

$$I_{TR} = I_L(1 - r/2)$$

Так же мы должны гарантировать сохранение ниже приведенного условия:

$$I_{TR} = I_L(1 - r/2) \leq 0,75 I_{CLIM}$$

Теперь, мы можем сказать, что пиковый ток источника питания при максимальной нагрузке, равен величине тока ограничения:

$$I_{PK} = I_L(1 + r/2) = I_{CLIM}$$

Поэтому, ставя знак равенства между двумя выражениями, мы находим решение для величины коэффициента пульсаций.

$$(1 - r/2) \leq 0,75(1 + r/2) \text{ или } r \geq 0,286$$

В любом случае, задавшись значением коэффициента пульсаций равным 0,4, проблем связанных с «начальным или нарастающим током ограничения» не происходит. Однако, отметьте, что в красивых таблицах технической документации значение  $0,75I_{CLIM}$  часто указано для температуры *только* 25С. К сожалению, очень немного ИС преобразователей имеют такую рабочую температуру. Основная проблема заключается в том, что на практике нельзя предсказать значение тока ограничения при нагреве интегральной схемы. Мы можем, конечно, сделать обоснованное предположение, и задаться определенным запасом при установке значения  $r$ , в результате не будет возникать никаких проблем. Но ситуация сегодня сложилась так, что в технической документации не всегда приводятся необходимые данные.

### **Задаваясь значением коэффициента пульсаций, избегайте субгармонических автоколебаний**

На рис. 2.9. видно, что выходное напряжение преобразователя сравнивается с внутренним источником опорного напряжения. Сравнение происходит в дифференциальном усилителе сигнала ошибки. К неинвертирующему входу, которого прикладывается опорное напряжение, к инвертирующему входу прикладывается часть выходного напряжения. Сигнал ошибки (напряжение управления) с выхода дифференциального усилителя подается на один из входов ШИМ-компаратора. На другой вход компаратора подается линейно изменяющееся напряжение. Прямоугольные импульсы с выхода ШИМ-компаратора подаются на затвор силового ключа. Так например, если напряжение на выходе будет возрастать, то под воздействием уменьшающегося напряжения управления будет уменьшаться коэффициент заполнения импульсов, что соответственно приведет к снижению напряжения на выходе схемы. Таким образом, происходит стабилизация выходного напряжения.

