

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA TRANSPORTURI

Departamentul Telecomenzi și Electronică în Transporturi

PROIECT DE DISERTAȚIE

Coordonator științific
Ș.l. dr. ing. Valentin IORDACHE

Absolvent
Ing. Florin BĂDĂU

București
2020

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA TRANSPORTURI

Departamentul Telecomenzi și Electronică în Transporturi

Simulator electronic de centralizare electrodinamică (ECED)

Coordonator științific
Ș.l. dr. ing. Valentin IORDACHE

Absolvent
Ing. Florin BĂDĂU

București
2020

Cuprins

INTRODUCERE	1
CAPITOLUL 1. CENTRALIZĂRI FERROVIARE ȘI METODE DE SIMULARE	3
1.1 SCURT ISTORIC	3
1.2 TIPURI DE CENTRALIZĂRI FERROVIARE	4
1.2.1 Centralizări mecanice și electromecanice.....	4
1.2.2 Centralizări cu relee.....	6
1.2.3 Centralizări electronice.....	8
1.2.4 Analiză SWOT	9
1.3 STUDIUL SITUAȚIEI ACTUALE A CENTRALIZĂRILOR EUROPENE	10
1.3.1 Introducere și metodologie	10
1.3.2 Situația la nivel european	10
1.3.3 Instalații de centralizare și perspective de viitor în România.....	14
1.3.4 Analiza datelor.....	16
1.3.5 Concluziile studiului.....	18
1.4 DIGITALIZAREA SISTEMELOR FERROVIARE. CAZUL ETCS.....	18
1.4.1 Scurtă prezentare a sistemului	18
1.4.2 Stadiul ETCS în Uniunea Europeană	19
1.4.3 Comparație cu situația centralizărilor.....	21
1.5 SIMULATOARE FERROVIARE	22
1.5.1 Modell Stellwerk	22
1.5.2 NXSYS	23
1.5.3 SimCED.....	24
CAPITOLUL 2. SIMULATOR ELECTRONIC DE CENTRALIZARE ELECTRODINAMICĂ (ECED).....	25
2.1 DESCRIEREA SISTEMULUI	25
2.2 CERINȚE DE PROIECTARE IMPUSE.....	27
2.3 PROIECTAREA APLICAȚIEI DE CENTRALIZARE	27
2.3.1 Digitalizarea logicii feroviare cu relee de tip CR-3.....	27
2.3.2 Mediul de dezvoltare – LabVIEW și LINUX	30
2.3.3 Prezentarea interfeței digitale om – simulator.....	31
2.4 PROIECTAREA INTERFEȚELOR ELECTRONICE	35

2.4.1	Principii de proiectare.....	35
2.4.2	Interfața D și pupitrul domino	36
2.4.3	Interfața M	38
2.5	TESTAREA SIMULATORULUI.....	41
CAPITOLUL 3. CALCULE DE FIABILITATE		45
CAPITOLUL 4. CALCUL ECONOMIC		46
CONCLUZIE		48
DICȚIONAR EXPLICATIV DE TERMENI ȘI ABREVIERI.....		49
BIBLIOGRAFIE		50
ANEXA 1		53
ANEXA 2		54
ANEXA 3		55
ANEXA 4		56
ANEXA 5		57
ANEXA 6		58
ANEXA 7		59
ANEXA 8		60
ANEXA 9		61
ANEXA 10		62
ANEXA 11		63

Introducere

Centralizările reprezintă elementul central al sistemului feroviar de care depinde siguranța oamenilor. De-a lungul ultimilor 150 de ani tehnologia a avansat și s-a dezvoltat masiv, iar instalațiile de centralizare au cunoscut, și ele, o continuă evoluție. În ciuda avansului tehnologic, majoritatea instalațiilor de centralizare existente funcționează cu tehnici din ultimul secol. Această reticență de a adopta ultimele tehnologii poate fi explicată prin prisma economică (prețul ridicat al noilor tehnologii), dar și prin natura conservatoare a sectorului feroviar. Acest conservatorism este susținut de importanța garantării siguranței oamenilor implicați în procesul de transport. Vechile tehnici s-au dovedit deja a fi fiabile și sigure, fiind astfel un contraargument în defavoarea modernizării.

Ținând cont de numărul încă ridicat de instalații de centralizare vechi este nevoie ca noua generație de ingineri de siguranța circulației să fie instruiți să lucreze cu ele pentru a menține nivelul de siguranță al sistemului. Departamentul Telecomenzi și Electronică în Transporturi din cadrul Facultății de Transporturi este singura instituție de învățământ din România care oferă pregătire în acest domeniu prin cursul de centralizări feroviare. Laboratoarele departamentului dispun de o mulțime de echipamente feroviare aflate în anumite stadii de funcționare. Dintre acestea se remarcă existența unei instalații de centralizare de tip CR-2 cu pupitru vertical și cu rame de relee complet funcționale și a unui pupitru de comandă CR-3 de tip domino. Acesta din urmă se află într-o stare bună, dar nefiind legat la propria sa instalație de centralizare, utilitatea sa rămâne pur ilustrativă.

Ideea acestei lucrări a pornit de la dorința de a folosi o resursă existentă, rară și aflată într-o stare de funcționare bună pentru a realiza un sistem util din punct de vedere didactic. Un alt argument care a venit în favoarea realizării simulatorului a fost exemplul internațional. În 2019 am petrecut, grație programului ERASMUS+, un semestru la Facultatea de Transporturi și Științele Traficului din cadrul Universității din Zagreb (Fakultet prometnih znanosti - FPZ). Cu această ocazie am putut vizita laboratorul de centralizări feroviare, a cărui piesă centrală este o machetă feroviară de dimensiuni considerabile, care simulează exclusiv o instalație electronică. Macheta a fost inaugurată la finalul lui 2018, după o investiție considerabilă.

Ținând cont de acest exemplu și de echipamentele existente, am considerat că este posibilă realizarea unei machete feroviare care să ilustreze modul de funcționare al mai multor tipuri de instalații de centralizare cu un grad înalt de fidelitate și la un preț accesibil. Lucrarea de față prezintă prima etapă în realizarea acestei machete. Acest prim pas este construit în jurul realizării unei aplicații pe calculator care să ilustreze modul de funcționare al unei instalații tradiționale cu relee de tip CR-3 și al conectării acesteia la pupitrul domino existent și la o machetă feroviară.

Dezvoltarea simulatorului a urmărit un mod de lucru asemănător realizării unei instalații de centralizare cu relee reale. Înaintea digitalizării logicii feroviare au trebuit întocmite schemele de centralizare tipice acestui tip de instalație. Ele s-au realizat pe baza cunoștințelor existente și prin consultarea continuă a resurselor bibliografice. Din cauza vârstei ridicate a

tehnologiei de centralizare cu relee, resursele bibliografice sunt, la rândul lor vechi și nu foarte numeroase. Ele sunt, însă, bine documentate și oferă o bună prezentare a elementelor instalației de centralizare, fiind documente de referință în domeniu.

Lucrarea de față este structurată astfel:

- Capitolul 1 – O prezentare scurtă a tehnologiilor de centralizare folosite de-a lungul istoriei, o privire de ansamblu a situației centralizărilor la nivel european și ce se poate învăța din exemplul digitalizării feroviare al sistemului ETCS, precum și o analiză a câtorva simulatoare feroviare;
- Capitolul 2 – Prezentarea simulatorului proiectat. Sunt explicate pe scurt conceptele de logică feroviară și procesul de digitalizare al acestora. Sunt prezentate elementele programului de simulare, precum și circuitele electronice proiectate pentru pupitrul domino și pentru macheta feroviară;
- Capitolul 3 – Calcule de fiabilitate pentru simulator;
- Capitolul 4 – Calcule economice pentru realizarea simulatorului
- Anexe – Conțin, în principal, schemele cu relee feroviare folosite la realizarea simulatorului și schemele circuitelor electronice proiectate.

Capitolul 1. Centralizări feroviare și metode de simulare

1.1 Scurt istoric

Începutul secolului XIX a fost marcat de o dezvoltare tehnologică și științifică foarte rapidă. În această epocă își au originea multe dintre domeniile esențiale lumii moderne. Dintre acestea și printre cele mai importante este domeniul feroviar. Apariția acestui nou mod de transport a revoluționat radical lumea, permițând mișcarea mult mai rapidă a bunurilor și a persoanelor.

După deschiderea primei linii de călători în 1830 în Anglia (între Liverpool și Manchester), calea ferată s-a extins repede în Europa și în restul lumii. Prima linie de cale ferată de pe teritoriul actual al României este inaugurată în 1854 (între Oravița și Berzovia) [1], în timp ce prima cale ferată construită la cererea României este finalizată și deschisă circulației în 1869 (între București și Giurgiu) [2].

Pentru dirijarea trenurilor pe calea ferată sunt esențiale două elemente: macazurile și semnalele. Primele macazuri au apărut aproape simultan cu calea ferată, un prim brevet de invenție fiind înregistrat de Charles Fox în Regatul Unit în 1832 [3]. Macazurile au fost proiectate pentru a permite trenurilor să schimbe linia pe care circulă. Manevrarea macazului de pe o poziție pe alta se realiza prin intermediul unor bare legate de limba sa care puteau fi controlate cu ajutorul unui mâner [4].

Apariția semnalelor de cale ferată a avut loc la câțiva ani după darea în funcție a primelor linii. Transmiterea informațiilor către mecanic a devenit tot mai dificilă odată cu creșterea numărului de trenuri și a vitezei de circulație. Primele tehnici de transmitere a informației s-au bazat pe steaguri și lanterne pe timp de zi, respectiv noapte [5]. Ulterior s-au implementat semnale fixe cu indicatoare de tip paletă care puteau fi manevrate prin mecanisme asemănătoare celor folosite la macazuri.

Siguranța circulației a reprezentat de la început o prioritate pentru operarea căilor ferate. Primele reguli erau simple, ca de exemplu expedierea unui tren la intervale fixe de timp. Regulile erau însă imperfecte, iar siguranța era condiționată de respectarea lor de către personalul uman, predispus la erori [6].

Noile gări pentru pasageri și marfă au devenit curând un furnicar de oameni care manevrau macazuri și care trebuiau să se înțeleagă asupra dirijării trenurilor. Creșterea traficului a dus în astfel de condiții la apariția accidentelor din cauza poziționării incorecte a macazurilor. Era evident că manevrarea locală individuală a macazurilor nu era adecvată pentru desfășurarea în siguranță a circulației [4].

Soluțiile au venit tot din spațiul britanic, unde la 1843 s-a implementat comanda la distanță a macazurilor și semnalelor. Următorul pas (în jurul anilor 1860) a fost adunarea dispozitivelor de comandă într-o singură locație centrală a stației. Astfel au apărut primele instalații de centralizare feroviară. Instalațiile de centralizare au permis implementarea unor dependențe fizice între elementele stației, astfel încât manipularea lor să se poată realiza doar

în anumite condiții. De exemplu, un semnal putea da o indicație permisivă doar după manevrarea macazurilor pe niște poziții prestabilite și definite ca atare în instalație [4].

În prezent sistemul feroviar este alcătuit din trei componente principale: infrastructura folosită pentru circulația trenurilor, materialul rulant care realizează activitatea efectivă de transport și semnalizarea cu instalațiile de centralizare care sunt responsabile pentru siguranța circulației. Operarea și regulile sale sunt determinate de aceste trei elemente, în special de semnalizare și de instalațiile de centralizare (Figura 1) [6].

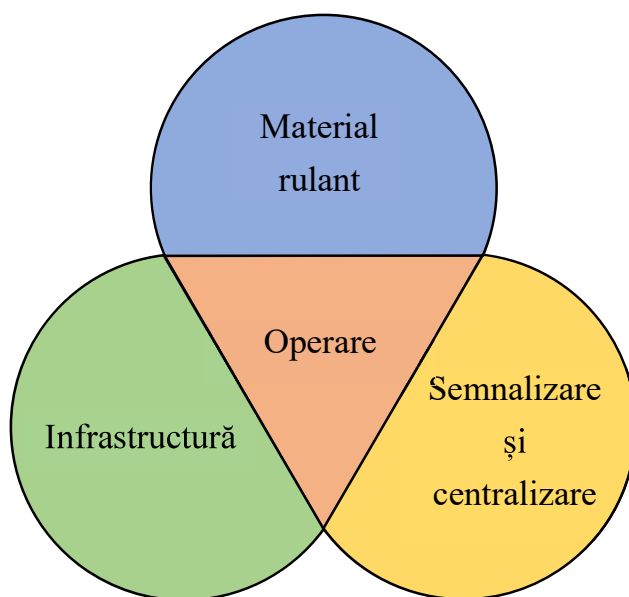


Figura 1. Sistemul feroviar și elementele sale [6]

1.2 Tipuri de centralizări feroviare

1.2.1 Centralizări mecanice și electromecanice

Dezvoltarea instalațiilor de centralizare a presupus găsirea unor tehnici de comandă și control pentru echipamentele de pe teren. După cum a fost menționat anterior, manipularea primelor semnale și macazuri de cale ferată s-a realizat mecanic, astfel încât primele versiuni de instalații de centralizare au luat și ele forma unor echipamente pur mecanice.

Primele aspecte implementate legate de siguranța circulației au fost cunoașterea cu precizie a poziției în care se află macazul și impunerea unei definiții clare a pozițiilor macazurilor necesare pentru realizarea diferitelor parcurse. În acest scop au fost proiectate încuietorile de macaz, care permit manevrarea acestuia folosind două chei fizice: câte una pentru fiecare poziție a macazului. În momentul manevrării macazului pe o direcție una din chei rămâne blocată în mecanism, în timp ce a doua este eliberată și este folosită mai departe în asigurarea parcursei [7]. În cazul stațiilor fără semnale asigurarea se face vizual prin agățarea cheilor într-un panou, așa numitele „chei cu știfturi” (în România stații echipate TS) [8].

Centralizările mecanice presupun manevrarea semnalelor și a macazurilor cu ajutorul unui sistem de sârme și scripeți. În centrul sistemului se află aparatul de manevră, de unde se pot manipula elementele din stație cu ajutorul unor pârghii. Un aparat de manevră (denumit boc atunci când este instalat în exteriorul clădirii) este, în general, responsabil pentru comanda dispozitivelor dintr-un singur capăt de stație [7].

Dependențele dintre semnale și macazuri, precum și condițiile de siguranță sunt realizate prin cale mecanică [4]. Logica de manevrare a echipamentelor din teren se regăsește în cutia mecanică a aparatului de manevră sub forma unor liniare de parcurs și de înzăvorâre. Aceste tije metalice sunt montate perpendicular unele peste altele și prezintă creștături realizate ținând cont de tabelul de parcurșuri incompatibile. Tijele glisează pe anumite poziții la manevrarea macazurilor, blochează punerea pe liber a semnalelor dacă macazurile nu sunt poziționate corect și înzăvorăsc parcursul realizat [7].

Primele variante de instalații de centralizare mecanică foloseau și ele cheile de la încuietorele de macaz, care erau însă introduse în aparatul de manevră și folosite în logica mecanică. Parcursului era autorizat prin eliberarea unei chei de semnal, folosită ulterior pentru a permite manevrarea pârgheii de punere pe liber a semnalului (în România stații echipate TM) [7][8].

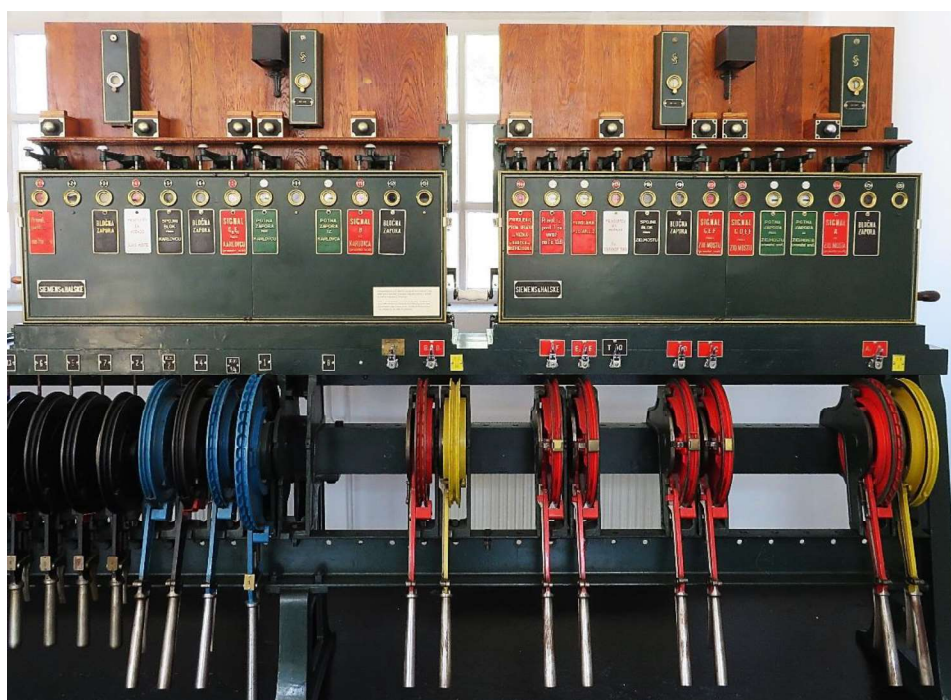


Figura 2. Aparat de manevră pentru centralizarea electromecanică fără chei

Creșterea traficului și a complexității stațiilor a impus foarte curând realizarea unei coordonări între instalațiile mecanice din capetele de stație. Dependența instalațiilor a fost implementată pe cale electrică, motiv pentru care acestea poartă denumirea de instalații electromecanice. Impiegatul de mișcare (IDM) controlează un aparat de comandă aflat în

clădirea stației. De aici, acesta definește natura parcursului (intrare sau ieșire) și linia de garare folosită. Informația este transmisă pe cale electrică aparatelor de manevră aflate la cabinele acarilor din capetele stației prin apăsarea unei manete, denumite câmp electric de bloc concomitent cu răsucirea unei manivele. Manivela este parte a unui mecanism numit inductor de bloc, care este folosit pentru a genera curent electric. Acarul este informat printr-o sonerie asupra emiterii unei comenzi de către IDM, iar aparatul de manevră îi indică natura parcursului. Manevrarea macazurilor și a semnalelor se face în același mod descris anterior (chei introduse în aparatul de manevră), doar că acarul transmite înapoi IDM-ului informația punerii semnalului pe liber [7]. În România astfel de instalații electromecanice cu chei poartă denumirea de instalații „chei cu bloc” (instalații ICB/SBW) [8].

Cele mai avansate instalații electromecanice elimină complet folosirea cheilor pentru manevrarea macazurilor și a semnalelor. Acestea sunt comandate exclusiv de la aparatul de manevră prin intermediul pârghiilor (Figura 2). În România acest tip de instalații de centralizare sunt denumite pur și simplu instalații de centralizare electromecanică (CEM) [7].

1.2.2 Centralizări cu relee

Multe posturi de comandă au fost înzestrate cu hărți sau panouri ale configurației stației pentru a ușura operarea instalației. Reprezentarea stației era simplificată, punându-se accentul pe elementele folosite la dirijarea circulației (macazuri, semnale). Cu timpul, aceste reprezentări au căpătat tehnici de a indica vizual starea elementelor din teren (poziția macazurilor, starea secțiunii de linie). Toate aceste inovații au dus la apariția unui nou tip de instalație de centralizare [4].

Rezultatul acestei evoluții a fost apariția pupitrului de comandă, care adună la un loc elementele de comandă, sub forma unor butoane și întrerupătoare și elementele de control, sub forma unor lămpi de culori diferite. Toate acestea sunt așezate pe un plan schematic al stației centralizate. Deoarece metodele mecanice de comandă și control nu mai erau potrivite acestui nou concept, noile instalații de centralizare s-au construit pe baza logicii electrice cu relee [4].

Releele sunt dispozitive electronice cu o gamă largă de aplicații. Din punct de vedere constructiv un releu conține o bobină, cu rol de element de comandă și o serie de contacte care se închid sau se desfac în funcție de starea bobinei. Releele sunt folosite în general pentru a separa galvanic două sau mai multe circuite. Pentru a fi utilizate în calea ferată, releele trebuie să îndeplinească anumite criterii suplimentare de siguranță. UIC oferă următoarea clasificare a releelor feroviare [10]:

- Relee de semnal tip N (necontrolat) – pot fi folosite în circuite de siguranță fără a verifica poziția acestora. Grație modului de proiectare, acestea cad prin intermediul gravitației atunci când își pierd alimentarea. Capetele contactelor sunt realizate din materiale ce nu se pot suda (ex: argint și cărbune), astfel încât nu există riscul de lipire accidentală la curenți mari. Ele mai poartă denumirea de releu de clasa I;
- Relee de semnal tip C (controlat) – pot fi folosite în circuite de siguranță, dar poziția lor trebuie controlată. Ele mai poartă denumirea de releu de clasa a II-a;

- Relee care nu pot fi folosite în circuite de siguranță. Ele mai poartă denumirea de relee de clasa a III-a.

Centralizarea cu relee din România a fost importată din URSS în anii '50. Originea ei era SUA, unde în anii '30 Union Switch & Signal, o subsidiară a Westinghouse Air and Brake Company (WABCO), a proiectat o instalație cu relee electrogravitaționale (tip N) pe care a exportat-o în URSS. Inginerii sovietici au modificat ulterior instalația, în România ajungând această versiune de centralizare [8]. Acest tip de centralizare poartă denumirea de centralizare electrodinamică sau CED (Figura 3).



Figura 3. Sala de relee a unei stații echipate CED [12]

De-a lungul anilor au fost realizate mai multe variante de instalații CED:

- CR-1 – variantă experimentală [8];
- CR-2 – instalație cu manevrare individuală a macazurilor realizată cu pupitru de comandă vertical sau domino [11];
- CR-3 – instalație cu manevrare automată a macazurilor realizată cu pupitru de comandă vertical sau domino [11]. Paragraful 2.3.1 conține o descriere a funcționării instalației CR-3;
- CR-4 – instalații cu comandă dispecer [8].

1.2.3 Centralizări electronice

Evoluția electronicii și generalizarea utilizării calculatoarelor au permis apariția celui mai nou tip de centralizare feroviară: centralizarea electronică (CE). Noutatea acestui tip de instalație constă în modul în care se realizează logica feroviară. Dacă până acum regulile și dependențele dintre macazuri, semnale și parcurse erau verificate pe cale fizică (mecanic sau electric), noua generație de centralizări implementează logica feroviară pe calea software-ului [4].

