

РАЗВИТИЕ НА СИЛОВИТЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И РЕЛЕЙНИТЕ ЗАЩИТИ В ЕЛЕКТРИФИЦИРАНИЯ ЖЕЛЕЗОПЪТЕН ТРАНСПОРТ

Иван Ангелов
ivanang@tu-sofia.bg

**Технически университет – София, 1000 София, бул. „Климент Охридски” № 8
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: *Силови преобразуватели за електрически транспортни средства, Релейни защиты, Импедансни защиты.*

Резюме: *Електроснабдяването в електрифицирания железопътен транспорт представлява сложна система, чрез която трябва да се пренася тягова електроенергия до транспортните средства. При настъпване на нежелани аварийни ситуации по тяговата мрежа или в подстанцията трябва да се изолира (изключи) участъка с аварията без да се прекъсва работата по другите фидерни зони. В доклада е направен преглед на силовите преобразуватели в локомотивите и тяхното влияние върху работата на защитите в тяговите подстанции. При развитие на силовите преобразуватели в тяговият подвижен състав се налага да се модернизира и защитната апаратура за избягване на неселективни изключения на изводи.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Някои общи сведения за електрификацията в железопътния транспорт у нас:

- напрежение на контактната мрежа: 25kV, 50Hz, еднофазно;
- захранващо напрежение от електроенергийната система: 110kV еднофазно;
- мощност на локомотивите: 4 до 7 MVA;
- мощност на тяговите трансформатори в подстанциите: 8 до 20 MVA
- проектна скорост на движение 120km/h, като след модернизация или в новопостроени участъци достига 200km/h;
- срок на експлоатация на локомотивите 30 и повече години;

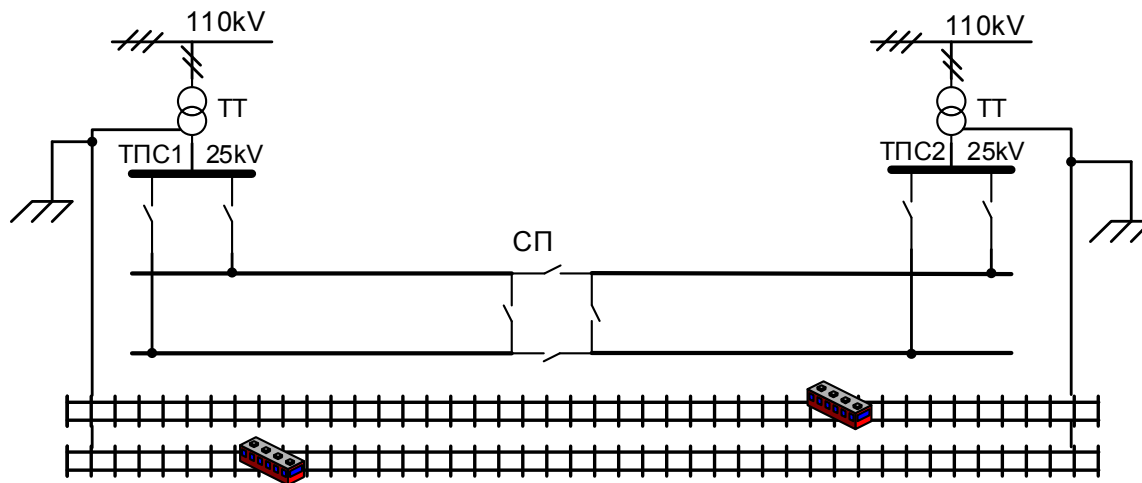
За електрифицираните линии на 25kV промишлена честота:

- от всички електрифицирани ЖП линии по света тези с напрежение 25kV и промишлена честота са 45%, като общата им дължина е около 106`500km;

