

Проф. д.т.н. Светослав Йорданов, гл.ас. Иван Костов

ЗАЩИТИ В ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯТА

ПЕЧАТНА БАЗА НА ТЕХНИЧЕСКИ
УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ
1997

УДК 621 . 8(075.8)

В учебника “Защити в електрозадвигванията” се разглеждат проблемите, свързани със защитата на електрозадвигванията, машините, околната среда, персонала и продукцията от различни опасни явления и ситуации. Разглеждат се и някои разпространени технически решения на различните видове защиты.

Учебникът е предназначен за студентите от специалността “Автоматизация на производството”, но може да бъде полезен и на студенти от други специалности, както и на инженери и специалисти, работещи в областта на електрозадвигването и автоматизацията.

УВОД

Индустрията, транспорта, селското стопанство, бита и т.н. са наситени със системи за електрозадвижване, които са източник на голямо, бързо растящо множество от опасни явления и ситуации. Задачата за предпазване на персонала, машините, околната среда и продукцията, както и на самите електрозадвижвания, от тези опасни явления и ситуации е особено значима в икономически, производствен, социален и екологичен аспект. Тази задача се характеризира с голямо многообразие и особености, обусловени от разликите в задвижваните машини, технологиите на работа и условия на експлоатация. Решението на тази задача се търси в три основни направления:

1. Обучение на персонала за безопасна работа и строго следене за съблюдаването на съответните правилници и инструкции.

2. Използване на безопасни технологии и конструкции и

3. Разработване, непрекъснато усъвършенстване и все по-широко използване на автоматично действащи защити.

Последното от тези направления е обект на изучаване в курса "Защити в електрозадвижванията". Поради голямото многообразие и специфични особености на различните видове защити в електрозадвижванията, целесъобразно е изучаването им на основата на систематизиране на защитите според характера на опасното въздействие и проблемно изложение на материала. Настоящият учебник е един първи опит в тази насока. За да се избегнат повторения не се разглеждат защитите на електронните преобразуватели в електрозадвижванията, които студентите изучават подробно в специален курс. Глави 1, 2, 3, 4 и 5 са написани от С.Йорданов, а глава 6 - от И.Костов.

Като всеки първи опит, този учебник вероятно съдържа редица пропуски и неточности. Авторите ще посрещнат с благодарност всички критични забележки и препоръки, целящи подобряване на учебника.

10.02.1997г.

Авторите

1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ЗАЩИТИТЕ В ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯТА

1.1. Определения

Опасни явления и ситуации

В процеса на експлоатация на системите за електрозадвижване и автоматизация на производствените механизми могат да възникнат различни по естество и произход явления и ситуации, представляващи опасност за намиращи се в близост хора, за околната среда, за механизма и системата му за задвижване и автоматизация и за обработвания продукт. Опасните явления и ситуации са голямо, непрекъснато растящо множество. Те могат да възникнат:

а/ В околната среда, например поява на силен вятър, поява на препятствие пред работния орган, повишаване на температурата, наводняване, и т.н.

б/ В захранващото напрежение, което може да стане недопустимо ниско или високо, несиметрично, включително до прекъсване на фаза, с обратен фазов ред, с недопустимо висок състав на висши хармонични и т. н.

в/ В двигателите, например овлажняване, прегряване, намаляване на потока при прекъсване на възбудителната верига на двигатели с независимо възбуждане, задиране на ротора в статора и др.

г/ В системата за управление, например прекъсване на потока охлаждащ въздух на мощни полупроводникови преобразуватели, спиране на помпата за централно смазване на тежко натоварени лагери и др.

д/ В механичната част на машината, например недопустимо натоварване на подежни механизми, недопустимо голям преобръщащ момент, приложен към стреловите механизми на багери строителни кула-кранове, автокранове и др.

е/ В резултат на действия на управляващия персонал, например подаване на грешна команда, поемане на управлението от необучено или неспособно лице и т. н.

Опасните явления и ситуации могат да доведат до тежки нежелани последици в социален, производствен, екологичен и финансов аспект:

- наранявания или смърт на хора.
- повреди, включително до пълна негодност на задвижването, производствения механизъм или продукцията;
- увреждане на околната среда;

- прекъсване на технологичния процес и
- значителни загуби и пропуснати ползи за производството.

Защитни функции

Появата на опасни явления и ситуации не може да се предотврати, но е възможно:

а/ Да се намали честотата на повторението им.

б/ Да се ограничат до минимум отрицателните последици от тях чрез подходящо управление на системата възможно по-скоро след появяването им, или което е много по-добро - след прогнозиране на появяването им.

