

Лекция 5.

Применение полупроводниковых диодов. Стабилитроны.

Параллельное соединение диодов предназначено для увеличения суммарного прямого тока. Оно используется с принятием мер по выравниванию прямых токов приборов, входящих в группу. Это необходимо для исключения перегрузки по току отдельных диодов, приводящей к выходу их из строя вследствие перегрева. Причиной неравномерного распределения токов является несовпадение прямых ветвей вольт-амперных характеристик приборов ввиду разброса параметров. Неравномерность токораспределения в двух диодах при их непосредственном параллельном соединении вследствие различия прямых ветвей вольт-амперных характеристик иллюстрирует рис. 3.6, *а*. Для выравнивания токов используют диоды с малым различием прямых ветвей вольт-амперных характеристик (производят их подбор по прямой ветви вольт-амперной характеристики). Широко распространены также индуктивные делители тока (рис. 3.6, *б*). При введении в каждую из параллельных ветвей дополнительной индуктивности возникает э. д. с. самоиндукции при нарастании тока в ветвях, вследствие чего различие токов в параллельных ветвях, вызванное разбросом параметров диодов, становится менее ощутимым. Выравнивание токов может быть в принципе обеспечено и введением в параллельные ветви дополнительных активных сопротивлений, однако при этом создаются дополнительные потери мощности, особенно при больших токах.

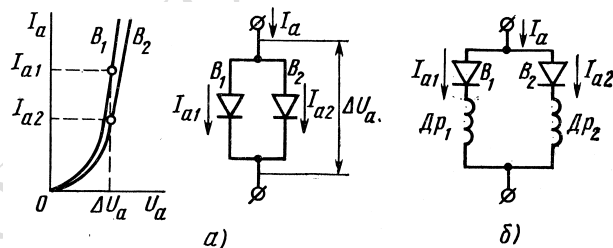


Рис. 3.6. Прямые ветви вольт-амперных характеристик диодов, используемых для параллельного соединения (*а*); схема выравнивания токов диодов с помощью индуктивных делителей тока (*б*)

Последовательное соединение диодов предназначено для увеличения суммарного допустимого обратного напряжения. При воздействии обратного напряжения через диоды, включенные последовательно, протекает одинаковый обратный ток I_b (рис. 3.7, *а*). Однако ввиду неизбежного различия обратных ветвей вольт-амперных характеристик общее напряжение будет распределяться по диодам неравномерно. К диоду, у которого обратная ветвь вольт-амперной характеристики идет выше, будет приложено большее напряжение.

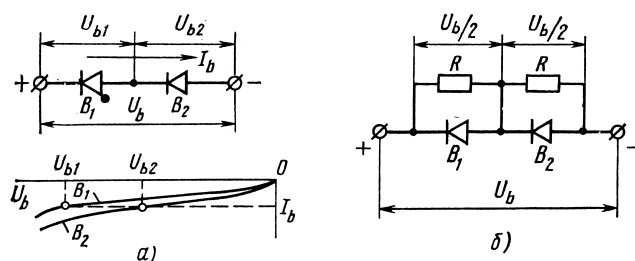
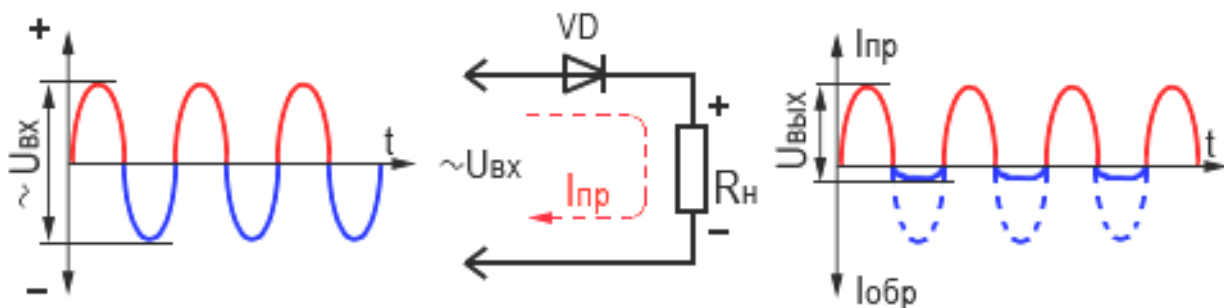


