

ОПЕРАТИВНА ТОПЛИННА ЗАЩИТА НА ЦЕНТРОБЕЖНИТЕ САЧМЕНИ СЪЕДИНИТЕЛИ

Венелин Тасев

Минно-геоложки университет
"Св. Иван Рилски"
София 1700, България
E-mail: lvtasev@mail.bg

РЕЗЮМЕ

В доклада са разгледани различните възможности за реализиране на оперативна топлинна защита на центробежните сачмени съединители. Подробно са описани индиректните схеми с аналогови топлинни и електрически модели. Изведени са зависимости за оразмеряването на съответните модели, с оглед използването им като оперативна защита на центробежните сачмени съединители.

Предпазването на центробежните сачмени съединители /ЦСС/ от нежелателно прегряване, получено в следствие неправилното опериране или претоварване на работната машина, налага използването на защита, която да осигурява изключването на двигателя преди достигането на опасно високи температури.

ВИДОВЕ ОПЕРАТИВНИ ТОПЛИННИ ЗАЩИТИ

За реализирането на оперативна защита е необходимо във всеки момент да се знае температурата в съединителя. В зависимост от начина, по който се осъществява това, защитите могат да бъдат с директно отчитане на температурата и с индиректно. При първите контролирането на температурата се осъществява с помощта на термодатчик, монтиран стабилно на мантията, в точката в която се очаква най-високо нагряване. Извеждането на получения сигнал се осъществява с помощта на контактни пръстени, четки и четкодържатели, монтирани на входния вал. Полученият сигнал се усилва и по подходящ начин, при достигане на определена стойност на температурата, изключва захранването на двигателя. По своя принцип на действие тази защита осигурява много сигурен и ефективен контрол върху температурата на съединителя, като допуснатата грешка се свежда само до грешката на отчитане на температурата от монтирания датчик. Основен неин недостатък е тежкото конструктивно решение, налагащо монтирането на пръстени и четкодържатели. Това в известна степен затруднява поддръжката и сигурността на защитата. По тези причини до момента този тип защита не е намерила практическо приложение.

Със същия принцип на действие е защитата, която осъществява следенето на температурата в мантията от

известно разстояние. Тя се осъществява от специален термодатчик /пирометър/, който позволява определянето на температурата чрез излъчването, което се получава при нагряването на съединителя. Предимството на това решение е, че конструкцията на съединителя не се променя и извеждането на сигнала се осъществява по лек и сигурен начин. Като недостатък трябва да се посочи сравнително по-голямата неточност на измерването и силното влияние на замърсяването на датчика върху неговите показания, което може да доведе до неправилно и ненавременно сработване на защитата.

Оперативните топлинни защиты с индиректно действие се основават на предварително известната зависимост за изменението на температурата от времето. Най-елементарната защита от този тип се осъществява с времереле, което се настройва за време на изключване, малко по-голямо от необходимото за осъществяване на нормален пуск. От специален датчик се контролира извеждането на работната машина в движение. В случай, че това не стане за предвиденото време, релето сработва, като подава сигнал за изключване на двигателя. Подобна защита има само предпазно действие при еднократен неуспешен пуск, но тя не може да реагира на прегряване получено в следствие на недопустимо голям брой включения за даден период.

Друга форма на реализация на топлинна защита с индиректно действие се явява моделирането на процеса на загряване и охлаждане. Това може да се осъществи с топлинен или електрически модел. Принципите на двата начина е един и същ и се състои в следното:

При включване на двигателя към моделите се подава захранване пропорционално на отделения в съединителя

топлинен поток. С развъртането на двигателя и машината от специални датчици се получава информация за тяхната скорост. В зависимост от разликите в скоростите се променя и интензивността на загряването, по същия начин както се променя топлинния поток в съединителя през този период. При достигане скоростта на работната машина тази на двигателя, напрежението на датчиците се изравнява и захранването на моделите се преустановява. От този момент в тях се осъществява моделиране на охлаждащия процес. При добро оразмеряване, стойностите на температурата, респективно напрежението в съответните модели може много точно да следва изменението на температурата в сачмения съединител.

