



ПОГЛАВЉЕ 6

ЗАШТИТА ЕЛЕКТРОМОТОРНИХ ПОГОНА

ПРЕГЛЕД

Под заштитом електромоторног погона подразумева се углавном заштита електромотора. На рад електромотора утичу сметње које потичу од радног механизма или извора напајања а исто тако и стање радне околине могу да утичу на рад мотора. Проблеми заштите су различити за разне врсте мотора, нарочито за електромоторе који се напајају преко посредника, из групе енергетске електронике. Заштита радног механизма је везана за природу процеса, који радни механизам обавља. Природа процеса се односи на карактер технолошког процеса: машинство, хемија, металургија... Неисправни рад електромотора може најчешће угрозити радни механизам тј. довести га до привременог оштећења или трајног уништења.

6. ЗАШТИТА ЕЛЕКТРОМОТОРНИХ ПОГОНА

Заштита електромоторног погона представља првенствено заштиту електромотора. Постоје три основна извора сметње за настанак опасног стања електромотора:

- сметње које потичу од радног механизма,
- сметње које потиче од извора напајања,
- сметње изазвано деловањем околине.

Извор опасности за електромотор је напојна мрежа, где због врло високог и врло ниског напона могу наступити знатна струјна преоптерећења. Прелазне појаве у мрежи представљају опасност за електромотор. Механичка оштећења изолације намотаја мотора могу наступити и због продирања у унутрашност мотора оштрих механичких тела, честица или прашине које настају као последица технолошког процеса.

Проблеми заштите су различити за различите врсте мотора, нарочито за електромоторе који се напајају преко посредника, мото-генераторских група, исправљача, тиристорских претварача, конвертора фреквенције...

Заштита електромоторних погона је веома сложена тема, са пуно различитих варијанти и могућности у разматрању. У оквиру овог поглавља описани су неки принципи заштите електромоторног погона.

6.1. СМЕТЊЕ ИЗАЗВАНЕ РАДНИМ МЕХАНИЗМОМ

У самом радном механизму због неких околности могу наступити преоптерећења и довести мотор у стање када нагло троши свој животни век.

Заштита радног механизма је везана за природу процеса, који радни механизам обавља. Природа процеса се односи на карактер технолошког процеса: машинство, хемија, металургија...тј. све оно што је неелектричног карактера. Неисправно функционисање електромотора може најчешће угрозити радни механизам, па се у том случају мора обезбедити заштита.

Кварови тог типа настају у случају наглог (нежељеног) заустављања електромотора или у случају добијања екстремно великог обртног момента електромотора. У оба случаја најчешћи кварови су привремено оштећење или ломљење радног механизма. Главни узроци онеспособљавања радног механизма су кварови на електромоторима или кварови механичког карактера који могу ненадано настати у разним режимима рада електромоторног погона. Сметње које настаје од радног механизма је најчешће преоптерећење. Ова појава може довести електромотор у стање да

нагло троши свој животни век или прети да ће у кратком року уништити изолацију сопствених намотаја.

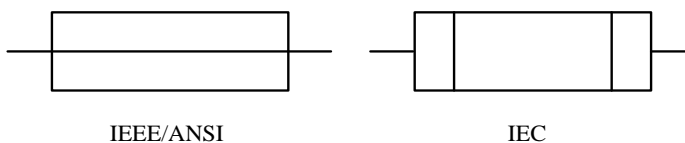
6.1.1. ЗАШТИТА ОД ПРЕОПТЕРЕЋЕЊА

Преоптерећење електромоторног погона је типично за сметње које потичу од радног механизма. У трајном раду неког погона радни механизам се супроставља електромотору. У том случају момент терета је већи од номиналног. Мотор се углавном преоптерети због превеликог броја радних сати или обављањем рада у неадекватним условима (на пр. ваљање у ваљаоници хладнијих комада него што је технолошки прописано, дизалица која подиже масу већу од утврђене или када се локомотива оптерети тежим вагоном него што допушта профилу пруге).

Основни метод заштите електромотора у преоптерећеном електромоторном погону је уградња мерних, сигналних и уклопних уређаја који ће да искључе мотор са напојне мреже када настане преоптерећење, струјно или термичко преоптерећење. Најстарији елемент заштитних уређаја преузет је из заштите електричних мрежа и инсталација: осигурачи, прекострујни релеји и биметални термички релеји.

