

ОТКАЗОУСТОЙЧИВА КОНФИГУРАЦИЯ ЗА КОМПЮТЪРНО БАЗИРАНИ СПИРАЧНИ СИСТЕМИ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИ ВОЗИЛА

Васко Николов
va_r_nikolov@abv.bg

ДП „Национална Компания Железопътна Инфраструктура”, София,
България

Ключови думи: спирачни системи, преосигуряване, отказоустойчивост, компютърни системи за управление.

Резюме: В статията е представена компютърна конфигурация, която е подходяща за разпределени системи за управление, в които е необходима отказоустойчивост. Конфигурацията е проектирана за осъществяване главно със стандартни компоненти с изключение на едно сравнително малко устройство, наречено блок за отказоустойчиво управление (FTCC), което изисква по-голяма преосигуреност. Блокът сближава контролните контури толкова плътно с контролираното физическо устройство, колкото е възможно, печелейки от излишния изчислителен капацитет, с който една разпределена система разполага, но в същото време премахвайки въздействието на нарасналия интензитет на отказите от нарасналия брой обработващи елементи.

1. Въведение

През последните няколко десетилетия компютрите намират все по-широко приложение в железопътния транспорт. Те се използват за управление на железопътните сигнали, както и като бордови компютри. Железопътните сигнали и автоматичното управление на влаковете поставят високи изисквания към безопасността. Устройствата, прилагани на борда на влаковете, все още не са били в обсега на съответните изисквания, но тъй като все повече и повече функции се компютризират, нуждата от надеждност все повече ще нараства. Един пример за приложение на компютърните системи за управление са влаковите спирачки. Днешният начин на спиране на влакова композиция е доказано високо надежден и е служил добре в продължение на повече от сто години. Това от друга страна е добър пример за случай, при който компютрите могат да повишат производителността и функционалността на спирачните системи и в по-общ план на системите за безопасност. Една компютърно базирана система за управление може да даде предвидимо време за реакция и по този начин да се подобри управлението на спирачните процеси в сегашните пневматични системи. В същото време това ще осигури големи преимущества като намалено износване на колелата и релсите, дължащо се на по-адаптивни и икономични спирачки, както и по-малко на брой механични и пневматични компоненти вследствие замената им с електронни елементи. Това също така ще даде възможност да се оптимизират

междуремонтните пробези поради възможностите за диагностична функционалност, упражнявана от софтуера. Очевидно една компютърно базирана конфигурация за управление и контрол може значително да подобри действието на системата, използвана до днес, т.е. структури, базирани на промяната на въздушното налягане или проста вкл.-изкл. модулация на една или повече влакови кабелни връзки за предаване на команди за управление на спирачките във влака/возилото. Важният въпрос при прилагане на критична за безопасността функционалност, каквато е функцията на влаковата спирачка, е как да се постигне задоволително ниво на безопасност, чрез използване на съвременните технологии.