СХЕМА НА ЗАХРАНВАНЕ ПРИ ДВУПЪТЕН УЧАСТЪК

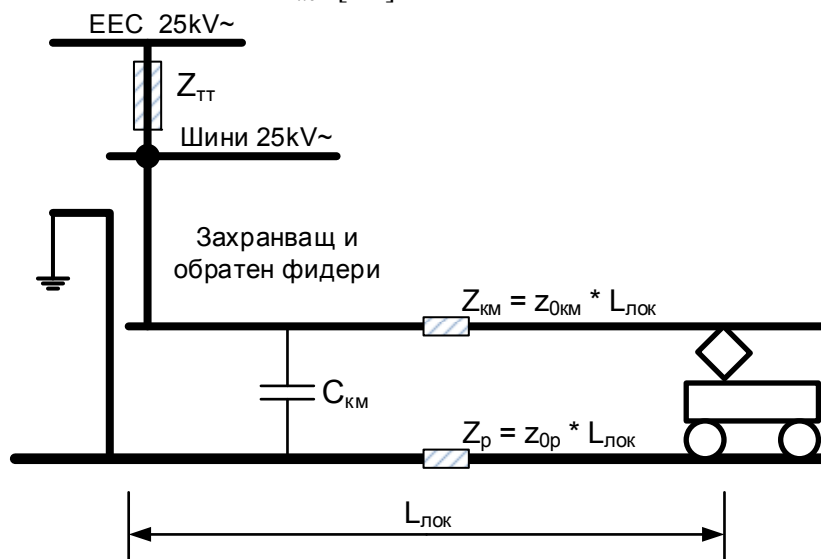
В общ вид схемата при захранване на двупътен участък между две тягови подстанции е показана на Фиг.1. За опростяване на схемата са показани само изводите към фидерите в едната посока за всяка от тяговите подстанции (ТПС) и е начертан само единият от тяговите трансформатори (ТТ) в подстанцията. Надлъжен паралел между съседни подстанции и/или напречен паралел между двата пътя може да се комутира в секционният пост (СП). При еднопътен участък схемата на захранване е подобна на

показаната, като в ТПС има само по един извод и прекъсвача в СП е един. Следователно при еднопътен участък двете ТПС могат да работят само в паралел помежду си.



Фиг.1. Схема на захранване при двупътен участък – общ вид

Всеки от фидерните участъци на ТПС може да бъде начертан със заместваща схема с импедансите на отделните му елементи. Заместваща схема на фидерен участък със стойности приведени към вторичната страна на тяговия трансформатор е показана на Фиг.2. Тяговият трансформатор е заместен с импеданса си $Z_{ТТ}$. Захранващото напрежение от електроенергийната система (ЕЕС) е приведено към вторичната страна на ТТ – 25kV~. Импеданса на захранващия и обратния фидери се пренебрегва поради малката стойност и не е показан на схемата. Разстоянието от товара (локомотива) до тяговата подстанция е означено с $L_{лок}$ [km].



Фиг.2. Заместваща схема на фидерен участък.

Импеданса на контактната мрежа ($Z_{км}$) до товара е:

$$Z_{км} = z_{0км} \times L_{лок} \quad (1)$$

където $z_{0км}$ е специфичния импеданс на контактната мрежа [Ohm/km].

Съответно импеданса на релсовия път е:

$$Z_p = z_{0p} \times L_{лок} \quad (2)$$

тук z_{0p} е специфичния импеданс на релсовия път [Ohm/km].

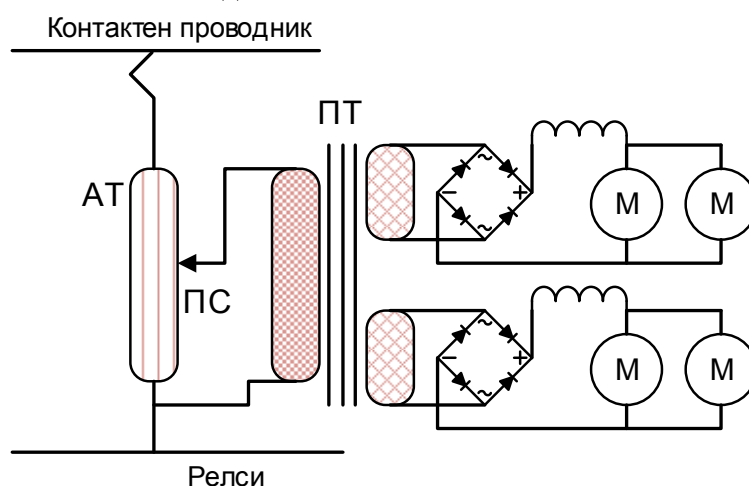
Импедансите получени от (1) и (2) плюс импеданса на тяговия трансформатор Z_{TT} формират импеданса на тяговата мрежа (Z_{TM}) до товара, респективно късото съединение:

$$Z_{TM} = Z_{km} + Z_p + Z_{TT} \quad (3)$$

При авария (късо съединение) по тяговата мрежа големината на тока зависи от (3). Понеже меренето е на шините в ТПС, то параметрите до мястото на авария зависят от разстоянието и се определят само от (1) и (2).