Заштита са осигурачима

Осигурач је уређај који у електричном колу служи као заштита од превелике струје, његов симбол је приказан на слици 6.1.1.1.



Слика 6.1.1.1 Симболи осигурача у електричном колу

Осигурач треба да има својство да у одређеном временском року издржи знатна струјна преоптерећења. На пример, осигурач не сме изгорети у краћем времену од 10s при струји од $1,75 I_n$ (табела 6.1.1.1.)

Ако електромотор у електромоторном погону допушта трајно струјно преоптерећење веће од 1,05 до 1,1 номиналне струје, онда је осигурач потпуно неприкладна заштита. При краткотајном преоптерећењу, осигурач може начелно пружити заштиту електромоторном погону (види табелу 6.1.1.2.).

Табела 6.1.1.1. Таблица основних захтева који се постављају за нормалне осигураче приликом трајног преоптерећења (IEC)

Осигурач називне струје I_n [A]	не сме изгорети у времену [h]	оптерећен трајно струјом од	али мора изгорети унутар тог времена оптерећен струјом од
до 4	1	$1.5 I_n$	$2.1 I_n$
преко 4 до 10	1	$1.5 I_n$	$1.9 I_n$
преко 10 до 25	1	$1.4 I_n$	$1.75 I_n$
преко 25 до 63	1	$1.3 I_n$	$1.6 I_n$
преко 63 до 120	2	$1.3 I_n$	$1.6 I_n$
преко 125 до 200	3	$1.3 I_n$	$1.6 I_n$

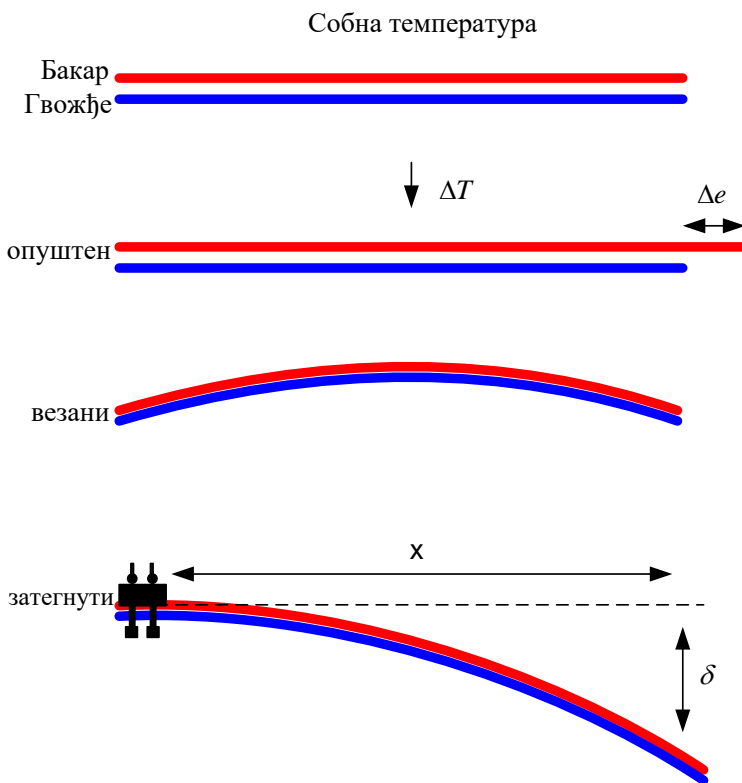
Од нормалних осигурача нешто се разликују троми осигурачи (тип С). За њих у принципу вреде подаци из табеле 6.1.1.1. али не смеју прегорети под условом из табеле 6.1.1.2. Троми осигурачи према прописима морају издржати велика преоптерећења у дужем временском року од номиналних осигурача али морају изгорети унутар времена од $6s$, оптерећени петоструком номиналном струјом. Иако су троми осигурачи прикладнији од нормалних у заштити електромоторних погона и они практично штите само од краткотрајних преоптерећења јер су границе код дуготрајних преоптерећења високе за електромоторне погоне у трајном раду.

Табела 6.1.1.2. Таблица основних захтева у вези са нормалним осигурачима приликом краткотрајних великих преоптерећења – IEC.

