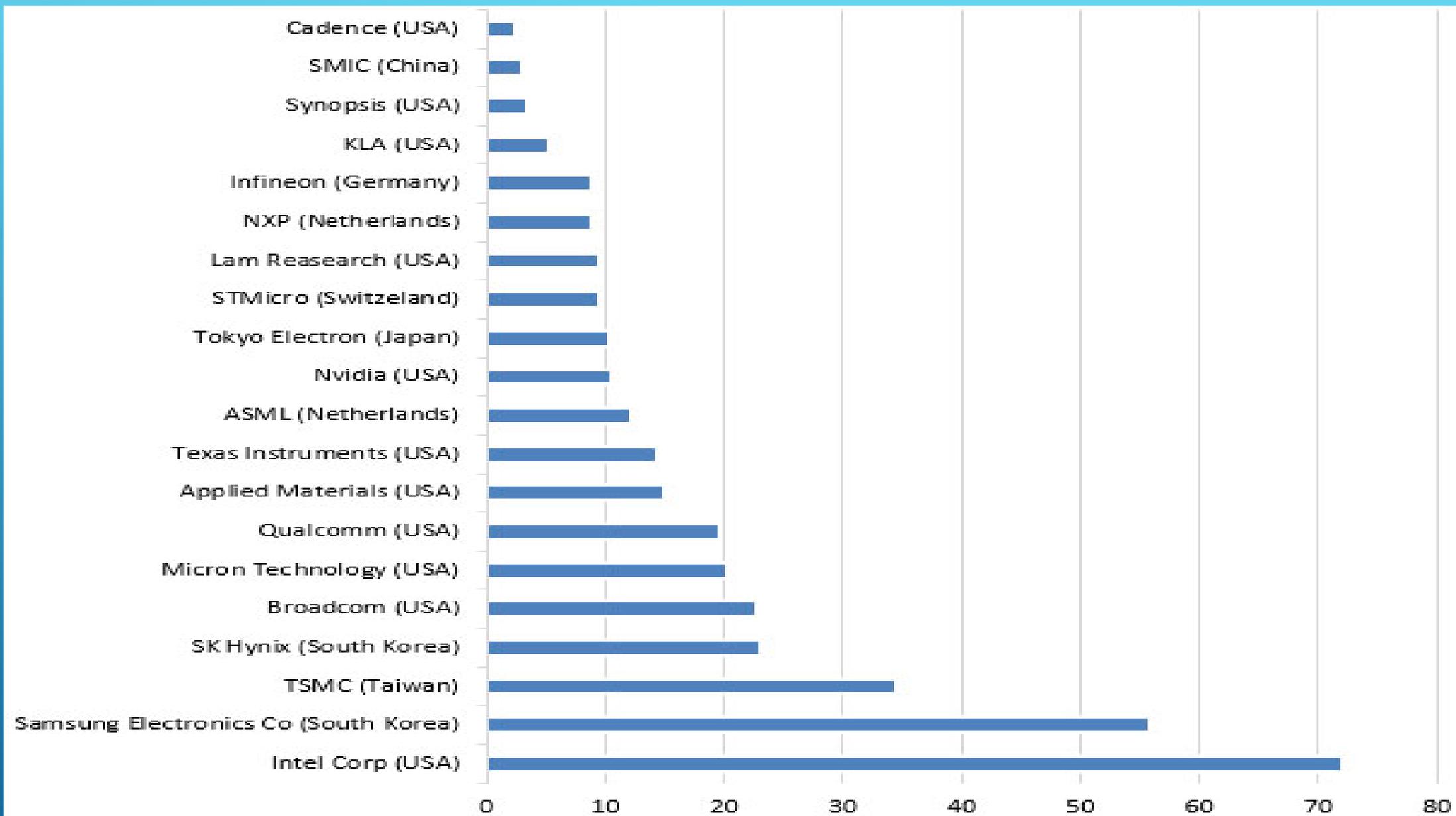


Рисунок 1 – Крупнейшие компании США, Европы и Азии в индустрии полупроводников по выручке 2019г. в млрд. долл. США по данным [1].





