

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСКОНТАКТНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы – изучение принципа действия и технических характеристик, особенностей схемного построения и экспериментальное определение параметров бесконтактного (электронного) регулятора напряжения (РН) 121.3702.

Основные этапы работы

1. Внеаудиторная подготовка к выполнению лабораторной работы.
2. Работа в лаборатории, связанная с проверкой принципа действия и экспериментальным исследованием характеристик РН 121.3702.
3. Обработка и анализ полученных экспериментальных данных, оформление отчета.
4. Защита лабораторной работы.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка включает в свой состав:

- исследуемый регулятор напряжения 121.3702;
- панель контрольных точек (КТ1–КТ5), к которой подведены напряжения в наиболее характерных точках электрической цепи РН;
- генератор Г221А, для работы в комплекте с которым предназначен исследуемый РН;
- испытательный стенд Э240;
- термостат;
- цифровой вольтметр постоянного тока;
- двухлучевой осциллограф.

Программа работы

1. Внеаудиторная подготовка:

1.1. Используя конспекты лекций, учебники, учебные пособия, справочные данные, а также методические указания:

- ознакомиться с назначением и принципом действия бесконтактных (электронных) регуляторов напряжения;
- изучить особенности схемной реализации, алгоритм работы и технические характеристики РН 121.3702;
- найти ответы на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях.

1.2. Подготовить к заполнению таблицы по образцам, приведенным в настоящем описании.

1.3. Ознакомиться с описанием экспериментальной установки.

2. Работа в лаборатории.

2.1. Подключить РН, используя панель контрольных точек (ПКТ), к генератору Г221-А и стенду Э240, как показано на рис. 1.1.

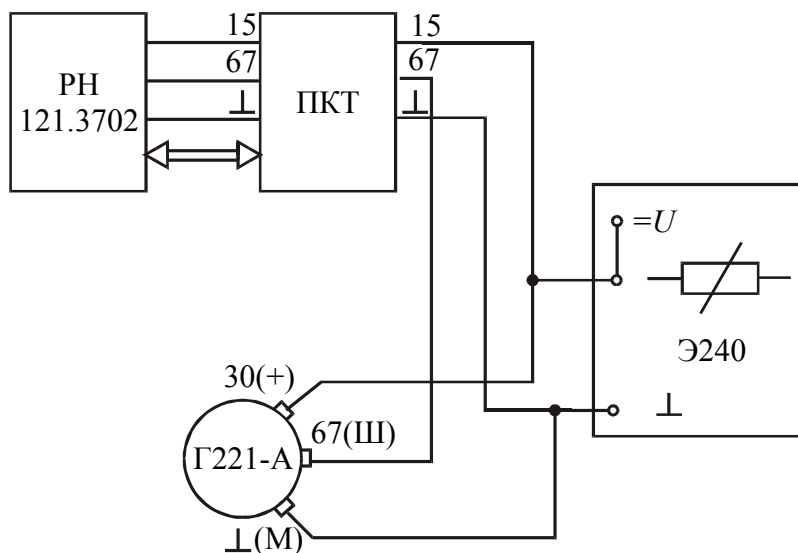


Рис. 1.1

2.2. Проверить соединение шкива генератора со второй ступенью (большого диаметра) шкива стенда. При необходимости, после ослабления винта натяжения клинового ремня, переставить его на вторую ступень и отрегулировать натяжение.

ПРИМЕЧАНИЕ: Натяжение ремня считается нормальным, когда при нажатии большим пальцем на ремень в середине между шкивами, его прогиб составит 15–20 мм.

2.3. Подготовить стенд Э240 к работе. Для этого:

а) установить переключатели в следующие положения:

- 16 (S1, омметра–тахометра–силоизмерителя)→ «3» (тахометр)
- 9 (S4, напряжения бортовой сети)→ «12В»
- 22 (S5, пределов измерения амперметра→ «30А»
- 29 (S6, режимов работы)→ «2» (испытание генераторов и реле–регуляторов)
- 30 (S7, тока нагрузки)→ «25А»
- 13 (S10, пределов измерения вольтметра)→ «1» (напряжение на нагрузке)

– 20 (S11) → «1» (выключено);

б) убедиться, что реостат нагрузки 5 (R3) выведен против часовой стрелки до упора;

в) подключить шнур питания датчика тахометра к гнезду 8 (X52);

г) включить стенд переключателем 2 (S3).

2.4. Подключить вольтметр к гнезду КТ1 панели контрольных точек, а первый канал осциллографа – к КТ5. Обеспечить синхронизацию по фронту импульсов напряжения на обмотке возбуждения $u_{КТ5}(t)$.

ПРИМЕЧАНИЕ: Все измерения (кроме напряжения U_0 задающего устройства) производить относительно общей точки ($\perp$).

2.5. Запустить генератор. Для этого нажать кнопку 25 «Пуск» (S12), затем на 1–2 секунды – кнопку принудительного возбуждения 24 (S9). Установить переключатель 29 S6 в положение «3» (испытание генераторов переменного тока совместно с реле–регулятором).

