

## АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ВОДООЧИСТКИ

Ахмедова О.О., Сошинов А.Г., Степанов С.Ф., Бахтиаров К.Н.

*Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ, Камышин, Россия (403870, г. Камышин, ул. Ленина, 6а) [epp@kti.ru](mailto:epp@kti.ru).*

Существующие в настоящее время высоковольтные источники питания электротехнологических установок в большинстве случаев морально и технически устарели и не удовлетворяют современным технико-экономическим требованиям по величине КПД, массогабаритным показателям и ряду других показателей. В частности, это относится и к источникам питания промышленных СВЧ-, УЗ- и УФ-установок. Основным вклад в массогабаритные показатели вносят источники питания.

Эффективным направлением улучшения технико-экономических показателей промышленных СВЧ-установок является построение источников питания этих устройств по схеме с промежуточным звеном повышенной частоты (ПЗПЧ). Создание высокоэффективных источников питания возможно за счёт применения современных силовых полупроводниковых и магнитных материалов с низкими потерями на перемагничивание, а также высокоинтеллектуальных интегральных схем управления, контроля и защиты. Благодаря созданию быстродействующих силовых транзисторов, специальных интегральных схем для управления, контроля и защиты, быстродействующих диодов, ферритов с низкими потерями на перемагничивание, аморфных и нанокристаллических сплавов, конденсаторов с малыми диэлектрическими потерями были созданы и нашли широкое применение источники питания с ПЗПЧ для электроустановок малой мощности.

Ключевые слова: источники питания, электрофизические устройства, ультрафиолетовое, ультразвуковое, СВЧ-воздействие, озонирование.

## ANALYSIS OF POWER SUPPLIES OF ELECTROPHYSICAL DEVICES OF THE ELECTROTECHNICAL COMPLEX OF WATER PURIFICATION

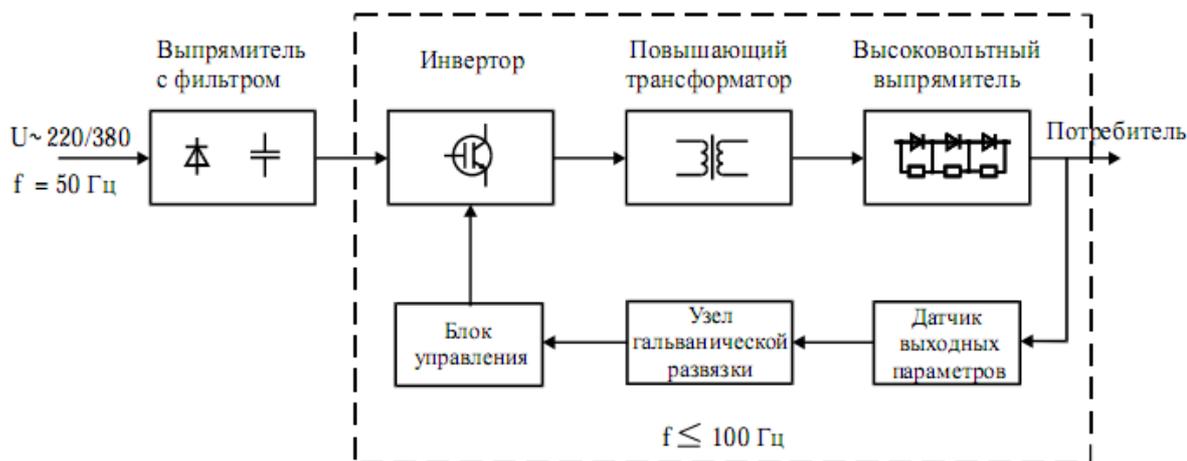
Akhmedova O. O., Soshinov A.G., Stepanov S. F., Bakhtiarov K.N.

