

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.316.34

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ПРИ ПОМОЩИ РЕАКТИВНЫХ УСТРОЙСТВ

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

Ленинградская лесотехническая академия

Переменный характер электрических нагрузок и значительная протяженность электрических сетей лесопромышленных предприятий (ЛПП) выдвигают дополнительные требования к проблеме стабилизации напряжения у потребителей в целях повышения производительности машин и механизмов и уменьшения потерь энергии. В настоящее время в лесозаготовительной промышленности находят применение конденсаторные установки как параллельного, так и последовательного включения [1, 2, 3].

Так как нагрузка ЛПП в большинстве случаев активно-индуктивная, то любое подключение конденсаторов уменьшает индуктивные составляющие токов, снижает потери напряжения и энергии. Однако параллельное и последовательное включения конденсаторов действуют различным образом на качество электроэнергии и на потери ее в электрических сетях. Эта проблема еще недостаточно отражена в современной технической литературе. В настоящей статье рассмотрены реальные возможности и особенности практического использования конденсаторов параллельного и последовательного включения.

В самом общем виде схема электросети, приведенная к одной ступени трансформации с параллельно включенными конденсаторами, представлена на рис. 1, а, где приняты следующие обозначения:

$R_{лт}$, $X_{лт}$ — активное и реактивное сопротивления линий и трансформаторов;

$U_1 = \text{const}$ — напряжение энергосистемы;

U_2 — напряжение на зажимах нагрузки;

Z_n — комплексное сопротивление нагрузки.

На рис. 1, б дана векторная диаграмма сети при активно-индуктивной нагрузке.

Как известно, для практических расчетов вместо падения напряжения $IZ_{лт}$ используют потерю напряжения ΔU , поэтому, согласно рис. 1, б, можно написать:

$$U_2 = U_1 - \Delta U = U_1 - \beta (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) = U_1 - U_{ai} \cos \varphi - U_{pi} \sin \varphi, \quad (1)$$

где $\beta = \frac{I}{I_n}$ — относительный ток нагрузки;

φ — угол сдвига фаз в цепи нагрузки;

I_n — номинальный ток нагрузки;

$$U_{ai} = \beta U_a; \quad U_{pi} = \beta U_p; \quad U_a = I_n R_{лт}; \quad U_p = I_n X_{лт}.$$

Формула (1) показывает, что напряжение на зажимах нагрузки зависит как от величины β , так и от угла φ (рис. 1, в). Для одного и

того же значения относительного тока нагрузки потеря напряжения имеет различные значения при различных углах сдвига фаз. Найдем угол φ в цепи нагрузки, при котором потеря напряжения равна нулю. Так как

$$\Delta U = \beta (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) = 0,$$

то

$$\varphi = - \arctg \frac{R_{\text{ЛТ}}}{X_{\text{ЛТ}}}. \quad (2)$$

Поддерживая автоматически с помощью параллельно включенных конденсаторов $\varphi = \text{const}$, можно добиться минимальных потерь напряжения при различных нагрузках.