ИНДИРЕКТНА ОПЕРАТИВНА ЗАЩИТА С ТОПЛИНЕН МОДЕЛ

Оразмеряването на топлинния модел се осъществява по следния начин. Неговата маса трябва да се отнася към масата на съединителя и развивания от него момент по следния начин:

$$\frac{\sum_1^i m_i \cdot c_i}{M_C \cdot (\omega_1 - \omega_2)} = \frac{\sum_1^n m_n \cdot c_n}{P_H} \quad (1)$$

където:

m_i е масата на съответния елемент от ЦСС, kg;

c_i - специфичната топлиемост на съответния елемент от ЦСС, J/kg.K°;

M_C - моментът, развиван от ЦСС, Nm;

ω_1 - ъгловата скорост на двигателя, rad/s;

ω_2 - ъгловата скорост на машината, rad/s;

m_n - масата на съответния елемент от модела, kg;

c_n - специфичната топлиемост на съответния елемент от модела, J/kg.K°;

P_H - мощността отделена в нагревателя, W.

Където нагряващата модела мощност P_H се определя в зависимост от топлината, отделена в ЦСС:

$$P_H = M_C \cdot (\omega_1 - \omega_2) \cdot \frac{\sum_1^i m_i \cdot c_i}{\sum_1^n m_n \cdot c_n}, W \quad (2)$$

При определено съотношение на масите и топлинната мощност, мощността отделена в нагревателя трябва да има съответната стойност. За осъществяването на едни и същи условия на охлаждане е необходимо да се спазва следното равенство (Чичинидзе, 1970):

$$\frac{W_C \cdot e^{-K_C \cdot t_{ox}}}{\sum_1^i m_i \cdot c_i} = \frac{W_M \cdot e^{-K_M \cdot t_{ox}}}{\sum_1^n m_n \cdot c_n} \quad (3)$$

където:

W_C е цялото количество топлина, отделена в ЦСС, J;

W_M - цялото количество топлина, отдадена в модела, J;

K_C и K_M - коефициенти на охлаждане, съответно на ЦСС и модела, 1/s;

t_{ox} - времето за охлаждане, s.

Както се установи по-горе отношението на масите към отношението на мощностите е постоянна величина. В такъв случай за да се спази горното равенство при едно и също време за охлаждане е необходимо: $K_C = K_M$.

$$K_C = \frac{\alpha_C \cdot S_C}{\sum_1^i m_i \cdot c_i} = \frac{\alpha_M \cdot S_M}{\sum_1^n m_n \cdot c_n} = K_M, 1/s \quad (4)$$

където:

α_C е коефициента на теплоотдаване на ЦСС, W/m².K°;

S_C - повърхността на ЦСС, m²;

α_M - коефициента на теплоотдаване на модела, W/m².K°;

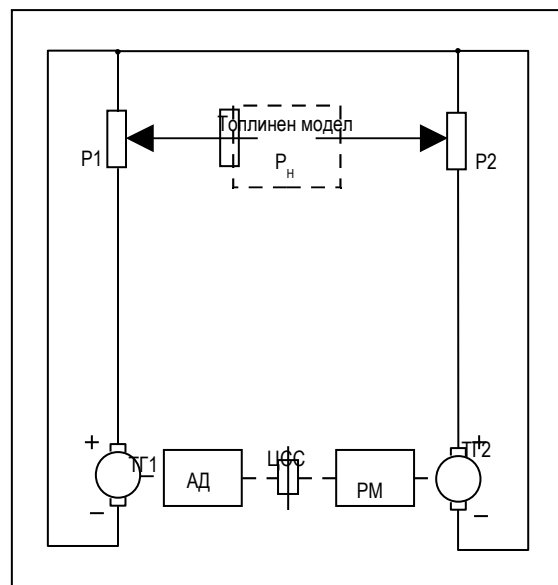
S_M - повърхността на модела, m².

Охлаждащата повърхност на модела, за осъществяване същите условия на охлаждане, както и в съединителя, трябва да бъде:

$$S_M = \frac{\alpha_C \cdot S_C}{\alpha_M} \cdot \frac{\sum_1^i m_i \cdot c_i}{\sum_1^n m_n \cdot c_n}, m^2 \quad (5)$$

При спазване на тези условия може да се счита, че нагряването и охлаждането на съединителя и модела ще се осъществява по един и същи начин и среднообемната им температура във всеки момент ще бъде еднаква.

