

Г.В. БЕРБЕРЯН

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СЕРОСТИ ИК - ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ СТАТОРОВ МОЩНЫХ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Рассматривается влияние коэффициента серости инфракрасного (ИК) излучения на результаты теплового контроля статоров мощных гидрогенераторов. Эффективность преобразования измеряемых температур в соответствующие напряжения зависит от чувствительности указанной измерительной системы, которая определяется коэффициентом серости ИК-излучения поверхности статора исследуемого гидрогенератора, сканируемой с помощью пироприемников.

**Ключевые слова:** коэффициент серости, теплообмен, ИК-излучение, тепловой контроль.

Теоретические исследования по определению коэффициентов прямого преобразования входного оптического тракта системы теплового контроля статоров мощных гидрогенераторов на основе пироприемников, т.е. первичных преобразователей (ПП) ИК-излучения (рис.1), показали, что двойное извлечение квадратного корня из выходного сигнала ППИ можно связать с воздействующей на его входное окно абсолютной температурой  $T$  различных точек статора (например, точки  $A$ ) выражением [1]

$$V'_s = K_{\text{пп}} T, \quad (1)$$

где  $V'_s$  – сигнал на выходе последнего из двух корнеизвлекателей, включенных последовательно на выходе ППИ,  $B$ ;  $K_{\text{пп}}$  – коэффициент прямого преобразования входного оптического тракта системы теплового контроля абсолютной температуры  $T$  различных точек внутренней поверхности статора,  $B/K$ .

При этом значение  $K_{\text{пп}}$  определяется выражением

$$K_{\text{пп}} = (1 / K^2_{\text{SQ}}) [ 0,45 \alpha \sigma A_s D_0 (NA) D \alpha_A \alpha_0 V_N / 2R^2 (\beta \Delta f)^{1/2} ]^{1/4}, \quad (2)$$

где  $R$  – расстояние от излучающей точки на поверхности статора до линзы, установленной перед входным окном ППИ,  $m$ ;  $\beta$  – мгновенный угол зрения входного окна ППИ,  $стер$ ;  $\Delta f$  – эквивалентная шумовая полоса частот,  $Гц$ ;  $D$  – обнаружительная способность (среднее значение), определяемая по кривой от длины волны в области  $\lambda_1 = 1...2 \text{ мкм}$  до  $\lambda_2 = 8...12 \text{ мкм}$ ,  $m \cdot Гц^{1/2} \cdot Вт^{-1}$ ;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  – постоянная Стефана – Больцмана,  $Вт \cdot м^{-2} \cdot К^{-1}$ ;  $D_0$  – диаметр входного окна ППИ (детектора),  $m$ ;  $A_s$  – площадь источника излучения,  $m^2$ ;  $NA = D_0 / 2F$  – числовая апертура линзы, установленной перед входным окном детектора (безразмерный коэффициент);  $F$  – эквивалентное фокусное расстояние оптики,  $m$ ;  $\alpha_A$  – коэффициент пропускания ИК-излучения воздушного промежутка (атмосферы) между источником излучения и оптикой. Если значение  $\alpha_A$

неизвестно, то его принимают равным единице при импульсном излучении (безразмерный коэффициент);  $\alpha_0$  - коэффициент пропускания оптики, установленной до детектора, включая защитное стекло окна детектора и световод (безразмерный коэффициент);  $\alpha$  - коэффициент серости излучающей поверхности статора, учитывающий отличие ее свойств от свойств абсолютно черного тела (безмерный коэффициент);  $V_s$  - максимальное напряжение непосредственно на выходе детектора (на входе первого корнеизвлекателя) при максимальном излучении,  $B$ ;  $V_N$  - среднеквадратичное напряжение шумов, т.е. выходное напряжение детектора при отсутствии входного облучения,  $B$ ;  $K_{SQ}$  - коэффициент передачи одного корнеизвлекателя (безразмерный коэффициент).

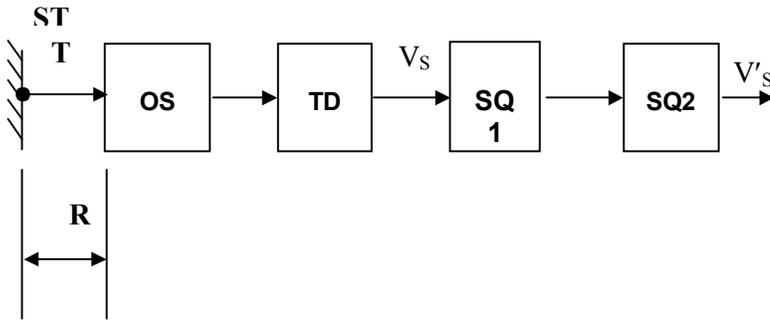


Рис.1

На рис.1 представлена структурная схема входного оптического тракта системы контроля абсолютной температуры статора мощного гидрогенератора со следующими обозначениями: ST - статор, T - абсолютная температура точечного источника излучения в какой-либо точке А внутренней поверхности статора, OS - оптическая система, установленная перед входным окном детектора ППИ, TD - пироприемник, SQ1– первый корнеизвлекатель, SQ2 - второй корнеизвлекатель,  $V_s$  - выходной сигнал пироприемника,  $V'_s$  - выходной сигнал второго корнеизвлекателя и R - расстояние от точки А до оптики (линзы) OS.

