

УДК 621.3

UDC 621.3

05.00.00 Технические науки

Engineering

**К ВОПРОСУ РАСЧЁТА ОСНОВНЫХ
КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ****TO THE QUESTION OF THE MAIN
PERFORMANCE CRITERIA CALCULATION
FOR ELECTRIC POWER STATIC
CONVERTERS**

Дайбова Любовь Анатольевна
к.т.н., доцент
daibova_la@mail.ru
SPIN-код: 6214-0244

Daibova Lyubov Anatolievna
Cand.Tech.Sci., associate Professor
daibova_la@mail.ru
SPIN-code: 6214-0244

Усков Антон Евгеньевич
к.т.н., доцент
9184349285@mail.ru
SPIN-код: 7461-9490

Uskov Anton Evgenievich
Cand.Tech.Sci., associate Professor
9184349285@mail.ru
SPIN-code: 7461-9490

Дедюля Кирилл Андреевич
магистр

Dedyulya Kirill Andreevich
master

Кравченко Николай Александрович
магистр
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Kravchenko Nikolai Aleksandrovich
master
Kuban state agrarian University, Krasnodar, Russia

Широкое распространение в автономных, в том числе бесперебойных системах электроснабжения получили силовые статические (электронные) преобразователи электроэнергии - выпрямители и инверторы, предназначенные для согласования параметров электроэнергии источника и нагрузки, а также они выполняют функцию стабилизаторов напряжения. Актуальным является вопрос расчёта на этапе проектирования основных критериев эффективности: потеря электроэнергии, КПД, показатели надёжности и массогабаритных показателей (для транспортных систем электроснабжения). В статье рассматриваются методики упрощенного расчета основных критериев эффективности инверторов и выпрямителей. Приводятся принципиальные силовые электрические схемы выпрямителей и инверторов, и основные аналитические выражения упрощенного расчёта основных критериев эффективности преобразователей, в том числе параметров их выходных фильтров. С каждым годом улучшаются технические характеристики преобразователей за счёт применения новой элементной базы, позволяющей уменьшить уровень электромагнитных помех, создаваемых силовыми электронными приборами. Раскрыты перспективные направления развития силовой преобразовательной техники за счёт применения в их конструкции однофазно-трёхфазных трансформаторов с вращающимся магнитным полем (повышается надёжность их работы и КПД). Перспективным направлением является построение преобразователей и автономных

Widespread in autonomous systems, including uninterrupted power supply systems, there are power static (electronic) converters: rectifiers and inverters, used to match the parameters of the electric power source and the load; they also have a function of voltage stabilizers. Important question is the calculation of key performance criteria at the design stage: power losses, efficiency, reliability, weight and size (for electrical transport systems). The article discusses the methodology of the simplified calculation of the basic criteria of efficiency of inverters and rectifiers. There are schematic electrical diagrams of power rectifiers and inverters, and the basic analytical expression for a simplified calculation of the basic criteria of efficiency of the converters, including their output filters. Each year, we improve the technical characteristics of the probes using new element base, allowing reducing the level of electromagnetic interference generated by power electronic devices. We have also shown perspective directions of the development of power converter technology by using one-phase and three-phase transformers with rotating magnetic field in their creation (therefore we increase reliability of operation and efficiency). A promising direction is the construction of converters and autonomous systems in a modular complex, where (in addition to increased system reliability) we simplify its operation, including service

систем в комплексе по модульному принципу, где, кроме повышения надёжности системы, упрощаются вопросы её эксплуатации, в том числе обслуживания

Ключевые слова: АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Keywords: AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS, STATIC INVERTERS

DOI: 10.21515/1990-4665-124-024

В настоящее время широкое распространение в автономных системах электроснабжения (АСЭ) получили силовые статические (электронные) преобразователи электроэнергии (СПЭ) выпрямители и инверторы, предназначенные для согласования параметров электроэнергии источника и нагрузки, а также они выполняют функцию стабилизаторов напряжения [1, 2].

Актуальным является вопрос расчёта основных критериев эффективности (потерь электроэнергии, КПД, показателей надёжности и массогабаритных показателей для транспортных систем электроснабжения) СПЭ на этапе проектирования [3].

