Доклады Академии Наук СССР
1948. Том LXI, № 5

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Академик В. П. НИКИТИН, Н. П. КУНИЦКИЙ и В. К. ТУРКИН

ДИНАМИКА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА И ТОКА ВОЗБУЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ЛЕОНАРДА С АМПЛИДИННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Для возможности получения оптимальной формы кривой тока двигателя при скоростях выше основной необходимо, чтобы его ток возбуждения изменялся апериодически по определенному закону [1]. Имеющийся в схеме амплидинного управления регулятор нагрузки, как правило, должен работать только при перегрузке двигателя, вызванной приложенным к нему статическим моментом. Тогда можно исследовать систему управления током возбуждения двигателя на апериодичность изолированно от главной цепи.

Динамика амплидинного регулирования тока возбуждения двигателя и динамика амплидинного регулирования напряжения генератора Леонарда с целью поддержания его постоянным [2] описываются одинаковыми уравнениями.

Предполагаем, как это подтверждается экспериментальными данными, что токи в первичных цепях стабилизирующих и противоперерегулировочного трансформаторов пропорциональны приложенным к этим цепям напряжениям.

При учете электромагнитной инерции вторичной цепи противоперерегулировочного трансформатора, который в обоих случаях амплидинного регулирования вводит противоперерегулировочный импульс в состав управляющих ампервитков амплидина, имеем характеристическое уравнение процессов регулирования эдс генератора и тока возбуждения двигателя при наличии двух стабилизирующих и противоперерегулировочного трансформаторов в виде:

$$p^5 I_в + \left(\frac{1}{T_в} + \frac{1}{T_{вв}} + \frac{1}{T_к} + \frac{1}{T_у} + \frac{1}{T_2} + \frac{b_{ста}}{T_к T_2}\right) p^4 I_в +$$

$$+ \left[\frac{1}{T_в T_{вв}} + \frac{1}{T_в T_к} + \frac{1}{T_в T_у} + \frac{1}{T_у T_2} + \frac{1}{T_{вв} T_к} + \frac{1}{T_{вв} T_у} + \right.$$

$$+ \frac{1}{T_{вв} T_2} + \frac{1}{T_к T_у} + \frac{1}{T_к T_2} + \frac{1}{T_у T_2} +$$

$$\left. + \frac{b_{ста}}{T_к T_2}\left(\frac{1}{T_в} + \frac{1}{T_{вв}} + \frac{1}{T_у}\right) + \frac{b_{ств} k_в}{T_{вв} T_к T_2}\right] p^3 I_в +$$

$$+ \left[\frac{1}{T_в T_{вв} T_к} + \frac{1}{T_в T_{вв} T_у} + \frac{1}{T_в T_{вв} T_2} + \frac{1}{T_в T_к T_2} + \frac{1}{T_в T_у T_2} + \right.$$

$$+ \frac{1}{T_в T_у T_к} + \frac{1}{T_{вв} T_к T_2} + \frac{1}{T_{вв} T_у T_2} + \frac{1}{T_у T_к T_2} + \frac{1}{T_{вв} T_у T_к} +$$

$$+\frac{b_{\text{ста}}}{T_{\text{к}}T_2}\left(\frac{1}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}}+\frac{1}{T_{\text{в}}T_{\text{у}}}+\frac{1}{T_{\text{вв}}T_{\text{у}}}\right)+\frac{b_{\text{ств}}k_{\text{в}}}{T_{\text{к}}T_2}\left(\frac{1}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}}+\frac{1}{T_{\text{вв}}T_{\text{у}}}\right)+$$

$$+\left.\frac{b_{\text{п}}}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}T_{\text{у}}T_{\text{к}}}-\frac{b_{\text{ств}}f_3'k_{\text{в}}}{R_{\text{в пр}}T_{\text{в}}T_{\text{вв}}T_{\text{к}}T_2}\right]p^2I_{\text{в}}+$$

$$+\left(\frac{1}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}T_{\text{к}}T_2}+\frac{1}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}T_{\text{к}}T_{\text{у}}}+\frac{1}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}T_{\text{у}}T_2}+\frac{1}{T_{\text{в}}T_{\text{к}}T_{\text{у}}T_2}+\right.$$

$$+\frac{1}{T_{\text{вв}}T_{\text{к}}T_{\text{у}}T_2}+\frac{b_{\text{ста}}}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}T_{\text{к}}T_{\text{у}}T_2}+\frac{b_{\text{ста}}k_{\text{в}}}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}T_{\text{к}}T_{\text{у}}T_2}+\frac{k}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}T_{\text{к}}T_{\text{у}}}+$$

