

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СОТР РЭС С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА

Негативное влияние акустического шума на работу РЭС часто проявляется в электрических шумах, ухудшающих функциональные характеристики. Не менее важной является проблема влияния акустического шума на человека как вредного производственного фактора, снижающего производительность труда, ухудшающего самочувствие и приводящего к профессиональным заболеваниям.

Одними из наиболее распространенных источников акустического шума в РЭС являются системы обеспечения теплового режима (СОТР). Особенно актуальна проблема шума в мощных РЭС с большим тепловыделением. Уровень шума пропорционален потребляемой мощности СОТР, которая в свою очередь пропорциональна требуемой теплоотдаче РЭС. Для СОТР с несколькими приводами хладагента уровень акустического шума является функцией нескольких переменных. Следовательно, снижение уровня шума является оптимизационной задачей, в которой он является целевой функцией, а температура нагретых зон (НЗ) и тепловая мощность – ограничивающими условиями. Оптимизация заключается в построении оптимальной модели управления всеми приводами хладагента, при которой уровень шума в нестационарных тепловых условиях будет минимальным.

На рис. 1 и рис. 2 представлены типовые схемы СОТР, соответственно с воздушным и комбинированным (воздушно-жидкостным) охлаждением.

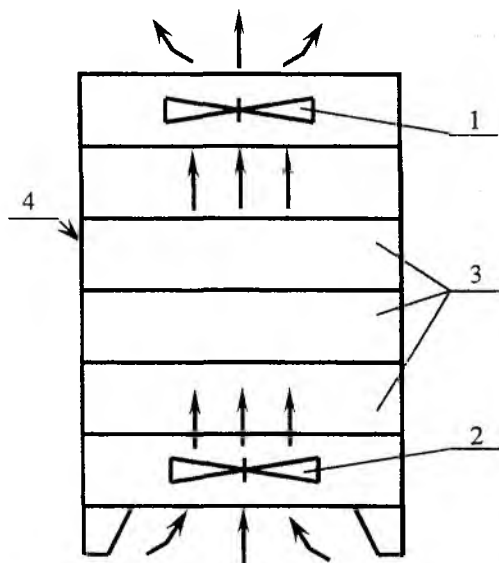


Рис. 1

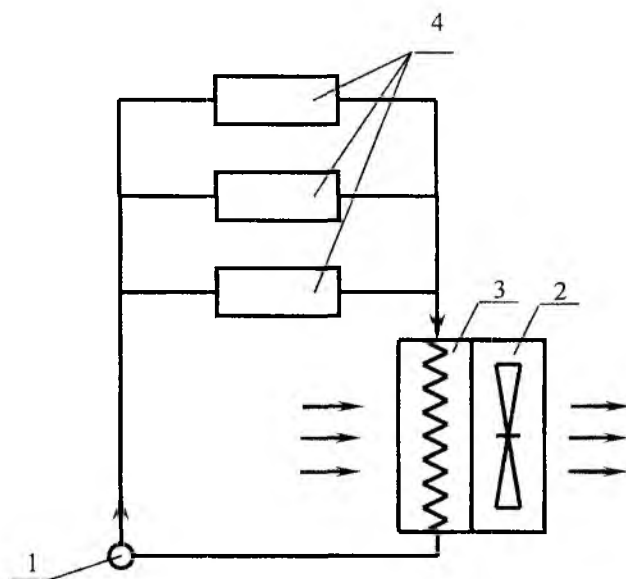


Рис. 2

На рис. 1 обозначены: 1 и 2 – соответственно вытяжной и приточный вентиляторы, 3 – НЗ, 4 – корпус стойки. На рис. 2: 1 – жидкостной насос, 2 – вентилятор, 3 – теплообменник, 4 – НЗ. В первой схеме движение воздуха происходит последовательно от приточного вентилятора к вытяжному. Во второй схеме движение тепла осуществляется последовательно от жидкости, приводимой в движение насосом, к воздуху, приводимому в движение вентилятором. В обоих случаях теплоотдача зависит от эффективности работы каждого источника, приводящего в движение хладагент. Для наибольшей наглядности составлена упрощенная электрическая схема-аналог [1, 2] (рис. 3). На ней обозначены: $G1$ – источник суммарной тепловой мощности НЗ, $R1$ – тепловое сопротивление между $G1$ и остальной частью НЗ, $R2$ и $R3$ – тепловые сопротивления между НЗ и окружающей средой, зависящие

соответственно от первого и второго источника движения хладагента, $C1$ – теплоёмкость НЗ, U – температура НЗ, $\perp$ – окружающая среда.

