

Лекция 4

КОНСТРУКЦИЯ И СХЕМОТЕХНИКА ГЕНЕРАТОРОВ

Выпрямительные узлы применяются двух типов - либо это пластины-теплоотводы, в которые запрессовываются диоды (стабилитроны) силового выпрямителя или на которых распаиваются и герметизируются кремниевые переходы этих диодов, либо это конструкции с сильно развитым ребрением, в которых диоды, обычно таблеточного типа, припаиваются к теплоотводам. Диоды дополнительного выпрямителя для обмотки возбуждения имеют обычно пластмассовый корпус цилиндрической формы или в виде горошины или выполняются в виде отдельного герметизированного блока, включение в схему которого осуществляется шинками. Включение выпрямительных блоков в схему генератора осуществляется распайкой или сваркой выводов фаз на специальных монтажных площадках выпрямителя или винтами. Наиболее опасным для генератора и особенно для проводки автомобильной бортовой сети является замыкание пластин теплоотводов, соединенных с "массой" и выводом "+" генератора случайно попавшими между ними металлическими предметами или проводящими мостиками, образованными загрязнением, т.к. при этом происходит короткое замыкание по цепи аккумуляторной батареи и возможен пожар. Во избежание этого пластины и другие части выпрямителя генераторов некоторых фирм частично или полностью покрывают изоляционным слоем. В монолитную конструкцию выпрямительного блока теплоотводы объединяются в основном монтажными платами из изоляционного материала, армированными соединительными шинками.

Подшипниковые узлы генераторов это, как правило, радиальные шариковые подшипники с одноразовой закладкой пластичной смазки на весь срок службы и одно или двухсторонними уплотнениями, встроенными в подшипник.

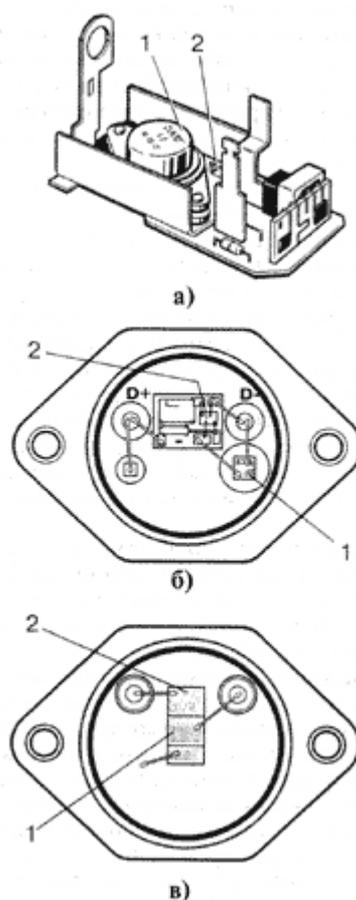


Рис.6. Регуляторы напряжения фирмы Bosch различного исполнения.

а - на дискретных элементах; б - гибридный монтаж; в - схема на монокристалле кремния. 1 - силовой выходной каскад, 2 - схема управления

Конструкцию регуляторов напряжения в значительной мере определяет технология их изготовления. При изготовлении схемы на дискретных элементах, регулятор обычно имеет печатную плату, на которой располагаются эти элементы. При этом некоторые элементы, например, настроечные резисторы могут выполняться по толстопленочной технологии. Гибридная технология предполагает, что резисторы выполняются на керамической пластине и соединяются с полупроводниковыми элементами - диодами, стабилитронами, транзисторами, которые в бескорпусном или корпусном исполнении распаиваются на металлической подложке. В

регуляторе, выполненном на монокристалле кремния, вся схема регулятора размещена в этом кристалле. На рис.6 изображено развитие регуляторов напряжения фирмы Bosch, включающие в себя все перечисленные конструкции. Гибридные регуляторы напряжения и регуляторы напряжения на монокристалле ни разборке, ни ремонту не подлежат.

Охлаждение генератора осуществляется одним или двумя вентиляторами, закрепленными на его валу. При этом у традиционной конструкции генераторов (рис. 7,а) воздух засасывается центробежным вентилятором в крышку со стороны контактных колец. У генераторов, имеющих щеточный узел, регулятор напряжения и выпрямитель вне внутренней полости и защищенных кожухом, воздух засасывается через прорези этого кожуха, направляющие воздух в наиболее нагретые места - к выпрямителю и регулятору напряжения. На автомобилях с плотной компоновкой подкапотного пространства, в котором температура воздуха слишком велика, применяют генераторы со специальным кожухом (рис. 7,б), закрепленным на задней крышке и снабженным патрубком со шлангом, через который в генератор поступает холодный и чистый заборный воздух.

