

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Амиров Р.З.

Донецкий национальный технический университет
kaf-et@kita.dgtu.donetsk.ua

The intelligence system of measurements of temperature of the electric machine, providing operative monitoring of their thermal condition is developed. Processes of transformations of an optical signal in the channel of an instrumentation system are considered.

Контроль температурного состояния электрической машины (ЭМ) необходим при ее эксплуатации и испытаниях для предупреждения аварийных состояний, которые могут быть вызваны аварийными режимами работы питающей сети, механическим износом (износ подшипников), старением электрической изоляции обмоток [1-3]. Поэтому актуальна задача оперативного получения объективной информации о тепловом состоянии ЭМ при изменении во времени режимных параметров.

При измерениях температур используются контактные и бесконтактные методы [2-4], которые требуют установки датчиков непосредственно на ЭМ. Предпочтительно использование дистанционного бесконтактного измерения температуры вращающихся и неподвижных частей ЭМ с использованием в качестве первичного измерительного преобразователя тепловизора на основе матричного фотоприемника. В этом случае передача информации о температурном состоянии объекта контроля (ОК), которым является электрическая машина, осуществляется лучистой энергией, ослабляемой цеховой атмосферой. Для решения поставленной задачи необходимо создать информационную систему измерений температурного состояния ЭМ и исследовать процессы преобразований оптического сигнала в канале информационной системы измерений температуры.

Структурная схема информационной системы контроля температуры ЭМ приведена на рисунке 1. Для дистанционного измерения температуры используется четыре измерительных преобразователя, что обеспечивает наиболее полное перекрытие поверхности ЭМ. Коммутатор каналов необходим для поочередного опроса датчиков. Схема согласования выполняет преобразование уровня сигнала первичного измерительного преобразователя к уровню АЦП. В ЭВМ выполняется обработка полученного изображения температурных полей ЭМ по соответствующим алгоритмам. В результате на выходе ЭВМ получены точечные значения температуры контролируемого объекта с определением соответствующих координат, усредненное значение температуры поверхности ЭМ, сигнал аварийного состояния, прогноз технического состояния ЭМ.

Измерительный сигнал подвергается последовательности преобразований. Поверхность объекта контроля, имеющая температуру t , формирует поток излучения, находящегося в диапазоне длин волн от λ_1 до λ_2 :

$$\Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_e(\lambda) d\lambda.$$

Так как в поле зрения системы попадает отраженный сигнал от ОК, других объектов, а также оптические помехи, что приводит к перекрытию углового поля системы, то при анализе прохождения сигнала излучатель считают плоским. Оптический поток, отраженный от ОК, состоит из суммы потоков, отраженных от элементарных площадок площадью $S_{эл}$. Энергетическая яркость на входе в среду распространения сигнала (СРС) для диапазона длин волн от λ_1 до λ_2 :

$$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda d\lambda,$$

где L_λ - энергетическая яркость для длины волны λ .

На выходе СРС значение энергетической яркости с учетом коэффициента пропускания среды K_c и воздействия оптической помехи $\xi_{оп}$:

$$L = K_c \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda d\lambda + \xi_{оп}.$$

Поток излучения, прошедший СРС, поступает на вход оптической системы фотоприемника. Диффрагма площадью q расположена в фокальной плоскости объектива, главные плоскости которого размещены около входного зрачка [5]. Проекция площади излучателя ΔS на площадь приемника:

$$\Delta S = \frac{q l^2}{f_1^2},$$

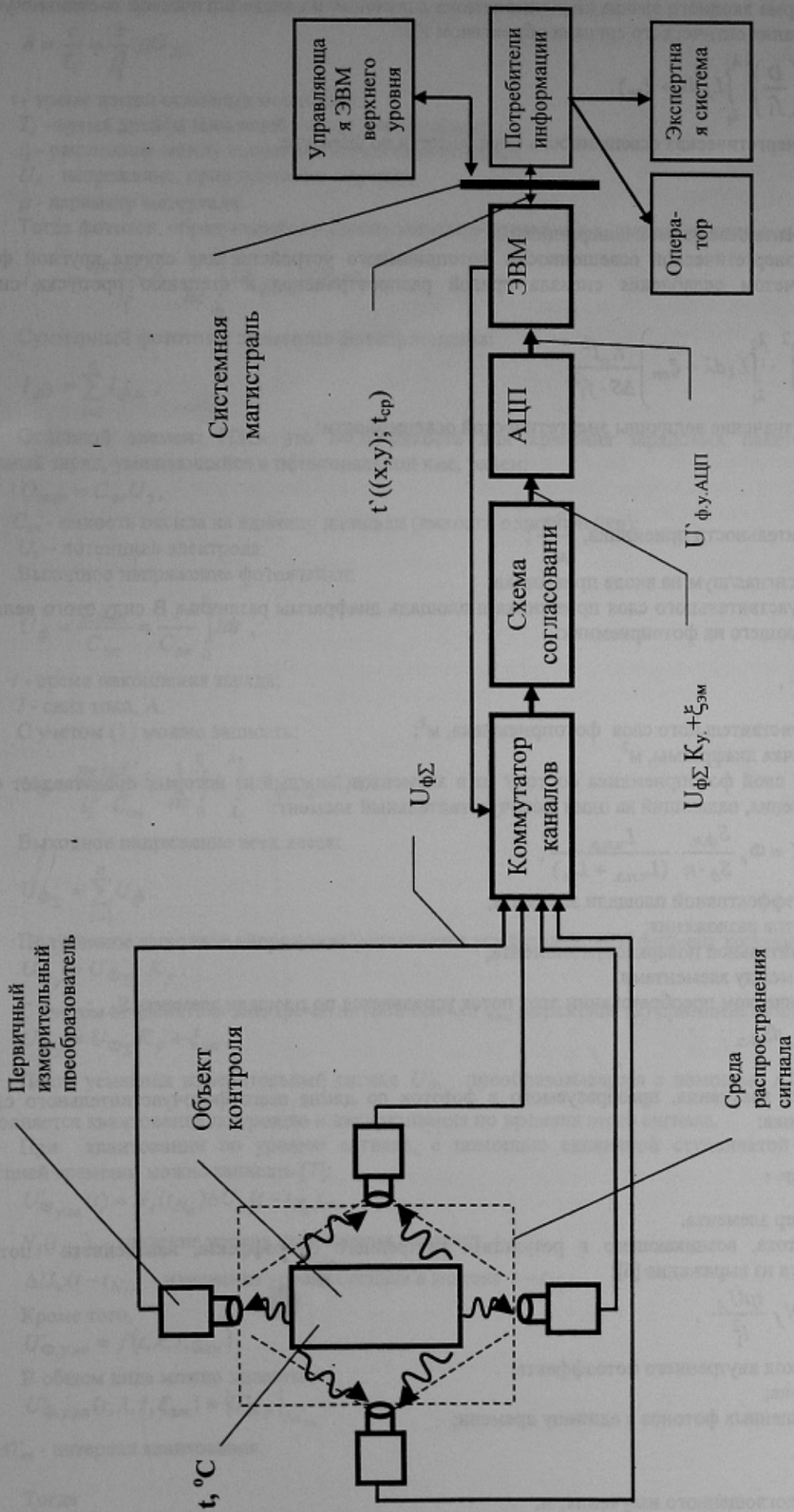


Рисунок 1 – Система дистанционного измерения температуры электрической машины

где f_1 – расстояние от центра линзы до приемника излучения;
 l – расстояние от излучателя до плоскости объектива.

При круглой форме входного зрачка значение потока излучения на входе оптической системы с учетом коэффициента пропускания оптического сигнала объективом K_o :

$$\Phi_e = K_o (K_c \frac{\pi q}{4} \left(\frac{D}{f_1}\right)^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda d\lambda + \xi_{on}).$$

Учитывая, что энергетическая освещенность определяется по формуле:

$$E = \frac{d\Phi_e}{dA_2},$$

где dA_2 – площадь элемента освещаемой поверхности, m^2 ,
определено значение энергетической освещенности фотоприемного устройства для случая круглой формы входного зрачка с учетом ослабления сигнала средой распространения и степень пропуска сигнала оптической системой:

$$E = \left(K_c \frac{\pi q}{4} \left(\frac{D}{f_1}\right)^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda d\lambda + \xi_{on} \right) \frac{K_o l^2}{\Delta S \cdot f_1^2}.$$

Ограничение на значение величины энергетической освещенности:

$$\frac{E}{E_n} \geq W_1,$$

где E_n – порог чувствительности приемника, $\frac{Bm}{m^2}$;

W_1 – отношение сигнал/шум на входе приемника.