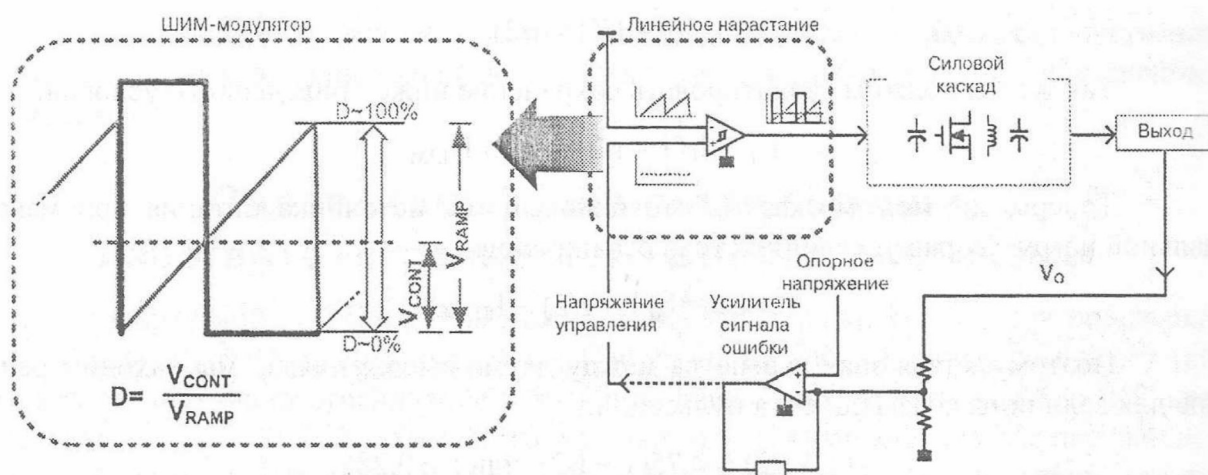


Рис. 2.9. Работа ШИМ-модулятора

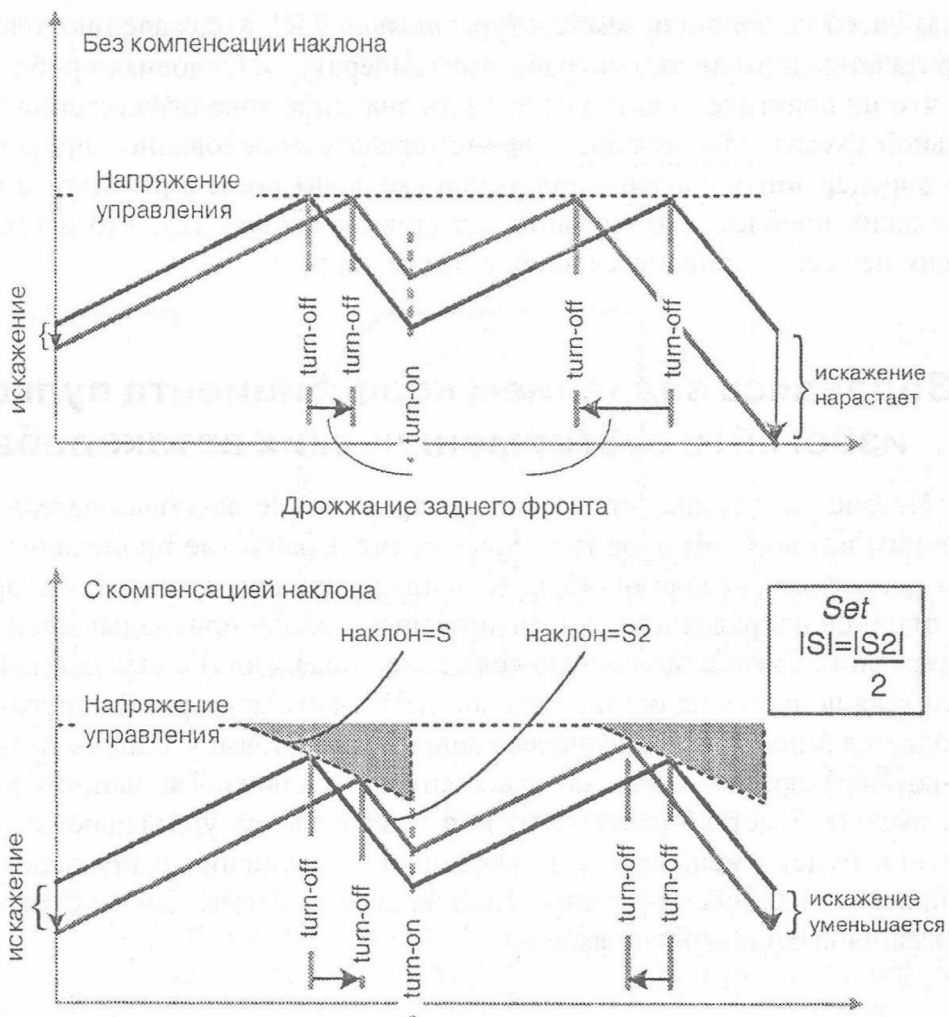


Рис. 2.10. Пример неустойчивости работы при токовом режиме управления

## 2. Проектирование преобразователей постоянного напряжения...

Мы уже упоминали, что существует несколько способов управления импульсными преобразователями. В режиме управления напряжением, линейно изменяющееся напряжение, приложенное к одному из входов ШИМ-компаратора, формируется из внутреннего источника тактового сигнала. В режиме токового управления, линейно изменяющийся ток формируется из тока через катушку индуктивности или силовой ключ. В последнем случае, т.е. при токовом режиме управления, небольшое искажение формы тока через катушку индуктивности, уже в следующем цикле приводит к большему искажению (см. рис. 2.10).