Много важно е алгоритмите на управление на системата при аварийни условия да се изпълняват автоматично, включително и при системи с ръчно управление, предвид на:

- голямото разнообразие на опасни явления и ситуации;
- необходимостта от бързо реагиране за предотвратяване или поне намаляване на отрицателните последици от действието им и
- често внезапното им появяване и бързо развитие - фактори, затрудняващи и забавящи адекватната на ситуацията реакция на човека-оператор.

Определения:

Защитни функции е комплексът от алгоритми за автоматично управление на система за електрозадвижване и автоматизация на производствените механизми при аварийни условия, целящ премахване или ограничаване на нежеланите последици от различни опасни явления и ситуации.

Защитно устройство е система, или част от система за управление, която изпълнява защитни функции. Освен основните си - защитни функции, защитните устройства все по-често изпълняват и важни допълнителни функции: диагностични, информационни и др.

Все по-съществена част от съвременните системи за електрозадвижване и автоматизация на производствените механизми е свързана с изпълнението на защитни функции. На тези функции в никакъв случай не трябва да се гледа като на нещо допълнително и второстепенно, защото те определят в много голяма степен основните технически, технологични, икономически и екологични показатели на производствените механизми.

Според начина на реагиране на системите за управление могат да се разграничат следните защитни функции: защити, регулационни процеси със защитни функции, технологични блокировки и превантивни действия.

а/ Защити. Предизвикват изключване на задвижването при поява на опасни явления или ситуации. Например изключване при превишаване на максимално допустимата стойност на тока.

Предизвикването от задействането на защита прекъсване на технологичния процес има и отрицателни последици, които само в най-леките случаи се свеждат до намаляване на производителността. В много случаи то може да има и значително по-тежки последици - бракуване на продукцията от неспазена технология на обработка, поставяне в затруднено положение на хора, например при аварийно спиране на туристическа въжена линия и д. п.

б/ Регулационни процеси със защитни функции. При тях предпазното действие се осъществява чрез регулиране без прекъсване на технологичния процес. Типичен пример на регулационен процес със защитна функция е действието на задържаната отрицателна обратна връзка по ток, която предпазва постояннотоковите задвижвания от претоварвания по ток и момент. Създадена първоначално за предпазване на копаещите механизми на багери от случайни претоварвания, тази обратна връзка постепенно е намерила приложение в повечето постояннотокови задвижвания, освен за предпазване от претоварване (аварийна задържана отрицателна обратна връзка по ток), още и за управление на преходните процеси на пускане и спиране (работна задържана отрицателна обратна връзка по ток). Напоследък това много разпространено решение постепенно се изоставя, за да може чрез управление, а не ограничение, на момента на двигателя да се постигне по-точно изпълнение на зададения закон на движение. В съвременните задвижвания управлението на преходните процеси на пускане и спиране се осъществява чрез програмиране на закона на движение във функция от времето или пътя. На задържаната отрицателна обратна връзка по ток се оставя само защитната функция - предпазване от претоварвания по ток и момент при аварийни условия, като тя вече не участва в управлението на преходните процеси при нормални условия.

в/ Технологични блокировки. Осъществяват защитни функции чрез изпълнение на задължителна последователност при включване и (или) изключване, или на действие и (или) бездействие на няколко взаимно свързани механизми. Например задължително е първо да се включи (и да остане включена) смазочната помпа, а определено време след нея да се включи дробилката, чиито силно натоварени плъзгащи лагери при друга последователност биха излезли от строя.

г/ Превантивни действия. За някои условия на работа съществуват типични, често повтарящи се опасни явления и ситуации в системите за задвижване, които могат автоматично да бъдат ликвидирани. Така например, за много селскостопански и

други машини, работещи на открито, е характерно често овлажняване на намотките на двигателите, причиняващо опасно намаляване на изолационното им съпротивление. За такива случаи са разработени системи за управление, които периодично, или непосредствено преди всяко включване, проверяват изолационното съпротивление. Когато то е под определена норма се подава команда за подсушаване на двигателя до възстановяване на изолационното му съпротивление. Едва след това се разрешава ново включване на двигателя. Превантивните действия са качествено ново, значително по-ефективно ниво на изпълнение на защитни функции.

д/ Автоматична диагностика. Като специфична защитна функция може да се разглежда и автоматичната диагностика (текуща, периодична и предстартова) на вътрешното състояние на машината и на системата ѝ за електрозадвижване и управление. Наблюдава се тенденция за все по-широко разпространение на системи за електрозадвижване и автоматизация на производствени механизми и агрегати, комплектувани със сложни диагностични устройства.

е/ Информационни функции. Тези функции:

- улесняват обслужващия персонал при откриване и отстраняване на причините за изключване;
- дават възможност да се управлява натоварването на машината по начин, който намалява вероятността от задействане на защита и
- често са свързани с интегриране на защитното устройство в по-високо ниво на системата за управление.