*Kamyshinsky institute of technology (branch) of VOLGGTU, Kamyshin, Russia (403870, of Kamyshin, Lenin St., 6a) [epp@kti.ru](mailto:epp@kti.ru).*

High-voltage power supplies of electrotechnological installations existing now in most cases morally and technically became outdated and don't meet modern technical and economic requirements for size efficiency, massogabaritny indicators and some other indicators. In particular, it belongs and to power supplies of industrial microwave ovens, BONDS and UF of installations. The main contribution to massogabaritny indicators is brought by power supplies. The effective direction of improvement of technical and economic indicators of industrial microwave ovens of installations is creation of power supplies of these devices according to the scheme with an intermediate link of the increased frequency (PZPCh). Creation of highly effective power supplies possibly at the expense of application of modern power semi-conductor and magnetic materials with low losses on magnetic reversal, and also highly intellectual integrated schemes of management, control and protection. Thanks to creation of the high-speed power transistors, special integrated schemes for management, control and protection, high-speed diodes, ferrite with low losses on magnetic reversal, amorphous and nanocrystal alloys, condensers with small dielectric losses were created and power supplies with PZPCh for electroinstallations of low power found wide application.

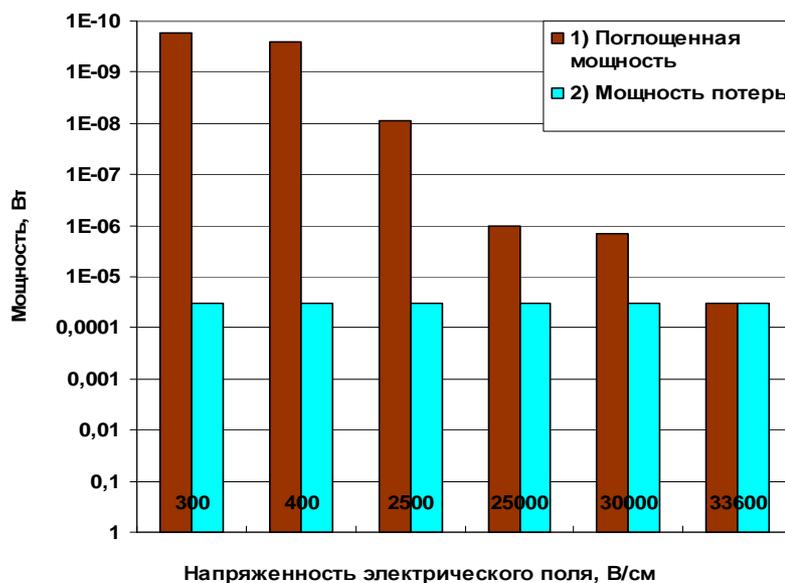
Keywords: power supplies, electrophysical devices, ultra-violet, ultrasonic, microwave oven influence, ozonization.

В статье предложено использовать схему источника питания с промежуточным звеном повышенной частоты для питания устройства СВЧ-воздействия (рис. 1).



**Рис. 1. Схема источника питания с промежуточным звеном повышенной частоты.**

Оценка поглощающей способности сточной воды объемом  $100 \text{ см}^3$  и потери энергии за счет теплопередачи окружающему воздуху и теплового излучения показывает, что суммарные потери энергии намного меньше подводимой к образцу СВЧ-энергии (рис. 2).



**Рис. 2. Зависимость мощности потерь энергии СВЧ от напряженности электрического поля:**

1) мощность, поглощенная микроорганизмами; 2) потери энергии за счет теплопередачи с площади поверхности микроорганизмов.

В электрическом поле при напряженности 150–300 В/см не происходит губительный нагрев одиночных микроорганизмов. Для обеспечения существенного нагрева микроорганизмов в электрическом поле СВЧ-диапазона необходимо повысить его напряженность, в соответствии формулой для нахождения  $E$ , не менее чем в десять раз. Такая напряженность электрического поля для микроорганизмов позволяет добиться примерного равенства между поглощаемой и отдаваемой за счет теплопередачи и теплового

излучения энергии, т.е. в таком электрическом поле становится возможным сильный нагрев микроорганизмов.

Согласование основных конструктивно-технологических параметров установки для СВЧ-обеззараживания сточных вод осуществляется следующим образом.