2.6. Увеличивая одновременно частоту вращения n_p ротора генератора (рукояткой 33 вариатора) и ток нагрузки I_n (изменением положения реостата 5 (R3)) установить с помощью тахометра 18 и амперметра 21 номинальный режим работы генератора для исследования РН: $n_{РН}=3500$ об/мин, $I_{нн}=14$ А.

ВНИМАНИЕ: Время непрерывной работы вариатора не должно превышать:

– 30 с при максимальной частоте вращения маховика;

– 2,5 мин при средней его частоте с перерывами между включениями 15 мин.

2.7. Измерить вольтметром среднее значение напряжения генератора $U_{гср}$, а затем, подключив его между КТ2 и КТ3, определить напряжение U_0 задающего устройства. Зафиксировать начальную температуру t_n° окружающей РН среды с помощью термометра термостата. Результаты измерений занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

t°	$^\circ\text{C}$	$t_n^\circ =$	30°	40°	50°	60°
$U_{гср}$	В					
U_0	В					

2.8. Подключая 2 канал осциллографа поочередно к КТ3 и КТ4, записывать осциллограммы напряжений соответственно на выходе устройства сравнения $u_{КТ3}(t)$ и устройства управления $u_{КТ4}(t)$ относительно сигнала

$u_{\text{КТ5}}(t)$, учитывая и постоянную, и переменную их составляющие. Определить длительность импульса $t_{\text{и}}$ и период T напряжения $u_{\text{КТ5}}(t)$. Результаты занести в табл. 1.2 и 1.3.

Таблица 1.2

$n_{\text{р}}$	об/мин	3500	2000	5000
$U_{\text{гср}}$	В			
$t_{\text{и}}$	мс			
T	мс			
ΔU	В			
$\gamma = t_{\text{и}}/T$				

2.9. Подключить 2 канал осциллографа к КТ1. Устранив постоянную составляющую, измерить размах пульсаций ΔU напряжения генератора $U_{\text{г}}$.

2.10. Устанавливая поочередно значения частоты вращения ротора $n_{\text{р}} = 2000$ об/мин и $n_{\text{р}} = 5000$ об/мин, произвести измерения напряжения генератора $U_{\text{гср}}$ (вольтметром), а также $t_{\text{и}}$ и T согласно п. 2.8. Результаты занести в табл. 1.2.

2.11. Устанавливая поочередно значения тока нагрузки $I_{\text{н}} = 5\text{А}$ и $I_{\text{н}} = 25\text{А}$, при номинальной частоте вращения ($n_{\text{р}} = 3500$ об/мин), произвести измерения аналогично п.2.8. Результаты занести в табл. 1.3.

Таблица 1.3

$I_{\text{н}}$	А	14	5	25
$U_{\text{гср}}$	В			
$t_{\text{и}}$	мс			
T	мс			
γ				

2.12. Во избежании перегрева ремней привода стенда перевести рукоятку 33 вариатора и реостат 5(R3) в исходное положение. Нажать кнопку 26 «Стоп» (S8). Включить термостат в сеть.

2.13. По достижении температуры окружающей исследуемый РН среды $t^{\circ} = 30^{\circ}\text{C}$ произвести запуск генератора (согласно п. 2.5) и установить номинальный режим его работы (в соответствии с п.2.6). Осуществить измерения согласно п.2.7 и занести их результаты в табл. 1.1. Вновь нажать кнопку 26 «Стоп» (S8).

2.14 Повторить последовательность действий, описанную в п. 2.13 при значениях температуры $t^{\circ} = 40, 50$ и 60°C .

2.15. По окончании экспериментальных исследований отключить стенд Э240 (выключателем S3), термостат и измерительные приборы от сети. Отсоединить РН от стенда.

3 Обработка экспериментальных данных

3.1. По данным табл. 1.1 в одной координатной плоскости построить графики зависимостей $U_{\text{гср}}(t^\circ)$ и $U_0(t^\circ)$. Определить средние температурные коэффициенты α_U данных напряжений по формуле

$$\alpha_U = \frac{(U(t_{\text{max}}^\circ)/U(t_{\text{н}}^\circ) - 1)}{t_{\text{max}}^\circ - t_{\text{н}}^\circ} \cdot 100 \quad [\%/^\circ \text{C}],$$

где $U(t_{\text{max}}^\circ)$ – соответствующее напряжение при $t_{\text{max}}^\circ = 60^\circ \text{C}$, и сравнить их между собой.

3.2. Проанализировать осциллограммы напряжений $u_{\text{КТ3}}(t)$, $u_{\text{КТ4}}(t)$ и $u_{\text{КТ5}}(t)$ с учетом принципа действия РН.

3.3. По данным табл. 1.2 определить относительную длительность импульсов тока в обмотке возбуждения γ . Построить график зависимости $\gamma(n_p)$, проанализировать его.

3.4. Проанализировать по данным табл. 1.2 зависимости напряжения генератора $U_{\text{гср}}$ и частоты переключений РН $f_{\text{п}} = 1/T$ от частоты вращения ротора генератора.

3.5. По данным табл. 1.2 определить напряжение срабатывания $U_{\text{срб}}$ и коэффициент возврата $K_{\text{воз}}$ для номинального режима работы РН.