Информационните функции включват:

- алармиране на персонала за предстоящо или настъпило изключване със звуков и (или) светлинен сигнал;
- извеждане на дисплей на информация за моментното натоварване, температура и д.п., на причината за изключване и т.н.;
- ранно предупреждаване за предстоящи аварии, прогнозирани чрез непрекъснатата обработка на статистическа информация и др.

Условни и безусловни защиты.

Защита, която изключва задвижването веднага, щом се установи настъпването на опасното явление или ситуация, се нарича безусловна.

Съществуват случаи, когато самият акт на задействане на някаква защита представлява или предизвиква нежелано или опасно явление или ситуация, а известно отлагане на задействането на защитата е не само възможно, но е и за предпочитане, защото води до по-малък риск и по-малко вредни последици. Такъв тип защиты - с

отложено действие, се наричат условни защиты. Така например, ако задейства топлинната защита на асансьорен двигател и кабината спре между етажите, пътниците ще останат затворени продължително време до изстиване на двигателя и възстановяване на оперативната верига от задействаното топлинно реле, ще се притесняват и ще изпитват затруднения. В този случай е много по-целесъобразно след задействане на топлинното реле двигателят да не се изключва и да не се прекъсва започнатото движение, да се позволи на асансьора да достигне до етажа, за който е подадена команда, но да се забрани започването на ново преместване до изстиване на двигателя. С използването на условна защита в случая се избягва нежелателното продължително задържане на хора в кабината. Наистина в такъв случай двигателят ще работи известно време с температура, по-висока от нормираната, но вероятността от това прегряване да настъпи повреда е малка, защото:

- времето за довършване на преместването е естествено ограничено до не голяма максимална стойност от височината на сградата и номиналната скорост на асансьора;

- при довършване на започнато преместване няма пускови процеси, които да предизвикат интензивно нагряване, а

- статичното натоварване не може да бъде опасно голямо, дори и да няма товарограничител, защото задължителното съотношение площ/номинална товароподемност на кабината не позволява значителното ѝ претоварване.

Защити с и без самовъзвръщане.

За защита със самовъзвръщане се говори, ако след изчезване на опасното явление или ситуация, реагирането на това явление или ситуация защитно устройство автоматично възстанови нормалното си състояние. В противния случай, когато за възстановяване на нормалното състояние е необходимо изрично действие на оператора, се говори за защита без самовъзвръщане.

Без самовъзвръщане са някои серии максималнотокови и топлинни релета с механични блокировки на контактните системи. При тях, след задействане на релето, контактната му система може да се върне в нормално състояние само след ръчно деблокиране. Без самовъзвръщане са и специални серии електромагнитни релета за постоянен ток, на които е премахната немагнитната пластина, между котвата и неподвижния магнитопровод. С това се намалява магнитното съпротивление на магнитопровода при включена котва и се повишават остатъчният магнитен поток и създаваната от него сила на привличане. След включване, когато се прекъсне токът през бобината на такова реле, остатъчният му магнитен поток е достатъчно голям за да задържи котвата му във включено

положение, а за да се изключи е необходимо да се подаде напрежение на допълнителна - размагнитваща бобина. Използват се и схемотехнически решения за реализация на защитни устройства без самовъзвръщане.

За качествата на системата за управление е от значение дали след изчезване на опасното явление или ситуация изключеното състояние на съответната защита се самопрекратява (защита със самовъзвръщане), или за това е необходима изричната намеса на оператора (защита без самовъзвръщане). Защитите със самовъзвръщане създават условия за по-висока производителност, по-малки ангажменти на дежурния персонал и по-малки престои на машини без оператор, но затрудняват и забавят откриването на причината за изключването, особено при големи и сложни схеми за управление. Защитите без самовъзвръщане, след като са задействали, не позволяват използване на машините преди намесата на компетентно лице и увеличават продължителността на престоеите. Същевременно те улесняват откриването, а с това и отстраняването, на причините за изключване и създават условия за сигурна, продължителна, безопасна и безаварийна експлоатация. Във всеки конкретен случай трябва да се определи кой вид защита от дадено явление или ситуация е по-подходящ. Например крайната защита при подемно-транспортни машини, управлявани от правоспособен квалифициран персонал (кранове и д. п.), се прави със самовъзвръщане, а при аналогични механизми, например асансьори, управлявани от неквалифициран персонал (пътуващите) - без самовъзвръщане. В едно и също задвижване за различни явления и ситуации могат да се използват различни типове защиты - с и без самовъзвръщане.