Рис. 3.7. Схема последовательного соединения диодов и обратные ветви их вольт-амперных характеристик (а); схема выравнивания обратных напряжений, прикладываемых к диодам (б)

Неравномерность распределения напряжения на последовательно работающих диодах является нежелательной. Превышение хотя бы на одном из диодов обратного напряжения над напряжением пробоя может привести к пробое не только данного, но и всех остальных диодов вследствие повышения на них обратного напряжения.

Для исключения неравномерного распределения обратного напряжения диоды в последовательной цепи шунтируют резисторами R (рис. 3.7, б). Выбор сопротивления шунтирующих резисторов производят, исходя из того, чтобы ток, протекающий через резистор R , был на порядок больше обратного тока диодов. При этом неидентичность обратных ветвей вольт-амперных характеристик диодов будет слабо влиять на равномерность распределения обратных напряжений.

Схема простого выпрямителя переменного тока на одном диоде.



Разберем схему работы простейшего выпрямителя, которая изображена на рисунке:

Схема выпрямителя с одним диодом

На вход выпрямителя подадим сетевое переменное напряжение, в котором положительные полупериоды выделены красным цветом, а отрицательные – синим. К выходу выпрямителя подключим нагрузку (R_n), а функцию выпрямляющего элемента будет выполнять диод (VD).

При положительных полупериодах напряжения, поступающих на анод диода диод открывается. В эти моменты времени через диод, а значит, и через нагрузку (R_n), питающуюся от выпрямителя, течет прямой ток диода $I_{пр}$ (на правом графике волна полупериода показана красным цветом).

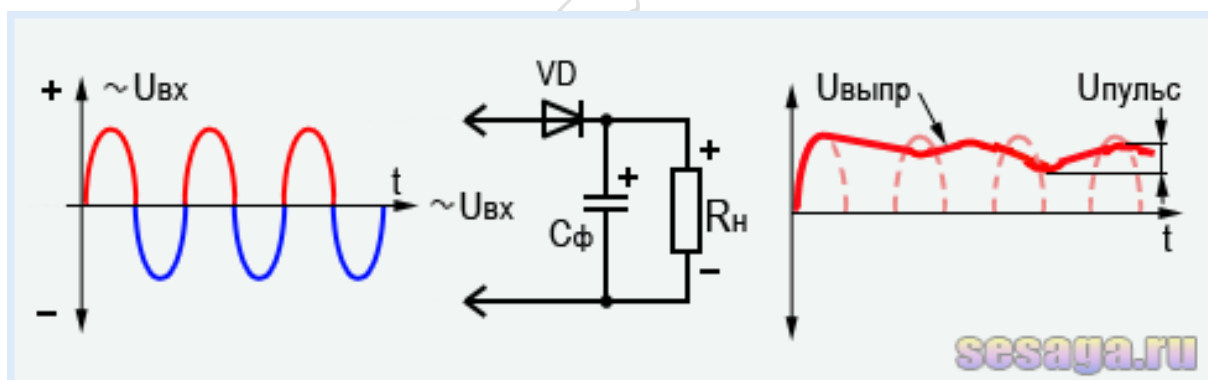
При отрицательных полупериодах напряжения, поступающих на анод диода диод закрывается, и во всей цепи будет протекать незначительный обратный ток диода ($I_{обр}$). Здесь, диод как бы отсекает отрицательную полуволну переменного тока (на правом графике такая полуволна показана синей пунктирной линией).

В итоге получается, что через нагрузку (R_n), подключенную к сети через диод (VD), течет уже не переменный, поскольку этот ток протекает только в положительные полупериоды, а пульсирующий ток – ток одного направления. Это и есть выпрямление переменного тока.

