

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЁЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Гришечкин Е. Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Боровиков С. М. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассмотрены включённые в отечественные и зарубежные справочники модели прогнозирования эксплуатационной безотказности трансформаторов вторичных источников питания радиоэлектронной аппаратуры. Отмечаются достоинства и недостатки моделей. Предлагается подход к получению новой модели, основанный на рассмотрении конструктивных частей трансформатора, их структурных особенностей, используемых материалов, производственных особенностей изготовления и других факторов.

Ключевые слова: трансформаторы вторичных источников электропитания, эксплуатационная надёжность, модели прогнозирования.

Введение. Надёжность вторичных источников питания является одним из важнейших факторов, определяющих бесперебойное функционирование радиоэлектронной аппаратуры. Разработка методов оценки и прогнозирования их эксплуатационной надёжности при проектировании электронной аппаратуры приобретает особую актуальность.

Широкое использование трансформаторов в электронной аппаратуре и их важность для стабильного функционирования оборудования требуют особого внимания к вопросам их надёжности. 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 надёжности позволяет не только определить ресурс трансформатора, но и оптимизировать графики его обслуживания, замен (при необходимости) и модернизации. Анализ эксплуатационных данных играет ключевую роль в повышении точности оценки надёжности трансформаторов.

Основная часть. В отечественной практике для прогнозирования эксплуатационной надёжности трансформаторов ($\lambda_{\text{Э}}$) используют модель, приводимую в Российском справочнике «Надёжность электрорадиоизделий», разработанном Федеральным государственным учреждением «22-й Центральный научно-исследовательский испытательный институт Министерства обороны России». Модель имеет вид

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

где $\lambda_{\text{Э}}$ – эксплуатационная интенсивность отказов трансформатора, соответствующая условиям его применения в составе электронной аппаратуры;

$\lambda_{\text{б}}$ – базовая (обобщённая, усреднённая) интенсивность отказов, характерная для данной группы трансформаторов в целом;

K_t – коэффициент режима в зависимости от максимально допустимых температур по технической документации (классов изоляции);

$K_{\text{Э}}$ – коэффициент эксплуатации, учитывает другие условия эксплуатации, кроме температуры, температура как важнейший эксплуатационный фактор учитывается отдельно;

$K_{пр}$ – коэффициент приёмки, зависит от жёсткости требований к контролю качества при изготовлении трансформаторов в условиях производства.

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

Стандарт Китая. В военном коммерческом стандарте Китая для прогнозирования эксплуатационной интенсивности отказов (λ_P) трансформаторов различных групп (типов) используют модель вида [2]

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

где λ_b – базовая (обобщённая, усреднённая) 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 , входящей в модель (2), в данном стандарте приводится формула, учитывающая влияние температуры и частоты работы трансформатора.

Стандарт США. В американском оборонном справочнике (*HANDBOOK OF 217Plus*) приводится модель вида [3]

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

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 рост надёжности 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 надёжность 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 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 λ_{Σ} (как показателя безотказности трансформатора в целом) в виде

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{B1} \prod_{i=1}^{m_1} K_i^{(1)} + \dots + \lambda_{Bn} \prod_{i=1}^{m_n} K_i^{(n)}, \quad (4)$$

где λ_{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; $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$;

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 [4].

Начальный вариант данной модели был включён 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].

Заклучение. Предлагается подход к получению новой модели, основанной на рассмотрении конструктивных частей трансформатора, их структурных особенностей, используемых материалов, производственных особенностей изготовления и других факторов. Дальнейшие исследования направлены на усовершенствование модели с учётом многообразия материалов, используемых в качестве магнитопровода трансформаторов электропитания, конструктивных их особенностей и физических свойств.

Список литературы

1. Надёжность электрорадиоизделий, 2006 : справочник / С. Ф. Прытков, В. М. Горбачева, А. А. Борисов [и др.] ; науч. рук. авт. коллектива С. Ф. Прытков. – М. : ФГУП «22 ЦНИИИ МО РФ», 2008. – 641 с.
2. Commercial Standard GJB/Z 299B. Reliability Prediction Model for Electronic Equipment : The Chinese Military. – Yuntong Forever Sci.-Tech. Co. Ltd., China, 299B.
3. Denson W., Nicholls D. Handbook of 217Plus Reliability Prediction Models – 2015, Notice 1. – Washington : Quanterion Solutions Incorporated, 2017. – 198 p.
4. Боровиков, С. М. Новый подход к оценке эксплуатационной надёжности трансформаторов вторичных источников питания медицинской аппаратуры / С. М. Боровиков, Е. Д. Гришечкин // Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. XIV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 5–6 дек. 2024 г. – Минск, 2024. – С. 280–283.
5. Боровиков, С. М. Разработка методики прогнозирования надёжности электронных устройств для системы АРИОН / С. М. Боровиков, Е. Н. Шнейдеров, В. Е. Матюшков [и др.] // Доклады БГУИР. – 2011. – № 4(58). – С. 93–100.

UDC 621.314.211:621.3.019.3

COMPREHENSIVE APPROACH TO ASSESSING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF SECONDARY POWER SUPPLY TRANSFORMERS

Grieshechkin E.D.

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

Borovikov S.M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The models for forecasting operational reliability of transformers of secondary power sources of radio-electronic equipment included in domestic and foreign reference books are considered. The advantages and disadvantages of the models are noted. An approach to obtaining a new model is proposed, based on consideration of the structural parts of the transformer, their structural features, the materials used, production features of manufacture and other factors.

Keywords: secondary power supply transformers, operational reliability, forecasting models.