

УДК 621.314.211 : 621.3.019.3

## НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЁЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ

С.М. БОРОВИКОВ, Е.Д. ГРИШЕЧКИН

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Рассматривается новый подход к оценке эксплуатационной надёжности трансформаторов вторичных источников питания для медицинской аппаратуры. Отличительной особенностью подхода является выделение в конструкции трансформатора составных частей, влияющих на безотказную работу трансформатора в составе электронной аппаратуры медицинского назначения и последующий учёт надёжности этих частей, принимая во внимание их количественные характеристики, например число обмоток, длину и диаметр провода каждой обмотки, количество внешних контактных соединений. В качестве основной конструктивной части трансформатора, влияющей на его надёжность, следует рассматривать и магнитопровод (сердечник), материал которого определяет потери электрической энергии и дополнительный температурный нагрев трансформатора при его работе. Оценка прогнозного показателя безотказности трансформатора в целом может быть дана путём учёта надёжности его составных частей. Гипотетически указанный подход обеспечит получение более достоверных показателей эксплуатационной надёжности трансформатора при его работе в составе электронного медицинского устройства, а при использовании электронного устройства по функциональному назначению позволит правильно оценить риски и опасности для пациентов и медицинского персонала в случае отказа электронной аппаратуры медицинского назначения по вине трансформаторов вторичных источников питания.

**Ключевые слова:** медицинская аппаратура, вторичные источники питания, трансформаторы, эксплуатационная надёжность, модель прогнозирования, интенсивность отказов.

## A NEW APPROACH TO ASSESSING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF TRANSFORMERS OF SECONDARY POWER SOURCES OF MEDICAL EQUIPMENT

SERGEI M. BOROVIKOV, EGOR D. GRIESHECHKIN

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus*

**Abstract.** A new approach to assessing the operational reliability of secondary power supply transformers for medical equipment is considered. A distinctive feature of the approach is the allocation of component parts in the transformer design that affect the failure-free operation of the transformer as part of medical electronic equipment and the subsequent consideration of the reliability of these parts, taking into account their quantitative characteristics, such as the number of windings, the length and diameter of the wire of each winding, the number of external contact connections. The main structural part of the transformer that affects its reliability should also be considered the magnetic circuit (core), the material of which determines the loss of electrical energy and additional temperature heating of the transformer during its operation. An assessment of the predicted failure-free performance of the transformer as a whole can be given by taking into account the reliability of its components. Hypothetically, the indicated approach will provide more reliable indicators of the operational reliability of the transformer when it is used as part of an electronic medical device, and when using the electronic device for its functional purpose, it will allow for a correct assessment of the risks and dangers for patients and medical personnel in the event of failure of electronic medical equipment due to the fault of transformers of secondary power sources.

**Keywords:** medical equipment, secondary power supplies, reliability, transformers, operational reliability, prediction model, failure rate.

## Введение

Современная медицинская аппаратура предъявляет высокие требования к надежности элементов и комплектующих изделий, входящих в состав электронных устройств этой аппаратуры. Отказы и сбои в работе электронных устройств могут повлиять на здоровье и создать опасность для пациентов и медицинского персонала. От вторичных источников питания зависит обеспечение стабильной и безопасной работы медицинской аппаратуры, включая оборудование жизнеобеспечения, диагностические приборы и устройства мониторинга состояния пациентов. Во многих случаях надёжность электронных устройств медицинского назначения зависит от того, насколько надёжны их вторичные источники питания.

Типичными структурными схемами источников питания, получающих энергию от промышленной сети с частотой 50 Гц, являются следующие:

1. Источник питания без преобразователя частоты. Такие источники питания ранее широко использовались в бытовой электронике, однако в последнее время вместо них все чаще используют источники с преобразованием частоты. Причиной является то, что в источниках без преобразования частоты вес и габариты трансформатора, работающего на частоте 50 Гц, а также сглаживающего фильтра оказываются довольно большими. Тем не менее, эти источники питания используются в настоящее время в медицинском оборудовании, поскольку в нём габаритные и весовые характеристики важны, но в ряде случаев не являются определяющими. Согласно ГОСТ Р МЭК 60601-1-2022, любое медицинское устройство должно содержать как минимум одно средство защиты, гарантирующее защиту от поражения электрическим током пациента и медицинского работника, взаимодействующих с данным устройством, даже в случае возникновения отказа устройства. Одним из таких методов защиты является изоляция, а трансформаторы используются в роли гальванической развязки.

2. Источники питания с преобразованием частоты. В этих источниках напряжение от промышленной сети электропитания подается непосредственно на выпрямитель. На выходе сглаживающего фильтра создается постоянное напряжение, которое вновь преобразуется в переменное с помощью так называемого инвертора. Полученное переменное напряжение имеет частоту, значительно превышающую 50 Гц (обычно используют частоты в десятки килогерц). Затем напряжение передается через трансформатор, выпрямляется и фильтруется. Так как трансформатор в этой схеме работает на повышенной частоте, то его вес и габариты, а также вес и габариты сглаживающего фильтра оказываются значительно меньшими, нежели в источниках питания без преобразователя частоты. Использование источников питания с преобразованием частоты в медицинской аппаратуре позволяет повысить эффективность работы и улучшить тепловой режим работы. Как и в предыдущей схеме, основная роль трансформатора состоит в гальванической развязке электрической сети и нагрузки, что является определяющим фактором в безопасной эксплуатации медицинской аппаратуры.