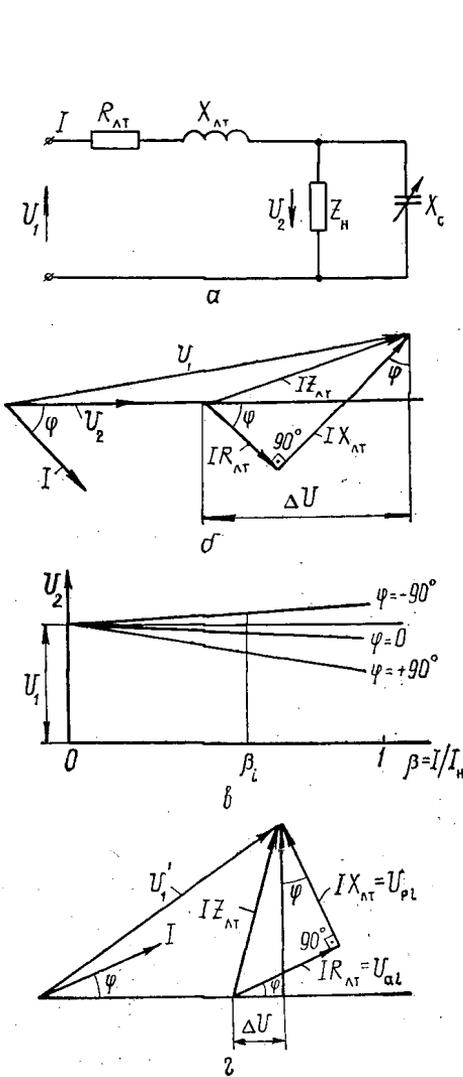


Рис. 1

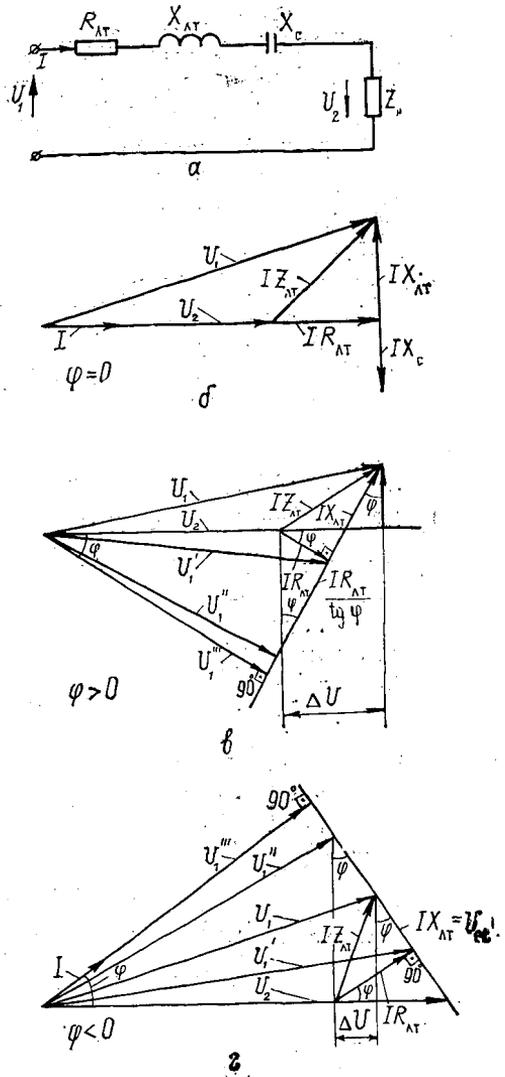


Рис. 2

На рис. 1, 2 дана векторная диаграмма сети для активно-емкостной нагрузки $\varphi < 0$, с помощью которой получим выражение зависимости между U_1 и U_2 :

$$U_1' = \sqrt{(U_2 + U_{ai} \cos \varphi - U_{pi} \sin \varphi)^2 + (U_{ai} \sin \varphi + U_{pi} \cos \varphi)^2} = \\ = \sqrt{U_2^2 + 2U_2(U_{ai} \cos \varphi - U_{pi} \sin \varphi) + U_{ai}^2 + U_{pi}^2}. \quad (3)$$

Для $\varphi > 0$ (см. рис. 1, б) имеем

$$U_1 = \sqrt{U_2^2 + 2U_2(U_{ai} \cos \varphi + U_{pi} \sin \varphi) + U_{ai}^2 + U_{pi}^2}. \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) показывают, что при параллельном включении конденсаторов напряжение на зажимах нагрузки изменяется от $U_2 = \sqrt{U_1^2 - U_{ai}^2} - U_{pi}$ до $U_2' = \sqrt{U_1^2 - U_{ai}^2} + U_{pi}$ при предельных значениях угла $\varphi = 90^\circ$ и $\varphi = -90^\circ$.

Применение только параллельного включения конденсаторов в электрических сетях ЛПП с использованием индивидуальной компенсации и оптимального распределения их по электросети обеспечит не только стабильное напряжение на шинах подстанций, но и на любых участках сети при минимальных потерях электроэнергии, причем угол φ составит всего несколько градусов, так как $\frac{R_{лт}}{X_{лт}} \ll 1$.

Простейшая схема системы электроснабжения ЛПП с последовательно включенными конденсаторами дана на рис. 2, а, ее векторные диаграммы по чисто активной нагрузке при $\varphi = 0$ — на рис. 2, б, по активно-индуктивной при $\varphi > 0$ — на рис. 2, в и по активно-емкостной при $\varphi < 0$ — на рис. 2, г.