Температурата в мантията се различава от среднообемната с 5÷25 °C. За осигуряване на сигурно сработване, датчика монтиран върху модела се настройва да изключва при достигане на температура от 110 °C.



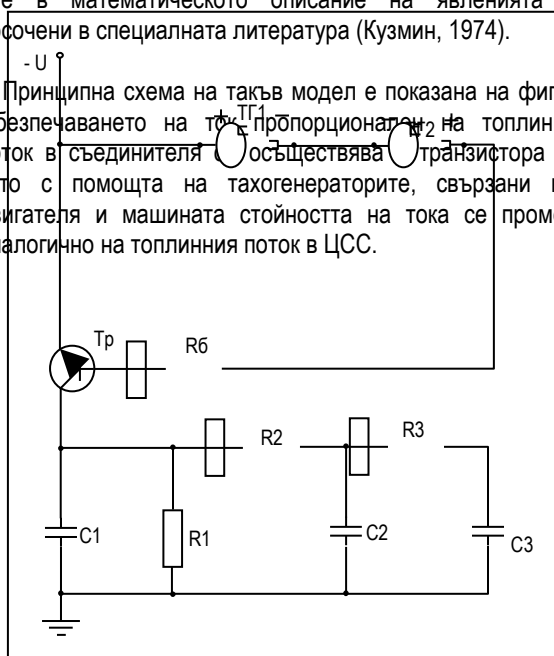
Фигура 1.

Точната и прецизна настройка се извършва на мястото на работа на сачмени съединител при заложено определено количество пълнеж и масло в него. Създавайки различни режими на работа на съединителя, едновременно се замерват температурите в него и в модела, като захранващото напрежение се подбира така, че получените температури минимално да се различават. Принципната схема, по която се осъществява защитата е показана на фиг.1.

ОПЕРАТИВНА ТОПЛИННА ЗАЩИТА С ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МОДЕЛ

Съставянето на защита на базата на електрически модел се основава на електротоплинната аналогия – принципно еднаквото протичане и описване на топлинните и електрическите процеси. Основните закономерности и съответствие в математическото описание на явленията са посочени в специалната литература (Кузмин, 1974).

Принципна схема на такъв модел е показана на фиг. 2. Обезпечаването на ток, пропорционален на топлинния поток в съединителя, осъществява транзистора Т1, като с помощта на тахогенераторите, свързани към двигателя и машината стойността на тока се променя аналогично на топлинния поток в ЦСС.



Фигура 2.

Моделирането на нагряването на съединителя е сведен до няколко RC -групи, имащи следното предназначение:

- кондензаторът С1 съответства на топлинния капацитет на мантията;
- съпротивлението R1 съответства на разсейваната от съединителя топлина в околното пространство;
- кондензаторите C2, C3 и C4 съответствуват на топлинните капацитети на сачмения пълнеж и останалите

елементи на съединителя;

- съпротивленията R2 и R3 са пропорционални на съответните проводимости.

Оразмеряването на отделните елементи се извършва в следната последователност:

- токът I през транзистора да бъде пропорционален на топлинния поток през мантията и сачмения пълнеж (Кузмин, 1974).

$$I = K_I \cdot \frac{Q_C}{S_C} = \frac{M_C \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{S_C}, A \quad (6)$$

- напрежението U върху кондензатора C1 трябва да съответства на температурата T в мантията:

$$U = K_U \cdot T; \quad K_U = \frac{U}{T} \quad (7)$$

- стойностите на кондензаторите, C_i отговарящи на топлинните капацитети на съответните детайли се изчисляват в съответствие с избраните мащаби на тока и напрежението:

$$C_i = \frac{K_I}{K_U} \cdot \frac{1}{\sum_i m_i \cdot c_i}, F \quad (8)$$

- съпротивлението R1, съответстващо на разсейваната топлина се определя:

$$R_1 = K_U \cdot \frac{U}{S_1 \cdot \alpha_1}, \Omega \quad (9)$$

където:

S_i е съответната повърхност, m²;

α_i - съответната топлопроводимост, W/m²°K.