Определим общую полезную мощность СВЧ генератора:

$$P_{\text{пол. общ.}} = \frac{Q \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot \text{tg} \delta}{\lambda} \cdot k \cdot \lg \left( \frac{\text{ОМЧ}}{\text{ОМЧ}_{\text{исх}}} \right)}{2,303 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\pi \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot \text{tg} \delta}{\lambda} \cdot d} \right) \cdot \eta_{\text{ген}}}, \text{ Вт}$$

где:  $\lambda$  – длина волны равна 12,24 см;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость сточных вод равна соответственно (64...60);  $\text{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь сточных вод (0,22–0,16);  $k$  – коэффициент сопротивляемости бактерий к воздействию ЭМИ, находящихся в сточных водах, Вт·с/см<sup>2</sup>, для палочек Коли составляет  $k = 2500 \cdot 10^{-6}$  Вт·с/см<sup>2</sup>; ОМЧ – общее микробное число в обеззараженной сточной воде 500 тыс. КОЕ/см<sup>3</sup> (задано); ОМЧ<sub>исх.</sub> – общее микробное число в исходной сточной воде, КОЕ/см<sup>3</sup>;  $\eta_{\text{ген}}$  – КПД генератора;  $Q$  – производительность СВЧ установки, см<sup>3</sup>/с;  $d$  – внутренний диаметр трубопровода, см.

Условие выравнивания поглощаемой энергии и потерь энергии за счет теплопередачи с площади поверхности микроорганизма, а также за счет теплового излучения:

$$E \geq \sqrt{\frac{12 \cdot \lambda_1 \cdot \Delta T}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot f \cdot r^2 \cdot \text{tg} \delta}}$$

где  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности воздуха (0,023 Вт/м·°С);  $\Delta T$  – превышение температуры образца, °С;  $f$  – частота электромагнитного поля, Гц;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума (8,85 10<sup>-12</sup> Ф/м).

Определим удельную мощность:

$$P_{\text{уд.}} = \frac{P_{\text{пол.}} \cdot \lambda^3}{4 \cdot \varepsilon \cdot \rho \cdot \text{tg}^2 \delta}, \text{ Вт/л}$$

Найдем продолжительность воздействия ЭМП СВЧ в резонаторе:

$$\Delta \tau = \frac{c \cdot \Delta T}{P_{\text{уд.}} \cdot \eta_{\text{ген}}}, \text{ с}$$

Удельные энергетические затраты составят:

$$W_{\text{уд.}} = \frac{P_{\text{уд.}} \cdot \Delta \tau \cdot \text{Вт} \cdot \text{ч}}{3600}, \text{ кВт}$$

Также отмечено, что для питания ультразвуковой колебательной системы применяются три основные схемы с независимым возбуждением, с самовозбуждением, с автоматической

подстройкой частоты. В генераторах на транзисторах при мощностях 100-250 Вт применяется полумостовая схема (рис. 3).

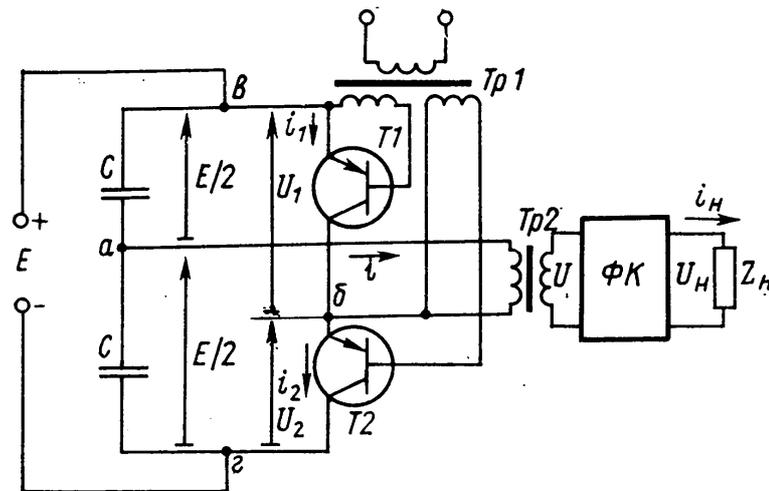


Рис. 3. Полумостовая схема генератора.