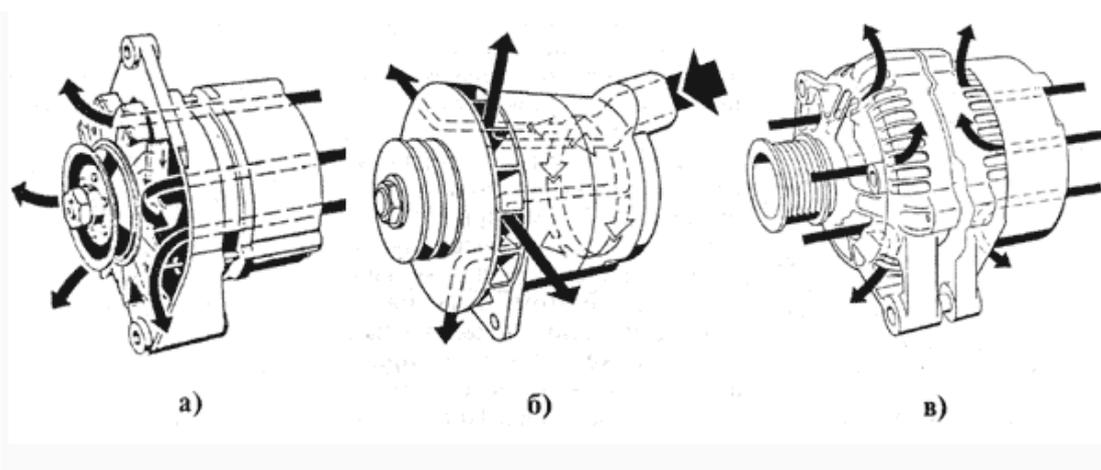


Рис.7. Система охлаждения генераторов.

а - генераторы обычной конструкции; б - генераторы для повышенной температуры в подкапотном пространстве; в - генераторы компактной конструкции. Стрелками показано направление воздушных потоков

Такие конструкции применяются, например, на автомобилях BMW. У генераторов "компактной" конструкции охлаждающий воздух забирается со стороны как задней, так и передней крышек.

Генераторы большой мощности, устанавливаемые на спецавтомобили, грузовики и автобусы имеют некоторые отличия. В частности, в них встречаются две полюсные системы ротора, насаженные на один вал и, следовательно, две обмотки возбуждения, 72 паза на статоре и т. п. Однако принципиальных отличий в конструктивном исполнении этих генераторов от рассмотренных конструкций нет.

Характеристики генераторных установок

Способность генераторной установки обеспечивать потребителей электроэнергией на различных режимах работы двигателя определяется его токоскоростной характеристикой (ТСХ) - зависимостью наибольшей силы тока, отдаваемого генератором, от частоты вращения ротора при постоянной величине напряжения на силовых выводах. На рис. 8 представлена токоскоростная характеристика генератора.

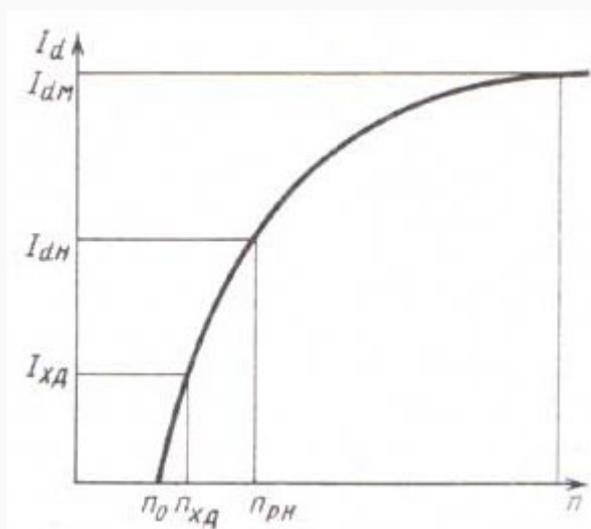


Рис. 8. Токоскоростная характеристика генераторных установок.

На графике имеются следующие характерные точки: n_0 - начальная частота вращения ротора без нагрузки, при которой генератор начинает отдавать ток; $I_{хд}$ - ток отдачи генератора при частоте вращения, соответствующей минимальным устойчивым оборотам холостого хода двигателя. На современных генераторах ток, отдаваемый в этом режиме, составляет 40-50% от номинального; I_{dm} - максимальный (номинальный) ток отдачи при частоте вращения ротора 5000 мин⁻¹ (6000 мин⁻¹ для современных генераторов).