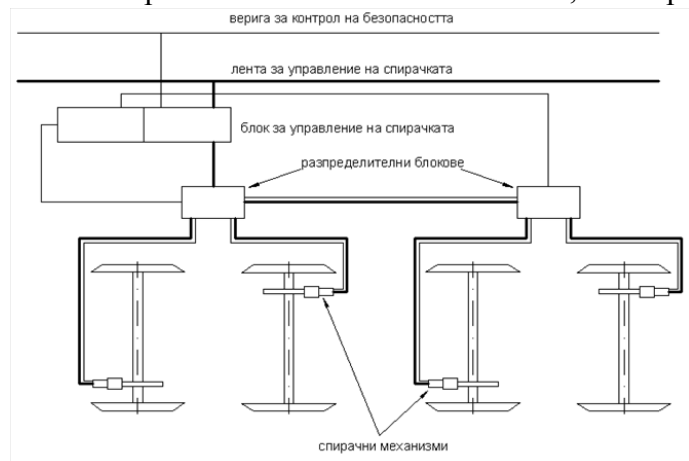
2. Описание на системата

2.1. Основни функции на спирачната система

Спирачната система осигурява няколко функции. Основните изисквания са в зависимост от типа на возилото, т.е. изискванията за спирачната система на товарните вагони се различават значително от изискванията за леки пътнически возила и трамваи. Влаковата спирачна система трябва да има непрекъснато действие, т.е. да бъде в готовност за задействане по всяко време. Системата трябва да е автоматична, т.е. влакът непрекъснато трябва да е управляем. Например, при отсъствие на контрол от машиниста, влакът трябва да спре на възможно най-късото разстояние. Системата трябва да е неизтощаема, т.е. способността за задействане на спирачката трябва да е налична винаги, независимо от натоварването, терена, околната среда и други условия, които биха могли да окажат влияние на техническата годност на спирачната система.

2.2. Обща конструктивна система

Общата конструктивна схема на системата представлява електромеханична спирачна система за четиросни возила. Тя притежава безотказни свойства, т.е. при отказ на системата за безопасност, сигнализиран от веригата за контрол на безопасността или отказ в единицата за управление на спирачката на возилото (VCU), цикълът за безопасност ще бъде потвърден, което означава, че текущата верига ще бъде прекъсната. Тази информация ще достигне до всички спирачни апарати почти едновременно и ще приложи към тях максимална спирачна сила. По този начин безотказното състояние е това, при което към всички оси ще бъде приложено максимално спирачно усилие (фиг. 1).



Фиг. 1

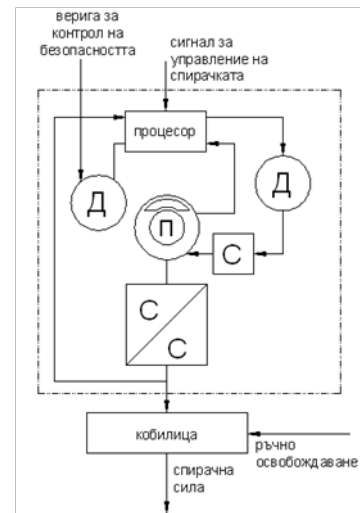
2.3. Механизъм на спирачната сила

Физическият спирачен механизъм на общата система е електромеханично устройство, което контролира една кобилица. Това е крайното устройство, което на практика прилага спирачната сила към спирачния диск (фиг. 2). Тази обособена единица използва два отделни двигателя (Д). Първичният двигател се използва за управление на кобилицата (за прилагане и отнемане на механичната сила), докато вторичният двигател се използва за запазване на механичната енергия в пружината (П).

В случай на отказ пружинната сила се освобождава чрез механичните съединители (С). Тази сила е достатъчна да приложи максимална спирачна сила в спирачните дискове. По време на нормалната експлоатация първичният двигател се управлява от централния процесор, който се свързва с блока за управление на спирачката (BCU) чрез сериен комуникационен порт.

2.4. Обхват и цели

Управлението на динамиката на влаковата композиция може да бъде описано като йерархия на нивата за управление. Идеята за концептуалното управление на спирачката е то да бъде предназначено за прилагане на управление чрез кабелна връзка. Това означава, че се очаква да се прилагат и неелектронни носители на информация. Изисквания за безопасност и надеждност са много високи, като от друга страна икономическите показатели (разходи за производство и поддържане) са силно подчертани. Въпреки, че функциите на отделните физически механизми са от значение за сигурността, тук те няма да бъдат разглеждани. Въпреки това се приема, че возилото е оборудвано с повече от един физически изпълнителен механизъм. Всъщност ключовият момент е да се покаже конфигурация за управление на спирачката, която може да се прилага най-вече със стандартни електронни компоненти и въпреки това да осигурява адекватна надеждност на спирачната система.



Фиг. 2

2.5. Изисквания към преработената система

Системата за управление на спирачката е приложение, което е решаващо за безопасността. Отказите на системата могат да доведат до опасност от инциденти с човешки жертви и сериозни щети. Като основен приоритет в нея най-напред се прилагат изискванията за надеждност. Системата за управление на влаковата спирачка трябва да осигурява няколко функции [6], [7]. Използването на електронни устройства за критичните за безопасността приложения са обект на стандартизация [2], [8].

