

Полученные параметры машин, входящих в типаж, должны дополнительно уточняться по критерию таких эксплуатационных показателей, как плавность хода, динамическая нагруженность, устойчивость и управляемость, маневренность и опорная проходимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Мелиоративные, строительные и лесные тракторы / А. В. Жуков, Ю. И. Провоторов, В. А. Скотников и др.—Минск: Ураджай, 1989.—335 с. [2]. Промышленные тракторы / Ю. В. Гинзбург, А. И. Швед, А. И. Парфенов.—М.: Машиностроение, 1986.—296 с.

Поступила 29 апреля 1991 г.

УДК 621.316.34

**О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ КОММУТАЦИИ  
КОСИНУСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ**

**В. М. АЛЯБЬЕВ, Н. М. ГОРБАТОВ, Г. П. ЗНАМЕНСКИЙ**

Ленинградская лесотехническая академия

В настоящее время в системах электроснабжения предприятий лесной отрасли широко применяются мощные косинусные конденсаторные установки. Их назначение — уменьшить потери электроэнергии, стабилизировать напряжение на зажимах нагрузки и оптимизировать режим электроснабжения. Существенные изменения электрических нагрузок, вызванные особенностями технологических процессов и специфическими свойствами обрабатываемых материалов, требуют установки автоматических устройств для обычного дискретного переключения косинусных конденсаторов. В связи с этим возникает необходимость исследовать режимы коммутации мощных косинусных конденсаторных устройств в целях уменьшения потерь электроэнергии при коммутациях.

Рассмотрим процессы коммутации одного из конденсаторов трехфазной батареи. Простейшая схема его электрической цепи представлена на рис. 1, где приняты следующие обозначения:

$R_p$  — разрядное сопротивление конденсатора, определенное по известным правилам;

$R$  — активное сопротивление, характеризующее потери в конденсаторе,  $R = X_c \operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta / (2\pi f C)$ ;

$C$  — емкость конденсатора.

В этих обозначениях

$X_c$  — реактивное сопротивление конденсатора;

$\operatorname{tg} \delta$  — тангенс угла потерь современных отечественных конденсаторов, равный 0,002...0,004;

$f$  — частота напряжения в сети.

Под действием синусоидального напряжения сети  $u = V_m \sin(\omega t + \psi_u)$  в конденсаторе при замыкании ключа  $K$  возникает принужденный ток

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

где  $I_m$  — амплитуда принужденного тока;  $I_m = V_m / \sqrt{R^2 + \frac{1}{2\pi f C}}$ ;

$\omega$  — угловая частота;

$\psi_i$  — начальная фаза тока,  $\psi_i = \psi_u - \varphi$ ;

$V_m$  — амплитуда напряжения сети;

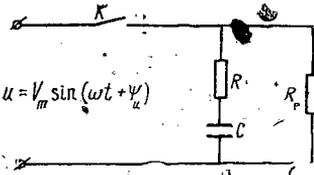


Рис. 1. Электрическая схема включения одного из конденсаторов трехфазной батареи

$\psi_u$  — начальная фаза напряжения  $V_m$ ;

$\varphi$  — угол сдвига фаз в цепи конденсатора,  $\varphi = \arctg \frac{1}{2\pi fCR} = \frac{X_C}{R}$ ;

$X_C$  — реактивное сопротивление конденсатора,  $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ .

В данном случае принужденное напряжение на конденсаторе можно определить по формуле

$$u_{C \text{ пр}} = I_m X_C \sin(\omega t + \psi_i - 90^\circ).$$

Согласно классическому методу расчета переходных процессов, используя второй закон коммутации, получаем напряжение на конденсаторе  $u_C$  при его включении:

$$u_C = I_m X_C \sin(\omega t + \psi_i - 90^\circ) - [I_m X_C \sin(\psi_i - 90^\circ)] e^{-t/T}, \quad (1)$$

где  $T$  — постоянная времени конденсатора,  $T = RC$ .

