

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Б. В. ЛУКУТИН, А. Б. ЦУКУБЛИН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

В связи с расширением области применения тиристорных преобразователей и созданием на их основе машинно-вентильных комплексов, возникает проблема создания быстродействующих регуляторов напряжения, работающих при несинусоидальной форме кривой напряжения генератора. Для генераторов переменного тока принципиальным является вопрос — по какому значению напряжения осуществлять регулирование: по амплитудному, среднему или действующему. В зависимости от решения этого вопроса выбирается схема чувствительного элемента. Следует отметить, что при синусоидальной форме кривой можно добиться достаточной стабильности переменного напряжения путем регулирования по любому из его значений [1, 2].

На практике часто требуется получать стабильное действующее значение несинусоидального напряжения синхронного генератора в широком диапазоне изменения нагрузки и частоты. В этом случае чувствительный элемент должен реагировать на действующее значение несинусоидального переменного напряжения:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}.$$

Из этого выражения следует, что датчик действующего значения должен быть решающим устройством, выполняющим последовательно операции возведения в квадрат текущего значения напряжения, интегрирования и извлечения квадратного корня. То есть датчик действующего значения получается довольно сложным, ненадежным и не обеспечивающим высокую точность измерения. Значительный интерес в этой связи представляют методы измерения действующего значения, использующие эффект теплового воздействия. Из них наиболее простым и точным является применение в качестве датчика действующего значения лампочки накаливания, преобразующей напряжение генератора в световой поток, который регистрируется фотоприемником. Фотоприемником могут быть фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и др. Лампочка накаливания представляет собой универсальный управляемый источник света для широкого класса оптронных пар. Она позволяет легко получать высокие уровни освещенности на рабочей площади фотоприемника, что снижает требования к его чувствительности и коэффициенту усиления [3].

В настоящей статье описан регулятор напряжения генератора переменного тока, в котором в качестве датчика действующего значения

применена оптронная пара: лампочка накаливания — фоторезистор, включенная в мостовую схему (рис. 1 а). Напряжение U_c , пропорциональное напряжению генератора, снимается с диагонали моста (рис. 1 а), к другой диагонали которого прикладывается напряжение питания U_0 . В плечо моста включен фоторезистор r_ϕ , который работает

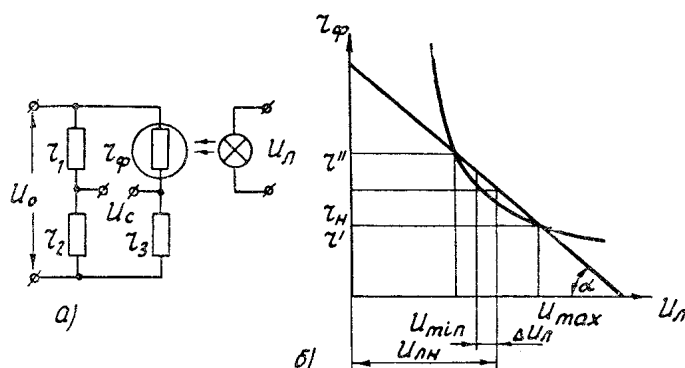


Рис. 1. Датчик действующего значения: а — схема; б — зависимость сопротивления фоторезистора от напряжения на лампочке накаливания

в режиме управляемого сопротивления. Зависимость сопротивления фоторезистора от напряжения на лампочке накаливания представлена на рис. 1 б. Напряжение генератора и соответственно на лампочке накаливания меняется в узком диапазоне от U_{min} до U_{max} , поэтому рабочий участок зависимости $r_\phi = f(U_L)$ можно аппроксимировать прямой с соответствующим коэффициентом наклона. Тогда в соответствии с рис. 1.

$$U_c = \frac{U_0 r_\phi}{r_3 + r_\phi} - \frac{U_0 r_1}{r_1 + r_2},$$

где

$$r_\phi = r' + (U_{max} - U_L) \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{r'' - r'}{U_{max} - U_{min}}.$$

Следовательно, изменение напряжения моста ΔU_c за счет изменения напряжения лампочки ΔU_L определится выражением

$$\Delta U_c = \frac{U_0 (r_H + \Delta U_L \operatorname{tg} \alpha)}{r_3 + r_H + \Delta U_L \operatorname{tg} \alpha} - \frac{U_0 r_1}{r_1 + r_2}. \quad (1)$$

Выражение (1) показывает, что величина ΔU_c может быть значительной, а отношение напряжений U_c разбалансированного и сбалансированного моста может достигать очень больших величин. Следовательно, чувствительность регулятора может быть достаточно высокой.

