

**PROTECTION FROM OVERLOAD OF THE ELECTRICAL MOTORS  
ON THE BASIS OF A HEAT MODEL <sup>143</sup>**

---

**Ivan Stoilov, Prof. PhD.**

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", E-mail: ivan.stoilov@mgu.bg

**Kiril Dzhustrov, Assoc. Prof. PhD.**

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", E-mail: justrov@mgu.bg

**Todor Tzvetkov, Eng.**

ABB Bulgaria EOOD, E-mail: todtzvet@abv.bg

***Abstract:** All contemporary digital protections of electrical motors at average voltage have the possibility to configure a heat model of the electrical motors and respectively to ensure effective protection from overload. To create the heat model it is necessary to enter the time constants of heating and cooling of the electrical motor and such data is usually not available. The paper reviews the results from the experimentally taken time constants of a synchronous electrical motor with a power of 2,5 MW which sets in motion a mill aggregate. Using the obtained data a heat model in the micro-processor's protection REM 615 was configured and put in operation.*

***Keywords:** micro-processor protection, overload protection, heat model of the electrical motors*

## **ВЪВЕДЕНИЕ**

Топлинната защита на мощните електродвигатели, реализирана чрез топлинен модел в микропроцесорните защиты, удължава работния ресурс на изолацията като предотвратява активното и стареене. Предотвратяват се повреди в изолацията от топлинно претоварване при протичане на свръх токове в статорната намотка на електродвигателите. Често в електродвигателите средно напрежение се вграждат в намотките и в стоманата на статорния пакет датчици за температура. Съвременните цифрови защиты имат възможност да реализират топлинна защита чрез непосредствено измерване на температурата. Тази защита е ефективна, има висока точност при измерване на температурата за установени топлинни преходни процеси. За мощните електродвигатели на средно напрежение, които имат по-дебела изолация и големи времекопстанти на нагриване, тази защита не притежава необходимото бързодействие [1]. Ето защо за реализиране на бързодействаща защита на електродвигателите от прегриване е целесъобразно да се използва топлинна защита на база топлинен модел на електродвигателя.

## **I. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВРЕМЕКОПСТАНТИТЕ НА НАГРИВАНЕ И ОХЛАЖДАНЕ НА СИНХРОННИТЕ ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ НА МЕЛНИЧНИТЕ АГРЕГАТИ**

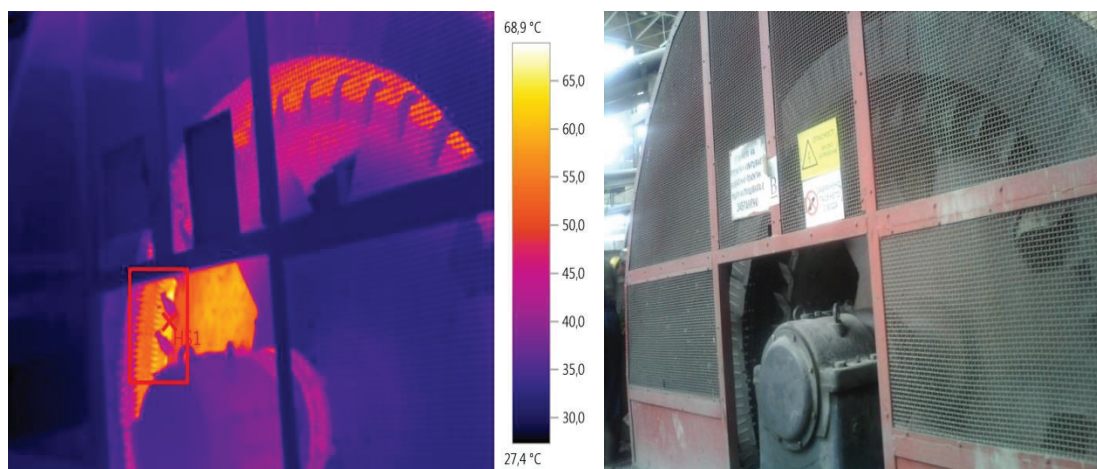
В обогатителната фабрика на „Елаците-мед“ АД работят 10 мелнични агрегата задвижвани от синхронни електродвигатели тип СДС 19-56-40 У4 и СДС 19-56-4ухл4 с мощност 2,5 MW на напрежение 6 kV. В модернизираниите КРУ за управление на електродвигателите са монтирани цифрови релейни защиты на фирма АВВ – REM 615.

За определяне времекопстантиите на синхронните електродвигатели на мелничните агрегати бяха експериментално заснети кривите на загриване и охлаждане. Експериментът се проведе на мелничен агрегат №8 при планово спиране за ремонт. Измерването на температурата се извършваше с термовизионна камера, монтирана на станок. Преди

---

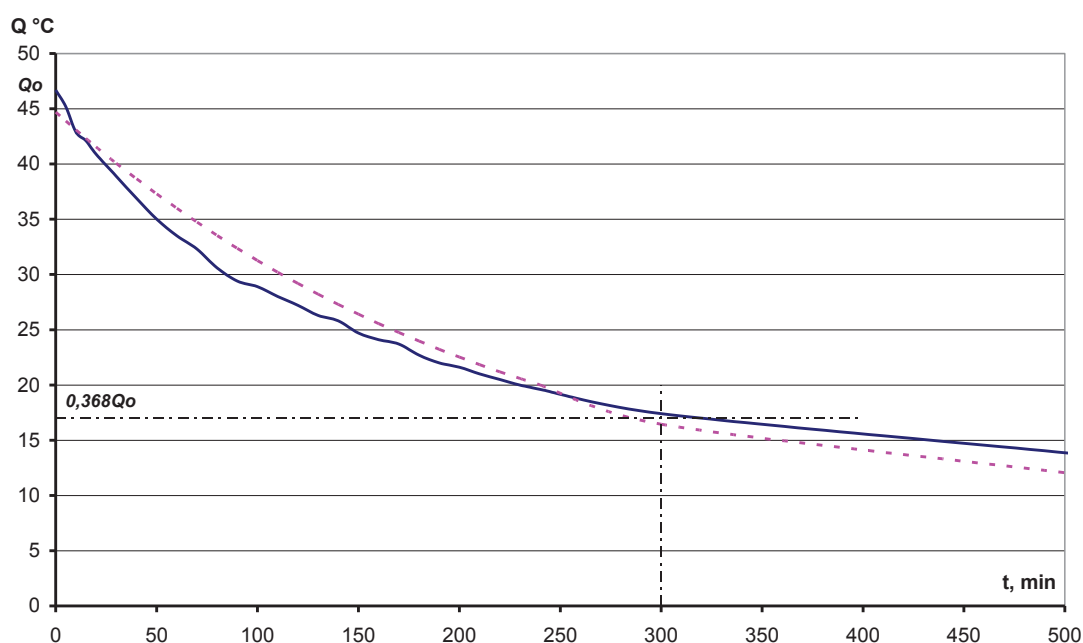
<sup>143</sup>Presented a plenary report of October 29, 2016 with the original title: ЗАЩИТА ОТ ПРЕТОВАРВАНЕ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ НА БАЗА ТОПЛИНЕН МОДЕЛ

спирането на двигателя бе определена най-горещата точка от статорната намотка на електродвигателя и камерата бе фиксирана в нея – фиг.1. Измерена бе и температурата на околната среда.



Фиг.1 Термографска снимка

След спиране на електродвигателя на интервал от 10 минути бяха правени термографски снимки. Заснетата крива на охлаждане е дадена на фиг.2 с непрекъснатата линия (на фигурите с Q е означено прегряването).

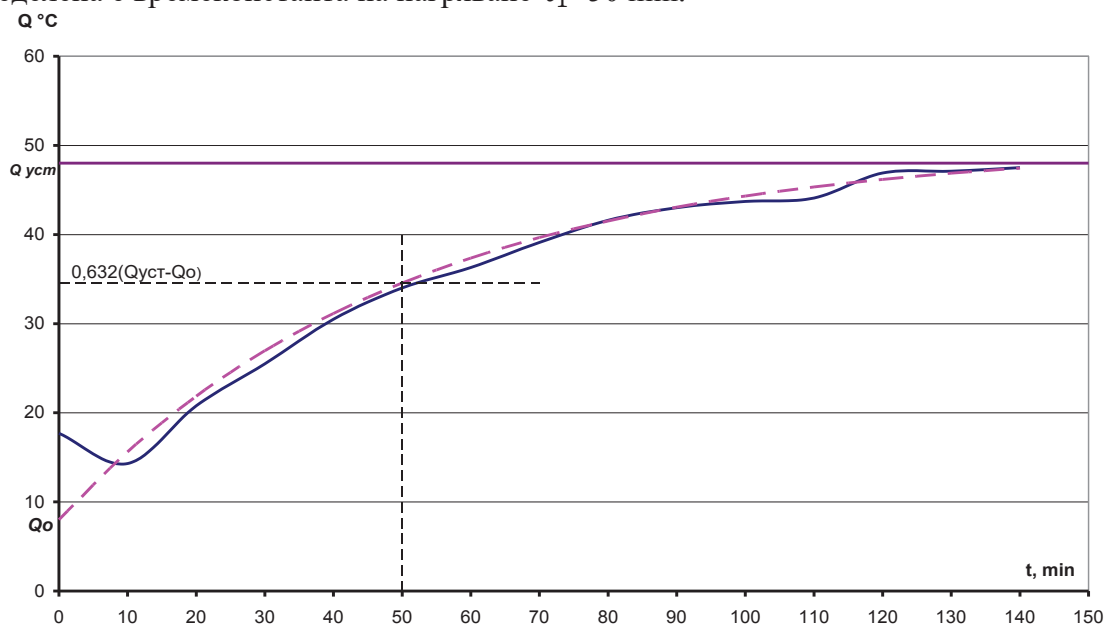


Фиг.2 Крива на охлаждане на електродвигател 2,5 MW на мелничен агрегат

От кривата на фиг.2 е определена времеконстантата на охлаждане на електродвигателя  $\tau_2=300$  min. С прекъснатата линия на фигурата е построена теоретичната крива на охлаждане. Вижда се много доброто съвпадение на експерименталните и теоретичните резултати.

Кривата на нагряване на електродвигателя бе заснета за същата точка от статорния пакет. Синхронният електродвигател работи с възбуждане от цифров регулатор АНИКРОН ТМ - 03 в автоматичен режим за поддържане на  $\cos \varphi =1,0$ . Коефициентът на натоварване по активна мощност е 0,87. Термографски снимки се правеха на всеки 10 min работа на

мелничния агрегат. По експерименталните данни е построена кривата на нагряване – фиг.3. Определена е времеконстанта на нагряване  $\tau_1=50$  min.



Фиг.3 Крива на нагряване на електродвигател 2,5 MW на мелничен агрегат

## II. СЪСТАВЯНЕ НА ТОПЛИНЕН МОДЕЛ

В моторната защита REM 615 има възможност за въвеждане на топлинна защита от претоварване (Thermal overload protection for motors MPTTR). Тя е предназначена да лимитира топлинното ниво на електродвигателя до предварително зададена стойност при поява на отклонения от нормалния работен режим като: технологично претоварване, продължителен пуск, висока околна температура, намалена вентилация на електродвигателя, по-ниска скорост на въртене, чести пускания на електродвигателя, отклонение от номиналното напрежение, механична повреда в задвижвания механизъм, недопустим небаланс на напрежението, непълнофазен режим на работа [2].

Топлинната защита от претоварване на електродвигателите се базира на съставянето на модел на топлинното поведение на електродвигателя, измервайки товарния ток и изключване при достигане на топлинен капацитет 100%. Топлинната защита от претоварване предпазва електродвигателите от ненормално нарастване на тока, което води до недопустими нагрявания на намотките, повреди в изолацията и в най-лошия случай – запалване на електродвигателя.

### II.1. Определяне на пълния ток на товара - FCL (Full Load Current).

Номиналният ток на електродвигателите се определя от производителите при температура на околната среда  $T_{amb} = 40^{\circ}\text{C}$ . В защитата REM 615 е предвидена възможност за увеличаване на пълния ток на товара при работа при по-ниска температура на околната среда или намаляване при температура на околната среда по-висока от  $40^{\circ}\text{C}$ .

За конкретния случай се приема температура на околната среда  $T_{amb} = 40^{\circ}\text{C}$  (измерена е температура на околната среда  $32^{\circ}\text{C}$ ), при което за FCL се фиксира номиналният ток на електродвигателя - 281A.

### II.2. Определяне на термичното ниво (капацитет).

Нагряването на електродвигателя се определя от квадрата на товарния ток. В случай на небаланс, токовете с обратна последователност също допринасят за допълнително нагряване. Това се отчита с въвеждане на фактора ток с обратна последователност (Negative Seq factor setting).

Топлинното ниво на електродвигателя се изчислява по формулите:

$$Q_b = \left[ \left( \frac{I}{k \times I_r} \right)^2 + K_2 \times \left( \frac{I_2}{k \times I_r} \right)^2 \right] \times (1 - e^{-t/\tau}) \times p\% \quad (1)$$

$$Q_a = \left[ \left( \frac{I}{k \times I_r} \right)^2 + K_2 \times \left( \frac{I_2}{k \times I_r} \right)^2 \right] \times (1 - e^{-t/\tau}) \times 100\% \quad (2)$$

където:

- I - ефективна стойност на тока, определена за максимална в една от фазите;
- $I_r$  - определения пълн ток на товара (FLC);
- $I_2$  - измерения ток с обратна последователност;
- k - определения претоварващ фактор;
- $K_2$  - определения фактор на ток с обратна последователност.
- p - въведения тегловен коефициент;
- $\tau$  - времеконстанта.

По големината на тока защитата определя коя времеконстанта (по време на пускане, при нормална работа или при охлаждане) е актуална и по нея изчислява топлинния капацитет.

По уравнение 1 се изчислява топлинният капацитет когато токът и в трите фази е под тока на претоварване ( $k \times I_r$ ). Уравнение 2 се използва когато тока поне в една от фазите надвиши определения претоварващ ток.

Когато електродвигателят е в процес на охлаждане (което се определя по стойността на тока – по-ниска от  $0,12 \times I_r$ ) топлинният капацитет се определя по формулата:

$$Q = Q_{02} \times e^{-t/\tau} \quad (3)$$

където: – топлинно ниво от което започва охлаждането.

### II.3. Определяне на тегловния коефициент.

В защитата се формират две криви на загряване. Едната от тях характеризира кратковременните и продължителните претоварвания и се използва за защитно изключване, а втората служи за мониторинг на топлинния режим. Стойността на тегловния коефициент p (Weighting factor p) определя стръмността на двете топлинни криви. При двигатели с директно пускане, където има опасност от образуване на горещи зони в намотките, обикновено тегловния коефициент се приема 50%. Обикновено, приблизително половината от топлинния капацитет е използван когато електродвигателят работи с номинален товар. Въвеждайки тегловен коефициент  $p=50\%$  в модула MPTTR означава, че 45 до 50% от топлинния капацитет е достигнат при пълно натоварване.

В защитата REM 615 е въведен тегловен коефициент  $p=50\%$ .

### II.4. Определяне на претоварващия фактор - k (коефициента на претоварване) (Overload factor).

Стойността на коефициента на претоварване определя максимално допустимия продължителен товар на електродвигателя. Препоръчаната стойност на коефициента на претоварване е  $k = 1,05$ , която е въведена в защитата.

### II.5. Определяне фактора на тока с обратна последователност $K_2$ (Setting the negative sequence factor).

За по-акуратен топлинен модел в защитата се въвежда стойност на фактора на тока с обратна последователност  $K_2$ . Той може да бъде определен приблизително по формулата:

$$K_2 = \frac{175}{(K_{start})^2} \quad (4)$$

Kstart - кратност на пусковия ток определена по тока FLC.

В конкретния случай за K2 се получава стойност 4,5, която е въведена в защитата.

## **II.6. Определяне на термичното ниво за забрана на повторен пуск (Setting the thermal restart level)**

Стойността се определя като от 100% се извади процентното отношение на времето на пусковия процес на електродвигателя и отчетеното време от кривата без предварителен товар за стойността на кратността на пусковия ток.

За случая се получава 50%, която стойност е въведена в защитата.

## **II.7. Сигнали за аларма и за изключване**

Модулът топлинна защита генерира сигнали за аларма, забрана на повторно включване и сигнал за изключване на електродвигателя.

Когато топлинното ниво надхвърли установеното ниво за подаване на алармен сигнал (Alarm thermal value setting), изхода ALARM се активира.

Стойността на топлинното ниво, при което се подава аларма обикновено е в интервала 80-90 % от нивото, при което се подава команда за изключване.

В някои случаи възниква необходимост от забрана на повторно включване поради достигнато високо топлинно ниво, например увеличено време на пускане. Ако топлинното ниво на електродвигателя надхвърли установената стойност, при която се забранява повторно пускане (Restart thermal val setting), изходът за блокиране на повторно стартиране (BLK\_RESTART) се активира. Времето, след което е възможен следващ старт може да бъде отчетено от изхода T\_ENARESTART. Възможен е аварийен старт като се деблокира забраната за повторно включване, ако на блока за аварийен пуск (START\_EMERG) е зададено по-високо топлинно ниво. В този случай се разрешава едно пускане на електродвигателя, преди той да се е охладил до топлинното ниво, зададено в блока за забрана на повторно пускане.

В случай на достигане топлинно ниво 100%, изхода OPERATE се активира. Той се деактивира когато измерваният ток спадне под 12% от номиналния или топлинното ниво спадне под 100%. Ако входа на модула BLOCK е активиран изходите ALARM, BLK\_RESTART и OPERATE са блокирани.

Съставеният топлинен модел не е експериментиран в практиката, поради което в защитата не е въведена команда за изключване на прекъсвача при достигане на топлинно ниво 100 %. При достигане на топлинно ниво 100% се активира светодиод на защитата и сигнализира за топлинно претоварване. При спадане на топлинното ниво под 100 % диодът се деактивира.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Експериментално са определени времеконстантите на нагриване и охлаждане на синхронен електродвигател 2,5 MW, задвижващ топкова мелница МШЦ 4,5 x 6,0.

2. Конфигуриран е топлинен модел и са въведени необходимите настройки в цифрова защита REM 615.

3. Топлинният модел, действащ на сигнал, е въведен в експлоатация на 10 мелнични агрегата в обогатителната фабрика на „Елаците-мед“ АД.

## **ЛИТЕРАТУРА**

[1] С.А.Гондуров, С.В. Михалев, М.Г. Пирогов, А.Л. Соловьев. Релейная защита электродвигателей напряжением 6-10 кВ терминалами БМРЗ. Методика расчета. Санкт-Петербург, 2013.

[2] ABB-615 Series Technical Manual\_E.