При механизми с ръчно управление принуждаването на оператора след всяко задействане на защита да извършва отново манипулациите за включване на задвижването е важно за текущото му обучение на безопасна работа - стимулира го да работи по такъв начин, че защитите да не задействат. Тази възможност съвсем не е за пренебрегване. Опитни конструктори в някои случаи практикуват съзнателно затрудняване и забавяне на действията на оператора за включване на задвижването след задействане на някоя защита, например чрез поставяне на пусковия бутон на отдалечено и неудобно място. За операторите това е стимул за усвояване и съблюдаване на маниери за безопасна работа.

В системите за управление на отговорни задвижвания се практикува вграждането на блокове за автоматична регистрация на всички случаи на задействане на защиты с цел анализ на причините, атестация и материално стимулиране на операторите. Известността

на самия факт на съществуване на такава информация има положително влияние върху професионалното поведение на операторите.

Специфични защиты

Специфични защиты са тези, за които информацията за опасното явление или ситуация не може, или не може достатъчно точно да се получи от измерване на величини само в системата за електрозадвижване, а е необходимо използване и на информация за състояния на околната среда. Такива са защитите:

- от сблъскване на два механизма;
- от претоварване по тегло и по обръщащ момент;
- от буксуване и приплъзване във фриktionна двойка: ходово колело-релса, задвижващ барабан-гумена лента на транспортър, задвижваща шайба-въже на въжени линии и асансьори;
- от хлабина на въжето при скипови подемници и асансьори;
- от препълване на бункер;
- от недостатъчна скорост на поток охлаждащ въздух и мн. др.

Класификация на защитите в електрозадвижванията

При изучаването им, защитите в електрозадвижванията е целесъобразно да се класифицират според вида и произхода на въздействията, предизвикващи опасни явления и ситуации на:

1. Защити от опасни действия на хора.
2. Защити от опасни пространствени състояния.
3. Защити от опасни режими на работа.
4. Защити от опасни въздействия на околната среда.
5. Защити от опасни въздействия на захранващата мрежа.

Класификация според вида на застрашените елементи не е необходима, но ще се обърне особено внимание на защитите на електрическите двигатели.

Конструктивно обособяване

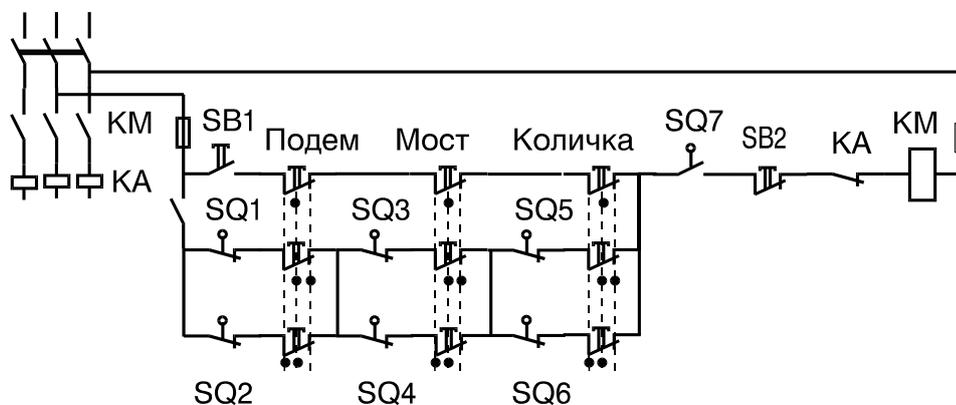
Опитни конструктори обръщат внимание на няколко важни съображения, обуславящи необходимостта от функционално и конструктивно обединяване и обособяване на защитните устройства на системите за задвижване и автоматизация в самостоятелен блок - така наречените защитни табла:

а/ При търсене на причината за принудително изключване и на евентуална повреда най-напред се проверяват защитните вериги. Събирането на тези вериги на едно място значително улеснява и ускорява откриването на повредата. Това е много важно преимущество за експлоатацията.

б/ Бързото и все по-ускоряващо се развитие на елементите и системите за електрозадвижване и автоматизация на машини,

налага често да се подменят с нови и по-ефективни много напълно изправни и физически неамортизирани системи. При такава модернизация защитните устройства обикновено не е необходимо да се променят и обособяването им в отделен блок опростява, поевтинява и ускорява работите по модернизацията.

в/ Все още е широко разпространението на машини с по няколко електрозадвижвания, управлявани с неавтоматична силова комутационна апаратура. Такива са например задвижванията на повечето кранове с товароподемност до 12.5 kN. Автоматизацията на защитните функции при такива машини налага използването на един, специален за целта контактор, който изключва силовото захранване едновременно на всички задвижвания при задействане на коя да е защита на кое да е от задвижванията.