В режиме чисто активной нагрузки с последовательно включенными конденсаторами, согласно рис. 2, б, напряжение U_2 ближе всего к напряжению U_1 только при полной компенсации реактивного сопротивления линии и трансформатора и $X_c = X_{лт}$:

$$U_2 = U_1 - IR_{лт}. \quad (5)$$

При активно-индуктивной нагрузке (рис. 2, в), когда $X_c = X_{лт}$, имеем:

$$U_1' = \sqrt{(U_2 + U_{ai} \cos \varphi)^2 + (U_{ai} \sin \varphi)^2} = \sqrt{U_2^2 + 2U_2 U_{ai} \cos \varphi + U_{ai}^2}. \quad (6)$$

Следовательно, напряжение на зажимах нагрузки зависит от угла сдвига фаз:

$$U_2 = -U_{ai} \cos \varphi + \sqrt{U_{ai}^2 \cos^2 \varphi + U_1^2 - U_{ai}^2}. \quad (7)$$

Изменив емкость последовательно включенных конденсаторов, можно уменьшить потерю напряжения до нуля (см. рис. 2, в). В этом случае сопротивление конденсаторов определим по формуле

$$X_c' = X_{лт} + \frac{R_{лт}}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (8)$$

а напряжение на зажимах нагрузки при $\Delta U = 0$:

$$U_2 = \sqrt{(U_1')^2 - \left(\frac{U_{ai}}{\sin \varphi}\right)^2}. \quad (9)$$

Связь между напряжениями U_1 и U_2 при совпадении тока I с напряжением U_1 по фазе, согласно рис. 2, в, выражается уравнением

$$U_1'' = U_2 \cos \varphi + U_{ai}. \quad (10)$$

Емкость конденсаторов в последнем случае может значительно превышать величину, определяемую формулой (8).

Когда $\varphi < 0$ (рис. 2, *з*), при отсутствии последовательно включенных конденсаторов ($X_c = 0$) связь между напряжениями U_1 и U_2 определяется зависимостью:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + U_{ai} \cos \varphi - U_{pi} \sin \varphi)^2 + (U_{ai} \sin \varphi + U_{pi} \cos \varphi)^2} = \\ = \sqrt{U_2^2 + 2U_2(U_{ai} \cos \varphi - U_{pi} \sin \varphi) + U_{ai}^2 + U_{pi}^2}. \quad (11)$$

Если $X_c = X_{лт}$, то это выражение приобретает вид:

$$U'_1 = \sqrt{(U_2 + U_{ai} \cos \varphi)^2 + (U_{ai} \sin \varphi)^2} = \sqrt{U_2^2 + 2U_2 U_{ai} \cos \varphi + U_{ai}^2}. \quad (12)$$

Очевидно, что $U'_1 > U_1$. Например, при $\varphi = -90^\circ$

$$U_1 = \sqrt{(U_2 - U_{pi})^2 + U_{ai}^2}; \quad U'_1 = \sqrt{U_2^2 + U_{ai}^2}.$$

В данном случае подключение конденсаторов становится невыгодным. Поэтому в режимах перекомпенсации в системах нагрузки для стабилизации напряжения U_2 вместо конденсаторов необходимо подключать индуктивные элементы. Определим величину добавочного индуктивного сопротивления ΔX , при котором потеря напряжения в сети равна нулю. В этом случае

$$IR_{лт} \cos \varphi - IX \sin \varphi = 0$$

или

$$X = \frac{R_{лт}}{\operatorname{tg} \varphi} = X_{лт} + \Delta X,$$

откуда

$$\Delta X = \frac{R_{лт}}{\operatorname{tg} \varphi} - X_{лт}. \quad (13)$$

Связь напряжений U_1 и U_2 , когда $\Delta U = \epsilon$ и $\varphi < 0$, определяется соотношением:

$$U''_1 = \sqrt{U_2^2 + \left(\frac{U_{ai}}{\sin \varphi}\right)^2}. \quad (14)$$

При совпадении по фазе U_1 и I зависимость между U_1 и U_2 приобретает вид (10).

