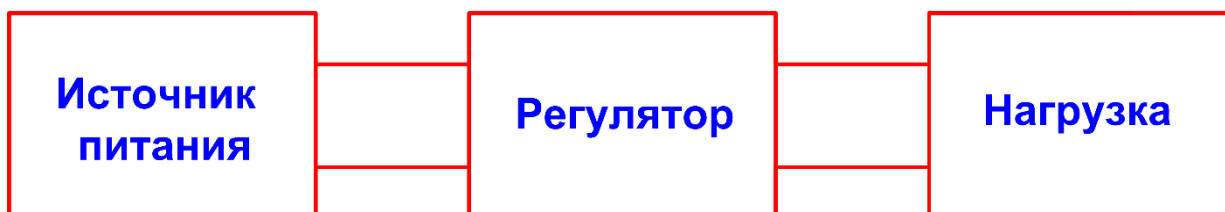


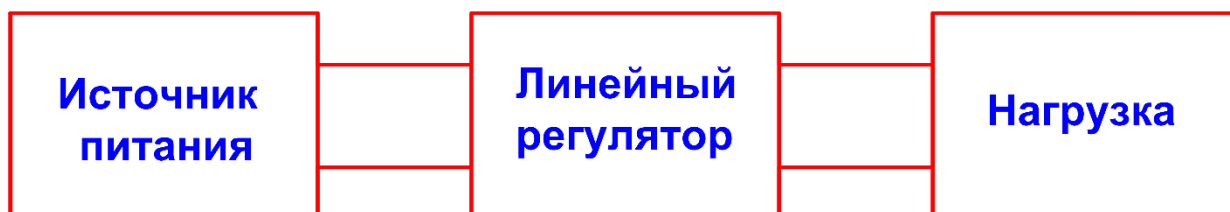
## Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)

Рассмотрим, что такое ШИМ или PWM. А также, чем отличается ШИМ от ШИР. Алгоритм широтно-импульсной модуляции применяется для плавного изменения мощности на нагрузке, поступающей от источника питания. Например, с целью регулирования скорости вращения вала двигателя; плавности изменения яркости освещения или подсветки. Отдельной широкой областью применения ШИМ являются импульсные источники питания и автономные инверторы.

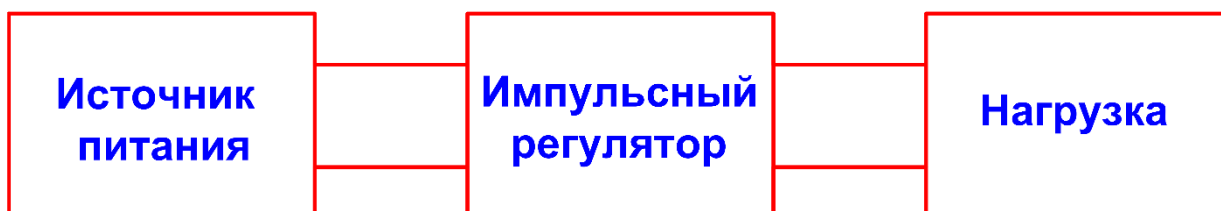
Для питания нагрузки часто необходимо изменять величину напряжения, подводимого от источника питания. Принципиально можно выделить два способа регулирования напряжения – линейный и импульсный.



Примером линейного способа может послужить переменный резистор. При этом значительная часть мощности теряется на резисторе. Чем больше разница напряжений источника питания и потребителя, тем ощутимей потери мощности, которая попросту «сгорает» на резисторе, превращаясь в тепло. Поэтому линейный способ регулирования рационально применять только при небольшой разнице входного и выходного напряжений. В противном случае коэффициент полезного действия источника питания в целом будет очень низким.



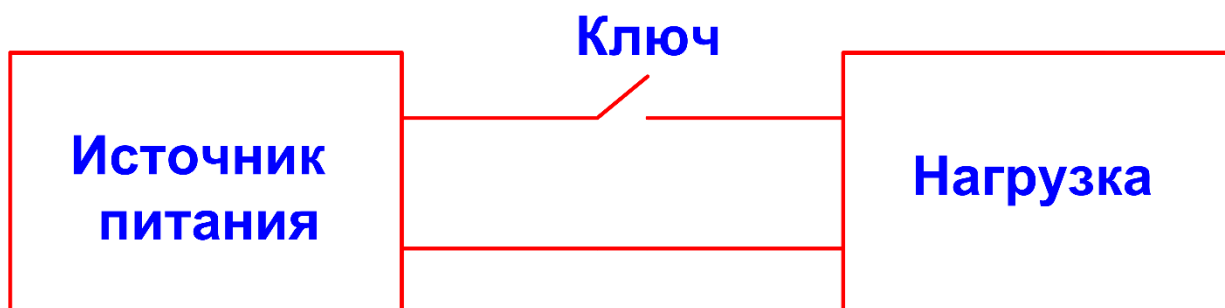
В современной преобразовательной технике преимущественно используются импульсное регулирование мощности на нагрузке. Одним из способов реализации импульсного регулирования является *широтно-*