Фиг. 1-1 Защитно табло тип ПЗК

Пример - защитно табло тип ПЗК

Принципната ел. схема на защитно табло тип ПЗК е показана на фиг. 1-1. Таблото е предназначено

за защита на трите, управлявани със силови контролери, асинхронни двигателя на подема, моста и количката на кран. Силовата му част съдържа трифазен неавтоматичен прекъсвач, линейния контактор КМ и бобините на максималнотоковите релета, означени общо с КА. В оперативната верига - веригата на бобината на линейния контактор КМ са включени апаратите, осъществяващи всички защиты на трите задвижвания и на машината (крана) като цяло:

1. Ръчна команда с бутона SB2 за аварийно спиране при поява на различни, бързо протичащи, или неясни аварийни ситуации, при които е най-добре веднага да се спрат всички задвижвания. Поради неавтоматичното й действие, тази команда само условно може да се нарече защита.

2. Защита от късо съединение и максималнотокова защита на всеки от двигателите - чрез контактите на максимално токовите релета КА.

3. Защита от неправилен достъп на хора върху моста на крана - с пътния апарат SQ7, монтиран на капака на люка на кабината.

4. Защита от самопускане - със затворените само в нулево (неутрално) положение контакти на трите силови контролера, свързани последователно с командния бутон SB1 за включване на таблото под напрежение. Ако при временно прекъсване на електрозахранването кранистът е забравил някой от контролерите във включено положение, при възстановяване на захранването, без изрична команда на оператора, управляваното с този контролер задвижване не е възможно да започне отново да работи. Т. е. не е възможно самопускане.

5. Крайна защита. Осъществява се от три еднотипни възела, съответно за механизмите на подема, моста и количката. Всеки от тези възли съдържа две паралелни вериги - по една за всяка посока на движение, а всяка от паралелните вериги е съставена от последователно свързаните:

- контакт на краен прекъсвач (SQ1 - SQ6), изключващ на някакво разстояние от края на пътя в съответната посока на движение и

- контакт на контролера за управление на съответния механизъм, който е отворен във всички положения на контролера за обратната посока на движение.

1.2.Проблеми и насоки на развитие

Рискови фактори

Опасното явление или ситуация е предпоставка за поява с някаква вероятност на повреда на системата или на нейни елементи, на увреждания на хора, на щети, нанесени на продукцията или на околната среда и т. н. В този смисъл всяко опасно явление или ситуация може да се разглежда като рисков фактор за появата на определени, едно или повече, нежелани последици.

Връзката между някои рискови фактори и съответните нежелани последици е очевидна, а вероятността за появата им е единица. Така например ако два механизма се движат насрещно на общ релсов път и се доближат на разстояние по-малко от сумата на спирачните им пътища, ударът им може да се счита за неизбежен.

Връзката между други рискови фактори и съответните нежелани последици е логична и естествена, но вероятността за настъпване на нежеланите последици е забележимо по-малка от единица. Така например овлажняването на изолацията на електрическите машини е рисков фактор за настъпване на електрически пробив в изолацията, но такъв пробив не винаги настъпва, дори и при потапяне на машината във вода. Такъв ефект

многократно е наблюдаван при включване под напрежение на електромотори в наводнени помещения.

Особено сложен е въпросът за определяне на неизвестен до сега рисков фактор, добре корелиран с конкретни, важни за практиката нежелани последици. Отговор на такъв въпрос трябва да се намери всеки път, когато е поставена задача да се разработи защита за предпазване от конкретни нежелани последици, за възникването на които причинно-следствените връзки не са известни. Такъв например е случаят с неприемливо високата честота на пробиви на изолацията на асинхронни машини при определени експлоатационни условия. За тези пробиви все още не е установено на какво опасно явление или ситуация са следствие, т. е. с какъв рисков фактор са корелирани. Икономическата значимост на този проблем, дори само за някои отделно взети предприятия, е много голяма, с което се обяснява големият интерес към неговото решение. От десетилетия авторитетни специалисти от различни страни и школи отстояват разнообразни, съществено различни, често противоположни мнения - типична ситуация при въпроси с неясна физика и неустановени причинно-следствени връзки. Съществено различни са естествено и техническите решения на защиты, произвеждани от фирми, чиито водещи специалисти отстояват различните мнения. Дори многогодишният опит от експлоатацията на тези защиты не е спомогнал за намиране на правилно решение на проблема и все още не е предложена достатъчно ефективна защита. При решаване на такъв тип задачи се използват основно два подхода:

- детерминистичен подход на изследване на физиката и разкриване на интимната същност на процесите, довеждащи до нежеланото следствие и

- статистичен подход, при който се търси корелация между следствието (повредата, отказът и т. н.) и интуитивно формулиран функционал на параметри, въздействия и т. н.