К настоящему времени по разным причинам во многом нарушены и продолжают ухудшаться условия, по которым страны, не обладавшие собственной и развитой в полной мере электронной полупроводниковой промышленностью или отставшие в этой отрасли производства от лучших представителей мирового уровня, имели до недавней поры относительно свободный доступ к результатам научно-производственной деятельности передовых стран в сфере высоких технологий. Также на первый план выдвигаются вопросы информационной безопасности и импортозамещения в области производства электронных компонентов.

В складывающейся обстановке в Республике Беларусь и Российской Федерации принимаются необходимые законодательные акты для развития цифровизации и электронной промышленности, согласно которым, помимо прочих задач, должны решаться вопросы продвижения сегмента полупроводников и собственной электронной промышленности. Основной проблемой при этом является трудность осуществления полной локализации производства микроэлектроники на базе современного технологического процесса, поскольку главным препятствием для достижения этой цели является отсутствие собственного оборудования (в том числе машин фотолитографии) для печати микросхем, которое производят нидерландская ASML, японские Canon и Nikon, а США, являясь владельцами патентов на отдельные технологические составляющие, блокируют их отгрузку в наши страны. Создание же собственных машин фотолитографии – долгосрочный процесс, требующий значительных трудовых и финансовых ресурсов.





Преодоление проблем на пути развития собственного производства микросхем также связано с основополагающей особенностью их создания – двойственностью этого процесса, – когда наряду с изготовлением чипов также должны решаться задачи по их разработке.

Поэтому, для успешной реализации планов по созданию собственного производства микросхем, в современных условиях актуальным становится решение вопросов, связанных с наполнением таких производств технологиями изготовления чипов конкретного назначения, подобранными для воссоздания в них востребованных принципов, функций и алгоритмов обработки сигналов, и гарантирующими отсутствие недокументированных и потенциально вредоносных возможностей.

С учётом этого в данной работе приводится рассмотрение высокоточного быстродействующего импульсного перемножителя аналоговых сигналов, который может представлять определённый интерес для специалистов, способных оценить его достоинства для принятия решения о необходимости его разработки и создания в интегральном исполнении.





Представленный здесь вариант высокоточного быстродействующего импульсного перемножителя обладает необходимыми достоинствами – даёт правильный результат по небольшому числу (от трёх) дискретных отсчётов (в отличие от микропроцессорных с АЦП) и имеет высокую по относительной погрешности точность (в отличие от перемножителей аналоговых сигналов в интегральном исполнении, например, типа ПС525).

При создании микросхем, несущих в своей структуре такой перемножитель, они могут быть использованы при реализации преобразователей мгновенной мощности высокой точности и быстродействия, применяемые при построении необходимых устройств, датчиков направления мощности (для систем релейной защиты, селективность действия которых, заключающаяся в отключении только повреждённого элемента системы электроснабжения, использует информацию о мощности) и дешёвых АЦП.

Собственная разработка и производство чипов такого типа в нынешних условиях безусловно оправданы тем, что, обеспечивая возможность их использования в критически важных областях народного хозяйства, решают ещё одну важную задачу – гарантированную защиту создаваемых устройств от наличия вредоносных недокументированных возможностей, которые могут быть в микросхемах иностранного производства.





Пояснение реализации корректного умножения на ноль время-импульсным перемножителем

При нулевом первом сомножителе ($U_1=0$) ключи НУ (рис.3) должны управляться симметричными по длительности импульсами ($t_{и1}=t_{п1}$), и тогда НУ, работая в режиме демодулятора, не пропустит на выход постоянное напряжение U_2 , преобразуя его в симметричные разнополярные импульсы на выходе НУ, которые затем будут сглажены АФНЧ.