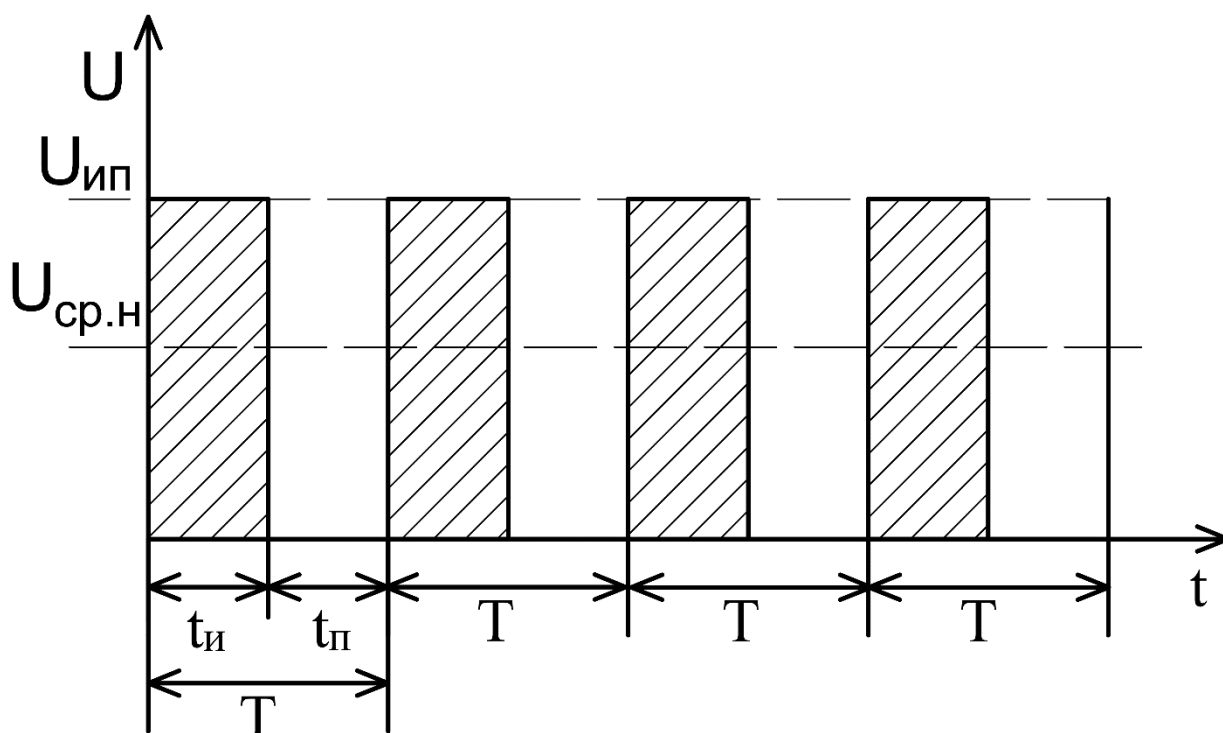
**импульсная модуляция ШИМ.** В англоязычной литературе *PWM* – *pulse-width modulation*.

### Принцип импульсного регулирования

Основными элементами любого типа импульсного регулятора мощности являются полупроводниковые ключи – транзисторы или тиристоры. В простейшем виде схема импульсного источника питания имеет следующий вид. Источника постоянного напряжения  $U_{ип}$  ключом  $K$  подсоединяется к нагрузке  $H$ . Ключ  $K$  переключается с определенной частотой и остается во включенном состоянии определенную длительность времени. С целью упрощения схемы я на ней не изображаю другие обязательные элементы. В данном контексте нас интересует только работа ключа  $K$ .



Чтобы понять принцип ШИМ воспользуемся следующим графиком. Разобьем ось времени на равные промежутки, называемые *периодом*  $T$ . Теперь, например, половину периода мы будем замыкать ключ  $K$ . Когда ключ замкнут, к нагрузке  $H$  подается напряжение от источника питания  $U_{ип}$ .