В результате можно сделать вывод, что при последовательной компенсации потерь напряжения в электросетях ЛПП и опережающем токе нагрузки необходимо включать вместо емкости переменную индуктивность, а при отстающем токе нагрузки — переменную емкость. В связи с этим, для практического осуществления регулирования напряжения с помощью последовательно включенных реактивных элементов можно использовать синхронную машину с автоматическим регулированием тока возбуждения.

Таким образом, регулирование и стабилизация напряжения в электрических сетях ЛПП могут осуществляться: автоматическим регулированием параметров конденсаторов, подключенных параллельно нагрузке; автоматическим изменением величины и знака последовательно включенных реактивных элементов, а также при совместном их использовании в различных комбинациях. Полученные в статье зависимости, характеризующие возможности разных способов регулирования напряжения, применимы для проведения технико-экономических расчетов в каждом конкретном случае при выборе рационального технического решения.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Автоматическое управление компенсацией реактивной мощности лесозаготовительных производств для экономии электроэнергии / А. В. Воробьев, Н. М. Горбатов, Г. П. Знаменский, В. В. Бородавко // Охрана окружающей среды и пути экономии лесосырьевых ресурсов на предприятиях лесного комплекса в свете решений XXVII съезда КПСС: Сб. материалов конф.—Л.: ЛДНТП, 1988.—С. 28—34. [2]. Алябьев В. М. Компенсация реактивной мощности на лесозаготовительных предприятиях // Лесн. пром-сть.—1988.—№ 12.—С. 22—24. [3]. Синев В. С. Выбор соотношения продольной и поперечной компенсации реактивной мощности // Вопросы повышения эффективности переработки и энергетического использования отходов лесозаготовок: Сб. науч. тр.—Химки: ЦНИИМЭ, 1987.—С. 170—181.

Поступила 4 июля 1989 г.

УДК 674.046

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ БАССЕЙНА ДЛЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФАНЕРНОГО СЫРЬЯ

В. Ю. ПАВЛИКОВ, Ю. Н. СТРИЖЕВ

Ленинградский государственный университет
Ленинградский институт текстильной и легкой промышленности

Тепловая обработка фанерного сырья — одна из энергоемких технологических операций в производстве фанеры, выполняемая, в основном, в открытых бассейнах. Существующая методика проектирования этих бассейнов не позволяет определять их оптимальные или близкие к ним размеры, обеспечивающие технико-экономические показатели работы.

В статье предложена методика, моделирующая с помощью ЭВМ работу бассейна на всех стадиях его функционирования, включая выход на режим, характерный для бассейнов фанерных предприятий.

Суть методики заключается в аппроксимации решений уравнений теплопроводности степенными функциями [1]. В отличие от ранее опубликованных подходов рассматриваем ситуацию непостоянной температуры среды. Время функционирования бассейна разбиваем на ряд интервалов, на каждом из которых температуру среды в модели для прогрева фанерного сырья предполагаем постоянной, используя кусочно-постоянную аппроксимацию средней температуры воды в бассейне. Такой подход обусловлен значительной постоянной времени бассейна [2], а температура воды в пределах рассматриваемых интервалов времени изменяется незначительно. Поэтому длина интервала может быть выбрана сравнительно большой (более одной минуты). Это делает предлагаемую методику достаточно эффективной по затратам времени на вычисления.

Рассмотрим средние температуры воды и ограждения бассейна. Их изменение может быть адекватно описано системой обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} V_{\text{в}} \frac{dt_{\text{в}}}{d\tau} = q_{\text{н}}(\tau) - q_{\text{полез}} - F_{\text{об}} \alpha_{\text{во}} (t_{\text{в}} - t_{\text{ог}}) - F_{\text{пв}} \alpha_{\text{вв}} (t_{\text{в}} - t_{\text{о}}) - F_{\text{пв}} q_{\text{ог}} t_{\text{в}}; \quad (1)$$

$$c_{\text{ог}} \rho_{\text{ог}} V_{\text{ог}} \frac{dt_{\text{ог}}}{d\tau} = F_{\text{об}} \alpha_{\text{во}} (t_{\text{в}} - t_{\text{ог}}) + F_{\text{он}} \alpha_{\text{ог}} (t_{\text{г}} - t_{\text{ог}}), \quad (2)$$

где $c_{\text{в}}$, $c_{\text{ог}}$, $\rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{ог}}$ — коэффициенты теплоемкости и плотности соответственно воды и ограждения бассейна;