Чтобы при нулевом U_1 импульсы были симметричны по длительности, на вход ВИП (вход 2 компаратора К) подаётся сумма двух напряжений U_0 и U_1 (см. рис.2). Симметричных по длительности импульсов на выходе ВИП добиваются путём регулировки сопротивления R_3 при нулевом U_1 .

Таким образом в перемножителе реализуется нулевое выходное напряжение при нулевом U_1 и ненулевом U_2 . При $U_1 \neq 0$ НУ будет работать как модулятор, ключи которого управляются несимметричными по длительности импульсами.

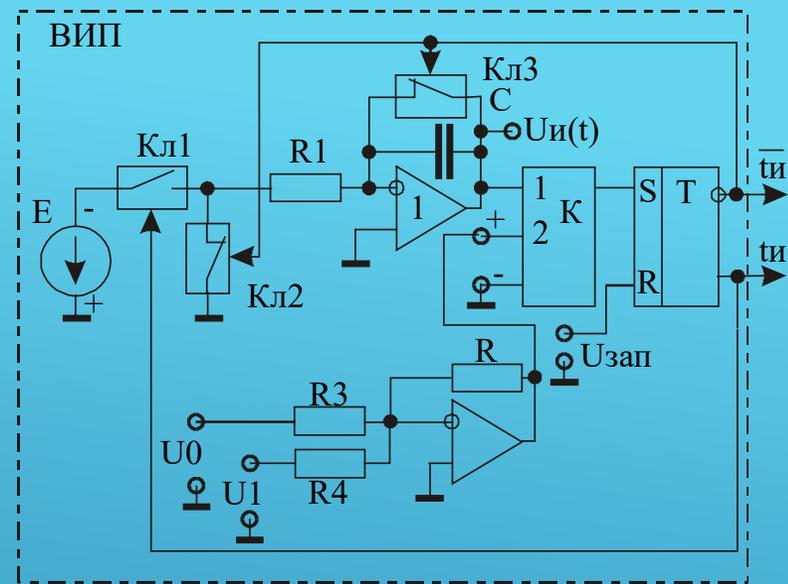


Рис.2 Вариант схемной реализации время-импульсного преобразователя, формирующего симметричные по длительности импульсы, где К – компаратор, Кл1, Кл2 – ключи, $U_{зап}$ – управление запуском.