3.6. По данным табл. 1.3 построить график зависимости $\gamma(I_{\text{н}})$ и проанализировать его.

3.7. Проанализировать по данным табл. 1.3 зависимость напряжения $U_{\text{гср}}$ и частоты переключений РН $f_{\text{п}}$ от тока нагрузки генератора.

3.8. На основании полученных экспериментальных данных сделать вывод о соответствии технических характеристик исследованного РН паспортным данным.

3.9. Составить отчет о проделанной работе.

Методические указания

Принцип действия и классификация регуляторов напряжения.

В современных системах электроснабжения автомобилей и тракторов (СЭС АиТ) источниками энергии являются генераторы переменного тока (ГПРТ) и аккумуляторные батареи (АБ).

Их параллельная работа протекает при изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания, нагрузки и температуры в широких пределах. В связи с перечисленными особенностями, учитывая, что для нормальной работы приемников электрической энергии необходима стабильность напряжения в бортовой сети, возникает задача регулирования напряжения, вырабатываемого ГПРТ.

Известно, что напряжение ГПРТ можно выразить формулой

$$U_{\Gamma} = \frac{C_E n I_B}{a + b I_B} - 2U_0 - R_{\text{экв}} I_H,$$

где a, b – коэффициенты, зависящие от конструкции ГПРТ и применяемых при его изготовлении материалов, C_E – конструктивная постоянная ГПРТ, n – частота вращения ротора, $2U_0$ – падение напряжения на диодах выпрямителя, $R_{\text{экв}}$ – эквивалентное сопротивление ГПРТ, учитывающее сопротивление обмотки якоря (статора) и выпрямителя, I_H – среднее значение выпрямленного тока нагрузки ГПРТ, I_B – ток в обмотке возбуждения ГПРТ.

Анализ данного выражения свидетельствует, что для обеспечения постоянства напряжения U_{Γ} при изменении в широких пределах частоты вращения (n) и нагрузки (I_H) необходимо менять ток возбуждения. Закон его изменения можно представить формулой

$$I_B = \frac{(U_{\Gamma} + R_{\text{экв}} I_H + 2U_0)a}{C_E n - (U_{\Gamma} + R_{\text{экв}} I_H + 2U_0)b},$$

из которой следует:

- 1) С повышением частоты вращения ротора n ток возбуждения должен уменьшаться;
- 2) При увеличении нагрузки I_H – возрастать.

В СЭС АиТ используются регуляторы напряжения дискретного действия, отличительной особенностью которых является квантование управляющего сигнала по уровню или его широтно–импульсная модуляция.

Процесс регулирования напряжения ГПРТ в таких РН может быть описан дифференциальными уравнениями

$$\begin{cases} u_{\text{н}}(t) = i_B R_B + L_B \frac{di_B}{dt} & 0 \leq t \leq t_{\text{н}} \\ u_{\text{п}}(t) = i_B R'_B + L'_B \frac{di_B}{dt} & 0 \leq t \leq t_{\text{п}} \end{cases},$$

где $u_{\text{и}}, u_{\text{п}}$ – напряжения, приложенные к цепи возбуждения во время импульсов ($t_{\text{и}}$) и пауз ($t_{\text{п}}$) соответственно; $R_{\text{в}}, R'_{\text{в}}$ – сопротивления цепи возбуждения во время импульсов и пауз; $L_{\text{в}}, L'_{\text{в}}$ – индуктивности цепи возбуждения во время импульсов и пауз соответственно.

Решение данной системы уравнений для среднего значения тока возбуждения $I_{\text{вср}}$ (при условии постоянства перечисленных выше величин) можно записать в виде

$$I_{\text{вср}} = \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в}}} [\gamma(1-k) + k] \left[1 - \frac{(1-k)(1-c)(1-e^{-\gamma T_{\text{в}}})(1-e^{-\gamma T_{\text{в}}/c})}{T_{\text{в}}[\gamma(1-k) + k](1-e^{[\gamma+(1-\gamma)/c]T_{\text{в}}})} \right],$$

где $k = \frac{U_{\text{п}} R_{\text{в}}}{U_{\text{и}} R'_{\text{в}}}$ – коэффициент, учитывающий изменение структуры регули-

рования, $c = \frac{\tau'_{\text{в}}}{\tau_{\text{в}}} = \frac{L'_{\text{в}}}{R'_{\text{в}}} \cdot \frac{R_{\text{в}}}{L_{\text{в}}}$ – коэффициент, учитывающий изменение пара-

метров цепи возбуждения (постоянных времени $\tau_{\text{в}}$ и $\tau'_{\text{в}}$), $\gamma = \frac{t_{\text{и}}}{T}$ – относи-

тельная длительность импульса, $T_{\text{в}} = \frac{T}{\tau_{\text{в}}}$ – относительная длительность пе-

риода переключений, T – период переключений.