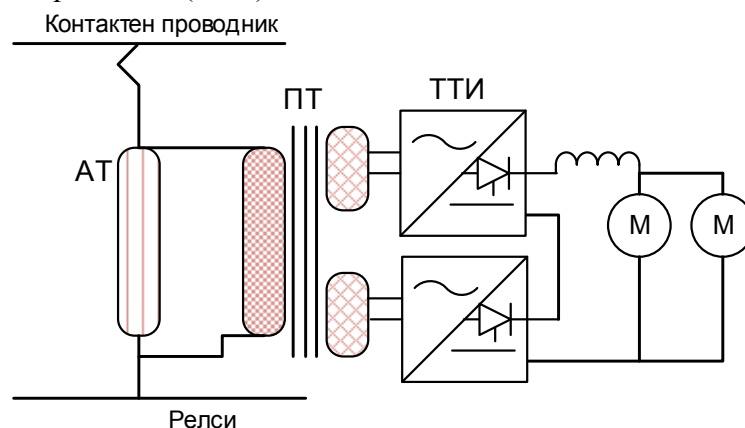
ТОКОИЗПРАВИТЕЛНИ ЛОКОМОТИВИ

В голямата си част тяговите машини са „токоизправителни“. На Фиг.2 е показана в опростен вид силовата схема на токоизправителен локомотив. Автотрансформатора (АТ) с превключвателя на степени (ПС) променят напрежението подавано към понижавачия трансформатор (ПТ), който е с две вторични намотки. Всяка от вторичните намотки на ПТ, след изправяне на напрежението, захранва по една двойка постояннотокови тягови двигатели.



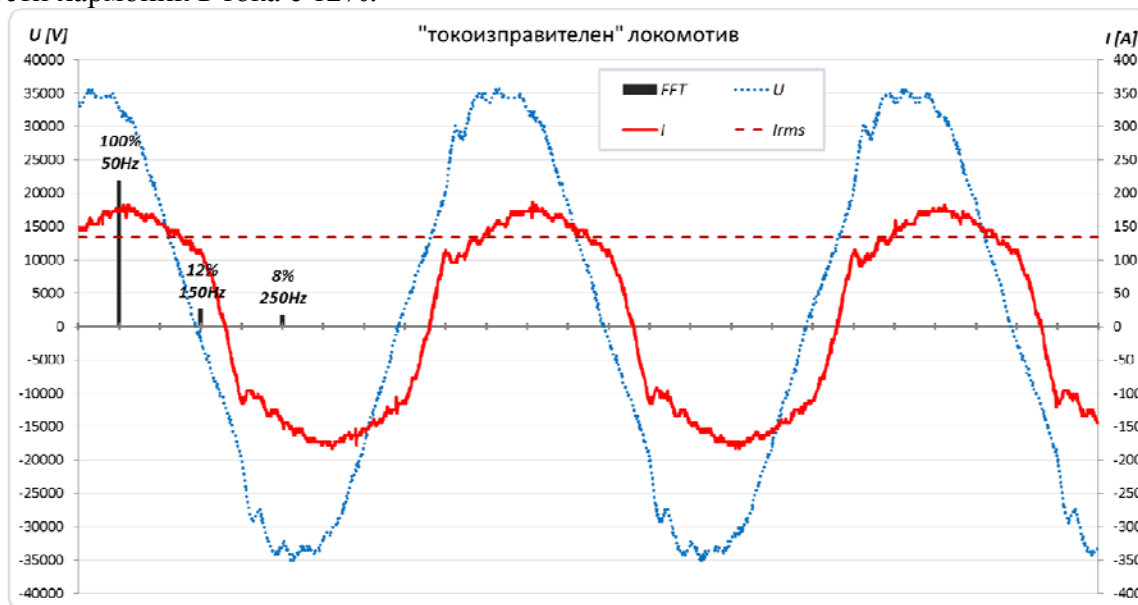
Фиг.3. Опростена силова схема на токоизправителен локомотив

Малка част от токоизправителните локомотиви са модернизирани, като неуправляемите токоизправители са заменени с управляеми (тиристорни) с двузоново регулиране. Схема на модернизиран локомотив е показана на Фиг.4. Напрежението към групата от два тягови двигателя се регулира от два последователно свързани тиристорни токоизправителя (ТТИ).