И при двата подхода изследванията се затрудняват от големия брой на влияещите (или подозирани, че влияят) фактори, от съществено нелинейните зависимости и от ефектите на натрупване (стареене) в продължителни периоди от време.

Идентифицирането на някои неразкрити рискови фактори в системите за електрораздвижване и конструирането на тази основа на ефективни защиты е особено важна задача, зад чието решение стои голям потенциален икономически ефект.

Селективност на защитите

Според начина на настъпване и корелацията им с опасните явления и ситуации нежелателните последици могат да се разделят на три основни групи:

а/ Нежелателни последици, които могат да настъпят или да не настъпят, без да има междинно положение или ефект на натрупване на отрицателни последици. Такъв е случаят с опасността от обръщане (падане) на машина със стрелови подемен механизъм, например на багер или на строителен кула кран, при претоварването му по максимално допустим товарен момент $M_{Tm} = F_Q \cdot R$ (максимално допустима стойност на производението от силата F_T на теглото на товара по радиуса R на окачването му). Машината (багерът или кранът) или ще се обърне, или няма да се обърне. Липсва каквото и да било натрупване на отрицателни последици. Основното изискване към защитата от обръщане е да изключи задвижването, преди машината да се е обърнала. Това обаче не е достатъчно. Ако защитата изключва много рано при $M_T \ll M_{Tm}$, когато няма никаква опасност от обръщане, машината няма да може да се използва с пълните си възможности по производителност и товароподемност. Пълноценно използване на машината е възможно, когато защитата има избирателно действие - селективност, гарантираща нормална работа и безопасна експлоатация и при малки разлики на товарния момент M_T от максимално допустимата му стойност M_{Tm} .

б/ Нежелателни последици, чиито числено оценен отрицателен ефект може да бъде от незначителен до катастрофален. В такъв случай диапазонът на нежеланите последици може да се раздели на два под-диапазона - на незначителни, приемливи по стойност и на опасни, недопустими по стойност, като защитата трябва да задейства при надхвърляне на граничната стойност между тези два под-диапазона. Такъв е например случаят с удара между два крана, работещи на общ релсов път, когато някаква максимална стойност E_m на енергията на удара се приеме за допустима. И в този случай може да се констатира, че селективността на защитата (сигурно задействане при $E > E_m$ и сигурно не задействане при $E < E_m$) е условие едновременно и за безопасна и за пълноценна високопроизводителна експлоатация на машината. Същевременно трябва да се отбележи известна условност на второто твърдение, защото в случая има и ефект на натрупване на отрицателни последици - умора на материала, а евентуално и пластични деформации от ударите с позволена енергия $E < E_m$.

в/ Нежелателни последици, характеризиращи се преди всичко със силно изразен ефект на натрупване. Този случай е характерен за процесите на стареене въобще, и в частност на стареенето на

електрическа изолация, на платното на гумено-лентови транспортъори и др. Ако стареенето се предизвиква от някакво, в най-общия смисъл на думата натоварване τ - прегряване на изолацията, опън на лентата и т. н., всеки нов елемент (изолация, гумена лента и т. н.) има определен нормиран ресурс T_N работни часове при номинално натоварване τ_N . Скоростта

$$(1-1) \quad \frac{dT_N}{dt} = F(\tau).$$

на изразходване на този ресурс е пропорционална на някаква бързо растяща функция $F(\tau)$ на натоварването τ . За различни "стареещи" елементи са предложени емпирични зависимости $F(\tau)$, например от вида

$$(1-2) \quad F(\tau) = 2^{\alpha(\tau - \tau_N)}.$$

Счита се, че елементът е физически амортизиран, когато интегралът от скоростта на разходване на ресурса по времето стане равен на нормирания ресурс

$$(1-3) \quad \int_0^{t_e} F(\tau) \cdot dt = T_N.$$

Периодът на интегриране t_e представлява срока на експлоатация, за който нов елемент се амортизира напълно. Той може да се определи, ако са известни функцията $F(\tau)$ и законът на разпределение на τ .

Праг на действие на защити от стареене

Ако има защита, която реагира по някакъв начин на натоварването τ , законът на разпределение на последното ще се изменя, като ще се получи срез (ограничение) в областта на максималните натоварвания, зависещ от настройката на защитата. Това изменение ще бъде толкова по-съществено, колкото по-често и продължително защитата е действала. Изменението на закона на разпределение на натоварването (ограничението на максималното натоварване в резултат на действията на защитата) ще предизвика удължаване на срока на експлоатация t_e (1-3), но производителността на машината ще се намали от престойте, предизвикани от действие на защитата. Т. е. понижаването на прага на действие на защитата предизвиква подобряване на технико-икономическите показатели за работата на машината чрез удължаване на срока на експлоатацията ѝ и влошаване на същите тези показатели чрез намаляване на производителността и

готовността ѝ за работа вследствие на престоите, предизвикани от задействие на защитата.