В статье рассматриваются методики упрощенного расчета основных функциональных узлов СПЭ.

Широкое распространение в АСЭ получили мостовые схемы однофазных и трехфазных выпрямителей (рисунок 1).

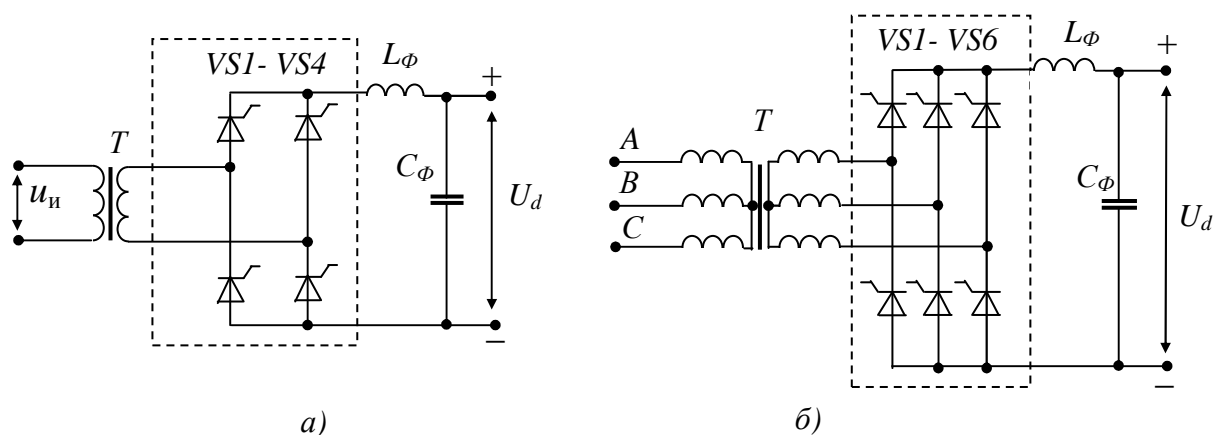


Рисунок 1 – Однофазная (а) и трехфазная (б) мостовые схемы выпрямителей:

Исходными данными для расчёта выпрямителей являются: мощность нагрузки P_d ; напряжение на нагрузке U_d ; частота источника питания f_i ; коэффициент сглаживания выходного фильтра $K_{сг}$.

Расчет массы и КПД выпрямителей начинается с определения электрических параметров силовой цепи с учетом параметров нагрузки. Далее осуществляется выбор полупроводниковых приборов по максимальному значению тока I_{max} , протекающего через полупроводниковый прибор (тиристор), и по величине максимального обратного напряжения приложенного к прибору в закрытом состоянии $U_{об. max}$. Среднее выпрямленное значение тока протекающего через нагрузку

$$I_d = P_d / U_d. \quad (1)$$

Максимальные значения обратного напряжения и тока на полупроводниковом приборе однофазной мостовой схемы

$$U_{об. max} = 1,57U_d, \quad I_{max} = 1,57I_d, \quad (2)$$

где U_2 – действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

Для трехфазной мостовой схемы

$$U_{об. max} = 1,045U_{2Л}, \quad I_{max} \approx I_d, \quad (3)$$

где $U_{2Л}$ – действующее значение линейного напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

Массу силовой электронных приборов выпрямителя можно определить по формуле

$$G_{БВ} = m(G_{ПП} + G_{ОХ})K_K, \quad (4)$$

где m – количество полупроводниковых приборов схемы выпрямления; $G_{ПП}$ – масса полупроводникового прибора; $G_{ОХ}$ – масса охладителя полупроводникового прибора; $K_K \approx 1,2$ – конструктивный коэффициент,

учитывающий массу крепежных деталей и корпуса блока выпрямления, $K_K \approx 1,3$, когда выпрямитель, кроме того, содержит систему управления.

Значения G_{III} и G_{OX} определяются по справочным данным.

Для определения КПД выпрямительного моста проводится расчет статических ΔP_C и динамических потерь ΔP_D потерь в полупроводниковых приборах, а также и потерь мощности в системе управления ΔP_{cy} , в случае если схема выполнена на управляемых силовых приборах.