Но таким напряжением можно питать лишь маломощную нагрузку, питающуюся от сети переменного тока и не предъявляющую к питанию особых требований, например, лампу накаливания.

Напряжение через лампу будет проходить только во время положительных полувольт (импульсов), поэтому лампа будет слабо мерцать с частотой 50 Гц. Однако, за счет тепловой инертности нить не будет успевать остывать в промежутках между импульсами, и поэтому мерцание будет слабо заметным.

Если же запитать таким напряжением приемник или усилитель мощности, то в громкоговорителе или колонках мы будем слышать гул низкого тона с частотой 50 Гц, называемый фоном переменного тока. Это будет происходить потому, что пульсирующий ток, проходя через нагрузку, создает в ней пульсирующее напряжение, которое и является источником фона.



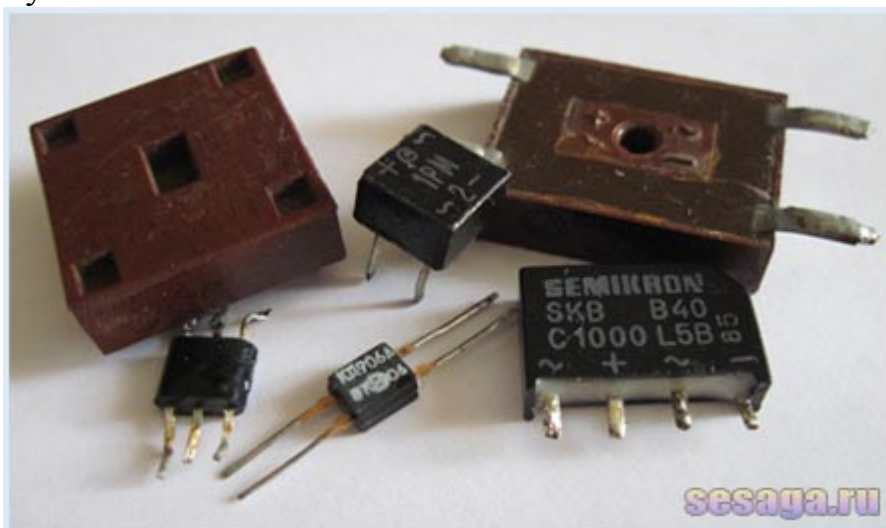
Этот недостаток можно частично устранить, если параллельно нагрузке подключить фильтрующий электролитический конденсатор (C_f) большой емкости.

Заряжаясь импульсами тока во время положительных полупериодов, конденсатор (C_f) во время отрицательных полупериодов разряжается через нагрузку (R_n). Если конденсатор будет достаточно большой емкости, то за время между импульсами тока он не будет успевать полностью разряжаться, а значит, на нагрузке (R_n) будет непрерывно поддерживаться ток как во время положительных, так и во время отрицательных полупериодов. Ток, поддерживаемый за счет зарядки конденсатора, показан на правом графике сплошной волнистой красной линией.

Но и таким, несколько сглаженным током тоже нельзя питать приемник или усилитель потому, что они будут «фонить», так как уровень пульсаций ($U_{пульс}$) пока еще очень ощутим.

