

ИЗВЕСТИЯ

ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 294

1976

**АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛЯТОРА
НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ТРАНЗИСТОРНЫМ
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ**

Л. А. ВОЛЫНСКАЯ, И. Г. СМЫШЛЯЕВА

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры вычислительной техники)

Регулятор напряжения переменного тока с транзисторным исполнительным органом представляет собой мостовую схему, два смежных плеча которой образованы обмотками W_1 и W_2 повышающего автотрансформатора, а два других — нагрузкой и выпрямительной мостовой схемой, в диагональ которой по постоянному току включен транзистор, управляемый цепью обратной связи [1] (рис. 1).

Проведем анализ работы регулятора для случая активной нагрузки, сделав допущение, что потери в автотрансформаторе отсутствуют, диоды выпрямительной мостовой схемы имеют идеальную характеристику, а вольт-амперные характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером заданы в виде семейства ломанных линий с одной точкой излома, у которых на начальном участке до точки излома наклон не зависит от тока базы [2]. В активной области с ростом тока базы крутизна вольт-амперной характеристики увеличивается.

Если к мостовой схеме приложено переменное синусоидальное напряжение, то после перехода напряжения через нулевое значение напряжение на нагрузке U_n и напряжение U_o будут определяться выражениями (1, 2)

$$U_n = U_{mc} \sqrt{\frac{a_0^2 + m^2 a_0 K_0^2 (1+K)^2}{a_0^2 + m^2 (K^2 + a_0)^2}} \sin \left[\omega t + \arctg \frac{m a_0 (K - a_0)}{a_0^2 + m^2 K (K^2 + a_0) (1+K)} \right] \quad (1)$$

$$U_o = U_{mc} \sqrt{\frac{a_0^2 + m^2 a_0^2 (1+K)^2}{a_0^2 + m^2 (K^2 + a_0)^2}} \sin \left[\omega t + \arctg \frac{m K (a_0 - K)}{a_0 + m^2 (1+K) (K^2 + a_0)} \right] \quad (2)$$

В выражениях (1), (2)

$$a_0 = \frac{\Delta U_{\text{кв}}}{\Delta I_k} \cdot \frac{1}{R_n};$$

$$m = \frac{\omega L_2}{R_n}; \quad K = \frac{W_1}{W_n}$$

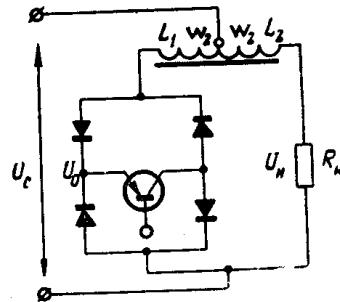


Рис. 1. Схема регулятора напряжения переменного тока с транзисторным органом

Для мощных транзисторов можно принять, что на начальном участке вольт-амперной характеристики

$$\frac{\Delta U_{\text{кэ}}}{\Delta I_{\text{k}}} \approx 10^{-1} \div 10^{-2} \text{ ом},$$

поэтому

$$U_0 = \frac{a_0(K+1) \cdot U_{mc}}{K^2} \sin \left[\omega t - \arctg \frac{1}{m(1+K)} \right] \quad (3)$$

и напряжение на нагрузке равно входному напряжению, умноженному на коэффициент трансформации автотрансформатора.

$$U_{\text{n}} = U_{mc} \frac{1+K}{K} \sin \omega t \quad (4)$$

Как видно из выражения (3), напряжение U_0 , являющееся напряжением перехода эмиттер-коллектор $U_{\text{кэ}}$ для транзисторного исполнительного органа, много меньше входного напряжения. До тех пор, пока рабочая точка находится на начальном участке вольт-амперной характеристики, напряжение на нагрузке изменяется согласно выражению (4).

С увеличением мгновенного значения входного напряжения при переходе на активный участок вольт-амперной характеристики происходит мгновенное увеличение коэффициента a , так как на этом участке для мощных транзисторов в зависимости от величины тока базы

$$a = \frac{\Delta U_{\text{кэ}}}{\Delta I_{\text{n}}} \cdot \frac{1}{R_{\text{n}}} = (1 \div 10^2) \text{ ом} \cdot \frac{1}{R_{\text{n}}}$$

Момент перехода на активный участок характеристики определяется выражением

$$\omega t_{k1} = \arcsin \frac{U_{0k}}{U_{mc}} \cdot \frac{K^2}{a_0(1+K)} + \arctg \frac{1}{m(1+K)}, \quad (5)$$

где U_{0k} — напряжение $U_{\text{кэ}}$, соответствующее излому вольт-амперной характеристики при заданном токе базы i_b .