Статические потери на тиристорах приближенно определяются по следующей формуле

$$\Delta P_C \approx m_p U_{np} I_d, \quad (5)$$

где m_p – число приборов работающих в схеме одновременно; U_{np} – прямое падение напряжения на полупроводниковых приборах определяется по справочным данным.

Динамические потери в полупроводниковых приборах

$$\Delta P_D \approx m_p \frac{\pi}{2} U_2 I_d f_1 t_{вкл}, \quad (6)$$

где $t_{вкл}$ – время включения, определяется по справочным данным.

Потери в системе управления выпрямителя мощностью до 20 кВт на основе анализа типовых схем управления можно определить по формуле

$$\Delta P_{cy} \approx 0,01 P_d. \quad (7)$$

Суммарные потери силовой схемы полупроводниковых приборов

$$\sum \Delta P_{III} = \Delta P_C + \Delta P_D + \Delta P_{cy}. \quad (8)$$

Таким образом, КПД силовой схемы выпрямления без учёта параметров трансформатора

$$\eta_{CB} = \frac{P_d}{P_d + \sum \Delta P_{CB}}. \quad (9)$$

Для расчета параметров выходного фильтра определяется активное сопротивление нагрузки

$$R_d = U_d / I_d. \quad (10)$$

Индуктивность сглаживающего дросселя фильтра

$$L_\phi = \frac{0,5R_d \sqrt{K_{CG}^2 - 1}}{m_\Pi \pi f_1}, \quad (11)$$

где m_Π – пульсность схемы выпрямления, для однофазной $m_\Pi = 2$, а для трехфазной $m_\Pi = 6$; K_{CG} – коэффициент сглаживания фильтра.

Емкость конденсаторов фильтра

$$C_\phi = \frac{(K_{CG} + 1)10^{-6}}{L_\phi (2\pi f_1 m_\Pi)^2}. \quad (12)$$

Для того чтобы в цепи не возникал резонанс необходимо, чтобы выполнялось условие

$$L_\phi C_\phi \geq 4 / (m_\Pi 2\pi f_1)^2. \quad (13)$$

При не выполнении условия (13), необходимо изменить значения индуктивности дросселей или емкости конденсаторов фильтра, при этом, необходимо учитывать, что с увеличением индуктивности дросселей, кроме того, что увеличивается их масса, но и увеличиваются электрические потери. Увеличение ёмкости конденсаторов приводит к увеличению массы фильтра и незначительному увеличению потерь.

По значениям массы дросселей и конденсаторов определяется масса сглаживающего фильтра выпрямителя

$$G_\phi = (G_{L\phi} + G_{C\phi}) K_K, \quad (14)$$

где $K_K = 1, 1 \div 1, 2$ – конструктивный коэффициент.

КПД LC - фильтра выпрямителя определяется с учетом электрических потерь в обмотке дросселя, поскольку потери в конденсаторах имеют малые значения, по формуле

$$\eta_{\phi} = \frac{P_d}{P_d + I_d^2 R_{L\phi}}, \quad (15)$$

где $R_{L\phi}$ – активное сопротивление обмоток дросселей фильтра.

Таким образом, масса выпрямителя

$$G_B = G_{BB} + G_{\phi}. \quad (16)$$

КПД выпрямителя

$$\eta_B = \eta_{BB} \eta_{\phi}. \quad (17)$$

Особенностью конструкции автономных инверторов (АИ) является то, что трансформаторы T размещаются после выходных Γ -образным LC – фильтром. На рисунке 2 показаны однофазная и трёхфазная схемы инверторов, выполненные на тиристорах.

