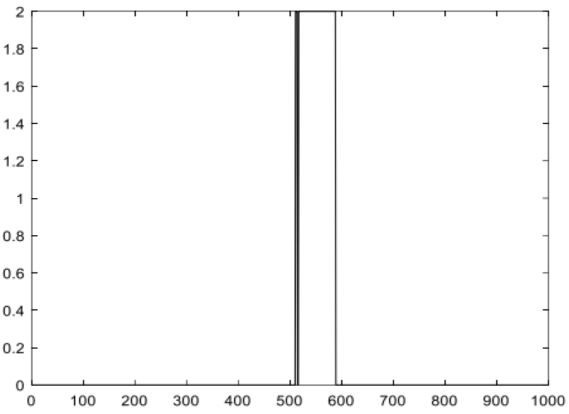

Рисунок 4 – Результаты проведения испытаний при обнаружении МКЗ на вторичной обмотке

Научная новизна материала статьи заключается в практическом применении сверточных нейронных сетей, которые в режиме реального времени анализируют информацию, классифицируют различные отклонения и диагностируют определенный вид дефекта. Практическая значимость – в снижении неплановых отказов, заблаговременном предупреждении о развитии повреждения.

Литература

1. Пехота, А. Н. Диагностирование межвитковых коротких замыканий трансформаторов с помощью комплексного анализа данных приборного учета / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2020. – № 2. – С. 24–28.

2. Пехота, А. Н. Диагностика трансформаторов с помощью сверточных нейронных сетей / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2021. – № 2. – С. 30–36.

УДК 004.021

КРИТЕРИИ ОПТИМУМА ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ СИГНАЛОВ

Горин А.В.

ФГБОУ «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

Аннотация. Для задачи, имеющей место в теории оптимального управления и заключающейся в выборе оператора, приближающего обрабатываемые сигналы к истинному, рассматриваются критерии оптимума при комплексировании сигналов.

Ключевые слова: комплексирование, критерий оптимума.

OPTIMAL CRITERIA BY SIGNAL FUSION

Gorin A.

Tula State University
Tula, Russian Federation

Abstract. For a problem that takes place in the theory of optimal control and consists in choosing an operator that approximates the processed signals to the true one, optimal criteria are considered for fusion.

Key words: fusion, optimum criterion.

Адрес для переписки: Горин А.В., пр. Ленина, 95, Тула 300012, Российская Федерация
e-mail: tongornani@mail.ru

При комплексировании информации возможны различные подходы к определению критерия оптимума. Среди возможного множества задач выделим задачу, имеющую место в теории оптимального управления (1): случайная функция $\Sigma(\mathscr{s})$ наблюдается в некоторой области $\mathcal{S}$ изменения аргумента $\mathscr{s}$, необходимо найти оператор P, приближающий ее возможно более близко к случайной функции $\mathcal{W}^*(\mathscr{y})$ ($\mathcal{W}^*(\mathscr{y})$ является оценкой случайной функции $\mathcal{W}(\mathscr{y})$) в области $\mathcal{Y}$ изменения аргумента $\mathscr{y}$:

$$\mathcal{W}^*(\mathscr{y}) = P\Sigma(\mathscr{s}). \tag{1}$$

При комплексировани N случайных функций (1) можно переписать как

$$S_f = P(\Sigma) = P(\sigma_1, \dots, \sigma_N)$$

где S_f – комплексированный сигнал; P – оператор, доставляющий экстремум некоторому критерию; $\Sigma = \sigma_1, \dots, \sigma_N$ – множество сигналов, к котором применяется оператор P; σ_i $(i = \overline{1, N})$ – комплексируемых сигнал, представляющий собой аддитивную смесь полезного сигнала и шума.

После поставновки задачи следует определение критерия отимума. Одними из самых распространнных критериев являются критерии, оценивающие ошибку приближения.

Критерий минимума среднеквадратической ошибки:

$$E(\mathscr{y}) = \mathcal{W}^*(\mathscr{y}) - \mathcal{W}(\mathscr{y}) = P\Sigma(\mathscr{s}) - (\mathscr{y}),$$

$$\eta = M[|E(\mathscr{y})|^2] = min. \tag{2}$$

Обобщение (2) критерия минимума среднеквадратической ошибки:

$$f(M[E], D[E]) = extr, \quad (3)$$

где M и D – операторы математичечкого ожидания и дисперсии.