Вторую часть полупериода ключа находится в закрытом состоянии. А потребитель останется без питания.

Время, в течение которого ключ замкнут, называется **временем импульса  $t_i$** . А время длительности разомкнутого ключа называют **временем паузы  $t_n$** . Если измерить напряжение на нагрузке, то оно будет равно половине  $U_{ип}$ .

Среднее значение напряжения на нагрузке можно выразить следующей зависимостью:

$$U_{ср.н} = U_{ип} t_i / T.$$

Отношение времени импульса  $t_i$  к периоду  $T$  называют **коэффициентом заполнения  $D$** . А величина, обратная ему называется **скважностью**:

$$S = 1/D = T/t_i.$$

На практике удобнее пользоваться коэффициентом заполнения, который зачастую выражают в процентах. Когда транзистор полностью открыт на протяжении всего времени, то коэффициент заполнения  $D$  равен единице или 100 %.

Если  $D = 50 \%$ , то это означает, что половину времени за период транзистор находится в открытом состоянии, а половину в закрытом. В таком случае форма сигнала называется меандр. Следовательно, изменяя коэффициент  $D$  от 0 до единицы или до 100 % можно изменять величину  $U_{ср.н}$  от 0 до  $U_{ип}$ :

$$U_{ср.н} = U_{ип} \cdot D.$$

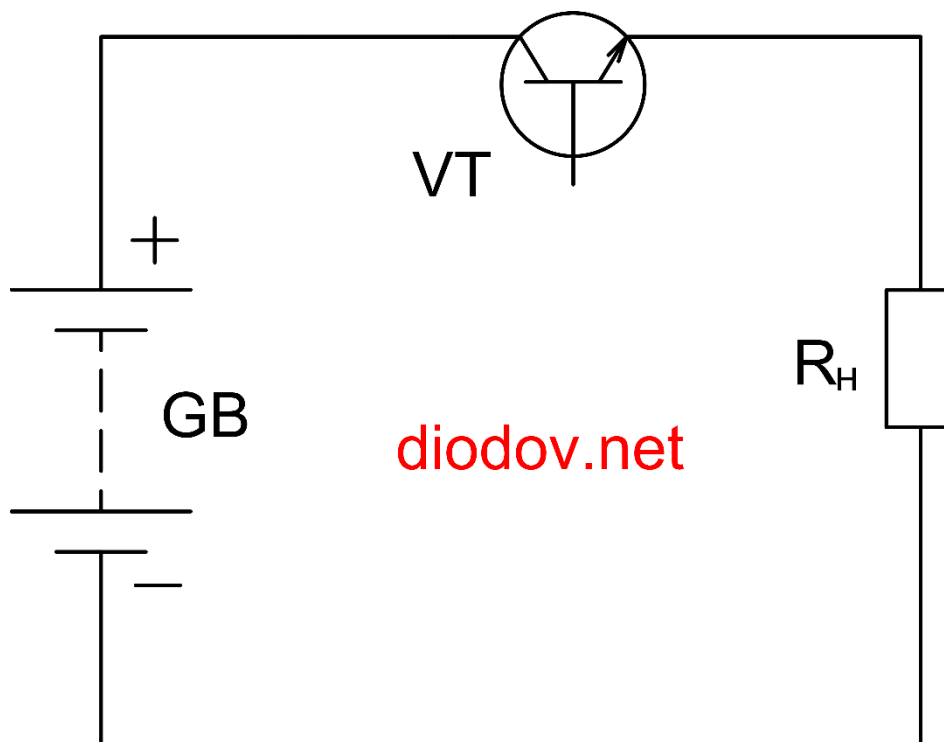
А соответственно регулировать и величину подводимой мощности:

$$P_{ср.н} = P_{ип} \cdot D.$$

### **Широтно-импульсное регулирование ШИР**

В западной литературе практически не различают понятия широтно-импульсного регулирования ШИР и широтно-импульсной модуляции ШИМ. Однако у нас различие между ними все же существует.

Сейчас во многих микросхемах, особенно применяемых в DC-DC преобразователях, реализован принцип ШИР. Но при этом их называют ШИМ контроллерами. Поэтому теперь различие в названии между этими двумя способами практически отсутствует.

