ИППН

DA1 – ОУ включен в режиме пропорционально-интегрального регулятора, с элементами R2, C1, C2. (см. Гутников В.С. “Интегральная электроника”, стр.93).

Выходным сигналом DA1 (см. файл симулятора [ИППН\_регулирование по\_U.ms8]) является (Uрег) результат рассогласования (с учётом интегральной составляющей) между сигналом ОС по U (Uос или Uзз), и задающим напряжением Uз. Сигнал ОС по U поступает на инвертирующий вход DA1 через делитель R1, R3.

Если Uвых > Uвыхmax , то значение (Uрег) результата рассогласования уменьшится (с учётом интегральной составляющей). И на оборот, при Uвых < Uвыхmin , значение (Uрег) результата рассогласования возрастёт.

Kд – коэффициент делителя; Kд= Uвых max / Uст;

Uст – напряжение стабилитрона VD1;

Uст = 9V;

R9, R10 – делитель выходного сигнала с DA1, формирует необходимую величину Uрег на прямом входе компаратора DA3.

R5, VD1 – параметрический стабилизатор, формирует опорное напряжение , поступающее на делитель R6, R7, для установки необходимой величины диапазона задающего напряжения Uз (на прямом входе DA1).

R6, R7 – елементы, формирующие величину задающего напряжения Uз (на прямом входе DA1).

R7 – определяет нижний порог Uз

R6 – определяет диапазон изменения min…max Uз (выбор рабочей точки регулятора, построенного на DA1).

R8, C5 – определяют постоянную времени нарастания задающего напряжения при изменении Uз .

DA2 – генератор треугольного напряжения по схеме триггера Шмита.

R11, R12, R13 – цепь для формирования гистерезиса (Uвкл и Uвыкл триггера Шмита).

R11, R12 – делитель, который формирует на положительный вход компаратора напряжений, равное половине Uпит.

R13 – цепь ПОС, которая определяет два порога переключения, симметричные относительно Uпит.

 - верхний порог переключения.

 - нижний порог переключения.

В этом случае  равны по величине.

R14, C3 – частотозадающая цепь, определяющая частоту выходного сигнала генератора треугольного напряжения на DA2. На частоту также влияет величина порогов переключений триггера Шмита.

R15 – нагрузка компаратора (т.к. выходной каскад микросхемы DA2 имеет открытый коллектор).

R16 (выполняет ту же функцию для DA3).

DA3 – широтно-импульсный модулятор (на базе компаратора), на входах которого сравниваются треугольное напряжение с генератора (DA2) и напряжение регулирования с усилителя рассогласования (DA1).

Периодически меняющееся напряжение UГЕН, будучи приложенным, к входу компаратора DA3, вызывает на его выходе периодическую последовательность прямоугольных импульсов UШИМ, ширина которых зависит от уровня UРЕГ.

1) если , тогда на выходе DA3 формируется высокий уровень напряжения.

2) , тогда на выходе DA3 формируется низкий уровень. (Рисунок 1.6 методички).

VT1 – VT3 - цепь защиты по току выходного транзистора VT6.

VT1 – работает в диодном включении. Для обеспечения термостабильности выбирается идентичным с VT2.

VT1 обеспечивает напряжение смещения для VT2()

В случае отсутствия тока, транзистор VT2 будет в режиме насыщения.

R24 – датчик тока.

Если VT2 открыт (в насыщении), то VT3 находится в закрытом состоянии (в режиме отсечки), и НЕ-повлияет на напряжение на прямом входе усилителя рассогласования (на DA1).

Если протекающий ток находится в допустимых пределах (см. файл симулятора [ИППН\_защита по току.ms8]), то падение напряжения на датчике тока R24 (с обратным знаком /-UR24/ суммируется с напряжением на базе транзистора VT2 (UbVT2), и призакрывает транзистор VT2. При этом на коллекторе VT2 появляется некоторое напряжение, которое недостаточно для отпирания VT3 (с учётом делителя R19, R20). В этом случае VT3 находится в закрытом состоянии и не влияет на напряжение на прямом входе усилителя рассогласования на DA1.

C4 предназначен для сглаживания импульсов напряжения на коллекторе VT2, (которые обусловлены импульсным током через VT6 (рис. 1.3)).

Если ток, протекающий через регулирующий выходной транзистор VT6 (также и через датчик тока R24) превышает допустимое значение, то результирующая значений напряжения /-UR24/ и UbVT2, достигает величины, при которой транзистор VT2 закрывается, и при этом, напряжение на коллекторе VT2 достигает величины, достаточной для открывания транзистора VT3 (с учётом делителя R19, R20).

При этом VT3 шунтирует прямой вход усилителя рассогласования DA1, что приводит к снижению  и соответственно уменьшению ширины положительных импульсов ШИМ.

VT4, VT5 – усиливают сигнал компаратора (на DA3), для того чтобы открыт выходной транзистор VT6. VT6 является выходным ключевым элементом.

