

## 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 ломаных 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.

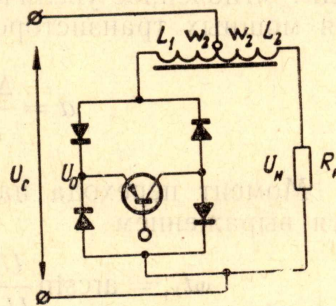


Рис. 1. Схема регулятора напряжения переменного тока с транзисторным исполнительным органом

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)

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

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

В выражениях (1), (2)

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

$$m = \frac{\omega L_2}{R_n}; \quad K = \frac{W_1}{W_2}$$

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

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

поэтому

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

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

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

Как видно из выражения (3), напряжение  $U_0$ , являющееся напряжением перехода эмиттер-коллектор  $U_{кэ}$  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

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

Момент перехода на активный участок характеристики определяется выражением

$$\omega t_{к1} = \arcsin \frac{U_{0к}}{U_{mc}} \cdot \frac{K^2}{a_0(1+K)} + \text{arctg} \frac{1}{m(1+K)}, \quad (5)$$

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

Начиная с момента  $\omega t_{к1}$ , напряжение на нагрузке может быть определено путем решения дифференциального уравнения

$$U_{н}(p) = U_{c}(p) \frac{a + p \frac{mK}{\omega} (1+K)}{a + p \frac{m}{\omega} (a + K^2)} \quad (6)$$

при начальном условии

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

Решение уравнения (6) имеет следующий вид:

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

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

Напряжение  $U_0$  при этом определяется выражением

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

В выражениях (8), (9)  $t' = t - t_k$ . В момент времени  $\omega t = \omega t_{k_2}$  напряжение вновь становится равным  $U_{0k}$ . Делая допущение, что  $e^{-\frac{at_{k_2}}{m(K^2+a)}} \simeq 1$ , 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  $i_0$ , причем с ростом  $i_0$   $U_{0k}$  увеличивается, а  $a$  — уменьшается. Поэтому, согласно выражению (8), меняя ток  $i_0$ , 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

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

#### 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.