Пояснение принципа действия время-импульсного перемножения

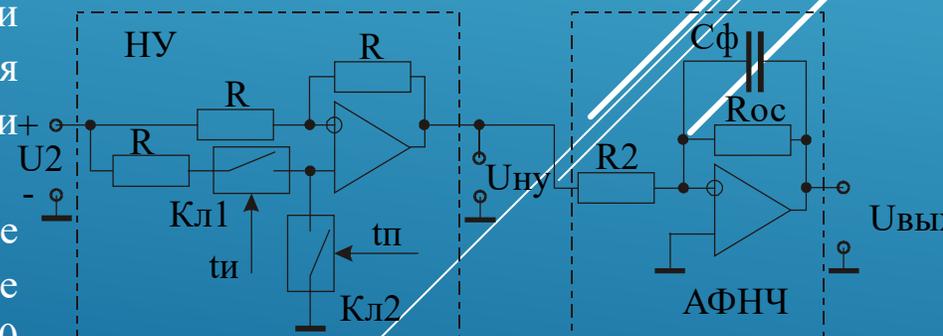
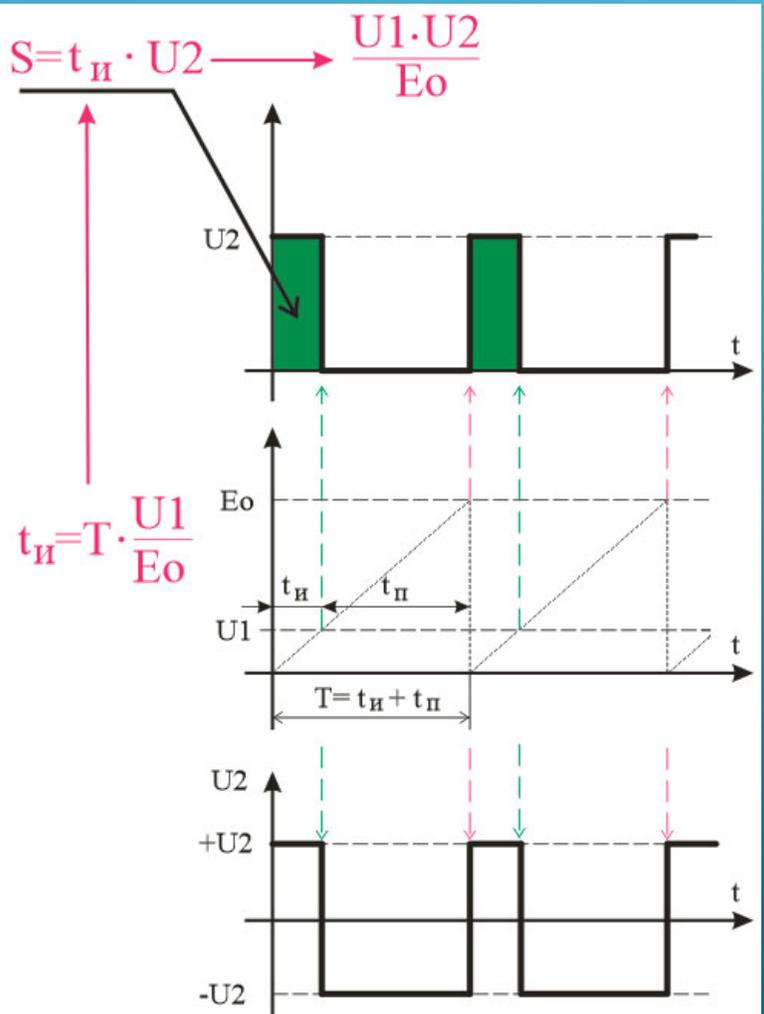


Рис.3 Схема нормирующего устройства (НУ) и активного фильтра НЧ (АФНЧ).



Пояснение четырёхквadrантного перемножения сигналов время-импульсным способом

На рис.4 приведены примеры временных диаграмм напряжения $U_{\text{нУ}}(t)$ на выходе НУ при разных сочетаниях сомножителей U_1 и U_2 по знаку.