Осигурач називне струје I_n [A]	мора при струји од	изгорети унутар времена [s]
до 4	$5 I_n$	0.05
преко 4 до 10	$7 I_n$	0.10
преко 10 до 25	$7 I_n$	0.15
преко 25 до 63	$7 I_n$	0.20
преко 63 до 100	$7 I_n$	0.35
преко 100 до 200	$7 I_n$	0.50

Заштита биметалним и прекострујним релејима

Биметални релеј пружа боље карактеристике од осигурача. За заштиту од оптерећења већих од номиналних, користе се биметални релеји, односно релеј са уграђеним активним елементом под називом БИМЕТАЛ. Он се састоји од две дугуљасте плочице од различитог материјала, прилепљене једна на другу којима тече струја у уздужном смеру како је приказано на слици 6.1.1.2.

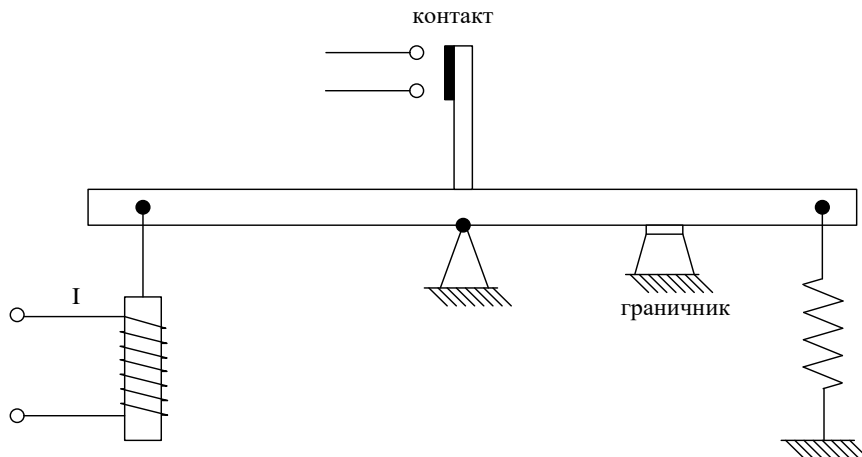


Слика 6.1.1.2. Биметал

Због развијене топлоте биметал се савија јер елементи (плочице) имају различите коефицијенте растезања. У трајном раду (режим S_1) заштита се подешава на основу називне струје електромотора. Биметални релеји су такође осетљиви на несиметрију струја.

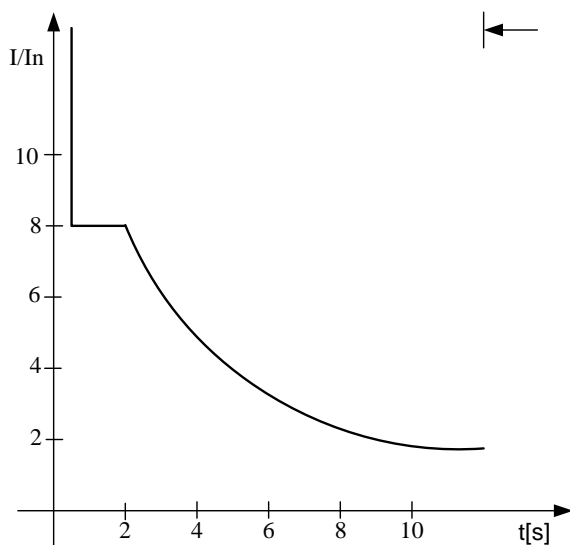
Прекострујни релеј ради на принципу електромагнетске индукције. Струја мотора (директно или преко струјног трансформатора) утиче на релеј који механички затвара командне контакте. Активирање релеја зависи од величине струје, па се може рећи да и прекострујни релеј ради на »струјном« принцип.

Прекострујни релеј може пружити заштиту електромотора у стационарном електромоторном погону слично као биметални релеј и то за преоптерећења и кратке спојеве. Зато су им и слабости исте. Код залетања сваког погона биметални или прекострујни релеј који ради као заштита не сме искључити мотор због високих струја залетања. Струју залетања реда величине $(4-7)I_n$, прекострујни релеји могу издржати а да не дође до искључење, само кратко време.



