



1.12. ТРАНЗИСТОРНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Коэффициент полезного действия низковольтного ИЭП в существенной степени определяется падением напряжения на выпрямителе. Поскольку большинство микросхем в ЭА рассчитано на электропитание от источников с выходными напряжениями до 10 В (в основном 5 В и 3.3В), то потери напряжения в выпрямителе становятся соизмеримыми с выходным напряжением самого ИЭП, в результате чего КПД последнего значительно снижается.

Диоды, на которых традиционно строятся выпрямители, имеют большое прямое падение напряжения $U_{пр}$ приближающееся к 1 В. Диоды с тонкой базой имеют потери на уровне 0,7 В. Диоды с барьером Шоттки отличаются сравнительно небольшим прямым падением напряжения 0,5...0,6 В, что, однако, не решает задачу создания выпрямителя с высоким КПД.

При низких уровнях напряжения и относительно низкой частоте выпрямляемого тока основная часть потерь в диодах определяется значением прямого тока через диод, поэтому для уменьшения потерь используют однокатные схемы выпрямления. В этом случае КПД η выпрямителя определяется из соотношения:

$$\eta = \frac{U_d}{U_d + U_{VD}},$$

где U_d - выпрямленное напряжение; U_{VD} – падение напряжения на диоде при прохождении прямого тока.

На рис. 1.12.1 приведена зависимость КПД однокатного низковольтного диодного выпрямителя от выпрямленного напряжения (кривая 1). Коэффициент полезного действия такого выпрямителя составляет 0,7 при $U_{вых} = 2,5$ В и 0,84 при $U_{вых} = 5$ В. Такой низкий КПД приводит к интенсивному нагреву диодов.

Увеличения КПД можно добиться построением выпрямителей на полупроводниковых транзисторах различного типа. При построении *синхронных выпрямителей на биполярных транзисторах* к последним предъявляются следующие основные требования:

- при большом значении напряжения $U_{БЭ\ max}$ транзистор должен иметь высокий коэффициент передачи по току в прямом включении при низких рабочих напряжениях;



– транзистор должен пропускать возможно большой ток при минимальном падении напряжения между эмиттером и коллектором (этому условию лучше всего удовлетворяют так называемые *симметричные транзисторы* с равными площадями эмиттера и коллектора), при этом транзистор должен обладать хорошими частотными свойствами.

По способу управления схемы синхронных выпрямителей можно разделить на две группы: схемы с управлением по цепи база-эмиттер и схемы с управлением по цепи база-коллектор. Кроме того, по способу включения транзисторов различают схемы прямого и инверсного включения. Синхронные выпрямители, как и обычные диодные, бывают *однотактные* и *двухтактные*, причем наиболее экономичной схемой является однотактная. Различаются синхронные выпрямители также типом проводимости применяемых транзисторов.

При выпрямлении напряжений до 10...12 В эффективны схемы синхронного выпрямления с управлением по цепи база-эмиттер, приведенные на рис. 2.9 и 2.10. Коэффициент полезного действия этих схем достигает 0,98 – 0,96 против 0,83 при двойном выпрямлении, т. е. потери могут быть снижены в 5-9 раз, что позволяет существенно снизить массу и объем охлаждающих устройств выпрямителя.

Каждый трансформатор, представленный на схемах рис. 2.9, содержит по две пары полуобмоток. Токи базовых цепей создаются полуобмотками $\omega 1$ и $\omega 1^*$, токи силовых цепей — полуобмотками $\omega 2$ и $\omega 2^*$. Начало каждой полуобмотки обозначено точкой.

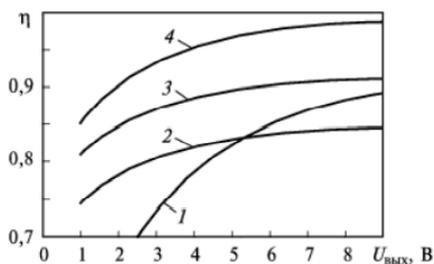


Рис. 1.12.1. Зависимость КПД однотактного низковольтного выпрямителя от выпрямленного напряжения: 1 – диодного, 2- транзисторного, 3 - транзисторного выпрямителя с управлением по цепи база-эмиттер, 4 - транзисторных синхронных выпрямителей с управлением по цепи база-коллектор.