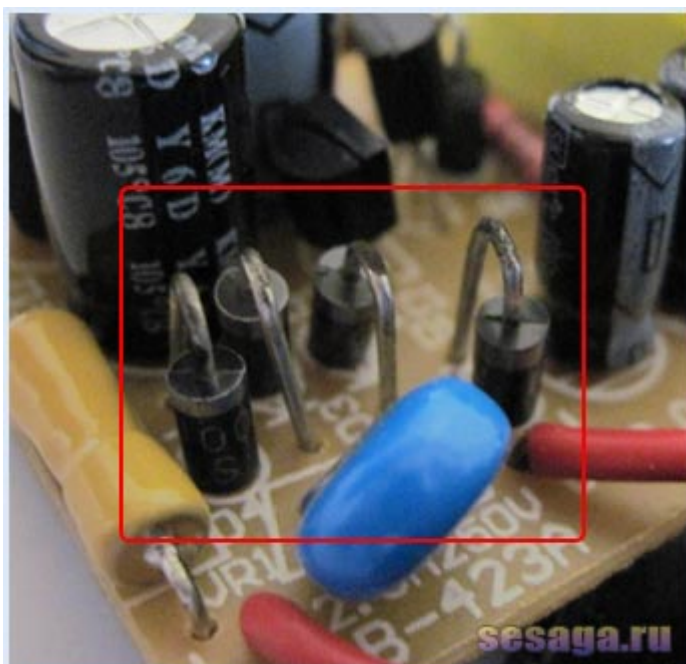
В выпрямителе, с работой которого мы познакомились, полезно используется энергия только половины волн переменного тока, поэтому на нем теряется больше половины входного напряжения и потому такое выпрямление переменного тока называют **однополупериодным**, а выпрямители – **однополупериодными выпрямителями**. Эти недостатки устранены в выпрямителях с использованием диодного моста.

Диодный мост – это небольшая схема, составленная из 4-х диодов и предназначенная для преобразования переменного тока в постоянный. В отличие от однополупериодного выпрямителя, состоящего из одного диода и пропускающего ток только во время положительного полупериода, мостовая схема позволяет пропускать ток в течение каждого полупериода. Диодные мосты изготавливают в виде небольших сборок заключенных в пластмассовый корпус.



Внешний вид сборок диодных мостов

Из корпуса сборки выходят четыре вывода напротив которых расположены знаки «+», «-» или «~», указывающие, где у моста вход, а где выход. Но не обязательно диодные мосты можно встретить в виде такой сборки, их также собирают включением четырех диодов прямо на печатной плате, что очень удобно.

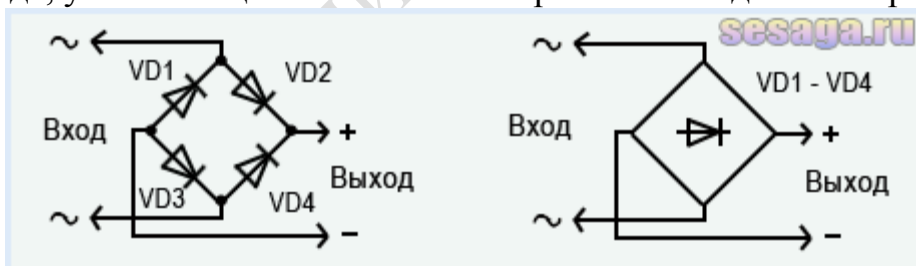


Диодный мост из диодов

Например. Вышел из строя один из диодов моста, если будет стоять сборка, то ее смело выкидываем, а если мост будет собран из четырех диодов прямо на плате – меняем неисправный диод и все готово.

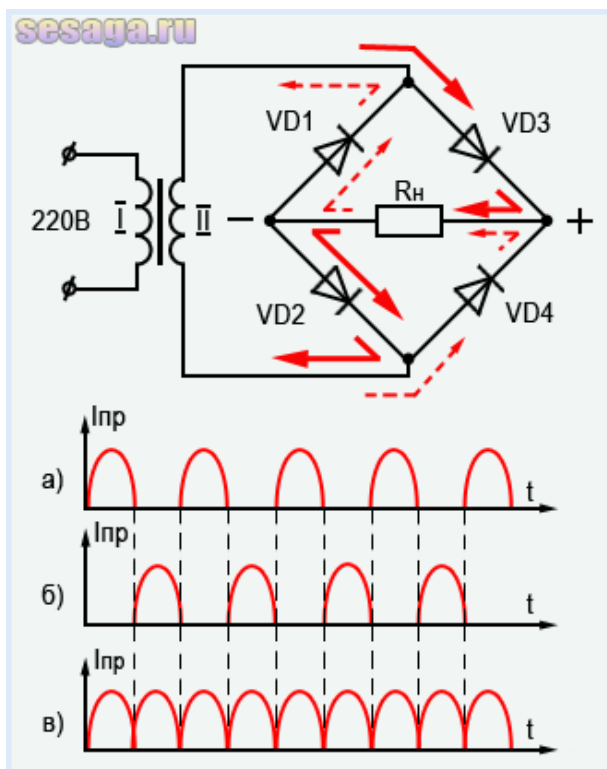
На принципиальных схемах диодный мост обозначают включением четырех диодов в мостовую схему, как показано в левой части нижнего рисунка: здесь, диоды являются как бы плечами выпрямительного моста.