$$\left.+\frac{b_{\text{п}}}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}T_{\text{к}}T_{\text{у}}T_2}-\frac{b_{\text{ств}}f_3'k_{\text{в}}}{R_{\text{в пр}}T_{\text{в}}T_{\text{вв}}T_{\text{к}}T_{\text{у}}T_2}\right)pI_{\text{в}}+\frac{(1+k)\,I_{\text{в}}}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}T_{\text{к}}T_{\text{у}}T_2}=0, \qquad (1)$$

где $T_{\text{в}}$, $T_{\text{вв}}$ и $T_{\text{к}}$ — постоянные времени цепей возбуждения генератора или двигателя, возбудителя и амплидина, причем для случая регулирования тока возбуждения

$$T=T_{\text{в пр}}=\frac{L_{\text{в}}}{R_{\text{в}}+R_{\text{пр}}+f_3'},$$

$R_{\text{в}}$ и $L_{\text{в}}$ — сопротивление и индуктивность обмотки возбуждения двигателя, $R_{\text{пр}}$ — эквивалентное сопротивление в цепи возбуждения, напряжение на котором фиксирует величину тока возбуждения двигателя, f_3' — коэффициент, характеризующий величину противокомпаундных ампервитков возбудителя, $b_{\text{п}}$ и $T_{\text{у}}$ — интенсивность и постоянная времени действия противоперерегулирования, $b_{\text{ста}}$ и $b_{\text{ств}}$ — интенсивности действия стабилизации амплидина и возбудителя, T_2 — постоянная времени стабилизации, k — полный статический коэффициент усиления системы, равный:

при регулировании напряжения:

$$k=\frac{\Delta E_{\text{вых}}}{\Delta E},$$

($\Delta E_{\text{вых}}$ и ΔE — эдс генератора на выходе и входе системы);

при регулировании тока возбуждения двигателя:

$$k=\frac{\Delta I_{\text{в вых}}}{\Delta I_{\text{в}}}$$

($\Delta I_{\text{в вых}}$ и $\Delta I_{\text{в}}$ — токи возбуждения двигателя на выходе и входе системы), $k_{\text{в}}$ — коэффициент усиления возбудителя,

$$R_{\text{в пр}}=R_{\text{в}}+R_{\text{пр}}+f_3'.$$

Полагая в уравнении (1) $T_{\text{у}}=0$, получим уравнение четвертой степени для тех случаев, когда составляющая эдс амплидина, вызванная противоперерегулированием, пропорциональна производной от напряжения генератора при регулировании напряжения или производной от тока возбуждения двигателя при регулировании этого тока.

Уравнение при наличии только одного противоперерегулировочного трансформатора

$$p^4I_{\text{в}}+\left(\frac{1}{T_{\text{в}}}+\frac{1}{T_{\text{вв}}}+\frac{1}{T_{\text{к}}}+\frac{1}{T_{\text{у}}}\right)p^3I_{\text{в}}+$$

$$+\left(\frac{1}{T_{\text{в}}T_{\text{вв}}}+\frac{1}{T_{\text{в}}T_{\text{к}}}+\frac{1}{T_{\text{в}}T_{\text{у}}}+\frac{1}{T_{\text{вв}}T_{\text{к}}}+\frac{1}{T_{\text{вв}}T_{\text{у}}}+\frac{1}{T_{\text{к}}T_{\text{у}}}\right)p^2I_{\text{в}}+$$

$$+\left(\frac{1}{T_{в} T_{вв} T_{к}}+\frac{1}{T_{в} T_{вв} T_{у}}+\frac{1}{T_{в} T_{к} T_{у}}+\frac{1}{T_{вв} T_{к} T_{у}}+\right.$$

$$\left.+\frac{b_{п}}{T_{в} T_{вв} T_{к} T_{у}}\right) p I_{в}+\frac{(1+k) I_{в}}{T_{в} T_{вв} T_{к} T_{у}}=0 \tag{2}$$

может быть получено из уравнения (1), если в нем положить $T_2=0$, $b_{ста}=0$ и $b_{ств}=0$.