Слика 6.1.1.3. Шема прекострујног релеја

На слици 6.1.1.4. приказана је карактеристика прекострујног релеја, промена струје преоптерећења у временском домену (време искључења)

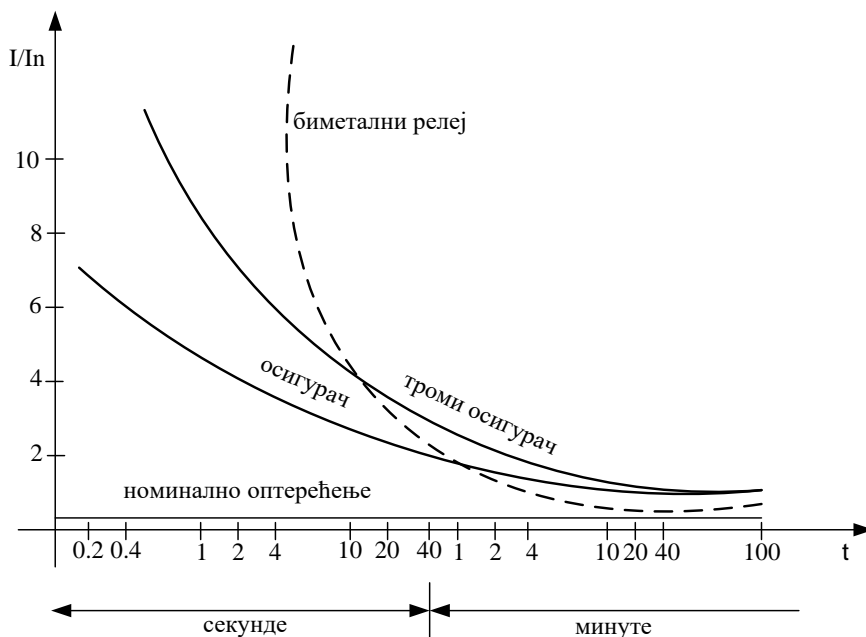


Слика 6.1.1.4. Карактеристика прекострујног релеја

Петоструку номиналну струју би издржао термички релеј свега 6s а прекострујни релеј уз исте услове само 3,5s.

Закључује се да ће за погоне у трајном раду, заштита помоћу једног од ова два релеја, бити могућа само ако је у електромоторном погону време залета кратко. То се остварује у малим електромоторним погонима који се постепено покрећу као и код кавезних мотора са релативно малим обртним

моментом електромоторног погона. У том случају се употребљава ова заштита јер залет релативно кратко траје па велика струја залета исчезне пре времена које је за релеј критично. При мало дужем времену залета електромоторног погона, ова заштита погрешно ради тј. искључи погон у покретању.

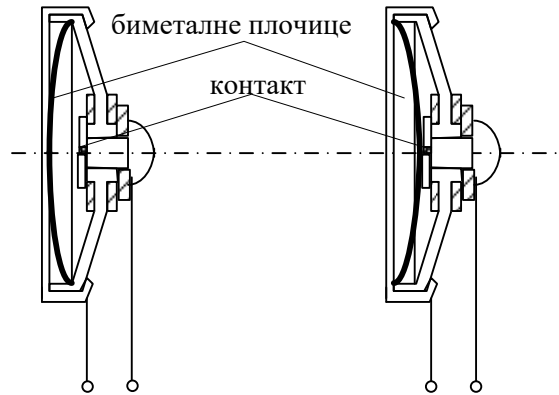


Слика 6.1.1.5 Карактеристике, временске зависности струје преоптерећења и времена искључења, код осигурача и биметалних релеја

Термичка заштита

Термичка или температурна заштита заснива се на стварној температури штићеног објекта и у томе је разлика у односу на биметал. За нисконапонске моторе су најважнији мерачи температуре уграђени директно у намот мотора, а најчешће су то плочице.

Биметална плочица (око 1 cm промера) направљена је тако да је савијена на једну страну у хладном стању, тј. ако је хладнија од неке критичне вредности температуре, и савијена на другу страну (сл. 6.1.1.6.) ако је топлија од те вредности, тј. критичне вредности. Тада плочица »прескочи« из једног положаја у други и затвори контакт, односно даје налог за искључење мотора.