### Актуальность нового подхода к прогнозной оценке надёжности трансформаторов

В отечественной и мировой практике для прогнозирования эксплуатационной надёжности трансформаторов источников электропитания электронного оборудования используют модель вида [1–4]

$$\lambda_3 = \lambda_B \prod_{i=1}^m K_i, \quad (1)$$

где  $\lambda_3$  – эксплуатационная интенсивность отказов трансформатора, соответствующая условиям его применения в составе электронной аппаратуры;  $\lambda_B$  – базовая (усреднённая) интенсивность отказов, характерная для трансформаторов электропитания электронного оборудования;  $K_i$  – поправочные коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной интенсивности отказов в зависимости от различных факторов;  $m$  – число учитываемых факторов.

Согласно например [1], для трансформаторов источников питания в качестве  $\lambda_B$  необходимо использовать значение  $\lambda_B = 0,0035 \times 10^{-6}$  1/ч независимо от вида и размеров

трансформатора, типа магнитопровода, числа обмоток и диаметра используемых проводов, количества внешних контактов и других конструкторско-технологических параметров (рис. 1).



Рис. 1. Различные конструктивные исполнения трансформаторов источников питания

В трансформаторах электропитания медицинской аппаратуры используются дополнительные обмотки для обеспечения изоляции и защиты, что ещё больше усложняет конструкцию трансформаторов и вносит определённый вклад в их эксплуатационную ненадежность. Использование одного числового значения  $\lambda_B$  для всего многообразия трансформаторов вторичных источников питания (см. рис. 1) без учёта их конструкторско-технологических параметров вызывает дополнительные погрешности в дальнейшей прогнозной оценке по модели (1) интересующего показателя безотказности  $\lambda_3$ . Поэтому актуальным является получение для оценки эксплуатационной надёжности трансформаторов электропитания такой модели, которая принимала бы во внимание конструктивные части трансформатора, их количество и особенности с точки зрения обеспечения безотказной работы в конкретных эксплуатационных условиях. Такой подход позволит получить более достоверное значение эксплуатационной надёжности трансформатора конкретной конструкции.

#### Предлагаемый подход к оценке эксплуатационной надёжности трансформаторов

Для трансформаторов источников питания, как сложных изделий, суммарный поток отказов которых складывается из независимых потоков отказов составных конструктивных частей, в частности магнитопровода, обмоток с учётом их числа и диаметра используемых проводов, внешних контактных выводов и др., предлагается использовать модель прогнозирования эксплуатационной интенсивности отказов  $\lambda_3$  (как показателя безотказности трансформатора в целом) в виде

$$\lambda_3 = \lambda_{B1} \prod_{i=1}^{m_1} K_i^{(1)} + \dots + \lambda_{Bn} \prod_{i=1}^{m_n} K_i^{(n)}, \quad (2)$$

где  $\lambda_{Bj}$  – исходная (базовая, усреднённая) интенсивность отказов  $j$ -й конструктивной части трансформатора,  $j = 1, \dots, n$ ;  $n$  – количество выделенных составных конструктивных частей трансформатора, влияющих на его надёжность;  $K_i^{(j)}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние  $i$ -го фактора для  $j$ -й конструктивной части трансформатора;  $i = 1, \dots, m_j$ ;  $j = 1, \dots, n$ ;  $m_j$  – количество факторов, учитываемых для  $i$ -й части трансформатора.

Модель (2) принимает во внимание тот факт, что разные конструктивные части трансформатора могут иметь разные значения поправочных коэффициентов, учитывающих влияние одного и того же фактора, например уровня качества изготовления частей трансформатора в условиях производства.

С начальным вариантом модели, основанной на использовании выражении (2), можно ознакомиться в работе [5]. Модель была включена в методику выполнения инженерных расчётов надёжности комплектующих изделий и электронных устройств для ИТ-системы, предназначенной для автоматизированного расчёта и обеспечения надёжности электронных устройств, известной под названием система АРИОН [5]. Модель

предназначена для прогнозирования эксплуатационной надёжности трансформаторов электропитания электронной аппаратуры, в том числе медицинского назначения. Дальнейшие исследования авторов доклада направлены на усовершенствование модели с учётом многообразия материалов, используемых в качестве магнитопровода трансформаторов электропитания, конструктивных их особенностей.

### **Заключение**

Предлагаемый подход к оценке эксплуатационной надёжности трансформаторов электропитания позволит разработать модели прогнозирования, обеспечивающие более достоверные показатели эксплуатационной надёжности трансформаторов вторичных источников питания электронных медицинских устройств, что при использовании электронной аппаратуры в медицинской практике даст возможность более правильно учитывать риски и опасности в случаях отказов аппаратуры по вине трансформаторов вторичных источников питания.

### **Список литературы**

1. Прытков С.Ф., Горбачева В.М., Мартынова М.Н., Петров Г.А. Надёжность электрорадиоизделий, 2006: справочник. Москва: ФГУП «22 ЦНИИИ МО РФ»; 2008.
2. Боровиков С.М., Цырельчук И.Н., Троян Ф.Д. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств; под ред. С.М. Боровикова. Минск: БГУИР; 2010.
3. Reliability prediction of electronic equipment: Military Handbook MIL-HDBK-217F. Washington: Department of defense DC 20301; 1995.
4. A universal model for reliability prediction of Electronics components, PCBs and equipment. RDF 2000: reliability data handbook. Paris: UTE C 80-810; 2000.
5. Боровиков С.М., Шнейдеров Е.Н., Матюшков В.Е., И.Н Цырельчук. Разработка методики прогнозирования надёжности электронных устройств для системы АРИОН. Доклады БГУИР. 2011; 4 (58): С. 93-100.