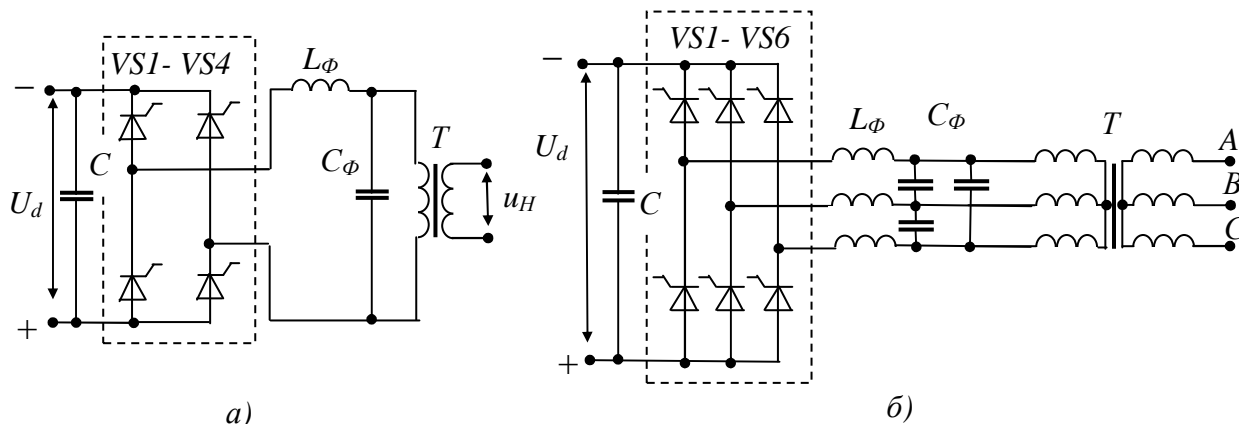


Рисунок 2 – Однофазная (а) и трехфазная (б) мостовые схемы инверторов

Исходными данными для расчета массы и КПД АИ являются: мощность нагрузки P_H ; напряжение на нагрузке U_H ; коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi_H$; частота тока нагрузки f ; напряжение источника питания U_d ; коэффициент фильтрации фильтра K_{ϕ} .

Полная мощность вторичной обмотки трансформатора

$$S_2 = P_H / \cos \varphi_H. \quad (18)$$

Полная мощность первичной обмотки определяется с учетом КПД трансформатора.

Номинальное значение тока в нагрузке

$$I_H = \frac{P_H}{U_H \cos \varphi_H}. \quad (19)$$

Напряжение первичной обмотки трансформатора $U_1 \approx U_d$. Тогда постоянный ток источника напряжения

$$I_d \approx S_1 / U_1. \quad (20)$$

Максимальные значения обратного напряжения и тока на полупроводниковых приборах определяется по (3).

Масса силовой схемы полупроводниковых приборов, потери электроэнергии и КПД определяются аналогично расчета силовой схемы выпрямления по формулам (4) – (9), при этом, активная мощность источника электроэнергии, без учета потерь в дросселе на входе мостовой схемы, определяется по формуле

$$P_d = U_1 I_d. \quad (21)$$

Для ориентировочной оценки параметров фильтра инвертора, как правило, задаются падением напряжения первой гармоники на дросселе L_ϕ , которое примерно равно $\Delta U_{L\phi 1} \approx 2 B$, тогда

$$L_\phi = \frac{\Delta U_{L\phi 1}}{2,82 \pi f I_H}. \quad (22)$$

Ёмкость конденсаторов фильтра, обеспечивающего фильтрацию третьей гармоники

$$C_\phi \approx \frac{28 \cdot 10^3 K_\phi}{(\pi f)^2 L_\phi}, \text{ мкФ}, \quad (23)$$

где K_ϕ – коэффициент фильтрации выходного фильтра.

Проверка фильтра на условия резонанса напряжений

$$\omega_\phi = \sqrt{\frac{1}{L_\phi C_\phi}} \leq \omega_1 = 2\pi f. \quad (24)$$

При не выполнении условия (24), необходимо изменить значения индуктивности дросселей или емкости конденсаторов фильтра.

Емкость входных конденсаторов (рис.2)

$$C = \frac{\sqrt{2} I_{d \max} (1 - \cos \varphi_H)}{2\pi f \Delta U_c}, \quad (25)$$

где ΔU_c – допустимая амплитуда пульсации напряжения выбранного типа конденсатор.

Масса входного фильтра инвертора, выполненного на конденсаторах (рисунок 2) определяется по справочным данным.

КПД инвертора, масса фильтра, КПД инвертора и его масса определяются по (14) – (17) и (18).