Различают ТСХ, определенные:

- при самовозбуждении (цепь обмотки возбуждения питается от собственного генератора);
- при независимом возбуждении (цепь обмотки возбуждения питается от постороннего источника);
- для генераторной установки (регулятор напряжения включен в схему);
- для генератора (регулятор напряжения отключен);

На щитке генератора обычно указываются его основные параметры:

- номинальное напряжение 14 или 28 В (в зависимости от номинального напряжения системы электрооборудования);
- номинальный ток, за который принимается максимальный ток отдачи генератора.
- Тип, марка генератора

Основной характеристикой генераторной установки является ее токоскоростная характеристика (ТСХ), т. е. зависимость тока, отдаваемого генератором в сеть, от частоты вращения его ротора при постоянной величине напряжения на силовых выводах генератора.

Характеристика эта определяется при работе генераторной установки в комплекте с полностью заряженной аккумуляторной батареей, с номинальной емкостью, выраженной в Ач, составляющей численно не менее 50% номинальной силы тока генератора. Характеристика может определяться в

холодном и нагретом состояниях генератора. При этом под холодным состоянием понимается такое, при котором температура всех частей и узлов генератора равна температуре окружающей среды, величина которой должна быть $23 \pm 5^\circ\text{C}$. Токоскоростная характеристика имеет характерные точки, к которым относятся :

n_0 - начальная частота вращения без нагрузки. Поскольку обычно снятие характеристики начинают с тока нагрузки (около 2А, то эта точка получается экстраполяцией снятой характеристики до пересечения с осью абсцисс.

n_L - минимальная рабочая частота вращения, т. е. частота вращения, примерно соответствующая частоте холостого хода двигателя. Поскольку передаточное число ременной передачи 1,5 – 2, то условно принимается, $n_L = 1500 \text{ мин}^{-1}$. Этой частоте соответствует ток I_L . Фирма Bosch для "компактных" генераторов приняла $n_L = 1800 \text{ мин}^{-1}$. Обычно I_L составляет 40...50% номинального тока.

n_R - номинальная частота вращения, при которой вырабатывается номинальный ток I_R . Эта частота вращения принята $n_R = 6000 \text{ мин}^{-1}$. I_R - наименьшая сила тока, который генераторная установка должна выработать при частоте вращения n_R .

N_{MAX} - максимальная частота вращения. При этой частоте вращения генератор вырабатывает максимальную силу тока I_{max} . Обычно максимальная сила тока мало отличается от номинального I_R (не более, чем на 10%).

Производители приводят в своих информационных материалах в основном только характерные точки токоскоростной характеристики. Однако, для генераторных установок легковых автомобилей с достаточной степенью точности можно определить токоскоростную характеристику по известной номинальной величине силы тока I_R и характеристике по рис.8, где величины силы тока генератора даны по отношению к ее номинальной величине.

Кроме токоскоростной характеристики генераторную установку характеризует еще и частота самовозбуждения. При работе генератора на автомобиле в комплекте с аккумуляторной батареей генераторная установка

должна самовозбуждаться при частоте вращения двигателя меньшей, чем частота вращения его холостого хода. При этом, конечно, в схему должны быть включены лампа контроля работоспособного состояния генераторной установки мощностью, оговоренной для нее фирмой-изготовителем генератора и параллельно ей резисторы, если они предусмотрены схемой.

Другой характеристикой, по которой можно представить энергетические способности генератора, т. е. определить величину мощности, забираемой генератором от двигателя, является величина его коэффициента полезного действия (КПД), определяемого в режимах соответствующих точкам токоскоростной характеристики (рис.9), величина КПД по рис.8 приведена для ориентировки, т.к. она зависит от конструкции генератора - толщины пластин, из которых набран статор, диаметра контактных колец, подшипников, сопротивления обмоток и т. п., но, главным образом, от мощности генератора. Чем генератор мощнее, тем его КПД выше.