- съпротивленията, отговарящи на съответните топлопроводимости се определят:

$$R_i = K_U \cdot \frac{U}{S_i \cdot \alpha_i}, \Omega \quad (10)$$

където:

S_i е съответната повърхност, m²;

α_i - съответната топлопроводимост, W/m²°K.

Подробна разработка на оперативна защита от такъв тип е направена (Тасев, 1974) за сачмен съединител ЦПСС 9, като същата е реализирана и изпробвана на практика.

Защитите създадени на базата на електромоделването на топлинните процеси имат много голяма гъвкавост, като практически една и съща защита може да се прилага за всички видове съединители.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Индиректните схеми винаги съдържат в себе си известен

елемент на несигурност. Това може да се дължи на неточната настройка, неправилни показания на тахогенератора и най-вече на евентуално изменение на характеристиките на съединителя, поради промяна на пълнежа и/или на фрикционните параметри. Поради това, тяхното използване във взриво или пожароопасна среда винаги трябва да е съчетано със заложена в съединителя аварийна топлинна защита, която да сработи при евентуално ненавременно задействане на оперативната защита.

ЛИТЕРАТУРА

- Чичинидзе, А.В. 1970. Тепловая динамика трение., *Наука, Москва*, .
- Кузмин, М.П. 1974. Электрическое моделирование нестационарных процессов теплообмена., *Энергия, Москва*.
- Тасев, В.Л. 1974. Оперативна топлинна защита на сачмен съединител, ЦПСС-2., *Дипломна работа*.

Препоръчана за публикуване от
катедра "Механизация на мините" на МЕМФ

OPERATIVE THERMAL PROTECTION OF CENTRIFUGAL BALL CLUTCHES

Venelin Tasev

University of Mining and geology
 "St. Ivan Rilski"
 Sofia 1700, Bulgaria
 E-mail: lvtasev@mail.bg

ABSTRACT

The report discusses different opportunities for performing an operative thermal protection for centrifugal ball clutches. Indirect schemes with analogous thermal and electric models are described in details. Dependencies for dimensioning of respective models are derived with the aim of applying them as operative protection for centrifugal ball clutches.

Protection of centrifugal ball clutches /CBC/ from unwanted overheating, resulting from irregular operation or overloading of machine involves the application of protection, which will provide switching off the machine before reaching dangerously high temperatures.

TYPES OF OPERATING THERMAL PROTECTIONS

Knowing the temperature in the clutch in each moment is needed for the operative protection. Depending on how this is realized protections may be of two types – of direct temperature registration and indirect temperature registration. In the first ones temperature control is realized by a thermal sensor, assembled steadily to the mantle, in a point where the highest heating is expected. Taking away of the obtained signal is realized by contact rings, brushes and brush-holders, assembled to the inlet shaft. Obtained signal is amplified appropriately, and reaching a certain temperature value it excludes engine supply. Applying this principle of action the protection provides a very reliable and effective control on clutch temperature, and possible error is reduced only to the error of temperature registration of the assembled sensor. The basic disadvantage is heavy constructive decision, involving the assembly of rings and brush-holders. To a certain extent, this makes maintenance and safety of protection more difficult. For that reason this type of protection has not been practically applied yet.

The same principle employs a protection, which observes temperature in the mantle from a certain distance. It is realized by a special thermal sensor (pyrometer), which allows determination of temperature by the radiation obtained while the clutch is heated. Advantage of this solution is that construction of the clutch does not change and taking away of the signal is realized by an easy and safe approach. Comparatively higher inaccuracy of measurement and effect of sensor contamination on its registrations may be mentioned as a disadvantage. This may bring to irregular and not in-time work of the protection.

Operative thermal protections with an indirect action are based on a dependence of temperature change with time, which is known in advance. The most simple protection of that type is realized by a time-relay, which is adjusted for a time of

switching off, a little bit higher than the time needed for the realization of a normal start. A special sensor controls putting of the machine into motion. If this does not happen for the time provided, the relay starts and gives signal for switching the engine off. Protection of that kind is effective only for a single unsuccessful start, but it may not react to overheating caused as a result of too many switches for a certain period of time.