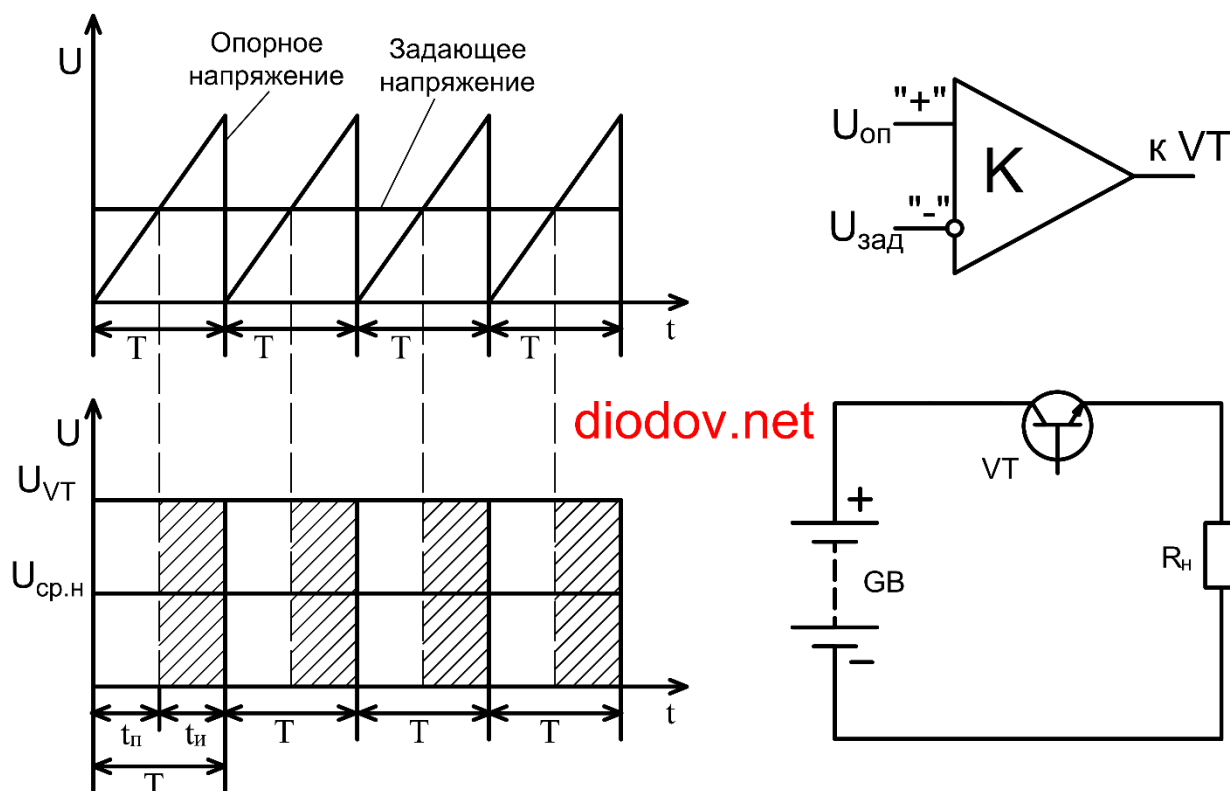


В любом случае для формирования определенной длительности импульса, подаваемого на базу транзистора и открывающего последний, применяют источники опорного и задающего напряжения, а также компаратор.

Рассмотрим упрощенную схему, в которой аккумуляторная батарея GB питает потребитель  $R_n$  импульсным способом посредством транзистора VT. Сразу скажу, что в данной схеме я специально не использовал такие элементы, необходимые для работы схемы: конденсатор, дроссель и диод. Это сделано с целью упрощения понимания работы ШИМ, а не всего преобразователя.