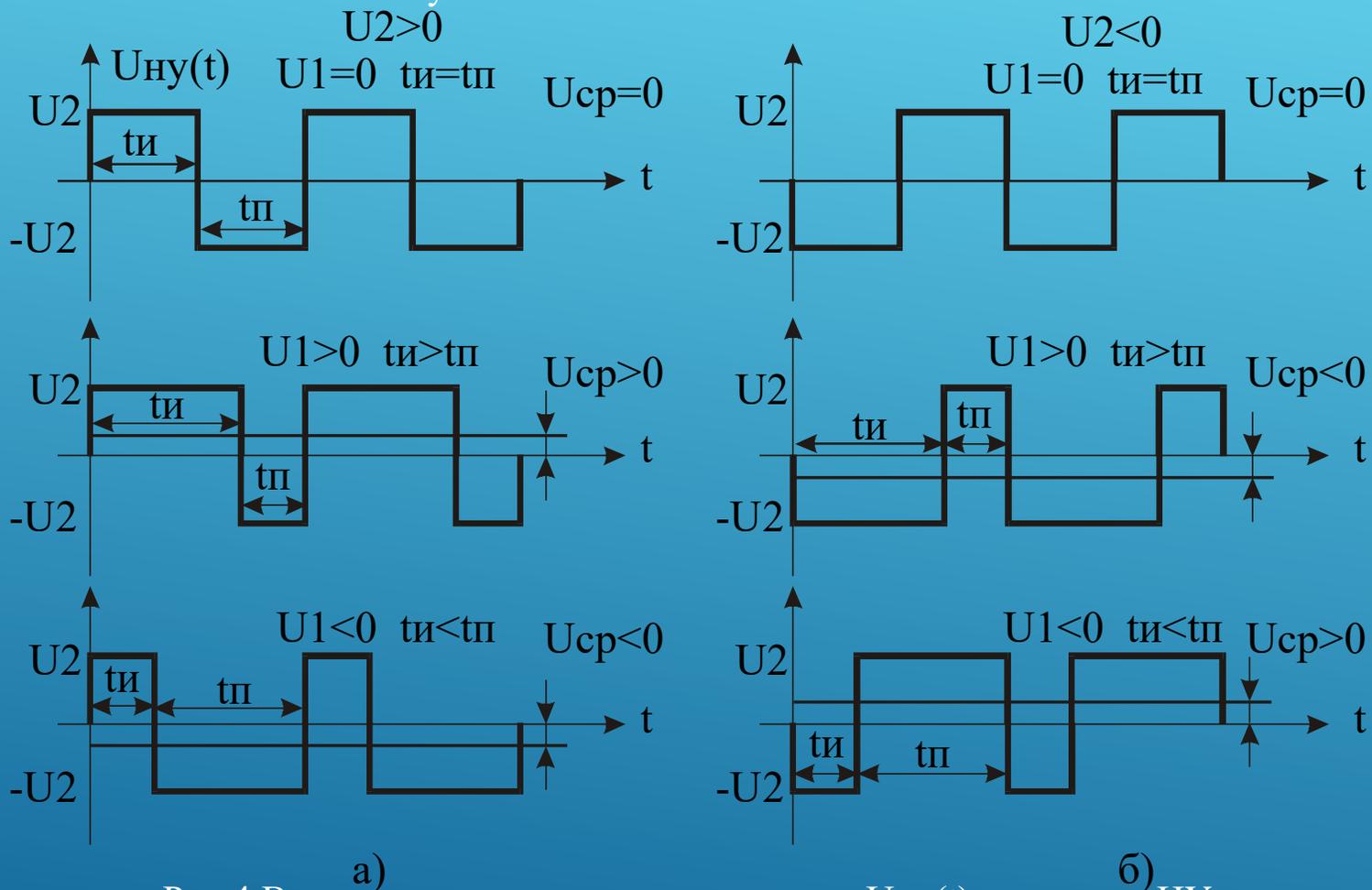


Рис.4 Временные диаграммы напряжения $U_{\text{нУ}}(t)$ на выходе НУ четырехквadrантного МДУ при $U_2 > 0$ (а) и $U_2 < 0$ (б)

Как видно из рис.4, при $U_1 > 0$ и $U_2 > 0$, а также при $U_1 < 0$ и $U_2 < 0$ среднее значение $U_{\text{нУ}}(t)$ (величина $U_{\text{ср}}$) будет положительно, а при разных знаках U_1 и U_2 – отрицательно.





Пояснение отсутствия влияния нестабильных параметров ВИП на результат перемножения

Исключить влияние нестабильных параметров ВИП на коэффициент преобразования МДУ можно, охватив нестабильный ВИП обратной связью (ОС), при которой в случае $U1=0$ на выходе ВИП автоматически устанавливались бы симметричные по длительности импульсы. Функциональная схема четырехквadrантного МДУ с таким ВИП приведена на рис.5.

Рис.5 Функциональная схема четырехквadrантного время-импульсного МДУ, инвариантного к изменению параметров ВИП, где: $C_{и}$ – ёмкость интегрирующего усилителя (интегратора); ВИП – ВИП, собранный по схеме, приведённой на рис.2, но без суммирующего усилителя; НУ1, НУ2 – нормирующие устройства, собранные по схеме, приведённой на рис.3.

$$t_{и} = \tau \frac{U_0 + U_1}{U_3} \quad \text{при этом} \quad t_{п} = \tau \frac{U_0 - U_1}{U_3} \quad \text{где} \quad \tau = R_1 \cdot C$$