В применяемых РН используется простейший способ регулирования – при $c=1, k=0$. В этом случае $U_{\text{п}}=0$, также, как и минимальное значение тока возбуждения $I_{\text{вmin}}=0$. Тогда уравнение для среднего значения примет вид

$$I_{\text{вср}} = \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в}}} \gamma = \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в}}} \cdot \frac{t_{\text{и}}}{T},$$

который аналогичен основному уравнению импульсных стабилизаторов напряжения. Поэтому регулирование напряжения автотракторных генераторов можно осуществлять тремя путями:

1) с использованием частотно–импульсной модуляции (ЧИМ) – путем изменения периода импульсов T при постоянной их длительности $t_{\text{и}}=\text{const}$;

2) с использованием широтно–импульсной модуляции (ШИМ) – изменением $t_{\text{и}}$ при $T=\text{const}$;

3) комбинированный – при одновременном изменении $t_{\text{и}}$ и T . По аналогии с импульсными стабилизаторами его можно назвать релейным способом регулирования.

РН с ЧИМ практического применения не нашли.

В настоящее время наибольшее распространение получили релейные РН. Процесс регулирования в них протекает следующим образом (см. временные диаграммы на рис. 1.2).

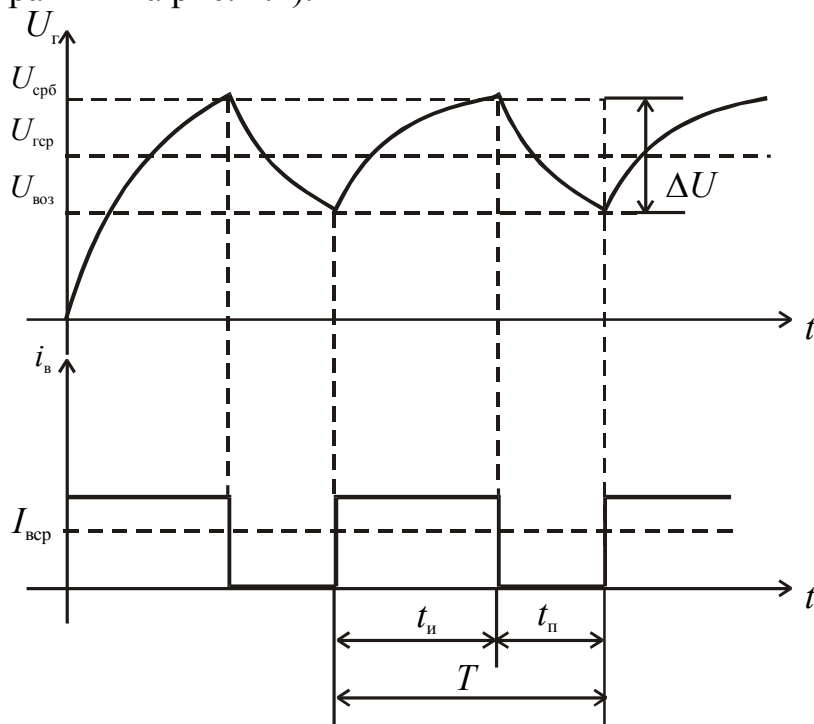


Рис. 1.2

Когда напряжение генератора U_g меньше уровня срабатывания $U_{срб}$ электронного реле, возникает процесс самовозбуждения ГПРТ под действием тока I_b , протекающего по обмотке возбуждения. Как только оказывается, что $U_g = U_{срб}$, обмотка возбуждения отключается от источника энергии ($I_b = 0$), что приводит к уменьшению U_g . Как только оно достигает уровня возврата ($U_g = U_{воз}$), такое реле срабатывает вновь, подключая обмотку возбуждения к источнику, восстанавливая первоначальную структуру регулирования. Под действием I_b напряжение генератора вновь начинает возрастать в течение интервала времени $t_{и}$, пока не достигнет порога срабатывания $U_g = U_{срб}$. Далее процесс периодически повторяется через интервалы времени T . Изменения частоты вращения ротора ГПРТ n и нагрузки I_n приводят к изменению среднего значения тока возбуждения I_b за счет изменения соотношения $t_{и}$ и T , а среднее значение напряжения генератора $U_{гср}$ остается постоянным в пределах диапазона регулирования.

Основными параметрами РН дискретного действия являются напряжение срабатывания $U_{срб}$ и коэффициент возврата

$$k_{воз} = \frac{U_{воз}}{U_{срб}} < 1.$$

Через эти параметры можно выразить:

- 1) среднее значение напряжения, которое поддерживает регулятор

$$U_{\text{гср}} = \frac{U_{\text{срб}} + U_{\text{воз}}}{2} = 0,5(1 + k_{\text{воз}})U_{\text{срб}};$$

- 2) размах пульсаций регулируемого напряжения

$$\Delta U = U_{\text{срб}} - U_{\text{воз}} = (1 - k_{\text{воз}})U_{\text{срб}};$$

- 3) среднее значение тока возбуждения

$$I_{\text{вср}} = \frac{aU_{\text{гср}}}{c_E n - bU_{\text{гср}}};$$

- 4) максимальное значение тока возбуждения

$$I_{\text{вmax}} = \frac{aU_{\text{срб}}}{c_E n - bU_{\text{срб}}}.$$

Из этих выражений могут быть получены формулы для определения по экспериментальным данным значений следующих величин:

1. Напряжения срабатывания

$$U_{\text{срб}} = U_{\text{гср}} + 0,5\Delta U;$$

2. Коэффициента срабатывания

$$k_{\text{воз}} = \frac{U_{\text{срб}} - \Delta U}{U_{\text{срб}}}.$$

Качество регулятора напряжения определяется стабильностью среднего значения напряжения генератора $U_{\text{гср}}$, амплитудой его пульсаций $\Delta U_{\text{г}}/2$, а также частотой переключений $f_{\text{п}} = 1/T$ (оптимальное значение которой лежит в диапазоне 50–300 Гц). При этом следует учитывать, что значения $t_{\text{и}}$ и T зависят от параметров релейного элемента $U_{\text{гср}}$, $\Delta U_{\text{г}}$, от параметров генератора a , b , c_E , R_b , L_b , а также от схемы регулирования (k , c).