Ток в переходном процессе

$$i = C \frac{du_C}{dt} = I_m \sin(\omega t + \psi_i) + [I_m (X_C/R) \sin(\psi_i - 90^\circ)] e^{-t/T}. \quad (2)$$

Дополнительные потери электроэнергии при включении конденсатора  $\Delta W_{\text{в}}$ , вызванные наличием свободного тока, можно определить по формуле

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{в}} &= \int_0^{\infty} R i_{\text{св}}^2 dt = I_m^2 (X_C/R)^2 [\sin^2(\psi_i - 90^\circ)] R \int_0^{\infty} e^{-2t/T} dt = \\ &= C X_C^2 I_m^2 \sin^2(\psi_i - 90^\circ)/2. \end{aligned} \quad (3)$$

При разряде конденсатора напряжение в момент отключения

$$u_{C \text{ сб}} = [I_m X_C \sin(\psi_i - 90^\circ)] e^{-t/T_0}, \quad (4)$$

где

$$T_0 = C(R + R_p).$$

Ток

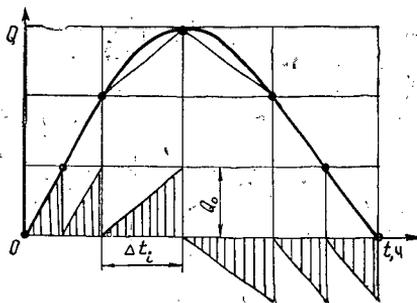
$$i = C \frac{du_{C \text{ сб}}}{dt} = I_m \left( \frac{X_C}{R + R_p} \right) e^{-t/T_0} \sin(\psi_i - 90^\circ). \quad (5)$$

Дополнительные потери электроэнергии  $\Delta W_0$

$$\begin{aligned} \Delta W_0 &= \int_0^{\infty} i^2 (R + R_p) dt = \frac{I_m^2 X_C^2}{(R + R_p)^2} [\sin^2(\psi_i - 90^\circ)] (R + R_p) \times \\ &\times \int_0^{\infty} e^{-2t/T_0} dt = C I_m^2 X_C^2 \sin^2(\psi_i - 90^\circ)/2. \end{aligned} \quad (6)$$

Итак, при включении и отключении конденсатора с применением современной коммутационной аппаратуры возникают дополнительные потери электроэнергии, увеличивающиеся с ростом числа переключений, которое, в свою очередь, возрастает с увеличением числа переключаемых секций конденсаторной установки. Конкретную зависимость потерь

Рис. 2. Суточный график реактивной нагрузки предприятия отрасли и его линеаризация для трехсекционного переключения батареи конденсаторов



электроэнергии от числа секций переключения батареи конденсаторов можно установить, используя суточный график реактивной нагрузки предприятия отрасли (рис. 2). Пусть батарея имеет три секции переключений конденсаторов одинаковой мощности. Как известно, активная мощность потерь электроэнергии в сети  $\Delta P_p$  зависит от реактивной мощности нагрузки  $Q$ :

$$\Delta P_p = Q^2 R_C / (3V^2) = kQ^2,$$

где  $R^C$  — сопротивление сети;

$V$  — фазное напряжение;

$k$  — постоянная для данной сети величина,  $k = \frac{R_C}{3V^2} = \text{const}$ .

Осуществляя линеаризацию (спрямление) зависимости  $Q(t)$  на участках  $\Delta t_i$ , можно написать уравнение реактивной мощности после компенсации  $\Delta Q_i = C_i t$ , где  $C_i$  — постоянная для данного участка величина. В этом случае потери электроэнергии при работе компенсирующего устройства  $\Delta W_i$  на участке продолжительностью  $\Delta t_i$  определяются из выражения

$$\Delta W_i = \int_0^{\Delta t_i} \Delta P_p dt = k \int_0^{\Delta t_i} \Delta Q_i^2 dt = k C_i^2 \int_0^{\Delta t_i} t^2 dt = k C_i^2 \Delta t_i^3 / 3 = k Q_0^2 \Delta t_i / 3. \quad (7)$$

При отсутствии регулирования квадрат реактивной мощности  $Q_i^2$  на участке продолжительностью  $\Delta t_i$  равен

$$Q_i^2 = (n_i Q_0 + \Delta Q_i)^2 = (n_i Q_0)^2 + 2n_i Q_0 \Delta Q_i + \Delta Q_i^2,$$

где  $n_i$  — число включенных ступеней;

$Q_0$  — их мощность.