Среднее значение напряжения на выходе НУ будет:

$$U_{срну} = \frac{t_{и} - t_{п}}{T}$$

После подстановки выражений $t_{и}$ и $t_{п}$:

$$U_{срну} = \frac{2 \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot \tau}{U_3 \cdot T}$$

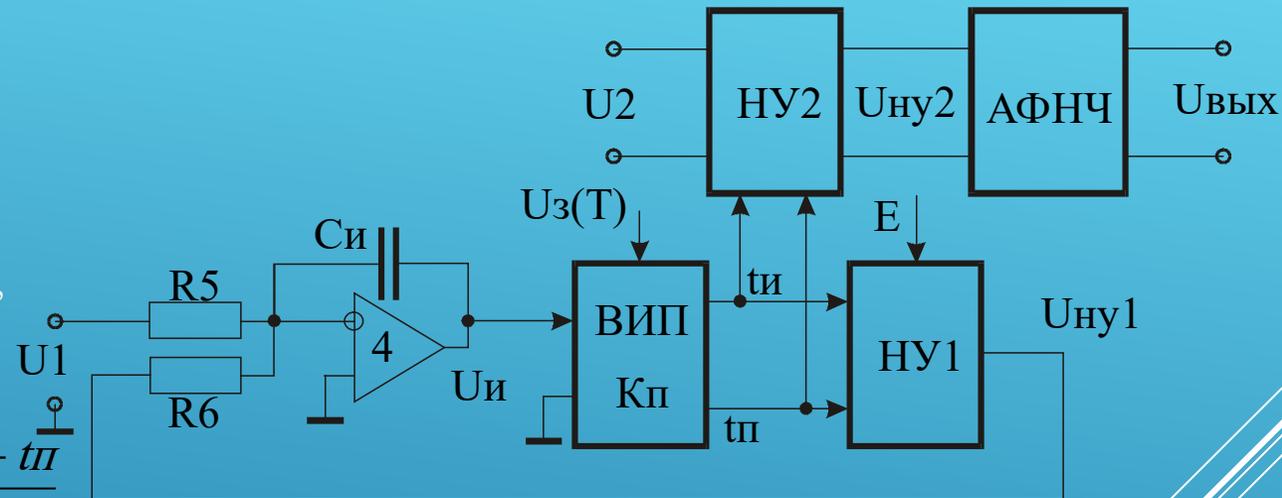
С учётом $\tau = R_1 \cdot C$ и коэффициента усиления АФНЧ, равного $R_{ос}/R_2$, выходное напряжение перемножителя $U_{вых}$:

$$U_{вых} = \frac{R_{ос}}{R_2} \cdot \frac{\tau}{T} \cdot \frac{2 \cdot U_1 \cdot U_2}{U_3}$$

В таком четырехквadrантном время-импульсном МДУ коэффициент преобразования зависит от $\tau = R_1 \cdot C$ и от периода повторения импульсов T .

На выходе ВИП, охваченного ОС, в установившемся режиме при $U1=0$ будут симметричные импульсы ($t_{и}=t_{п}$), т.к. нулевая постоянная составляющая в цепи ОС может быть только при симметричных по длительности двуполярных импульсах на выходе НУ1. На вход 2 компаратора К (см. рис.2) при этом будет поступать напряжение, сформированное в процессе обработки нулевого напряжения $U1$ и хранимое интегратором в установившемся режиме.

Выходным параметром ВИП, охваченного ОС, можно считать скважность, $\gamma = t_{и}/T$ т.к. именно она влияет на значение постоянной составляющей на выходе НУ2.





Пояснение отсутствия влияния нестабильных параметров ВИП на результат перемножения

Скважность γ зависит от первого сомножителя $U1$ следующим образом.