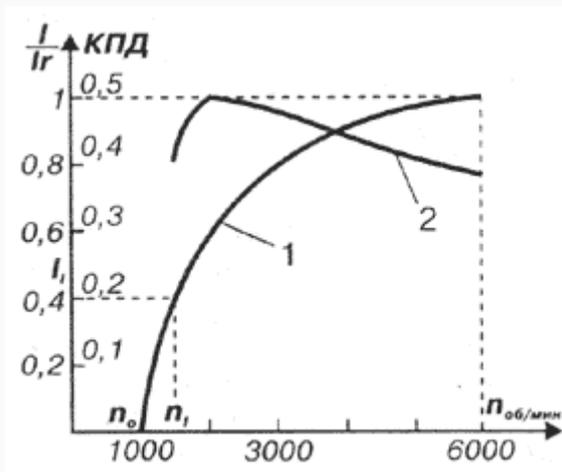


Рис.9. Выходные характеристики автомобильных генераторов: 1 - токоскоростная характеристика, 2 - КПД по точкам токоскоростной характеристики

Наконец, генераторную установку характеризует диапазон ее выходного напряжения, при изменении в определенных пределах частоты вращения, силы тока нагрузки и температуры. Обычно в проспектах фирм указывается

напряжение между силовым выводом "+" и "массой" генераторной установки в контрольной точке или напряжение настройки регулятора при холодном состоянии генераторной установки частоте вращения 6000 мин^{-1} , нагрузке силой тока 5 А и работе в комплекте с аккумуляторной батареей, а также термокомпенсация - изменение регулируемого напряжения в зависимости от температуры окружающей среды. Термокомпенсация указывается в виде коэффициента, характеризующего изменение напряжения при изменении температуры окружающей среды на $\sim 1^\circ\text{C}$. Как было показано выше, с ростом температуры напряжение генераторной установки уменьшается. Для легковых автомобилей некоторые фирмы предлагают генераторные установки со следующим напряжением настройки регулятора и термокомпенсацией:

Напряжение настройки: $14,1 \pm 0,1 \text{ В} \dots 14,5 \pm 0,1 \text{ В}$. Термокомпенсация: — $7 \pm 1,5 \dots -10 \pm 2 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$

Электрические схемы генераторных установок

В настоящее время все генераторные установки оснащаются полупроводниковыми электронными регуляторами напряжения, как правило встроенными внутрь генератора. Схемы их исполнения и конструктивное оформление могут быть различны, но принцип работы у всех регуляторов одинаков. На рис. 10 схема 1 имеет обмотку возбуждения, подключенную одним выводом к плюсу питания, а схема 2 имеет обмотку возбуждения, подключенную одним выводом к минусу питания (корпусу). Кроме того, на схеме 2 силовые диоды имеют характеристики стабилитронов.

Напряжение генератора без регулятора зависит от частоты вращения его ротора, магнитного потока, создаваемого обмоткой возбуждения, а, следовательно, от силы тока в этой обмотке и величины тока, отдаваемого генератором потребителям. Чем больше частота вращения и сила тока

возбуждения, тем больше напряжение генератора, чем больше сила тока его нагрузки - тем меньше это напряжение.