Фиг.4. Схема на модернизиран токоизправителен локомотив

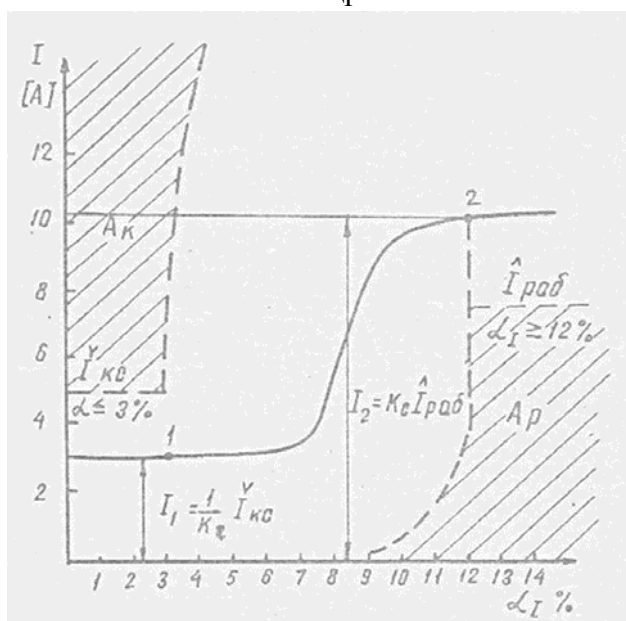
Всички токоизправителни локомотиви имат характерни „изкривявания“ в тяговия си ток поради наличие на нечетни хармоници. Причината е наличието на нелинеен елемент – токоизправител а най-силно са изразени 3-ти и 5-ти хармоници. Осцилограма на ток и напрежение на шините в ТПС е показана на Фиг.5. Участието на трети хармоник в тока е 12%.



Фиг.5. Запис на ток и напрежение при токоизправителен локомотив

ЗАЩИТИ ПРИ ТЯГОВ ТОК ОТ ТОКИЗПРАВИТЕЛНИ ЛОКОМОТИВИ

За защита на изводите в ТПС се използва релейна защита с токова отсечка (ТО) комбинирана със специализирано реле (РТС) реагиращо на ток в зависимост от наличието и големината на трети хармоник. Характеристиката на тока на задействане (I) в зависимост от процентното съдържание на трети хармоник (α_I) за реле РТС е показана на Фиг.6. Застрихованата зона означена с A_K е зоната на къси съединения.