Слика 6.1.1.6. Биметална сонда

Полупроводнички отпорници са позитивним температурним коефицијентом, често се називају термистори. То су врло мали елементи обично највеће димензије 3-7mm. Уграђују се директно у намотај и напајају напоном из помоћног извора. Деловање је слично као код термо сонде (биметалне сонде), само се помоћни струјни круг галвански не прекида. Отпорник мења износ отпора с температуром, а будући да је спојен на фиксни напон, мења се и струја која протиче кроз помоћни струјни круг. Заштитно деловање (искључење) може се подесити према износу струје у помоћном струјном кругу.

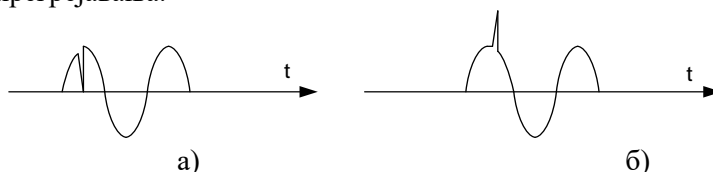
6.2. СМЕТЊЕ КОЈЕ ПОТИЧЕ ИЗ НАПОНСКЕ МРЕЖЕ

Заштита од сметњи које потичу из напонске мреже односи се пре свега на трофазну мрежу и наизменичне моторе. Сметње у мрежи представља првенствено прекомерно одступање напона од синусног облика, које настаје због утицаја виших хармоника струје. Главни узрочници су потрошачи који се напајају преко електронских енергетских претварача који оптерећују мрежу вишим хармоницима. Прописи дозвољавају одступања од 5% за напон и 1% за фреквенцију. При већим синусоидним одступањима, амплитуде хармоника су веће и стварају паразитске моменте [12,13].

Сметње због нестандардног облика напона

Облик напона у наизменичној мрежи редовно одступа од синусног. Прописи допуштају само незнатно одступање од синусног облика, обично не више од 5%. Наизменични мотори прикључени на несинусоидни напон раде неекономично јер паразитски моменте смањују укупни момент а повећавају

губитке и условљавају веће загревање. У оваквом раду, прекострујни или биметални релеји постају неоперативни јер се ефективна вредност струје мења па једино директна температурна заштита може успешно заштитити мотор од прегрејавања.



Слика 6.2.1. Напон у славим наизменичним мрежама, а)нагли пад напона, б)нагли скок напона

У славим наизменичним мрежама обично уз потрошаче великих снага често настаје још неки феномен, као што су такозвани фликери (напонски удари), они су резултат виших хармонијских чланова изазвани погонима прко исправљача као и појавама при укључењу и искључењу релативно снажних потрошача. Ови снажни тренутни падови напона као на сл.6.2.1.а и тренутни пренапони као на сл.6.2.1.б обично су толико кратки да не ремете основну функцију мотора. Исто тако и за елементе заштите, било прекострујне или поднапонске, и сувише су кратки да би деловали (искључили мотор), што у основи и није потребно. Проблем настаје у мрежи тек када пренапони у тим напонским ударима достигну знатну висину.

У неким најнеповољнијим околностима измерени су на нисконапонским моторима (мрежа од 380V) напонски удари до 5kV. Један такав удар обично сам по себи не може уништити изолацију намотаја јер екстермно кратко траје али низ таквих удара који се узастопно појављују у неком дужем временском трајању, могу оштетити изилацију.