В настоящее время в основном применяются схемы инверторов, выполненные на транзисторах (на рисунке 3 и рисунке 4 схемы инверторов показаны без выходных фильтров, а на рис.4 и без трансформатора).

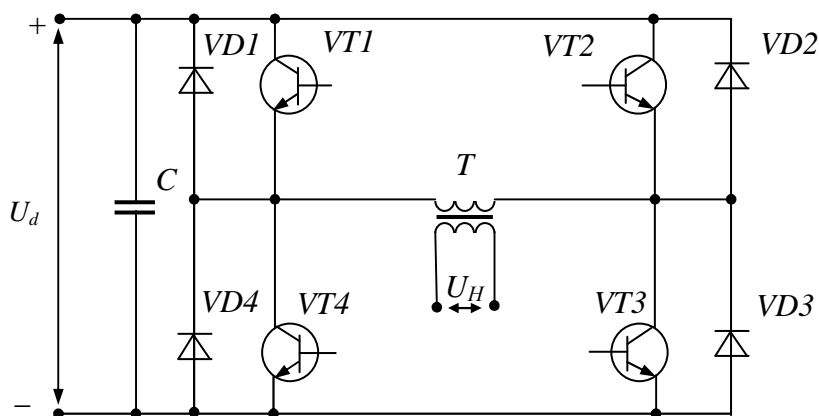


Рисунок 2 – Принципиальная силовая электрическая схема однофазного инвертора напряжения

Выбор транзисторов силовой схемы инвертора осуществляется по максимальному значению коллекторного тока и максимальному обратному напряжению, приложенному к эмиттер-коллекторному переходу.

Максимальное значение коллекторного тока транзисторов инвертора будет в номинальном режиме ($\alpha = 0$, коэффициента мощности нагрузки $\cos\varphi_H = 1$)

$$I_{VT \max} = \frac{\sqrt{2}K_T P_H}{\pi U_H}, \quad (26)$$

где K_T – коэффициент трансформации трансформатора.

Максимальное обратное значение входного напряжения транзистора

$$U_{ЭК} = \sqrt{2}U_d. \quad (27)$$

С учетом частоты тока инвертора f и значений тока I_{VSmax} и напряжения $U_{ЭК}$ по справочным данным выбирается необходимый тип транзистора.

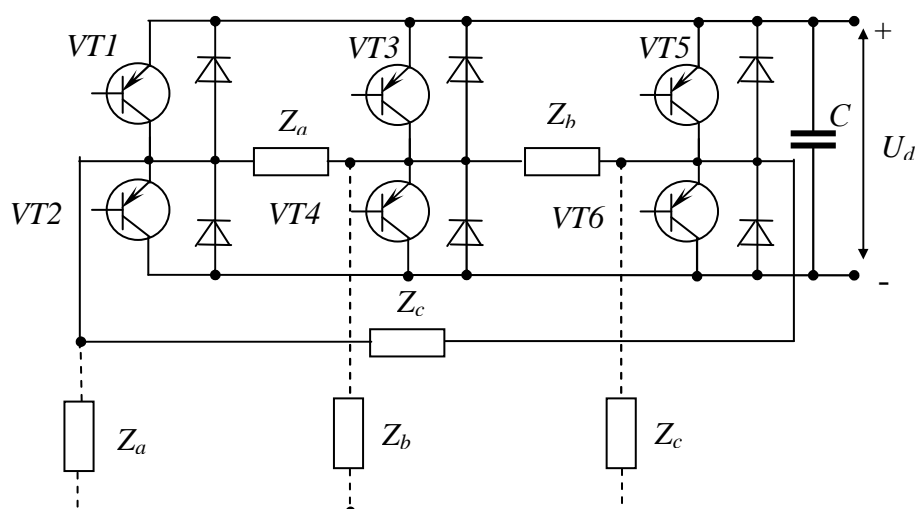


Рисунок 4 – Принципиальная силовая электрическая схема трехфазного инвертора напряжения с подключенной нагрузкой

Максимальное среднее значение тока через обратные диоды ($VD1 - VD4$, рисунок 3)

$$I_{VD\max} = \frac{\sqrt{2}P_H}{\pi U_H} \sin\left(\frac{\alpha_{\max}}{2} + \varphi_H\right) K_T, \quad (28)$$

где α_{\max} – максимальное значение угла управления транзисторами.