От гледната точка на производителите, могат да се определят следните изисквания към системата за управление на спирачката:

- *Тегло и обем*: елементите трябва лесно да се приспособяват към различни типове талиги. Това означава, че те трябва да са малки, компактни и да имат малка маса;
- *Поддръжка*: елементите трябва да са лесни за монтиране и свързване. Те трябва да могат лесно да се ремонтират по време на експлоатация;
- *Влияние върху околната среда*: елементите трябва да са конструирани така, че да имат възможно най-малко отрицателно влияние върху околната среда;
- *Икономичност*: елементите са силно чувствителни към допълнителни разходи. За разлика от автомобилните устройства (например) те не се произвеждат в голям обем. От друга страна е вероятно да имат по-дълъг срок на експлоатация;

Анализът на изискванията разкрива някои ключови въпроси по отношение на дизайна:

- *Икономичност*: преработената система не трябва да бъде скъпа за производство (изработване и тестване) и доставка (монтиране и свързване). Поради разнообразието на софтуерните модули може да се очакват различни варианти на изпълнение на едни и същи елементи. Като компромис тя става привлекателна за проектиране като система със стандартни компоненти, доколкото това е възможно,

а компонентите трябва да са налични през дълъг период от време. Това ще намали разходите за развойна дейност и производство.

- *Поддръжка:* преработената система трябва да осигурява обширна поддръжка на средства за диагностика. Тези средства трябва да са конструирани по начин, който улеснява и опростява диагностиката, оптимизира интервалите за поддържане и осигурява подробна информация за необходимите резервни части. Системата зависи в голяма степен от добре проектиран софтуер и подходящи сензори за установяване на общото състояние на блока, както и на състоянието на ключови негови елементи.

3. Концептуални конфигурации

Компютърно базирани системи за наблюдение, управление и контрол се използват от няколко десетилетия при самолетите и космическите кораби. Проектирането, производството и поддържането на такива системи обикновено е много скъпо поради малките размери на елементите, съчетано с изискването за много високо ниво на безопасност. През следващите години може да се очаква развитие на подобни технологични проекти и при наземните превозни средства. Изискванията за безопасност за стационарните компютърни системи за управление са подобни на тези за авиацията. Анализ [5] на използваните в САЩ сухопътни превозни средства показва, че дори при очаквания от много малко вероятни критични за безопасността причини от порядъка на 10^{-9} отказа на час, на риск се излагат 200×10^6 превозни средства. Това поставя високи изисквания за това как да се разглеждат различните видове откази и да се поддържа минимално ниво на безопасна експлоатация. За системите за безопасност вероятността за катастрофален отказ трябва да бъде по малка от $10^{-9}/h$. Високите изисквания за безопасност и фактът, че нито един отказ не може да бъде приет при проектирането означава, че е задължително използването на голямо количество хардуер. Макар че има прилики във функционалните изисквания и изискванията за безопасност, сумата на разходите за висококачествено възпроизвеждане на микропроцесорна система за управление, използвани в авиацията е неприемлива за наземни системи за управление с масово приложение. Така става ясно, че е необходима нова компютърно базирана конфигурация за управление динамиката на превозните средства. Тя трябва да осигурява разумни разходи за нови конструкции и да е подходяща за масово производство с цел намаляване цената на всяка произведена единица. Конфигурацията трябва да се насочи към изискванията за функционалност и надеждност, но трябва се подчертае също и проблемът с икономията на ресурси. Избраната конфигурация трябва и занапред да поддържа една истинска спирачна система без използването на механична информационна система и скъпи резервни части. В крайната система механичните или пневматичните устройства трябва да се използват само за разпределяне на необходимите сили за задържане или разхлабване на спирачката.