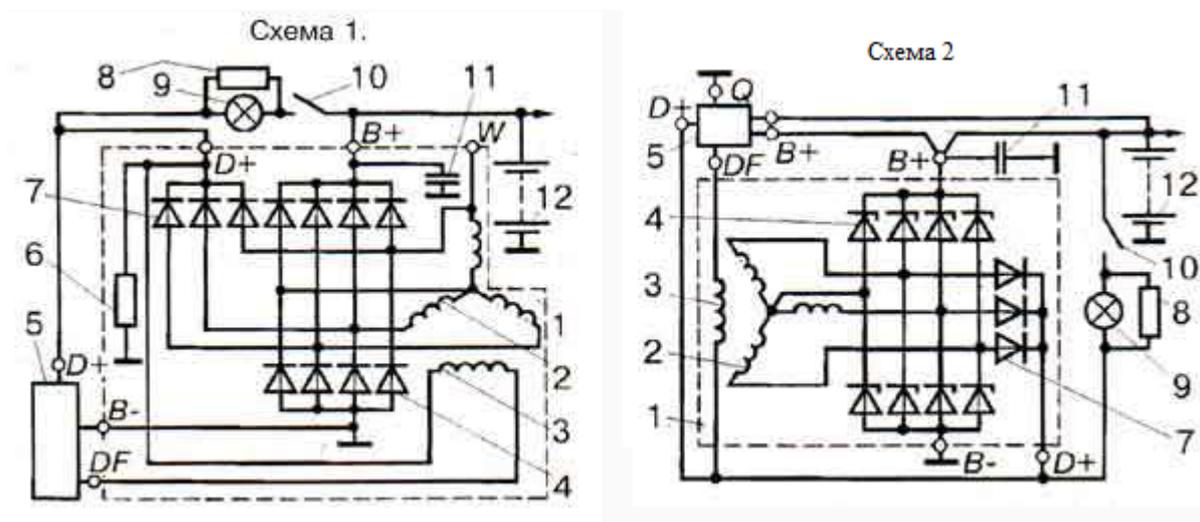


Рис.10. Электрические схемы генераторных установок

Функцией регулятора напряжения является стабилизация напряжения при изменении частоты вращения и нагрузки за счет воздействия на ток возбуждения. Конечно можно изменять ток в цепи возбуждения введением в эту цепь дополнительного резистора, как это делалось в прежних вибрационных регуляторах напряжения, но этот способ связан с потерей мощности в этом резисторе и в электронных регуляторах не применяется. Электронные регуляторы изменяют ток возбуждения путем включения и отключения обмотки возбуждения от источника питания, при этом меняется относительная продолжительность времени включения обмотки возбуждения. Если для стабилизации напряжения требуется уменьшить среднюю силу тока возбуждения, время включения обмотки возбуждения уменьшается, а время выключения обмотки возбуждения увеличивается, если нужно увеличить ток возбуждения, время включения обмотки возбуждения увеличивается, а время выключения обмотки возбуждения уменьшается.

Принцип работы электронного регулятора удобно продемонстрировать на достаточно простой схеме регулятора типа EE14V3 фирмы Bosch, представленной на рис 11:

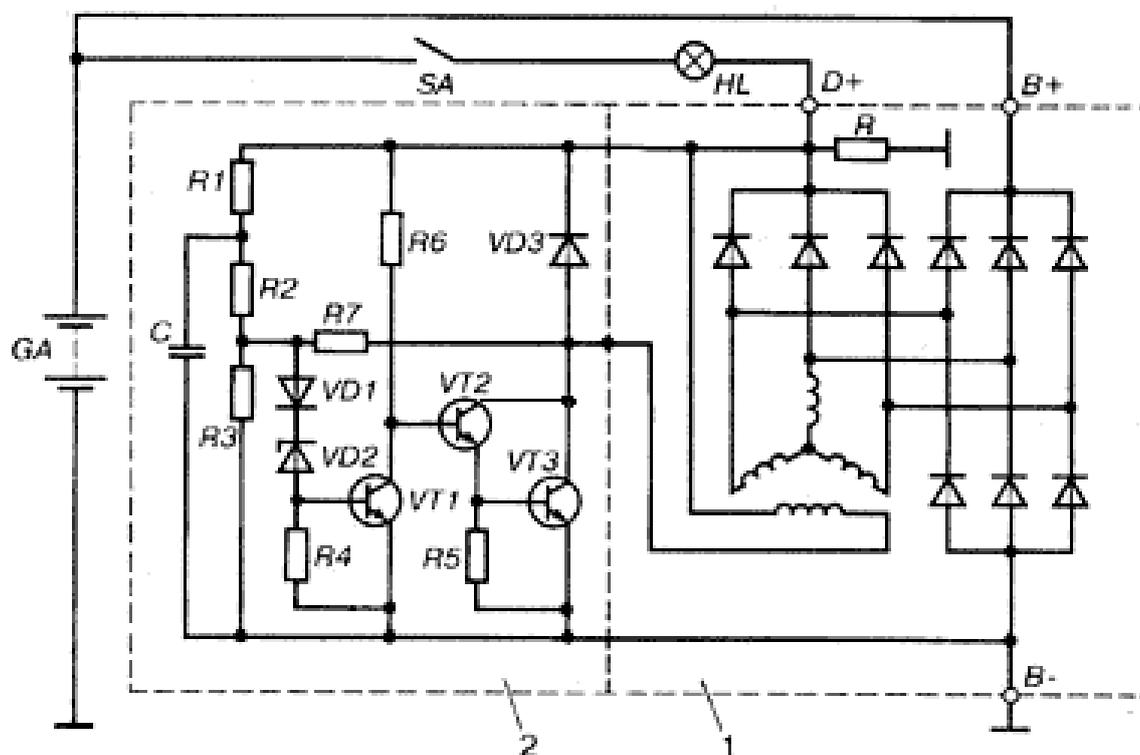


Рис.11. Схема регулятора напряжения EE14V3 фирмы BOSCH:

1 - генератор, 2 - регулятор напряжения, SA - замок зажигания, HL - контрольная лампа на панели приборов.