Максимальное обратное напряжение на диодах $U_{VD\max} = U_{ЭК}$.

В соответствии с максимальными значениями тока $I_{VD\max}$ и напряжения $U_{VD\max}$ по справочным данным выбирается требуемый тип обратных диодов.

Ёмкость входных конденсаторов определяется по (25).

Масса инверторов и КПД (рисунки 3 и 4) определяется по рассмотренным выше формулам.

Особенности расчета трехфазных инверторов (рисунок 4) является то, что при соединении нагрузки звездой действующее значение фазного напряжения

$$U_\phi = \sqrt{2}(U_d / 3). \quad (29)$$

Действующее значение тока нагрузки

$$I_\phi = I_L = (\sqrt{3/2})I_o, \quad (30)$$

где

$$\left. \begin{aligned} I_o &= U_d / R_H, & A &= \sqrt{1 - \frac{3}{2k\pi} \frac{1-a^2}{1-a+a^2}}, \\ k &= R_H / (\omega L_H), & a &= e^{-k\pi/3}. \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Среднее значение тока в цепи источника питания

$$I_d = (2/3)I_o A^2. \quad (32)$$

Активная мощность нагрузки

$$P_d = U_d I_d = (2/3)U_d I_o A^2. \quad (33)$$

Полная мощность нагрузки

$$S_n = 3U_\phi I_\phi = (2/3)U_d I_o A. \quad (34)$$

Коэффициент мощности нагрузки

$$\cos \varphi_n = P_d / S_n = A. \quad (35)$$

Современный уровень развития электротехнических устройств характеризуется значительным повышением его сложности. Одним из основных показателей эффективности электротехнических устройств является надежность их работы [3].

Как известно, что интенсивность отказов $\lambda(t)$ – это число отказов $n(t)$ элементов устройства в единицу времени, отнесенное к произведению общего числа элементов устройства N и заданного промежутка времени Δt

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N \cdot \Delta t} \quad (36)$$

Вероятность безотказной работы $P(t)$ представляет собой вероятность того, что в пределах заданного времени работы t отказ устройства не возникает. Этот показатель определяется отношением числа элементов устройства $N(t)$, безотказно проработавших до момента времени t к общему числу элементов N , работоспособных в начальный момент

$$P(t) = \frac{N(t)}{N}. \quad (37)$$

Как правило, показатели интенсивности отказов элементов устройств, при расчетах, берутся на основании справочных данных [1]. В таблице 1 приведены интенсивности отказов некоторых элементов.

Вероятность безотказной работы элемента с учетом сведений, приведённых в таблице 1 определяется по формуле

$$P(t) = e^{-\lambda(t) \cdot K}, \quad (38)$$

где K – поправочный коэффициент, учитывающий режимы и условия работы устройства, значение которого определяется по формуле

$$K = K_{ЭР} K_{МФ} K_B K_{ТВР}, \quad (39)$$

где $K_{ЭР} = 0,7- 0,9$ – коэффициент, учитывающий электрический режим работы; $K_{МФ}$ – коэффициент, учитывающий воздействие механических факторов (таблица 2); K_B – коэффициент, учитывающий на какой высоте эксплуатируется устройство (табл. 2); $K_{ТВР} = K_T K_{ВЛ}$ – коэффициент, учитывающий температурно-влажностный режим эксплуатации устройства, при этом, при изменении температуры окружающей среды от 20 до 40 °С $K_T = 1 - 2$, при изменении влажности от 60 до 110% коэффициент $K_{ВЛ} = 1 - 2,5$.