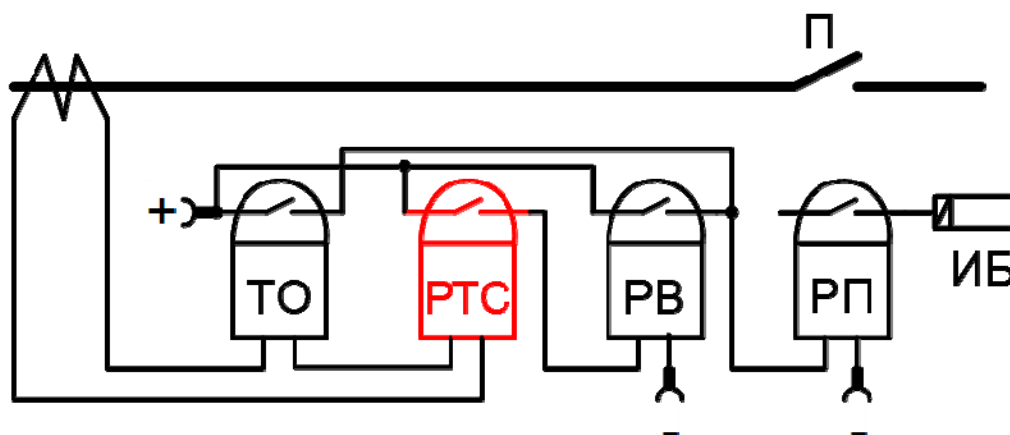


Фиг.6. Характеристика на РТС

Работните токове, при съдържание на трети хармоник над 9%, попадат в зоната означена с A_P . Характеристиката на реле РТС е ес-образната крива между точки 1 и 2. Изключването на прекъсвача при задействане на РТС става с времезакъснение подобно на максималнотокова защита. При паралелна работа на съседни ТПС защитата в СП изключва по-бързо от защитите на изводите. Така се постига селективност при изключване на зоната с късо съединение. Стандартното реле за време може да бъде заменено с реле за време със зависимо от тока закъснение (РВТ). При използване на РВТ близките къси съединение се изключват с минимално закъснение, като при далечните къси може да се

изчака малко повече. [4]

Схема на свързване на релейна защита с РТС е показана на Фиг.7.

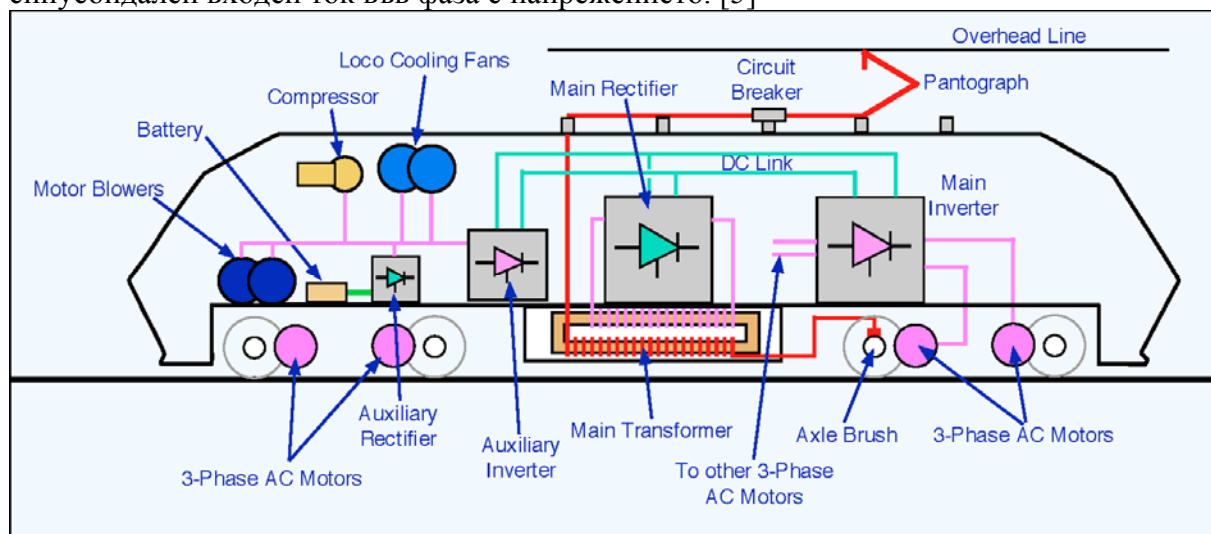


Фиг.7. Схема на свързване на релейна защита.

тук релетата са: ТО-токова отсечка; РВ-реле за време; РП-реле помощно.