РН дискретного действия по виду используемых в них элементов делятся на два класса:

- контактные (на электромагнитных реле);
- бесконтактные (электронные, на транзисторах).

Из-за присущих контактным РН недостаткам – низкой надежности, малого срока службы (120–150 тыс. км пробега), необходимости периодической поверки и регулировки, значительных габаритах и массе, в настоящее время в составе СЭС АиТ они не применяются.

Помимо более высоких надежности и срока службы (200–250 тыс. км пробега), меньших габаритов и массы, большей технологичности производства, к достоинствам бесконтактных РН можно отнести обеспечение высокой стабильности напряжения генератора в широких диапазонах изменения частоты вращения ротора, нагрузки и температуры окружающей

среды, малую амплитуду пульсаций (коэффициент возврата у них составляет $k_{\text{воз}} = 0,9 \dots 0,98$), оптимальную частоту переключений.

Структурная схема системы автоматического регулирования напряжения генератора с бесконтактным регулятором напряжения релейного типа показана на рис. 1.3.

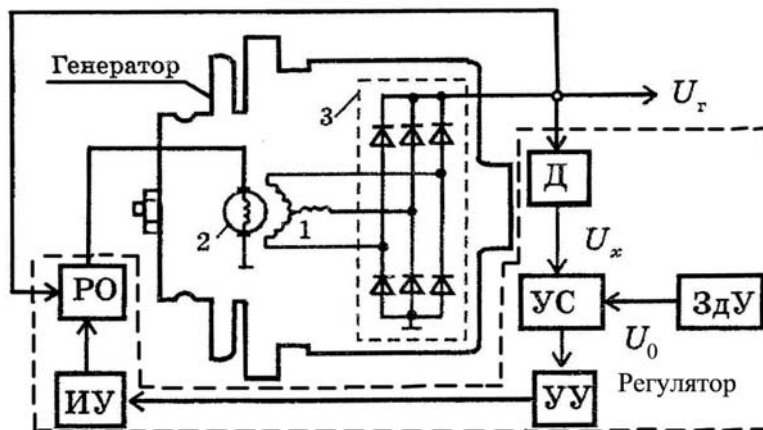


Рис. 1.3

В нее входят:

- генератор, включающий трехфазную обмотку статора 1, ротор с обмоткой возбуждения 2, трехфазный двухполупериодный выпрямитель 3;
- регулятор напряжения в составе:

Д – делитель напряжения;

УС – устройство сравнения;

ЗдУ – задающее устройство;

УУ – устройство управления;

ИУ – исполнительное устройство;

РО – регулирующий орган.

При включении привода ГРПТ на обмотку возбуждения через РО подается напряжение аккумуляторной батареи. При увеличении частоты вращения ротора возрастает напряжение на выходе генератора. Часть его (U_x), снимаемая с делителя, поступает на УС, где сравнивается с образцовым U_0 , формируемым ЗДУ. Разность $\Delta U = U_x - U_0$ поступает на УУ, которое формирует закон управления. На основе полученного сигнала управления ИУ управляет РО, с помощью которого уменьшается ток возбуждения. Напряжение на выходе ГПРТ уменьшается. Таким же образом производится увеличение напряжения U_r при уменьшении частоты вращения ротора или увеличении тока нагрузки.

Такие структура и принцип действия использованы при построении РН 121.3702, разработанного для замены контактно-вибрационного регу-

лятора РР380, применяемого с ГПРТ Г221–А в составе СЭС автомобилей ВАЗ моделей 2101, 2102, 2103, 2106, 2121.

Состав и работа РН 121.3702

Особенностью генератора Г221А является заземление одного из выводов обмотки возбуждения, что нашло свое отражение в специфике электрической принципиальной схемы данного РН, приведенной на рис. 1.4. Делитель напряжения образован резисторами $R1$ и $R2$, причем в процессе настройки регулятора параллельно одному из них (обычно $R2$) добавляется еще один, сопротивление которого подбирается из условия обеспечения требуемого напряжения срабатывания.