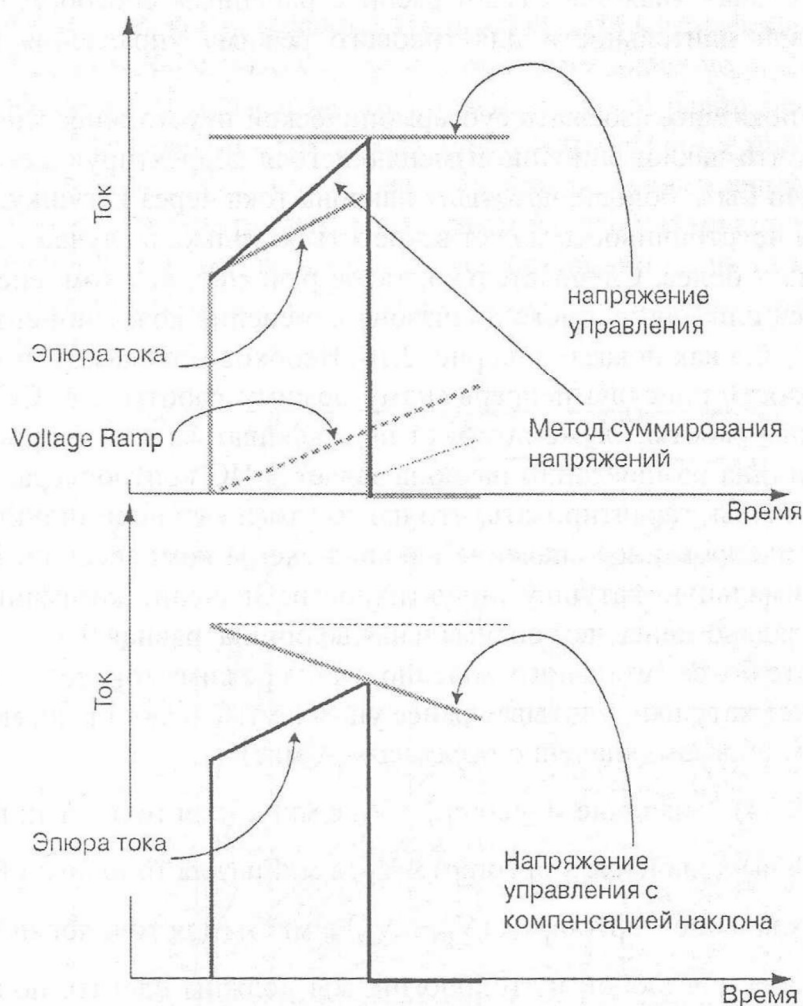


Рис. 2.11. Метод компенсации наклона

В конечном счете, подобное явление, когда длительность импульсов различна (субгармоническая неустойчивость), приведет к ошибке импульсов переключения. Такое поведение схемы вовсе не желательно, т.к. оно приведет к резкому увеличению пульсаций на выходе и нарушению стабилизации. Если же произошло небольшое искажение формы тока, то нам необходимо не только препятствовать его нарастанию,

нам необходимо принять все меры для затухания, начавшегося процесса. Затухание можно обеспечить одним из перечисленных ниже способов:

- добавлением к линейно изменяющемуся напряжению, сформированному из напряжения на катушке индуктивности, дополнительного корректирующего линейно изменяющегося напряжения, сформированного из тактового сигнала;
- вычитанием фиксированного линейно изменяющегося напряжения, сформированного из тактового сигнала из выходного напряжения усилителя ошибки.

Как видно из рис. 2.11, оба способа дают одинаковый результат. Подобная коррекция недостатков токового режима управления называют «компенсацией наклона». «Компенсация наклона» является самым распространенным способом получения импульсов одинаковой длительности для токового режима управления (см. рис. 2.10 нижний).

Как было показано, избежать субгармонической неустойчивости возможно, если гарантировать, что наклон линейно изменяющегося корректирующего сигнала должен быть равен или быть больше *половины* наклона тока через катушку. Отметим, что субгармоническая неустойчивость может встретиться, только в случае если значение  $D$  составляет 50 % или более. Следовательно, такое решение, как компенсация наклона, может применяться или для полного диапазона изменения коэффициента заполнения, или только для  $D \geq 0,5$  как показано на рис. 2.10. Необходимо сказать, что субгармоническая неустойчивость присуща непрерывному режиму работы, т.е. ССМ. Переход в прерывистый режим работы, также поможет не сталкиваться с выше упомянутой проблемой. Если величина компенсации наклона задается ИС контроллера, то, как проектировщики, мы должны гарантировать, что наклон тока катушки индуктивности в два раза превышает фиксированное значение наклона схемы компенсации. В этом случае мы получаем оптимальную катушку индуктивности. Значение коэффициента пульсаций должно быть задано менее чем оптимальная величина, равная 0,4.

В результате более детального моделирования режима токового управления, оптимальный расчет катушки, учитывая ранее упомянутые недостатки, можно производить следующим образом (значение *slopcomp* – А/мкс):

$$L \geq (D - 0,34) / (\text{значение slopcomp}) \times V_O \text{ в мкГн (для топологии Buck)}$$

$$L \geq (D - 0,34) / (\text{значение slopcomp}) \times V_{IN} \text{ в мкГн (для топологии Boost)}$$

$$L \geq (D - 0,34) / (\text{значение slopcomp}) \times (V_{IN} + V_O) \text{ в мкГн (для топологии Buck-Boost)}$$

Отметьте, что для любой из топологий, мы должны сделать подобный расчет при максимальном входном напряжении, при значении коэффициента заполнения более 50%. Подобные вычисления подразумевают работу в режиме ССМ.

Проблемы устойчивости импульсных преобразователей будут подробно рассматриваться в седьмой главе.