Полагая здесь $T_{у}=0$, получим уравнение:

$$p^3 I_{в}+\left(\frac{1}{T_{в}}+\frac{1}{T_{вв}}+\frac{1}{T_{к}}\right) p^2 I_{в}+$$

$$+\left(\frac{1}{T_{в} T_{вв}}+\frac{1}{T_{в} T_{к}}+\frac{1}{T_{вв} T_{к}}+\frac{b_{п}}{T_{в} T_{вв} T_{к}}\right) p I_{в}+\frac{(1+k) I_{в}}{T_{в} T_{вв} T_{к}}=0. \tag{3}$$

Полагая в уравнении (1) $b_{п}=0$ и $T_{у}=0$, получим уравнение при наличии только двух стабилизирующих трансформаторов

$$p^4 I_{в}+\left(\frac{1}{T_{в}}+\frac{1}{T_{вв}}+\frac{1}{T_{к}}+\frac{1}{T_2}+\frac{b_{ста}}{T_{к} T_2}\right) p^3 I_{в}+$$

$$+\left[\frac{1}{T_{в} T_{вв}}+\frac{1}{T_{в} T_2}+\frac{1}{T_{в} T_{к}}+\frac{1}{T_{вв} T_2}+\frac{1}{T_{к} T_2}+\frac{1}{T_{вв} T_{к}}+\right.$$

$$\left.+\frac{b_{ста}}{T_{к} T_2}\left(\frac{1}{T_{в}}+\frac{1}{T_{вв}}\right)+\frac{b_{ств} k_{в}}{T_{к} T_2 T_{вв}}\right] p^2 I_{в}+$$

$$+\left(\frac{1}{T_{в} T_{вв} T_{к}}+\frac{1}{T_{в} T_{вв} T_2}+\frac{1}{T_{в} T_{к} T_2}+\frac{1}{T_{вв} T_{к} T_2}+\right.$$

$$+\frac{b_{ста}}{T_{в} T_{вв} T_{к} T_2}+\frac{b_{ств} k_{в}}{T_{в} T_{вв} T_{к} T_2}+\frac{k}{T_{в} T_{вв} T_{к}}-$$

$$\left.-\frac{b_{ств} f_3 k_{в}}{T_{в} R_{в\,пр} T_{вв} T_{к} T_2}\right) p I_{в}+\frac{(1+k) I_{в}}{T_{в} T_{вв} T\ T_2}=0. \tag{4}$$

При отсутствии сериесной обмотки у возбудителя двигателя надо положить $f_3=0$.

Полагая в уравнении (1) $b_{п}=0$, $T_{у}=0$, $b_{ста}=0$, $b_{ств}=0$ и $T_2=0$, получим уравнение при полном отсутствии стабилизирующих устройств:

$$p^3 I_{в}+\left(\frac{1}{T_{в}}+\frac{1}{T_{вв}}+\frac{1}{T_{к}}\right) p^2 I_{в}+$$

$$+\left(\frac{1}{T_{в} T_{вв}}+\frac{1}{T_{в} T_{к}}+\frac{1}{T_{вв} T_{к}}\right) p I_{в}+\frac{(1+k) I_{в}}{T_{в} T_{вв} T_{к}}=0. \tag{5}$$

Пользуясь разработанными нами диаграммами устойчивости четвертого [2] и пятого [3] порядков, можно исследовать влияние на характер переходного процесса интенсивностей стабилизации $b_{ста}$, $b_{ств}$ и $b_{п}$ и их постоянных времени T_2 и $T_{у}$ при различных значениях k и выбрать их оптимальные значения, обеспечивающие получение необходимого переходного процесса. Можно также выявить влияние каждого из трех трансформаторов на коэффициент затухания и апериодичность системы.

При изменении задающего напряжения, снимаемого с потенциометра, который задает значение установившегося тока возбуждения, на величину $\Delta U_з$ ток возбуждения двигателя изменяется на величины

$$\Delta I_в = \frac{\Delta U_з}{R_{пр}\left(1 + \frac{1}{k}\right)}.$$

Чем больше k, тем меньше изменение задающего напряжения, необходимое для получения данного изменения тока возбуждения.

Поступило
29 V 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. П. Никитин и Н. П. Куницкий, ДАН, **60**, № 9, (1948). [2] В. П. Никитин, Н. П. Куницкий и В. К. Туркин, ДАН, **61**, **№ 1** (1948). [3] В. П. Никитин, В. К. Туркин и Н. П. Куницкий, Изв. АН СССР, ОТН, № 11 (1946). [4] В. П. Никитин, В. К. Туркин и Н. П. Куницкий, ДАН, **58**, № 4 (1947).