

ISSN 1811-1807

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

С. ТОРАЙҒЫРОВ АТЫНДАҒЫ ПАВЛОДАР МЕМЛЕКЕТТІК УНИВЕРСИТЕТІ



1 '2007



ПМУ хабаршысы
Вестник ПГУ

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКАЛЫҚ СЕРИЯ

УДК 519.852

ДЕМПФИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Н.Н. Садыков

**Павлодарский государственный университет
им. С.Торайгырова**

Жұмыста электрменқамту жүйесінің түйінінде жүктеменің қатаң өзгерісті графикпен электроприемниктер жұмысының жағдайлары зерттемді.

В работе изучается условия работы электроприемников с резкопеременным графиком нагрузок в узле системы электроснабжения.

The work studies operation conditions of collectors with abruptly alternating scheme of load in the knot of electric power supply system.

При работе электроприемников с резкопеременным графиком нагрузки в узле системы электроснабжения возникают колебания напряжения, вызывающие колебания мощности (главным образом реактивной) электрических двигателей. Это, в свою очередь, обуславливает появление составляющей напряжения, способствующей уменьшению колебаний. В этом проявляется способность электродвигательной нагрузки демпфировать колебания напряжения.

Определим зависимость колебаний напряжения от колебаний мощности узла, т.е. чувствительность напряжения к набросам и сбросам мощности нагрузки и к реакции двигателей на эти изменения.

Из схемы замещения промышленной подстанции (рисунок 1) имеем

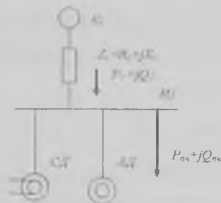


Рисунок 1. Схема замещения промышленной подстанции.

$$E_c^2 = \left(U + \frac{P_\Sigma R_c + Q_\Sigma x_c}{U} \right)^2 + \left(\frac{P_\Sigma x_c - Q_\Sigma R_c}{U} \right)^2, \quad (1)$$

или

$$E_c^2 = (U + U'_\Delta)^2 + (U''_\Delta)^2 \quad (2)$$

где P_Σ, Q_Σ - суммарная активная и реактивная мощности узла нагрузки;

$$U'_\Delta = \frac{P_\Sigma R_c + Q_\Sigma x_c}{U} - \text{продольная составляющая падения}$$

напряжения на сопротивлении $Z_c = R_c + jx_c$ (см. рисунок 1);

$$U''_\Delta = \frac{P_\Sigma x_c - Q_\Sigma R_c}{U} - \text{поперечная составляющая падения на}$$

пряжения.

В выражении (1) переменными являются величины P_Σ, Q_Σ, U для которых можно записать:

$$\left. \begin{aligned} U &= U_0 + \delta U(t); \\ P_\Sigma &= P_{\Sigma 0} + \delta P(t); \\ Q_\Sigma &= Q_{\Sigma 0} + \delta Q(t), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $\delta U(t), \delta P(t), \delta Q(t)$ - законы изменения колебаний напряжения в узле и колебаний активной и реактивной мощнос-

ти нагрузки. С учетом (3) выражения для продольной U'_Δ и поперечной U''_Δ составляющих падения напряжения преобразуем следующим образом:

$$U'_\Delta = \frac{(P_{\Sigma 0} + \delta P)R_c + (Q_{\Sigma 0} + \delta Q)x_c}{U_0 + \delta U} \frac{U_0 - \delta U}{U_0 - \delta U} =$$

$$= U'_{\Delta 0} - \frac{U'_{\Delta 0}}{U_0} \delta U + \frac{R_c}{U_0} \delta P + \frac{x_c}{U_0} \delta Q; \quad (4)$$

$$U''_\Delta = \frac{(P_{\Sigma 0} + \delta P)x_c - (Q_{\Sigma 0} + \delta Q)R_c}{U_0 + \delta U} \frac{U_0 - \delta U}{U_0 - \delta U} =$$

$$= U''_{\Delta 0} - \frac{U''_{\Delta 0}}{U_0} \delta U + \frac{x_c}{U_0} \delta P - \frac{R_c}{U_0} \delta Q. \quad (5)$$

В дальнейшем будем пренебрегать произведением малых величин между собой ($\delta P \delta U, \delta Q \delta U, \delta U^2$ и т.п.).

Подставив уравнение (4) и (5) в (2), после преобразования получим

$$E_c^2 = (U_0 + U'_{\Delta 0})^2 + 2(U_0 + U'_{\Delta 0}) \left[\left(1 - \frac{U'_{\Delta 0}}{U_0} \right) \delta U + \frac{R_c}{U_0} \delta P + \frac{x_c}{U_0} \delta Q \right]$$

$$+ (U''_{\Delta 0})^2 + U''_{\Delta 0} \left(-\frac{U''_{\Delta 0}}{U_0} \delta U + \frac{x_c}{U_0} \delta P + \frac{R_c}{U_0} \delta Q \right) \quad (6)$$

Продифференцировав последнее выражение и приравняв нулю составляющие $(U'_{\Delta 0})^2, (U''_{\Delta 0})^2$, можно записать уравнение зависимости колебаний напряжения в узле от колебаний мощности нагрузки

$$\delta U(t) = -\frac{(U_0 + U'_{\Delta 0})R_c + U''_{\Delta 0}x_c}{U_0^2} \delta P(t) - \frac{(U_0 + U'_{\Delta 0})x_c - U''_{\Delta 0}R_c}{U_c} \delta Q(t). \quad (7)$$

Если пренебречь составляющими колебаний напряжения, зависящими от падений напряжения, а также падением напряжения на активном сопротивлении сети в силу их малости, то получим в упрощенном и наглядном виде зависимость колебаний напряжения от колебаний мощности нагрузки промышленного узла:

$$\delta U(t) = -\frac{x_c}{U_0} \delta Q(t). \quad (8)$$

Из (8) видно, что колебания напряжения определяются в основном колебаниями реактивной мощности, но происходят в противофазе.