Another form for realization of a thermal protection of indirect action is modelling of the process of heating and cooling. This may be realized by a thermal or electric model. Principle of both approaches is the same and consists in the following:

When the engine is switched on, models are supplied proportionally to the thermal flow released in the clutch. Special sensors provide information about speed of rotation, when engine and machine are rotated. Depending on differences in speed, intensity of heating changes in the same way as thermal flow in the clutch changes for the same period of time. When speed of working machine reaches speed of the engine, voltage in sensors equalizes and supply to models interrupts. From this moment on modeling of cooling process is performed. In case of good dimensioning, values of temperature, respectively voltage in respective models may precisely follow the temperature changes in the ball clutch.

INDIRECT OPERATIVE PROTECTION WITH A THERMAL MODEL

Dimensioning of the thermal model is performed as follows. Its mass is to refer to mass of clutch and moment of rotation in it as follows:

$$\frac{\sum_1^i m_i \cdot c_i}{M_C \cdot (\omega_1 - \omega_2)} = \frac{\sum_1^n m_n \cdot c_n}{P_H} \quad (1)$$

where:

m_i is the mass of respective element of CBC, kg;

c_i – specific heat consumption of respective element of CBC, J/kg.K°;

M_C – moment, developed by CBC, Nm;

ω_1 – angular speed of engine, rad/s;

ω_2 – angular speed of machine, rad/s;
 m_n – mass of respective element of the model, kg;
 c_n – specific heat consumption of respective element of the model, J/kg.K°;
 P_H – power released in the heater, W.

Power, P_H , heating the model is determined depending on the heat, released in CBC:

$$P_H = M_C \cdot (\omega_1 - \omega_2) \cdot \frac{\sum_1^i m_i \cdot c_i}{\sum_1^n m_n \cdot c_n}, W \quad (2)$$

In case of certain ratio of masses and heat power, the power released in the heater is to be of a respective value. Observing the following equation is needed for realizing one and the same conditions of cooling (Chichinidze, 1970):

$$\frac{W_C \cdot e^{-K_C \cdot t_{ox}}}{\sum_1^i m_i \cdot c_i} = \frac{W_M \cdot e^{-K_M \cdot t_{ox}}}{\sum_1^n m_n \cdot c_n}, \quad (3)$$

where:

W_C is the whole quantity of heat, released in CBC, J;
 W_M – whole quantity of heat, released in the model, J;
 K_C and K_M – coefficient of cooling, for CBC and model, respectively, 1/s;
 t_{ox} – time of cooling, s.

As above mentioned ratio of masses towards ratio of powers is a constant value. In this case, the observatiopn of the above equation for one and the same period of cooling needs: $K_C = K_M$.

$$K_C = \frac{\alpha_C \cdot S_C}{\sum_1^i m_i \cdot c_i} = \frac{\alpha_M \cdot S_M}{\sum_1^n m_n \cdot c_n} = K_M, 1/s \quad (4)$$

where:

α_C is the coefficient of heat release of the CBC, W/m²K°;
 S_C – surface of CBC, m²;
 α_M – coefficient of heat release of the model, W/m²K°;
 S_M – surface of the model, m².

The coolong surface of the model for realizing the same conditions of coolong, as in the clutch, is to be:

$$S_M = \frac{\alpha_C \cdot S_C}{\alpha_M} \cdot \frac{\sum_1^i m_i \cdot c_i}{\sum_1^n m_n \cdot c_n}, m^2 \quad (5)$$

If the above conditions are observed, it may be considered that heating and cooling of clutch and model are performed in one and the same way and the average volumetric temperature in each moment will be equal.

Temperature in the mantle differs from the average

volumetric temperature with 5 ± 25 °C. Sensor assembled on the model is adjusted to switch off when temperature of 110°C is reached with the aim of providing its safe work.

Accurate and precise adjustement is performed at the place of work of the ball clutch for a give quantity of filling and lubrication in it. Creating different modes of operation for the clutch, temperatures in it and in the model are measured simultaneously, and supplying voltage is selected in such a way that obtained temperatures differ with a minimum. The principal scheme employed by the protection is shown in fig. 1.

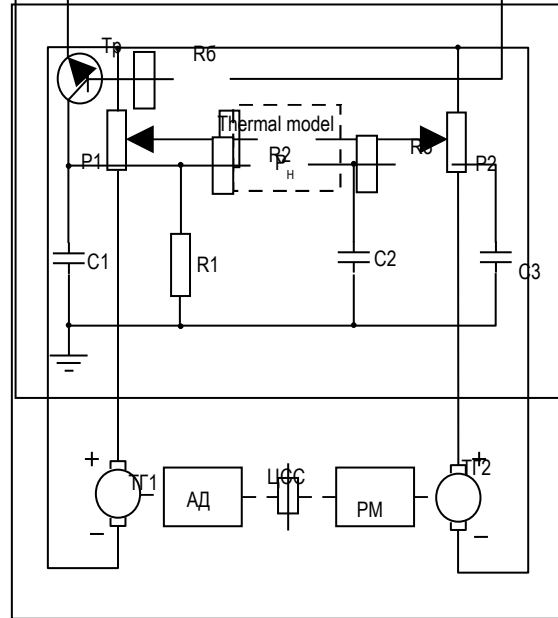


Figure 1.

OPERATIVE THERMAL PROTECTION WITH AN ELECTRIC MODEL

Constructing a protection based on electric model is reasoned by the electrothermal analogy – equal occurring and description of thermal and electric processes. Basic dependencies and correspondence in mathematical description of phenomena are cited in specialized references (Kuzmin, 1974).

The principal scheme is shown in fig. 2. Supply of current, proportional to thermal flow in the clutch is realized by the transistor T1, and by means of tachigenerators, connected to engine and machine, the value of current changes analogically to thermal flow in the CBC.

Figure 2.

Modeling of the heating of clutch is reduced to several RC – groups, having the following designation:

- the condenser C1 corresponds to the thermal capacity of the mantle;
- resistance R1 corresponds to disseminated heat by the clutch in the surrounding room;
- condensers C2, C3 and C4 correspond to thermal capacities of ball filling and the other elements of the clutch;
- resistances R2 and R3 are proportional to respective conductivities.

Dimensioning of separate elements is carried out in the following consecution:

- current I through transistor to be proportional to thermal flow through the mantle and ball filling (Kuzmin, 1974).

$$I = K_I \cdot \frac{Q_C}{S_C} = \frac{M_C \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{S_C}, \text{ A} \quad (6)$$

- voltage U on condenser C1 is to correspond to the temperature T in the mantle:

$$U = K_U \cdot T; \quad K_U = \frac{U}{T} \quad (7)$$

- values of condensers, C_i corresponding to thermal capacities of respective details are calculated according to selected scales of current and voltage:

$$C_i = \frac{K_I}{K_U} \cdot \frac{1}{\sum_1^i m_i \cdot c_i}, \text{ F} \quad (8)$$

Recommended for publication by Department
of Mine Mechanization, Faculty of Mining Electromechanics

- resistance R1, corresponding to disseminated heat is determined:

$$R_1 = K_U \cdot \frac{U}{S_i \cdot \alpha_i}, \Omega \quad (9)$$

where:

S_i is the respective surface, m²;

α_i – respective heat conductivity, W/m²°K.

- resistances, corresponding to respective heat conductivities are determined:

$$R_i = K_U \cdot \frac{U}{S_i \cdot \alpha_i}, \Omega \quad (10)$$

where:

S_i is the respective surface, m²;

α_i – respective heat conductivity, W/m²°K.

Detailed development of an operative protection of that type was performed (Tasev, 1974) for a ball clutch ЦПСС 9, and the same is implemented and tested in practice

Protections, based on electrical modeling and thermal processes are very flexible, and practically one and the same protection may be applied to all types of clutches.

CONCLUSION

Indirect schemes always represent a certain element of insecurity. This may be caused by inaccurate adjustment, incorrect indications of the tachigenerator and most often to possible change of clutch characteristics, due to change of filling and/or frictional parameters. For that reason their use in explosive atmosphere has to be combined with an accidental heat protection, which has to work in case of possible lack of in-time action of the operative protection.

REFERENCES

- Chichinidze, A.V. 1970. Thermal dynamics of friction, *Nauka, Moscow, (in Russian)*.
- Kuzmin, M.P. 1974. Electrical modeling of non-stationary heat-exchange processes, *Energy, Moscow, (in Russian)*.
- Tasev, V.L. 1974. Operative heat protection for ball clutch, ЦПСС-2., *Diploma thesis, (in Bulgarian)*.