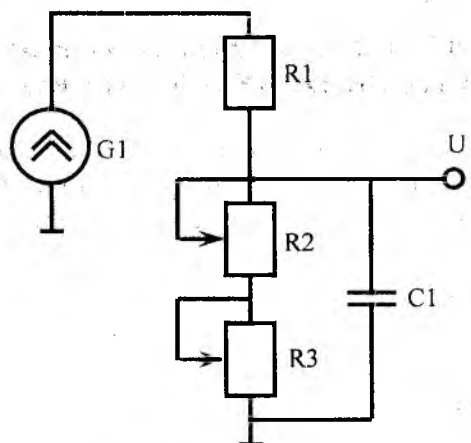


Рис. 3

Из рис. 3 видно, что заданное значение температуры НЗ (U) в установившемся режиме может быть получено различными сочетаниями сопротивлений $R2$ и $R3$. Иначе говоря, заданная температура НЗ может быть достигнута различными сочетаниями производительности вентиляторов (вентилятора и насоса).

Для эксперимента были использованы две лабораторные установки, собранные по схемам рис. 1 и рис. 2. В качестве источника воздуха в обеих установках использовались вентиляторы УВО 2,6–6,5 с асинхронным двигателем. В качестве жидкого хладагента был использован тосол АЛ-40, который приводился в движение автомобильным омывателем стекол с двигателем постоянного тока. В ходе эксперимента были получены следующие зависимости: рис. 4 – изотермы напряжения питания вытяжного ($U1$) и приточного ($U2$) вентиляторов в установившемся тепловом режиме; рис. 5 – изотермы напряжения питания вентилятора ($U3$) и напряжения питания жидкостного насоса ($U4$) также в установившемся тепловом режиме; рис. 6 – зависимость перегрева НЗ (см. рис. 1) от времени переходного процесса (1 – охлаждение без вентиляции; 2 – охлаждение с максимальной вентиляцией; 3 – нагрев без вентиляции; 4 – нагрев с максимальной вентиляцией).

