ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА
Том 161 1967

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

А. И. ЗАЙЦЕВ, С. А. КИТАЕВА

При импульсном регулировании возбуждения ток возбуждения имеет пульсирующий характер. Наличие пульсаций тока приводит к потерям стали на вихревые токи и к дополнительным потерям в сопротивлении обмотки, вызванным различием эффективного значения тока при пульсирующем характере и при отсутствии пульсаций.

Кроме того, наличие пульсаций тока в обмотке возбуждения приводит к тому, что э.д.с. генератора носит колебательный характер также вызывая амплитудную модуляцию, приводящую к ухудшению динамических качеств систем.

В связи с этим при создании импульсных систем особое внимание необходимо уделять величине модуляции выходного напряжения. С этой точки зрения форма кривой тока и напряжения в установившемся режиме должна максимально приближаться к гладкой составляющей.

В данной статье рассматриваются вопросы пульсаций тока возбуждения и напряжения на якоре генератора постоянного тока в системе регулирования, в которой на обмотку возбуждения подаются прямоугольные импульсы напряжения с частотой $T_1$ и скважностью $\gamma_1$ в интервале времени $T\gamma$ и импульсы с периодом $T_2$ и скважностью $\gamma_2$ в интервале $T(1-\gamma)$ [1] рис. 1.

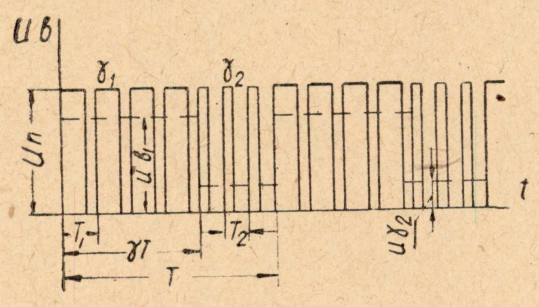


*Рис. 1.*

В такой системе коэффициент пульсаций тока, исходя из условия, что в интервале времени $T\gamma$ на обмотку возбуждения подается напряжение $U\gamma_1$, а в интервале времени $T(1-\gamma-$ $-U\gamma_2$, может быть определен как

$$\varkappa = \frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{мин}}} = \frac{\gamma_1(1-e^{-\beta\gamma}) + \gamma_2[1-e^{-\beta(1-\gamma)}]e^{-\beta\gamma}}{\gamma_1 e^{-\beta(1-\gamma)}(1-e^{-\beta\gamma}) + \gamma_2[1-e^{-\beta(1-\gamma)}]} \tag{1}$$

где

$$\beta = \frac{T}{T_{\text{в}}}; \qquad T_{\text{в}} = \frac{L_{\text{в}}}{R_{\text{в}}},$$

$R_в$, $L_в$ — активное сопротивление и индуктивность обмотки возбуждения.

Уменьшение коэффициента пульсаций можно получить путем увеличения частоты переключения. С этой целью частота переключения должна быть возможно большей. Однако увеличение частоты возможно до определенного уровня, при котором потери на переключение приводят к выводу из строя переключающих полупроводниковых приборов. Эта частота задается для каждого типа полупроводниковых приборов.

Поэтому с точки зрения нагрева полупроводниковых приборов и надежности работы системы частоту переключений целесообразно выбирать по условиям пульсаций при заданной относительной продолжительности включения [2].

Частота переключений для системы определится из (1). Так как точное выражение для определения периода колебаний получается сложным, считаем, что при $T_в \ll T$

$$1-e^{-\beta\gamma} \approx \beta\gamma; \qquad 1-e^{-\beta(1-\gamma)} \approx \beta(1-\gamma),$$

тогда

$$T = \frac{(\varkappa-1)\,[\gamma_2(1-\gamma)+\gamma_1\gamma]}{\gamma(1-\gamma)(\varkappa\gamma-\gamma_2)}\,T_в \qquad (2)$$

На основании (2) можно построить закон изменения периода повторения $T=f(\gamma)$ при постоянном заданном коэффициенте пульсаций (рис. 2).

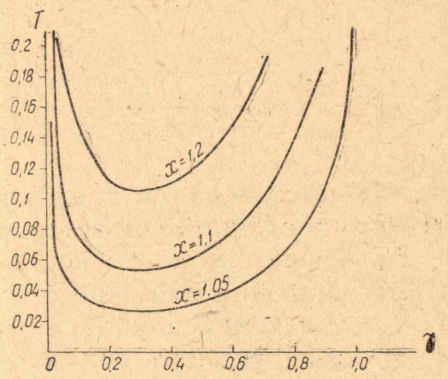


*Рис. 2.*

При работе генератора постоянного тока на линейном участке кривой намагничивания зависимость ЭДС от тока возбуждения $E=f(i_в)$ линейная и имеет вид

$$E = i\,\mathrm{tg}\,\sigma,$$

где $\sigma = \mathrm{const}$ и является углом наклона характеристики холостого хода к оси абсцисс. В этом случае полный размах пульсаций э. д. с. генератора можно определить как [3]

$$\Delta E = k\Delta i = E_{макс} - E_{мин} = \frac{E_{уст}(\gamma_1-\gamma_2)(1-e^{-\beta\gamma})[1-e^{-\beta(1-\gamma)}]}{1-e^{-\beta}}, \qquad (3)$$

где

$$E_{уст} = \frac{U\,\mathrm{tg}\,\sigma}{R_в},$$

а выражение (1) для коэффициента пульсаций тока будет справедливо и для коэффициента пульсаций э.д.с.