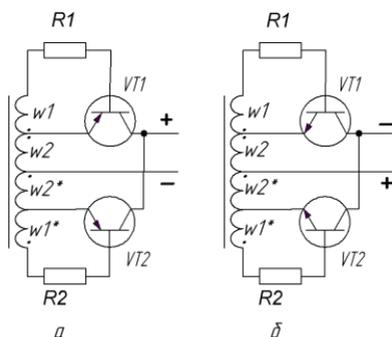


Рис. 1.12.2. схемы транзисторного выпрямителя с управлением по цепи база-эмиттер:
 а - на п-п-п-транзисторах; б - на р-п-р-транзисторах

Коэффициент полезного действия схем транзисторных выпрямителей, приведенных на рис. 1.1.9.2, можно определить по выражению:

$$\eta = \frac{U_d I_d}{U_d I_d + 2U_d I_B + I_d U_{KЭнас}}$$

где $U_{KЭнас}$ — напряжение насыщения коллектор-эмиттер; I_d — выпрямленный ток.

Этому выражению соответствует кривая 2 на рис. 1.9.2. Сравнение значений КПД различных схем синхронного выпрямления при значениях напряжения $U_d = 0..4,5$ В показывает, что они более эффективны по сравнению с диодными схемами (кривая 1 на рис. 1.12.1).

Представленные на рис. 1.12.3 схемы транзисторных выпрямителей с управлением по цепи база-эмиттер отличаются простотой и отсутствием дополнительных обмоток трансформатора. Коэффициент полезного действия для этих схем рассчитывается по выражению:

$$\eta = \frac{U_d I_d}{U_d I_d + I_d U_{KЭнас}}$$

Этому выражению соответствует кривая 3 на рис. 1.12.1, сравнение которой с кривыми 1 и 2 на том же рисунке показывает, что при выпрямленных напряжениях от 0 до 9 В схемы, приведенные на рис. 1.12.4, более экономичны по сравнению с диодными выпрямителями и со схемами синхронного выпрямления, приведенными на рис. 1.12.3.

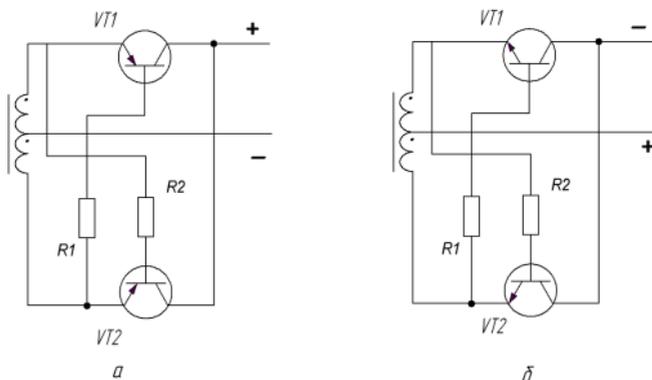


Рис. 1.12.3. Схемы транзисторных выпрямителей с управлением по цепи база-эмиттер без дополнительных обмоток трансформатора: а - на n-p-n-транзисторах; б - на p-n-p-транзисторах