Тогда потери электроэнергии  $\Delta W'_i$  от наличия реактивной мощности  $Q_i$

$$\begin{aligned} \Delta W'_i &= k \int_0^{\Delta t_i} Q_i^2 dt = k (n_i Q_0)^2 \Delta t_i + kn_i Q_0 C_i \Delta t_i^2 + \\ &+ k C_i^2 \Delta t_i^3 / 3 = k (n_i^2 Q_0^2 \Delta t_i + n_i Q_0^2 \Delta t_i + Q_0^2 \Delta t_i / 3). \end{aligned}$$

Эффективность уменьшения потерь электроэнергии на произвольном участке продолжительностью  $\Delta t_i$  можно характеризовать параметром  $\alpha$ :

$$\alpha = \Delta W_i / \Delta W'_i = \frac{1}{3n_i(n_i + 1) + 1}. \quad (8)$$

Формула (8) показывает, что эффективность переключения конденсаторов резко увеличивается с ростом числа включенных ступеней.

## Выводы

1. Включение косинусных конденсаторов в сеть и их отключение при использовании имеющейся в отрасли пусковой аппаратуры вызывают дополнительные потери энергии, которые могут быть вычислены по формулам (3) и (6).

2. Поскольку при переходных процессах свободные токи имеют значительную величину, в целях уменьшения износа конденсаторов и пусковой аппаратуры интервал между повторными включениями должен превышать три постоянных времени:  $t_p \gg 3C(R + R_p)$ .

3. Для уменьшения числа коммутационных переключений конденсаторов и потерь электроэнергии число ступеней переключений батареи следует выбирать в соответствии с зависимостью (8).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Алябьев В. М., Горбатов Н. М., Знаменский Г. П. Регулирование напряжения и реактивной мощности в электрических сетях переменного тока путем стабилизации угла сдвига фаз // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств: Межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА.—Л., 1990.—С. 93—95. [2]. Алябьев В. М., Горбатов Н. М., Знаменский Г. П. Исследование закономерностей колебаний напряжения у потребителей электроэнергии лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий // Станки и инструменты деревообрабатывающих производств: Межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА.—Л., 1990.—С. 126—129.

Поступила 11 июня 1991 г.

УДК 630\*377.45.001.57

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПАКЕТА ХЛЫСТОВ

Н. И. БИБЛЮК

Львовский лесотехнический институт

Пакет длинномерных лесоматериалов, как и отдельное дерево или хлыст, представляет сложную динамическую систему с неравномерно распределенной массой и переменной жесткостью. Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные Б. Г. Гастевым, показали, что пакет древесины можно рассматривать как балку (стержень) переменного сечения на двух опорах, с двумя, как правило, неравными консолями, со сплошной неравномерной нагрузкой от собственного веса [5].

Предположим, что в недеформированном состоянии упругая ось стержня прямолинейна, его длина значительно больше поперечных размеров и сила неупругого сопротивления пропорциональна упругой восстанавливающей силе. Тогда дифференциальные уравнения свободных колебаний такого стержня запишем в виде

$$\begin{aligned} EI\psi(1+i\gamma)\partial^4 z/\partial x^4 + m\partial^2 z/\partial t^2 &= 0; \\ EI\psi'(1+i\gamma')\partial^4 y/\partial x^4 + m\partial^2 [y + (h_p + z)\beta]/\partial t^2 + \\ &+ (h_p + z)\beta/\partial t^2 = 0; \\ GI_p\psi_k(1+i\gamma_k)\partial^2 \beta/\partial x^2 - m\rho_x^2\partial^2 \beta/\partial t^2 - \\ - m(h_p + z)\partial^2 [y + (h_p + z)\beta]/\partial t^2 &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $E$ ,  $I$  и  $G$ ,  $I_p$  — модули упругости и моменты инерции поперечного сечения стержня соответственно при изгибе и кручении в сечении  $x$ ;