Очевидно е, че определянето на прага на задействие на защитата е значима технико-икономическа оптимизационна задача. Аналитичното решение на тази задача предполага използване на данни за закона на разпределение на натоварването, но с такива данни не се разполага, и то именно за най-сложните и икономически значими случаи - за механизми с повторно-кратковременни режими на работа и случайно натоварване. Нещо повече, в обзримо бъдеще не може да се очаква запълване на тази празнина, поради огромното многообразие на такива механизми и на условията и технологиите за тяхното използване. Тези трудности са в основата на продължаващото се вече много десетилетия незавидно положение със защитите от претоварване тип стареене при механизми с повторно-кратковременни режими на работа и случайно натоварване. Съвременната практика в това отношение е следната:

1. Задава се някакво ниво на натоварването τ , при което защитата изключва, като

- това ниво най-често се приема равно на номиналното натоварване τ_N . Недостатък е, че без значително преоразмеряване на елемента защитата би задействала недопустимо често и продължително, а при преоразмеряване елементът се оскъпява, а животът му става ненужно продължителен;

- в редица публикации се обосновава възможността и ползата нивото на задействие на защитата да се приеме по-голямо от τ_N , но не се дават практически съвети за определянето му;

- за сравнително редките случаи, когато може да се дефинира режим на максимално натоварване, а съответно и закон на разпределение на натоварванията, някои автори предлагат нивото на задействие на защитата да се определи по зададена скорост на стареене. Така например, в Канада се препоръчва за жилищни райони електроснабдяване от два паралелно включени, еднакви по мощност трансформатора, като тази мощност се определя по условието 0.1% на ден стареене на изолацията в случаите, когато поради ремонт, само един от трансформаторите поема цялото натоварване.

2. В редица държави, основно тези от бившия СССР, е разпространено становището, че за механизми с повторнократковременни режими на работа и случайно натоварване топлинната защита на изолацията на асинхронни двигатели е вредна и не се прилага.

3. Напоследък някои изследователи стигат до заключението, че прага на задействие трябва текущо да се променя, като стойността

му се определя на основата на зададена скорост на стареене и текуща оценка на разходвания ресурс часове за изминалия срок на експлоатация. Този подход не само заобикаля трудностите по определянето на закона на разпределение на натоварването и рисковете от евентуалното му съществено изменение при промяна на технологията, но и позволява косвеното получаване на данни за този закон по самонастроеното ниво на задействане на всяка въведена в експлоатация такава защита. Този подход за решаване на задачата е особено перспективен за задвижвания с интензивно променливо натоварване.

Информационни проблеми

За технико-икономически обоснован избор на типа и настройка на различни защиты е необходимо използването на редица специфични статистически данни за режимите на експлоатация на производствените механизми. Събирането и систематизирането на тази статистическа информация е важна, но все още нерешена задача.

Осигуряването на селективно действие и най-добра настройка на прага на задействане на някои защиты представляват значителни, все още нерешени теоретични проблеми с голямо икономическо значение. Към теоретичните проблеми следва да се добавят и технически, произтичащи от сложността на алгоритмите на действие и от големия обем необходима за реализацията им разнообразна входна информация. За произвежданите защитни устройства е характерно голямо многообразие на оригинални устройства за получаване на специфична информация. Много често такива устройства се конструират и произвеждат специално (и само) за определена специфична защита. Този подход е неикономичен и в съвременната техника се използва само в крайни случаи.

Въпроси за проверка

1. Какво разбирате под опасни явления и ситуации? В какво конкретно може да се състои опасността и какви са евентуалните нежелателни последици?

2. Разграничете различните видове защитни функции (защити, регулационни процеси със защитни функции, технологични блокировки и превантивни действия).

3. Коментирайте особеностите на условни и безусловни защиты, защиты с и без самовъзвръщане.

4. Кои са основните видове защиты на системите за електрозадвижване на производствени механизми?

5. Какво налага схемното и конструктивно обособяване на защитите?

6. Какво е рисков фактор за появата на определена повреда или щета? Кои са проблемите на определянето на рисковите фактори?

6. Как влияят качествата селективност и точност на прага на задействане на защитата върху нейната ефективност? Какви са проблемите за постигане на тези качества?