Такое графическое обозначение моста можно встретить еще в старых журналах по радиотехнике. Однако, на сегодняшний день, в основном, диодный мост обозначают в виде ромба, внутри которого расположен значок диода, указывающий только на полярность выходного напряжения.



Условное обозначение диодного моста

Теперь рассмотрим работу диодного моста на примере низковольтного выпрямителя. В таком выпрямителе, с использованием четырех диодов, во время каждой полуволны работают поочередно два диода противоположных плеч моста, включенных между собой последовательно, но встречно по отношению ко второй паре диодов.



Прохождение тока через диодный мост

Со вторичной обмотки трансформатора переменное напряжение поступает на вход диодного моста. Когда на верхнем (по схеме) выводе вторичной обмотки возникает положительный полупериод напряжения, ток идет через диод VD3, нагрузку R_H , диод VD2 и к нижнему выводу вторичной обмотки (см. график а). Диоды VD1 и VD4 в этот момент закрыты и через них ток не идет.

В течение другого полупериода переменного напряжения, когда плюс на нижнем (по схеме) выводе вторичной обмотки, ток идет через диод VD4, нагрузку R_H , диод VD1 и к верхнему выводу вторичной обмотки (см. график б). В этот момент диоды VD2 и VD3 закрыты и ток через себя не пропускают.

В результате мы видим, что меняются знаки напряжения на вторичной обмотке трансформатора, а через нагрузку выпрямителя идет ток одного направления (см. график в). В таком выпрямителе полезно используются оба полупериода переменного тока, поэтому подобные выпрямители называют двухполупериодными.

И в заключение отметим, что работа двухполупериодного выпрямителя по сравнению с однополупериодным получается намного эффективней:

1. Удвоилась частота пульсаций выпрямленного тока;
2. Уменьшились провалы между импульсами, что облегчило задачу сглаживания пульсаций на выходе выпрямителя;
3. Среднее значение напряжения постоянного тока примерно равно переменному напряжению, действующему во вторичной обмотке трансформатора.

Полупроводниковые стабилитроны. Универсальные диоды

Полупроводниковыми стабилитронами называют диоды, предназначенные для стабилизации уровня напряжения в схеме. Для этого используются приборы, у которых на вольт-амперной характеристике имеется участок со слабой зависимостью напряжения от проходящего тока. Такой участок наблюдается на обратной ветви вольт-амперной характеристики кремниевого диода в режиме лавинного или туннельного пробоя. Поэтому в качестве полупроводниковых стабилитронов используются плоскостные кремниевые диоды. Вторым элементом обозначения этих диодов является буква «С», например КС168А.

Вольтамперная характеристика полупроводникового стабилитрона изображена на рис. 3.8. На характеристике точками *A* и *B* отмечены границы рабочего участка. Положение точки *A* соответствует напряжению пробоя *p-n*-перехода, которое зависит от удельного сопротивления исходного материала, определяемого концентрацией примесей. Точка *B* соответствует предельному режиму, в котором на стабилитроне рассеивается максимально допустимая мощность.

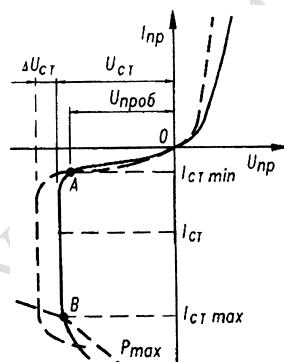


Рис. 3.8. Вольт-амперная характеристика полупроводникового стабилитрона

Стабилитроны характеризуются следующими специальными параметрами.

