

НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

¹Е.Д. Гришечкин, ²А.В. Будник

¹ *Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь*

² *Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В статье рассматривается применение методов анализа данных для прогнозирования надежности трансформаторов вторичных источников питания радиоэлектронной аппаратуры. Описан подход, основанный на обработке эксплуатационных отчетов и статистическом анализе. Выявление

закономерностей отказов и использование математических моделей позволяют повысить точность прогнозирования, минимизировать риски отказов и оптимизировать техническое обслуживание. Предложенная модель учитывает реальные условия эксплуатации, что делает прогнозирование более достоверным и адаптивным.

Ключевые слова: прогнозирование надежности, эксплуатационные отчеты, статистический анализ, предиктивная аналитика, трансформаторы, вторичные источники питания.

A NEW APPROACH TO ASSESSING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF SECONDARY POWER SUPPLY TRANSFORMERS

¹E.D. Grieshechkin, ²A.V. Budnik

¹*Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics",
Minsk, Belarus*

²*Educational Institution "Belarusian State Academy of Communications",
Minsk, Belarus*

Abstract. The article discusses the application of data analysis methods for predicting the reliability of secondary power supply transformers of electronic equipment. An approach based on the processing of operational reports and statistical analysis is described. Identifying failure patterns and using mathematical models can improve forecasting accuracy, minimize failure risks and optimize maintenance. The proposed model takes into account real operating conditions, which makes forecasting more reliable and adaptive.

Keywords: reliability forecasting, operational reports, statistical analysis, predictive analytics, transformers, secondary power sources.

Введение

Трансформаторы играют ключевую роль в системах электропитания информационных и коммуникационных технологий, обеспечивая стабильность работы оборудования и минимизируя влияние электромагнитных помех (ЭМП). В условиях современных угроз кибербезопасности отказ силового оборудования может привести к серьезным сбоям в защите данных, особенно в критически важных системах. Надежность вторичных источников питания становится важным элементом защиты информации, предотвращая влияние нестабильного электропитания на безопасность вычислительных систем.

Широкое использование трансформаторов в электронной аппаратуре и их важность для стабильного функционирования оборудования требуют особого внимания к вопросам их надежности. Несмотря на тщательное проектирование и использование качественных материалов, любой трансформатор подвержен износу и постепенному старению из-за воздействия температурных, электрических и механических нагрузок. Прогнозирование эксплуатационной надежности позволяет не только определить ресурс трансформатора, но и оптимизировать графики его обслуживания, замен и модернизации. Анализ эксплуатационных данных играет ключевую роль в повышении точности оценки надежности трансформаторов.

Основная часть

Российский справочник «Надежность электрорадиоизделий». В отечественной практике для прогнозирования эксплуатационной надежности трансформаторов (λ_z) используют модель, приводимую в Российском справочнике «Надежность электрорадиоизделий» (2006 год), разработанном Федеральным государственным учреждением «22-й Центральный научно-исследовательский испытательный институт Министерства обороны России». Модель имеет вид

$$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_t \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где λ_3 – эксплуатационная интенсивность отказов трансформатора, соответствующая условиям его применения в составе электронной аппаратуры; λ_6 – базовая (обобщенная, усредненная) интенсивность отказов, характерная для данной группы трансформаторов в целом; K_t – коэффициент режима в зависимости от максимально допустимых температур по технической документации; $K_{\text{Э}}$ – коэффициент эксплуатации, учитывает другие условия эксплуатации, кроме температуры, температура как важнейший эксплуатационный фактор учитывается отдельно; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент приемки, зависит от жесткости требований к контролю качества при изготовлении трансформаторов в условиях производства.

Отечественная методика отличается своей простотой и универсальностью. Она базируется на усредненных данных и нескольких коэффициентах, что позволяет легко применять ее в большинстве стандартных случаев. Однако из-за ограниченного числа параметров, учитываемых в расчете, она дает результаты ограниченной достоверности.

Стандарт Китая. В военном коммерческом стандарте Китая GJB/z 299B для прогнозирования эксплуатационной интенсивности отказов (λ_P) трансформаторов используют модель вида

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_E \cdot \pi_Q \cdot \pi_K, \quad (2)$$

где λ_b – базовая (обобщенная, усредненная) интенсивность отказов, характерная для данной группы трансформаторов в целом; π_E – коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды; π_Q – коэффициент качества изделия; π_K – коэффициент типа трансформатора (низкой мощности, импульсный, фильтрующий).

Для определения базовой интенсивности отказов λ_b в стандарте GJB/z 299B приводится формула, учитывающая влияние температуры и частоты работы трансформатора.