В схемах транзисторных синхронных выпрямителей с управлением по цепи база-коллектор (рис. 1.12.4) потери в цепях управления могут быть сведены к минимуму благодаря тщательному подбору числа витков обмоток управления. Тогда можно исключить резисторы из цепей баз транзисторов. Коэффициент полезного действия этих схем рассчитывается по выражению:

$$\eta = \frac{U_a I_d}{U_a I_d + I_d U_{КЭнас} + I_B U_{БЭнас}},$$

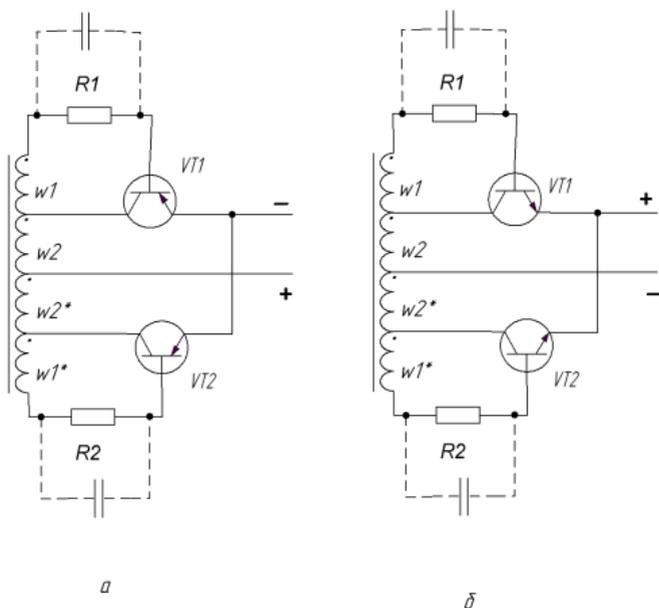


Рис. 1.12.4. Схемы транзисторных выпрямителей с управлением по цепи база коллектор:
а - на p-n-p-транзисторах; б - на n-p-n-транзисторах

Этому выражению соответствует кривая 4, приведенная на рис. 1.12.1. При снижении нагрузки на транзисторы КПД схем может быть повышен.

При построении транзисторного синхронного выпрямителя на полевых транзисторах к транзисторам предъявляются следующие требования:

- сток и исток транзисторов должны быть взаимозаменяемыми, т. е. при подаче на затвор относительно стока отпирающего потенциала транзистор должен отпираться в обратном направлении так же хорошо, как и в прямом;
- при коротком замыкании затвора с истоком, т. е. при нулевом потенциале на затворе или при подаче на затвор запирающего потенциала транзистор должен быть полностью заперт; в этом состоянии транзистор должен

выдерживать обратное напряжение, приложенное к нему в схеме выпрямителя;

- при подаче на затвор отпирающего или запирающего потенциала цепь затвора должна потреблять возможно минимальный ток; этому требованию наиболее полно удовлетворяет полевой транзистор с изолированным затвором;
- сопротивление транзистора в открытом состоянии должно быть возможно малым;
- транзистор должен обладать высоким быстродействием.

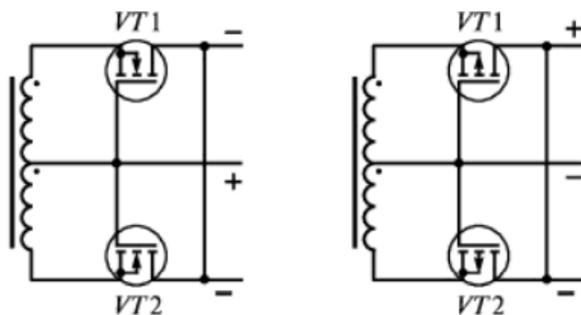


Рис. 1.12.5. Схемы выпрямителей на полевых транзисторах с управлением по цепи затвор-исток
а – транзисторы с n-каналом; б – транзисторы с p-каналом

Синхронные выпрямители с полевыми транзисторами различаются управлением по цепи затвор-исток или по цепи затвор-сток. Кроме того, они различаются по способу включения транзисторов: выпрямители с прямым и инверсным включением транзисторов. Схемы синхронных выпрямителей различаются также по полярности применяемых транзисторов (с p- или n-каналом). Наиболее простыми являются транзисторные выпрямители с управлением по цепи затвор-исток (рис. 1.12.5).