Длительность импульса $t_{и}$ определяется выходным напряжением интегратора $U_{и}$ и коэффициентом передачи $K_{п}$ время-импульсного преобразователя ВИП (см. рис.5): $t_{и} = K_{п} \cdot U_{и}$

Напряжение интегратора $U_{и}$ – это усиленное интегратором с условным коэффициентом усиления $K_{ус}$ разность напряжения $U1$ и среднего значения выходного сигнала НУ1 $U_{срну1}$: $U_{и} = K_{ус}(U1 - U_{срну1})$

Подставляя это выражение в формулу длительности импульса получим: $t_{и} = K_{п} \cdot K_{ус} \left(U1 - U3 \frac{2 \cdot t_{и}}{T} + 1 \right)$

Среднее напряжение $U_{срну1}$ зависит от длительности $t_{и}$ и паузы $t_{п}$ следующим образом: $U_{срну1} = \frac{t_{и}}{T} U3 - \frac{t_{п}}{T} U3 = U3 \left(\frac{2 \cdot t_{и}}{T} - 1 \right)$

После переноса коэффициентов в левую часть выражения получим: $\frac{t_{и}}{K_{п} \cdot K_{ус}} = U1 - U3(2\gamma - 1)$

Учитывая, что коэффициент усиления интегратора на постоянном токе равен бесконечности ($K_{ус} = \infty$), можно преобразовать это выражение к виду:

$$\gamma = \frac{U1}{2 \cdot U3} + \frac{1}{2}$$

Из этого следует, что $\gamma = 1/2$ при $U1=0$, т.е. на выходе ВИП, охваченного ОС, будут симметричные по длительности импульсы; при $U1>0$ длительность $t_{и}$ будет увеличиваться, а при $U1<0$ $t_{и}$ будет уменьшаться, а $t_{п}$ – увеличиваться.

Среднее значение напряжения на выходе НУ2 можно записать в следующем виде: $U_{срну2} = U2 \left(\frac{2 \cdot t_{и}}{T} - 1 \right) = 2 \cdot U2 \left(\gamma - \frac{1}{2} \right)$

После подстановки формулы скважности получим: $U_{срну2} = \frac{U1 \cdot U2}{U3}$

Выходное напряжение такого МДУ с учётом АФНЧ (по рис.3) будет: $U_{вых} = \frac{R_{ос}}{R2} \cdot \frac{U1 \cdot U2}{U3} = k \cdot U1 \cdot U2,$

При фиксированном $U3$ выходное напряжение перемножителя:

$$U_{вых} = k \cdot U1 \cdot U2, \text{ где } k = \frac{R_{ос}}{R2} \cdot \frac{1}{U3}$$

В конечную формулу работы перемножителя не входят нестабильные параметры ВИП, что наглядно показывает отсутствие их влияния на результат перемножения.





В современных условиях развития комплексной автоматизации энергосистем, а также увеличения мощностей электростанций и потребителей электроэнергии, потребность в высокоточном измерении энергии и защиты передаваемых данных только возрастает, и в настоящее время актуальным становится улучшение класса точности до 0,2-0,5 (на сегодня выпускаемые промышленностью счётчики электрической энергии имеют класс точности 1,5-4,0). Поскольку погрешность счётчиков в основном определяется погрешностью преобразователя мощности, выполняющего перемножение по мгновенным значениям сигналов, пропорциональных току и напряжению, то для построения счётчиков энергии повышенного класса точности необходимы преобразователи мощности, которые могут обеспечить погрешность 0,05-0,2%.

Разработка высокоточного преобразователя для таких счётчиков должна учитывать то, что счётчик, выполняя интегрирование мгновенной мощности за время измерения, накапливает погрешность преобразователя мощности. С учётом этого качество преобразователя мощности необходимо определять не по приведённой, а по относительной погрешности, которая позволяет правильно оценить допустимую погрешность во всём диапазоне изменения измеряемой величины. Из этого следует, что, поскольку методическую погрешность преобразователя во многом определяет реализуемый схемой метод перемножения сигналов, то выбирать следует метод, у которого эта погрешность минимальна.



Высокую точность перемножения можно обеспечить, если представить сомножители в цифровой форме. Однако, необходимые для этих целей быстродействующие аналого-цифровые преобразователи имеют большую стоимость, что препятствует широкому внедрению устройств на их основе.