Начиная с момента ωt_{k1} , напряжение на нагрузке может быть определено путем решения дифференциального уравнения

$$U_{\text{n}}(p) = U_c(p) \frac{a + p \frac{m\kappa}{\omega} (1+K)}{a + p \frac{m}{\omega} (a + K^2)} \quad (6)$$

при начальном условии

$$U_{\text{n}}(0) = \frac{U_{0k} K m (1+K)}{a_0 \sqrt{1+m^2(1+K^2)^2}} \left[1 + \frac{U_{mc} a_0}{\kappa^2 m U_{0k}} \sqrt{1 - \frac{U_{0k}^2 \cdot K^4}{U_{mc}^2 a_0^2 (1+K)^2}} \right] \quad (7)$$

Решение уравнения (6) имеет следующий вид:

$$U_{\text{n}} = U_{mc} \left\{ \frac{U_{0k}}{a_0 U_{mc}} \cdot \frac{K m (1+K)}{\sqrt{1+m^2(1+K^2)^2}} \left[1 + \frac{U_{mc} a_0}{U_{0k} K^2 m} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \sqrt{1 - \frac{U_{0k}^2 K^2}{U_{mc}^2 a_0^2 (1+K)^2}} \right] - \sqrt{\frac{a^2 + m^2 K^2 (1+K)^2}{a^2 + m^2 (K^2 + a)^2}} \times \right. \\ \left. \left. \times \sqrt{1 - \frac{U_{0k}^2 K^2}{U_{mc}^2 a_0^2 (1+K)^2}} \right] \right\}$$

$$\begin{aligned} & \times \sin \left[\omega t_{k_1} + \operatorname{arctg} \frac{ma(K-a)}{a^2 + m^2 K (K^2 + a) (1+K)} \right] \times e^{-\frac{at'}{m(K^2+a)}} + \\ & + \sqrt{\frac{a^2 + m^2 K^2 (1+K)^2}{a^2 + m^2 (K^2 + a)^2}} \sin \left[\omega t + \operatorname{arctg} \frac{ma(K-a)}{a^2 + m^2 K (K^2 + a) (1+K)} \right] \quad (8) \end{aligned}$$

Напряжение U_0 при этом определяется выражением

$$\begin{aligned} U_0 = U_{mc} \left\{ \left[\frac{U_{0k}}{U_{mc}} - \sqrt{\frac{a^2 + a^2 m^2 (1+K)^2}{a^2 + m^2 (K^2 + a)^2}} \sin (\omega t_{k_1} + \right. \right. \\ \left. \left. + \operatorname{arctg} \frac{mK(a-K)}{a + m^2(1+K)(K^2 + a)} \right] \cdot e^{-\frac{at'}{m(K^2+a)}} + \right. \\ \left. + \sqrt{\frac{a^2 + a^2 m^2 (1+K)^2}{a^2 + m^2 (K^2 + a)^2}} \sin \left[\omega t + \operatorname{arctg} \frac{mK(a-K)}{a + m^2(1+K)(K^2 + a)} \right] \right\} \quad (9) \end{aligned}$$

В выражениях (8), (9) $t' = t - t_{k_1}$. В момент времени $\omega t = \omega t_{k_2}$ напряжение вновь становится равным U_{0k} . Делая допущение, что $e^{-\frac{at_{k_2}}{m(K^2+a)}} \approx 1$, имеем $\omega t_{k_2} = 180^\circ - \omega t_{k_1}$.

Далее до конца полупериода напряжение на нагрузке определяется выражением (4).

Как указывалось выше, напряжение U_{0k} и коэффициент a являются функциями от тока i_b , причем с ростом i_b U_{0k} увеличивается, а a — уменьшается. Поэтому, согласно выражению (8), меняя ток i_b , можно при заданном значении U_{mc} в широких пределах осуществлять изменения напряжения U_n .

Максимальная кратность изменения действующего значения выходного напряжения регулятора U_n при постоянном входном напряжении определяется выражением

$$\frac{U_{n\max}}{U_{n\min}} = \frac{1+K}{K} \cdot \frac{a^2 + m^2 (K^2 + a)^2}{a^2 + m^2 K (1+K) (K^2 + a)}. \quad (10)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. РАЗИН, Л. А. ВОЛЫНСКАЯ. Стабилизатор напряжения переменного тока, а. с. № 401981. Бюллетень изобретений, № 41, 1973.
2. Г. И. АТАБЕКОВ, А. Б. ТИМОФЕЕВ, С. С. ХУХРИКОВ. Нелинейные цепи. М., «Энергия», 1970.