Сметње због променљиве висине напона

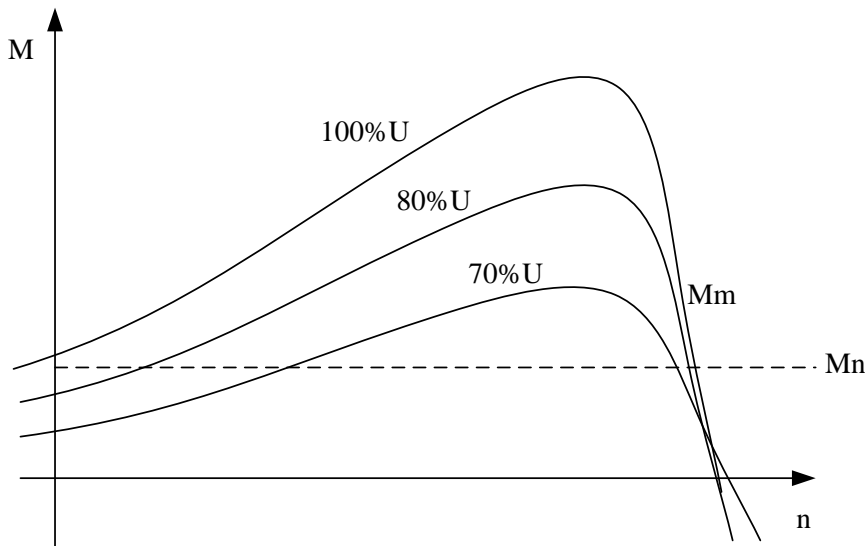
Ако је асинхрони мотор оптерећен константним моментом терета, при сниженом напону, узима већу струју па је струјно преоптерећен. Прекострујна заштита штити мотор и код погона са сниженим напоном. Ако је напон повећан уз исти момент терета струја оптерећења је мања а повећавају се губици у гвожђу. Мале су шансе да заштита проради али пошто је мотор у zasiћењу, струја магнећења јако порасте па тако и укупна струја у статору која изазове активирање заштите од струјног или термичког преоптерећења.

На слици 6.2.2. је приказана карактеристика асинхроног мотора који ради у погону са смањеним напоном. Асинхроним мотору уз смањен напон пада брзина обртања. Ако је мотор оптерећен константним моментом терета, он мора код смањеног напона да вуче већу струју из мреже да би развио потребан момент (што значи да се струјно преоптерећује).

Ако превални момент мотора падне испод момента терета, мотор неће моћи да се покрене тј. испашће из погона.

Термичке последице јако сниженог напона су последица механичког преоптерећења на осовини. Ако је мотор термички заштићен од преоптерећења онда та заштита сигурно штити мотор и од смањења напона.

У другом случају, када се повећа напон, асинхрони мотори морају бити струјно растеређенији јер долази до повећања губитака у гвожђу. Због високог напона порасте и магнетни ток па уз исти момент терета потребна је мања радна струја.



Слика 6.2.2. Понашање асинхронног мотора при смањеном напону

Мотори једносмерне струје се понашају различито у зависности од врсте побуде. Ако претпоставимо за све врсте мотора да је момент терета константан и да се побуда не мења, тада ће се мотори при смањеном напону понаша на следећи начин:

а) Мотор са независном побудом ће се окретати са брзином која је скоро пропорционална напону уз константну струју. Струјног преоптерећења нема а термичко оптерећење наступа само ако се мотор због смањене брзине окретања лошије хлади. Препоручује се термичка заштита.

б) Мотор са паралелном побудом ће се понашати идентично мотору са независном побудом али ће му губици у статору бити мањи. Код овог мотора однос повећаног напона и магнетног тока остаје константан али ће приближно пропорционално напону порастати струја па ће бити струјно и термички преоптерећен па ће се ипак незнатно променити брзину окретања. Задовољава значи заштита која делује и у преоптерећењу.

с) Мотор са редном побудом ће променити брзину окретања. Она ће опати приближно пропорционално напону а струја се неће мењати. Ако се мотор због споријег окретања прегрејава, ефикасна је температурна заштита.

Ако се повећа напон мреже, уз претпоставку да је константан момент терета и да се не мења побуда, мотори ће се понаша:

а) Мотор са независном побудом ће се окретати брзином која је пропорционална напону уз константну струју. Нема ни струјног ни термичког преоптерећења.

б) Мотор са паралелном побудом ће се понашаи идентично мотору са независном побудом али ће му губици у статору бити већи. Мотор неће у суштини променити брзину окретања али ће му струја ротора опати а струја побуде порастати.

с) Мотор са редном побудом ће повећати брзину пропорционално напону а струја ће остати иста. Доћи ће до повећања губитака у гвожђу ротора али се не очекује прегрејавање јер је побољшано хлађење због повећане брзине окретања која компензира деловање пораста губитака у гвожђу.

Сметње због несиметрија трофазне мреже

Ниједан трофазни систем није идеално симетричан у пракси. Повећани губици и евентуално прегрејавање трофазног мотора настаје због несиметрије у трофазним мрежама. Када се мотор нађе у оваквој мрежи, развија директну и инверзну компоненту обртног момента а резултати су повећани губици и прегрејавање мотора. Заштита која успешно штити ову појаву је температурна и прекострујна заштита.