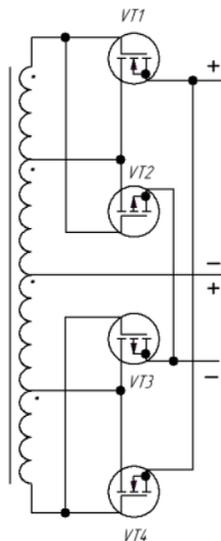


Рис. 1.12.6. Схема выпрямителя с трансформатором со средней точкой на полевых транзисторах с n-каналом (VT1, VT4) и с p-каналом (VT 2, VT 3)

Если напряжения основных обмоток соответствуют требуемому потенциалу затворов, то можно использовать упрощенные схемы, приведенные на рис. 1.12.5. Как и в случае применения биполярных транзисторов, выпрямители на полевых транзисторах, построенные по мостовой схеме со средней точкой (рис. 1.12.6), обеспечивают наилучшее использование выходного трансформатора, в результате размеры компонентов схемы минимальны, в особенности, когда оба выпрямителя (положительный и отрицательный) нагружены одинаково. Коэффициент полезного действия приведенных схем рассчитывается по выражению:

$$\eta = U_d / (U_d + U_{СИ\ на с})$$

Следует отметить, что схемы синхронных выпрямителей на полевых транзисторах более экономичны, чем диодные и схемы на биполярных транзисторах.

Область применения синхронных выпрямителей с полевыми транзисторами охватывает весьма широкий диапазон частот: от



низких (50 Гц) до высоких (1 МГц и выше), причем преимущества полевых транзисторов особенно заметны на высоких частотах.

В качестве примера рассмотрим схему синхронного выпрямителя на полевых транзисторах с управлением по цепи затвористок, приведенную на рис. 1.12.7. Выпрямитель имеет следующие параметры: входное напряжение 15...17 В переменного тока частоты 200 кГц; выходное напряжение 1 В постоянного тока 0,2 А; на обмотках ω_3 и ω_4 одинаковые напряжения 1,2 В. Транзисторы VT1 и VT2 типа 2П904А. Трансформатор TV1 выполнен на кольцевом магнитопроводе $K10 \times 6 \times 3$ из феррита марки M1000HM3. Обмотки наматываются на магнитопровод попарно: $\omega_1 = \omega_2 = 14$ витков провода диаметром 0,355 мм, $\omega_5 = \omega_6 = 35$ витков провода диаметром 0,16 мм. Для намотки обмоток ω_3 и ω_4 берутся 14 проводов диаметром 0,355 мм и из них выполняются 2 витка.

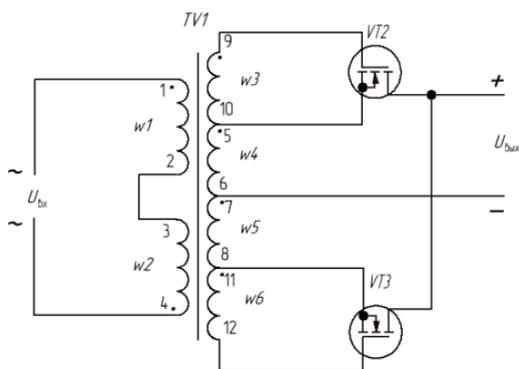


Рис. 1.12.7. Схема синхронного транзисторного выпрямителя с управлением по цепи затвористок

Сравнительные испытания схем с диодами и полевыми транзисторами выявили преимущество последних. Полевой транзистор, рассчитанный на ток 25 А и напряжение 60 В, имел сопротивление в прямом направлении от 35 до 40 мОм при напряжении затвора 10 В. Входная емкость транзистора составляла 6000 пФ. На вход схемы выпрямления подавалось напряжение в форме меандра при частоте тока 17,2 кГц. При выходном токе 4 А средняя мощность



рассеяния для диодов составила 3,26 Вт, для транзисторов – 0,48 Вт. Коэффициенты полезного действия для выпрямителей с диодами и транзисторами равны 78 и 87 % соответственно.