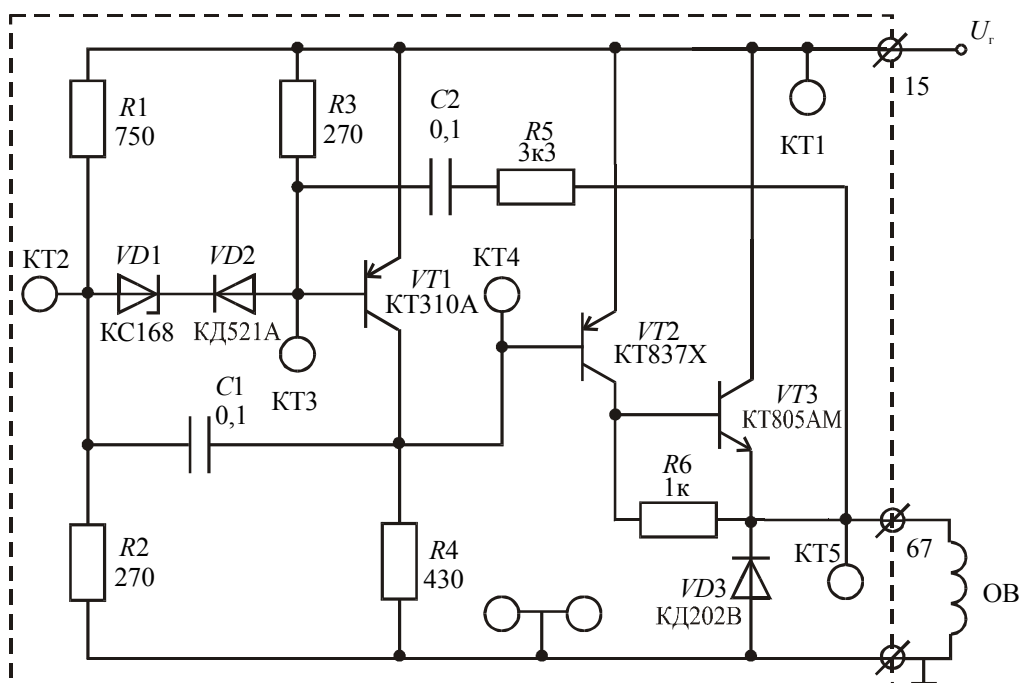


Рис. 1.4

Задающее устройство реализовано на стабилитроне $VD1$. С помощью дополнительного диода $VD2$ обеспечивается требуемый температурный коэффициент регулируемого напряжения, который для СЭС АиТ должен быть отрицательным и составлять

$$\frac{\Delta U_{\text{rnp}}}{M^{\circ}} \approx -(0,006...0,012) \text{ B}^{\circ}\text{C},$$

т.е. с увеличением температуры напряжение генератора должно уменьшаться и наоборот. Это требуется для предотвращения перезаряда аккумуляторной батареи при повышении температуры электролита.

Функции устройств сравнения и управления выполняет усилитель, собранный на $p-n-p$ транзисторе $VT1$ и резисторах $R3$ и $R4$, по схеме с общим эмиттером.

Составной транзистор, собранный по схеме Шиклаи и состоящий из $p-n-p$ транзистора $VT2$, $n-p-n$ транзистора $VT3$, и резистора $R6$ представляет собой совокупность исполнительного устройства и регулирующего органа.

Диод $VD3$ предназначен для защиты выходного транзистора $VT3$ от перенапряжений, обусловленных э.д.с. индукции, которая наводится в обмотке возбуждения при ее отключении от источника энергии.

Последовательно соединенные резистор $R5$ и конденсатор $C2$ образуют цепь «гибкой» положительной связи, обеспечивающей более высокую скорость переключения транзисторов $VT1 - VT3$.

Конденсатор $C1$ обеспечивает фильтрацию (устранение пульсаций) той части напряжения генератора, которая поступает на вход устройства сравнения.

Работу РН поясняют временные диаграммы, приведенные на рис. 1.5.

При включении зажигания на вход «15» поступает напряжение АБ, значение которого меньше уровня срабатывания РН. Поэтому стабилитрон $VD1$ не находится в режиме стабилизации (не пробит), ток через него практически не течет, напряжение u_{KT3} на резисторе $R3$ (а, следовательно, и на базе транзистора $VT1$) близко к входному. В итоге напряжение на переходе эмиттер–база $VT1$ меньше порогового, и он находится в режиме отсечки (закрит). Напряжение u_{KT4} на его коллекторе (и одновременно на базе $VT2$) равно нулю. А это означает, что напряжение перехода эмиттер–база $VT2$ существенно больше порога его срабатывания, и он находится в состоянии насыщения. При этом находится в насыщении и выходной транзистор $VT3$, поскольку напряжение на его переходе база–эмиттер также оказывается больше порогового за счет падения напряжения на резисторе $R6$. Таким образом обмотка возбуждения ОВ генератора оказывается подключенной к напряжению аккумуляторной батареи, и по ней протекает ток, значение которого изменяется по экспоненциальному закону

$$i_B(t) = \frac{U_{\Gamma} - U_{\text{нас}3}}{R_B} (1 - e^{-t/\tau_B}),$$

где U_{Γ} – напряжение на входе РН, $U_{\text{нас}3}$ – напряжение насыщения транзистора $VT3$ (перехода коллектор–эмиттер), $\tau_B = R_B/L_B$ – постоянная времени обмотки возбуждения, $R_B \approx 4,3 \text{ Ом}$ – сопротивление обмотки возбуждения.