Чтобы понять работу схемы, следует вспомнить, что, стабилитрон не пропускает через себя ток при напряжениях, ниже величины напряжения стабилизации. При достижении напряжением этой величины, стабилитрон "пробивается" и по нему начинает протекать ток. Таким образом, стабилитрон в регуляторе является эталоном напряжения, с которым сравнивается напряжение генератора после резистивного делителя. Кроме того, известно, что транзисторы пропускают ток между коллектором и эмиттером, т.е. открыты, если в цепи "база - эмиттер" ток протекает, и не пропускают этого тока, т.е. закрыты, если базовый ток прерывается. Напряжение к стабилитрону

VD2 подводится от вывода генератора "D+" через делитель напряжения на резисторах R1 – R3 и диод VD1, осуществляющий температурную компенсацию. Пока напряжение генератора невелико и напряжение на стабилитроне ниже его напряжения стабилизации, стабилитрон закрыт, через него, а, следовательно, и в базовой цепи транзистора VT1 ток не протекает, транзистор VT1 также закрыт. В этом случае ток через резистор R6 от вывода "D+" поступает в базовую цепь транзистора VT2, который открывается, через его переход эмиттер - коллектор начинает протекать ток в базе транзистора VT3, который также открывается. При этом обмотка возбуждения генератора оказывается подключена к цепи питания через переход эмиттер - коллектор VT3.

Соединение транзисторов VT2 и VT3, при котором их коллекторные выводы объединены, а питание базовой цепи одного транзистора производится от эмиттера другого, называется схемой Дарлингтона. При таком соединении оба транзистора могут рассматриваться как один составной транзистор с большим коэффициентом усиления. Обычно такой транзистор и выполняется на одном кристалле кремния. Если напряжение генератора возросло, например, из-за увеличения частоты вращения его ротора, то возрастает и напряжение на стабилитроне VD2, при достижении этим напряжением величины напряжения стабилизации, стабилитрон VD2 "пробивается", ток через него начинает поступать в базовую цепь транзистора VT1, который открывается и своим переходом эмиттер - коллектор закорачивает вывод базы составного транзистора VT2, VT3 на "массу". Составной транзистор закрывается, разрывая цепь питания обмотки возбуждения. Ток возбуждения начинает протекать через диод VD3 и при этом спадает, уменьшается напряжение генератора, закрываются стабилитрон VT2, транзистор VT1, открывается составной транзистор VT2, VT3, обмотка возбуждения вновь включается в цепь питания, напряжение генератора возрастает и процесс повторяется. Таким образом регулирование напряжения генератора регулятором осуществляется дискретно через изменение

относительного времени включения обмотки возбуждения в цепь питания. При этом ток в обмотке возбуждения изменяется так, как показано на рис.12. Если частота вращения генератора возросла или нагрузка его уменьшилась, время включения обмотки уменьшается, если частота вращения уменьшилась или нагрузка возросла - увеличивается. В схеме регулятора (см. рис.11) имеются элементы, характерные для схем всех применяющихся на автомобилях регуляторов напряжения. Диод VD3 при закрытии составного транзистора VT2,VT3 предотвращает опасные всплески напряжения, возникающие из-за обрыва цепи обмотки возбуждения со значительной индуктивностью при запираии транзистора VT3 . В этом случае ток обмотки возбуждения может замыкаться через этот диод и опасных всплесков напряжения не происходит. Сопротивление R7 является сопротивлением положительной обратной связи.