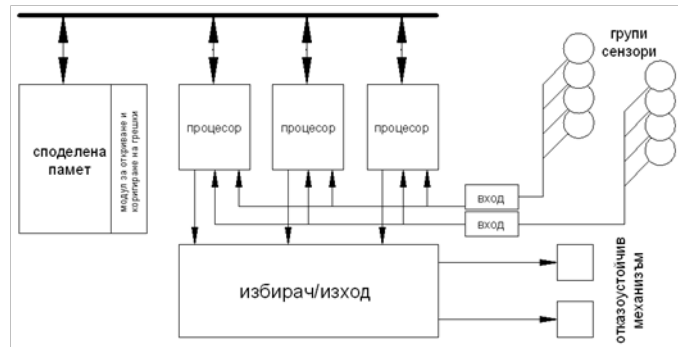
Обектът на разпределеното управление се изучава от много години. Определени са някои проблемни зони и са положени значителни усилия в изследванията на някои от зоните, като се фокусира по-специално върху системата за сигурност и оценка на безопасността. Спирачната функционалност е разпределена, т.е. единично жп возило е оборудвано с няколко устройства, прилагачи физически спирачната сила. Намаляването на скоростта може да бъде постигнато и без калодки или дискове. Наскорошно изследване [1] буди надежди за прилагане на чисто електрическа спирачна система. С други думи, системата за управление на спирачката трябва да преобразува надеждни инструкции от системата за управление на возилото в надеждни стойности за механизмите и следва надеждно да достави тези стойности до механизмите.

4. Видове решения за отказоустойчива система

4.1. Централизирано-модулно преосигуряване

В този случай се използват няколко блока за управление. Всички блокове за управление, входно-изходна периферия и памет са разположени в отделни кутии, поставени една до друга. Няколко извода свързват блоковете със сензорите, а механизмите са свързани директно към входно-изходните периферни устройства на системата. Обикновено сензорите са дублирани за повишаване на надеждността. По

същата причина, както и за избягване на риска в случай на повреда трябва да се използват механизми с безотказни свойства. Фигура 3 илюстрира тройно модулно преосигуряване (TMR) с преосигурен вход и сензорна група, както и преосигурен отказоустойчив механизъм. Отделен избирач се използва за определяне на най-голямата стойност, която трябва да бъде изпратена към механизма. Всеки процесор пресмята същите изходни величини, като е възможно да се използва и различен софтуер. Процесорите могат да използват споделена памет с допълнителна възможност за откриване и коригиране на грешки в комуникацията процесор – памет. Централизираното решение се прилага от много години в космическата и самолетна техника и е доказало своята висока надеждност в много случаи.



Фиг. 3

- Някои от по-важните изисквания към системата са следните:
- Нито един отказ от какъвто и да било вид не трябва да причинява разпадане на системата под минималната конфигурация, отговаряща на изискванията;
 - Нито един отказ не бива да води до предаване на грешни резултати без указание за повредата;
 - Напълно автоматично управление на свръхинформацията;
 - Средно време за експлоатация между профилактичните дейности – 25 000 часа при 13,6 часа работа на ден.

Главните недостатъци на конфигурацията са тяхната сложност и огромната цена за доставка на такъв тип система. Следователно тя не е добро решение за спирачната система на релсовите возила.

4.2. Господстващо-подчинено решение

Това е двойна система с два компютъра, осигуряващи една и съща функционалност. Те могат да откриват грешки, което създава изходен сигнал към изпълнителния блок, който избира изчислителния резултат от господстващото или от подчиненото устройство. Като алтернатива един оператор може да действа като изпълнител и да превключва от едното устройство към другото в случай на отказ на компютъра.

Европейската система за контрол на полетите на AIRBUS 340 се състои от пет компютъра: три главни и два спомагателни. Компютрите използват различен софтуер и хардуер. В тази система един от главните компютри е активен, друг чака готов на разположение, а трети е свободен. Така като резултат има няколко различни компютъра

със собствени софтуерни пакети, използвани за извършване на функцията за контрол на полетите когато функционално един би бил достатъчен.

4.3. Разпределено решение

Чрез добавяне на общ интерфейс за комуникация обработката на компютърното управление може да се разпределя между няколко повече или по-малко независими компютри, понякога наричани възли в системата. Възлите могат да са идентични или от различни типове в зависимост от изпълнението, големината консумацията на енергия, цената и др. Една система може да бъде разпределена по много причини.