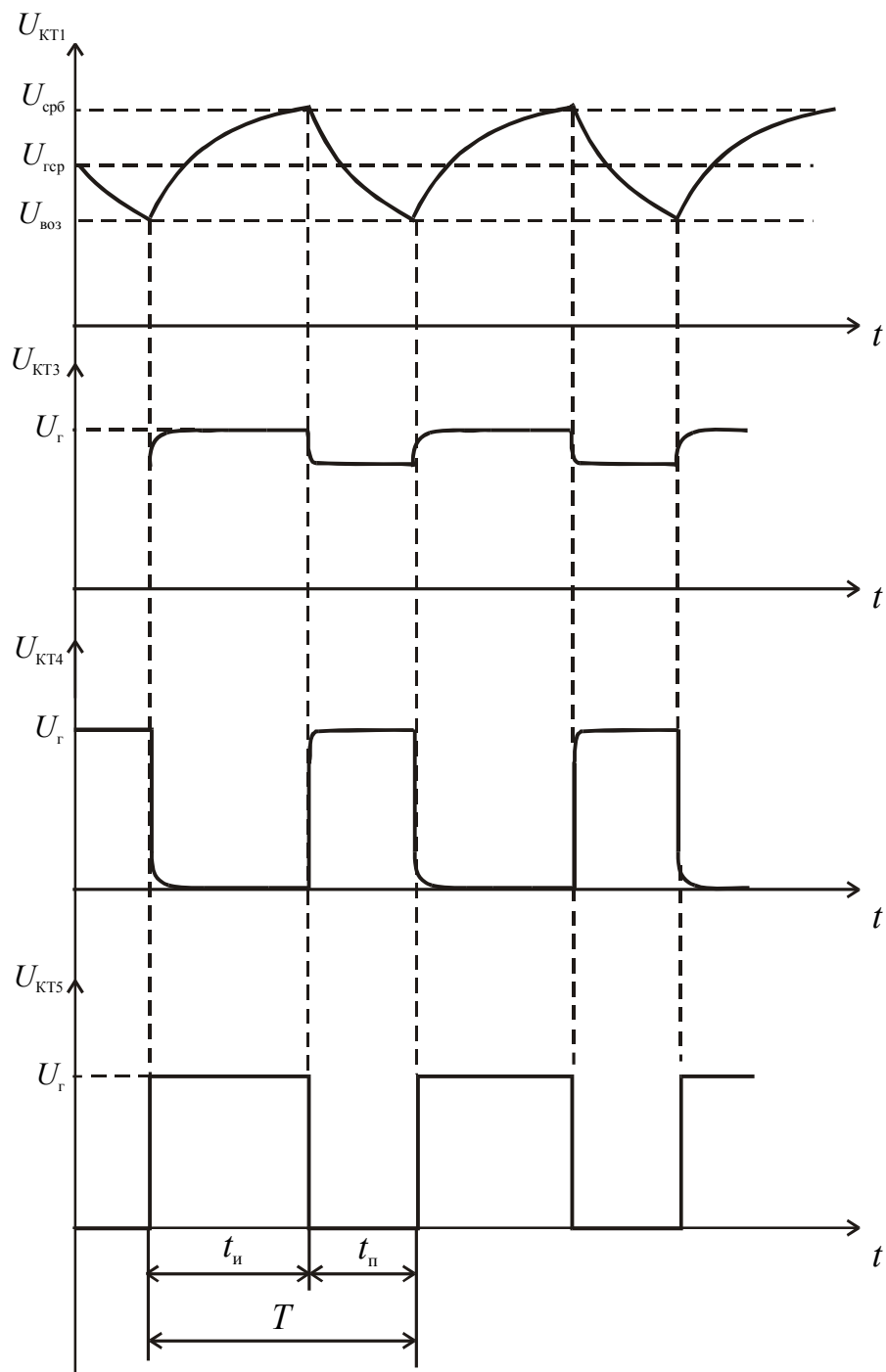


Рис. 1.5

Напряжение, вырабатываемое генератором, начинает возрастать, и в момент времени t_1 оно достигнет порога срабатывания регулятора $U_{срб}$. Это приводит к пробиванию стабилитрона $VD1$ и протеканию тока стабилизации по цепи $+U_r-R3-VD2-VD1-R2-\perp$. Падение напряжения на переходе эмиттер–база $VT1$, равное

$$u_{эб}(t_1)=I_{ср}R3,$$

превысит пороговое, и он начинает открываться, что приводит к росту потенциала базы транзистора $VT2$. За счет уменьшения напряжения на переходе эмиттер–база, он начинает закрываться, что ведет к переходу в активный режим и выходного транзистора $VT3$. Напряжение $u_{КТ5}$ существенно уменьшается. Это приводит к появлению тока заряда конденсатора $C2$, который протекает по цепи $+U_r-R3-C2-R5-OB-\perp$. Дополнительное падение напряжения на резисторе $R3$ ускоряет процесс перехода транзисторов: $VT1$ – в режим насыщения, а $VT2$ и $VT3$ – в режим отсечки. Благодаря диоду $VD3$ при этом удастся избежать скачка напряжения на эмиттере транзистора $VT3$ (и выхода его из строя), обусловленного э.д.с. индукции в обмотке возбуждения при резком уменьшении тока i_b . Энергия, запасенная в индуктивности, постепенно расходуется при протекании тока по цепи «67»– $OB-\perp-VD3$, значение которого плавно уменьшается по опять–таки экспоненциальному закону, но с другой постоянной времени

$$\tau' = (R_b + R_{VD3})L_b,$$

где R_{VD3} – динамическое прямое сопротивление диода $VD3$.