Реализация аналоговых способов перемножения сигналов обходится дешевле цифрового и используется более широко, например, серийно производимые измерительные преобразователи (E851, E856-E858, E842 и E848-M1) с пределом допускаемой приведённой основной погрешности 0,5%, в которых измерительный преобразователь мгновенной мощности является перемножителем импульсного типа.

Большое распространение, кроме импульсных, также получили три других метода аналогового перемножения: с управляемым сопротивлением, логарифмические и с переменной крутизной. При этом наилучшие метрологические характеристики имеют перемножители, реализующие импульсный метод. А перемножители, использующие нелинейные преобразования аналоговых сигналов, напротив, имеют большую методическую погрешность перемножения. Так, например, у интегральных аналоговых перемножителей сигналов типа ПС525 приведённая погрешность перемножения составляет 1%.



Представленный здесь вариант высокоточного быстродействующего импульсного перемножителя обладает необходимыми достоинствами – даёт правильный результат по небольшому числу (от трёх) дискретных отсчётов (в отличие от микропроцессорных с АЦП) и имеет высокую по относительной погрешности точность (в отличие от перемножителей аналоговых сигналов в интегральном исполнении серии ПС).

При создании микросхем, несущих в своей структуре такой перемножитель, они могут быть использованы при реализации преобразователей мгновенной мощности высокой точности и быстродействия, применяемые при построении необходимых устройств, дешёвых АЦП и датчиков направления мощности (для систем релейной защиты, селективность действия которых, заключающаяся в отключении только повреждённого элемента системы электроснабжения, использует информацию о мощности).

Собственная разработка и производство чипов такого типа безусловно оправданы в нынешних условиях, обеспечивая возможность их использования в критически важных областях народного хозяйства, решая ещё одну важную задачу – гарантированную защиту создаваемых устройств от наличия вредоносных недокументированных возможностей, которые могут быть в микросхемах иностранного производства.



Список литературы

1. Полупроводники. Мировой рынок [электронный ресурс] – (URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Полупроводники_\(мировой_рынок\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Полупроводники_(мировой_рынок))), дата обращения – 25.04.2022).
2. Ю.Борта, А.Прикладова – Чипам нужно спешить на помощь. Сможет ли РФ производить свою электронику? // Аргументы и факты (URL: https://aif.ru/money/market/chipam_nuzhno_speshit_na_pomoshch_smozhet_li_rf_proizvodit_svoyu_elektroniku), дата обращения 03.05.2022).
3. И.В.Муринов – Быстродействующий импульсный перемножитель аналоговых сигналов. // Материалы 54-й МНТК БГПА, г.Минск, 2000, часть 3, с.72.
4. Е.Г.Абаринов – Быстродействующий преобразователь активной мощности. // Энергосбережение. Электроснабжение. Автоматизация: материалы МНТК – г.Гомель, Учреждение образования ГГТУ им.П.О.Сухого, 2001, с.98-99.
5. Е.Г.Абаринов, И.В.Муринов – Выбор и расчёт многозвенных сглаживающих фильтров информационных преобразователей среднего значения по заданному быстродействию. // «Измерительная техника», М.: Изд-во стандартов, 1999, №12.
6. Зыкин Ф.А., Агрест Р.И., Дибер А.И., Карпов И.О., Тверитин Н.П. «Измерительный преобразователь активной мощности высокой точности». – «Приборы и системы управления», №2, 1982.
7. Свирид В.Л. «Микросхемотехника аналоговых электронных устройств». – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 256 с.: ил.
8. Смоллов В.Б. «Функциональные преобразователи информации». – Ленинград.: Энергоатомиздат, 1981. – 248с.
9. Е.Г.Абаринов, И.В.Муринов – Четырёхквadrантные множительно-делительные устройства с внешним запуском. // Континуальные алгебраические логики, исчисления и нейроматематика в науке, технике и экономике: материалы международной конференции, 14-16 мая 2002 г., г.Ульяновск, Россия.



Спасибо за внимание