Разпределените решения са атрактивни в системи, където сензорите и механизмите са разпределени, защото те намаляват кутиите. Един възел може да се приложи с отделен микроконтролер, който осигурява ефикасност по отношение на големина, консумация на енергия и цена. След като към системата бъдат добавени нови възли, изчислителният капацитет на системата ще нарасне линейно. По този начин се увеличава отказоустойчивостта на системата. Въпреки това, разпределеното решение може да се окаже уязвимо, тъй като то може да изложи определена точка за отказ; една неизправна единица за комуникация или микропроцесор може да доведе до неизправност в определен възел. Уязвимо място представляват също и комуникационната шина и приложените към нея контролери. Всяка комуникационна система въвежда забавяния, които могат да допуснат нарушения и ограничения в реално време. Съществуват само няколко протокола, способни да се справят с високите изисквания в реално време и по този начин въпреки потенциала, разпределените системи за управление са рядкост в критични за безопасността приложения.

4.4. Размяна

Първите две решения не са напълно подходящи за новите конструкции за управление на спирачките. Ако което и да е от тях е избрано за централизиран блок за управление на спирачките резултатът би бил система, която се различава съвсем малко от сегашната система и вероятно би била не по-малко скъпа от нея. От такова решение няма да се спечели нищо. В същото време не е съвсем привлекателно всеки механизъм да бъде оборудван с отделна конструкция от ко йго и да било от двата вида. Това вероятно би било и далеч по-скъпо.

В разпределените блокове за управление на спирачките има няколко привлекателни качества. Хардуерът във всеки възел може да бъде еднакъв. Всеки възел в разпределеното управление може лесно да се интегрира с отделен механизъм и няма нужда от отделен блок за управление на спирачките с придружаващия го блок за разпределение както е в общата система. Резултантната система е по-евтина за производство и по-лесна за поддръжка. По този начин едно разпределено решение е подходящо по отношение на икономическите изисквания; въпреки това окончателната конструкция трябва да се направи отказоустойчива, за да удовлетвори изискванията за надеждност и безопасност.

Едно возило винаги е оборудвано с няколко механизма. По този начин основната съкратена конфигурация за изграждане на отказоустойчива система може да бъде създадена чрез избора на хардуер за разпределено решение. Въпросът е как да получим пълното предимство от естественото преосигуряване в разпределената система при минимална цена.

4.5. Изчистена разпределена конфигурация

Разглежда се леко модифицирана разпределена конфигурация чрез добавяне на блок за отказоустойчиво управление и обратна връзка (FTCC). Главните цели на този нов блок са да се направи възможно да се използва напълно естественото преосигуряване на компонентите и да се осигурят приспособими безотказни състояния от спирачната система на возилото [3].

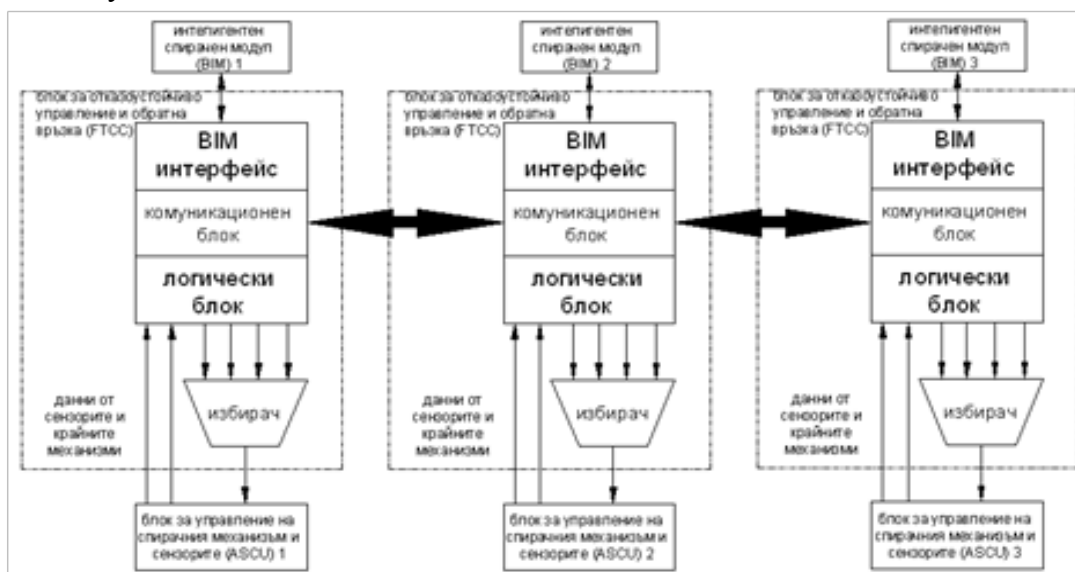
4.6. Организация на крайните изпълнителни механизми