После отключения тока в OB напряжение генератора начинает уменьшаться и в момент t_2 достигает уровня возврата $U_{воз}$. Это приведет к запиранию стабилитрона $VD1$, уменьшению тока в резисторе $R3$ и уменьшению напряжения на переходе эмиттер–база транзистора $VT1$. Он начинает закрываться, следствием чего является повышение напряжения эмиттер–база транзистора $VT2$. Он, а затем и $VT3$ начинают открываться, переходя в активный режим работы. Напряжение $u_{КТ5}$ существенно повышается, что приводит к разряду конденсатора $C2$ по цепи $+U_r-VT3-R5-C2-R3$. Обратная по сравнению с предыдущим интервалом времени полярность тока в резисторе $R3$ обеспечивает увеличение скорости перехода транзисторов: $VT1$ – в режим отсечки, а $VT2$ и $VT3$ – в режим насыщения. Таким образом наличие цепи «гибкой» обратной связи $C2, R5$ позволяет ускорить процессы переключения транзисторов, сократить время их пребывания в активном режиме и тем самым уменьшить тепловые потери в них.

Ток в обмотке возбуждения, а, значит, и напряжение генератора снова начнут возрастать до тех пор, пока в момент t_3 окажется $U_r = U_{срб}$. В дальнейшем процесс периодически повторяется. Скважность импульсов тока $Q = T/t_{и}$ (следовательно, и среднее значение тока возбуждения) будет оставаться постоянной в неизменных условиях работы генератора. Если же они поменяются, произойдет следующее. При уменьшении, например, частоты вращения ротора скорость нарастания напряжения U_r уменьшится и скважность импульсов i_b возрастает. А при уменьшении нагрузки (I_n) генератора, она наоборот уменьшится из–за более быстрого роста U_r в интервалы времени $t_{и}$.

Благодаря применению диода $VD2$, напряжение на $p-n$ переходе которого уменьшается примерно на 2,1 мВ при увеличении температуры на каждый градус, удастся скомпенсировать положительный ТКН стабилизатора $VD1$ и обеспечить рекомендуемое понижение напряжения генератора с ростом температуры окружающей среды.

Технические характеристики РН 121.3702

Регулируемое напряжение, В	условия		
	$t^{\circ}, ^{\circ}\text{C}$	n , об/мин	I_n , А
13,8...14,4	25 ± 10	3500	14
13,4...14,6	$-40 \dots +80$	3000...10500	5...28

– Падение напряжения между выводами «15» и «67»

при токе $I_B = 3\text{ А}$ (на транзисторе $VT3$)..... не более 1,6В

– масса..... 0,12 кг

Достижения микроэлектроники привели к появлению в середине 70-х годов бесконтактных РН, выполненных в виде гибридных микросхем (так называемых, интегральных РН). Принцип действия большинства их них, таких, как Я112А, Я112В, Я120М, 17.3702, практически ничем не отличается от рассматриваемого.

Однако, в последнее время все более широко начинают применяться РН с ШИМ. Как известно, в отличие от релейного, данный способ позволяет осуществлять регулирование по постоянной составляющей выходного напряжения. Следовательно, принципиально возможно обеспечить нулевые пульсации напряжения генератора, и тем самым повысить качество электрической энергии в СЭС АиТ. К таким регуляторам относятся Я212А11Е и его аналог 36.3702.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение регуляторов напряжения?
2. Как осуществляется стабилизация напряжения автотракторных генераторов?
3. В чем заключаются особенности регуляторов напряжения дискретного действия?
4. Какие способы регулирования используются на практике для стабилизации напряжения автотракторных генераторов?
5. В чем заключается принцип действия регуляторов напряжения релейного типа?

6. Какие параметры регуляторов напряжения дискретного действия являются основными?

7. Каковы типовые значения коэффициента возврата $k_{\text{воз}}$ у бесконтактных регуляторов напряжения?

8. Какие значения частоты переключений $f_{\text{п}}$ регулятора напряжения считаются оптимальными?

9. Каким должен быть температурный коэффициент напряжения регулятора напряжения? Почему?

10. Каково назначение отдельных узлов структурной схемы бесконтактного регулятора напряжения релейного типа?

11. Каково назначение отдельных элементов принципиальной схемы РН 121.3702?

12. Каковы технические характеристики РН 121.3702?

Литература

1. Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования. Под общ. ред. М.Н.Фесеевко.—М.: Машиностроение, 1992—384 с.

2. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей.—М.: Транспорт, 2000.

3. Чижков Ю.П., Акимов А.В. Электрооборудование автомобилей. Учебник для вузов.—М.: Изд-во За рулем, 2000 —384 с.

4. Литвиненко В.В. Электрооборудование автомобилей ВАЗ.—М.: Изд-во За рулем, 1998.—240 с.