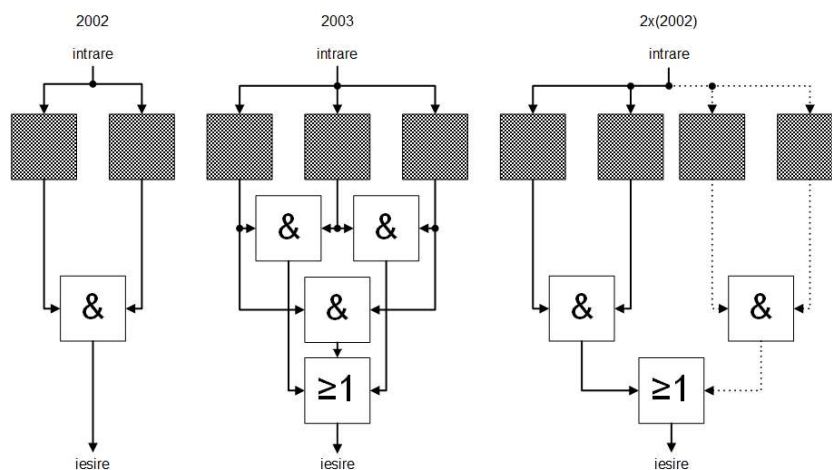


Figura 4. Diverse tehnici de redundanță folosite de instalațiile de centralizare electronică [10]

Electronica modernă prezintă însă anumite vulnerabilități față de vechile tehnologii din cauza sensibilității foarte mari a componentelor electronice. Pentru a remedia aceste probleme, instalațiile electronice sunt proiectate cu elemente de redundanță hardware și software. Redundanța hardware este generată de procesarea funcțiilor prin mai multe canale și prin compararea rezultatelor. Ea poate fi implementată în mai multe moduri (Figura 4) [10]:

- Redundanță 2 din 2 (2002) – funcțiile de siguranță sunt procesate de două canale independente, iar rezultatele sunt comparate. În caz de egalitate ele sunt folosite, iar în caz contrar sistemul trece în stare de avarie;
- Redundanță 2 din 3 (2003) – Trei canale independente sunt folosite pentru procesarea funcțiilor. Dacă un canal devine neoperațional, sistemul trece pe logica 2 din 2 până la rezolvarea situației;
- Redundanță 2*2 din 2 (2002) – unui sistem 2 din 2 i-se adaugă un alt sistem 2 din 2 ca rezervă. Dacă subsistemul principal nu funcționează, rezerva îi preia atribuțiile.

Toate aceste arhitecturi oferă redundanță din punct de vedere al siguranței, dar doar ultimele două oferă și redundanță din punct de vedere al disponibilității, astfel încât sistemul să rămână funcțional în caz de avarie [10].

Redundanța poate fi întărită prin diversitate hardware (folosirea de dispozitive diferite pentru canale diferite), diversitate a sistemelor de operare sau diversitate software (funcții definite diferit) [10].

1.2.4 Analiză SWOT

Din cele prezentate în paginile anterioare se poate observa că fiecare tip de centralizare are propriile trăsături. Tabelul 1 conține o analiză de tip SWOT a instalațiilor descrise până acum.

Tabelul 1. Analiză SWOT a tipurilor de instalații de centralizare

	Puncte tari (S – Strengths)	Puncte slabe (W – Weaknesses)	Oportunități (O – Opportunities)	Amenințări (T – Threats)
Centralizare mecanică/ electromecanică	• Durată lungă de viață (>100 ani); • Modificare ușoară a instalației (în limita spațiului de pe aparat).	• Distanțe maxime mici între aparatul de manevră și elementele stației (350 m pentru macaz, 1200 m pentru semnale, 1800 m pentru prevestitoare; • Timp lung de manevrare a elementelor (minute), ceea ce reduce capacitatea stației.	• Emblematică pentru domeniul feroviar, importanță istorică.	• Nevoia de personal pregătit atât tehnic, cât și fizic pentru a lucra cu instalația.
Centralizare cu rele	• Fiabilitate înaltă; • Durată lungă de viață (>60 ani); • Posibilitatea de a refolosi componentele de la o instalație la alta.	• Modificarea instalației este laborioasă; • Consum ridicat de energie.	• Arhitectură standardizată la nivel de țară, care ușurează foarte mult proiectarea; • Se poate digitaliza parțial cu niște costuri relativ scăzute.	• Lipsa personalului calificat afectează performanțele instalației.
Centralizare electronică	• Funcționează în mod degradat; • Ușor de operat; • Reduce nevoia de personal.	• Durată de viață scăzută a sistemului de operare (10 ani) și a echipamentelor interioare (20 ani); • Sensibilitatea componentelor electronice.	• Tehnologie în continuă dezvoltare.	• Vulnerabilitate în fața atacurilor cibernetice; • Costul foarte ridicat de implementare.

1.3 Studiul situației actuale a centralizărilor europene

1.3.1 Introducere și metodologie

Acest subcapitol conține un studiu scurt al datelor statistice relevante despre centralizările feroviare din mai multe state europene.

Culegerea datelor a reprezentat o provocare deoarece statele nu raportează cifrele în același fel. Datele sunt extrase din mai multe surse cum ar fi: documente de referință ale rețelelor, rapoarte statistice/financiare sau documente legale.

S-au căutat cele mai recente date disponibile. Din cele 11 țări studiate, patru au avut date disponibile pentru 2020 (Bulgaria, Cehia, România, Ungaria), cinci pentru 2018 (Croatia, Franța, Germania, Polonia, Slovenia), una pentru 2015 (Elveția) și una pentru 2014 (Spania).

Studiul se axează pe numărul de instalații de centralizare de fiecare tip, raportat la numărul total de instalații de centralizare în fiecare țară. Clasificarea instalațiilor s-a făcut ținând cont de cele prezentate în subcapitolul 1.2 astfel:

- Centralizări mecanice – include centralizările mecanice cu sau fără chei și centralizări electromecanice;
- Centralizări cu relee – instalații care folosesc relee de orice tip în logica feroviară, inclusiv instalațiile parțial computerizate;
- Centralizări electronice – instalații în care logica de siguranță feroviară este implementată pe bază de software;
- Alte tipuri de centralizări – instalații care, în special din cauza lipsei de informații, nu se încadrează în categoriile anterioare.

Datele fiecărei țări sunt prezentate scurt, cu clarificări acolo unde sunt necesare explicații suplimentare sau pentru a motiva alegerile făcute. Situația României este expusă separat și include perspective pentru viitor relevante la nivel european. Ultima parte a studiului statistic este reprezentat de o analiză a datelor și de enunțarea unor concluzii.

1.3.2 Situația la nivel european

1.3.2.1 Bulgaria

În 2019 Bulgaria avea 280 de instalații de centralizare distribuite astfel [13][14]:

- Centralizări mecanice: 25, din care:
 - ЕМЦ с РВ на коловозите (Centralizare electromecanică cu circuite de cale): 11
 - ЕМЦ с РВ на коловозите и стрелките (Centralizare electromecanică cu circuite de cale și macazuri): 14
- Centralizări cu relee: 199, din care:
 - БМРЦ: 13
 - ЕЦБ, ЕЦ-Блок пост с групи от Н-68 (Centralizare electrică cu grupe de РМЦ Н-68) : 1
 - РМЦ WSSB-1: 44

- MPIЦ WSSB-2: 13
- MPIЦ MH-70: 25
- MPIЦ H-68 B: 1
- MPIЦ H-68 Y: 19
- MPIЦ H-68: 38
- ПУКЗ: 45
- Centralizări electronice: 16, din care:
 - МКЦ: 16
- Alte tipuri de centralizări: 40, din care:
 - ЕЦ за малки гари, руска (Centralizare electrică pentru gări mici de tip rusesc): 16
 - ЕЦ 1: 7
 - ЕЦ М: 17

1.3.2.2 Cehia

În 2020 Cehia avea 1569 de instalații de centralizare distribuite astfel [15]:

- Centralizări mecanice: 516, din care:
 - Electromecanică: 516
- Centralizări cu relee: 385
- Centralizări electronice: 341
- Alte tipuri de centralizări: 327, din care:
 - Hibride: 32
 - Controlate de la distanță: 295

1.3.2.3 Croația

În 2018 Croația avea 190 de instalații de centralizare distribuite astfel [16]:

- Centralizări mecanice: 56
- Centralizări cu relee: 126
- Centralizări electronice: 8

1.3.2.4 Elveția

În 2015 Elveția avea 502 de instalații de centralizare distribuite astfel [17]:

- Centralizări mecanice: 35, din care:
 - Mecanice: 3
 - Electromecanice: 32
- Centralizări cu relee: 347
- Centralizări electronice: 120

1.3.2.5 Franța

În 2018 Franța avea 2233 de instalații de centralizare distribuite astfel [18]:

- Centralizări mecanice: 692, din care:
 - Postes Mécaniques Enclenchés: 692
- Centralizări cu relee: 797, din care:
 - A Relais à Commande Informatique (PRCI): 255
 - Postes à Itinéraires Câblés: 10
 - Tout Relais à câblage Géographique (PRG): 111
 - Tout Relais à transit Souple (PRS): 421
- Centralizări electronice: 305, din care:
 - Poste d'Aiguillage Informatique (PAI): 128
 - Poste Informatique à technologie PC (PIPC): 135
 - Système d'Enclenchement Intégré (SEI): 42
- Alte tipuri de centralizări: 439, din care:
 - Autres postes électriques: 209
 - Postes de Voies de Service: 230

1.3.2.6 Germania

În 2018 Germania avea 2636 de instalații de centralizare distribuite astfel [19]:

- Centralizări mecanice: 966, din care:
 - Mecanice: 668
 - Electromecanice: 298
- Centralizări cu relee: 1234
- Centralizări electronice: 375
- Alte tipuri de centralizări: 61

1.3.2.7 Polonia

În 2018 Polonia avea 2862 de instalații de centralizare distribuite astfel [20]:

- Centralizări mecanice: 1628, din care:
 - Centralizare cu chei: 610
 - Mecanică: 1018
- Centralizări cu relee: 880, din care:
 - Centralizare cu relee: 784
 - Centralizare computerizată cu relee: 96
- Centralizări electronice: 268
- Alte tipuri de centralizări: 86

1.3.2.8 Slovenia

În 2018 Slovenia avea 126 de instalații de centralizare distribuite astfel [21]:

- Centralizări mecanice: 29
- Centralizări cu relee: 67,
- Centralizări electronice: 30

Mențiune: am presupus că instalațiile vechi reprezintă centralizări mecanice și electromecanice [21].

1.3.2.9 Spania

În 2014 Spania avea 1081 de instalații de centralizare distribuite astfel [22]:

- Centralizări mecanice: 33
- Centralizări cu relee: 382
- Centralizări electronice: 666

1.3.2.10 Ungaria

În 2020 Ungaria avea 948 de instalații de centralizare (contorizând instalațiile companiilor MAV și GYSEV) distribuite astfel [23]:

- Centralizări mecanice: 136, din care:
 - Cu chei: 63
 - FM: 27
 - FMSH: 26
 - Mecanică: 14
 - Siemens-Halske: 6
- Centralizări cu relee: 422, din care:
 - D 55: 346
 - D 67: 10
 - D 70: 52
 - Sovietice: 14
- Centralizări electronice: 87, din care
 - Alcatel: 10
 - Alcatel-Elektra 1: 5
 - Alcatel-Elektra 2: 15
 - Alcatel-Elektra: 6
 - Elektra 2.x: 18
 - Elektra: 7
 - Siemens ESTW: 1
 - SIMIS IS: 25
- Alte tipuri de centralizări: 303, din care:
 - ALEL1: 19
 - EA: 41
 - FM: 27
 - FMIN: 1
 - FMSH: 26
 - KA: 109
 - MERAfi: 10
 - SH: 70

1.3.3 Instalații de centralizare și perspective de viitor în România

La nivelul anului 2020 România avea 691 instalații de centralizare feroviară distribuite astfel [24]:

- Centralizări mecanice: 60 – instalații de tip CEM, TM și TS;
- Centralizări cu relee: 590 – instalații de tip CED și CED PCC (CED cu punct de comandă computerizat);
- Centralizări electronice: 41 - instalații de tip CE.

Administratorul infrastructurii feroviare din România, CFR SA, elaborează periodic strategii de dezvoltare. Aceste documente conțin priorități, obiective și direcții de dezvoltare pe termen mediu și lung. Siguranța circulației și implicit instalațiile de centralizare reprezintă priorități ale acestei strategii.

Printre prioritățile CFR se numără „creșterea nivelului de centralizare pe liniile cu trafic redus” și „pe liniile cu trafic intens” [25]. Atingerea primului obiectiv se dorește a fi realizată prin două direcții: înlocuirea instalațiilor CEM cu instalații CED și implementarea sistemelor de centralizare electronică de linie (CEL).

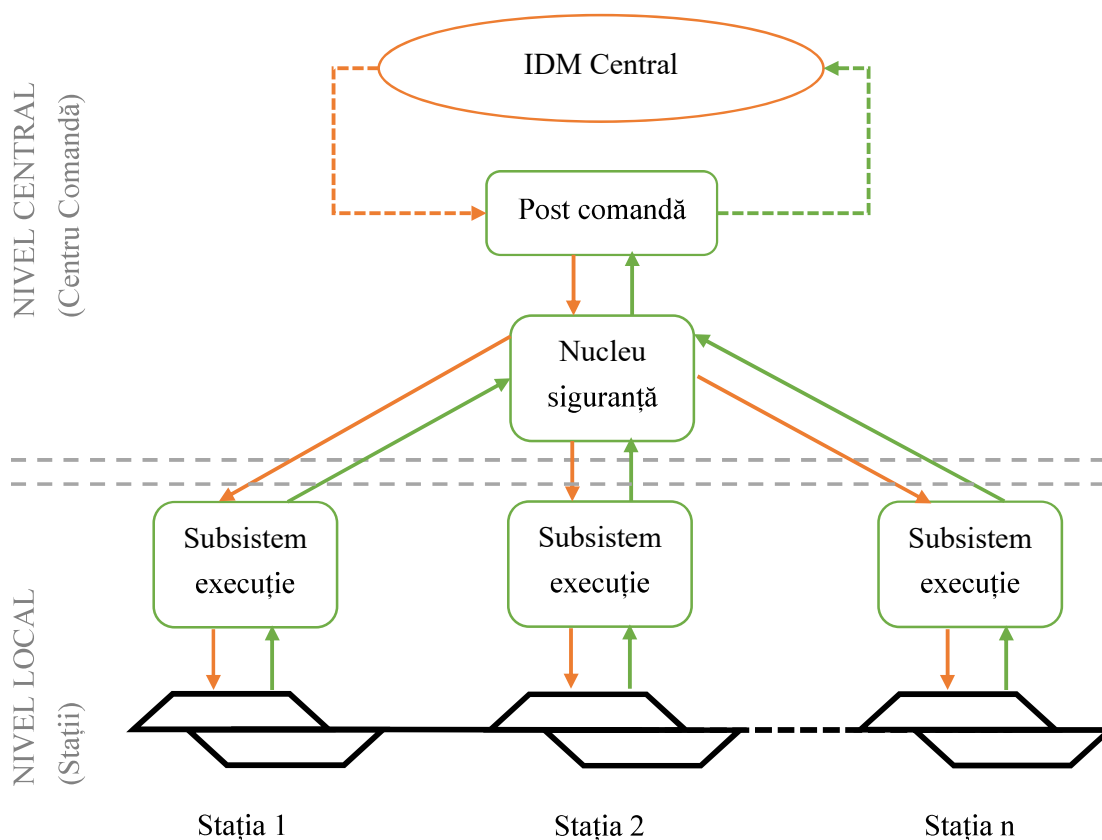


Figura 5. Arhitectura de principiu a unei instalații CEL [25]

Centralizarea electronică de linie reprezintă o soluție de centralizare electronică pentru liniile cu trafic redus pentru a elimina nevoia de IDM în fiecare stație. Spre deosebire de instalațiile tradiționale de tip CE existente până acum, o instalație CEL controlează traficul în mai multe stații succesive (Figura 5).

Astfel nu este nevoie ca fiecare stație să fie dotată cu instalație de centralizare proprie, logica feroviară fiind implementată la un post central de comandă. Prețul unei astfel de instalații scade, față de prețul unei instalații CE, proporțional cu numărul de stații controlate (în general o instalație CEL controlează aproximativ 5-7 stații) [25].

Pentru perioada 2019-2023 CFR are în derulare două proiecte de implementare a instalațiilor de tip CEL: Siculeni – Adjud și Ilia – Lugoj. Primul dintre aceste proiecte a fost finalizat la începutul anului 2020, instalația fiind în acest moment operațională (Figura 6) [26].



Figura 6. Postul IDM al primei instalații CEL (Siculeni – Adjud) [26]

Pentru liniile cu trafic intens CFR dorește implementarea sistemelor de comandă la distanță. Acest obiectiv presupune legarea instalațiilor de centralizare la un post de comandă central, păstrând logica de siguranță la nivelul fiecărei stații. Instalațiile comandate la distanță pot fi de tipul CE sau CED cu comandă informatizată [25].

Până în prezent s-a optat pentru informatizarea instalațiilor CED pe coridoarele modernizate și echipate cu ETCS nivel 1 și pentru înlocuirea cu instalații de tip CE pe coridoarele modernizate și echipate cu ETCS nivel 2. Experiența a arătat însă că aceste soluții sunt foarte scumpe, în special cea a instalațiilor CE, iar performanțele „sistemelor electronice de semnalizare sunt similare cu ale instalațiilor pe bază de releu” [27].

Strategia CFR este în concordanță cu strategiile celorlalți administratori de infrastructură feroviară din Europa. Din punct de vedere al siguranței circulației și al centralizărilor feroviare principalele direcții sunt înlocuirea majorității instalațiilor mecanice cu instalații cu relee sau electronice, păstrarea și buna întreținere a instalațiilor cu relee cu eventuala informatizare a comenzilor. Instalațiile electronice sunt rezervate a fi introduse doar ca excepție, în stațiile mari, unde investiția este justificabilă din punct de vedere financiar.

1.3.4 Analiza datelor

Cele 11 țări analizate însumează o rețea de cale ferată cu lungimea de 134 280 km [28]. Cu excepția Elveției, toate țările sunt parte a Uniunii Europene și reprezintă 131 052 km din rețeaua totală de aproximativ 200 200 km a acesteia (UE27) [29] sau **65% din lungimea rețelei feroviare a UE**. Studiul este astfel reprezentativ la nivel european.

Pentru a realiza o analiză a datelor expuse în paragrafele anterioare, acestea sunt reprezentate grafic în Figura 7.

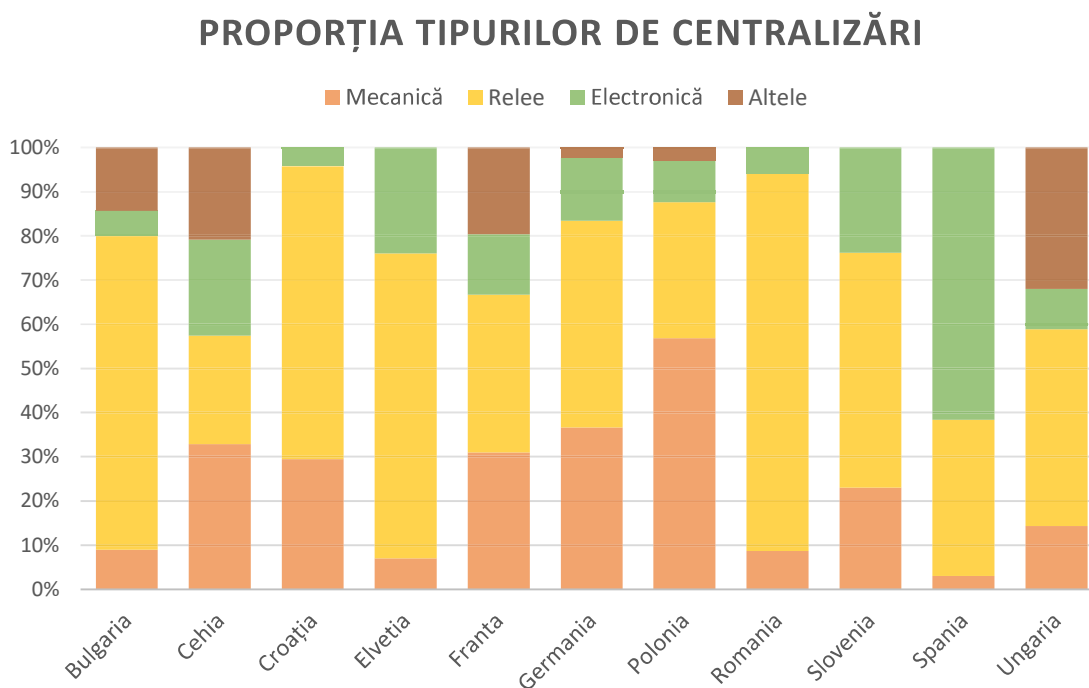


Figura 7. Proporția tipurilor de centralizări ale țărilor studiate

Se observă că țările studiate prezintă combinații variate și unice ale tipurilor de instalații de centralizare. Variațiile procentuale sunt largi și nu prezintă corelări cu poziția geografică, situația economică sau alte variabile. Tabelul 2 conține un clasament al țărilor studiate în funcție de procentul ocupat de fiecare tip de centralizare raportat la numărul total de instalații de centralizare din țara respectivă.

Tabelul 2. Clasamentul țărilor pe fiecare tip de centralizare

Poziție	Mecanică		Relee		Electronică	
1	Polonia	57%	România	85%	Spania	62%
2	Germania	37%	Bulgaria	71%	Elveția	24%
3	Cehia	33%	Elveția	69%	Slovenia	24%
4	Franța	31%	Croația	66%	Cehia	22%
5	Croația	29%	Slovenia	53%	Germania	14%
6	Slovenia	23%	Germania	47%	Franța	14%
7	Ungaria	14%	Ungaria	45%	Polonia	9%
8	Bulgaria	9%	Franța	36%	Ungaria	9%
9	România	9%	Spania	35%	România	6%
10	Elveția	7%	Polonia	31%	Bulgaria	6%
11	Spania	3%	Cehia	25%	Croația	4%

Se observă că centralizările mecanice sunt majoritare doar în Polonia (**57%**), având cea mai mică reprezentare în Spania (**3%**). România este de departe țara cu cele mai multe instalații de centralizare cu relee raportate la numărul total de instalații (**85%**), în timp ce Cehia este statul cu cele mai puține (**25%**). Centralizarea electronică deține o poziție majoritară doar în Spania (**62%**), fiind cel mai puțin prezentă în Croația (**4%**).

Un alt aspect evidențiat de aceste date este că instalațiile cu relee reprezintă cel mai utilizat tip de centralizare în 8 din cele 11 țări analizate. Excepțiile sunt Polonia și Cehia, unde centralizarea mecanică este dominantă și Spania, unde instalațiile electronice sunt majoritare. Este însă nevoie de o privire de ansamblu pentru a evalua corect fiecare stat. Situația cumulată a țărilor studiate e reprezentată în Figura 8.