Пренапони који настају у мрежи могу довести до пробоја изолације на моторима и проузроковати кратак спој који ће онеспособити мотор за даљи рад. Ова опасност се спречава заштитом од пренапона помоћу катодних одводника или сличних елемената.

6.3. СМЕТЊЕ ИЗАЗВАНЕ ДЕЛОВАЊЕМ ОКОЛИНЕ

Битна ствар о којој треба водити рачуна при пројектовању електромоторног погона је хлађење мотора у погону. Ефикасност рада електромоторног погона зависи од спољних услова у којима погон ради. Спољни услови рада неког погона не зависе само од атмосферских прилика већ и од технолошког процеса самог погона. Колико год се водило рачуна при пројектовању неког електромоторног погона, ови услови су непредвидиви, управо због тих промена које могу настати у околини у којој погон ради и проузроковати његову неефикасност.

Код мотора који се хладе преко површине кућишта, када се нађу у задрљаној средини, смањује се њихова ефикасност хлађења. Смањује се расхладна површина мотора са површине кућишта на расхладни зрак (пр. прашина или честице материјала из технолошког процеса, које падају на кућиште мотора) и мотор се прегрејава при номиналном а и при мањем оптерећењу.

Код мотора са воденим хлађењем, често се дешава да до смањеног хлађења дође због нагомилавања каменца кроз расхладне цеви, што проузрокује смањен проток расхладне воде. У оваквим условима рада, долази до прегрејавања мотора. Једина ефикасна заштита мотора од прегрејавања је термичка заштита, јер остале не региструју нежељено загревање мотора.

Код мотора који раде у експлозивним срединама, заштита мора бити знатно сигурнија јер је у питању и заштита радника који раде у погону.

6.4. СТЕПЕН ЗАШТИТЕ ЕЛЕКТРОМОТОРА ОД УТИЦАЈА СПОЉНЕ СРЕДИНЕ

Рад, као и век трајања електромотора, веома зависи од средине у којој се мотор налази. Влага и прашина имају велики утицај на изолацију и сам рад електромотора. Степен заштите који обезбеђује кућиште је IP (International Protection) код, који представља стандард који се примењује код већине електричних апарата широм света.



Слика 6.4.1. Погон тестере

Табела 6.4.1 Најчешће коришћене степен заштите

Друга карактеристична цифра→ Прва карактеристична цифра↓	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0									
1			IP12						
2		IP21	IP22	IP23					
3									
4					IP44				
5					IP54	IP55			

Ефикасност мотора се до скоро мерила и разврставала према различитим стандардима за ефикасност, у различитим земљама света, па је постојала значајна разлика у подацима код произвођача. Баријера за успешну међународну трговину је уклоњена појавом ИЕС јединствених стандарда за мерење ефикасности и класификацију асинхроних мотора.

-ИЕС 60034-1, Ротационе електричне машине- Процена и перформансе.

-ИЕС 60034-2-1, Ротационе електричне машине- Стандардне методе за детерминисање губитака и ефикасност.

-ИЕС 60034-30-1-2014, Ротационе електричне машине- Енергетска ефикасност једнобрзинских, трофазних, кавезних асинхроних мотора.



Слика 6.4.2. Одводњавање тла у руднику



Слика 6.4.3. Погонски транспортни багер

Поменути стандарди су без икаквих модификација одобрени од стране CENELES-а (Европски комитет за електротехничку стандардизацију) као европски стандарди. У нашој земљи су на основу закона о стандардизацији усвојени као важећи српски стандарди.[14]

Побољшања која се постижу у циљу постизања веће ефикасности мотора у електромоторном погону

Последњих деценија, велика пажња је посвећена и много труда је уложено у повећању енергетске ефикасности асинхроних мотора. Међутим променом граничних услова (еколошких, повећаних цена енергије, материјала, као и захтева у погледу минималне ефикасности) и други типови мотора добијају на значају, као што су синхрони мотори са перманентним магнетима на ротору.

Побољшања у погледу материјала, пројектовања и производне технологије

Могућа побољшања се сврставају у две категорије:

- Губици снаге у мотору се морају смањити за исту излазну механичку снагу
- Карактеристичне величине које дефинишу перформансе мотора, као што су полазни момент, превални момент, фактор снаге и струја кратког споја, морају остати у прихватљивом опсегу вредности.