Площадь фоточувствительного слоя приемника и площадь диафрагмы различны. В силу этого величина потока излучения, падающего на фотоприемник:

$$\Phi_{\phi.n.} = \Phi_e \frac{S_{\phi.n.}}{S_\delta},$$

где $S_{\phi.n.}$ – площадь чувствительного слоя фотоприемника, m^2 ;
 S_δ – площадь зрачка диафрагмы, m^2 .

Чувствительный слой фотоприемника состоит из n элементов, каждый из которых представляет собой фотодиод. Поток излучения, падающий на один фоточувствительный элемент:

$$\Phi_{\phi.э.} = \frac{\Phi_{\phi.n.}}{n} \cdot K = \Phi_e \frac{S_{\phi.n.}}{S_\delta \cdot n} \cdot \frac{L_{ч.н.э.}}{(L_{ч.н.э.} + L_m)},$$

где K – коэффициент эффективной площади элемента;
 n – число элементов разложения;
 L – длина чувствительной поверхности элемента;
 L_m – расстояние между элементами.

При фотоэлектрическом преобразовании этот поток усредняется по площади элемента $S_{\phi.э.}$:

$$\Phi_{\phi.э.ср} = \int_{S_{\phi.э.}} \Phi_{\phi.э.} dS_{\phi.э.}$$

Величина потока излучения, преобразуемого в фототок по длине всего фоточувствительного слоя с учетом усреднения потока:

$$\Phi_{\phi.n.}^* = \sum_{i=1}^n \Phi_{\phi.э.ср.},$$

где i – порядковый номер элемента.

Величина фототока, возникающего в результате внутреннего фотоэффекта, наведенного потоком излучения, определяется из выражения [6]:

$$I = \eta e N_f \delta = \eta e N_f \frac{\tau \mu U_A}{l_1^2},$$

где η – квантовый выход внутреннего фотоэффекта;
 e – заряд электрона;
 N_f – число поглощенных фотонов в единицу времени;

$$N_f = \frac{\Phi \lambda}{hc},$$

где λ – длина волны поглощенного излучения, m ;
 h – постоянная Планка, Дж·с;

c – скорость света, м/с;

δ – коэффициент внутреннего усиления, характеризующий число электронов, которое проходит через внешнюю цепь за время жизни генерированного излучением носителя:

$$\delta = \frac{\tau}{T_1} = \frac{\tau}{l_1^2} \mu U_A,$$

где τ – время жизни основных носителей;

T_1 – время дрейфа носителей между электронами;

l_1 – расстояние между токовыми контактами образца;

U_A – напряжение, приложенное к образцу;

μ – параметр материала.

Тогда фототок, образующийся в одном элементе приемника в диапазоне длин волн λ_1, λ_2 :

$$I_{\phi.э.} = \frac{\eta e \tau \mu U_A}{l_1^2} \cdot \frac{1}{hc} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda \Phi_{\phi.э.ср.}(\lambda) d\lambda. \quad (1)$$

Суммарный фототок n элементов фотоприемника:

$$I_{\phi\tau} = \sum_{i=1}^n I_{\phi.э.},$$

Основной элемент ПЗС – это МОП-емкость для хранения зарядовых пакетов [6]. Максимальный удельный заряд, уместяющийся в потенциальной яме, равен:

$$Q_{\max} \approx C_{ок} U_э,$$

где $C_{ок}$ – емкость оксида на единицу площади (емкость одной ячейки);

$U_э$ – потенциал электрода.

Выходное напряжение фотоячейки:

$$U_{\phi} = \frac{Q_{\max}}{C_{ок}} = \frac{I}{C_{ок}} \int_0^t I dt,$$

где t – время накопления заряда;

I – сила тока, А.

С учетом (1) можно записать:

$$U_{\phi} = \frac{\eta e \tau \mu U_A}{l_1^2 \cdot C_{ок}} \cdot \frac{1}{nc} \int_0^t dt \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda \Phi_{\phi.э.ср.}(\lambda) d\lambda.$$

Выходное напряжение всех ячеек:

$$U_{\phi\Sigma} = \sum_{i=1}^n U_{\phi}.$$

Полученное выходное напряжение усиливается усилителем, коэффициент которого K_y :

$$U_{\phi y} = U_{\phi\Sigma} \cdot K_y. \quad (2)$$

С учетом воздействия электромагнитной помехи $\xi_{эм}$ выражение (2) принимает вид:

$$U'_{\phi y} = U_{\phi\Sigma} K_y + \xi_{эм}.$$

После усиления измерительный сигнал $U'_{\phi y}$ преобразовывается с помощью АЦП в цифровую форму.