Как следует из (2), значение  $K_{\text{пп}}$  зависит от  $\alpha \neq 0$ . В случае изменения  $\alpha$  в некоторых пределах  $\alpha_{\text{min}} \leq \alpha \leq \alpha_{\text{max}}$  по определенному закону, при постоянстве остальных входящих в (2) параметров, КПП будет изменяться по такому же закону, оказывая существенное влияние на результаты измерения вследствие нарушения однозначной зависимости  $V'_s$  от T. В связи с этим возникает необходимость анализа такого влияния с целью адекватного толкования результатов измерения при изменении  $\alpha$ .

Для определения влияния коэффициента серости  $\alpha$  на  $K_{\text{пп}}$  можно воспользоваться выводами, изложенными в [2], в соответствии с которыми внутренняя поверхность статора и внешняя поверхность обода ротора образуют две коаксиальные цилиндрические поверхности, радиусы которых  $R_1$  и  $R_2$  соответственно во много раз превышают длину R воздушного зазора между ними в радиальном направлении (рис.2).

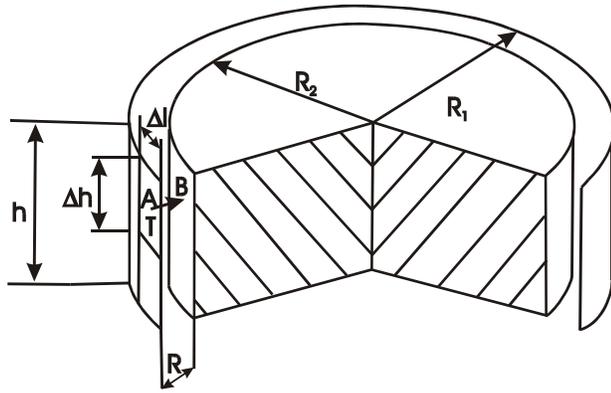


Рис. 2

При этом учет влияния ребристости статора, т.е. чередования пазов, закрытых диэлектрическими клиньями, и зубцов, на результаты измерения температуры в различных точках статора производится отдельно. Для определения зависимости указанных результатов измерения от значения  $\alpha$  эти поверхности вначале принимаются за идеально гладкие. При выполнении условий  $R_1 \gg R$  и  $R_2 \gg R$  ( $R_1 \approx 7,5 м$ ,  $R_2 \approx 8 м$ ) вышеуказанные цилиндрические поверхности на небольшом элементе длины  $\Delta l \approx 0,005 м$  вдоль расточки статора и по всей его высоте  $h$  можно принять за две плоскопараллельные поверхности. Такое допущение справедливо и по той причине, что благодаря используемой специальной оптике источник излучения сканируемых элементов поверхности статора с той или иной температурой  $T$  при малых размерах окна детектора, размещенного в точке  $B$ , и достаточно больших размерах  $R$ , где  $R = R_1 - R_2 \gg \Delta l$ , можно считать точечным. При этом чем меньше размер  $l$ , тем точнее применимо понятие точечного источника излучения (например, точки  $A$ ) и точнее измеренное значение  $T$  соответствует понятию температуры в этой точке, хотя, на самом деле, эта температура обусловлена излучением, исходящим не из точки, а из элемента поверхности с горизонтальной  $l$  и вертикальной  $\Delta h$  протяженностью, т.е. этот элемент представляет собой круг диаметром  $\Delta l = \Delta h$ . Следует отметить, что при рассмотрении такой модели необходимо учесть тепловой обмен между статором и ротором, который будет носить различный характер в зависимости от соотношения между абсолютными температурами статора  $T_1$  и ротора  $T_2$ . При  $T_1 = T_2$  теплообмен отсутствует, и значение  $\alpha$  в выражении (1) равно  $\alpha_1$  для статора. При этом  $\alpha_1$  будет иметь различные значения не только для зубцов и клиньев пазов, но и для зубцов в зависимости от сорта стали пакетов статора. При  $T = 293 K$  и более имеем  $\alpha_{13} = 0,055$  для холоднокатаной стали,  $\alpha_{13} = 0,75$  для оксидированной стали,  $\alpha_{1п} = 0,95$  для волокнистых материалов, в том числе и с лапокрытием, используемых для изготовления пазовых клиньев.