СЪДЪРЖАНИЕ

УВОД	3
1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ЗАЩИТИТЕ В ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯТА	
1.1. Определения	4
Опасни явления и ситуации. Защитни функции. Условни и безусловни защиты. Защити с и без самовъзвръщане. Специфични защиты. Конструктивно обособяване. Пример.	
1.2. Проблеми и насоки на развитие	12
Рискови фактори. Селективност на защитите. Праг на задействане на защиты от стареене. Информационни проблеми.	
<i>Въпроси за проверка</i>	
2. ЗАЩИТИ ОТ ОПАСНИ ДЕЙСТВИЯ НА ХОРА	19
2.1. Защита от самопускане	20
2.2. Защита от неправилен достъп до опасни зони	21
2.3. Блокировка на командни органи	21
2.4. Забрана изпълнението на ненужни команди	22
2.5. Премахване на нелогични ситуации	23
Примери на “нелогични” задвижвания. Общо за нелогичните ситуации.	
2.6. Защита от неправомерно управление	28
<i>Въпроси за проверка</i>	
3. ЗАЩИТИ ОТ ОПАСНИ ПРОСТРАНСТВЕНИ СЪСТОЯНИЯ	32
3.1. Крайна защита	32
Опасно явление. Алгоритми и проблеми. Реализации. Обикновена крайна защита. Предварителна крайна защита. Селективна крайна защита.	
<i>Въпроси за проверка</i>	
3.2. Защита от сблъскване	41
Опасно явление. Алгоритми и проблеми. Обикновена защита от сблъскване. Селективна защита от сблъскване. Особени случаи - диференциална защита.	
<i>Въпроси за проверка</i>	
3.3. Защита от изкосяване	51
Задача на дърводелеца. Малко механика. Нежелани последици на изкосяването. Типични механизми, в които е възможно изкосяване. Начини за ограничаване на изкосяването.	
<i>Въпроси за проверка</i>	
4. ЗАЩИТИ ОТ ОПАСНИ РЕЖИМИ	66
4.1. Защита от претоварване	66
Опасни явления - якостни и фрикционни ограничения. Алгоритми и проблеми. Защита от минимално натоварване. Защита от претоварване.	
<i>Въпроси за проверка</i>	
4.2. Защита от товарен момент	74
<i>Въпроси за проверка</i>	
4.3. Защита от боксуване	79

	<i>Въпроси за проверка</i>	
5. ЗАЩИТИ ОТ ОПАСНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ НА СРЕДАТА		86
5.1. Противоветрова защита		86
	<i>Въпроси за проверка</i>	
5.2. Защита от недробими предмети		90
	<i>Въпроси за проверка</i>	
6. ЗАЩИТИ НА ДВИГАТЕЛИТЕ		93
6.1. Надеждност и откази на двигателите		93
	Общи сведения. Влияние на условията на работа и експлоатация върху надеждността. Електрически неизправности и откази. Механични откази и откази на охладителната система.	
	<i>Въпроси за проверка</i>	
6.2. Типови и аварийни режими на двигателите		100
	<i>Въпроси за проверка</i>	
6.3. Ресурс и стареене на изолацията		106
	Влияние на температурата. Влияние на прегряването. Влияние на влагата. Влияние на механичните сили.	
	<i>Въпроси за проверка</i>	
6.4. Ефективност и класификация на защитите		111
	<i>Въпроси за проверка</i>	
6.5. Загрязване и охлаждане. Топлинни модели		117
	<i>Въпроси за проверка</i>	
6.6. Защити на асинхронни двигатели		124
6.6.1. Топлинни защити		124
	Общи сведения. Топлинни защити с биметални релета. Топлинни защити със стопяеми предпазители. Избор и настройка на биметални релета. Избор на стопяеми предпазители. Проблеми на топлинните защити.	
	<i>Въпроси за проверка</i>	
6.6.2. Температурни защити		133
	Общи сведения. Температурни защити с биметални капсули, с термистори, с позистори и с непрекъснато действие. Проблеми на температурните защити.	
	<i>Въпроси за проверка</i>	
6.6.3. Токови защити		141
	Общи сведения. Токови защити от претоварване с индукционни релета. Филтрова защита от еднофазно късо съединение, от прекъсване на фаза и от несиметрични къси съединения. Токови защити на високоволтови двигатели.	
	<i>Въпроси за проверка</i>	
6.6.4. Дефектно-фазова защита		147
	Общи сведения. Реализации и проблеми.	
	<i>Въпроси за проверка</i>	
6.6.5. Защита от овлажняване. Автоматично превантивно сушене		153

Общи сведения. Сушене чрез загряване. Електроосмотично сушене.
Проблеми на защитата от овлажняване.

Въпроси за проверка

6.6.6. Многофункционални защиты	162
Общи сведения. Реализации и настройки. Особени случаи. Проблеми на многофункционалните защиты.	
<i>Въпроси за проверка</i>	
6.7. Защита на двигатели за постоянен ток	169
<i>Въпроси за проверка</i>	
ЛИТЕРАТУРА	172