Губици снаге у мотору се могу смањити једноставним додавањем активних новијих материјала бољих карактеристика при пројектовању мотора.

Додавањем материјала при изради магнетног дела, као и намотаја мотора доводи до повећања основних димензија мотора и у складу са тим смањења електромагнетне индукције и густине струје, а тиме се смањују и губици у гвожђу и бакуру за исту излазну снагу. Такође смањењу електромагнетне индукције и густине струје, доприноси и употреба гвожђа са високим квалитетом ламинације, као и употреба бакура уместо алуминијума при изради намотаја. Једини проблем је висока цена.

Крајњи фактор који утиче на енергетску ефикасност мотора је конструктивни и производни процес, који подразумева уске границе толеранције.

Утицај савремених материјала на губитке у мотору

Губици у гвожђу и губици у бакуру су међусобно повезане величине, јер је момент који развија мотор на свом вртилу пропорционалан производу активне компоненте струје ротора и флукса. Повећањем незасићене вредности електромагнетне индукције употребом материјала са већом магнетном пермеабилношћу, омогућује се рад мотора са већом елктромагнетном индукцијом и мањом активном компонентом струје ротора – повећа ће се губици у гвожђу а смањити губици у бакуру.

Мотори имају променљив смер флукса, због чега се користе неорјентисани феромагнетни материјали, најчешће легура челика са силицијумом. Новије легуре које се користе су:

- Легура никла и гвожђа и легура кобалта и гвожђа
- “Soft-magnetic” композити
- Аморфни “nano-crystalline” магнетни материјали

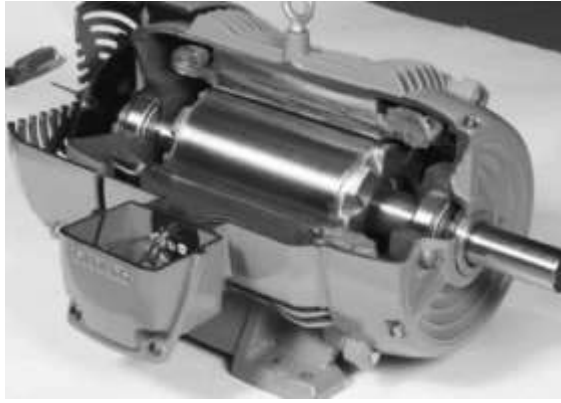
Високо ефикасни магнетни материјали имају следеће карактеристике:

- Велику вредност електромагнетне индукције (велика пермеабилност), смањени губици у бакуру статора;
- Мала проводност, смањена вредност губитака услед вихорних струја;
- Меко гвожђе, мале вредности коерцитивне компоненте магнетног поља, смањени губици услед хистерезиса.

Губици у бакуру ротора су по величини на другом месту код асинхроних мотора, а зависе од фактора који одређују отпорност материјала:

- Проводност материјала од којег је направљен кавез на ротору;
- Попречног пресека проводника;
- Дужине проводника.

Избор високо проводних материјала у серијској производњи мотора је ограничен ценом производње. Роторски кавез асинхроног мотора мање и средње снаге се прави уливањем течног алуминијума у жљебове под притиском.



Слика 6.4.4. Асинхрони мотор високе класе ефикасности са уливеним течним бакром у жљебове ротора

У последњој деценији је употреба бакра, који има 70% већу проводност, добила на значају због препоруке MEPS-а. На тај начин се смањују Цулови губици и постиже се нижа радна температура, што даље утиче на мање димензије вентилатора и повећање радног века мотора. Ради се о технологији која се већ примењује код мотора веће снаге. Проблем код мотора мање снаге је висока температура топљења бакра, због чега није могла да се примени технологија уливања течног бакра у жљебове ротора под притиском до скоро, али постоји и други проблем, висока цена бакра.

Директна замена алуминијумског намотаја бакарним, доводи до извесних проблема у перформансама мотора, које се даље решавају применом различитих легура бакра и другачијим дизајном роторских жљебова.

Повећана ефикасност мотора није једини циљ који треба постићи, већ и одговарајућа цена и перформансе мотора, због тога пројектовање мотора високе ефикасности постаје проблем оптимизације са бројним ограничењима у погледу геометрије и материјала – за решавање се користе FEM ([finite element method](#)) софтверски алати.