Таблица 1 – Интенсивности отказов элементов силовых цепей электротехнических устройств

№ п/п	Наименование элемента	$\lambda, 10^{-6} 1/ч$	№ п/п	Наименование элемента	$\lambda, 10^{-6} 1/ч$
1	Автомат. выключатель	0,1 – 0,14	12	Плавкие предохранители	0,1 – 0,5
2	Аккумуляторы	5 – 7,2	13	Провода соединительные	0,01 – 0,2
3	Генераторы контактные	50 – 300	14	Разъемы	0,01 – 0,09
4	Генераторы бесконтактные	20 – 100	15	Резисторы	0,001 – 0,1
5	Диоды	1,1 – 1,4	16	Реле	0,05 – 0,3
6	Двигатели асинхронные	10 – 60	17	Соединения механические	0,01 – 0,03
7	Измерительные приборы	0,2 – 0,3	18	Соединения пайкой	0,001 – 0,01
8	Кабели	0,1 – 0,8	19	Тиристоры	0,7 – 0,9
9	Катушки индуктивности	0,44 – 2,1	20	Транзисторы	0,1 – 0,6
10	Конденсаторы	0,01 – 1,6	21	Трансформаторы	0,4 – 0,9
11	Контакты	0,3 – 0,5	22	Фильтры	0,3 – 0,5

Следует отметить, что коэффициент $K_{ЭР}$, учитывающий электрический режим работы, представляет собой отношение действительной нагрузки к номинальной для данного элемента по техническим условиям.

К механическим факторам, учитывающие коэффициентом $K_{МФ}$ относятся вибрационные воздействия, механические удары, линейные ускорения и т.п.

Таблица 2 – Поправочные коэффициенты для расчета надежности работы устройства

Условия эксплуатации	$K_{MФ}$	Высота, км	K_B
Стационарные	1 – 1,04	0 – 2	1,0 – 1,05
Корабельные	1,04 – 1,3	2 – 5	1,1 – 1,14
Транспортные	1,3 – 1,35	5 – 8	1,15 – 1,2
Железнодорожные	1,35 – 1,4	8 – 30	1,21 – 1,4
Самолетные	1,4 – 1,46	более 30	1,41 – 145

Как известно, элементы устройства могут быть соединены как последовательно, так и параллельно. При последовательном соединении элементов вероятность безотказной работы устройства

$$P(t) = \prod_{i=1}^m P_i(t), \quad (40)$$

где m – число элементов, соединенных последовательно.

При параллельном соединении элементов вероятность безотказной работы устройства определяется по формуле

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i(t)). \quad (41)$$

Средняя наработка до отказа T_o – это математическое ожидание наработки элемента до первого отказа, т.е. это время равно обратной величине произведения поправочного коэффициента на сумму интенсивность отказов всех элементов устройства

$$T_o = \frac{1}{K \cdot \sum \lambda(t)}. \quad (42)$$

СПЭ нашли широкое применение в АСЭ и бесперебойных системах автономного электроснабжения, выполненных с использованием возобновляемых источников энергии [4, 5]. С каждым годом улучшаются технические характеристики СПЭ за счёт применения новой элементной базы, позволяющей уменьшить уровень электромагнитных помех, создаваемые силовыми электронными приборами [6]. Применение в конструкции СПЭ однофазно-трёхфазных трансформаторов с

вращающимся магнитным полем позволяет повысить надёжность их работы и КПД [7, 8]. Перспективным направлением является построение не только СПЭ, но и АСЭ в комплексе по модульному принципу, где кроме повышения надёжности системы упрощаются вопросы её эксплуатации, в том числе обслуживания [9].

Особенности расчёта новых СПЭ, выполненных на трансформаторах с вращающимся магнитным полем, систем электроснабжения, построенных по модульному принципу, рассмотрены в [9, 10].