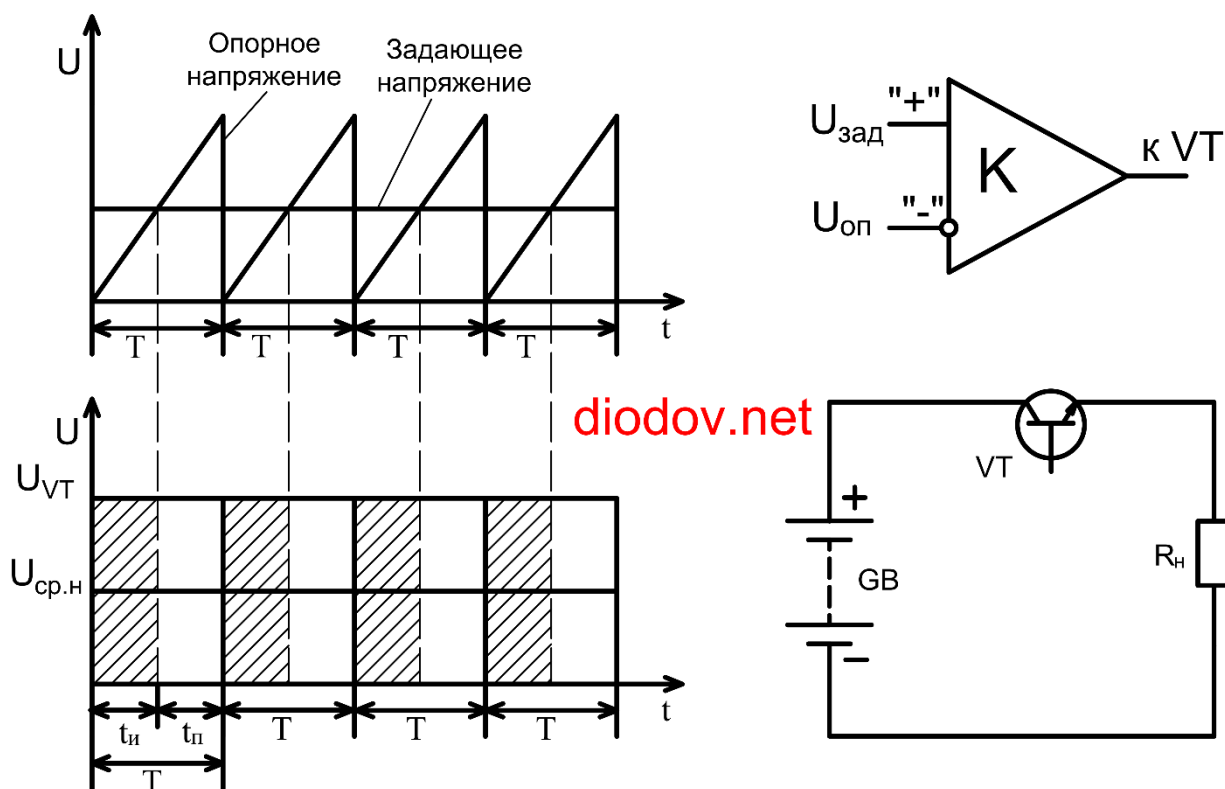
Упрощенно, компаратор имеет три вывода: два входа и один выход. Компаратор работает следующим образом. Если величина напряжения на входном выводе «+» (не инвертирующий вход) выше, чем на входе «-» (инвертирующий вход), то на выходе компаратора будет сигнал высокого уровня. В противном случае – низкого уровня.

В нашем случае, именно сигнал высокого уровня открывает транзистор VT. Рассмотрим, как формируется необходимая длительность времени импульса  $t_{и}$ . Для этого воспользуемся следующим графиком.



При ШИР на один вход компаратора подается сигнал пилообразной формы заданной частоты. Его еще называют опорным. На второй вход подается задающее напряжение, которое сравнивается с опорным. В результате сравнения на выходе компаратора формируется импульс соответствующей длительности.

Если на неинвертирующем входе компаратора опорный сигнал, то сначала будет идти пауза, а затем импульс. Если на неинвертирующий вход подать задающий сигнал, то сначала будет импульс, затем пауза.



Таким образом, изменяя значение задаваемого сигнала, можно изменять коэффициент заполнения, а соответственно и среднее напряжение на нагрузке.

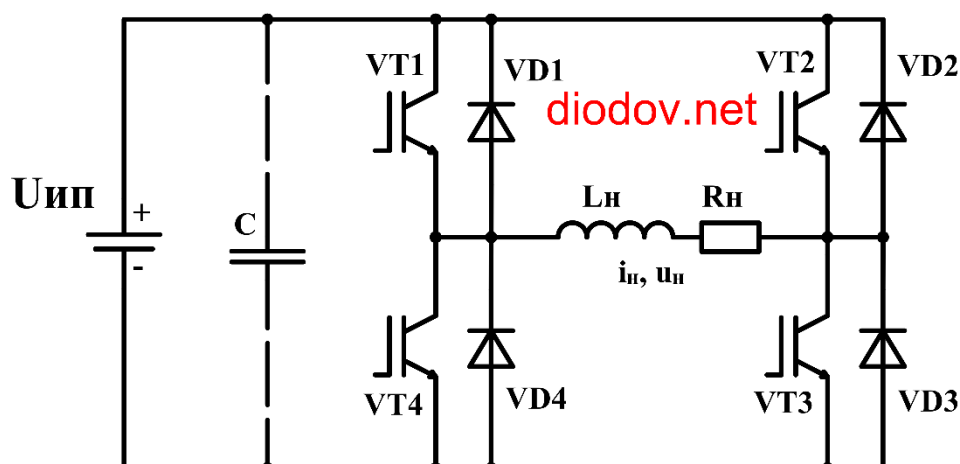
Частоту опорного сигнала стремятся сделать максимальной, чтобы снизить параметры дросселей и конденсаторов (на схеме не показаны). Последнее приводит к снижению массы и габаритов импульсного блока питания.