**ВОПРОС:** Как повысить КПД преобразователя ?

**ОТВЕТ:**

a) Подбор параметров дросселя:

- увеличение диаметра провода;

- намотка несколькими параллельными проводниками;

- подбор материала сердечника (при этом возможен пересчёт числа витков);

b) Выбор выходного транзистора с наилучшими параметрами: UCEнас, tвкл, tвыкл;

c) Подбор параметров диода (VD3): Uпр, tвост;

**ДОПОЛНЕНИЯ для каждого варианта:**

**П1 (понижающий)**

Пояснения к элементам выходного каскада:

Диод VD2 обеспечивает гарантированное закрытие транзистора VT4 при формировании низкого уровня с выхода компаратора DA3. Чтобы открыть транзистор VT4, необходимо обеспечить напряжение больше, чем U > (Ube(PN) + UVD2) = 0,7 + 0,7 = 1,4 V.

Каскад на VT4 необходим для согласования уровней управляющих сигналов, поступающих с DA3, с уровнями сигналов управления выходным транзистором VT6.

Транзистор VT4 включен по схеме с ОЭ. Его нагрузкой являются включенные в коллекторную цепь резисторы R21, R22.

Транзистор VT5 включен также по схеме с ОЭ. Его нагрузкой является резистор R23 и переход база-эмиттер (B-E) транзистора VT6.

Транзистор VT6 включен также по схеме с ОК (эмиттерный повторитель).

Если VT6 открыт, то ток от входного источника протекает через дроссель L и заряжает конденсатор C. Диод VD3, при этом закрыт.

После закрытия транзистора VT6 возникает ЕДС самоиндукции, которая открывает диод VD3. Это обеспечивает отдачу энергии дросселя в нагрузку.

-------------------------------------------------------------------------------------------

В данном варианте дроссель L является частью выходного фильтра вместе с конденсатором C и обеспечивает сглаживание пульсаций тока коллектора транзистора VT6. Для вар. П1 дроссель L всё время подключен к нагрузке, а для вариантов П2, П3 коммутируется относительно нагрузки, в зависимости от состояния транзистора VT6.

* если VT6 полностью открыт, Uвых <= Uвх (с учётом падения на VT6 и на дросселе L);
* если VT6 закрыт, Uвых = 0;
* в остальных случаях Uвых пропорционально  (относительной ширине импульсов). Ku = (Uвых / Uвх) <= 1;

Вышеперечисленные условия поясняют назначение преобразователя (в данном варианте П1) как понижающего.

-------------------------------------------------------------------------------------------

Особенности по рис 1.4(а) (регулировочная характеристика).

1-я точка: ; ; При этом транзистор VT6 в течении периода управления закрыт, энергия от входного источника непоступает. Напряжение на нагрузке .

2-я точка: ; ; При этом транзистор VT6 в течении периода управления открыт, При этом энергия все время передается от входного источника в нагрузку.

Напряжение на нагрузке (), равно входному напряжению.

В промежуточных точках характеристики, напряжение нагрузки (в о.е.) пропорционально ширине положительного импульса ШИМ.

**П2 (повышающий)**

Пояснения к элементам выходного каскада:

Каскад на VT4 формирует необходимый по величине базовый ток для транзистора VT5, обеспечивающего требуемый ток базы выходного транзистора VT6.

Транзистор VT4 включен по схеме с ОК. Его нагрузкой является резистор R22 (в эмиттерной цепи) и переход база-эмиттер (B-E) транзистора VT5.

Резистор R21 ограничивает базовый ток VT5 при открытом транзисторе VT4.

Транзистор VT5 включен также по схеме с ОЭ. Его нагрузкой является резистор R23 и переход база-эмиттер (B-E) транзистора VT6.

Транзистор VT6 включен также по схеме с ОК (эмиттерный повторитель).

При открытии VT6 накапливается энергия в дросселе L. При этом нагрузка (Rн) питается только от конденсатора C. При этом энергия от входного источника в нагрузку не поступает.

Если VT6 – закрыт , то в дросселе L возникает ЕДС – самоиндукции, которая направлена согласно с входным напряжением.

Сумма Uвх и ЕДС самоиндукции открывает диод VD3 и заряжает конденсатор C, что обеспечивает превышение выходного напряжения над входным (т.е. преобразователь повышающий, Uвых = Uвх + ΔU). Напряжение ΔU обусловлено энергией, накопленной в дросселе L и передаваемой в нагрузку в то время, когда транзистор VT6 закрыт.

Особенности по рис 1.4(б) (регулировочная характеристика).

Когда транзистор VT6 в течении всего периода управления закрыт (; - относительная ширина импульса ШИМ).

В этом случае энергия от входного источника через дроссель L и диод VD3 передается в нагрузку . (и соответственно  ). Выше рассмотренное соответствует точке с координатами ; ;

Для точки ; ; Транзистор VT6 в течении всего периода управления открыт. В этом случае диод VD3 будет всегда закрыт и напряжение  будет равно 0.