Изпълнителните механизми са организирани в три модула:

- Интелигентен спирачен модул (BIM);
- Блок за управление на спирачния механизъм и сензорите (ASCU);
- Блок за отказоустойчиво управление и обратна връзка (FTCC).

Модулът BIM може да бъде изграден като вградена конвенционална система (микропроцесор, памет, комуникационни блокове и портове). Софтуерът е проектиран да достигне оптимална функционалност на спирачката, напр. да компенсират износването на дисковете и накладките, както и да прилага противоположна защита на колелата. Този модул трябва да е способен да доставя диагностична информация за физическата спирачна система до бордовия компютър на возилото. Такава диагностика често способства за оптимизиране поддръжката на спирачките. Модулът може да управлява всички комуникации под надзора на бордовия компютър и да извършва обработка на всички данни, необходими за преобразуване на командите от бордовия компютър в подходящи инструкции (задържане и разхлабване на спирачката и т.н.).

Блокът за управление на спирачния механизъм (ASCU) обикновено преобразува зададената му числова стойност (информация за спирачната сила) в механична сила и прилага спирачната сила към диска, като по този начин осъществява действителната спирачна функция. Блокът също така осигурява обратна връзка за действително приложената спирачна сила, както и за действителната скорост на въртене на оста. Очевидно това е една от най-важните части в цялата система и тя трябва да е изключително сигурна. Но подробна дискусия за прилагането на този блок не е предмет на настоящата работа, следователно приемаме, че това е един идеален блок и оставяме тези дискусии за по-късно.



Фиг. 4

Блокът за отказоустойчиво управление и обратна връзка (FTCC) обикновено разпределя важните данни между физическите механизми в групата (фиг. 4). Този модул също така доставя крайните стойности към блока за управление във всеки механизъм. Тъй като данните, пресметнати в интелигентния модул, се събират във всеки блок FTCC, той може да формира главното решение в случай на противоречие между пресметнатите стойности. По този начин този блок действа като защитна стена, предотвратявайки възникването на грешки от откази в микропроцесора и предаването им към физическия механизъм на спирачката.

Комуникационната подсистема използва протокол за многократен достъп с разделяне по време (TDMA) за разпределяне на данни между отделните блокове FTCC. Докато TDMA обикаля всеки възел, той предава съответни стойности на своите сензори и механизми. По този начин при завършване на комуникационния цикъл всички стойности на сензорите и механизмите са обменени, като по този начин отразяват последните проби.

Блокът за отказоустойчиво управление (FTCC) генерира и използва вътрешно два сигнала (*MP* и *Comm*) за определяне на неговия режим на работа:

- *Comm* (комуникационен блок): когато получи съобщение, вътрешните данни се актуализират и състоянието на предаващия възел се настройва на режим „изправен“; стойностите, получени от това съобщение могат евентуално да бъдат използвани в избирателния процес. Ако при най-малко един възел съобщенията са получени правилно, този сигнал се настройва като „ВЯРНО“ (TRUE) при изпълнението на комуникационния цикъл. Сигналят е „НЕВЯРНО“ (FALSE) ако блокът цялостно е отказал да изпълни комуникационния цикъл. Ако сигналят е „НЕВЯРНО“, тогава блокът FTCC ще поеме дефектиралата комуникационна подсистема и ще въведе алтернативен режим. Тъй като този сигнал се проверява при всеки комуникационен цикъл, системата ще опита незабавна реинтеграция и в най-простия случай, а именно краткотрайна грешка при прехода, реинтеграцията ще се проведе още при следващия цикъл.
- *MP* (микропроцесор): сигналят е нагласен на „ВЯРНО“ (TRUE) и пазителят започва всеки път когато интелигентният спирачен модул ВІМ изпълнява протокола на опресняването му – обикновено в края на всеки комуникационен цикъл. Ако ВІМ откаже да се съгласи с протокола на пазителя, този сигнал ще бъде настроен на „НЕВЯРНО“ (FALSE); блокът за отказоустойчиво управление и обратна връзка (FTCC) ще приеме, че ВІМ е повреден и ще вкара алтернативен режим. Този сигнал се проверява в края на всеки цикъл и така на ВІМ е позволено да опита да се реинтегрира незабавно при отказ.

В ситуация, в която и двата елемента са в режим „НЕВЯРНО“ (FALSE), ще се получи алтернативно предаване на данни, т.е. формално блокът за отказоустойчиво управление и обратна връзка (FTCC) ще промени режима на работа. Възможните режими са:

- **Нормален режим** – Цикълът *нормален режим* се стартира когато положението на сигналите *MP* и *Comm*, генерирани от предишния цикъл, са настроени на „ВЯРНО“ (TRUE). Данните от Интелигентните спирачни модули (ВІМ), както и данните от всички други възли в групата, събрани по време на предишния цикъл, са преминали към избирачите и оттам към механизмите. Тъй като няма засечени грешки по време на последния комуникационен цикъл, системата действа като конфигурация с централизирано модулно решение; данните, пресметнати във всички механизми, се използват в множество решения за всяка стойност на механизма. Това предполага, че софтуерът трябва да е конструиран по такъв начин, че да изчислява стойности за всички механизми, изграждащи групата.

- **Местно контролиран режим** – Местно контролираният режим се въвежда когато комуникационната лента е отказала да предава данни през лентата на блока за отказоустойчиво управление (FTCC) по време на предишния комуникационен цикъл (*Сотт* е „НЕВЯРНО”), но местният микропроцесор работи нормално (*МР* е „ВЯРНО”). Данните от интелигентния спирачен модул (ВІМ) се копират към всички входове на избирача. Това е еквивалентно на една проста система, т.е. на система без преосигуряване; известно е обаче, че интелигентният спирачен модул (ВІМ) е оттренирал пазителя да опреснява протокола, който се използва като гаранция, че стойностите са изчислени правилно.
- **Съседно контролиран режим** – Когато местният микропроцесор откаже (*МР* е „НЕВЯРНО”), но комуникационният блок работи нормално, контейнерът за стойностите на интелигентния спирачен модул (ВІМ) остава непроменен. Другите контейнери са с актуализирани данни от комуникационния блок. Тъй като има четири механизма в групата, три от тях все още работят нормално (предполага се, че само един е отказал). Мнозинството избирачи ще пренебрегнат отклоняващите се стойности от местния ВІМ и ще изпратят стойности от работещите възли към физическия механизъм. По време на следващия комуникационен цикъл блокът за отказоустойчиво управление (FTCC) ще обозначи отказалия възел като неактуализиран, възелът изпраща копие от стойността на предишния цикъл, но със специална забележка. Това позволява на избирачите да изключат старата стойност от избирането по време на следващия цикъл и по този начин се предвижда разрешаване дори при втори отказ.

Като специален случай, когато всички други възли са изключени от избирането, блокът FTCC се променя на краен възел, а именно работи в самостоятелен режим.