Таким образом, уменьшения модуляции выходного напряжения можно достичь путем увеличения постоянной времени обмотки возбуждения, либо повышением частоты переключения. Увеличение постоянной времени обмотки возбуждения связано с уменьшением быстродействия системы регулирования. Поэтому основным методом уменьшения модуляции является повышение частоты автоколебаний.

Частота переключения в данной системе определяется частотой переключения релейного элемента. В такой нелинейной системе частота автоколебаний и амплитуда определяются известными методами

нелинейной теории и зависят от свойств системы. Для системы второго порядка с характеристикой релейного звена, показанной на рис. 3 для определения частоты переключения и амплитуды в аналитической форме удобно воспользоваться приближенным методом гармонического баланса.

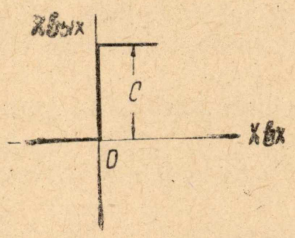


*Рис. 3.*

Ввиду того, что релейное звено имеет несимметричную характеристику, в системе автоматического регулирования возникают несимметричные автоколебания с постоянной составляющей:

$$U = U_0 + A \sin \omega t,$$

где $U_0$ — постоянная составляющая;
$A$ и $\omega$ — амплитуда и частота автоколебаний.

Анализируя систему автоматического регулирования, можно получить выражения для определения частоты и амплитуды автоколебания, выраженные через параметры системы.

Частота переключения системы определяется как

$$\omega = \sqrt{\frac{T_1 + T_в + (1 + k\beta)\tau}{T_1 T_в \tau}}, \tag{4}$$

$$A = \frac{2ck \cos\left[\pi - \left(\frac{C}{2} + U_0(1 + k\beta) + bI_я R_я\right)\frac{\pi}{c}\right]}{\pi\omega \sqrt{T_1^2 T_в^2 \omega_2 + (T_1 + T_в)^2}}, \tag{5}$$

где: $k$ — коэффициент усиления системы;
$T_1$; $T_в$ — постоянные времени системы;
$\tau$ — запаздывание в системе, вносимое импульсным элементом;
$I_я R_я$ — падение напряжения на якоре, изменяющееся в зависимости от изменения нагрузки;
$\beta$ — коэффициент обратной связи.

Смещение центра автоколебаний определяется параметрами системы и величиной нагрузки.

$$U_0 = \frac{k\left(\frac{c}{2} - \frac{c}{\pi} \arcsin \frac{U_0}{A}\right) + bI_я R_я}{1 + k\beta}. \tag{6}$$

Увеличение нагрузки на генератор приводит к увеличению амплитудной модуляции выходного напряжения генератора. Объясняется это тем, что с увеличением нагрузки смещение центра автоколебаний происходит в сторону увеличения, а это приводит к уменьшению величины скважности $\gamma$, в результате величина пульсаций напряжения увеличивается.

Анализы выражений (4), (5), (6) позволяют сделать практические рекомендации по выбору параметров системы из условия получения наибольшей частоты переключений и наименьшей амплитуды автоколебаний. Закон изменения амплитуды колебаний от частоты показан на рис. 4.

Экспериментальному исследованию подверглась импульсная система регулирования напряжения генератора постоянного тока. Исследования проводились в установившемся тепловом режиме, при этом

определялась величина пульсаций тока, амплитуда колебаний напряжения при различных нагрузках.

Наибольшая величина пульсаций тока возбуждения генератора наблюдалась при номинальной нагрузке и составляла 1,22, при этом амплитуда автоколебаний равна 0,15 в, что составляет 0,55%.

Сопоставление экспериментальных данных с расчетными по выведенным уравнениям дает расхождение 10—15%.

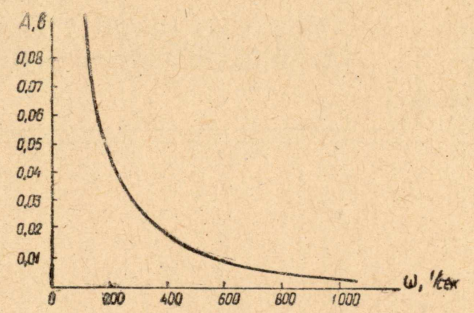


*Рис. 4.*

## ЛИТЕРАТУРА


1. А. И. Зайцев, С. А. Китаева. Релейно-импульсный регулятор напряжения генераторов постоянного тока, Известия ТПИ, т. 139, 1965.
2. А. П. Зайцев. Разработка и исследование некоторых импульсных устройств для управления электрическими машинами, Диссертация, ТПИ, 1964.
3. Е. Н. Попов, И. П. Пальтов. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем, Физматгиз, 1960.