В промежуточных точках характеристики напряжение на нагрузке  складывается из входного напряжения  и ЕДС самоиндукции, т.е. будет больше входного напряжения.

**ВОПРОС: в данном варианте ИППН на выходе формируется постоянное или переменное напряжение?**

**ОТВЕТ:** ИППН формирует постоянное выходное напряжение, причём Uвых > Uвх (или Uпит). Например, носимая радиостанция имеет питание 12V. В наличии имеется аккумулятор на напряжение 6V. Используя схему ИППН повышающего типа, получаем необходимое напряжение для питания радиостанции. При этом, для нормальной работы ИППН данного типа, необходимо учитывать минимальное входное напряжение преобразователя.

**ВОПРОС: Покажите на графике (критическая) и (max)**

**ОТВЕТ:** (критическая) – это то значение, которое соответствует максимуму на графике.

( max) – это предельное значение этого параметра, которое может достигаться при штатной (нормальной ) работе преобразователя.

(max) должна быть меньше (критическая). Разница между ними зависит от степени разброса параметров преобразователя. Например, в расчётах (max) принята (для П2,3) , а (критическая) может принимать значения от 0,8 (- - - ) до 0,9 (––) , в зависимости от (относительной величины сопротивления потерь).

**П3 (полярно - инвертирующий)**

Особенности применения П-И преобразователя: **необходимость применения отрицательного выходного напряжения (на нагрузке), при наличие только положительного входного источника напряжения.**

Пояснения к элементам выходного каскада:

Каскад на VT4 формирует необходимый по величине базовый ток для транзистора VT5, обеспечивающего требуемый ток базы выходного транзистора VT6.

Транзистор VT4 включен по схеме с ОК. Его нагрузкой является резистор R22 (в эмиттерной цепи) и переход база-эмиттер (B-E) транзистора VT5.

Резистор R21 ограничивает базовый ток VT5 при открытом транзисторе VT4.

Транзистор VT5 включен также по схеме с ОЭ. Его нагрузкой является резистор R23 и переход база-эмиттер (B-E) транзистора VT6.

Транзистор VT6 включен также по схеме с ОК (эмиттерный повторитель).

Когда VT6 открыт, энергия накапливается в дросселе L, а нагрузка питается от выходного конденсатора C. При этом диод VD3 – закрыт.

В данном варианте нагрузка питается только энергией, накопленной в дросселе L. Один из выводов нагрузки Rn подключен к положительной клемме входного источника, а второй вывод подключен к катоду диода VD3. После закрытия VT6 возникает ЕДС самоиндукции, которая отпирает диод VD3 и заряжает конденсатор C. При этом полярность выходного напряжения обратна полярности входного источника .

Специфика организации ОС по напряжению (для П3):

Для передачи сигнала обратной связи по напряжению (ООС по U) использован дополнительный транзистор VT7, включенный по схеме с ОБ. Поэтому для П3 . В процессе регулирования выходного напряжения (Umin <=Uвых <= Umax) VT7 работает в активном режиме.

R25 включен в составе делителя (R1, R3, R25) цепи обратной связи по U.

Введение дополнительного транзистора VT7 связано с тем, что полярность выходного напряжения противоположна полярности входного и поэтому подавать сигнал ОС напрямую с нагрузки на усилитель рассогласования (на DA1) невозможно.

Особенности по рис 1.4(в) (регулировочная характеристика).

1-я точка: ; ; При этом транзистор VT6 в течении периода управления закрыт, энергия не накапливается в дросселе, диод VD3 - закрыт и напряжение на нагрузке .

2-я точка: ; ; При этом транзистор VT6 в течении периода управления открыт, ЕДС самоиндукции невозникает, диод VD3 – закрыт, напряжение на нагрузке .

**3-я точка: ; (пик, участок перелома)…**

**3(a) – если увеличить , то времени закрытого состояния силового транзистора (VT6) не достаточно для рассеивания (на нагрузке) накопленной в дросселе энергии. Часть характеристики (после max) не является рабочей для преобразователя.**

**3(b) – если уменьшить , то преобразователь работает в нормальном режиме.**

**Положение этой точки зависит от (относительной величины сопротивления потерь).**

В промежуточных точках характеристики, при открытии транзистора VT6, энергия накапливается в дросселе L, а при закрытии транзистора VT6, накопленная энергия передаётся в нагрузку. Напряжение нагрузки (по модулю), может быть как меньше, так и больше входного напряжения.

***Ещё дополнения:***

**ВОПРОС:**

- Как повлияет изменение входного напряжения ?

**ОТВЕТ:**

a) **для повышающего ИППН**: Uвх.var <= Uвх.

Поэтому при понижении Uвх.var ИППН будет работать.

b) **для понижающего ИППН**: Uвх.var => (Uвх + 2,5 V).

Поэтому при повышении Uвх.var ИППН будет работать.

Предел допустимого входного напряжения будет определяться

параметром Uce(max) выходного транзистора.