Выполняется квантование по уровню и дискретизация по времени этого сигнала.

При квантовании по уровню сигнала, с помощью единичной ступенчатой функции, являющейся функцией времени, можно записать [7]:

$$U'_{\phi y, кв} (t) = N_i(t_{N_c}) \Delta U_{к} (t - t_{N_i}),$$

где $N_i(t_{N_c})$ – значение уровня квантования в момент t_{N_i} ;

$\Delta U_{к}(t - t_{N_i})$ – изменение уровня сигнала в момент $t - t_{N_i}$.

Кроме того,

$$U'_{\phi y, кв} = f(t, \lambda, I, \xi_{эм}).$$

В общем виде можно записать:

$$U'_{\phi y, кв}(t, \lambda, I, \xi_{эм}) = \{U'_{\phi y}\}_{\Delta T_{кв}},$$

где $\Delta T_{кв}$ – интервал квантования.

Тогда

$$U'_{\Phi, y, \text{дискр}}(t) = U'_{\Phi, y} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_u),$$

где $\sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_u)$ - функция Дирака.

В общем виде:

$$U'_{\Phi, y, \text{дискр}}(t, \lambda, I, \xi_{\text{ЭМ}}) = \{U'_{\Phi, y}\}_{\Delta T_{\text{дискр}}},$$

где $\Delta T_{\text{дискр}}$ - период дискретизации.

Таким образом, измерительный сигнал, характеризуемый потоком Φ источника излучения, проходя ряд аналоговых и цифровых преобразований, на выходе АЦП имеет вид:

$$U'_{\Phi, y, \text{АЦП}} = \left\{ \left\{ U'_{\Phi, y} \right\}_{\Delta T_{\text{кв}}} \right\}_{\Delta T_{\text{дискр}}} = \left\{ \left\{ U'_{\Phi, y}(t, \lambda, I, \xi_{\text{ЭМ}}) \right\}_{\Delta T_{\text{кв}}} \right\}_{\Delta T_{\text{дискр}}}$$

Затем измерительный сигнал передается ЭВМ для дальнейшей обработки по соответствующим алгоритмам. Обработка изображения состоит в предварительной фильтрации (удаление шумов), выделении участков с температурой, превышающей пороговое значение $t_{\text{пор}}$:

$$L(m_i, n_j) > L_{\text{пор}}.$$

После этого определяются координаты аварийных участков поверхности ЭМ. Путем сравнения в последующие моменты времени энергетической яркости этих участков с эталонными значениями выносятся прогноз технического состояния ЭМ.

Таким образом, для извлечения измерительной информации необходимо выполнить целый ряд оптических, фотоэлектрических, аналого-цифровых преобразований, что обеспечивает аналоговая и цифровая часть измерительного канала информационной системы. Разработанная математическая модель процессов преобразований оптического сигнала в канале информационной системы в дальнейшем используется для построения имитационной модели и оценки характеристик результирующей погрешности.

ВЫВОДЫ

1. Разработана информационная система структурная схема дистанционного измерения температуры поверхности (подвижной и неподвижной части) электрической машины, предотвращающая ее аварийные состояния.
2. В качестве измерительного преобразователя выбран тепловизор на основе матричного фотоприемника, обеспечивающий определение точечной температуры поверхности электрической машины.
3. Рассмотрены процессы преобразований оптического сигнала в канале информационной системы измерений температуры, позволяющие оценить погрешность измерения температуры.
4. Прогноз технического состояния электрической машины осуществляется на основе программного анализа динамики энергетической яркости ее поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич Э.И., Рыбин Ю.Л. Переходные тепловые процессы в электрических машинах. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 216с.
2. Коварский Е.М., Ю.И. Янко Испытание электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320с.
3. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин. – М.: Высш. шк., 1988. – 232с.
4. Гуревич Э.И. Тепловые испытания и исследования электрических машин. – М.: Энергия, 1977. – 280с.
5. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для вузов. – Изд.2-е, перераб. и доп. – М.: Советское радио, 1980. – 392с.
6. Бейкер В.Д., Барб Д.Ф., Буркс Х.К. Приборы с зарядовой связью: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 235 с.
7. Таланчук П.М., Скрипник Ю.О., Дубровний В.О. Засоби вимірювання в автоматичних та керуючих системах.: Підручн. для студ. вузів. – К.: Райдуга, 1994.- 672с.: іл.

Надано до редакції:
Рекомендовано до друку:

16.09.2003
д.т.н., проф. Зорі А.А.