При  $T_1 > T_2$  происходит теплообмен, и значение  $\alpha$  равняется его приведенному значению  $\alpha_{12}$ , определенному следующим выражением [2]:

$$\alpha_{12} = 1 / [(1 / \alpha_1) + (1 / \alpha_2) - 1],$$

где  $\alpha_{12}$  - коэффициент серости материала обода ротора, на котором расположено входное окно детектора ППИ; для ковкого железа (листовая сталь)  $\alpha_2 = 0,95$ .

Отсюда следует, что  $\alpha_{12}$  будет иметь следующие значения:  $\alpha_{12з} = 0,05$  для зубцов из холоднокатаной стали,  $\alpha_{12з} = 0,51$  для зубцов из оксидированной стали,  $\alpha_{12п} = 0,86$  для пазовых клиньев.

Ввиду существенной разницы между значениями  $\alpha_1$  и  $\alpha_{12}$  для зубцов и клиньев возникает заметная амплитудно-импульсная модуляция излучения зубцов и пазов с частотой  $f = f_r z$ , где  $z$  - число зубцов (или пазов), а  $f_r$  - частота вращения ротора (Гц). Если при этом  $T_1 = T_2$ , то на выходе ППИ возникают напряжения  $V_{\max}$  для пазов (при равенстве температур зубцов  $T_{1з}$  и пазов  $T_{1п}$ ) и  $V_{\min}$  для зубцов, характеризующие прямоугольную огибающую с некоторой начальной фазой  $\varphi_0$ . При  $T_{1з} > T_{1п}$  так, что  $T_{1з}/T_{1п} = (\epsilon_{12п}/\epsilon_{12з})^{1/4}$ , модуляция исчезает, а при  $T_{1з}/T_{1п} > (\epsilon_{12п}/\epsilon_{12з})^{1/4}$  фаза огибающей изменяется на  $180^\circ$ .

При случайном распределении температур вдоль пути сканирования детектора ППИ поперек зубцов и пазов форма огибающей становится случайной (с флуктуациями), отдельные выбросы которых относительно  $V_{\max}$  и  $V_{\min}$  для пазов и зубцов в отношении друг друга будут иметь случайное соотношение. При использовании импульсной модуляции количество точек измерения поперек паза и зубца на определенном уровне по высоте статора ограничено, а результаты измерения в каждой отдельной точке оцениваются с помощью соотношения  $f_{\text{из}} / f_{\text{р}}$ , т.е. частотой прямоугольной огибающей, поэтому сохраняется возможность обнаружения принадлежности того или иного выброса зубцу или пазу. Каким бы ни было указанное распределение, если оно одинаково для любой пары зубец-паз, то его можно приписать нормальному состоянию диагностируемого объекта; если оно изменяется от одной пары к другой случайным образом, то это изменение может служить признаком аномального состояния для тех пар, распределение которых отлично от остального большинства.

Таким образом, указанные распределения могут служить в качестве дополнительного информативного признака при контроле распределения температур на внутренней поверхности статора мощных гидрогенераторов, что совместно с другими признаками позволяет производить более корректную идентификацию координат участков пазов и зубцов, оказавшихся в аномальном тепловом состоянии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хадсон Р.** Инфракрасные системы. – М.: Мир, 1972. – 534 с.
2. **Сипайлов Г.А., Санников А.И., Жадан В.А.** Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. – М.: Высшая школа, 1989. – 239 с.

ГИУА . Материал поступил в редакцию 10.10.1999.

**Գ.Վ. ԲԵՐԲԵՐՅԱՆ**

### **ՀԶՈՐ ՀԻՂՐՈԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ՍՏԱՏՈՐՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՀՄԿՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐՈՒՄ ԻՎ - ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՇՆՈՐՀԻՎ ԱՌԱՋԱՑԱԾ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Քննարկվում է հզոր հիդրոգեներատորների ստատորների ջերմային հսկմանն առնչվող այն խնդիրը, որն առաջանում է ինֆրակարմիր (ԻՎ) ճառագայթման գործակցի ազդեցության շնորհիվ: Չափվող ջերմաստիճանների համապատասխան լարումների փոխակերպման արդյունավետությունը կախված է նշված համակարգի զգայունությունից, որը զգալիորեն փոփոխվում է փորձարկվող կետերի ԻՎ - ճառագայթման գործակիցների ազդեցության հետևանքով:

**G.V. BERBERYAN**

### **ANALYSIS OF IR-RADIATION EMISSIVITY ACTION ÎN TERMAL CONTROL RESULTS OF HYDROGENERATORS STATORS**

IR-radiation emissivity effect on thermal control results of high-powerful hydrogenerator stator is considered. The effectiveness of measured temperature conversion into corresponding voltages depends on the sensitivity of the measuring system significantly determined by IR-radiation emissivity of hydrogenerator stator surface scanned by pyroreceivers.