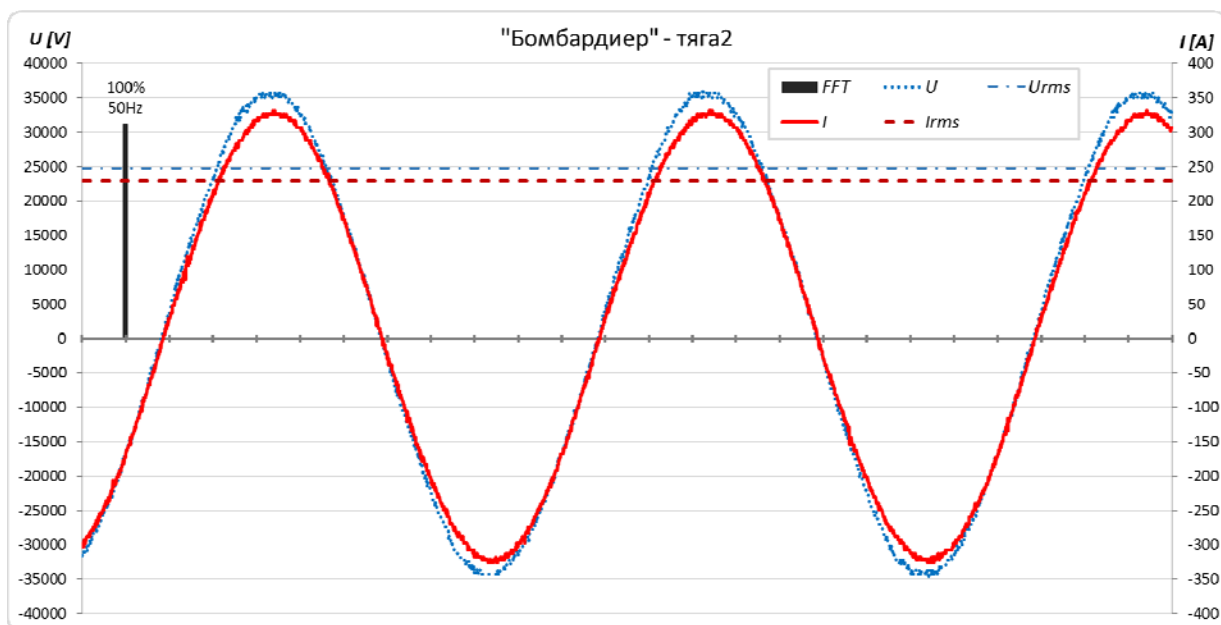
ЛОКОМОТИВИ С ТРИФАЗНИ ТЯГОВИ ДВИГАТЕЛИ

Съвременните локомотиви са оборудвани с трифазни променливотокови тягови двигатели задвижвани с честотни инвертори. Блокова схема на оборудването при такъв локомотив е показана на Фиг.8. Тук постоянно токовото захранване (DC Link) за инверторите се осигурява от токоизправител (Main Rectifier) с пълно управляеми вентили – GTO тиристори или транзистори. Този тип токоизправители работят със синусоидален входен ток във фаза с напрежението. [5]



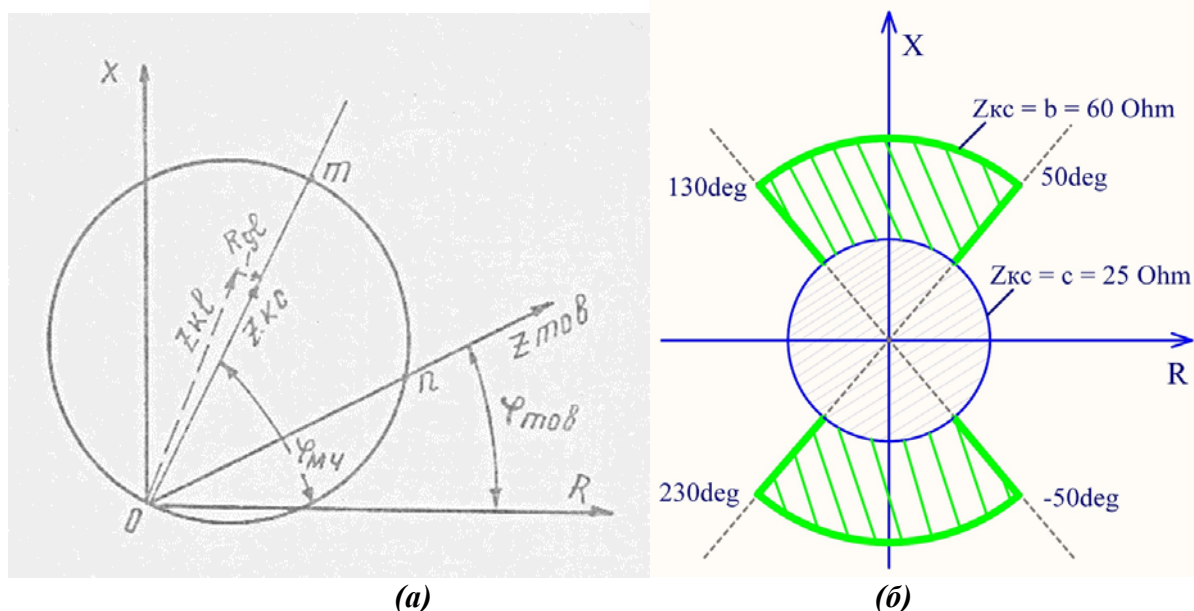
Фиг.8. Блокова схема на локомотив с променливотокови тягови двигатели