Если закон распределения ошибки (шума) определяется математическим ожиданием и дисперсией, частным случаем (3) является критерий максимума вероятности того, что ошибка не выйдет из заданных пределеов:

$$P\big(|E(y)| < \varphi(y)\big) = max, \quad (4)$$

где $\varphi(y)$ – заданная функция.

Вторым частным случаем является критерий минимума предела, который не превышается модулем ошибки:

$$\varphi(y) = min \text{ при } P\big(|E(y)| < \varphi(y)\big) = p, \quad (5)$$

где p – данной положительное число, меньшее единицы.

Если комплексируются векторные сигналы, обобщением (3) является критерий экстремума заданной функции математических ожиданий, дисперсий и корреляционных моментов составляющих вектора ошибки:

$$f(\xi_1, \ldots, \xi_M; k_1, \ldots, k_{MM}) = extr, \quad (6)$$

где $\xi_\nu = M[E_\nu(y)]$, $k_{\nu\mu} = M\big[E_\nu^0(y)\overline{E_\mu^0(y)}\big]$,

$$\nu\mu == \overline{1, N}.$$

Критерии (3) и (4) – частные случаи (6).

Другим важным критерием, обобщающим (2), является критерий минимума среднего риска [3]:

$$\rho = \iint\limits_{\Lambda\hat{\Lambda}} r(\lambda, \hat{\lambda}) p(\lambda, \hat{\lambda}) d\lambda d\hat{\lambda}, \quad (7)$$

где λ – оцениваемые параметры вероятностных распределений, которые также могут является характеристиками параметров принимаемых сигналов; $\hat{\lambda}$ – результаты измерения параметров; $r(\lambda, \hat{\lambda})$ – функция потерь; $p(\lambda, \hat{\lambda})$ – совместная плотность вероятности параметров λ и их оценок $\hat{\lambda}$.

Если в качестве функции потерь принимается квадратичная функция потерь $r(\lambda, \hat{\lambda}) = (\lambda - \hat{\lambda})^2$, средний риск $\rho = \langle(\lambda - \hat{\lambda})^2\rangle$ является среднеквадратической ошибкой, а критерий минимума среднего риска – критерием минимума среднеквадратеской ошибки.

Другим типом критерия, отличным от рассмотренных выше, являются экспертные системы, реализуемые, например, теорией Демпстера-Шефера [4]. Имея преимущество над байесовским подходом, которое заключается в отсутствии необходимости знать предыдущее состояние измеряемых процессов, теория Демпстера-Шефера (обладая ассоциативностью и коммутативностью) позвоялет комплекси-ровать произвольное число сигналов.

Общее для методов, рассмотренных выше и теории Демпстера-Шефера является уменьшение метрики: если критерии (2)–(7) уменьшают евклидово расстояние между комплексируемыми векторами, то теория Демпстера-Шефера уменьшает расстояние Минсковского.

Для критериев (2), (3), (6) и (7) и теории Демпстера-Шефера общим является выражение, определяющие весовые коэффициенты:

$$\omega_i = \frac{\frac{1}{d_i}}{\sum \frac{1}{d_i}},$$

где d_i – дисперсия сигнала.

Для задачи, возникающей в теории оптимальног оурпавления, рассмотрены критерии оптимума, их связи и обобщения.

Литература

1. Пугачев, В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / В. С. Пугачев. – 3-е изд., исправ. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 1962. – 883 с.

2. Андреев, Н. И. Общее условие экстремума заданной функции среднеквадратичной ошибки и квадрата математического ожидания ошибки динамической системы / Н. И. Андреев // Автоматика и телемеханика. – 1959. – Т. 20, вып. 7. – С. 833–838.

3. Волосюк, В. К. Статистическая теория систем дистанционного зондирования и радиолокации / В. К. Волосюк, В. Ф. Кравченко ; под ред. В. Ф. Кравченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 704 с.

4. Clarence, W. de Silva. Sensor Systems. Fundamentals and Applications / W. de Silva Clarence. – Boca Raton.: Taylor & Francis Group, 2017. – 720 p.