- **Самостоятелен режим** – Самостоятелният режим е въведен с цел да управлява няколкото случая, в които никой от местните или комуникационните блокове не работи нормално. В случай на временно или периодично възникване на отказ състоянието на системата ще се влоши по време на устойчивото влияние на грешките. При отсъствие на смущения тя незабавно ще се възстанови по време на следващия комуникационен цикъл и ще влезе в контролиран режим (обяснен по-горе). Ако режимът остава непроменен, това показва повече или по-малко пълно информационно затъмнение, което означава, че всички микропроцесори в групата са неизправни или комуникационната система на FTCC е изключена и местният микропроцесор е дефектирал. Допуска се, че все още има мощност за снабдяване на блока за отказоустойчиво управление (FTCC) и блока за управление на спирачния механизъм и сензорите (ASCU), стойността на механизма е избрана от вътрешно отказобезопасно състояние на избирача.

Отказобезопасното състояние на избирача може да се промени от работата на интелигентния спирачен модул (ВІМ) и предварително да се настрои на желаното отказобезопасно поведение.

5. Заключение

При преустройството оригиналните блокове за управление на спирачката (BCU) са заменени от четири интелигентни спирачни модула (ВІМ), които са интегрирани във физическите механизми. По този начин цената на микрокомпютъра (централен процесорен блок, блок за памет и комуникация и входно-изходен блок) се увеличава грубо четири пъти. От друга страна необходимостта от отделен корпус за блока за управление на спирачката (BCU), както и необходимостта от отделно разпределение на блоковете отпада. Тези спестявания компенсират значително повече от разходите по дублиране на компютрите. В същото време излишната микрокомпютърна

конфигурация се използва за прилагане на отказоустойчивост чрез блока за отказоустойчиво управление (FTCC).

Представеният модул подобрява както функционалността, така и надеждността на системата. Програмираното отказобезопасно поведение е добавено като опция.

Блокът FTCC прилага концепцията на разпределения контрол и въпреки относително ниската му сложност той може да добави значителна надеждност и безопасност към спирачната система. В същото време тя ще повиши надеждността. Използването на блока FTCC само леко би могло да намали стойностите на спирачната сила на спирачната система, използвайки наличното преосигуряване; при единичен отказ в който и да е от възлите спирачните характеристики ще бъдат запазени.

Първата спецификация на блока FTCC, използваща стандарта VDHL вече е приложена успешно. Функционалността ѝ е проверена в един прост тест, чрез използването на четири възела. Това изпълнение е важно, защото може да донесе ценен опит поради очакваната интензивност на отказите.

Понастоящем блокът FTCC е реконструиран и са подготвени спецификациите за неговата втора версия. В нея усилията ще бъдат насочени към достигане на модулна конструкция с обща спецификация на частите, които изграждат блока. Това ще формира базата на напълно отказоустойчив дизайн, който може след това да бъде приложен и допуснат в експлоатация.

Литература

- [1.] **Ashiya, M., Sone, S., Sato, Y and Kaga, A.** Application of Pure Electric Braking System to Electric Railcars. In Proceedings 6th International Workshop on *Advanced Motion Control*, 30 March – 1 April 2000, pp. 163-168.
- [2.] **EN 50155:1995** *Railway Application, Electronic Equipment Used on Rocking Stock.*
- [3.] **Johansson, R.** A fault tolerant architecture for brake-by-wire in railway cars. Technical Report 15, Chalmers Lindholmen University College, December 2003.
- [4.] **Johansson, R.,** A Fault-Tolerant Architecture for Computer-Based Railway Vehicle Brake Systems, Chalmers Lindholmen University College, F00704, IMechE 2004.
- [5.] **Koopman, P., Tran, E. and Hendrey, G.** Toward Middleware Fault-Injection for Automotive Networks. In proceedings of the 28th International Symposium on *Fault-Tolerant Computing System*, Munich, Germany, June 1998, pp 78-79.
- [6.] **prEN 13452-1:1999E** *Railway Application-Braking-Mass Transit Brake System, Part 1: Performance Requirements.*
- [7.] **prEN 13452-1:1999E** *Railway Application-Braking-Mass Transit Brake System, part 2: Methods of Test.*
- [8.] **prEN 50125-2:1998** *Railway Application, Environmental Conditions for Equipment, Part 1.*