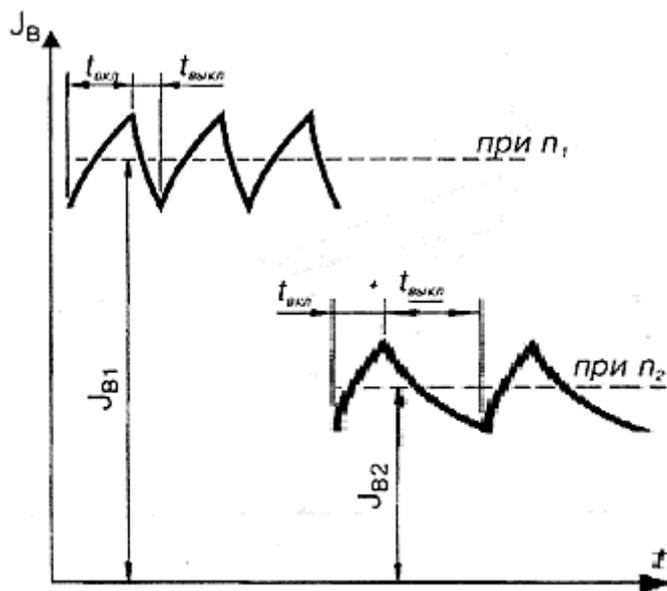


Рис.12. Изменение силы тока в обмотке возбуждения J_B по времени t при работе регулятора напряжения: $t_{вкл}$, $t_{выкл}$ - соответственно время включения и выключения обмотки возбуждения регулятора напряжения; n_1 n_2 - частоты вращения ротора генератора, причем n_2 больше n_1 ; J_{B1} и J_{B2} - средние значения силы тока в обмотке возбуждения

При открытии составного транзистора VT2, VT3 оно оказывается подключенным параллельно сопротивлению R3 делителя напряжения, при этом напряжение на стабилитроне VT2 резко уменьшается, это ускоряет переключение схемы регулятора и повышает частоту этого переключения, что благотворно сказывается на качестве напряжения генераторной установки. Конденсатор C1 является своеобразным фильтром, защищающим регулятор от влияния импульсов напряжения на его входе.

Из рис.11 хорошо видна роль лампы HL контроля работоспособного состояния генераторной установки (лампа контроля заряда на панели приборов автомобиля). При неработающем двигателе автомобиля замыкание контактов выключателя зажигания SA позволяет току от аккумуляторной батареи GA через эту лампу поступать в обмотку возбуждения генератора. Этим обеспечивается первоначальное возбуждение генератора. Лампа при этом горит, сигнализируя, что в цепи обмотки возбуждения нет обрыва. После запуска двигателя, на выводах генератора "D+" и "B+" появляется практически одинаковое напряжение, и лампа гаснет. Если генератор при работающем двигателе автомобиля не развивает напряжения, то лампа HL продолжает гореть и в этом режиме, что является сигналом об отказе генератора или обрыве приводного ремня. Введение резистора R в генераторную установку способствует расширению диагностических способностей лампы HL. При наличии этого резистора в случае обрыва цепи обмотки возбуждения при работающем двигателе автомобиля лампа HL загорается. В настоящее время все больше фирм переходит на выпуск генераторных установок без дополнительного выпрямителя для обмотки возбуждения. В этом случае в регулятор заводится вывод фазы генератора. При неработающем двигателе автомобиля, напряжение на выводе фазы генератора отсутствует и регулятор напряжения в этом случае переходит в режим, препятствующий разряду аккумуляторной батареи на обмотку возбуждения. Например, при включении

выключателя зажигания схема регулятора переводит его выходной транзистор в колебательный режим, при котором ток в обмотке возбуждения невелик и составляет доли ампера. После запуска двигателя сигнал с вывода фазы генератора переводит схему регулятора в нормальный режим работы. Схема регулятора осуществляет в этом случае и управление лампой контроля работоспособного состояния генераторной установки.

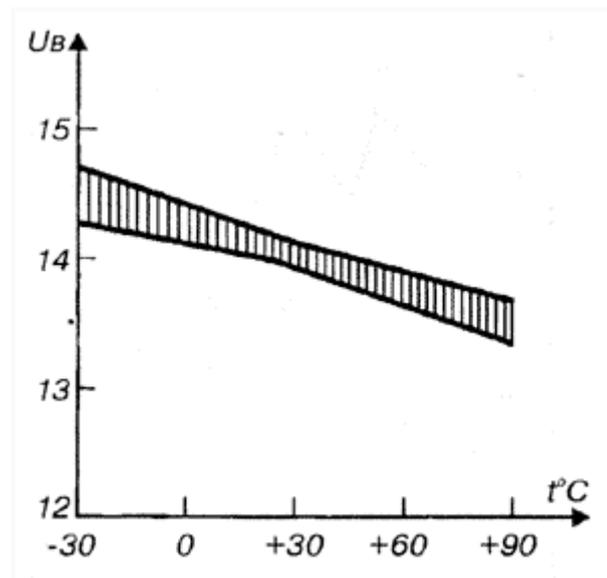


Рис.13. Температурная зависимость напряжения, поддерживаемого регулятором EE14V3 фирмы Bosch при частоте вращения 6000 мин^{-1} и силе тока нагрузки 5А.