Локомотиви от типа показан на Фиг.8 се движат, или са минавали, по нашите пътища. [2], [3] Запис на тягов ток от такъв тип локомотив е показан на Фиг.9. На фигурата са показани и резултатите от хармоничния анализ на тока, като не се отчитат висши хармоници. При движение на такива товари по участъци оборудвани с „традиционните“ релейни защиты създава проблеми. Тяговият ток на локомотива попада в зоната на къси съединение на релето РТС. Така по-големи тягови токове ще бъдат изключвани от релейната защита неселективно. Решението на проблема е подмяна на релейната защита с такава реагираща на импеданса до товара или аварията. Използването на „импедансни“ релета в защитата осигурява разпознаване на причината за тока и изключване само при късо съединение в захранвания участък



Фиг.9. Запис на ток и напрежение при локомотив с променливотокови ТД

Характеристики ($X - R$) на импедансни защиты са показани на Фиг.10. На Фиг.10.(а) е показана теоретична характеристика с кръговата зона на задействане, несиметрична спрямо центъра на координатната система. А на Фиг.10.(б) е показана характеристика на импедансно реле RIS-2. Импедансно реле RIS-2 има симетрична характеристика в четирите квадранта. Така то може да работи и като защита на извод в ТПС и като защита в секционен пост. При попадане на върха на вектора на тока вътре в кръговата синя зона (зона c) прекъсвача се изключва веднага – ТО. При попадане в някоя от заштрихованите зони (зони b) извода се изключва с времезакъснение в зависимост от големината на тока – МТЗ+РВТ.



Фиг.10. Характеристики на импедансни защиты

При използване на импедансни релета тип RTS-2 като защита в ТПС и СП се постига добра селективност при изключване от аварийни ситуации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение може да се отбележи, че разработеното микропроцесорно импедансно реле RIS-2 с характеристика показана на Фиг.10.(б) отговаря на спецификата на товарните токове по изводите на ТПС. Най-пълно използване на характеристиките на релето може да се постигне при работа в паралел на две съседни ТПС и секционен пост оборудван с прекъсвачи и защита с RIS-2. При тази ситуация ще могат да се движат тежки състави без да има съществено понижаване на напрежението в контактната мрежа, като при възникване на авария ще бъде изключван само участъка в който е възникнала.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Ангелов И.К. „Алгоритъм на работа на импедансно реле за тягови мрежи 25kV”. Годишник на Техническият Университет - София, том 60, книга 2, 2010г., страница 199 – 203.
- [2] www.siemens.com – информация за локомотивите на Siemens и в частност за модел „Vectron”
- [3] www.bombardier.com – информация за локомотивите изградени на базата на унифицирана платформа „TRAXX”
- [4] Матов П., М. Ганов, Резултати от изпитвания на релейни защиты на двупътни ЖП участъци. сп. Железопътен транспорт, 05/1994г., стр.9-11.
- [5] A. STEIMEL, Power-Electronics Issues of Modern Electric Railway Systems, 10th International Conference on DEVELOPMENT AND APPLICATION SYSTEMS, Suceava, Romania, May 27-29, 2010

DEVELOPMENT OF POWER CONVERTERS AND PROTECTION RELAYS IN ELECTRIFIED RAIL TRANSPORT

Ivan Angelov

ivanang@tu-sofia.bg

**Technical University of Sofia, 1000 Sofia, 8 Kliment Ohridski Blvd
BULGARIA**

Key words: *Power converters of electric vehicles, Relay protection, Impedance protection.*

Abstract: *Electricity in electrified rail is a complex system which must be carried traction electricity to vehicles. Upon the occurrence of undesired emergency in traction network or substation must be isolated area of the accident without interrupting work on other feeder zones. The report provides an overview of the power converters in locomotives and their impact on the work of the protections in substations. In development of power converters in traction rolling stock required to modernize and protective equipment to avoid non-selective exclusions conclusions.*