Список литературы

1. Богатырев Н.И., Григораш О.В., Курзин Н.Н. и др. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования. Краснодар. 2002. С.358.
2. Григораш О.В., Новокрещенов О.В., Хамула А.А., Шхалахов Р.С. Статические преобразователи электроэнергии. Краснодар. 2006. С.264.
3. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения. Краснодар. 2011. С.188.
4. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е., Квитко А.В. Возобновляемые источники электроэнергии: термины, определения, достоинства и недостатки // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. - № 32. – С. 189-192.
5. Григораш О.В., Тропин В.В., Оськина А.С. Об эффективности и целесообразности использования возобновляемых источников энергии в Краснодарском крае // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2012. – № 83 (09). С. 188 – 199.
6. Григораш О.В., Дацко А.В., Мелехов С.В. К вопросу электромагнитной совместимости узлов САЭ. Промышленная энергетика. 2001. № 2. С.44-47.
7. Григораш О.В. Преобразователи электрической энергии на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем для систем автономного электроснабжения. Промышленная энергетика. 1997. № 7. С.21-25.
8. Григораш О.В., Кабанков Ю.А. К вопросу применения трансформаторов с вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии. Электротехника. 2002. № 3. С.22-26.
9. Григораш О.В., Божко С.В., Нормов Д.А. и др. Модульные системы гарантированного электроснабжения. Краснодар. 2005. С. 306.
10. Григораш О.В., Новокрещенов О.В., Хамула А.А. Статические преобразователи электроэнергии. Краснодар. 2006. С.264.
11. Пат. РФ № 2420854, МПК H02M7/539. Однофазный автономный инвертор с широтно-импульсной модуляцией / Григораш О. В., Степура Ю. П., Усков А. Е., Тонкошуров Ю. Н., Сулейманов А. Э., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2010119105/07, заявл. 11.05.2010; опубл. 10.06.2011; бюл № 16. – 7 с.
12. Пат. РФ № 2420855, МПК H02M7/539. Преобразователь напряжения постоянного тока на реверсивном выпрямителе / Степура Ю. П., Григораш О. В.,

Власенко Е. А., Усков А. Е., Перенко Ю. М., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 201011906/07, заявл. 11.05.2010; опубл. 10.06.2011; бюл. № 16. – 9 с.

References

1. Bogatyrev N.I., Grigorash O.V., Kurzin N.N. i dr. Preobrazovateli jelektricheskoy jenerгии: osnovy teorii, rascheta i proektirovaniya. Krasnodar. 2002. S.358.
2. Grigorash O.V., Novokreshhenov O.V., Hamula A.A., Shhalahov R.S. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenerгии. Krasnodar. 2006. S.264.
3. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektrosnabzheniya. Krasnodar. 2011. S.188.
4. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E., Kvitko A.V. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenerгии: terminy, opredeleniya, dostoinstva i nedostatki // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. - № 32. – S. 189-192.
5. Grigorash O.V., Tropin V.V., Os'kina A.S. Ob jeffektivnosti i celesoobraznosti ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии v Krasnodarskom krae // Politematicheskij setevoy jelektronnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU). – Krasnodar: KubGAU, 2012. – № 83 (09). S. 188 – 199.
6. Grigorash O.V., Dacko A.V., Melehov S.V. K voprosu jelektromagnitnoj sovmestimosti uzlov SAJe. Promyshlennaja jenergetika. 2001. № 2. S.44-47.
7. Grigorash O.V. Preobrazovateli jelektricheskoy jenerгии na baze transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem dlja sistem avtonomnogo jelektrosnabzheniya. Promyshlennaja jenergetika. 1997. № 7. S.21-25.
8. Grigorash O.V., Kabankov Ju.A. K voprosu primenenija transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem v sostave preobrazovatelej jelektrojenerгии. Jelektrotehnika. 2002. № 3. S.22-26.
9. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Normov D.A. i dr. Modul'nye sistemy garantirovannogo jelektrosnabzheniya. Krasnodar. 2005. S. 306.
10. Grigorash O.V., Novokreshhenov O.V., Hamula A.A. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenerгии. Krasnodar. 2006. S.264.
11. Pat. RF № 2420854, MPK H02M7/539. Odnofaznyj avtonomnyj invertor s shirotno–impul'snoj moduljaciej / Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Uskov A. E., Tonkoshkurov Ju. N., Sulejmanov A. Je., заявитель i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2010119105/07, заявл. 11.05.2010; opubl. 10.06.2011; bjul № 16. – 7 s.
12. Pat. RF № 2420855, MPK H02M7/539. Preobrazovatel' naprjazhenija postojannogo toka na reversivnom vyprjamatele / Stepura Ju. P., Grigorash O. V., Vlasenko E. A., Uskov A. E., Perenko Ju. M., заявитель i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 201011906/07, заявл. 11.05.2010; opubl. 10.06.2011; bjul. № 16. – 9 s.