Напряжение стабилитрона $U_{с\tau}$ — напряжение на стабилитроне при заданном токе. Оно зависит от ширины запирающего слоя *p-n*-перехода, т.е. от концентрации примесей в полупроводниках. В случае большой концентрации примесей в полупроводниках. В случае большой концентрации примесей *p-n*-переход получается тонким и в нем даже при малых напряжениях возникает электрическое поле, вызывающее туннельный пробой. При малой концентрации примеси *p-n*-переход имеет значительную ширину и лавинный пробой наступает раньше, чем напряженность электрического поля становится достаточной для туннельного пробоя. Таким образом, подбором

удельного сопротивления кремния можно получить требуемое напряжения стабилизации.

Практически при напряжениях стабилизации ниже 6 В имеет только туннельный пробой, а при напряжении выше 8 В — лавинный. В интервале от 6 до 8 В наблюдаются оба вида пробоя.

Минимально допустимый ток стабилизации $I_{ст\ min}$ — ток, при которой пробой становится устойчивым и обеспечивается заданная надежность работы.

Максимально допустимый ток стабилизации $I_{ст\ max}$ — ток, при котором достигается максимально допустимая рассеиваемая мощность P_{max} .

Дифференциальное сопротивление $r_{ст} = dU_{ст} / dI_{ст}$ — отношение приращения напряжения стабилизации к вызвавшему его приращению тока. Чем меньше $r_{ст}$, тем лучше стабилизация напряжения.

Температурный коэффициент стабилизации напряжения (ТКН), определяемый отношением относительного изменения напряжения стабилизации $(\Delta U_{ст}/U_{ст})$ к абсолютному изменению температуры окружающей среды $(\Delta T_{окр})$ при постоянном току стабилизации:

$$U_{ст} = \frac{\Delta U_{ст}}{U_{ст} \Delta T_{окр}} \cdot 100\% . \quad (3.4)$$

У стабилитронов с лавинным пробоем ТКН положительный, а с туннельным — отрицательный. Для выпускаемых промышленностью стабилитронов значение ТКН колеблется от 0,001 до 0,2 %/К.

Для стабилизации низких напряжений (до 1 В) используют прямую ветвь вольт-амперной характеристики диода при $U_{ст} > U_{к}$. В этом режиме также наблюдается слабая зависимость напряжения на диоде от проходящего тока. Такие приборы называют *стабистрами*. Характеристика стабистора приведена на рис. 3.9.

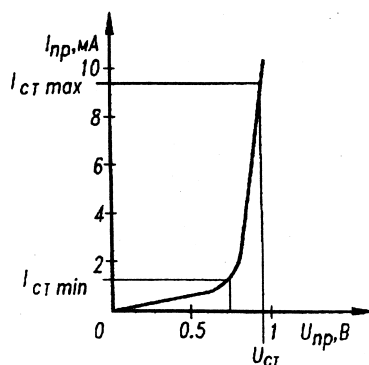


Рис. 3.9. Вольт-амперная характеристика стабилитрона

Лучшие параметры по сравнению с кремниевыми имеют стабилитроны, изготовленные из селена. Графическое изображение стабилитрона (стабилитора) показано на рис. 3.10.

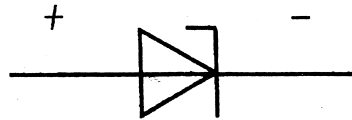


Рис. 3.10. Графическое изображение стабилитрона (стабилитора)

В основном стабилитроны применяются для стабилизации напряжения. Схема стабилитрона напряжения показана на рис. 3.11. Стабилитрон присоединяют параллельно нагрузке R_H , а в общую цепь включают ограничительный резистор R , являющийся функционально необходимым элементом.