Аккумуляторная батарея для своей надежной работы требует, чтобы с понижением температуры электролита, напряжение, подводимое к батарее от генераторной установки, несколько повышалось, а с повышением температуры - уменьшалось. В случае регуляторов фирмы Bosch, термокомпенсация в регуляторе подобрана с помощью диода VD1 таким образом, что в зависимости от температуры поступающего в генератор охлаждающего воздуха напряжение генераторной установки изменяется в заданных пределах.

На рис.13 показана температурная зависимость напряжения, поддерживаемая регулятором EE14V3 фирмы Bosch в одном из рабочих режимов. На графике указано также поле допуска на величину этого напряжения. Падающий характер зависимости обеспечивает хороший заряд аккумуляторной батареи при отрицательной температуре и предотвращение усиленного выкипания ее электролита при высокой температуре. По этой же причине на автомобилях, предназначенных специально для эксплуатации в тропиках, устанавливают регуляторы напряжения настроенные на заведомо более низкое напряжение, чем для умеренного и холодного климатов.

Работа генераторной установки на разных режимах

При пуске двигателя основным потребителем электроэнергии является стартер, сила тока достигает сотен ампер, что вызывает значительное падение напряжения на выводах аккумулятора. В этом режиме потребители электроэнергии питаются только от аккумулятора, который интенсивно разряжается. Сразу после пуска двигателя генератор становится основным источником электроснабжения. Он обеспечивает требуемый ток для заряда аккумулятора и работы электроприборов. После подзарядки аккумулятора разность его напряжения и напряжения генератора становится небольшой, что приводит к снижению зарядного тока. Источником электропитания по-прежнему является генератор, а аккумулятор сглаживает пульсации напряжения генератора.

При включении мощных потребителей электроэнергии (например, обогревателя заднего стекла, фар, вентилятора отопителя и т.п.) и небольшой частоте вращения ротора (малые обороты двигателя) суммарный потребляемый ток может быть больше, чем способен отдать генератор. В этом случае нагрузка ляжет на аккумулятор, и он начнет разряжаться, что можно контролировать по показаниям дополнительного индикатора напряжения или вольтметра.

Бесщеточные генераторы

Бесщеточные генераторы применяются там, где возникают требования повышенной надежности и долговечности, главным образом на магистральных тягачах, междугородных автобусах и т. п.

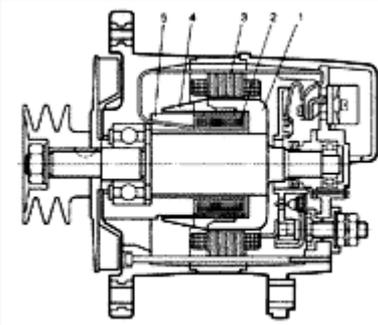


Рис.14. Бесщеточный генератор: 1,4 - полюсные половины, 2 - обмотки возбуждения, 3 – статор 4 - магнитопровод обмотки возбуждения

Повышенная надежность этих генераторов обеспечивается тем, что у них отсутствует щеточно-контактный узел, подверженный износу и загрязнению, а обмотка возбуждения неподвижна. Недостатком генераторов этого типа являются увеличенные габариты и масса. Бесщеточные генераторы выполняются с максимальным использованием конструктивной приемственности со щеточными. Наиболее распространена конструкция, бесщеточного автомобильного генератора, представленная на рис. 14. На выпуске генераторов такого типа специализируется американская фирма Deico-Remy, являющаяся отделением General Motors. Отличие этой конструкции состоит в том, что одна клювообразная полюсная половина посажена на вал, как у обычного щеточного генератора, а другая в урезанном виде приваривается к ней по клювам немагнитным материалом.

Каркас обмотки возбуждения помещен на магнитопровод, закрепленный на крышке генератора. Между этим магнитопроводом и полюсной системой имеется воздушный зазор. При вращении вала сидящая на

нем полюсная половина вместе с приваренной к ней другой полюсной половиной вращаются при неподвижной обмотке возбуждения. В принципе работа этого генератора аналогична работе генератора щеточного исполнения. Французская фирма Sev Marchal одно время выпускала бесщеточный генератор "Фред" с укороченными полюсами. Полюсные половины этого генератора раздвинуты и клювы не перекрывают друг друга. В щель между клювами проходят элементы крепления обмотки возбуждения к статору, которая при этом как бы висит над втулкой ротора. Некоторыми американскими фирмами выпускались и индукторные вентильные генераторы, но это продолжалось недолго так же, как и выпуск итальянской фирмой Ducati бесщеточных генераторов с возбуждением от постоянных магнитов и управляемым силовым выпрямителем на тиристорах.