PROPORȚIA TOTALĂ TIPURILOR DE CENTRALIZĂRI

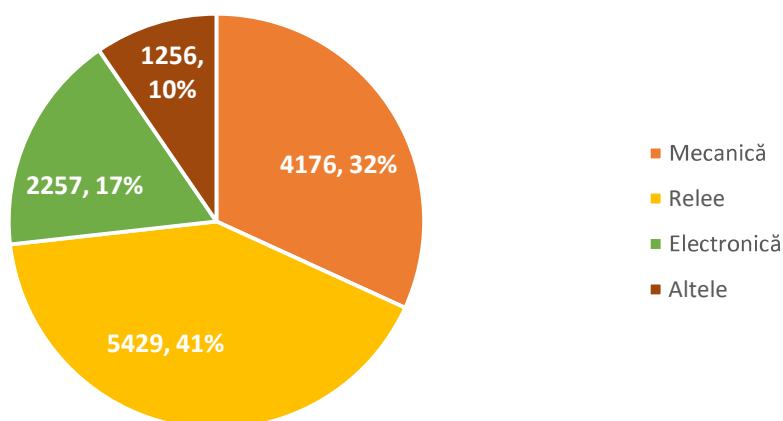


Figura 8. Proporția totală a tipurilor de instalații de centralizare (valori absolute și procente)

Privind numărul total al instalațiilor de centralizare din țările incluse în analiză este evident că niciun tip de centralizare nu este majoritar. Instalațiile cu relee ocupă prima poziție (**41%**), urmate de cele mecanice (**32%**) și cele electronice (**17%**). Folosind aceste valori ca referință și comparând cu datele din Tabelul 2 se observă că trei țări (Polonia, Germania, Cehia) au un procent mai mare de centralizări mecanice, șapte țări (România, Bulgaria, Elveția, Croația, Slovenia, Germania, Ungaria) un procent mai mare de centralizări cu relee și patru țări (Spania, Elveția, Slovenia, Cehia) un procent mai mare al centralizărilor electronice.

1.3.5 Concluziile studiului

Din datele analizate reiese că în ciuda vechimii tehnologiei cu relee, ea este încă dominantă în aproape toate țările studiate (8 din 11), fiind chiar majoritară în cinci dintre acestea (România, Bulgaria, Elveția, Croația, Slovenia). Această tehnologie și-a dovedit fiabilitatea în timp, iar cu modificări punctuale instalațiile cu relee pot fi ușor modernizate la un preț mult mai avantajos decât cel al schimbării cu instalații electronice. În acest context este important ca inginerii de siguranța circulației să fie în continuare bine instruiți în ceea ce privește funcționarea instalațiilor de centralizare cu relee.

Deși reprezintă vârful de lance al tehnologiei, centralizările electronice sunt cel mai prost plasate în majoritatea țărilor studiate (7 din 11). Motivele pentru acest grad scăzut de digitalizare sunt legate, în principal, de costul foarte ridicat al acestor tipuri de instalații și de diferențele mici de performanță, în comparație cu instalațiile cu relee. Acest fenomen nu este unic instalațiilor de centralizare, fiind întâlnit și în alte ramuri ale sistemului feroviar (vezi subcapitolul 1.4).

1.4 Digitalizarea sistemelor feroviare. Cazul ETCS

1.4.1 Scurtă prezentare a sistemului

Sistemul european de control al trenului (ETCS) este componenta sistemului european de management al traficului feroviar (ERTMS) responsabilă de semnalizarea feroviară. El a fost proiectat cu scopul de a înlocui diferitele sisteme de semnalizare națională (sisteme de clasă B) și pentru a permite o operare mai ușoară la nivel european [30].

Sistemul ETCS poate fi implementat în trei variante, numite niveluri [30]:

- Nivelul 1 – Sistemului național de semnalizare i-se adaugă o componentă ETCS, numită eurobaliză. Aceasta traduce indicația semnalului oferită de sistemul național într-o formă standard ce poate fi interpretată de echipamentul ETCS de la bordul trenului;
- Nivelul 2 – Această variantă permite eliminarea semnalelor fizice de lângă calea ferată. Comunicația cu trenul se realizează prin intermediul rețelei GSM-R. Eurobalizele conțin doar informații punctuale despre caracteristica liniei (ex: declivitate, limitări de viteză, etc);
- Nivelul 3 - Acest nivel nu a fost încă implementat pe nicio linie. Față de celelalte două niveluri, poziția trenului este raportată direct de acesta prin intermediul rețelei GSM-R,

nu de echipamente de pe teren (ex: circuite de cale). Se pot astfel elimina sectoarele de bloc fixe, în favoare sectoarelor dinamice.

1.4.2 Stadiul ETCS în Uniunea Europeană

Pentru a crește gradul de integrare la nivel comunitar, Uniunea Europeană a definit nouă coridoare principale de transport (Figura 9). Aceste coridoare reprezintă o prioritate în dezvoltarea infrastructurii europene și se dorește ca acestea să ofere soluții de transport integrat și multimodal.

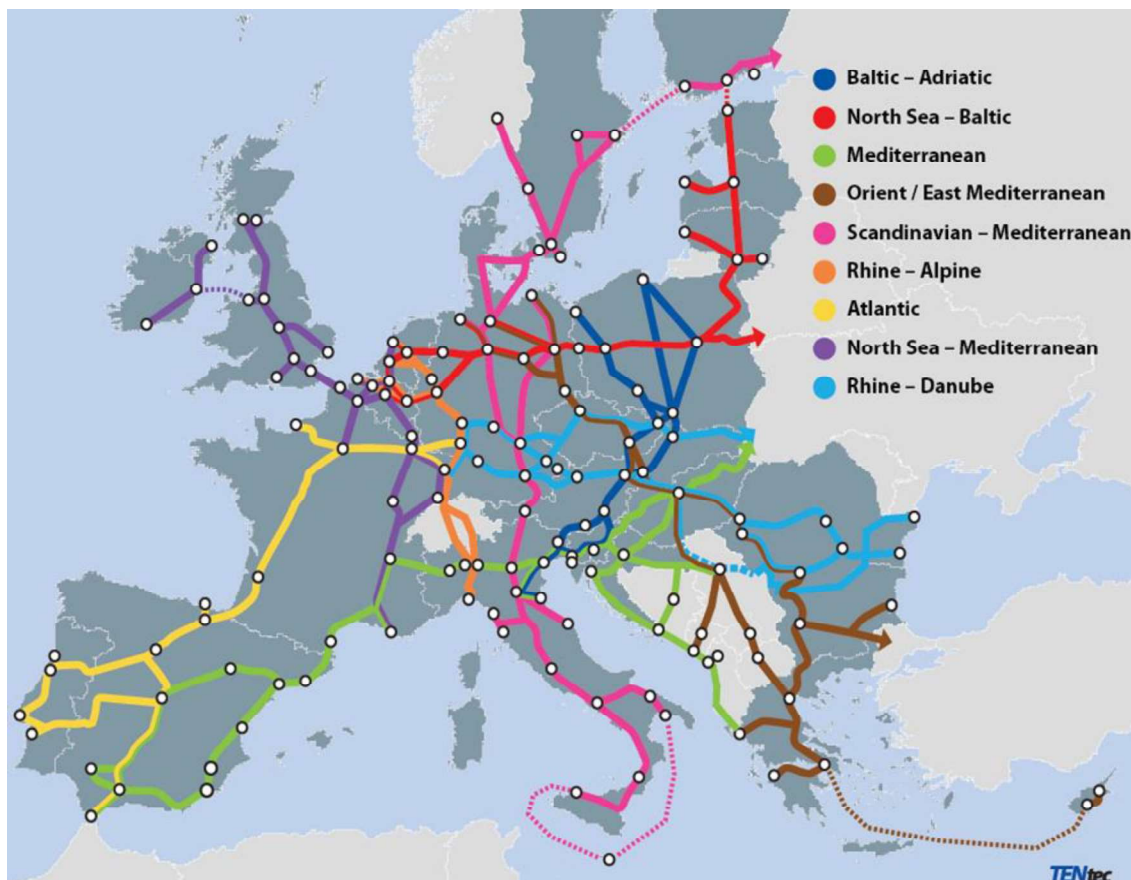


Figura 9. Principalele coridoare europene de transport [31]

Din punct de vedere al sistemului feroviar aceste coridoare sunt prioritare pentru echiparea cu sistemul ETCS. Uniunea Europeană și-a propus ca întreaga rețea de coridoare principale să fie echipată cu acest sistem până în 2030, cu un procent intermediar de 31% în 2023 [32].

Implementarea sistemului ETCS se află în prezent la un nivel cu mult sub cel planificat, doar **9%** din întreaga rețea având în funcțiune astfel de echipamente în 2018. Rețeaua GSM-R se află însă într-un stadiu mai avansat, fiind funcțională pe **57%** din rețea. Gradul de implementare al celor două sisteme variază mult de la un coridor la altul (Figura 10), dar privind

datele existente, este destul de sigur că termenul pentru echiparea întregii rețele cu ETCS nu va putea fi respectat [32].

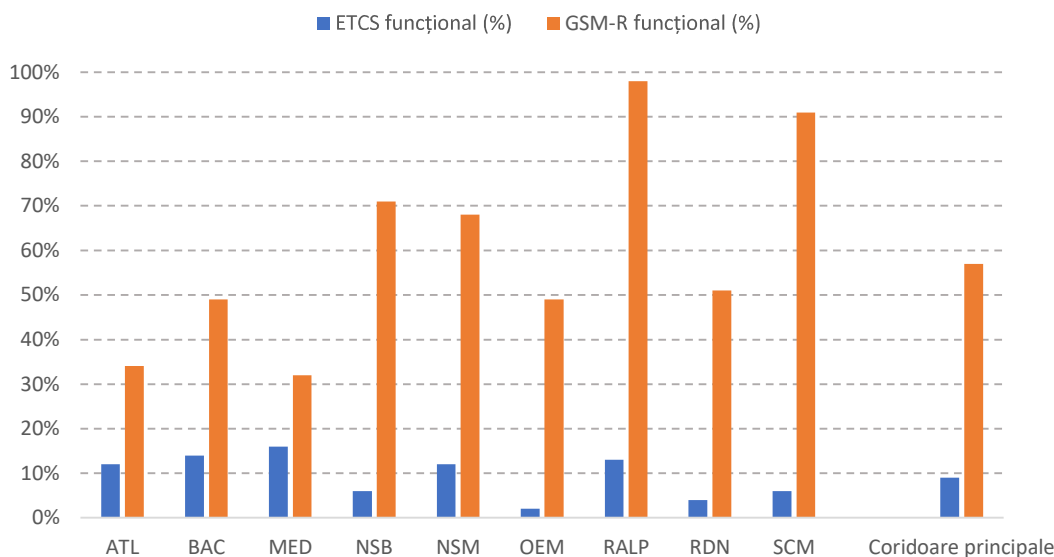


Figura 10. Situația echipării coridoarelor principale cu ETCS și GSM-R în Mai 2018 [32]

Notății: ATL= Coridorul Atlantic, BAC = Coridorul Baltic-Adriatică, MED = Coridorul Mediteranean, NSB = Coridorul Marea Nordului-Baltic, NSM = Coridorul Marea Nordului-Mediterana, OEM = Coridorul Orient/Est-Mediterana, RALP = Coridorul Rin-Alpin, RDN = Coridorul Rin-Dunăre, SCM = Coridorul Scandinav-Mediterana.

Motivele gradului mic de implementare a ERTMS la nivel european se pot încadra în trei categorii: juridice/legislative, economice și tehnice. Aspectele juridice nu sunt relevante pentru lucrarea de față, astfel încât vor fi amintite doar celelalte tipuri de argumente.

Economic, implementarea sistemului ERTMS este foarte costisitoare (100 000 – 350 000 €/km), ceea ce îi face pe administratorii de infrastructură reticenți să investească într-o astfel de soluție. Ei sunt cei care trebuie să acopere în principal costul investiției, în timp ce sistemul ERTMS aduce beneficii în principal sectorului feroviar în ansamblu. În același timp sistemul devine rentabil doar pe termen lung, iar compensarea investiției administratorilor de infrastructură și a întreprinderilor feroviare rămâne neclară [33].

Din punct de vedere tehnic compatibilitatea reprezintă o problemă în implementarea ERTMS. Problemele de compatibilitate cu sistemele naționale de semnalizare derivă din soluțiile alese pentru adaptarea sistemului la specificul rețelele naționale. Lipsa de coordonare și standardizare a dus ca, în prezent, să nu existe la nivelul Uniunii Europene vehicule echipate cu ERTMS la bord care să poată circula pe oricare din secțiunile echipate cu ERTMS. Problemele de compatibilitate între versiunile de ERTMS apar însă chiar și în interiorul aceleiași țări. De exemplu, locomotivele echipate cu ERTMS referința 2 nu sunt compatibile cu echipamentele de teren ERTMS referința 3 [33].

Acestor dificultăți li se adaugă faptul că sistemele de semnalizare naționale în multe țări se află într-o stare bună de funcționare a căror durată de viață nu va ajunge la final în viitorul

apropiat. În Germania, de exemplu, sistemul LZB permite trenurilor să circule cu viteze de 300 km/h, ceea ce este suficient pentru cerințele de exploatare. Deși există și țări care au decis să își înlocuiască pe de-a-ntregul sistemul național de semnalizare cu ERTMS (ex: Danemarca), acestea sunt mai degrabă excepția. Majoritatea țărilor au ales să își păstreze sistemele de semnalizare specifice chiar și pe secțiunile modernizate cu ERTMS dând termene îndepărtate sau deloc pentru scoaterea din uz a acestora.

1.4.3 Comparație cu situația centralizărilor

Din cele expuse până acum se poate face o paralelă între gradul redus de implementare a sistemului ERTMS și procentul scăzut de instalații de centralizare de tip electronic. În ambele cazuri principalele motivele sunt similare:

- Costul implementării noilor sisteme este foarte ridicat;
- Beneficiile aduse de noile sisteme sunt mici sau devin observabile pe termen lung, ceea ce nu justifică investiția administratorilor de infrastructură;
- În ciuda vârstei, sistemele aflate deja în funcție oferă performanțe tehnice similare cu cele ale noilor sisteme;
- Noile sisteme au o durată de viață mult mai mică decât vechile sisteme;
- Pentru același tip de sistem nou există mai multe versiuni dezvoltate de-a lungul timpului, care nu sunt neapărat compatibile între ele.

Ținând cont de aceste argumente, în momentul actual balanța înclină spre păstrarea și îmbunătățirea punctuală a actualelor sisteme de semnalizare și centralizare în detrimentul modernizării totale.

În cazul ERTMS, termenul actual de echipare completă a coridoarelor principale până în 2030 este improbabil de a fi respectat. Această dată va fi cel mai probabil decalată. Dacă implementarea continuă în ritmul actual, un termen mai realist pentru echiparea completă a coridoarelor europene va fi 2040-2045.

Dacă în cazul ERTMS există niște termene (indiferent de precizia lor), în cazul instalațiilor de centralizare nu există o strategie la nivel european pentru înlocuirea vechilor sisteme. În absența acestor obligații și privind cele expuse până acum, este mai mult ca sigur că vechile instalații de centralizare, în special cele cu relee, să funcționeze în condiții bune mult în viitor.

1.5 Simulatoare feroviare

1.5.1 Modell Stellwerk

Modell Stellwerk este un program software folosit pentru a controla machete feroviare. El este modelat după instalațiile de centralizare SpDrS60 (cu releu) și ESTW (electronice) ale căilor ferate germane și după instalațiile Integra Domino 67 (cu releu) ale căilor ferate elvețiene. O reprezentare a pupitrului de comandă tradițional este afișată pe ecranul calculatorului, comenzile efectuându-se prin intermediul mouse-ului sau al unui ecran tactil [34].

Trenurile, macazurile și semnalele machetei pot fi controlate manual de către utilizator sau automat de către program. Astfel, macheta funcționează în trei moduri: manual, semiautomat și automat. În modul automat programul poate dirija trenurile după un program prestabilit sau în mod aleatoriu [34].

Programul prezintă însă niște diferențe față de instalația reală. Cea mai evidentă este modul în care se efectuează comenzile. Dacă un parcurs este comandat în realitate prin apăsarea simultană a două butoane distincte, acest lucru nu este posibil în program. Butoanele virtuale de comandă ale parcursurilor pot, în schimb, fi acționate doar într-o anumită ordine [34].

Pupitrul de comandă poate fi reprezentat în trei moduri distincte (vezi Figura 11): clasic (asemănător pupitrului real), fotorealistic (elementele pupitrului apar ca fotografii ale elementelor reale) și electronic (reprezentarea modernă a instalațiilor electronice) [34].

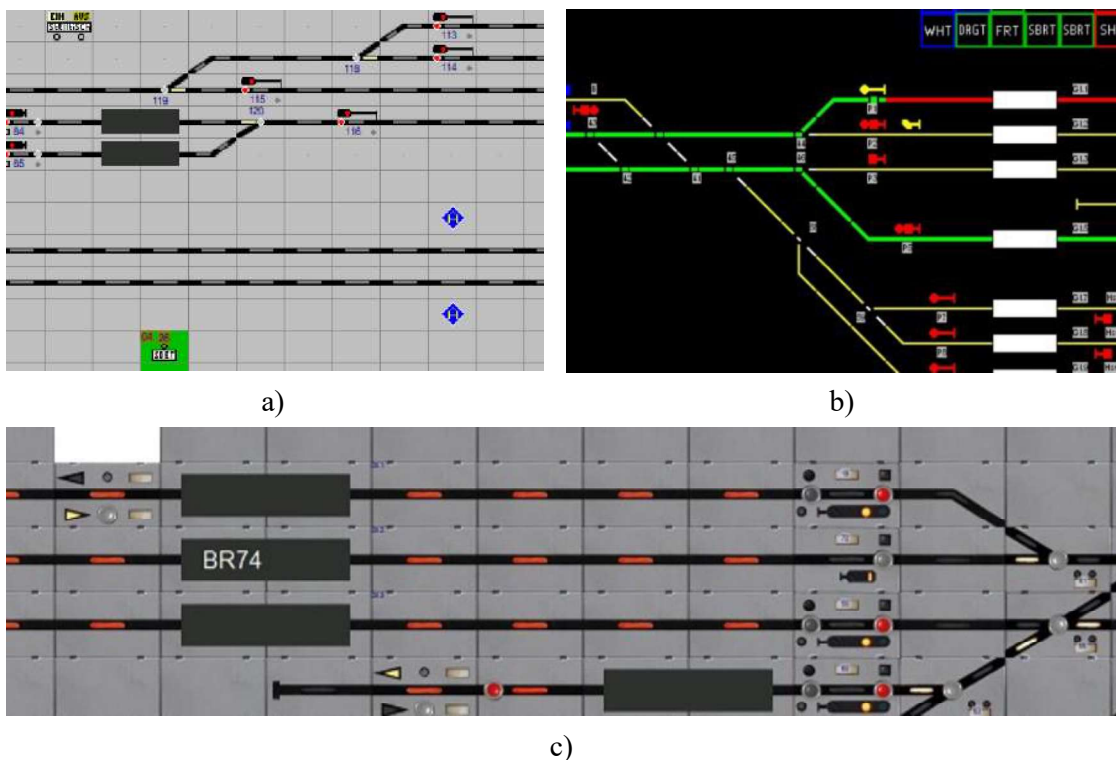


Figura 11. Reprezentarea clasică (a), electronică (b) și fotorealistică (c) a pupitrului de comandă în programul Modell Stellwerk [34]

1.5.2 NXSYS

NXSYS este o aplicație dezvoltată pentru a reproduce modul de funcționare a instalației de centralizare de la metroul din New York. Aplicația prezintă o interfață cu utilizatorul identică cu cea a sistemului real (Figura 12). Trenurile și deplasarea acestora sunt simulate virtual [35].

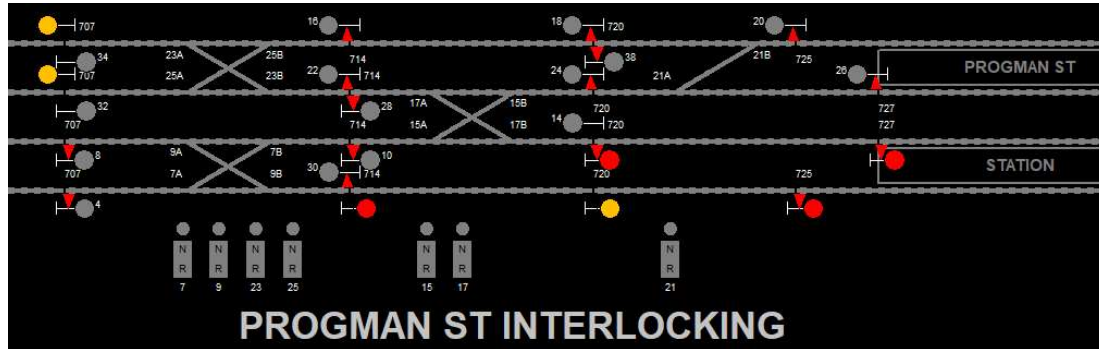
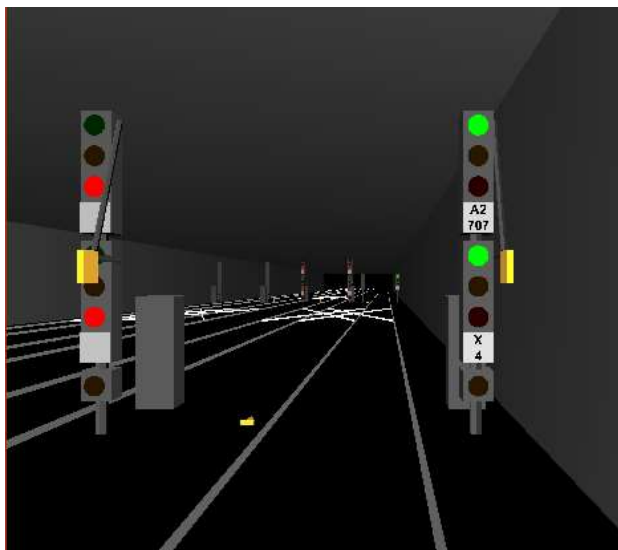


Figura 12. Interfața programului NXSYS

Manipularea macazurilor și a semnalelor se realizează prin intermediul mouse-ului. Trenurile de metrou pot fi definite cu ușurință și funcționează în mod autonom sau pot fi conduse în mod manual. În ambele moduri de operare trenurile nu pot depăși un semnal aflat pe roșu. Circulația trenurilor poate fi observată pe ecranul principal sau din perspectiva mecanicului de tren (Figura 13 a).

Aplicația simulează funcționarea releelor din instalația de centralizare și permite utilizatorului să vizualizeze starea acestora sub formă de text (Figura 13 b).



a)



b)

Figura 13. Aspectul semnalelor din cabina mecanicului (a) și starea releelor (b)

1.5.3 SimCED

SimCED este un simulator avansat al instalațiilor de centralizare cu relee din România. Sistemul este folosit de către Centrul Național de Calificare și Instruire Feroviară (CENAFER) pentru a instrui și a atesta impiegații de mișcare [36].