Выражение (8) позволяет оценить демпфирующие возможности асинхронной и синхронной двигательных нагрузок. Графическая иллюстрация процесса демпфирования колебаний напряжения асинхронным и синхронным двигателями приведена на рисунке 2 и 3.

Здесь δU_I - колебания напряжения без учета компенсации или до подключения двигательной нагрузки (принимаяем $\delta U_I = 1$); δU_{II} - реакция двигателей на колебания напряжения в узле; δU_{Σ} - колебания напряжения в узле при подключении двигательной нагрузки.

Реакция двигателей на колебания напряжения и соответственно их демпфирующая способность зависят от частоты колебаний, что и отражено на рисунке 2 и 3. Зависимость отношения амплитуды колебаний мощности асинхронного двигателя к амплитуде колебаний напряжения узла от частоты

$\delta Q_{\max a} / \delta U_{\max} = f(f)$, где частота изменяется в диапазоне 0-10 Гц (для наглядности принято $\delta U_{\max} = 1$), в относительных единицах показана на рисунке 4.

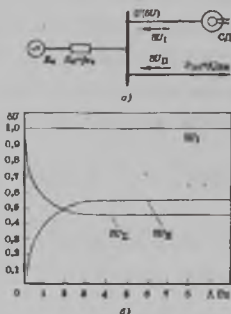


Рисунок 2 Демпфирование колебаний напряжения синхронной электродвигательной нагрузкой
а - схема узла нагрузки; б - зависимость колебаний напряжения от частоты

Из представленных зависимостей следует, что наиболее эффективно демпфирующие свойства двигателей проявляются при частоте колебаний $f \geq 2$ Гц, а скомпенсированная часть колебаний напряжения может достигать 40-50 %.

Очевидно, что демпфирующие свойства зависят от соотношения мощностей электродвигательной и резкопеременной нагрузки, подключенной к узлу. Это иллюстрируют рисунок 5 и 6, на которых показаны зависимости результирующих колебаний напряжения узла от частоты колебаний и соотношения $K = Q_{\text{пн}} / Q_{\text{дв}}$ для асинхронной

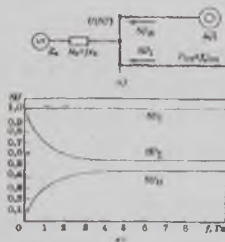


Рисунок 3 Демпфирование колебаний напряжения асинхронной электродвигательной нагрузкой
а- схема узла нагрузки; б- зависимость колебаний напряжения от частоты

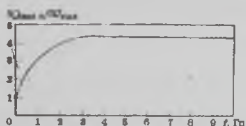


Рисунок 4 Зависимость колебаний мощности АД и колебаний напряжения узла от частоты

и синхронной нагрузок соответственно. Кривая $K=1$ соответствует равенству мощностей двигательной и переменной нагрузок. С ростом K демпфирующая способность двигателей уменьшается, а при $K>100$

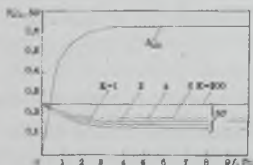


Рисунок 5 Зависимость результирующих колебаний напряжения узла от частоты колебаний и соотношения мощностей переменной и асинхронной двигательной нагрузок

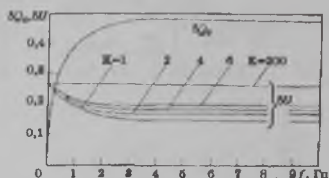


Рисунок 6 Зависимость результирующих колебаний и напряжения узла от частоты колебаний и соотношения мощностей переменной и синхронной двигательной нагрузок.

практически становится равной нулю. Все зависимости на рисунках 5 и 6 построены для $\delta Q_{\text{III}} = 1$, а зависимости $\delta Q_a, \delta Q_c$ от частоты соответствуют $K=1$. Возрастанием демпфирующей способности комплексной электродвигательной нагрузки по отношению к синхронной и асинхронной нагрузкам отражено на рисунке 3.7.

Здесь $\delta U_{\text{АД}}, \delta U_{\text{СД}}, \delta U_{\Sigma}$ - колебания напряжения в узле при подключении асинхронной, синхронной и суммарной комплексной нагрузок.

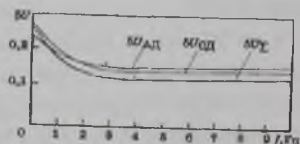


Рисунок 7 Зависимость колебаний напряжения при подключении асинхронной, синхронной и суммарной комплексной нагрузок