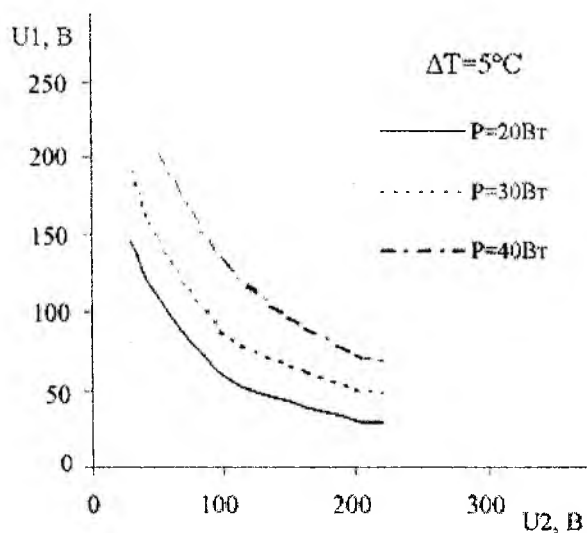


Рис. 4

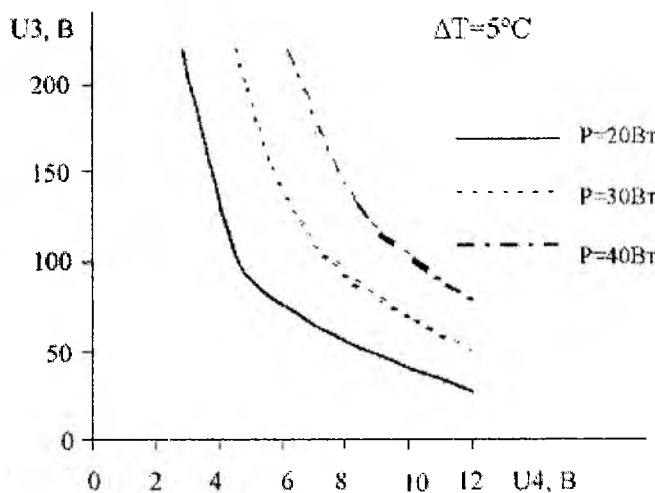


Рис. 5

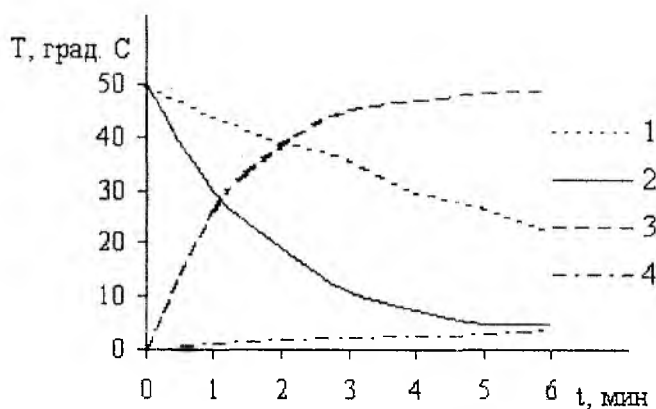


Рис. 6

Анализируя полученные зависимости, приходим к выводу, что реальные тепловые процессы могут быть пояснены с помощью эквивалентной электрической схемы (рис. 3). Графики, приведенные на рис. 4 и рис. 5, объясняются гиперболической зависимостью теплового сопротивления от расхода хладагента. Графики, приведенные на рис. 6, иллюстрируют переходные тепловые процессы и приближаются к экспонентам. Погрешность не превышает 5% от максимального значения температуры.

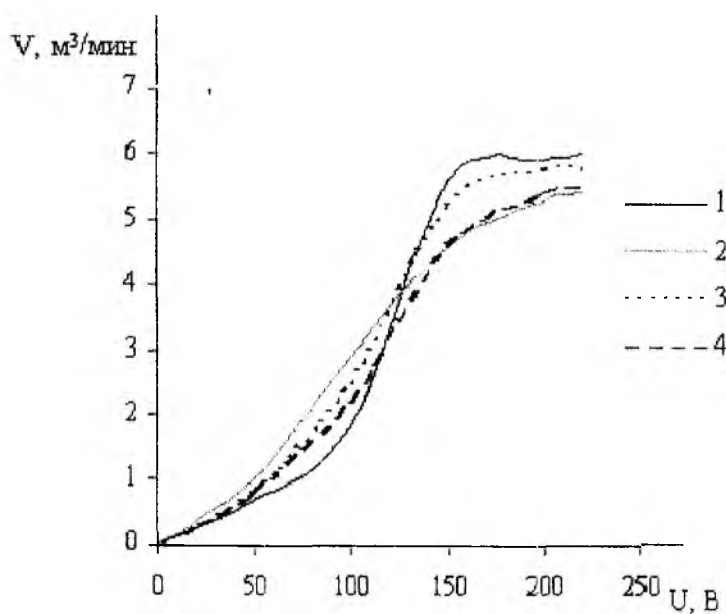


Рис. 7

На рис. 7 приведены зависимости расхода воздуха вентилятора от приложенного напряжения (1 – отдельно взятый вентилятор; 2 – вентилятор в схеме по рис. 2; 3 и 4 – соответственно приточный и вытяжной вентилятор в схеме по рис. 1). На рис. 8 приведены зависимости уровня шума вентилятора от напряжения питания.