Принципиальная схема регулятора изображена на рис. 2. Напряжение с диагонали моста подается на вход эмиттерного повторителя, собранного на транзисторах T_1, T_2 . Для увеличения входного сопротивления повторителя применена схема на составном триоде. С выхода эмиттерного повторителя напряжение разбалакса поступает в базовую цепь транзистора T_3 . Сюда же поступают положительные импульсы пилообразной формы с генератора пилообразного напряжения (ГПН), собранного на транзисторе T_8 . ГПН запускается мультивибратором, собранным на транзисторах T_6, T_7 . Эти напряжения сравниваются на сопротивлении r_6 . Транзистор T_3 закрывается, как только напряжение пилы

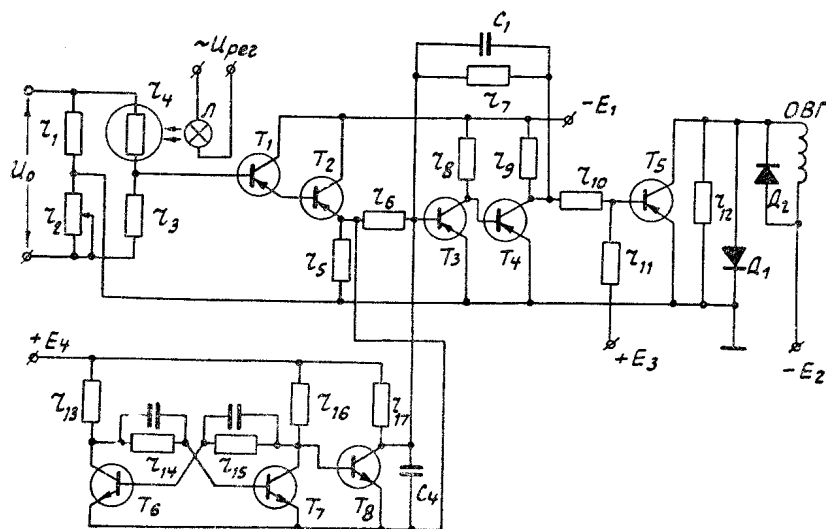


Рис. 2. Принципиальная схема регулятора напряжения

станет равным напряжению разбаланса моста и открывается как только напряжение разбаланса превысит напряжение пилы. Таким образом, транзистор T_3 работает как типичный релейный элемент, преобразуя плавно-изменяющийся сигнал, поступающий с эмиттерного повторителя, в серию импульсов, коэффициент заполнения которых $K_{зи}$ пропорционален величине этого сигнала. Коэффициент заполнения определяется выражением:

$$K_{зи} = \frac{t_{и}}{T},$$

где $t_{и}$ — время прохождения импульса тока в коллекторе транзистора T_3 ;

T — период рабочей частоты ГПН.

Соотношение между изменением величины сигнала разбаланса моста и соответствующим изменением длительности импульса показано на рис. 3. Рассмотрим случай, когда в результате изменения нагрузки

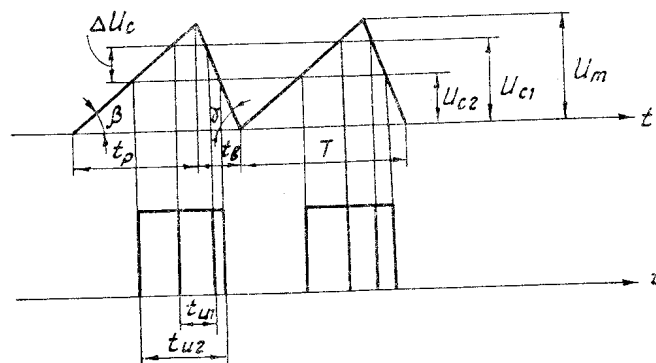


Рис. 3

генератора его выходное напряжение изменилось, значит изменилось и напряжение разбаланса моста с величины U_{c1} до U_{c2} . Следовательно, изменится и величина коэффициента заполнения $K_{зи}$. Изменение длительности импульса при изменении напряжения генератора определяется как

$$\Delta t_{\text{и}} = t_{\text{и}2} - t_{\text{и}1},$$

где $t_{\text{и}1}$ — длительность импульса, соответствующая первоначальному напряжению генератора;