### ***ШИМ – широтно-импульсная модуляция***

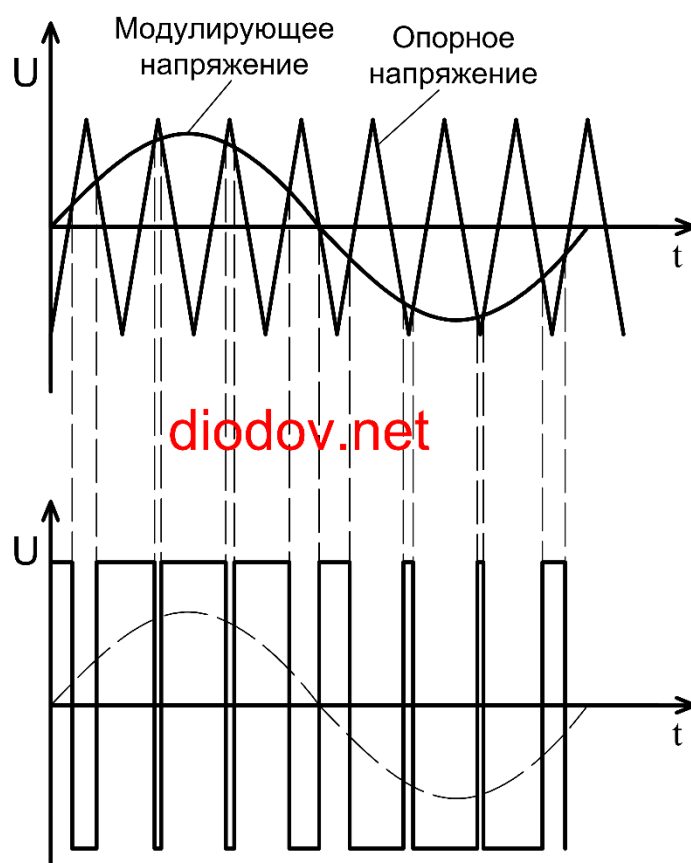
ШИМ в преобладающем большинстве применяется для формирования сигнала синусоидальной формы. Часто ШИМ применяется для управления работой инверторного преобразователя. Инвертор предназначен для преобразования энергии постоянного тока в энергию переменного тока.

Рассмотрим простейшую схему инвертора напряжения.

## Схема инвертора напряжения



В один момент времени открывается пара транзисторов VT1 и VT3. Создается путь для протекания тока от аккумулятора GB через активно-индуктивную нагрузку  $R_n L_n$ . В следующий момент VT1 и VT3 заперты, а открыты диагонально противоположные транзисторы VT2 и VT4. Теперь тока протекает от аккумулятора через  $R_n L_n$  в противоположном направлении. Таким образом, ток на нагрузке изменяет свое направление, поэтому является переменным. Как видно, ток на нагрузке не является синусоидальным. Поэтому применяют ШИМ для получения синусоидально формы тока.



Существует несколько типов ШИМ: однополярная, двухполярная, односторонняя, двухсторонняя. Мы не будем останавливаться на каждом конкретном типе, а рассмотрим общий подход.

В качестве модулирующего сигнала применяется синусоида, а опорным является сигнал треугольной формы. В результате сравнения этих сигналов формируются длительности импульсов и пауз (нижний график), которые управляют работой транзисторов VT1...VT4.

Обратите внимание, что амплитуда напряжения на нагрузке всегда равна амплитуде источника питания. Также остается неизменным период следования импульсов. Изменяется лишь ширина открывающего импульса. Поэтому при подключении нагрузки ток, протекающий через нее, будет иметь синусоидальную форму (показано пунктиром на нижнем графике).

Так вот, основное отличие между ШИР и ШИМ заключается в том, что при широтно-импульсном регулировании время импульса и паузы сохраняют постоянное значение. А при широтно-импульсной модуляции изменяются длительности импульсов и пауз, что позволяет реализовать выходной сигнал заданной формы.