Полезная мощность

$$P_1 = \frac{2}{\pi^2} \cdot \frac{E^2}{R'_9} \frac{1}{(1 + r_{вн}/R'_9)^2},$$

откуда по заданному питающему напряжению  $E$  и полезной мощности  $P_1$  можно определить эквивалентное сопротивление нагрузки:

$$R'_9 = \frac{E^2}{\pi^2 P_1} \left( 1 + \sqrt{1 - r_{вн} \frac{\pi^2 P_1}{E^2}} \right) - r_{вн}.$$

Амплитуда тока в цепи первичной обмотки трансформатора:

$$I_1 = \frac{2P_1}{U_1} = \pi \frac{P_1}{E \gamma_1} = \frac{\pi P_1}{E} \left( 1 + \frac{r_{вн}}{R'_9} \right).$$

Потребляемая каскадом мощность:

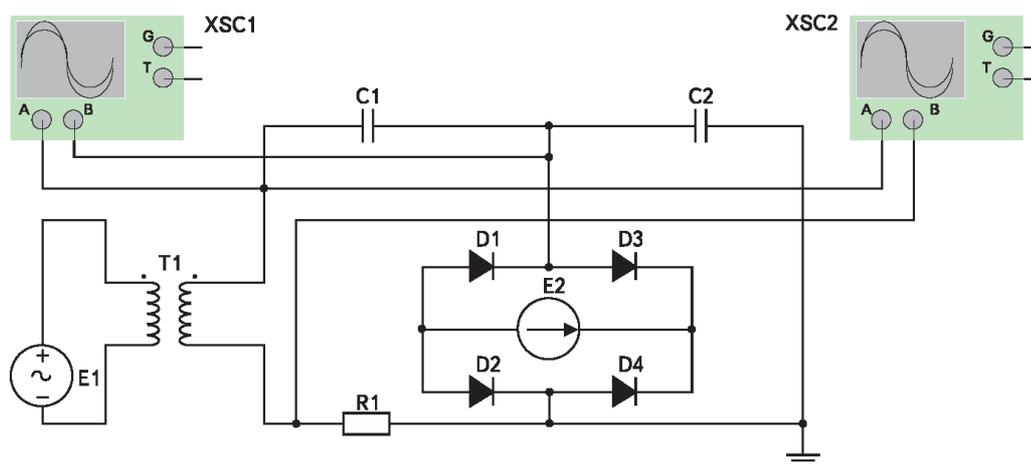
$$P_0 = I_0 E = P_1 \left( 1 + \frac{r_{вн}}{R'_9} \right) = \frac{P_1}{\eta}.$$

Здесь  $I_0$  – постоянная составляющая тока питания. Можно показать, что  $I_1 = \pi I_0 \leq I_{к. доп}$ , где  $I_{к. доп}$  – допустимый ток коллектора, а КПД можно представить выражением:

$$\eta_r = \gamma_1 = \frac{1}{1 + r_{вн}/R'_9}.$$

Приведенная формула не учитывает потерь в трансформаторе и фильтре, поэтому КПД генератора с учетом КПД трансформатора  $\eta_r$  и фильтра  $\eta_\phi$  можно записать как  $\eta = \eta_r \eta_\phi$ .

Барьерные генераторы озона представляют собой электрический прибор, конструктивно подобный многослойному конденсатору, имеющему два или более последовательно соединенных диэлектрических слоя (барьеры и разрядный промежуток) с различной диэлектрической проницаемостью.



**Рис. 4. Эквивалентная схема генератора озона барьерного разряда.**

При горении разряда генератор озона потребляет активную мощность  $P$ . Формула Мэнли через действующие значения питающего напряжения и напряжения горения выражается в следующем виде:

$$P = 8f \times C_1 \times U_{ГЭ} (U_{РЭ} - U_{ГЭ} (1 + C_2/C_1)),$$

где  $f$  – частота питающего напряжения.

При проектировании источников питания генераторов озона важно также знать отношение активной мощности к полной (вольт-амперной) мощности, потребляемой генератором в различных режимах его работы, то есть коэффициент мощности  $ср$  и его зависимости от различных факторов. Установление этих зависимостей позволяет находить сочетания параметров, которые соответствуют наиболее эффективному использованию подводимой к генератору озона мощности. Загрузка элементов источника питания, в частности высоковольтного трансформатора, реактивной мощностью снижает КПД установок электросинтеза озона и приводит к росту их материалоемкости. Для источника питания генератор озона представляет собой емкостную нагрузку с максимальным коэффициентом мощности (в практически реализуемых системах) 0,3–0,7. Коэффициент мощности  $\phi$  зависит от режима работы генератора и от его параметров и конструкции. Точнее, имеют место зависимости  $\phi$  от отношения напряжения горения к рабочему напряжению ( $U_{ГЭ}/U_{РЭ}$ ) и отношения емкостей разрядного промежутка и барьера ( $C_2/C_1$ ). Если выразить коэффициент мощности как отношение активной мощности к полной мощности генератора следующим образом:

$$\phi = P (2^{1/2} U_{РЭ} \times I_{ср})^{-1},$$

то можно путем преобразований получить приближенное выражение для  $\phi$  вида:

$$\varphi = U_{ГЭ} \times U_{РЭ}^{-1} - C_2 \times \\ \times C_1^{-1} U_{ГЭ}^2 (U_{РЭ}^2 - U_{ГЭ} \times U_{РЭ})^{-1},$$