Sistemul de simulare este construit ca o rețea de calculatoare cu un post pentru instructor și mai multe posturi pentru impiegați. Trei aplicații diferite sunt integrate în acest sistem [36]:

- Soft-C – aplicația care simulează instalația de centralizare cu relee. Ea are implementată logica feroviară a instalației și oferă operatorului o interfață grafică pentru a interacționa cu simularea;
- Soft-S – este responsabilă pentru gestiunea generală a sistemului, a parametrilor șo a modurilor de lucru;
- Soft-W – realizează legătura dintre celelalte două aplicații. Ea permite accesarea locală sau la distanță a sistemului.

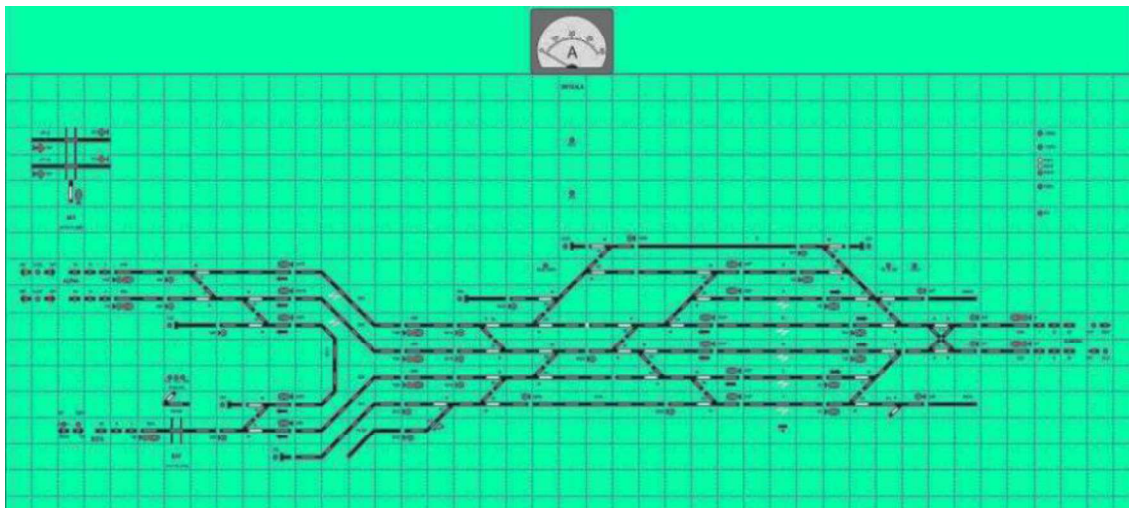


Figura 14. Aspectul luminoschemei CR-2 în SimCED [36]

Principalele funcții ale simulatorului sunt:

- Reproducerea modului de funcționare a pupitrelor de comandă CED CR-2 (Figura 14) și CR-3 cu luminoschemă combinată sau cu manipulator separat;
- Posibilitatea de a simula toate tipurile de operații efectuate în mod normal și toate operațiile speciale (cele care implică ruperea sigiliului);
- Permite simularea unor situații diverse prin posibilitatea de a regla parametrii simulării (ex: lungimea trenului, condițiile de circulație, etc.);
- Înregistrarea automată a sesiunilor de instruire;
- Generarea de rapoarte în funcție de criteriile specificate;
- Redarea ulterioară a înregistrărilor și salvarea acestora pe un suport extern.

Capitolul 2. Simulator electronic de centralizare electrodinamică (ECED)

2.1 Descrierea sistemului

Sistemul conceput și proiectat în această lucrare poartă denumirea de simulator electronic de centralizarea electrodinamică (ECED). Este un sistem cu un nivel mediu de complexitate, care îmbină în egală măsură elemente de hardware și software (Figura 15).

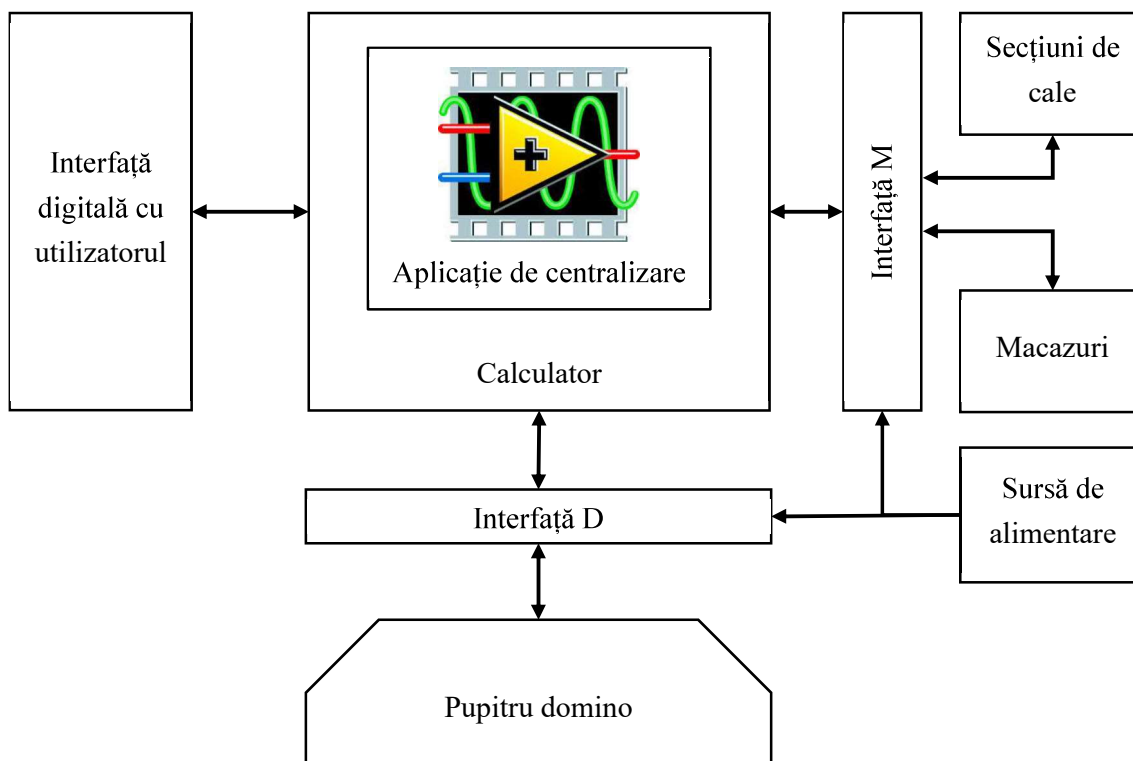


Figura 15. Schema bloc a simulatorului ECED

Sistemul este construit în jurul unei aplicații software dezvoltate în LabVIEW care simulează cu un grad ridicat de fidelitate comportamentul unei instalații de centralizare cu relee de tip CR-3. Aceasta rulează pe un calculator și interacționează cu utilizatorul fie prin intermediul interfeței digitale (monitor și mouse), fie prin pupitrul domino.

Legarea pupitrului domino la calculator se face prin intermediul unei interfețe D (Domino). Interfața M (Machetă) este similară primei și permite aplicației de pe calculator să comande și să controleze secțiunile de cale și macazurile machetei. Ambele interfețe sunt alimentate prin două surse: direct din calculator cu o tensiune scăzută pentru transmisia comenzilor și printr-o sursă externă cu tensiuni mai ridicate pentru alimentarea machetei și a pupitrului domino.

Funcțional, sistemul este reprezentat de trei elemente: interfața cu utilizatorul (digitală sau pupitrul domino), aplicația de centralizare și macheta feroviară. Fluxul de informații dintre acestea are loc continuu, aplicația de centralizare aflându-se în mijlocul schimbului de informații (Figura 16).

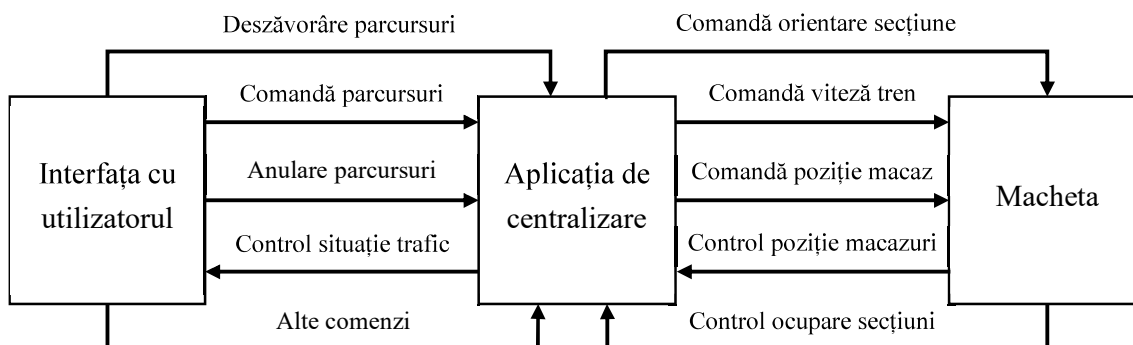


Figura 16. Diagrama fluxurilor informaționale

Pentru realizarea unui parcurs utilizatorul trebuie să comande mai întâi parcursul de la pupitrul domino sau prin interfața electronică. Aplicația de centralizare primește această comandă și comandă la rândul ei elementele machetei. Macazurile sunt comandate pe pozițiile corespunzătoare, după care manevrarea lor este verificată de către aplicație în timp ce secțiunile de cale sunt orientate corespunzător. Comanda deplasării trenului cu o anumită viteză se realizează după verificarea tuturor condițiilor de siguranță.

Aplicația de centralizare indică utilizatorului permanent situația traficului de pe machetă. Starea de ocupare a secțiunilor este supravegheată continuu, chiar și atunci când nu au fost comandate parcurhuri. Fluxurile de informații se desfășoară similar în cazul comenzilor de anulare sau deszăvorâre. Alte comenzi care pot fi date de către utilizator sunt legate de vizualizarea aspectului semnalelor și de activarea sau dezactivarea unor funcții (ex: iluminare opritori).

Per ansamblu, funcțiile simulatorului ECED pot fi rezumate astfel:

- Reproducerea modului de funcționare a unei instalații de centralizare cu relee de tip CR-3 cu pupitru domino,
- Comanda și controlul unei machete feroviare într-un mod similar căilor ferate reale;
- Selecția interfeței cu utilizatorul (electronică sau pupitru domino);
- Simularea unei diversități mari de parcurhuri: manevre, intrări și ieșiri circulație, ieșire spre direcții diferite, intrări și ieșiri pe linie falsă;
- Simularea operațiilor speciale de tip rupere a sigiliului;
- Vizualizarea aspectelor tuturor semnalelor printr-o reprezentare cât mai apropiată de cea din instrucțiunile de semnalizare;
- Vizualizarea stării releelor.

2.2 Cerințe de proiectare impuse

Proiectarea sistemului a trebuit să țină cont de elementul principal existent deja în laboratorul de centralizări feroviare al Departamentului Telecomenzi și Electronică în Transporturi din Facultatea de Transporturi: pupitrul de comandă.

Am dorit integrarea pupitrului în simulator pentru a oferi utilizatorului o experiență cât mai apropiată de cea reală, pentru a folosi o resursă rară aflată la dispoziție și pentru a demonstra principiul integrării vechilor tehnologii cu cele noi. Acesta se află într-o stare bună, fără elemente lipsă și cu toate cablajele regletelor din spate intacte, ceea ce ușurează mult conceperea unui simulator în jurul său.

Folosirea pupitrului afectează direct proiectarea simulatorului prin impunerea unor caracteristici pentru instalația de centralizare. Prima cerință este ca simulatorul să fie construit după modelul instalației cu relee de tip CR-3, a doua este ca liniile dintre stația proiectată și stațiile adiacente să fie controlate prin bloc de linie automat (BLA) cu relee directe, iar ultima cerință este legată de topologia stației.

Stația Gama căreia îi aparține pupitrul de comandă este o stație complexă cu o linie dublă în capul X, două linii duble în capul Y, șase linii de garare, 25 de macazuri și 37 semnale. O reprezentare completă a stației, așa cum apare pe pupitrul domino, se găsește la Anexa 1. Deoarece complexitatea ridicată a stației ar fi implicat un timp de proiectare și execuție mai îndelungat, am ales reducerea dimensiunii stației prin folosirea doar a unei părți a pupitrului de comandă.

Stația Gama redusă permite executarea aceluiași tipuri de operații ca stația completă: executarea parcursurilor de intrare sau ieșire circulație, executarea parcursurilor de manevră, inclusiv pe linia de evitare, intrarea pe linie falsă și ieșirea spre direcții diferite. De asemenea s-a păstrat și unul din cele două semnale de ieșire cu drum de alunecare. Topologia stației s-a redus astfel la un set de linii duble în ambele capete de stație, 10 macazuri și 17 semnale. Denumirea macazurilor și a semnalelor a rămas identică pentru a nu produce confuzie. Singura schimbare de denumire este în capul Y, unde semnalele Y și YF au fost redenumite YA, respectiv YB pentru a indica direcții diferite. Anexa 2 conține planul monofilar al stației Gama reduse folosit ca bază pentru proiectarea instalației de centralizare.

2.3 Proiectarea aplicației de centralizare

2.3.1 Digitalizarea logicii feroviare cu relee de tip CR-3

După cum a fost menționat în paragraful 1.2.2, instalațiile de centralizare CR-3 sunt un tip de centralizare cu relee implementate în România. Ele se diferențiază de versiunea anterioară (CR-2) prin manevrarea automată a macazurilor de către instalație la definirea unui nou parcurs.

În acest tip de instalație de centralizare informația este procesată în mai multe etape, de care sunt responsabile anumite grupuri de relee și contacte. Pentru a ușura și sistematiza

proiectarea instalațiilor, aceste grupuri sunt reprezentate în scheme electrice separate cu denumiri specifice funcțiilor lor (Tabelul 3).

Tabelul 3. Funcțiile releelor folosite în instalația CR-3 [11][37]

Prescurtare	Denumirea releelor	Funcții
BP	Buton	Memorare a apăsării butoanelor de parcurs.
BPA	Automate de buton	Acționare automată a butoanelor de parcurs intermediare.
ICC, ICM, ATM	Începere comandă circulație/manevră, ajutor terminare manevră.	Memorare a începerii unui parcurs de circulație/manevră, a finalizării unui parcurs de manevră.
SCM, CMP, CMM	Stabilire comandă macazuri, comandă a macazului pe plus/minus	Delimitare parcurs, comandă manevrare macazuri.
CM, TM	Comun/Terminare manevră	Delimitare începere parcurs manevră, sfârșit parcurs manevră.
IP	Începere parcurs	Delimitare începere parcurs de circulație sau manevră.
KSC	Control secțiuni circulație	Verificare compatibilitate parcursurile de circulație dintr-un cap de stație cu parcursurile de circulație și manevră din celălalt cap de stație.
KS	Control secțiuni	Verificarea condițiilor esențiale de siguranță (starea secțiunilor, poziția macazurilor, compatibilitatea cu parcursurile de circulație din capătul opus de stație.
Z, DA	Zăvor, dezăvorâre artificială	Fixarea parcursurilor, anularea parcursurilor după fixarea permanentă a acestora.
EF, EI, ZC	Excludere frontală/intrări, zăvor circulație	Memorare a parcursurilor stabilite.
S	Semnal	Verificarea condițiilor esențiale de siguranță, afișarea indicațiilor la semnale.
P	Parcurs	Fixarea permanentă a parcursurilor, anularea parcursurilor și revenirea instalației la starea inițială pe măsura consumării parcursurilor de către trenuri.

În instalațiile CR-3 un parcurs este stabilit de către operatorul uman prin acționarea succesivă a unui buton de începere (BI) și a unui buton de finalizare (BF) a parcursului. Informația oferită de impiegat este prelucrată de schemele descrise anterior, având ca rezultat autorizarea parcursului în cazul îndeplinirii tuturor condițiilor de siguranță prin afișarea indicațiilor permissive la semnale.

Informația nu este însă doar procesată și transmisă mai departe, ci este memorată la nivelul fiecărei scheme. Astfel, schemele se verifică unele pe celelalte permanent, iar orice neregularitate dintr-o schemă va produce nefuncționarea celorlalte scheme și neautorizarea parcursului. Informația circulă în cadrul instalației de centralizare asemenea datelor dintr-o rețea de calculatoare cu topologie de tip plasă (Figura 17). Această structură a dovedit de-a lungul timpului că asigură o foarte bună protecție la defecțiuni. Din acest motiv simulatorul proiectat preia același mod de organizare pentru procesarea informației.

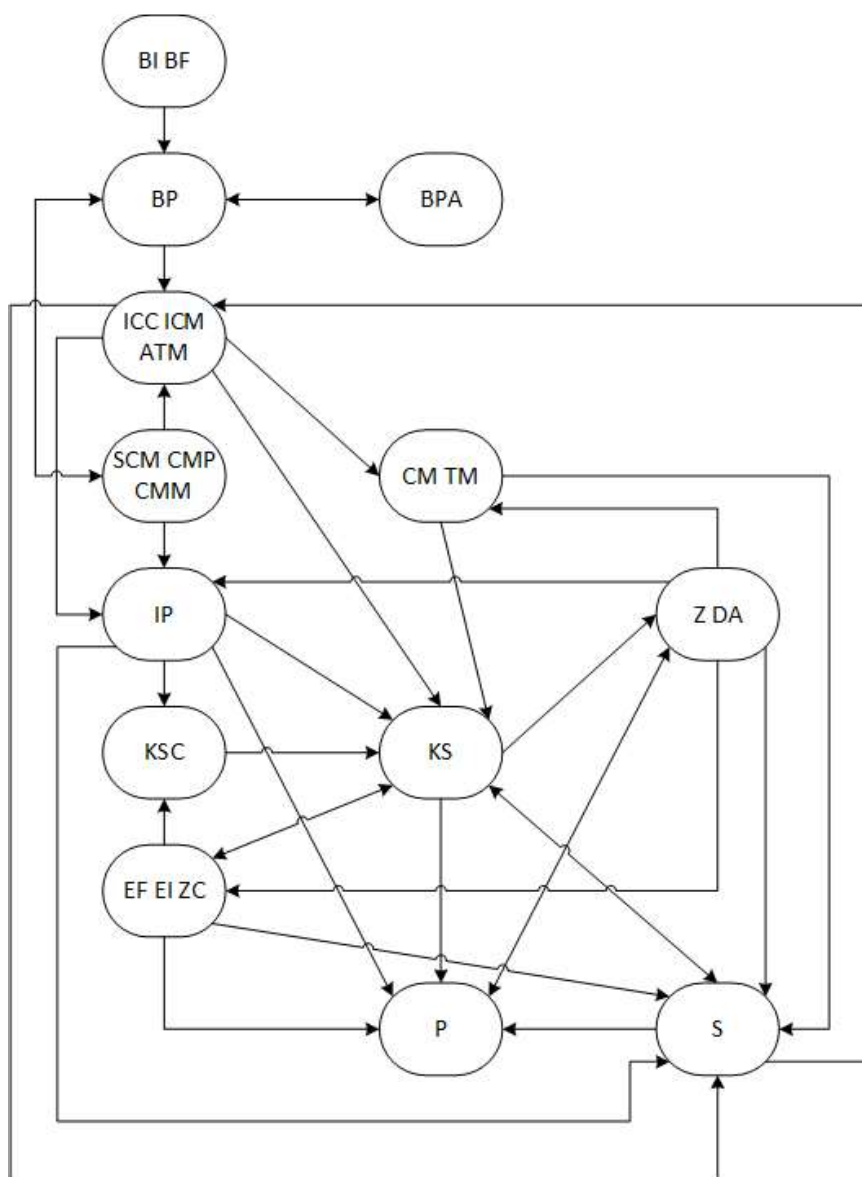


Figura 17. Fluxul de informații în instalația CR-3

Prin natura lor, releele sunt dispozitive electronice care se pot afla doar în două poziții: atrase sau căzute. Acest comportament face foarte ușoară modelarea funcționării circuitelor cu contacte și rele prin intermediul algebrei booleene [38] și prin aceasta proiectarea unui simulator digital care să funcționeze cât mai similar cu instalația originală.

Astfel, primul pas în dezvoltarea aplicației de simulare a fost reprezentat de realizarea schemelor tradiționale ale unei instalații CR-3 pe baza caracteristicilor stației Gama. Anexele lucrării conțin o parte din schemele de centralizare întocmite pentru acest proiect (Anexa 3 – Anexa 8). Următoarea etapă a fost definirea releelor sub forma expresiilor booleene și implementarea lor în aplicație (Figura 18).

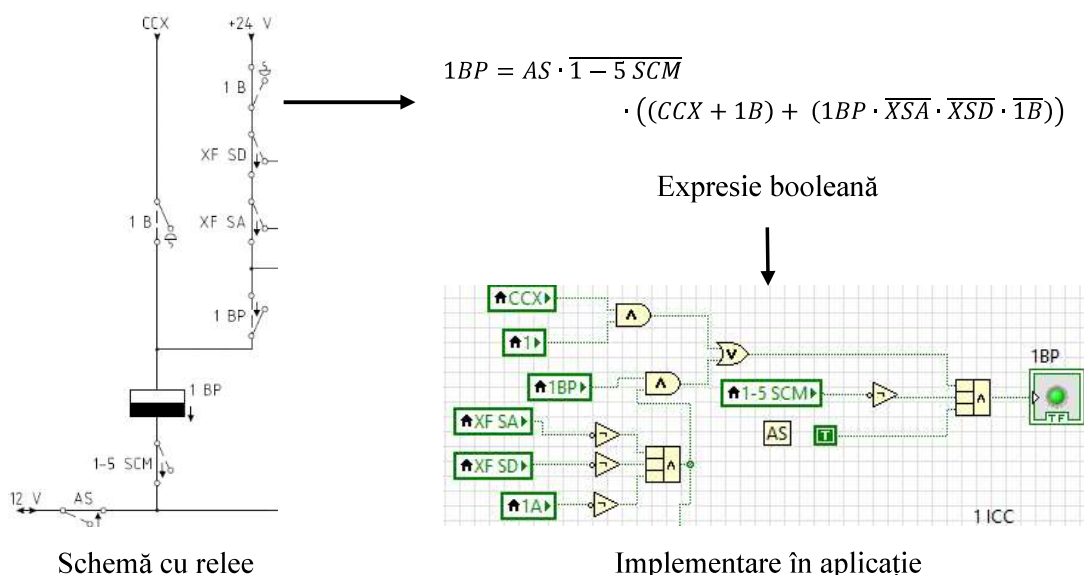


Figura 18. Procesul de implementare al logicii cu rele în aplicație

2.3.2 Mediul de dezvoltare – LabVIEW și LINX

Aplicația de centralizare a fost realizată în LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench). Acesta este un mediu de dezvoltare având la bază un limbaj grafic de programare. Posibilitatea de integrare cu ușurință a plăcilor de achiziții de date, a instrumentelor de măsură și a altor dispozitive electronice permite o gamă largă de aplicații ce pot fi concepute și implementate prin acest mediu [39].

Printre avantajele acestui mediu de dezvoltare relevante pentru aplicația dezvoltată se numără mai sus amintita compatibilitate cu o gama largă de dispozitive electronice, limbajul de programare foarte ușor de utilizat și înțeles, existența unor seturi de funcții, operații și variabile booleene, precum și posibilitatea de a proiecta o interfață cu utilizatorul adecvată aplicației de centralizare.

Un punct slab care s-a făcut remarcant pe parcursul dezvoltării a fost o creștere în dificultate a navigării în program pe măsura populării acestuia cu funcții și variabile. Acest neajuns este însă relevant doar în faza de dezvoltare pentru cel care construiește aplicația, utilizatorul final nefiind afectat.

Deoarece LabVIEW nu poate lucra direct cu plăcile de dezvoltare folosite pentru achiziția datelor din acest proiect, a fost nevoie de utilizarea unui soft complementar. LINX este o bibliotecă liberă dezvoltată pentru LabVIEW de către comunitatea LabVIEW MakerHub cu scopul de a ușura lucrul cu o gamă largă de plăci de dezvoltare. Printre acestea se numără plăcile din familia Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone Black, Digilent, PJRC și Sparkfun [40].

2.3.3 Prezentarea interfeței digitale om – simulator

Pentru utilizator cea mai relevantă componentă a aplicației de centralizare este reprezentată de către interfața dintre el și simulator. Asemenea operării unei instalații reale, logica feroviară implementată la nivelul aplicației prin funcții și variabile nu este vizibilă direct utilizatorului. Acesta poate însă observa valorile diferitelor variabile asemenea cum poziția releelor instalației de centralizare poate fi observată în realitate. Acest paragraf descrie interfața digitală dintre utilizator și sistem.

Figura 19 oferă o vedere asupra ferestrei principale a aplicației de centralizare. Prin intermediul acesteia utilizatorul poate comanda și controla macheta feroviară. Lungimea stației face dificilă reprezentarea acesteia pe un singur monitor păstrând elementele de comandă și control la niște dimensiuni adecvate, astfel încât este recomandată folosirea a două monitoare sau a unui monitor cu o lățime considerabil mai mare decât înălțimea sa.

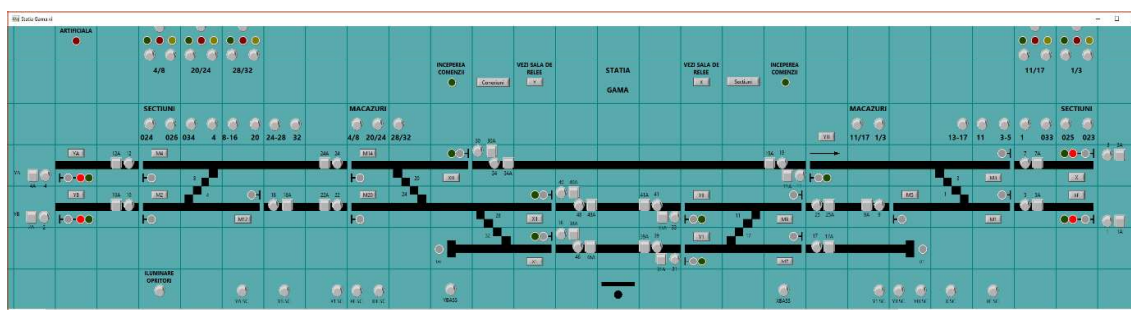


Figura 19. Fereastra principală a aplicației de centralizare

Grație funcțiilor oferite de LabVIEW a fost posibilă modelarea interfeței electronice atât prin elemente funcționale, cât și cosmetice astfel încât să fie recreat cât mai fidel posibil aspectul pupitrului domino.

Secțiunile de cale care conturează topologia stației au un aspect ușor modificat. Dacă în realitate fiecare celulă de secțiune de cale a pupitrului domino conține o fantă pentru indicarea stării de liber sau ocupat (cu aspect general de linie întreruptă), interfața electronică reprezintă diferitele secțiuni de cale prin linii continue (Figura 20). Este păstrată însă semnificația cromatică a indicațiilor de pe pupitru: negru (stins) pentru secțiune liberă și neinclusă într-un parcurs, alb pentru secțiune liberă inclusă într-un parcurs și roșu pentru secțiune ocupată.



Figura 20. Aspectul unei secțiuni pe pupitrul domino (a) și în interfața electronică (b)

Butoanele de parcurs ale instalației reale se pot afla în trei poziții: neutru, apăsat și tras. Acestea permit atât definirea, cât și anularea parcursurilor de la același buton. Cum elementele de comandă de tip boolean din LabVIEW nu pot avea decât două poziții, am ales folosirea a două butoane distincte pentru cele două comenzi (Figura 21). Astfel, un buton rotund care păstrează numerotarea butoanelor originale este folosit la definirea parcursurilor, iar un buton pătrat este folosit la anularea parcursurilor (denumirea acestor butoane derivă din numerotarea butoanelor originale, la care se adaugă litera A).

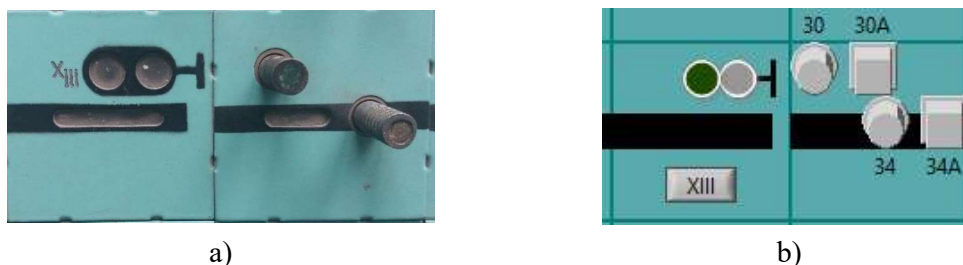


Figura 21. Aspectul butoanelor de parcurs la pupitrul domino (a) și în interfața electronică (b)

Aspectul semnalelor poate fi vizualizat în două moduri: direct în fereastra principală sau în ferestre suplimentare. Prima metodă este o copie fidelă a modului în care indicațiile semnalelor sunt afișate pe pupitrul domino real. Informația oferită este însă în acest caz limitată. Indicațiile permissive ale semnalelor de circulație nu vin și cu informații legate de natura lor (viteză stabilită, viteză redusă) sau cu informații legate de alte elemente de semnalizare relevante (indicator de direcție, indicator de ieșire pe linie falsă).

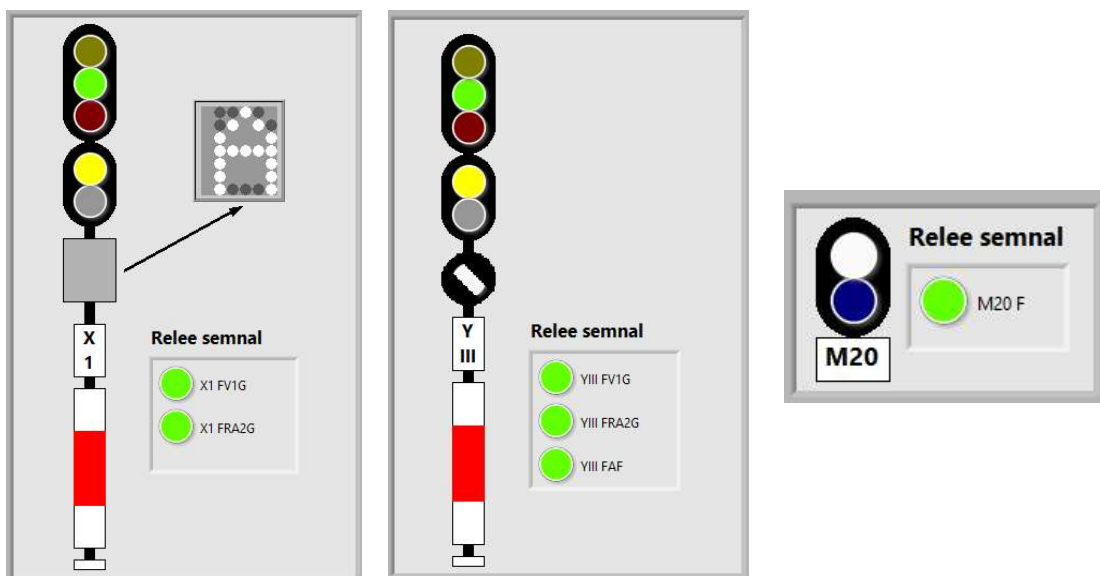


Figura 22. Aspecte ale câtorva semnale așa cum apar în aplicație

Al doilea mod de a verifica aspectul semnalelor este prin consultarea unor ferestre auxiliare. Acestea pot fi deschise pentru fiecare semnal prin apăsarea butonului cu denumirea semnalului. Butonul este așezat lângă simbolul semnalului din fereastra principală (Figura 21 b). Fereastra care se deschide conține o reprezentare cât mai fidelă semnalului din teren, inclusiv a marcajelor (Figura 22).

O funcție implementată exclusiv în aplicația ECED este vizualizarea stării releelor pe pupitrul virtual. Verificarea se face pentru fiecare cap de stație printr-o fereastră asemănătoare celor de semnal (Figura 23). Butoanele pentru deschiderea acestor ferestre sunt poziționate în mijlocul ferestrei principale, la stânga și la dreapta numelui stației. Releele sunt reprezentate sub forma unor indicatoare de tip LED a căror aprindere corespunde stării atrase, iar stingere stării căzute. Releele sunt așezate în pagini ce corespund schemelor reale și aranjate pseudo-geografic pentru a fi mai ușor de observat.

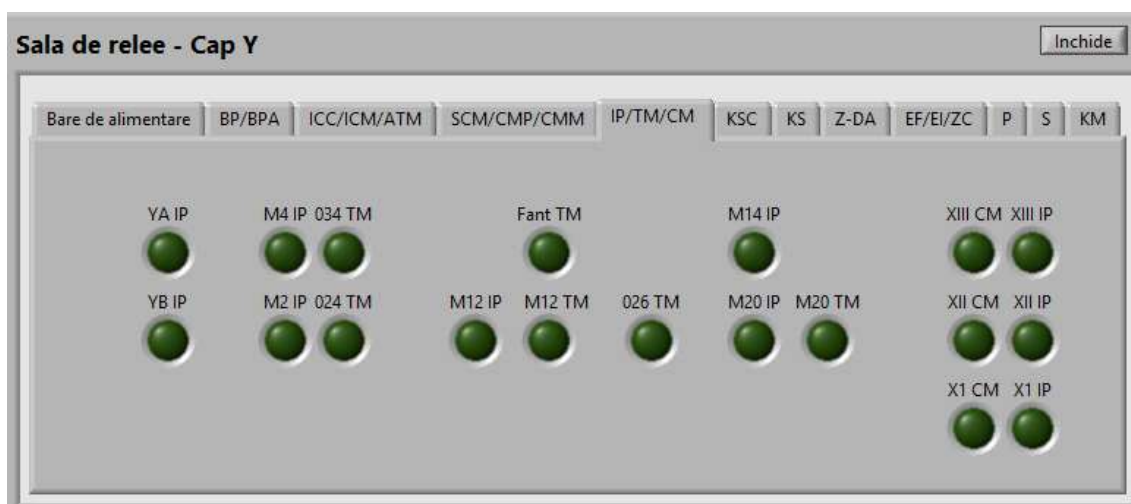


Figura 23. Fereastra releelor din capul Y al stației

Aplicația ECED dispune și de o fereastră pentru simularea ocupării secțiunilor de cale similară cu cele descrise anterior.

O funcție foarte importantă a instalației clasice CR-3 este cea de dezăvorâre artificială. Ea are loc atunci când un parcurs este anulat după ce trenul a ocupat secțiunea de apropiere aferentă acestuia. Pentru a evita anularea accidentală a parcursului, dezăvorârea artificială este securizată suplimentar. La pupitrul domino real aceasta se realizează prin blocarea fizică a butonului de comandă prin intermediul unei sârme sigilate. Dacă impiegatul dorește să dezăvorască artificial niște secțiuni, el trebuie să rupă fizic sigiliul și să consemneze în scris această acțiune.

Când simulatorul ECED este comandat de către pupitrul domino, dezăvorârea artificială se realizează ca în realitate. În cazul folosirii interfeței digitale, după ce utilizatorul a acționat butonul de dezăvorâre artificială al secțiunii, confirmarea acestuia este solicitată printr-o fereastră de dialog (Figura 24).

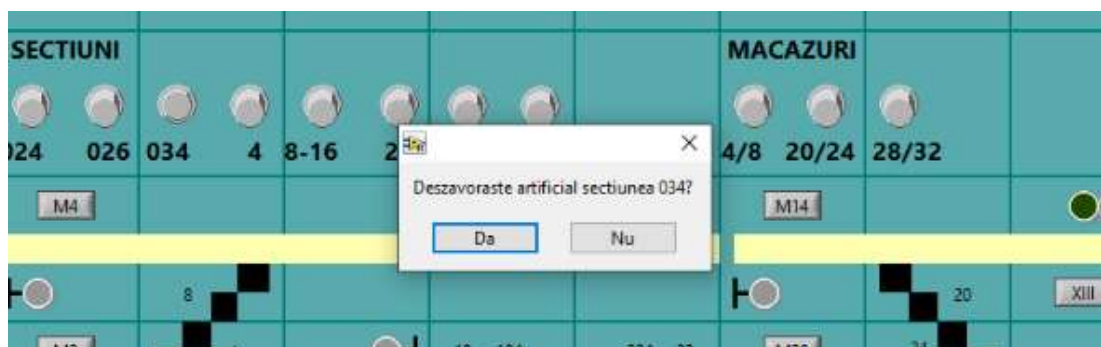


Figura 24. Fereastra de dialog pentru confirmarea dezăvorârii artificiale

Conexiunea dintre aplicația ECED și plăcile de dezvoltare ale machetei sau ale pupitrului domino sunt inițiate printr-o fereastră suplimentară, asemănătoare cu cele ale sălii de rele (Figura 25). Stabilirea conexiunii se face prin selectarea portului plăcii de achiziții și prin apăsarea butonului de conectare. Dacă aplicația ECED reușește să realizeze conexiunea cu succes, indicatorul de tip LED se va aprinde. Încetarea conexiunii se poate face prin intermediul butonului „Închide conexiunea”.

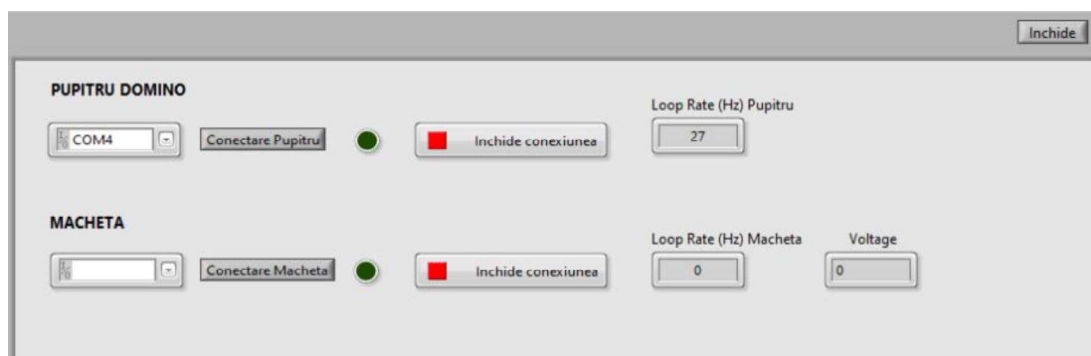


Figura 25. Fereastra de gestionare a conexiunilor cu plăcile de achiziție

2.4 Proiectarea interfețelor electronice

2.4.1 Principii de proiectare

Cele două interfețe concepute pentru simulator au aceeași arhitectură (Figura 26).

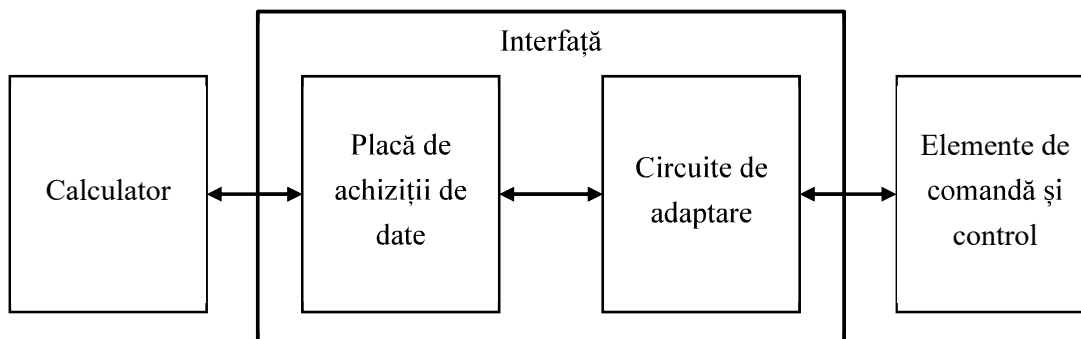


Figura 26. Schema bloc a interfețelor

Placa de achiziții de date este cea care comunică direct cu aplicația de centralizare de pe calculator, iar prin intermediul circuitelor de adaptare emite și recepționează comenzi. Deoarece atât pupitrul domino, cât și macheta feroviară prezintă un număr foarte mare de intrări și ieșiri, este nevoie de mai multe plăci de achiziții pentru fiecare interfață în parte.

Pentru acest proiect am ales folosirea plăcii de dezvoltare Arduino Mega 2560 Rev3 pe post de placă de achiziții de date. Alegerea a fost justificată de numărul mare de intrări și ieșiri de care dispune placa (54 de intrări/ieșiri digitale, din care 15 ieșiri capabile de a genera impulsuri modulate în durată (MID), 16 intrări analogice) [41], prețul scăzut în comparație cu alte alternative și integrarea ușoară cu LabVIEW prin intermediul bibliotecii LINX.

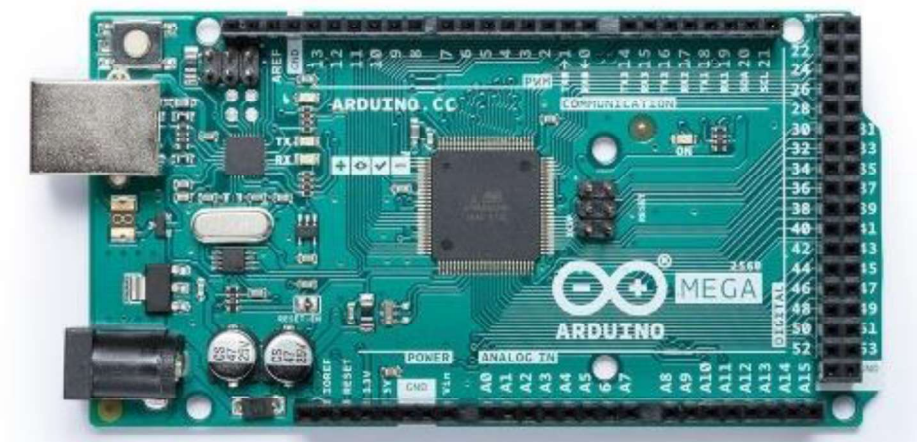


Figura 27. Placa de dezvoltare Arduino Mega 2560 [41]

2.4.2 Interfața D și pupitrul domino

Un pupitru domino este construit dintr-o mulțime de celule, numite elemente, aranjate pe rânduri și coloane. Aceste elemente sunt standardizate (aproximativ 300 de variante) [42] și sunt legate prin cabluri la o serie de reglete aflate pe spatele pupitrului (Figura 28). La aceste reglete se conectează cablurile care vin din ramele de relee sau de pe teren. Ordinea elementelor pe rânduri se regăsește sub aceeași formă pe reglete, în timp ce ordinea pe coloane reprezintă grupuri de rânduri pe reglete. Cablurile care vin de la elementele domino sunt colorate după un cod ce corespunde poziției lor pe coloanele regletei.

Pupitrul domino din laboratorul de centralizări are 12 rânduri și 40 de coloane, cu un număr total de 480 de elemente domino. Deoarece simulatorul este construit în jurul unei stații cu o topologie mai puțin complexă decât cea originală, numărul de elemente folosite scade la aproximativ o treime.

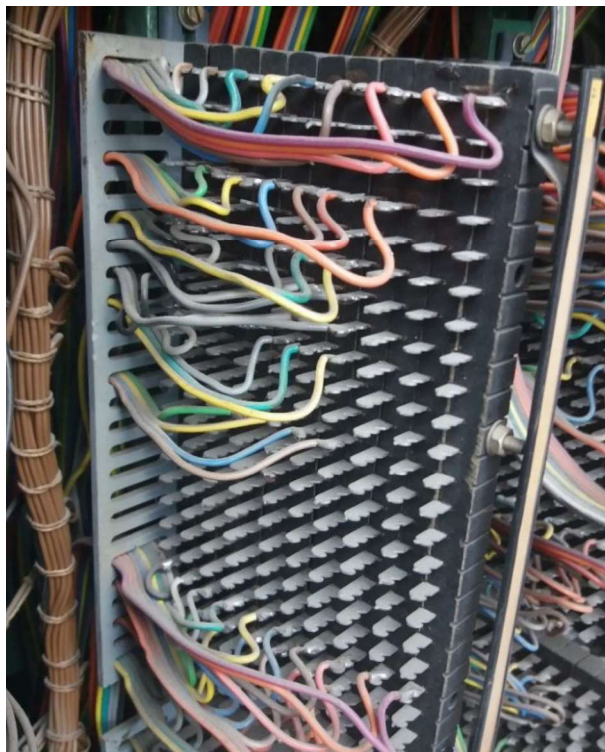


Figura 28. Una din regletele de pe spatele pupitrului domino

Circuitele de adaptare pentru această interfață sunt foarte simple. În cazul elementelor de comandă există o serie de contacte (comun, de lucru și/sau de repaus) care sunt folosite pentru a oferi informații asupra acționării butonului de pe pupitru. Legarea la placa de achiziții de date se face prin intermediul regletelor după următoarea logică: contactele de lucru sunt legate la sursa de alimentare VCC (5V), cele de repaus la masă, iar contactele comune sunt cele citite de către placă (Figura 29). Acestea din urmă au nevoie de o rezistență de coborâre la 0 pentru a asigura o valoare fixă a tensiunii citite atunci când nu este închis contactul de lucru. O valoare obișnuită pentru rezistențele cu acest rol este de 10 k Ω [43].

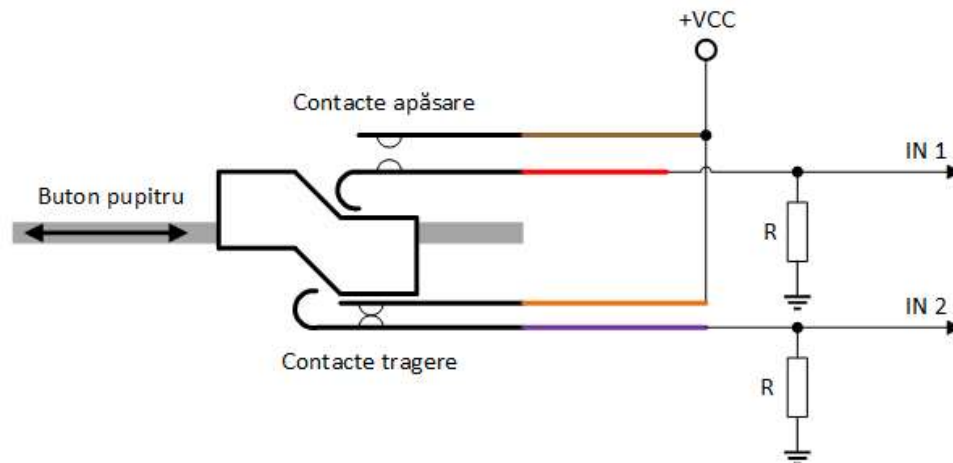


Figura 29. Conectarea unui buton fără fixare ce poate fi apăsat sau tras la placa de achiziții de date

Indicațiile luminoase de pe pupitru sunt oferite, în mod normal, cu ajutorul unor becuri incandescente de tip baionetă alimentate la 12 V și cu o putere nominală de 1,2 W[42]. Pentru a reduce consumul de energie și a permite folosirea tensiunii de 5 V, am ales înlocuirea becurilor clasice cu LED-uri. Prin proiectarea unui soclu potrivit, LED-urile pot fi montate în același locaș precum becurile incandescente fără a aduce modificări pupitrului. Culoarele LED-urilor păstrează aspectul original (verde, galben, roșu și alb).

Legarea elementelor luminoase la placa de achiziții se face asemănător cu cea a elementelor de comandă, fiind însă nevoie de o rezistență de limitare a curentului de valoare diferită în funcție de culoarea LED-ului [44].

Deoarece toate comenzile trimise de la pupitru pot avea doar două valori, intrările analogice ale plăcii Arduino Mega 2560 sunt folosite pe post de intrări digitale prin definirea în program a unui prag logic. Astfel, toate intrările și ieșirile plăcii pot fi utilizate.

Simulatorul folosește 82 dintre butoanele pupitrului domino, 26 dintre care pot fi atât apăsate, cât și trase. Este nevoie de un total de 108 intrări pentru a citi comenzile venite de la pupitru. În ceea ce privește elementele luminoase, este nevoie de 100 de LED-uri roșii, 113 albe, 15 verzi și cinci galbene. Prin gruparea elementelor din aceeași secțiune, numărul LED-urilor roșii se reduce la 70, iar al celor albe la 83. Această grupare este realizată prin intermediul circuitului integrat SN7406N, într-un mod similar cu cel descris în paragraful 2.4.3.

În total, este nevoie de 281 de terminale pentru a putea transmite și recepționa comenzile pupitrului domino (108 intrări de la pupitru, 173 ieșiri către pupitru). Cum o placă Arduino Mega 2560 dispune de 68 de terminale (excluzând cei doi pini de comunicație serială), este nevoie de cinci plăci pentru a putea lega pupitrul domino la simulator.

Din cauza numărului ridicat de LED-uri folosite la semnalizare este nevoie de o sursă suplimentară de alimentare de 5 V. O parte din schema circuitelor de adaptare ale interfeței D este prezentată în Anexa 9.

2.4.3 Interfața M

Trenurile machetei primesc de la aplicația de centralizare comenzi cu privire la sensul și viteza de deplasare. Pentru acest simulator am definit două viteze în funcție de tensiunea de alimentare: viteza normală, care corespunde tensiunii maxime tipice de alimentare pentru trenurile de machetă (12 V) și viteza redusă, care corespunde unei tensiuni mai scăzute (6 V). Ca în realitate, există două sensuri posibile de deplasare: X sau Y.

Astfel, comenzile ce pot fi trimise către trenuri sunt următoarele:

- Oprește;
- Deplasare în sens X cu viteză redusă;
- Deplasare în sens X cu viteză normală;
- Deplasare în sens Y cu viteză redusă;
- Deplasare în sens Y cu viteză normală.

Aceste cinci comenzi predefinite pot fi transmise cu ajutorul a trei biți de informație, iar prin extensie prin trei ieșiri digitale ale plăcii de dezvoltare. Cum tensiunea de alimentare a trenurilor o depășește cu mult pe cea folosită de către placa Arduino Mega 2560, este nevoie ca partea de comandă să fie separată galvanic de cea de execuție. În consecință, am ales folosirea a trei relee în miniatură pentru circuitul de execuție al machetei (Figura 30). Releele pentru selecția tensiunii de alimentare sunt de tipul SPST (NO), în timp ce contactele pentru definirea direcției aparțin unui relee de tip DPDT.

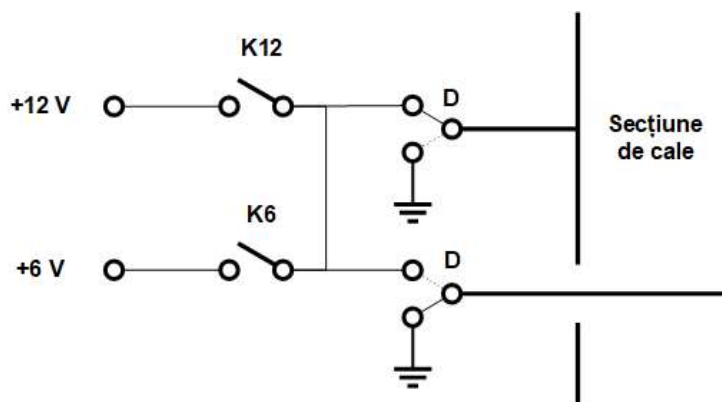


Figura 30. Circuitul de execuție al unei secțiuni de cale

Releele alese pentru simulator sunt modelele 30.22.7.005.010 (releu DPDT) și 32.21.005.230 (releu SPST – NO) produse de FINDER. Ambele relee au o tensiune nominală de 5 V (tensiunea maximă de 7,5 V), iar bobinele au un consum de 40 mA [45][46].

Pentru a comanda cele trei relee am folosit circuitul integrat SN7406N (Figura 31). Acesta conține șase porți inversoare cu ieșiri de tip colector deschis potrivite pentru aplicațiile cu lămpi indicatoare sau cu relee. Doi parametri de reținut ai acestui circuit sunt tensiunea de alimentare, care nominal este de 5 V, cu o valoare maximă absolută de 7 V și curentul maxim

de ieșire de 40 mA [47]. Deoarece o secțiune are nevoie doar de trei rele, cu acest circuit pot fi comandate complet două secțiuni normale de cale.



Figura 31. Circuitul integrat SN7406N [48]

Pentru a proteja circuitul integrat de tensiunea inversă indusă de dezexcitarea releului trebuie adăugate diode de protecție la bornele bobinei fiecărui releu. Caracteristicile pe care trebuie să le îndeplinească aceste diode sunt: curent maxim > 40 mA și o tensiune inversă maximă > 6 V. Dioda 1N4148 satisface condițiile impuse printr-un curent maxim de 150 mA și o tensiune inversă maximă de 100 V [49].

Pentru a evita nevoia existenței a două surse separate de alimentare de 12 și 6 V am ales folosirea unui stabilizator de tensiune pentru generarea tensiunii inferioare. Dispozitivul ales este popularul circuit LM7806 (Figura 32) care admite o tensiune de intrare maximă de 35 V [51].



Figura 32. Stabilizatorul de tensiune LM7806 [50]

Verificarea ocupării secțiunilor de cale se face în realitate prin intermediul circuitelor de cale. Macheta nu permite folosirea aceleiași tehnici pentru detecția trenurilor, motiv pentru care a trebuit găsită altă soluție. Starea secțiunii de cale poate fi aflată prin citirea unei tensiuni (U_{IN}) de pe bornele unei rezistențe (R) aflată într-un circuit serie cu mai multe fotorezistențe. Aceste fotorezistențe sunt așezate pe mijlocul căii de rulare, între traverse, la o distanță una față de cealaltă (d) ce corespunde lungimii celui mai scurt vagon al machetei. Deoarece rezistivitatea

fotorezistenței (R_F) este de ordinul megaohmilor în condiții de întuneric și de ordinul sutelor de ohmi în condiții de iluminare, tensiunea citită la bornele rezistorului fix va varia semnificativ dacă un vagon sau locomotivă se află deasupra (U_O) unei fotorezistențe sau nu (U_L)(Figura 33).

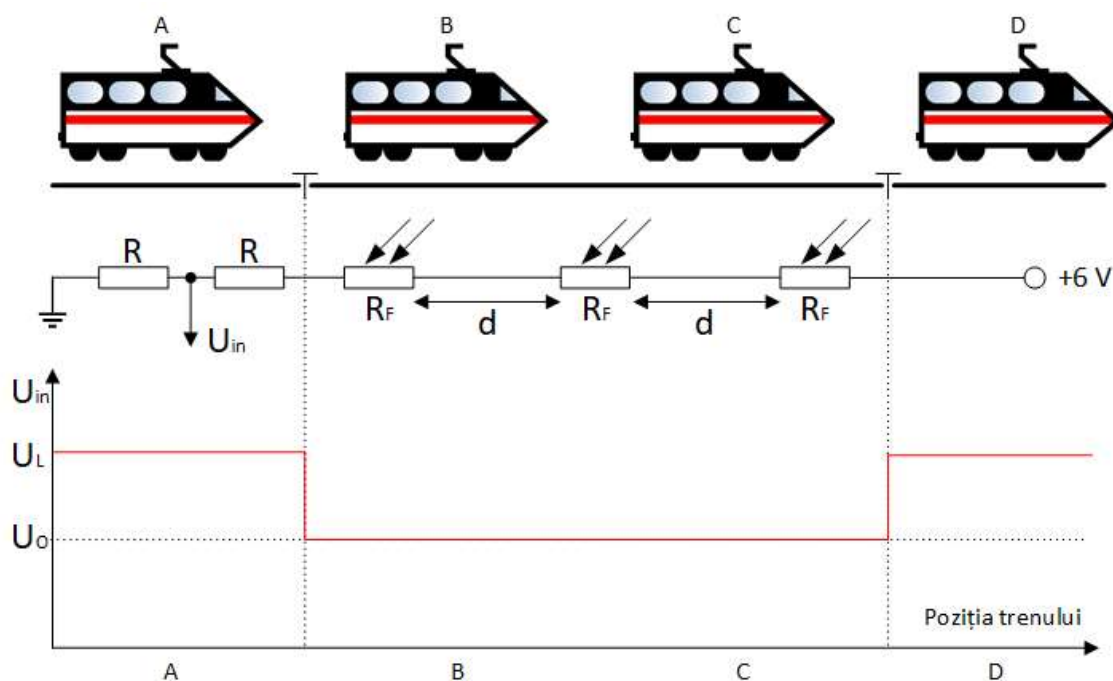


Figura 33. Detecția trenului pe secțiunile de cale prin intermediul fotorezistențelor

Deoarece tensiunea de alimentare folosită în circuitul de detecție este mai mare decât cea recomandată pentru intrările plăcii de dezvoltare, tensiunea este citită între două rezistențe fixe de valoare egală. Astfel, tensiunea maximă posibilă la intrare va fi de 3 V. Relația dintre tensiunea citită și fotorezistoare este următoarea:

$$U_{IN} = 6 \cdot \frac{R}{2R + nR_F} \quad (1)$$

unde R reprezintă valoarea rezistenței fixe, R_F valoarea unei fotorezistențe (dependentă de nivelul de iluminare), iar n reprezintă numărul fotorezistențelor din circuit.

Rezumând cele prezentate, circuitul de adaptare pentru secțiuni simple proiectat ca parte a interfeței M poate comanda și controla două secțiuni de cale. Fiecare secțiune de cale este comandată de către trei ieșiri digitale ale plăcii de dezvoltare Arduino Mega 2560, în timp ce ocuparea lor este controlată, în parte, de către o intrare analogică. Schema electronică a circuitului de adaptare pentru secțiuni simple de cale este inclus în Anexa 10.

În cazul secțiunilor cu macaz este nevoie de o modificare a circuitului pentru secțiuni simple. Acest circuit nu mai poate comanda și controla două secțiuni, ci doar una. Comanda direcției și a vitezei trenurilor pe o secțiune rămâne identică (trei relee comandate prin

intermediul circuitul integrat SN7406N), dar comenzile pentru cealaltă secțiune sunt folosite pentru manevrarea unui macaz.

Deoarece Arduino Mega 2560 oferă 16 intrări analogice, numărul posibil de secțiuni controlate de către o placă este limitat la 16. Cum numărul de intrări/ieșiri digitale ale plăcii este 52, iar fiecare secțiune are nevoie de trei ieșiri digitale, este nevoie de 48 de ieșiri pentru a comanda cele 16 secțiuni posibile. Astfel 4 pini (scăzându-i pe cei doi rezervați pentru comunicarea dintre placă și calculator) digitali rămân disponibili pentru alte funcții.

Pentru comanda macazurilor unei machete feroviare se pot folosi mai multe tehnici. Dintre acestea se remarcă comanda electromagnetică prin intermediul unui comutator solenoid. Acesta este un tip de releu care conține două bobine legate împreună la un terminal și care pot fi comandate independent prin intermediul terminalelor libere. În funcție de bobina activă, contactul solenoidului este manevrat pe o anumită poziție [52]. Comanda solenoidului se face direct din circuitul integrat, fiind nevoie doar de adăugarea diodelor de protecție de același mod ca pentru secțiunile simple. Deoarece comutatoarele solenoid pentru machete feroviare funcționează în general cu 12 V, nu este nevoie de adaptări suplimentare pentru alimentarea acestora [52]. Schema electronică a circuitului de adaptare pentru secțiunile cu macaz este inclus în Anexa 11.



Figura 34. Exemplu de comutator solenoid pentru machete feroviare

Cum stația Gama a simulatorului conține 19 secțiuni de cale între semnalele de intrare, este nevoie de două plăci Arduino Mega 2560 pentru a comanda și controla întreaga stație. Dintre acestea, 10 sunt secțiuni simple și nouă cu macazuri. Va fi astfel nevoie de cinci circuite de adaptare pentru secțiuni simple și zece circuite de adaptare pentru secțiuni cu macazuri (una dintre secțiuni conține două macazuri).

2.5 Testarea simulatorului

Dezvoltarea simulatorului a fost un proces continuu de proiectare și testare. Acest subcapitol prezintă ultimele teste realizate după definitivarea programului de simulare și a circuitelor electronice necesare.

Prin acest test am dorit evaluarea modului în care se comportă simulatorul la efectuarea unui parcurs de circulație de ieșire sau intrare în stație. De asemenea, am dorit testarea circuitului de detecție a trenului. Ținând cont de acestea, circuitul de testare folosit este unul cu mult redus celui real.

Pentru testarea conexiunii cu macheta feroviară s-au realizat circuitele necesare unei singure secțiuni, dar cu o singură treaptă de viteză. Circuitul auxiliar a fost realizat pe o placă de testare (breadboard) folosind componente similare celor descrise anterior (Figura 35).

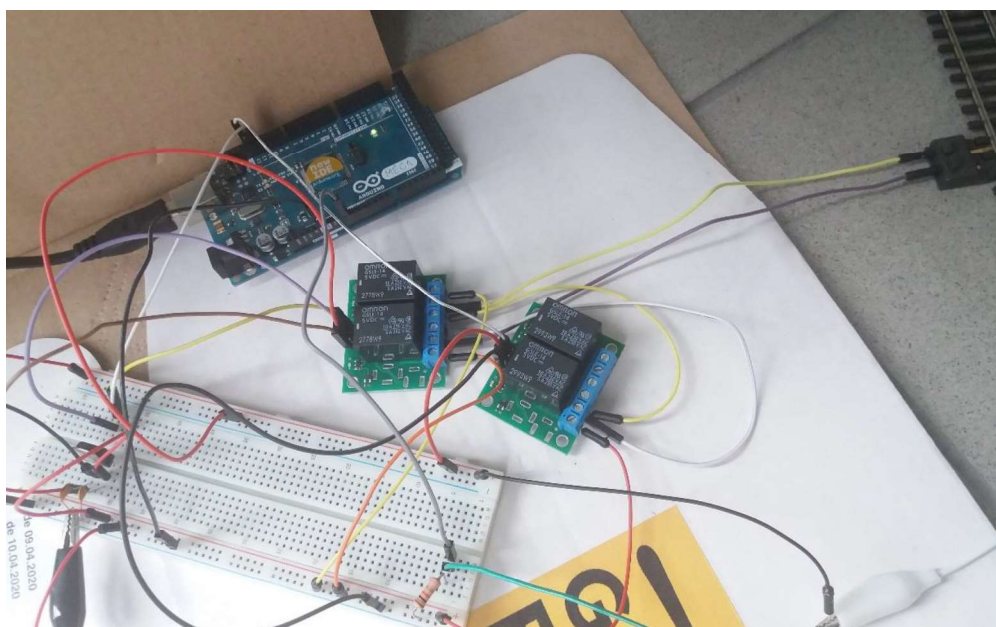


Figura 35. Circuitul de testare pentru comandarea unei secțiuni de cale

Am folosit doar trei fotorezistențe înseriate pe o porțiune scurtă din traseu pentru a testa detectarea prezenței trenului de către simulator (Figura 36). Placa de dezvoltare Arduino Mega 2560 a fost folosită pentru a comanda și controla macheta.

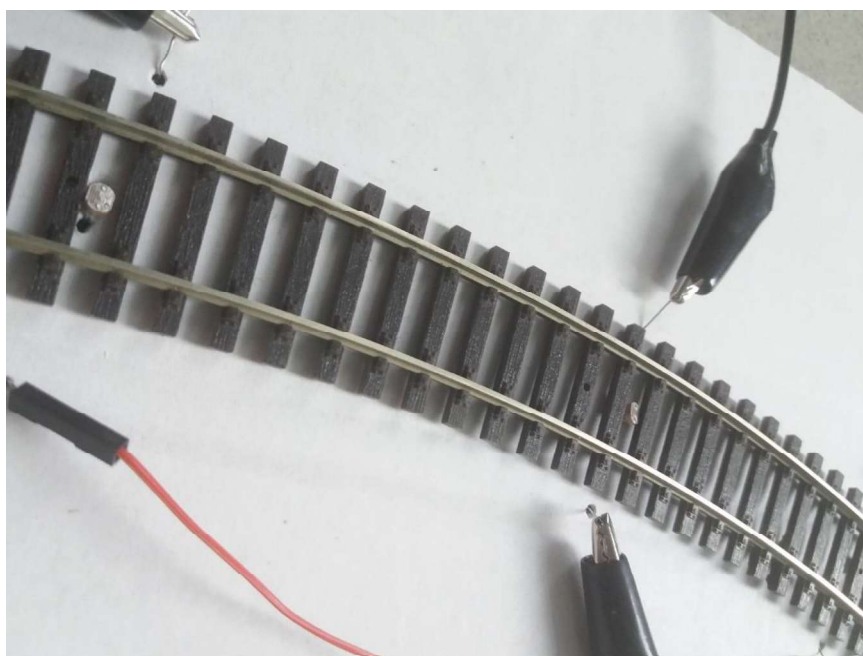


Figura 36. Amplasarea fotorezistențelor pe o secțiune de cale

Doar două celule ale pupitrului domino au fost legate la simulator (semnalul YA și XII). S-a realizat legătura atât pentru contactele de apăsare, cât și pentru cele de tragere. Astfel am putut testa și anularea parcursurului. Circuitul de adaptare a fost și în acest caz realizat pe o placă de testare, dar pentru comunicarea cu aplicația de simulare am folosit placa de dezvoltare Arduino Uno (Figura 37). Legarea circuitului de adaptare cu regletele de pe spatele pupitrului s-a realizat prin intermediul unor conectorii de tip crocodil (Figura 38). Întregul montaj de testare este vizibil în Figura 39.

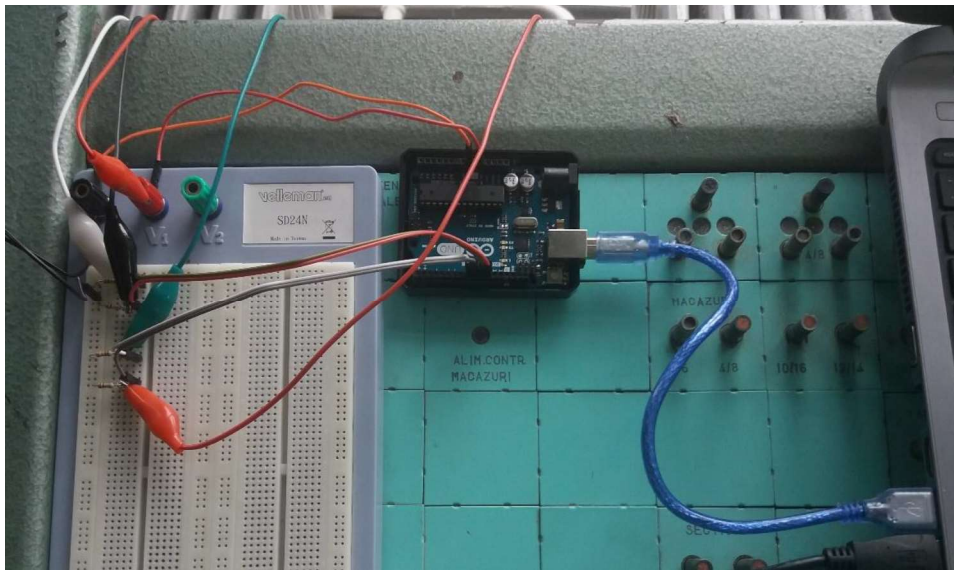


Figura 37. Circuitul de testare pentru legarea la pupitrul domino

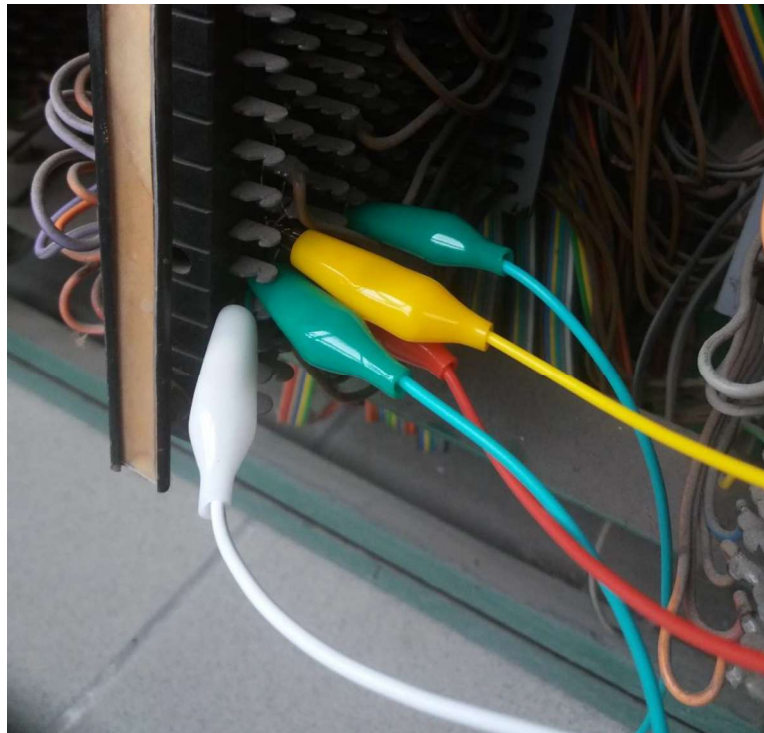


Figura 38. Legarea regletelor la circuitul de testare prin conectorii de tip crocodil



Figura 39. Montajul complet folosit la testarea simulatorului

Testele efectuate au confirmat că simulatorul funcționează în parametrii proiectați. Conexiunea dintre aplicația de simulare, machetă și pupitru este stabilă și poate fi întreruptă și reinițializată cu ușurință și fără erori. Trenul este detectat pe secțiune fără probleme și fără interferențe ale luminii ambientale. O problemă ce a devenit evidentă în timpul testării a fost citirea butonului de terminare a parcursului ca buton de începere (excitarea releelor BP) după stabilirea parcursului. Cauza este reprezentată de viteza ridicată de procesare a aplicației, care citește intrările de la pupitru mai repede decât timpul necesar revenirii butonului în poziția normală. Acest neajuns s-a remediat simplu, prin introducerea unei întârzieri de 20 ms în aplicația de simulare.

Capitolul 3. Calcule de fiabilitate

Durata de bună funcționare reprezintă intervalul de timp în care un echipament își îndeplinește funcția în parametri specificați de producător. Media timpului de bună funcționare (MTBF) se exprimă, de obicei, în ani și este considerată ca fiind durata de viață a unui echipament sau durata în care acesta poate fi folosit sigur [56].

Media timpului de bună funcționare pentru un întreg sistem se calculează astfel [57]:

$$MTBF [h] = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} \quad (2)$$

unde λ_i este definit ca fiind indicele de calitate al componentei și se măsoară în h^{-1} .

Tabelul 4. MTBF Simulator ECED

Denumire	$\lambda_i (10^{-6} h^{-1})$	Număr de bucăți (N)	$N \cdot \lambda_i (10^{-6} h^{-1})$
Arduino Mega 2560	0,18	7	1,26
Rezistor	0,01	371	3,71
Condensator	0,01	30	0,3
LED	0,3	233	69,9
Diodă	0,02	60	1,2
Circuit SN7406N	0,05	25	1,25
LM7806	0,05	15	0,75
Fotorezistență	0,01	150	1,5
Releu	0,01	60	0,6
TOTAL (ore)			12427
TOTAL (ani)			1,4

Capitolul 4. Calcul economic

Următorul tabel prezintă costul componentelor folosite în realizarea simulatorului. Ele sunt organizate pe trei categorii: interfața D, interfața M și componentele machetei. Tabelul nu conține prețul sursei de alimentare, al calculatorului pe care este instalată instalația de centralizare și al firelor folosite la conectarea diferitelor elemente.

Tabelul 5. Calculul economic al simulatorului [54][55]

Componentă	Preț/buc. (RON)	Cantitate	Preț (RON)
<i>Interfața D</i>			
Arduino Mega 2560	160	5	800
LED Galben	0,68	5	3,4
LED Roșu	0,29	100	29
LED Verde	0,29	15	4,35
LED Alb	2,2	113	248,6
Rezistor LED	0,03	233	6,99
Rezistor Buton	0,05	108	5,4
Circuit SN7406N	3,4	10	34
Soclu 16 pini	1,04	10	10,4
Terminal cu 8 porturi	10,36	36	372,96
TOTAL INTERFAȚA D			1515,1
<i>Interfața M</i>			
Arduino Mega 2560	160	2	320
Circuit SN7406N	3,4	15	51
Soclu 16 pini	1,04	15	15,6
Releu 30.22.7.005.010	18,58	20	371,6
Releu 32.21.005.230	11,52	40	460,8
Dioda 1N4148	0,11	60	6,6
LM7806	0,78	15	11,7
Condensator	0,04	30	1,2
Rezistor cale	0,05	30	1,5
Terminal cu 8 porturi	10,36	10	103,6
Fotorezistență	2,56	150	384
TOTAL INTERFAȚA M			1727,6
<i>Elemente machetă (Sistemul PIKO)</i>			
55211	11	5	55
55213	12	4	48
55220	90	4	360
55202	8	5	40

55203	8	5	40
55201	9	15	135
55221	90	6	540
55200	9	2	18
55204	8	1	8
5520	8	2	16
5529	8	1	8
Comutator macaz	115	10	1150
TOTAL ELEMENTE MACHETĂ			2418
TOTAL			5660,7

Concluzie

Această lucrare a pornit din dorința de a folosi niște resurse rare și slab utilizate pentru a crea un sistem ce poate oferi viitorilor studenți ai Departamentului Telecomenzi și Electronică în Transporturi șansa de a se pregăti mai bine în domeniul feroviar. Simulatorului feroviar este un proiect care îmbină vechile tehnologii feroviare aflate încă în funcție cu noile concepte de centralizare electronică, oferind astfel o experiență autentică utilizatorilor.

Dezvoltarea unui simulator pentru instalația CR-3 care să poată folosi pupitrul domino existent reprezintă doar primul pas în realizarea întregului simulator. Următoarele etape o să fie descrise de integrarea instalației CR-2 și a pupitrului vertical de comandă existente, de realizarea unor stații controlate exclusiv electronic și de legarea tuturor stațiilor prin simularea blocului de linie automat (BLA). Rezultatul final va fi reprezentat de o machetă feroviară de dimensiuni considerabile care va permite studenților să comande simultan trei – patru stații cu tehnologii diferite.

Lucrarea de față reprezintă culminarea unui an întreg de cercetare și dezvoltare, precum și încheierea primei etape din realizarea simulatorului feroviar. În cadrul acesteia am demonstrat că este posibil ca logica feroviară și procesul de operare al traficului să fie reproduse cu fidelitate la scară redusă.

Din punct de vedere software, simulatorul dezvoltat reușește, cu mici compromisuri, să ofere o experiență autentică utilizatorului. Formatul digital a permis introducerea unor funcții auxiliare utile în înțelegerea procesului de dirijare a traficului (vizualizarea aspectului real al semnalelor, inspecția sălii de relee).

Soluțiile hardware dezvoltate sunt simple, ușor de reprodus și vor putea fi ușor folosite în etapele ulterioare. Interfața cu macheta va rămâne similară pentru viitoarele stații incluse în simulator, în timp ce interfața cu pupitrul domino va servi ca bază de proiectare pentru integrarea ramei de relee și a pupitrului vertical CR-2.

Potențialele îmbunătățiri ale celor prezentate în această lucrare sunt legate, în principal, de introducerea unor funcții suplimentare în programul de simulare. O funcție extrem de utilă ce ar permite organizarea unor lucrări de laborator mai detaliate ar fi simularea defectelor instalației de centralizare.

Dicționar explicativ de termeni și abrevieri

BLA – Bloc de linie automat
CE – Centralizare electronică
CED – Centralizare electrodinamică
CEL – Centralizare electronică de linie
CEM – Centralizare electromecanică
CR – Centralizare cu relee
ERTMS – European Rail Traffic Management System – Sistemul European de Management al Traficului Feroviar
ETCS – European Train Control System – Sistemul European de Control al Trenurilor
GSM-R – Railway GSM – GSM Feroviar
ICB – Instalație chei cu bloc
IDM – Impiecat de mișcare
LZB – Linienzugbeeinflussung – Influențarea liniară a trenului
MID – Modulația impulsurilor în durată
SBW – Südbahnwerke
TM – Tablou mecanic
TS – Tablou cu știfturi
UIC – Union internationale des chemins de fer – Uniunea Internațională a Căilor Ferate
БМРЦ – Centralizare cu relee de bloc
ЕМЦ - Електромеханична централизация – Centralizare electromecanică
ЕЦ - Электрическа централизация – Centralizare electrică
МКЦ - Маршрутно-компьютерни централизации – Centralizare computerizată de parcurs
МРЦ – Маршрутно-релейни централизации – Centralizare cu relee de parcurs
РУКЗ - Релейна уредба за ключова зависимость – Centralizare cu chei dependente de relee

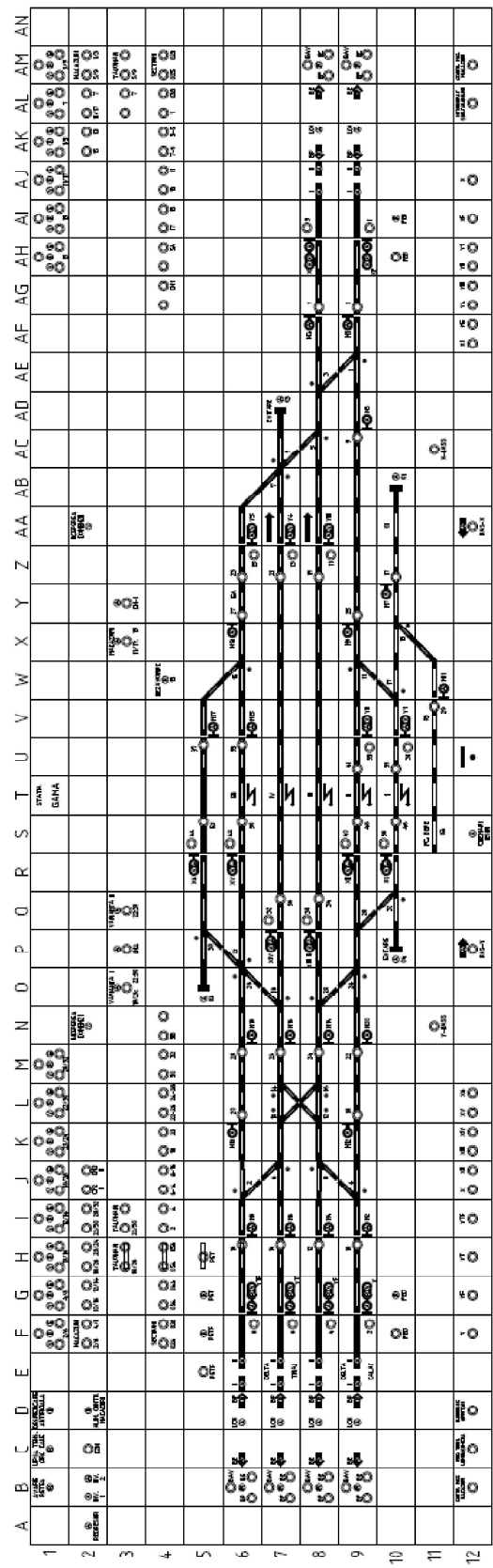
Bibliografie

- [1] Sevastean I. Ianca, *Stații și complexe feroviare*, Editura Politehnica, Timișoara, 2005
- [2] <https://urbanism.oravita.ro/calea-ferata-oravita-bazias/> [Accesat la 23.03.2020]
- [3] https://www.gracesguide.co.uk/Charles_Fox [Accesat la 23.03.2020]
- [4] Erich Preuß, *Stellwerke deutscher Eisenbahnen*, Typenkompass, transpress Verlag, Stuttgart, 2012
- [5] Stefan Carstens, *Signale 1 – Die Entwicklung des Signalwesens vom optischen Telegraphen zum Ks-Signal*, MIBA Verlag, Fürstenfelbruck, 2014
- [6] Gregor Theeg, Sergej Vlasenko, *Railway Signalling and Interlocking – International Compendium – 3rd Edition*, Eurail press, Hamburg, 2020
- [7] C.M. Alexandrescu, Al. Chiș, S. David, Al. Stan, *Echipamente electrice și electronice pentru căi ferate – Manual pentru licee industriale cu profil de electrotehnică, clasele a XI-a și a XII-a*, Editura Didactică și pedagogică, București, 1978
- [8] <https://www.railnet.ro/viewtopic.php?f=119&t=4105> [Accesat la 24.03.2020]
- [9] Colecția personală – *Instalație SBW 500*, Muzeul Căilor Ferate din Ljubljana, Iunie 2019
- [10] Gregor Theeg, Sergej Vlasenko, *Railway Signalling and Interlocking – International Compendium – 2nd Edition*, Eurail press, Hamburg, 2018
- [11] A.I. Stan, S. David, *Centralizări electrodinamice și bloc de linie automat Vol. 2*, Editura Didactică și pedagogică, București, 1984
- [12] Colecția personală – *Sala de relee a stației Ploiești Sud*, Martie 2018
- [13] Национална компания Железопътна инфраструктура (National Railway Infrastructure Company), *Network Statement 2019-2020 – Annex 8 Map of train traffic control systems at train operational point*, Versiunea 02 în limbile bulgară și engleză, Bulgaria, 30 Aprilie 2019
- [14] Министерство на транспорта, информационните технологии и съобщенията на България (Ministerul Transporturilor, Tehnologiei Informației și Comunicațiilor), *Програма за развитието и експлоатацията на железопътната инфраструктура 2019 – 2023 г. (Program de dezvoltare și operare a infrastructurii feroviare 2019 – 2023)*, Sofia, 2018
- [15] Správa železniční dopravní cesty (Administrația pentru căi ferate), *Network Statement on Nationwide and Regional Railways 2020*, Cehia, 14.12.2018
- [16] HŽ INFRASTRUKTURA d.o.o., *GODIŠNJE IZVJEŠĆE 2018*, Croația, Mai 2019
- [17] SBB Infrastruktur, *Zusammenfassender Jahresbericht 2015 zur LV 2013–2016.*, Berna, 11 Martie 2016
- [18] SNCF MOBILITÉS – DGD PERFORMANCE DIRECTION DES STATISTIQUES, *INFORMATIONS ECONOMIQUES & GESTION DES DONNEES*, Memento statistiques SNCF Mobilités 2018, Franța, 2018
- [19] Deutsche Bahn AG, *Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung Infrastrukturzustands- und Entwicklungsbericht 2018*, Germania, Aprilie 2019

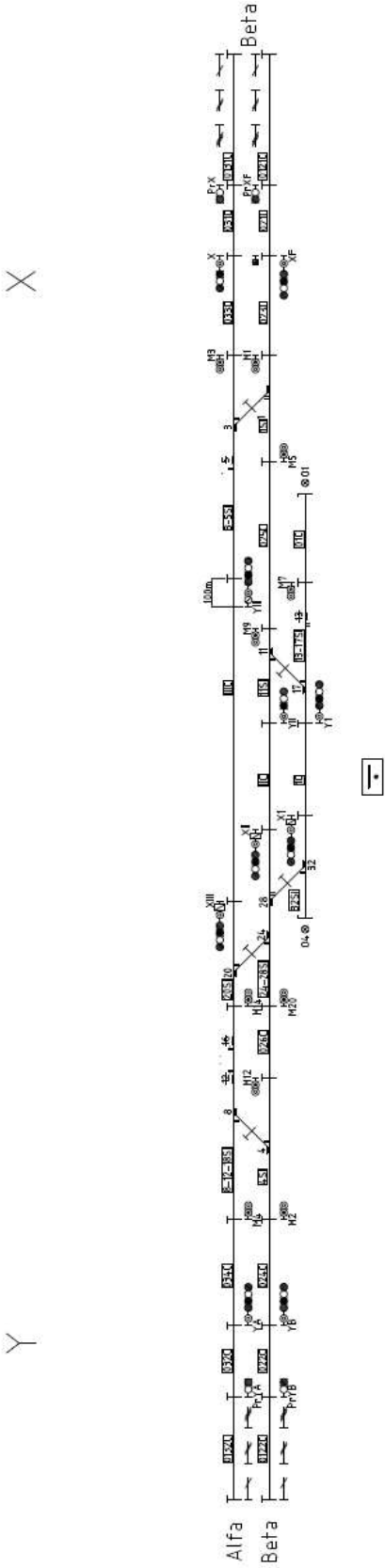
- [20] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Annual report for 2018, Polonia, 2019
- [21] <https://www.slo-zeleznice.si/sl/infrastruktura/javna-zelezniska-infrastruktura/signalna-varnost> [Accesat la 30.03.2020]
- [22] Comisión Técnico Científica par el studio de mejoras en el Sector Ferroviario, *Informe de la Comisión Técnico Científica para el studio de mejoras en el Sector Ferroviario*, Spania, Iunie 2014
- [23] VPE vasúti pályakapacitás-elosztó kft, *Network Statement on terms and conditions of the use of the open access railway network of MÁV zrt and GYSEV zrt for the timetable period of 2019/2020 – Modification No 6C – Annex 3.3.1.3*, Ungaria 24.03.2020
- [24] Compania Națională de Căi Ferate „CFR” – S.A., *Documentul de referință al rețelei C.F.R. – Valabil pentru 15.12.2019 – 12.12.2020 – Anexa 12*, București, 15.12.2019
- [25] Ministerul Transporturilor, Compania Națională de Căi Ferate „CFR” – S.A., *Strategia de dezvoltare a infrastructurii feroviare 2019-2023 – Anexa 12*, București, 2019
- [26] <https://clubferoviar.ro/siemens-pe-siculeni-adjud/> [Accesat la 31.03.2020]
- [27] Ministerul Transporturilor, Compania Națională de Căi Ferate „CFR” – S.A., *Strategia de dezvoltare a infrastructurii feroviare 2019-2023*, București, 2019
- [28] <https://uic-stats.uic.org/> [Accesat la 01.04.2020]
- [29] <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=ttr00003> [Accesat la 01.04.2020]
- [30] <http://www.ertms.net/> [Accesat la 04.04.2020]
- [31] [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:TEN-T_core_network_corridors_\(freight_and_passenger\)-RYB18.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:TEN-T_core_network_corridors_(freight_and_passenger)-RYB18.png) [Accesat la 05.04.2020]
- [32] European Union Agency for Railways, *Report on Railway Safety and Interoperability in the EU 2018*, Luxembourg, Iunie 2018
- [33] Curte de Conturi Europeană, Raport special nr. 13/2017. Un sistem unic european de management al traficului feroviar: va deveni această decizie politică o realitate?, 03.10.2017
- [34] Modell Stellwerk 9, *Vorbildorientierte Steuerung für digitale Modelbahnen – Handbuch Teil 1 Einstellungen und Projektierung*, 01.06.2018
- [35] https://www.nycsubway.org/wiki/NXSYS,_Signalling_and_Interlocking_Simulator#Download.2C_Version_2_for_Mac_OS_X [Accesat la 20.04.2020]
- [36] SMD PROD IMPEX S.R.L., *SimCED Simulator profesional de instalații de centralizare cu relee pentru instruire și atestare profesională*, București, 2008
- [37] Niculina Ignat, *Centralizări în stații de cale ferată -curs-*, Universitatea Politehnica București, Facultatea Transporturi, Secția Telecomenzi și Electronică în Transporturi, București, 1996
- [38] Niculina Ignat, *Comanda și controlul obiectelor centralizate -curs-*, Universitatea Politehnica București, Facultatea Transporturi, Secția Telecomenzi și Electronică în Transporturi, București, 1996

- [39] Wolfgang Georgl, Philipp Hohl, *Einführung in LabVIEW – 6., erweiterte Auflage*, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, 2015
- [40] <https://www.labviewmakerhub.com/doku.php?id=libraries:linx:start> [Accesat la 29.05.2020]
- [41] <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3> [Accesat la 29.05.2020]
- [42] A.I. Stan, S. David, *Centralizări electrodinamice și bloc de linie automat – 2*, Editura Didactică și pedagogică, București, 1984
- [43] Valentin Iordache, Angel Ciprian Cormoș, Ilona Mădălina Costea, *Senzori, traductoare și achiziții de date cu Arduino UNO – lucrări practice*, Editura Politehnica, București, 2016
- [44] https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_8.html [Accesat la 01.06.2020]
- [45] FINDER, *30 Series Subminiature DIL relays 2 A*, 2015
- [46] FINDER, *32 Series – Subminiature PCB relays 6 A*
- [47] Texas instruments, *SN5406, SN5416, SN7406, SN7416 Hex inverter buffers/drivers with open-collector high-voltage outputs*, SDLS031A, Decembrie 1983, Rev. Decembrie 2001
- [48] <https://uk.rs-online.com/web/p/hex-inverters/0306320/> [Accesat la 12.06.2020]
- [49] TAIWAN SEMICONDUCTOR, *1N4148/1N4448/1N914B*, Ver. II702
- [50] <https://www.ebay.com/itm/10pcs-New-L7806CV-L7806-LM7806-ST-TO-220-Voltage-Regulator-6V-1-5A-A-/171906791235> [Accesat la 12.06.2020]
- [51] Fairchild Semiconductor, *LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A • LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator (Preliminary)*, Aprilie 1999, Rev. Octombrie 2005
- [52] Manfred Peter, *Elektropraxis und Elektronik – Kabelverlegung, Grundlagen und Anwendungen von Halbleiter-Bauteilen, Schaltungen und Steuerungen*, MIBA – Modelbahn Praxis, 2011
- [53] <https://www.conrad.com/p/55271-h0-piko-a-point-electric-motor-219692> [Accesat la 12.06.2020]
- [54] <https://www.tme.eu/> [Accesat la 07.06.2020]
- [55] <https://www.trains-addicted.ro/ro/> [Accesat la 07.06.2020]
- [56] <https://ro.wikipedia.org/wiki/Fiabilitate> [Accesat la 09.06.2020]
- [57] <http://www.afahc.ro/ro/facultate/cursuri/luculescu/5.%20Fiabilitatea%20sistemelor.pdf> [Accesat la 09.06.2020]

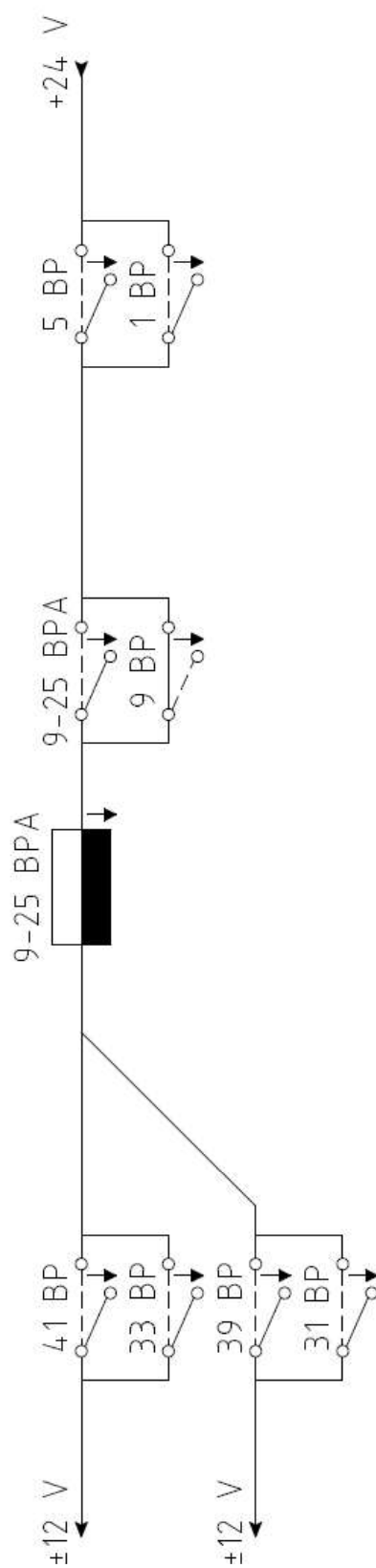
Anexa 1



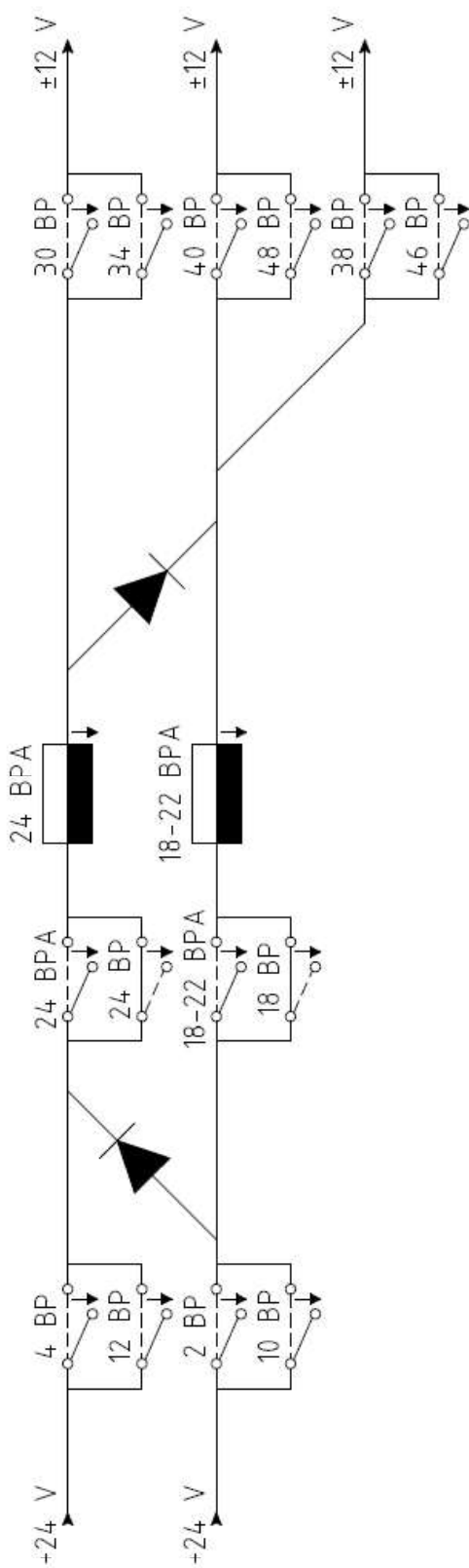
Anexa 2



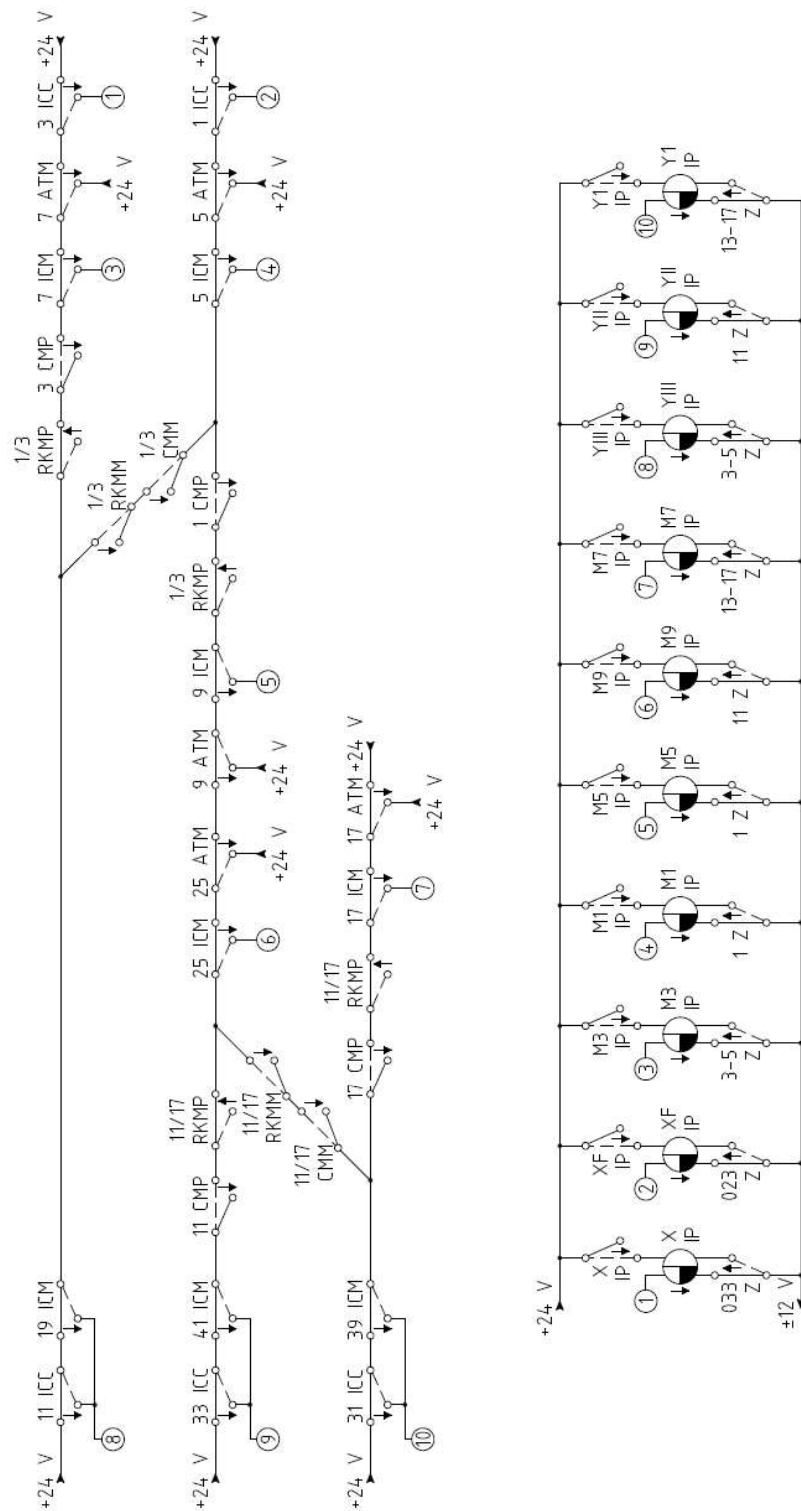
Anexa 3



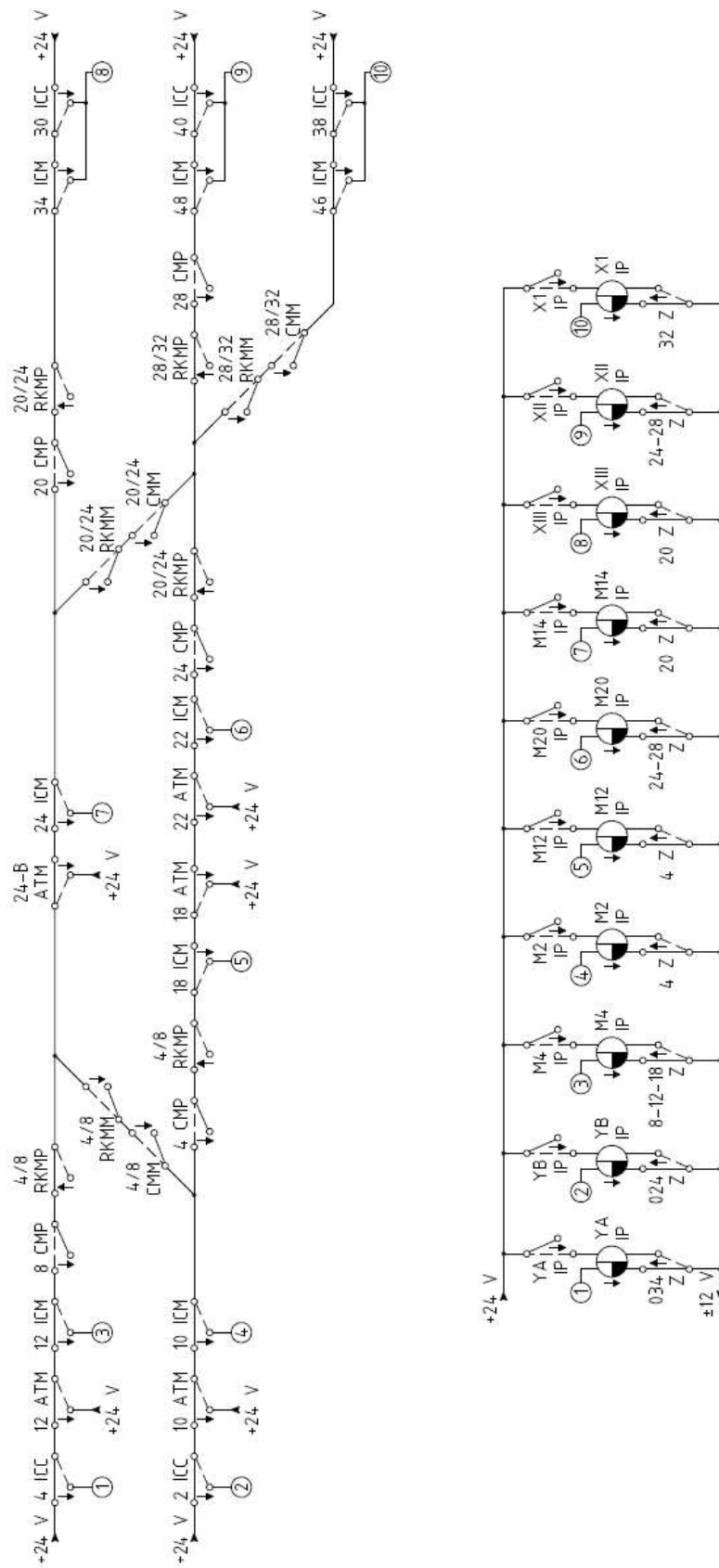
Anexa 4



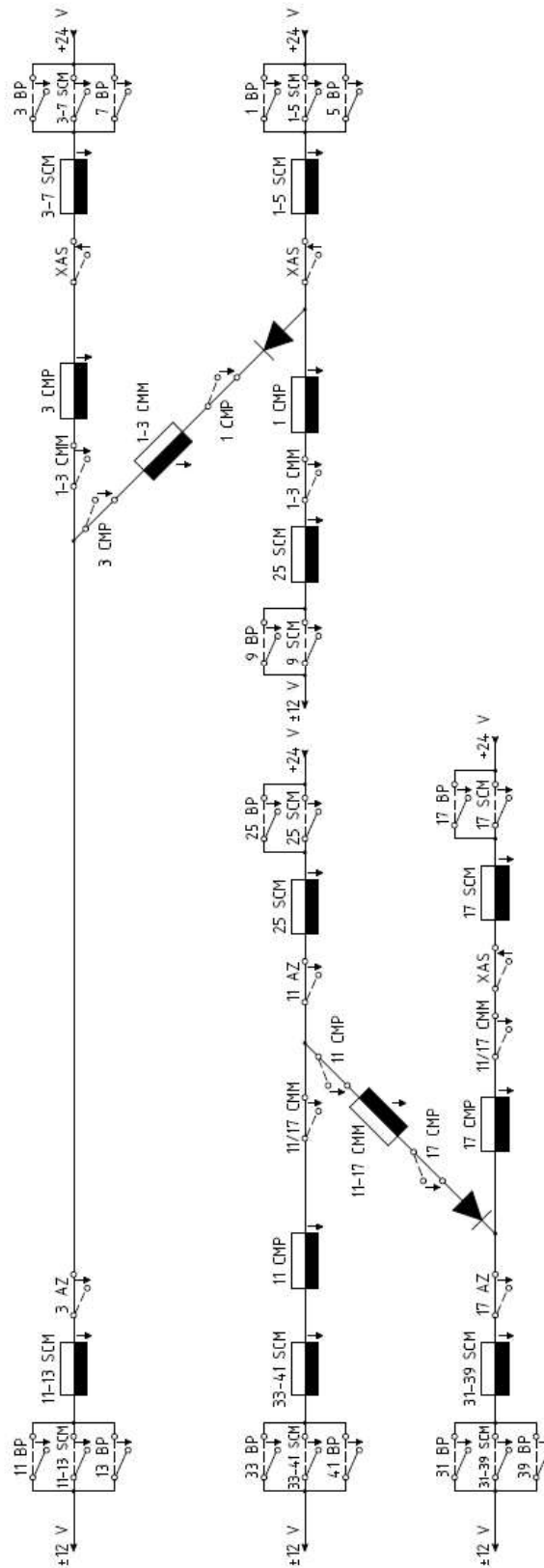
Anexa 5



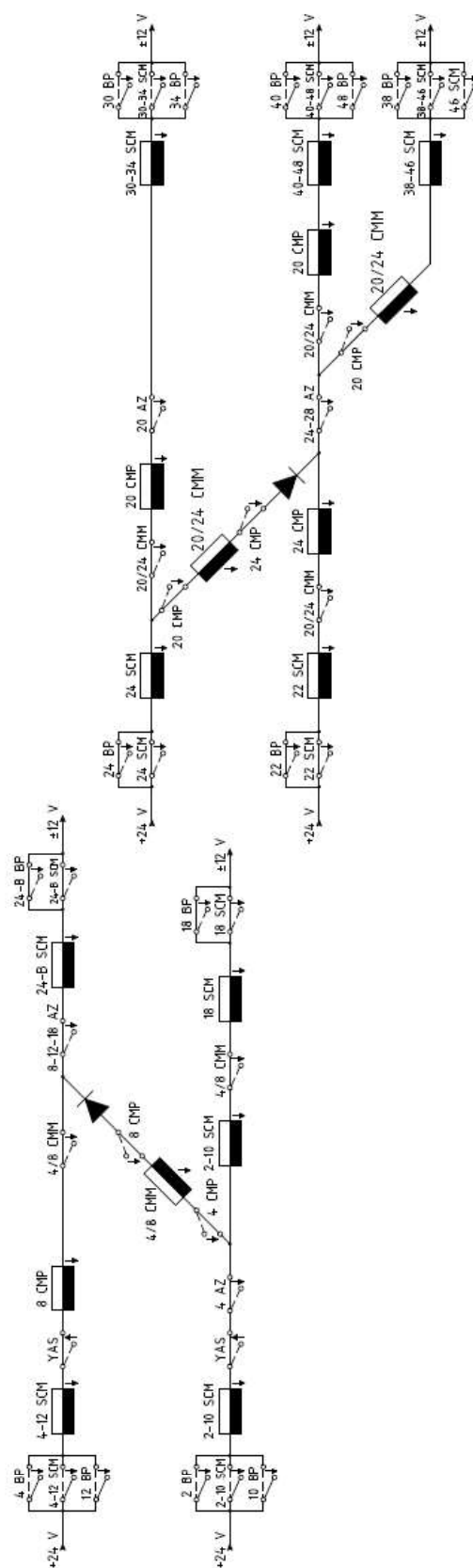
Anexa 6



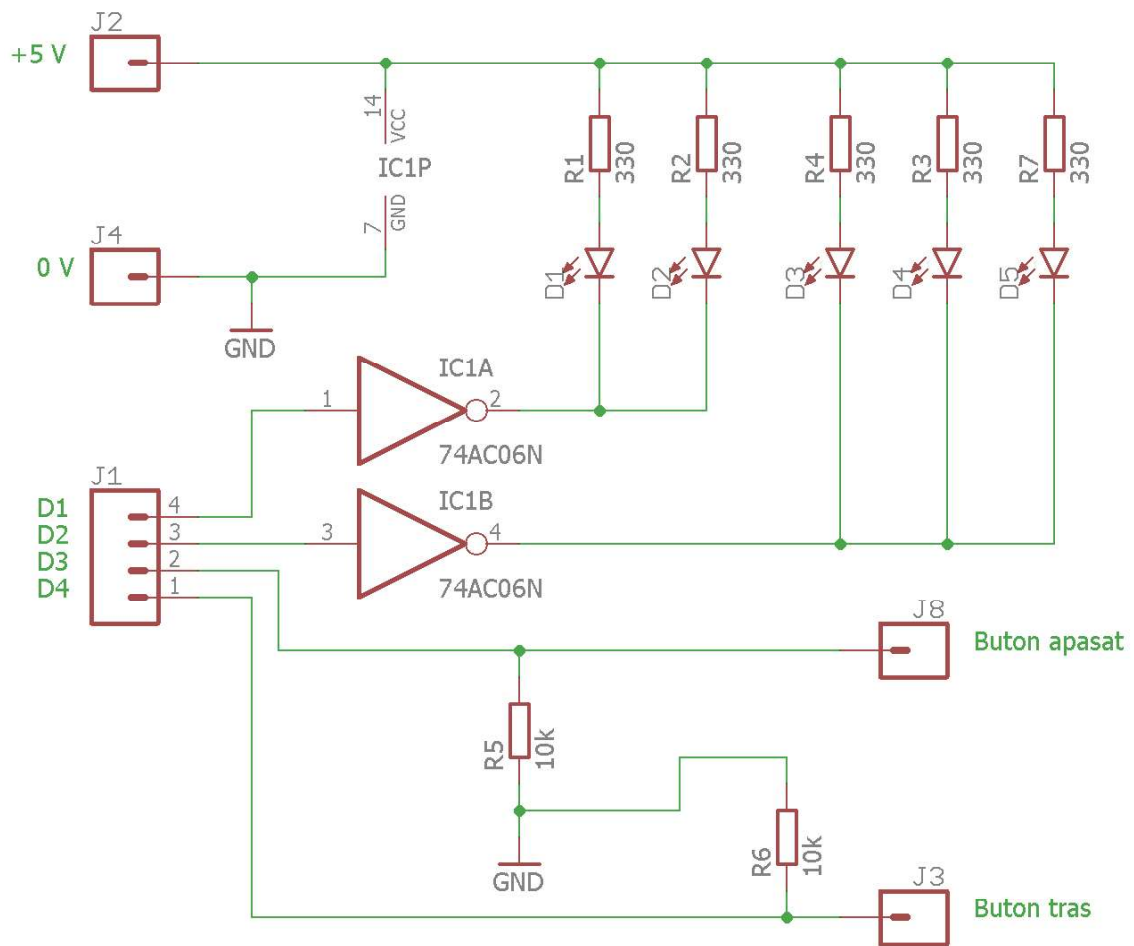
Anexa 7



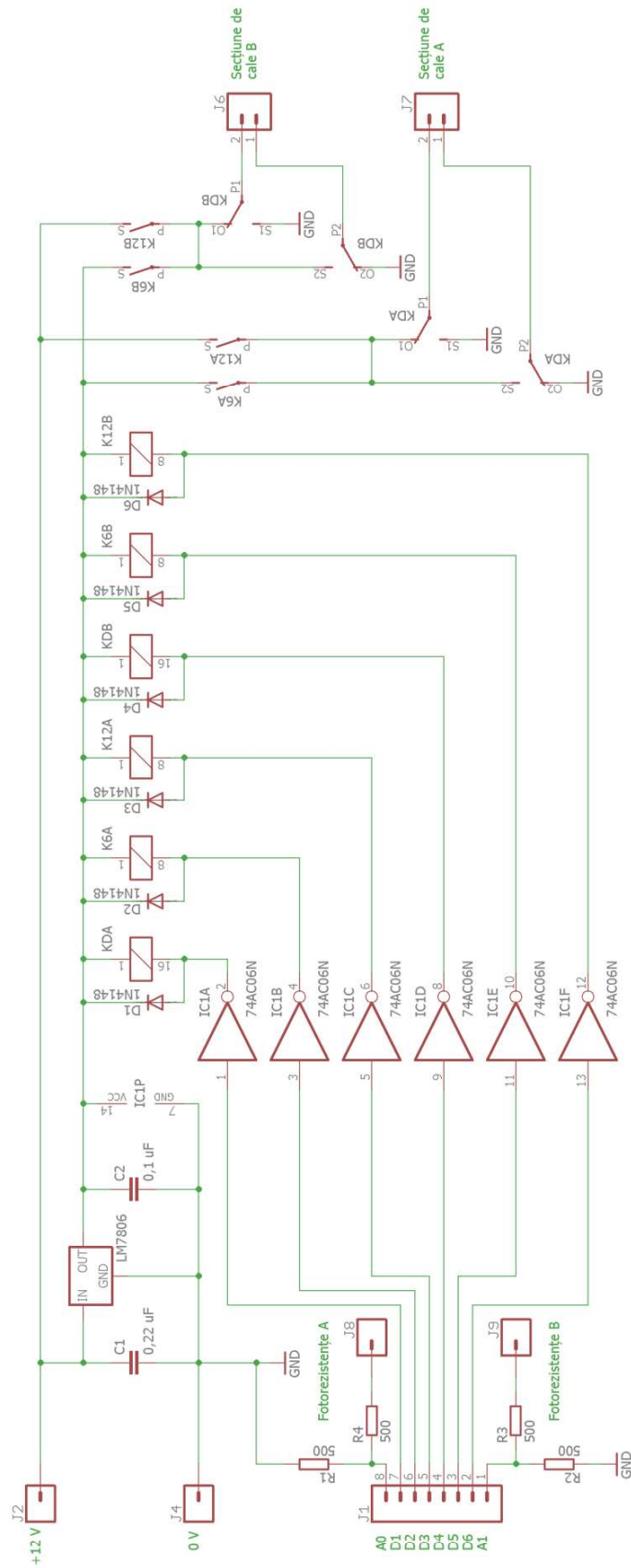
Anexa 8



Anexa 9



Anexa 10



Anexa 11