Справочник 217– Модели прогнозирования надежности (MILHandbook of 217Plus Reliability Prediction Models), США, 2006 г. В этом справочнике приводится модель вида

$$\lambda_P = \pi_G (\lambda_{OB} \cdot \pi_{DCO} \cdot \pi_{TO} + \lambda_{EB} \cdot \pi_{DCN} \cdot \pi_{TE} + \lambda_{TCB} \cdot \pi_{CR} \cdot \pi_{DT}) + \lambda_{IND}, \quad (3)$$

где λ_P – прогнозируемая интенсивность отказов (в отказах на миллион календарных часов); λ_{OB} – базовая интенсивность отказов при работе; λ_{EB} – базовая интенсивность отказов, обусловленная условиями окружающей среды; λ_{TCB} – базовая интенсивность отказов, вызываемая тепловыми циклами; λ_{IND} – интенсивность отказов, обусловленная другими факторами, например такими как механическое повреждение, электрические помехи; π_G – коэффициент, учитывающий роста надежности от времени производства; π_{DCO} , π_{DCN} – коэффициенты рабочего (DCO) и нерабочего (DCN) циклов; π_{TO} , π_{TE} – температурные коэффициенты для рабочих (TO) и окружающих (TE) условий; π_{CR} – коэффициент, учитывающий частоту циклов; π_{DT} – коэффициент перепада температур.

Из рассмотренных в работе справочников и стандартов модель (3) отличается самым детализированным подходом, так как учитывает широкий спектр факторов, включая механические повреждения, электрические помехи, тепловые колебания, рабочие и нерабочие циклы. Такой подход позволяет моделировать эксплуатационную надежность трансформатора практически в любых условиях. Однако его реализация требует значительных усилий, а результаты будут сильно зависеть от точности используемых входных данных.

Предлагаемый подход к оценке эксплуатационной надежности 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 учетом их числа и диаметра используемых проводов, внешних контактных выводов и др., предлагается использовать модель прогнозирования эксплуатационной интенсивности отказов λ_{Σ} (как показателя безотказности трансформатора в целом) в виде

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{Б1} \prod_{i=1}^{m_1} K_i^{(1)} + \dots + \lambda_{Бn} \prod_{i=1}^{m_n} K_i^{(n)}, \quad (4)$$

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

Модель (4) 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 выражения (4), можно ознакомиться в сборнике научных статей XIV Международной научно-технической конференции «Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии» (Минск, 5–6 декабря 2024 г.). Модель была включена в методику выполнения инженерных расчетов надежности комплектующих изделий и электронных устройств для ИТ-системы, предназначенной для автоматизированного расчета и обеспечения надежности электронных устройств, известной под названием система АРИОН [1]. Дальнейшие исследования авторов работы направлены на усовершенствование модели с учетом многообразия материалов, используемых в качестве магнитопровода трансформаторов электропитания, конструктивных их особенностей и физических свойств.

Заключение

Рассмотрены модели прогнозирования эксплуатационной надежности трансформаторов, используемых в радиоэлектронной аппаратуре. Анализ сделан по нормативно-техническим документам ведущих стран мира. Развитие методов анализа эксплуатационных характеристик позволяет повысить достоверность прогнозирования надежности трансформаторов. Учет множества факторов, влияющих на их работу, и систематизация данных об отказах помогают выявлять скрытые закономерности, влияющие на долговечность оборудования. Разработанная модель, основанная на анализе накопленных эксплуатационных данных, позволяет не только учитывать внешние и внутренние факторы, но и предоставлять более точные прогнозы отказов. Такой подход способствует повышению безопасности и эффективности электронных систем, а также оптимизации профилактического обслуживания, что в итоге снижает затраты на эксплуатацию и ремонт.

Список использованных источников

1. Боровиков С.М., Шнейдеров Е.Н., Матюшков В.Е., И.Н. Цырельчук. (2011) Разработка методики прогнозирования надежности электронных устройств для системы АРИОН. Доклады БГУИР. 4 (58): 93–100.

References

1. Borovikov S.M., Shneiderov E.N., Matyushkov V.E., I.N. Tsyrelchuk. (2011) Development of a methodology for predicting the reliability of electronic devices for the ARION system. *BSUIR reports*, 4 (58): 93-100 (in Russian).

Сведения об авторах

Гришечкин Е.Д., магистрант кафедры проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, egorgr2977@gmail.com.

Будник А.В., канд. техн. наук, доц., декан факультета инжиниринга и технологий Белорусской государственной академии связи. A.Budnik@bsac.by.

Information about the authors

Grieshechkin E., Master's student of the Department of Information and Computer Systems Design, Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", egorgr2977@gmail.com.

Budnik A., Cand. of Sci. (Tech.), Dean of the Faculty of Engineering and Technology of the the Belarusian State Academy of Communications. A.Budnik@bsac.by.