или

$$\varphi = U_{ГЭ} \times U_{РЭ}^{-1} (1 - C_2 \times C_1^{-1} \times \\ \times U_{ГЭ} (U_{РЭ} - U_{ГЭ})^{-1}).$$

Анализ последнего выражения показывает, что  $\varphi$  уменьшается с ростом отношения  $C_2/C_1$ . Из вида зависимости  $\varphi$  от отношения  $C_2/C_1$  следуют важные практические выводы. В частности, переход на конструкции генераторов озона с малыми разрядными промежутками должен сопровождаться применением диэлектрических слоев с большей диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ . Зависимость  $\varphi$  от отношения  $U_{ГЭ}/U_{РЭ}$  имеет экстремальный вид. Как уже отмечалось выше, при рабочих напряжениях  $U_{РЭ} < U_{КЭ}$  коэффициент мощности равен нулю. Представив общий коэффициент мощности в виде произведения коэффициента сдвига  $\varphi_C$  на коэффициент искажения  $\varphi_{И}$ :

$$\varphi = \varphi_C \times \varphi_{И},$$

можно определить следующее. Коэффициент мощности  $\varphi$  при возникновении разряда ( $U_{РЭ} > U_{КЭ}$ ) сначала достаточно быстро возрастает от нуля до максимального значения, за счет роста  $\varphi_{И}$ , а затем монотонно уменьшается, за счет уменьшения  $\varphi_C$ . В пределе для больших рабочих напряжений  $U_{РЭ}$  коэффициент мощности  $\varphi$  стремится к нулю. Для заданного отношения  $C_2/C_1$  максимальный коэффициент мощности  $\varphi$  имеет место при:

$$U_{ГЭ} \times U_{РЭ}^{-1} = 1 - (1 - (1 + C_2 \times C_1^{-1})^{-1})^{1/2}.$$

При постоянном напряжении (режим стабилизации напряжения) коэффициент мощности  $\varphi$  генератора озона не зависит от частоты  $f$  питающего напряжения. При постоянной силе тока (режим стабилизации тока) коэффициент мощности  $\varphi$  зависит от частоты неоднозначно и может как возрастать, так и уменьшаться с ростом частоты  $f$  питающего напряжения (для различных сочетаний параметров и режимов).

### Список литературы

1. Алексеев С.Е. Применение озонирования для интенсификации процессов очистки природных и сточных вод // Водоочистка. – 2007. – № 2. – С. 23-27.
2. Булеков С.Н. Вторичное использование сточных вод // Водоочистка. – 2006. – № 9. – С. 35-38.

3. Карпов В.Н. Энергосбережение в облучательных электроустановках. – Л. : ЛГАУ, 1991. – 36 с.
4. Коверга А.В. [и др.] Пилотные испытания ультрафиолетового обеззараживания на московских станциях водоподготовки // ВСТ. – 2008. – № 4. – С. 15-20.
5. Костюченко С.В. [и др.] // ВСТ. – 1999. – № 10.
6. Ласков Ю.М. Технологическое конструирование флотационных сооружений: рациональное использование воды в городском хозяйстве Москвы : сб. науч. трудов / Ю.М. Ласков (МИСИ), Е.В. Алексеев (МИСИ), И.И. Павлинова (ВЗИСИ). – М. : Моск. рабочий, 1989. – 144 с. : ил.
7. Хмелёв В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве : научная монография / Алт. гос. техн. ун-т. им. И.И. Ползунова. – Барнаул : Изд. АлтГТУ, 1997. – 160 с.

#### **Рецензенты**

Артюхов Иван Иванович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов.

Угаров Геннадий Григорьевич, д.т.н., профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов.