

**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ГАБРОВО**  
*Катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“*

**маг. инж. Динко Колев Господинов**

**Изследване на  
защитни устройства  
за асинхронни двигатели  
в специално изпълнение**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**на дисертация за получаване на образователна и  
научна степен “Доктор”**

**професионално направление: 5.2. *Електротехника,  
електроника и автоматика***

**Габрово, 2015**

**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ГАБРОВО**  
*Катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“*

**маг. инж. Динко Колев Господинов**

**Изследване на  
защитни устройства  
за асинхронни двигатели  
в специално изпълнение**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**на дисертация за получаване на образователна и  
научна степен “Доктор”**

**Професионално направление: 5.2. Електротехника,  
електроника и автоматика**

**Специалност: Електроснабдяване и  
електрообзавеждане**

**Научни ръководители :**

- 1. доц. д-р Красимир Маринов Иванов**
- 2. проф. д-р Евтим Руйчов Кърцелин**

**Рецензенти:**

- 1. проф. д-р Иван Лалов Димитров**
- 2. доц. д-р Ангел Георгиев Зъбчев**

**Габрово, 2015**

Дисертационния труд е обсъден на заседание на разширен катедрен съвет на катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане” при Технически университет - Габрово Протокол №12/07.07.2015г. и е насочен за защита пред Научно жури .

Дисертацията е разработена в катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане” при Технически университет – Габрово. Лабораторните изследвания са проведени в лабораторните бази на катедра „Електрификация на минното производство“ при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски” гр. София и в катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“ при Технически университет – Габрово, а защитните устройства за изследване са предоставени от „Въгледобив Бобов дол“ ООД, гр. Бобов дол.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на .....Г. в катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане” при Технически университет - Габрово, зала ....., от ..... часа на заседание на Научно жури

Материалите по дисертацията са на разположение на всички интересуващи се в канцеларията на „Следдипломно обучение и повишаване на квалификацията“ при Технически университет - Габрово

**Автор: маг. инж. Динко Колев Господинов**

**Заглавие: Изследване на защитни устройства за асинхронни двигатели в специално изпълнение**

Тираж: 100 бр.

Издател.....

### **Актуалност.**

Поради някои съществени предимства пред другите типове електродвигатели, асинхронният електродвигател с късо съединен ротор в началото на XXI век се явява един от най-разпространените електродвигатели в системите за електрозадвижване. Неговата проста конструкция, надежност в работата, ниска стойност и висок коефициент на полезно действие позволяват да се предположи, че този тип двигател ще остане и през XXI век един от главните източници на механична енергия.

С развитието на силовата електроника и производството на изключително ниски цени на различни по принцип на действие, мощност и предназначение преобразователни устройства за повишаване на регулировъчните свойства на асинхронните двигатели, лидерските позиции на асинхронните електродвигатели ще се разширяват и утвърждават.

Към предимствата на асинхронните електродвигатели трябва да се посочи и това, че те по конструкция и цена най-добре отговарят на изискванията за използването им във взривоопасните и пожароопасни производства в нефтената, газовата, химическата и въглищната промишленост, в бита и услугите.

Производството на различни по мощност и конструктивно изпълнение асинхронни електродвигатели в специално изпълнение (руднично взривозащитено) ги правят днес без конкуренция при избора на електрозадвижването на всички минни машини и транспортни системи за условията на подземните въглищни рудници.

Статистиката показва, че в началото на XXI век над 2000 взриво- и пожароопасни вещества под формата на газове, пари и прах определят качеството на производствената среда на редица технологични процеси и производства. Това на практика означава, че използването на електрообзавеждане в специално (взривозащитено) изпълнение

непрекъснато ще се разширява, а изискванията към неговото качество непрекъснато ще се повишава. Асинхронните двигатели и комутационните апарати в специално изпълнение ще се явяват винаги неразделна и основна част на всеки технологичен процес и производство, който протича във взриво- и пожароопасна среда.

Наред с тези положителни и високи оценки за асинхронните електродвигатели като универсално приложими електромеханични преобразуватели, включително и при условията на опасните производства ще се посочат и някои негови съществени недостатъка:

- Висока чувствителност на асинхронния електродвигател към показателите за качество на електрическата енергия;
- Високата аварийност на асинхронните електродвигатели, като в определени промишлени отрасли тази аварийност достига до 25% от общия брой на машините в експлоатация.

Тази висока аварийност на асинхронните електродвигатели, включително и на тези в специално изпълнение се явява не само причина за големи аварийни престой, съпроводени с големи материални загуби, но в определени случаи се явяват причина за сериозно повишаване на риска и създаването на екологични проблеми в определени производства и обекти.

За защита на асинхронни електродвигатели от аварийни и анормални режими на работа се използват различни по принцип на действие и техническа реализация устройства за защита, контрол и диагностика. Днес широко се произвеждат и внедряват микропроцесорни релейни защиты с големи функционални възможности и висока надежност в експлоатация.

Задачата за разработването на ефективни и надеждни устройства за защита на асинхронни електродвигатели в специално (взривозащитено) изпълнение е твърде сложна и изисква всестранен анализ на възможните режими на работа, възможните аварийни ситуации и техните последици за

защитавания обект, околната среда и хората. Днес в експлоатация се намират различни видове устройства за защита на асинхронни електродвигатели в общопрмишленно изпълнение, както и защити с разширен спектър на защитните функции, изпълнени на основата на микропроцесорната техника. Поради специфичните условия и строги изисквания към електрообзавеждането и устройствата за защити на асинхронните електродвигатели, работещи в във взриво- и пожароопасна производствена среда, процесът на тяхната модернизация съществено е закъснял.

Всичко изложено до тук определя актуалността на задачата за изследване на използваните устройства за защита на асинхронни електродвигатели в специално (взривозащитено) изпълнение и обосноваване на нови решения за повишаване на тяхното качество и ефективност.

### **Цел и задачи на дисертационната работа**

*Цел на дисертацията:* Изследване на устройствата за защита на асинхронни двигатели в специално изпълнение и обосноваване на решения за повишаване на тяхното качество и ефективност.

За постигане целта на дисертацията ще се разработват и решават следните въпроси и задачи:

1. Анализ на избрани въпроси от теорията на АД в специално изпълнение и на устройствата за защита.
2. Изследване на използваните устройства за защита на АД в специално изпълнение и обосноваване на нови решения за повишаване на тяхното качество и ефективност.
3. Синтез на устройство с изпреварващо действие за защита на асинхронни двигатели задвижващи руднични верижни транспортъори.

4. Обосноваване на нови решения за повишаване качеството на устройства за дистанционно управление на подвижни машини с електрозадвижване.

#### **Практическа приложимост.**

Получените резултати в дисертацията се предоставят на ръководството на „Въгледобив Бобов дол“ ООД, гр. Бобов дол за включване в програмите за повишаване на безопасната и ефективна експлоатация на електрообзавеждането, което ще работи при условията на подземния добив на въглища.

Получените резултати ще се използват за обучението на студенти и повишаване квалификацията на специалисти, чиято дейност е свързана с проектиране, монтаж, експлоатация и контрол на електрообзавеждане, което ще работи във взривоопасна среда.

Получените резултати са приложими и за други отрасли, чиито технологични процеси протичат във взриво- и пожароопасна среда.

#### **Апробация на работата.**

Основните резултати на дисертацията са докладвани на научните сесии на Технически университет – Габрово през 2010, 2012, 2013 и 2014г., научните сесии на Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ гр.София през 2010, 2012г., научните сесии на Университет „Константин Бранкуши“ гр. Таргу Жиу, Румъния през 2013, 2014г.

#### **Структурата и обем на дисертацията**

Дисертацията се състои от увод, пет глави и заключение с приноси. Изложена е на 152 страници с включен списък на използваната литература от 113 заглавия, от които 81 на кирилица и 32 на латиница. В края на дисертацията е приложен Списък на 9 броя публикации по темата на дисертацията.

**Глава 1 Защитни устройства за защита на асинхронни двигатели в специално изпълнение. Постигания и проблеми. Цел и задачи на дисертационната работа.**

В Глава 1 са изложени следните основни въпроси:

- 1.1 Специфични проблеми и изисквания за безопасно използване на електрическата енергия и на електрообзавеждането във взриво- и пожароопасна производствена среда.
- 1.2 Устройства за защита на асинхронни двигатели в общо промишлено изпълнение.
- 1.3 Комутационни апарати за управление, контрол и защита на асинхронни двигатели в специално изпълнение.
- 1.4 Предимства и недостатъци на микропроцесорни релейни защиты.
- 1.5 Съвременни тенденции в разработването и внедряването на ново поколение комутационните апарати в специално изпълнение.
- 1.6 Състояние на проблема за защита на рудничен верижен транспортър от скъсване на теглителната верига.
- 1.7 Изводи към Глава 1.
- 1.8 Цел и задачи на дисертационната работа.

По условията за голямата опасност от възникването на експлозии и пожари към подземния въглищен рудник е възможно да се приравнят редица обекти от различни отрасли на промишленото производство, бита и услугите.

Ето защо в дисертацията се разглеждат някои въпроси и проблеми, свързани с управлението и защита на асинхронния двигател в специално изпълнение, отчитайки условията на подземните въглищни рудници, като получените резултати в пълна степен се отнасят и за други обекти с пожаро- и взривоопасна среда като се отчитат изискванията на съответните нормативни документи.

Резултатите от литературния обзор са обобщени в следните основни изводи:

1. Асинхронният електродвигател в специално изпълнение поради някои свои предимства се е наложил като основен източник на механична енергия за задвижване на всички основни добивни, транспортни и



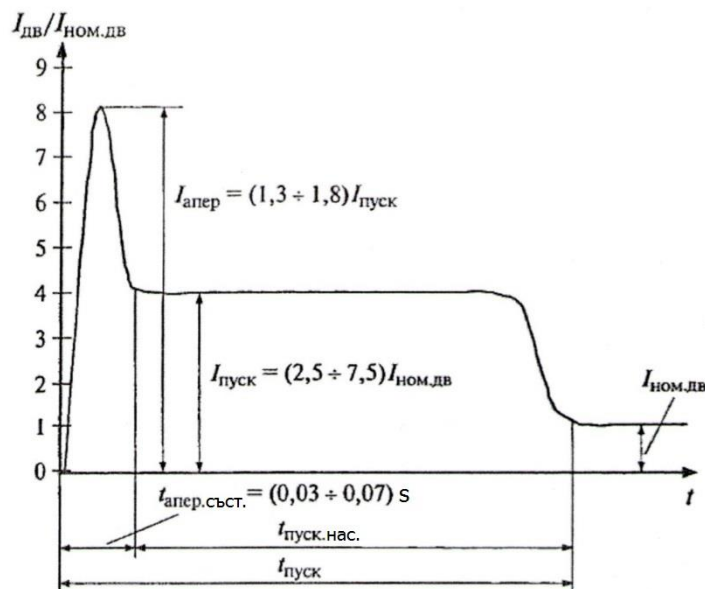
- проходчески машини в подземни въглищни рудници и в редица други обекти с пожаро- и взривоопасна производствена среда.
2. Голямата аварийност на използваните асинхронни електродвигатели в специално изпълнение са показател за нерешени въпроси, недостатъци и ограничени възможности на използваните устройства за защита от аварийни режими.
  3. Рудничните верижни транспортъори РВТ са основни машини, намерили широко приложение при подземния добив на въглища. При аварийната ситуация „заклинване на веригата“ основните защитни функции на РВТ са възложени на хидравличните турбомуфи. Резултатите от многогодишната експлоатация и проведените изследвания показват, че хидравличните турбомуфи не осигуряват ефективна защита на АД и РВТ при закливане.
  4. Изпълнен е анализ и оценка на съвременни микропроцесорни релейни защиты, в резултат на което са обобщени някои проблеми и задачи за изследване и решаване.
  5. Независимо от значителните постижения на съвременната теория и микроелектроника в разработването, производството и внедряването на микропроцесорни релейни защиты в областта на енергетиката и в редица промишлени обекти, устройствата за защита, управление, контрол и диагностика на асинхронни електродвигатели в специално изпълнение за специфичните условия на подземните въглищни рудници съществено изостават.
  6. Независимо от големите възможности на устройствата за защита, построени на основа теорията на симетричните съставящи и известни под наименованието филтрови защиты, същите намират все още ограничено приложение в пусково-защитната апаратура за подземните въглищни рудници.

Въз основа на резултатите от литературния обзор са определени целта и задачите на дисертационната работа.

## Глава 2. Изследване на избрани въпроси от теорията на асинхронните двигатели и на устройствата за защита от аварийни режими.

### 2.1. Влияние на пусковия ток на асинхронен двигател на характеристиките на устройствата за защита.

На фиг.2.3 графически е показано изменението на пусковия ток на асинхронен двигател.



фиг.2.3. Зависимост на пусковия ток на асинхронен двигател от времето.

Пусковият ток на асинхронните електродвигатели е съизмерим с ток на късо съединение и е няколко пъти по-голям от тока, консумиран от двигателя при номинален товар в установен режим на работа. Това свойство на АД определя едно специално изискване към устройствата за релейна защита, а именно: да не сработват от пусковия ток на двигателя.

Това свойство на АД оказва съществено влияние на характеристиките на използваните днес защитни устройства.

## 2.2. Функционална зависимост между асиметрията по ток и напрежение в електроразпределителните мрежи.

При зададени параметри на захранващата мрежа и консуматора, настройката на филтровите токови защиты се определят с израза

$$I_{\text{сраб}} = K_{\text{н}} \cdot \varepsilon_{\text{т}} \cdot I_{\text{ном}} \quad (2.7)$$

където:  $K_{\text{н}}$  - коефициент на надеждност ( $K_{\text{н}}=1,6\div 2,0$ );

$\varepsilon_{\text{т}}$  - коефициент на асиметрия по ток при нормален режим на захранващата мрежа;

$I_{\text{ном}}$  - номинален ток на консуматора (асинхронен двигател).

За определяне настройката на защитите за АД с използване на израза (2.7) е необходимо да се отчете естествената асиметрия на електрическата мрежа по ток, което се характеризира с коефициента за несиметрия по ток  $\varepsilon_{\text{т}}$ . В нормативните документи [БДС 10694-80; БДС EN 6100-4-7; БДС EN 50160-1994, Стандарт МЕК 100-2-4:1994] обаче са дадени допустими стойности (норми) за несиметрия на напрежението  $\varepsilon_{\text{U}}$ . Следователно, за определяне настройката на съответните защиты за АД с отчитане на допустимите стойности за несиметрия на напрежението, е необходимо да се определи функционалната възка между  $\varepsilon_{\text{т}}$  и  $\varepsilon_{\text{U}}$ .

На фиг.2.7а е представена схема за електрозахранване на асинхронен двигател за най-общия случай: наличие на асиметрия на приложеното към фазите на двигателя напрежение с едновременна несиметрия на съпротивленията на фазите на захранващата мрежа и симетрични фазни съпротивления на защитавания двигател.

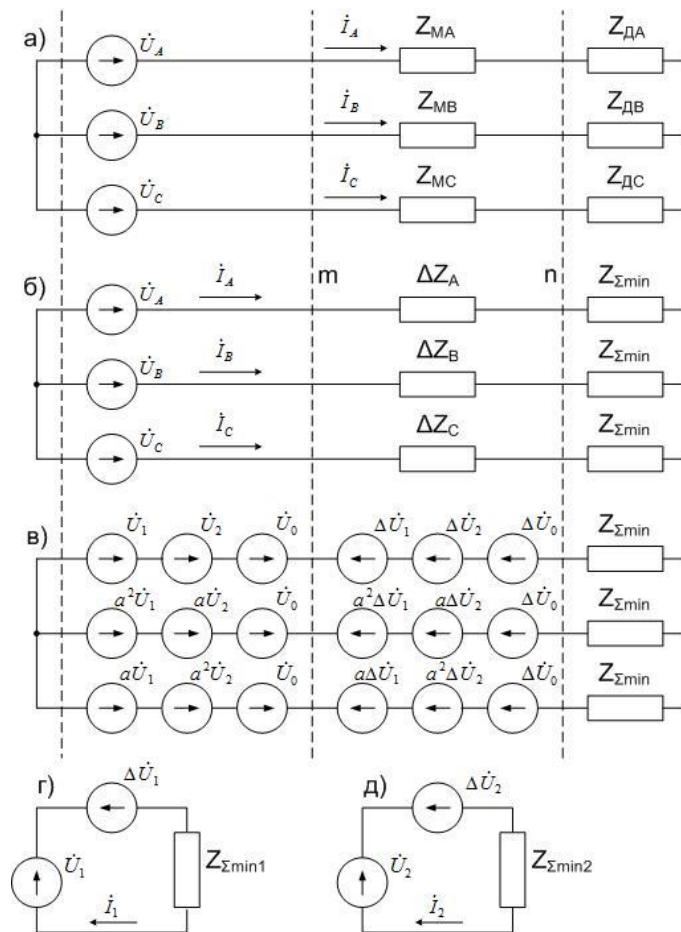
Отчитайки опита от експлоатацията, се приема, че асиметрията на съпротивленията на фазите се създава (обуславя) преди всичко от

асиметрията на фазните съпротивления на захранващия кабел и наличието на еднофазни потребители на електрическа енергия.

На фиг.2.7а са приети следните означения:

$\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C, \dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$  - комплексни стойности на фазовите напрежения и токовете на двигателя;

$Z_{MA}, Z_{MB}, Z_{MC}, Z_{DA}, Z_{DB}, Z_{DC}$  - комплексни стойности на съпротивленията на фазите на фазите на електрическата мрежа (М) и на двигателя (Д)



Фиг.2.7 Комплексна заместваща схема на електрическа мрежа и асинхронен двигател за определяне на функционалната зависимост между коефициента на несиметрия по ток  $\varepsilon_T$  по напрежение  $\varepsilon_H$ .

Сумирайки по фазно тези съпротивления и избирайки за базисна стойност най-малката стойност от тези суми, т.е.  $Z_{\Sigma \min}$ , се получава заместващата схема, показана на фиг.2.7б, на която са приети следните означения:

$\Delta \dot{Z}_A, \Delta \dot{Z}_B, \Delta \dot{Z}_C$  - комплексни стойности на несиметричната част на фазните съпротивления на мрежата, една от които (фазата с най-малко съпротивления) е равна на нула.

За коефициента на асиметрия на токовете се получава:

$$\varepsilon_T = \frac{|\dot{I}_2|}{|\dot{I}_1|} = \frac{|\dot{U}_2 \cdot (Z_{\Sigma \min 1} + \bar{Z}_0) - \dot{U}_1 \cdot \bar{Z}_1|}{|\dot{U}_1 \cdot (Z_{\Sigma \min 2} + \bar{Z}_0) - \dot{U}_2 \cdot \bar{Z}_2|} = \frac{|\dot{\varepsilon}_H \cdot (Z_{\Sigma \min 1} + \bar{Z}_0) - \bar{Z}_1|}{|(Z_{\Sigma \min 2} + \bar{Z}_0) - \dot{\varepsilon}_H \cdot \bar{Z}_2|}; \quad (2.14)$$

където:

$$\dot{\varepsilon}_H = \frac{\dot{U}_1}{U_2} = \frac{U_2}{U_1} \cdot e^{j\psi_U} - \text{комплексен коефициент на асиметрия на фазните напрежения};$$

$\psi_U$  - фазов ъгъл на коефициента  $\varepsilon_H$  на комплексната равнина.

Както следва от формула (2.14), връзката между  $\varepsilon_T$  и  $\varepsilon_H$  е нееднозначна и зависи от параметрите на мрежата и двигателя и от характера на асиметрията на техните фазни съпротивления.

### 2.3. Приложимост на филтрите защиты за защита на асинхронни двигатели в специално изпълнение.

Електрическите мрежи в подземните въглищни рудници се характеризират с някои специфични особености, между които са и следните:

- съизмеримост между мощностите на подземните електропотребители с мощността на силовите трансформатори, от които се захранват;

- голямата дължина на кабелни линии от електроразпределителната мрежа в подземния рудник предопределя токовете на късо съединение (т.к.с) да бъдат близки по стойност до пусковия ток на двигателите.

Тези специфични особености в редица случаи правят трудно, а понякога и невъзможно да се осигури необходимата чувствителност на използваните устройства за защита на асинхронни двигатели (АД) в специално изпълнение.

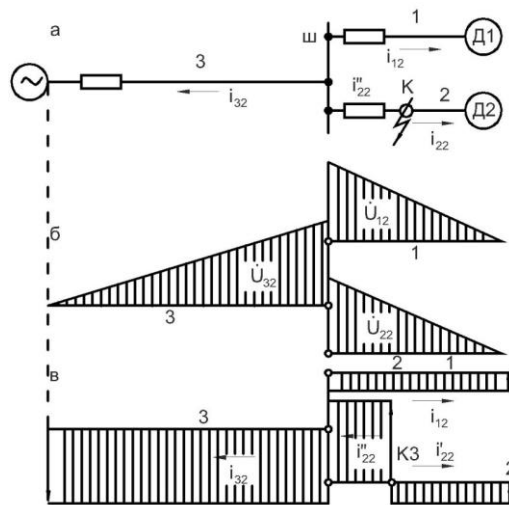
Редица изследвания показват, че при тези условия съществено предимство притежават защитите, използващи филтри на симетричните съставящи, които реагират не само на количествени, но и на качествени изменения на електрическите параметри на защитаваната електрическа уредба.

Всяка несиметрична повреда в трифазна електрическа мрежа с изолирана неутрала е съпроводена с възникването както на токове, така и на напрежения с обратна последователност.

За да се даде обоснован отговор на въпроса, какви филтри (за ток или напрежение) да се използват в устройствата за защита на асинхронни двигатели (АД) в специално изпълнение се разглежда и анализира потенциалната диаграма за разпределение на напреженията и токовете с обратна последователност по дължината на електрическата мрежа при възникването на несиметрични къси съединения (н.к.с).

За целта се разглежда една примерна схема, представена на фиг.2.8а за хранване на двигателите Д1 и Д2 чрез електропроводна линия 3 от источник с безкрайно голяма мощност. Ако с 1,2 и 3 се означат клоновете на двигателите Д1 и Д2 и хранващата линия, то при дуфазно късо съединение напреженията с обратна последователност  $\dot{U}_{12}$ ,  $\dot{U}_{22}$ ,  $\dot{U}_{32}$  се разпределят така, както е показано на фиг.2.8б: те са максимални в точката

на к.с. и постепенно намаляват, ставайки равни на нула в точката на консуматора.



фиг.2.8 Еднолинейна схема на електрическа мрежа (а) и диаграмите на разпределение на напреженията (б) и на токовете (в) с обратна последователност при двуфазно к.с.

На основание изложеното, следва че за защита на руднично електрообзавеждане от т.к.с. трябва да се използват преди всичко максималнотокови филтрови защиты.

## 2.6. Изводи към Глава 2:

1. Показано е влиянието на пусковия ток на АД на характеристиките на устройствата за защита.
2. За определяне настройката на съответните защиты на АД с отчитане на допустимите стойности за несиметрия на напрежението, е определена функционалната връзка между коефициента за несиметрия по ток  $\varepsilon_T$  и коефициента за несиметрия по напрежение  $\varepsilon_H$ .
3. Доказва се, че за защита на рудничното електрообзавеждане от токове на къси съединения трябва да се използват преди всичко максималнотокови филтрови защиты.

4. Изпълнен е анализ на съвременни системи за температурна защита на асинхронни двигатели с късо съединен ротор.
5. Теоретично е обоснован метод за измерване температурата на ротора на АД по изменение на хлъзгането на ротора.

### **Глава 3. Синтез на защита с изпреварващо действие за защита на асинхронни двигатели, задвижващи руднични верижни транспортъори.**

#### **3.1. Обосноваване и избиране на информационен параметър за контрол динамичното претоварване на конструктивните параметри на рудничния верижен транспортъор.**

Рудничните верижни транспортъори (РВТ) са от най-широко използваните минни машини в технологичната верига за подземен добив на въглища и в подземното минно строителство. За тяхното задвижване се използват основно асинхронни двигатели с късо съединен ротор (АД с к.с.р.) в специално изпълнение.

Поради специфичните условия на работа една от най-често възникващите аварии при експлоатацията на РВТ е в резултат на заклиняване на теглителната верига (ТВ) на РВТ. Последниците от този аварийен режим водят най-често до скъсване на ТВ на РВТ или до недопустимо нагряване на АД и ускорено износване на изолацията му.

Ефективна защита от този аварийен режим при РВТ е възможно да се търси в решение, свързано с бързото изключване на АД от захранването електрическа мрежа и реализирането на режим за бързо спиране движението на ротора на АД.

За недопускане скъсване на ТВ при нейното заклиняване и недопустимо повишаване температурата на АД е необходимо тази защита да удовлетворява следните основни изисквания:



- Селективно да регистрира възникването на динамично претоварване на ТВ и АД на РВТ;
- Времето за изключване на АД от мрежата и спиране движението на ротора да бъде по-малко от времето за нарастване на усилието в ТВ до стойност, при която веригата се разкъсва.

В идеалния случай системата за релейна защита трябва да осигурява мигновено изключване и отделяне на повредените елементи от изправната част на електроенергийната система. За откриване на възникнала повреда е необходимо определено време. За изпълнение на комутационните процеси е необходимо също определено време. Бързодействието на съвременните защиты е достигнало методически възможния предел, обусловен и определен от честотата на захранващия източник в електроенергийната система.

При тези условия свойствата на защита е възможно да се приближат към свойствата на идеалната защита, ако е възможно потенциалните повреди да се откриват на по-ранен стадий от тяхното развитие. Този подход за реализиране на защиты се определя като защиты с изпреварващо действие.

Най-елементарната структурна схема на едно устройство за защита с изпреварващо действие включва следните основни елементи:

- Измервателен орган (датчик);
- Преобразувател на информация;
- Изпълнително устройство.

В този вид се анализират и елементите на бързодействащо устройство за защита от динамично претоварване на РВТ и АД.

Известно е, че понижаването скоростта на ротора на АД е съпроводено с повишаване стойността на статорния ток на двигателя по следната зависимост

$$I_1 = I_0 + \left( \frac{1}{K_i} \cdot \frac{E_2 \cdot S}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \right) \quad (3.1)$$

където  $I_0$  - ток на празен ход на АД;

$E_2$  - номинална е.д.с. на ротора;

$S$  - хлъзгане на ротора;

$R_2, X_2$  - активно и индуктивно съпротивление на ротора на АД;

$K_i$  - коефициент на привеждане на токовете на АД.

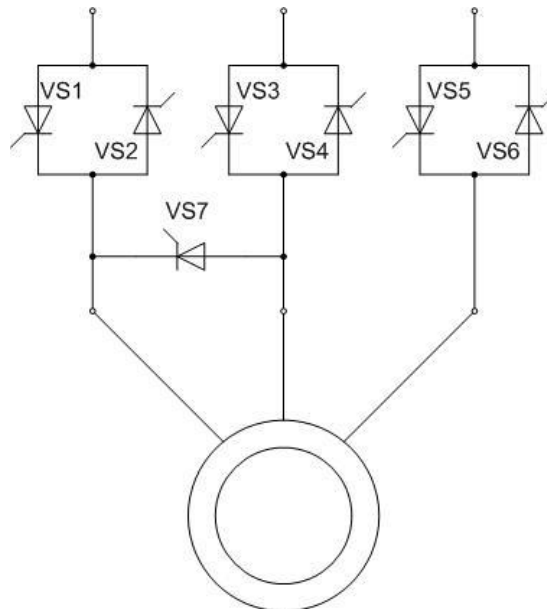
Следователно, един от параметрите който е възможно да се измерва, при заклиняване на ТВ на верижния транспортър, това е интензивността (скоростта) на нарастване на тока  $di/dt$ , консумиран от електродвигателя.

За получаване на информация за възникването на динамично претоварване на теглителния орган на РВТ е достатъчно да се разполага с токов трансформатор, включен в една от фазите, захранващи статорната намотка на АД и разположени в блока за управление на електрозадвижването и на прагово (релейно) устройство.

### **3.3. Изследване на възможностите на тиристорното електрозадвижване на руднични верижни транспортъри за реализиране на защита с изпреварващо действие.**

Един от ефективните методи за спиране на асинхронните електродвигатели, използвани най-често за задвижване на руднични верижни транспортъри, се явява техния режим на индукционно-динамическо спиране (ИДС). В сравнение с кондензаторното или динамическото спиране, режима на ИДС се отличава с възможността за създаването на по-голяма стойност на първоначалния спиращ момент и сравнително по-простата схемна реализация. Процесът на ИДС се осъществява сравнително просто,

ако АД се включи към захранващата мрежа чрез силов тиристорен комутатор (СТК), както е показано на фиг.3.2.



фиг.3.2 Схема на силов тиристорен ключ за управление на АД с к.с.р.

За реализиране режим на ИДС на АД е необходимо:

- да се изключи трифазното захранващо напрежение от статорната намотка на АД;
- две от фазите от статорната намотка на АД да се включат към източника на постоянно напрежение динамично спиране;
- да се използва е.д.с., генерирана от АД при движението му по инерция от момента на изключване на трифазното захранващо напрежение до момента на спиране движението на ротора – индукционно спиране.

Защита, основана на измерването на скоростта на нарастване на тока, трябва да отдели сигнала, свързан с блокирането на теглителната верига на фона на сигнала при късо съединение и при статично претоварване на

задвигването. Всички тези аварийни режими се характеризират с нарастването на тока, консумиран от АД.

По такъв начин, при разработването на устройства за защита е необходимо да се зададе диапазон на изменение на производната на тока по времето, съответстващи на к.с.  $\Delta DI_K$ , застопоряване на ВТ  $\Delta DI_C$  и за статично претоварване на задвигването на ВТ  $\Delta DI_n$  (тук с индекс D се означава диференцирането на тока по време). Съотношението между тези диапазони трябва да удовлетворяват изразите:

$$\text{за } DI_K : \infty > DI \geq DI_1;$$

$$\text{за } DI_C : DI_1 > DI \geq DI_2;$$

$$\text{за } DI_n : DI_2 > DI \geq DI_3; \tag{3.20}$$

$$\text{при } DI_1 > DI_2 > DI_3.$$

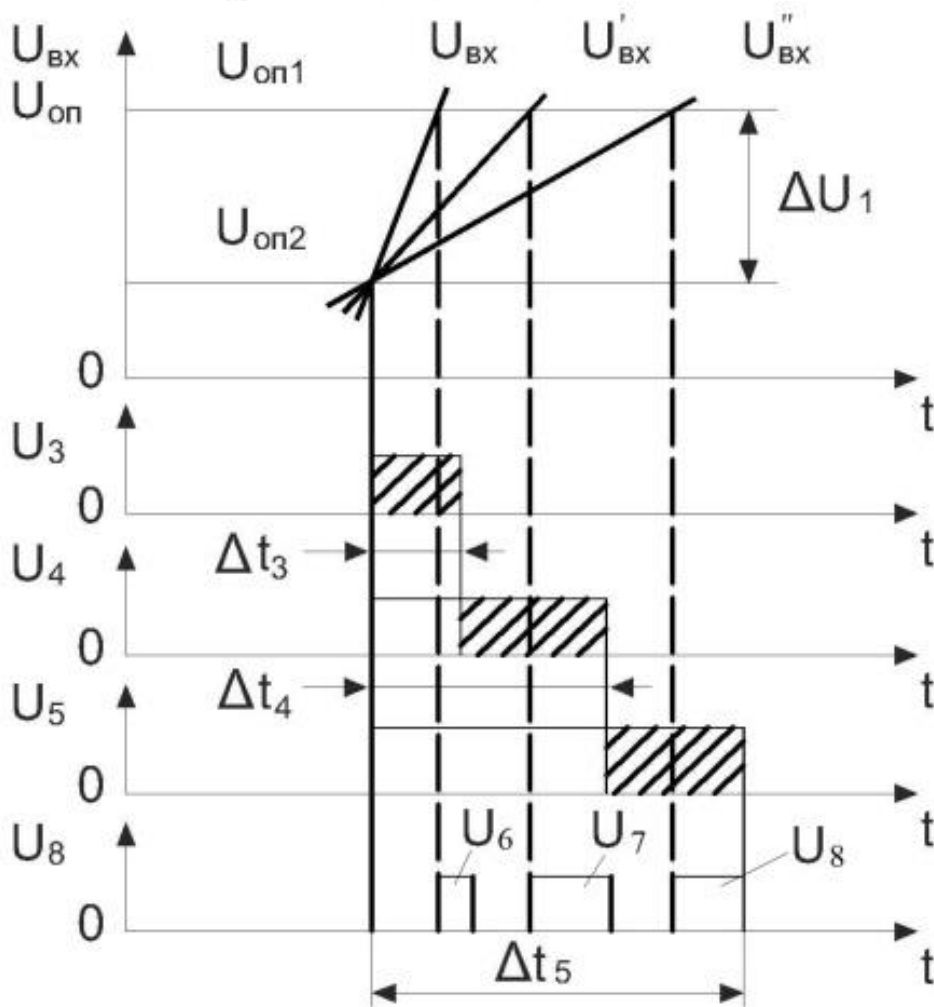
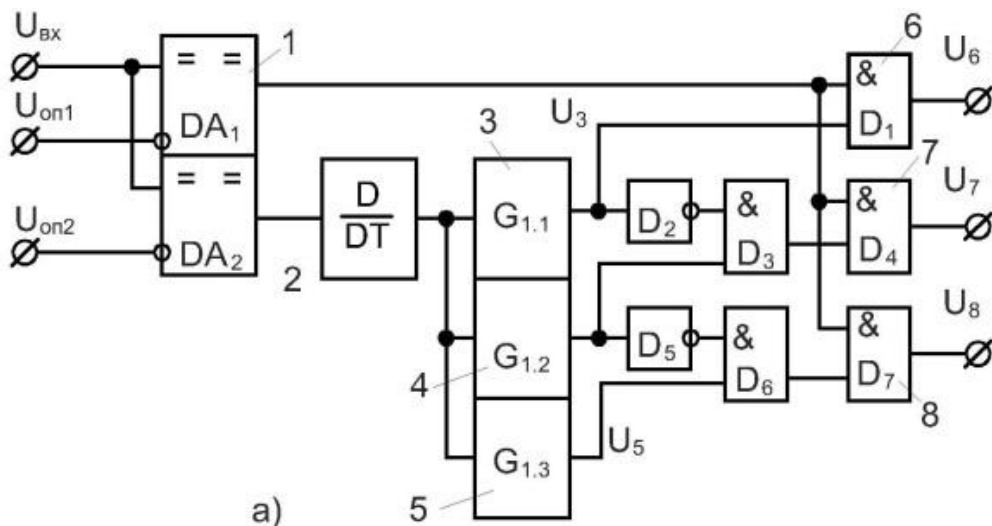
където  $DI_1$ ,  $DI_2$ ,  $DI_3$  - минимални стойности на интензивността на нарастване на тока, съответстващи на к.с., застопоряване на ТВ и за статичното претоварване на задвигването съответно.

Устройството реализиращо този принцип (фиг.3.5а) съдържа два компаратора  $DA_1$ ,  $DA_2$  с прагове на сработване  $U_{on1}$  и  $U_{on2}$  ( $U_{on1} > U_{on2}$ ). Превишаването на входните сигнали, пропорционални на тока на защитаваната мрежа над прага  $U_{on2}$ , води до включването на чакащите мултивибратори G1.1 – G1.3, като продължителността на изходните импулси ( $U_3-U_5$ ) се намират в съотношение:  $\Delta t_3 < \Delta t_4 < \Delta t_5$ . Тъй като прага на сработване на първия компаратор е по-висок в сравнение с втория, то тяхната разлика ( $\Delta U_1 = U_{on1} - U_{on2}$ ) е възможно еднозначно да определя зададената стойност на нарастване входното напрежение  $\Delta U_I$  или пропорционално на контролирания от него ток. Ето защо величините

$U_{On1}$ ,  $U_{On2}$ ,  $\Delta t_3$ ,  $\Delta t_4$ ,  $\Delta t_5$  в съвкупност характеризират задените гранични стойности на производната на тока по времето на АД:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta U_{on1} - \Delta U_{on2}}{\Delta t_3} &= \frac{\Delta U_1}{\Delta t_3} \equiv DI_1 \\ \frac{\Delta U_{on1} - \Delta U_{on2}}{\Delta t_4} &= \frac{\Delta U_1}{\Delta t_4} \equiv DI_2 \\ \frac{\Delta U_{on1} - \Delta U_{on2}}{\Delta t_5} &= \frac{\Delta U_1}{\Delta t_5} \equiv DI_3 \end{aligned} \quad (3.21)$$

По такъв начин, повишаването на входното напрежение от ниво  $U_{on2}$  до  $U_{on1}$  за време, по-малко от  $\Delta t_3$ , свидетелства за к.с. в контролираната електрическа верига. На това състояние съответства логическата единица  $U_6$  (фиг.3.5б), която се формира на изхода на елемента И (DI).



фиг.3.5 Схема (а) и диаграма на работа (б) на устройство за регистриране на аварийни режими при експлоатацията на верижени транспортъори.

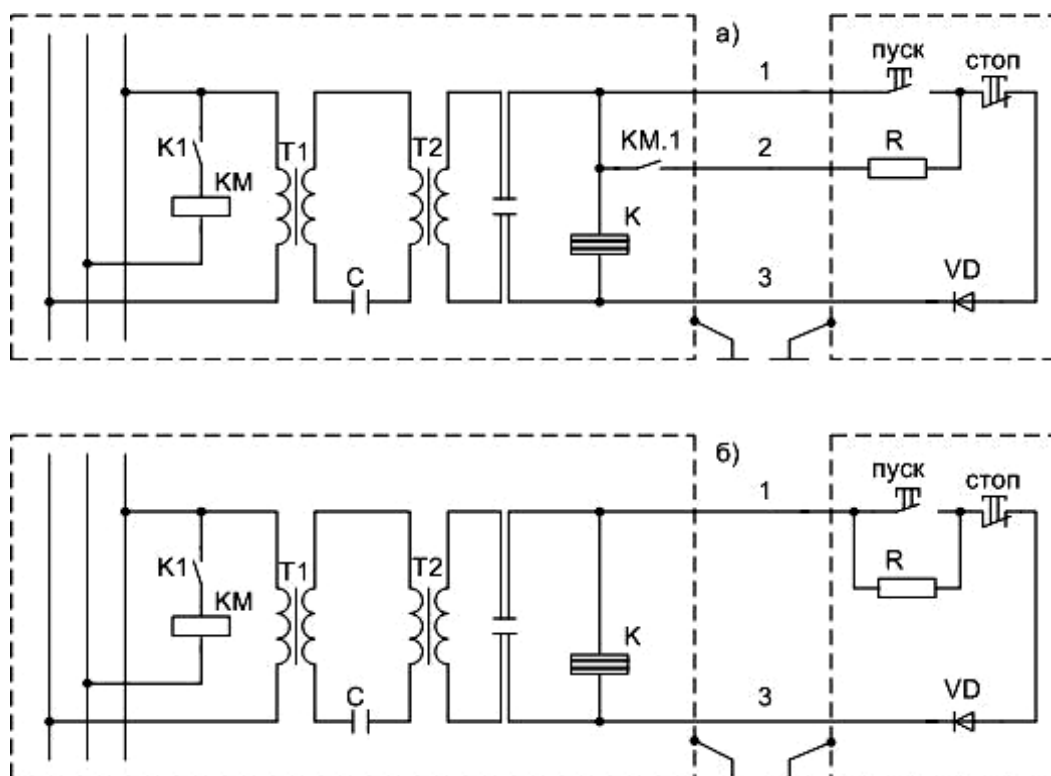
### **3.5. Изводи към Глава 3**

1. Показано е, че за АД, задвижващи руднични верижни транспортъори има три специфични аварийни режима, които са съпроводени с нарастване на статорния ток на двигателя, а именно:
  - режим на късо съединение;
  - режим на технологично (статично) претоварване;
  - режим на динамично претоварване в резултат на блокиране (заклинване) на ТВ на РВТ
2. Предложен е метод за откриване на процеса за заклиняване на работния орган (теглителната верига) на рудничен верижен транспортъор. Този метод се състои в сравняване на фактическото време за повишаване стойността на тока на АД (от една фиксирана стойност до друга) с една зададена стойност на време, която напълно се съгласува с изискванията за недопускане разкъсване на теглителната верига при заклиняване.
3. Предложена е схема на устройство за селективно определяне възникването на аварийен режим в РВТ в резултат на заклиняване на ТВ на транспортъора.
4. Обоснована е необходимостта от разработването на защити с изпреварващо действие, която отчита специфичните особености на обекта, задвижван от АД.

### **Глава 4. Изследване на устройство за защита от загуба на управляемост при дистанционно управление на подвижни машини.**

#### **4.2. Схеми за защита от загуба на управляемост при дистанционно управление.**

На фиг.4.2 са представени практически използваните схеми за дистанционно управление на подвижни машини със защита от загуба на управляемост.



фиг.4.2. Трипроводна (а) и двупроводна (б) схема за дистанционно управление на подвижни машини

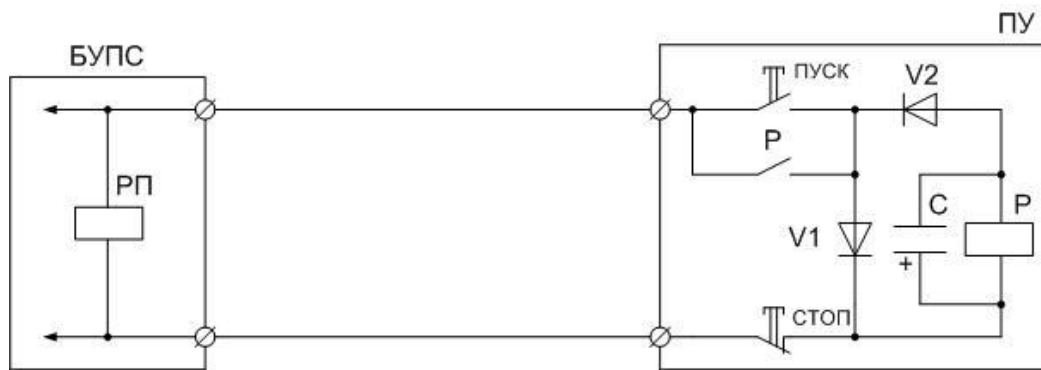
Дистанционното управление е възможно да се осъществява по трипроводна (фиг.4.2а) или по двупроводна (фиг.4.2б) схема.

Съществен недостатък на двупроводната схема, е свързано с възможността за самовключване (самопускане) на комутационния апарат (рудничния магнитен пускател) при повишаване на напрежението в мрежата или от въздействието на външни електромагнитни полета.

#### 4.4. Едно решение на защита с повишена устойчивост на смущенията при дистанционно управление.

На фиг.4.8 е представена схема на защита от самопроизволно включване с повишена устойчивост на смущения.





фиг.4.8 Двупроводна линия за дистанционно управление с повишена устойчивост на смущения.

За разлика от фиг.4.2 в схемата на фиг.4.8 в пулта за дистанционно управление ПУ вместо класическото решение с използването на резистор с  $R = 47\Omega$  е монтирано миниатюрното реле Р, кондензатор  $C = 20\mu F$ , 50V и диодите V1 и V2.

При изключено състояние веригата за дистанционно управление е напълно прекъсната (бутон „пуск“ и н.о.к. Р са отворени), което изключва самопроизволното включване на междинното реле РП на КА в резултат на въздействието на външни магнитни полета и импулсно повишаване на напрежението във веригата. При натискане на бутон „пуск“ сработва релето Р, което със своя н.о.к. Р шунтира бутон „пуск“ и осигурява включване на междинното реле РП на КА и устойчива работа на схемата.

За доказване на работоспособността на схема на защита с повишена устойчивост на смущения при дистанционно управление, е изпълнен анализ на класическата схема на свързване на устройство тип БДУ (фиг.4.2) и на схемата от фиг.4.8

За изследване режима на работа на устройство за дистанционно управление тип БДУ при класическа схема на свързване се използва заместващата схема, показана на фиг.4.9.



## **Глава 5. Изследване на защитни устройствата за асинхронни двигатели в специално изпълнение.**

### **5.1. Лабораторно изследване на защитни устройства за асинхронни двигатели в специално изпълнение.**

#### **5.1.1. Унифицирана максимално токова защита тип УМЗ**

В табл. 5.0 са представени резултати от лабораторното измерване на времето на задействане на максималнотокова защита тип УМЗ. Времето на задействане се явява усреднена стойност на 5 броя измервания за всяка степен (обхват) на настройката на защитното устройство.

#### **5.1.6. Анализ на резултатите от лабораторното изследване на защитни устройствата на асинхронни двигатели в специално изпълнение.**

##### **5.1.6.1. Проверка за наличието на груба грешка при малък брой измервания.**

За проверката на метрологичните характеристики на устройствата за защита на асинхронни двигатели са изпълнени по 5 броя измервания за всеки обхват.

При изпълнение на измерванията и определяне на средната стойност на времето за сработване на защитните устройства тип УМЗ и ПМЗ се установи, че има измерени стойности, които имат значително отклонение от средната стойност. Тези резултати поставят задачата: да се изпълни проверка за наличието на груба грешка при малък брой измервания.

Таблица 5.0

## УМЗ – ТТЗ – 125А

Реле - Долно											
Степен за настройка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ток на задејств., А	253	312	360	407	460	515	560	615	667	713	773
Напрежение на задејств., V	18	24	27	31	36	40,5	45	49	54	58	63

Обхват №	Ток на задејств., А	253	312	360	407	460	515	560	615	667	713	773	968	1083	1138	1293	1638
	Напрежение на задејств., V	18	24	27	31	36	40,5	45	49	54	58	63	80	90	100	120	150
1	средна стойност на времето, mS	138,4	72,8	64,22	52,4	45,18	42,02	38,24	35,64	34,14	33,08	32,58	27,68	24,84	23,5		
2			173,72	121,56	101,38	87,18	71,72	54,24	41,48	40,22	37,52	36,22	30,5	27,24	25,38		
3				179,42	143	129,18	102,72	72,28	46,08	44,28	40,5	36,74	32,52	27,7	26,04		
4					194	171,18	133,72	90,74	49,6	48,06	43,28	38,46	34,32	28,42	26,7		
5						255,4	173,4	100,76	55,1	49,82	46	42,68	36	32,96	28,44	27,44	
6							122,3	110,2	98,1	86	73,9	55,12	43,5	37,48	30,46	28,3	
7								123,32	107,74	94,96	81,08	67,18	51,48	41,56	31,8	28,76	
8									119,58	105,18	90,78	76,38	59,42	45,64	32,3	29,3	
9										117,4	101,22	86,72	66,72	48,54	32,8	29,72	
10											115,32	95,42	73,7	52,5	33,52	30,3	
11												107	76,32	56,74	36,26	31,86	28,44

Пример: при измерване на времето за сработване на защитно устройство тип УМЗ, получените стойности са представени в таблица 5.1.

От таблица 5.1 се вижда, че отклонението на измерената стойност  $t_2$  е най-голяма спрямо  $t_{cp}$ .

Таблица 5.1

№ на измерване	Измерена стойност на времето за сработване $t_i$ , [s]	Средна стойност на времето за сработване $t_{cp}$ [s]	Определяне на грешките	
			$t_i - t_{cp}$	$(t_i - t_{cp})^2$
1	135	138,4	-3,4	11,56
2	157		18,6	345,96
3	131		-7,4	54,76
4	131		-7,4	54,76
5	138		-0,4	0,16

За проверка наличието на груби грешки при малък брой наблюдения ( $n < 20$ ) се използва критерия на Романски.[16, 59]

За тази цел се изчислява отношението

$$\left| \frac{t_i - t_{cp}}{\bar{\sigma}} \right| = \beta$$

където:  $t_i$  – измерена стойност;  $t_{cp}$  - средна стойност

Получената стойност  $\beta$  се сравнява с табличната стойност  $\beta_T$ , зависеща от зададеното ниво на значимост  $q$  и броят на наблюденията  $n$ .

Приближената стойност на  $\bar{\sigma}$  в този случай се определя по формулата

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (t_i - t_{cp})^2}{n - 1}}$$

Поставя се задачата: да се провери резултата с най-голямо отклонение от средната стойност ( $t_2 - t_{cp} = 18,6$  s) при измерване на времето за сработването на УМЗ явява ли се груба грешка.

Решаването на поставената задача се извършва в следната последователност:

1. Определяне на  $\bar{\sigma}$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{467,2}{5-1}} = \sqrt{116,8} = 10,8$$

2. За определяне стойността на  $\beta$  се използва израза

$$\beta = \left| \frac{t_i - t_{cp}}{\bar{\sigma}} \right| = \frac{18,6}{10,8} = 1,72$$

3. Определяне на  $\beta_t$  при  $n = 5$ , зададена вероятност  $p=0,95$  и ниво на значимост  $q = 1 - p = 1 - 0,95 = 0,05$ .

От таблица 6.4 в [59] се отчита  $\beta_t = 1,87$ .

От полученото отношение

$$\beta = 1,72 < \beta_t = 1,87$$

следва извода, че този резултат (измерване) не се явява груба грешка и не трябва да се изключва.

## **5.2. Лабораторно изследване и определяне на причините за отказ на защитни устройства за защита на асинхронни двигатели в специално изпълнение.**

### **5.2.1. Устройство тип БДУ.**

Проведеното лабораторно изследване за определяне на причините за отказ на устройствата тип БДУ и получените резултати позволяват да се обобщи, че най-ненадеждни се явяват следните елементи на този тип устройства:

- Електролитен кондензатор С9 тип К50-6(500 $\mu$ F, 16V). Най-често излиза от строя в резултат на вътрешно прекъсване на един от електродите в резултат на вибрационно натоварване. Такова скрито прекъсване не позволява бързо откриване на възникналата неизправност във възела на логическата схема;

- Контактите К1.2 и К2.2 на херконовите релета К1.2 и К2.1 при включване на капацитивни вериги често залепват. Това води до блокиране на релето К4.1 и изключване на изпълнителното реле К5.1.
- Ненадеждни са транзисторите VT1 и VT2 тип КТ -315Е и КТ – 203БМ.

### **5.2.2. Токова защита от претоварване тип ТЗП.**

В резултат на проведеното лабораторно изследване на 15 броя дефектирали устройства тип ТЗП за определяне на дефектните елементи са получени следните резултати:

Най-често дефектират:

- Четирите електролитни кондензатора с капацитет 20 $\mu$ F, 10 $\mu$ F, и 2 x 10 $\mu$ F;
- Тиристор КТ 117А;
- Транзисторите VT1 и VT2.

### **5.2.3 Максимално токова защита ПМЗ**

В резултат на изпълнено лабораторно изследване на 17 броя дефектирали устройства тип ПМЗ за определяне на дефектните елементи са получени следните обобщени резултати:

Най-често дефектират: изходното релето К1.1; тиристорите VS1 и VS2; ценер VD11 и потенциометрите R5 и R6.

### **5.3. Резултати от експлоатацията на устройства тип БДУ и БКИ.**

В таблица 5.3 са представени резултати за аварийността на защитни устройства тип БДУ и тип БКИ за срок от три години, работили при условията на подземен рудник „Бабино”

Таблица 5.3

Количество на отказалите защитни устройства тип БДУ и тип БКИ за срок от три години и заменени с нови

Тип на устройството	Разпределение по години на количеството отказали устройства			
	2010	2011	2012	Общо
БДУ, [бр.]	15	20	12	50
БКИ, [бр.]	13	15	13	41
Общ брой на устройствата тип БДУ и БКИ в работа, [бр.]	158	158	158	158

#### **5.4. Предложения за повишаване качеството на защитни устройства тип БДУ и тип БКИ**

##### **5.4.1. Устройство за дистанционно управление тип БДУ**

При анализ на отказите е установено, че при захранване на схемата на устройството при трансформаторен вариант се наблюдава пробив на прехода „емитер-колелтор” на VT1 и VT2. Това е в резултат на въздействието на импулсните пренапрежения с различен произход, които възникват в рудничната електроснабдителна система. В случаите, когато се използва ферорезонансен стабилизатор на напрежение за захранване на схемата на устройството за управление, дефектиране на посочените транзистори възниква много рядко.

##### **5.4.2. Устройство за контрол на изолацията тип БКИ.**

За повишаване на качеството и надеждността на работа на устройствата за контрол на изолацията тип БКИ е предложена промяна в схемата на свързване на елементите на устройството. Практическата реализация на тази схема доказва нейната работоспособност.



## **5.5 Изводи към Глава 5**

1. За проверка качеството на използвани защитни устройства за АД в специално изпълнение е изпълнено лабораторно измерване на някои основни параметри. Получената информация е показател за ниско качество на използваните защитни устройства.
2. В резултат на лабораторно изследване са определени най-ненадеждните елементи на защитни устройства тип УМЗ, ПМЗ, БДУ и БКИ.
3. Получена е статистическа информация за надежността на защитните устройства тип БДУ и БКИ.
4. За повишаване качеството и надежността на защитни устройства тип БДУ и БКИ в експлоатация са обосновани и предложени схемни изменения.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В дисертацията е изпълнено теоретично и лабораторно изследване на защитни устройства за асинхронни двигатели в специално изпълнение.

Обобщени са и статистически данни за надежността за някои от защитните устройства.

Резултатите, получени в дисертацията се обобщават в следните научни и научноприложни приноси:

1. Теоретично е обоснован и предложен нов метод за комплексна защита на руднични верижни транспортъри от скъсване на веригата при заклиняване и на задвижващия го асинхронен двигател от претоварване чрез реализиране на режим за индукционно-динамическо спиране на асинхронния двигател, задвижващ транспортъра.

2. За отчитане влиянието на качеството на електрическата енергия при определяне настройката на филтрови токови защиты, с използване на

метода на симетричните съставящи е получен аналитичен израз, определящ функционалната връзка между коефициента за асиметрия по ток, коефициента за асиметрия по напрежение и с отчитане на параметрите на електрическата мрежа и товара.

3. Теоретически е обоснован и предложен метод за измерване температурата на ротора на асинхронен двигател по изменение на хлъзгането на ротора.

4. Направени са обосновани предложения за повишаване качеството на използваните устройства за защита тип БКИ и БДУ.

5. Получена е статистическа информация за надежността на устройства за защита на асинхронни двигатели в специално изпълнение, намиращи се в експлоатация.

6. Обоснована е приложимостта на нова схема с повишена устойчивост на смущения при дистанционно управление на подвижни машини с електрозадвижване.

7. На основа получените резултати от лабораторно изследване на устройства за защита в експлоатация са определени най-ненадеждните им елементи и е показана възможност за повишаване на тяхната надежност и ефективност.

## СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ КЪМ ДИСЕРТАЦИЯТА

1. **Кърцелин Е., Господинов Д., Исталиянов Р. и др.**- Принципи за защита на електродвигатели и технически средства за тяхната реализация. - Год. на МГУ “Св.Иван Рилски”, том 53, св. III, 2010
2. **Кърцелин Е., Исталиянов Р., Младенова Й., Господинов Д.** - Предимства и недостатъци на микропроцесорните защити на обекти в електроенергетиката. - Международна научна конф. УНИТЕХ 10, Техн. университет – Габрово, 2010.
3. **Господинов Д.** - Измерване температурата на ротора на асинхронен двигател по изменението на хлъзгането на ротора. - Год. на МГУ “Св.Иван Рилски”, том 55, св. III, 2012
4. **Кърцелин Е., Младенова Й., Господинов Д. и др.** - Определяне на взаимната индуктивност между жилата на много жилните кабели. – Международна научна конф. УНИТЕХ,12, Техн. университет – Габрово, 2012.
5. **Кърцелин Е., Господинов Д. и др.** - Състояние и тенденции в развитието на комутационни апарати в руднично взривозащитено изпълнение за работа в подземни въглищни рудници. - Международна научна конф. УНИТЕХ 13, Техн. университет – Габрово, 2013.
6. **Petrov P.K., Kartzelin E., Gospodinov D. and others** - Some new solutions for increasing the safety of use of electricity an underground coal mines. - Annuals of the “Constantin Brancusi” University of Targu Jiu, Engineering series, № 3/2013.
7. **Kartselin E., Ivanov K., Gospodinov D. and others** - Results regarding the operation of devices for remote control of induction motors in special design. - Annuals of the “Constantin Brancusi” University of Targu Jiu, Engineering series, 2014.
8. **Ivanov K., Kartselin E., Gospodinov D. and others** - Selective fast protection of special designe induction motors. - Annuals of the “Constantin Brancusi” University of Targu Jiu, Engineering series, 2014.
9. **Иванов К., Господинов Д., Минеков Н., Кърцелин Е.** - Приложимост на филтрите защити в схемите за защита на асинхронни двигатели в специално изпълнение. - Международна научна конф. УНИТЕХ 14, Техн. университет – Габрово, 2014.