Как отмечалось выше, необходимо подобрать такой режим работы вентиляторов (вентилятора и насоса), при котором уровень акустического шума будет минимальным, а расход хладагента будет обеспечивать заданную температуру НЗ. Для термостабилизации НЗ в условиях изменяющейся температуры окружающей среды или тепловой мощности необходимо регулировать расход хладагента (V). Возможность такой термостабилизации подтверждается графиками на рис. 6. Однако изменение расхода хладагента означает переход на другую изотерму $\Delta T_i = const$ (рис. 4 и 5), что влечет за собой изменение уровня акустиче-

ского шума. На рис. 9 представлены шумовые характеристики, соответствующие этим изотермам, снятые на установке с воздушным охлаждением (рис. 1). Аналогичный результат получен на установке с комбинированным охлаждением (рис. 2).

Таким образом, минимизация уровня шума от работы СОТР с двумя источниками движения хладагента при изменяющейся тепловой мощности P и постоянной температуре НЗ сводится к нахождению линии, соединяющей минимальные уровни шума при соответствующих изотермах. Как правило, она носит нелинейный характер, что объясняется нелинейностью происходящих процессов (рис. 7 и 8).

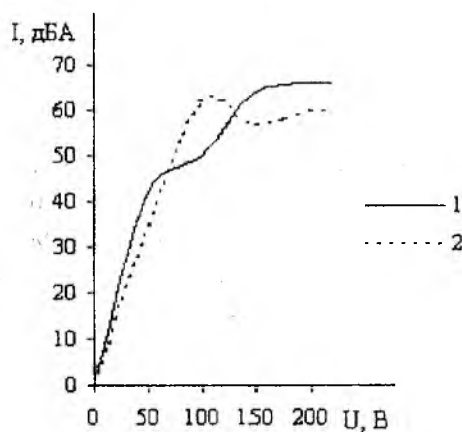


Рис. 8

В общем виде задача описывается следующим образом:

T – интегральная температура в системе (средняя в НЗ) есть функция времени t и вектора напряженности $\vec{U}(t)$ с очевидным ограничением $\frac{\partial t}{\partial U} < 0$, $i=1 \dots n$, где n – число вентиляторов (они же источники шума). $J(\vec{U})$ – функционал интегрального шума в системе. При отсутствии интерференции естественно считать

$$J(\vec{U}) = \sum J_i(\vec{U}_i), \quad (1)$$

где J_i – шум от каждого из источников.

Общая задача имеет вид:

$$\min_{t \in [0, t_1]} J(\vec{U}), \quad (2)$$

где t_1 – максимально допустимое время перехода из состояния T в состояние с допустимой температурой T_0 . Минимум в (2) берется по всем кривым такого перехода. Для монотонных зависимостей $J(U)$ можно задать промежуточные точки $T \rightarrow T_k \rightarrow T_{k+1} \dots \rightarrow T_1 \rightarrow T_0$, считая задачу квазистационарной (инерционность температурных процессов велика). Тогда в пространстве векторов $\vec{U}$ выделяется линейное многообразие U_{T_e} , для каждого T_e на каждом ищется $\min J(\vec{U})$.

Ниже показан дискретный случай такого подхода, когда многообразие аппроксимируется результатами эксперимента для каждой данной точки T_e . При этом предполагается, что вектор $\vec{U} \min$ из U_{T_e} действительно приведет систему из состояния T_e в T_{e-1} (в нештатных ситуациях перегрева это предположение может не выполняться).

Следующим шагом является адаптивное управление работой вентиляторов. В простейшем случае имеем:

2. Построить шумовую характеристику I_j для каждой изотермы $\Delta T = const$:

$$\begin{cases} I_j = f_i(U1; U2), \\ T = const, \\ P_j = const. \end{cases} \quad (5)$$

3. Построить линию, соединяющую минимальные значения полученных шумовых характеристик I_j :

$$\begin{cases} L = F_{\min}(U1; U2), \\ T = const, \\ P \neq const. \end{cases} \quad (6)$$

4. Построенная в ходе эксперимента линия L представляется аналитическим выражением одним из известных способов и может использоваться в СОТР с автоматическим управлением источниками движения хладагента.

Список литературы: 1. Дульнев Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высш. шк., 1984. 247 с. 2. Веников В. А. Теория подобия и моделирования. М.: Высш. шк., 1976. 479 с.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступили в редколлегию 24.06.2003