или

$$\Delta t_{\text{и}} = \Delta U_{\text{с}} \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma} \right),$$

где

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{U_{\text{м}}}{t_{\text{р}}},$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{U_{\text{м}}}{t_{\text{в}}};$$

$U_{\text{м}}$ — амплитуда импульсов ГПН;

$t_{\text{р}}$ — рабочий ход пилы;

$t_{\text{в}}$ — период восстановления исходного состояния ГПН.

Обычно $t_{\text{р}} \gg t_{\text{в}}$

$$\Delta t_{\text{и}} \approx \frac{\Delta U_{\text{с}}}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (2)$$

Поэтому длительность импульса тока в коллекторной нагрузке линейно зависит от величины приращения сигнала $\Delta U_{\text{с}}$, и тогда новое значение $K_{\text{зи}}$ определится как

$$K_{\text{зи}} = \frac{1}{T} \left(\frac{\Delta U_{\text{с}}}{\operatorname{tg} \beta} + t_{\text{и}1} \right),$$

где $\Delta U_{\text{с}}$ определяется выражением (1).

Таким образом, чувствительность регулятора определяется величиной $\Delta U_{\text{с}}$ и углом β , и для уменьшения погрешности необходимо повышать $\Delta U_{\text{с}}$, что вполне осуществимо для мостовой схемы, и уменьшать амплитуду пилы $U_{\text{м}}$.

Коэффициент заполнения, соответствующий номинальному значению регулируемого напряжения, устанавливается при помощи потенциометра r_2 . Цепочка положительной обратной связи c_1 — r_7 обеспечивает четкие фронты при перебросе усилителя. Смещение E_3 обеспечивает надежное и быстрое закрывание мощного транзистора T_5 . С выхода усилителя мощности импульсы поступают в обмотку возбуждения электрической машины, где демодулируются при помощи шунтирующего диода D_2 . Ток в обмотке возбуждения, при достаточно большой постоянной времени, практически не имеет пульсаций, а его величина определяется выражением

$$I_{\text{овг}} = \frac{E_2}{r_{\text{овг}}} \cdot K_{\text{зи}},$$

где $r_{\text{овг}}$ — сопротивление обмотки возбуждения генератора.

Диод D_1 служит для снятия перенапряжений с транзистора T_5 , а сопротивление r_{12} шунтирует его, облегчая режим работы силового транзистора.

Выполненный по приведенной схеме образец регулятора обеспечивал точность регулирования напряжения генератора $\pm 2\%$ при изменении нагрузки генератора от нуля до номинальной и двукратном изменении скорости вращения генератора. В качестве нагрузки генератора использовался полупроводниковый выпрямитель.

Для оптронной пары лампочка накаливания — фоторезистор использовались фотосопротивления типа СФ-2-5 и лампочки накаливания

типа СМ-36. Сопротивление фоторезистора на рабочем участке составляло 20—30 *ком*.

В настоящей статье описан регулятор напряжения, обеспечивающий стабилизацию действующего значения несинусоидального напряжения на выходе генератора с точностью $\pm 2\%$ в широком диапазоне изменений нагрузки и скорости вращения генератора. Регулятор отличается достаточной простотой, надежностью, хорошими весо-габаритными показателями.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Бунаков, Р. Г. Гаспаров. Полупроводниковые регуляторы напряжения и частоты электрических машин. Изд-во «Энергия», 1965.
2. Э. А. Лодочников, Е. Г. Орлов. К расчету импульсной системы регулирования электрических машин с неявно выраженным модулятором ширины импульсов. «Электричество», 1972, № 8.
3. С. В. Свечников. Элементы опто-электроники. М., изд-во «Энергия», 1971.