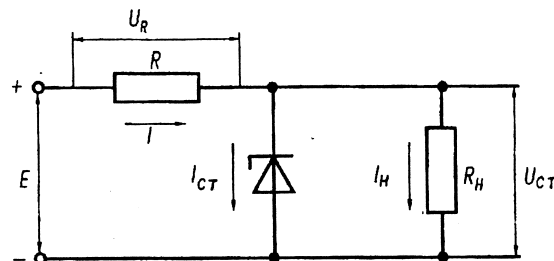


Рис. 3.11. Схема стабилизатора напряжения

Для схемы, показанной на рис. 3.11, справедливо уравнение

$$E = (I_{ст} + I_H)R + U_{ст} = \left(I_{ст} + \frac{U_{ст}}{R_H} \right) R + U_{ст}. \quad (3.5)$$

После преобразования уравнения получим

$$I_{ст} = \frac{E}{R} - \frac{R + R_H}{RR_H} U_{ст}. \quad (3.6)$$

На основании уравнения (3.6) может быть построена нагрузочная прямая, точка пересечения которой с вольт-амперной характеристикой является рабочей. При изменении напряжения источника питания E нагрузочная прямая перемещается параллельно самой себе (рис. 3.12, а), а при изменении сопротивления нагрузки изменяется ее наклон (рис. 3.12, б). При этом если рабочая точка не выходит из границ участка AB , то напряжение на нагрузке остается практически неизменным. Следовательно, в данной схеме напряжение на нагрузке остается постоянным в некоторых пределах изменения напряжения питания и сопротивления самой нагрузки.

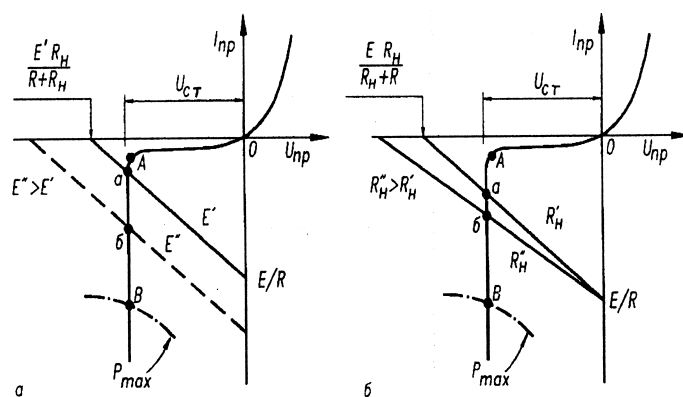


Рис. 3.12. К пояснению работы стабилизатора напряжения

С физической точки зрения принцип стабилизации напряжения в данной схеме объясняется следующим образом.

Увеличение напряжения источника питания на величину ΔE приводит к увеличению общего тока в цепи $I = I_{\text{ст}} + I_{\text{н}}$. Поскольку при изменении тока, проходящего через стабилитрон, напряжение на нем остается практически неизменным и равным напряжению стабилизации, то изменением тока нагрузки $I_{\text{н}}$ можно пренебречь. Приращение напряжения источника питания на величину ΔE почти целиком произойдет на ограничительном резисторе R . При уменьшении напряжения источника питания на величину ΔE общий ток в цепи уменьшается, что приводит к уменьшению тока, проходящего через стабилитрон. Если это уменьшение не вышло из пределов стабилизации, в этом случае при сохранении постоянного напряжения на нагрузке напряжение на резисторе R уменьшится на величину ΔE . Таким образом, наличие ограничительного резистора R в рассмотренной простейшей схеме стабилизатора напряжения является принципиально необходимым.

Изменение сопротивления нагрузки при неизменном напряжении источника питания не приведет к изменению напряжения на ограничительном резисторе R , а вызовет изменение тока, проходящего через стабилитрон.

Помимо стабилизации постоянного напряжения, стабилитроны используются в стабилизаторах и ограничителях импульсного напряжения, в схемах выпрямления, в качестве управляемых емкостей, шумовых генераторов и элементов межкаскадных связей в усилителях постоянного тока и импульсных устройствах.