



cigre

For power system expertise

Teleprotection over IP/MPLS

April 2024 | Stedin Telecom | Amadou Louh

INTRODUCTIE
IP/MPLS

TELEPROTECTIE
OVER IP/MPLS

CONCLUSIES
&
AANBEVELINGEN



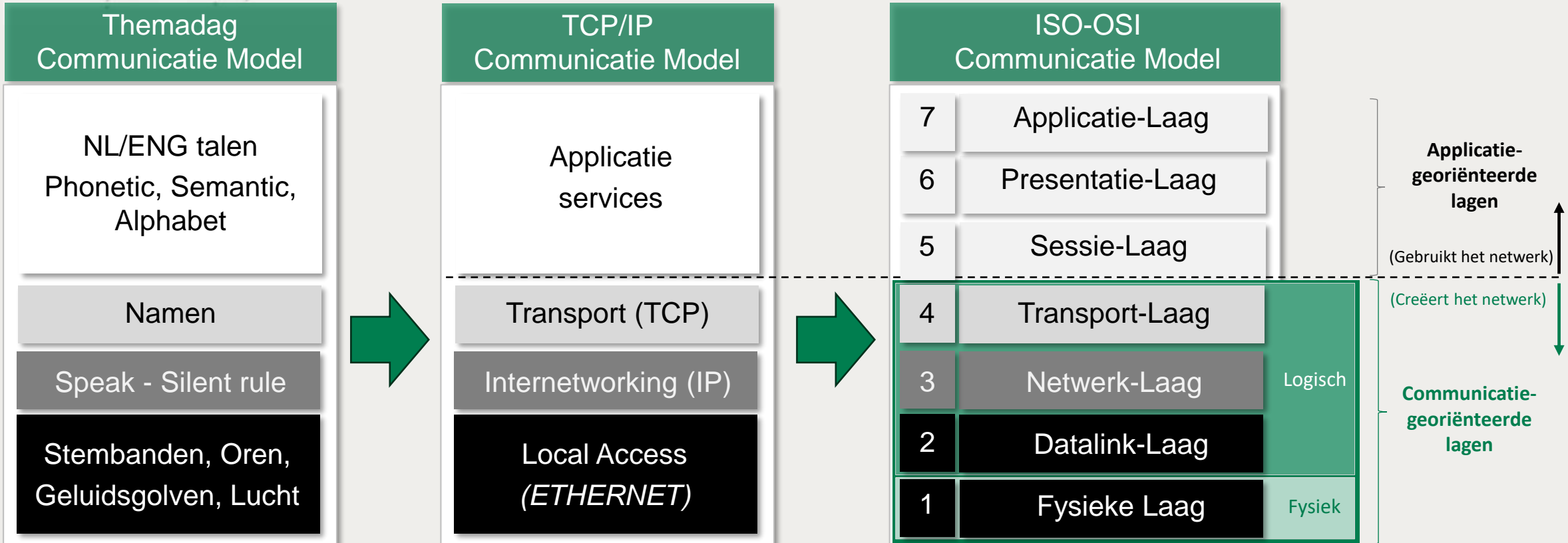
cigre

For power system expertise

INTRODUCTIE IP/MPLS

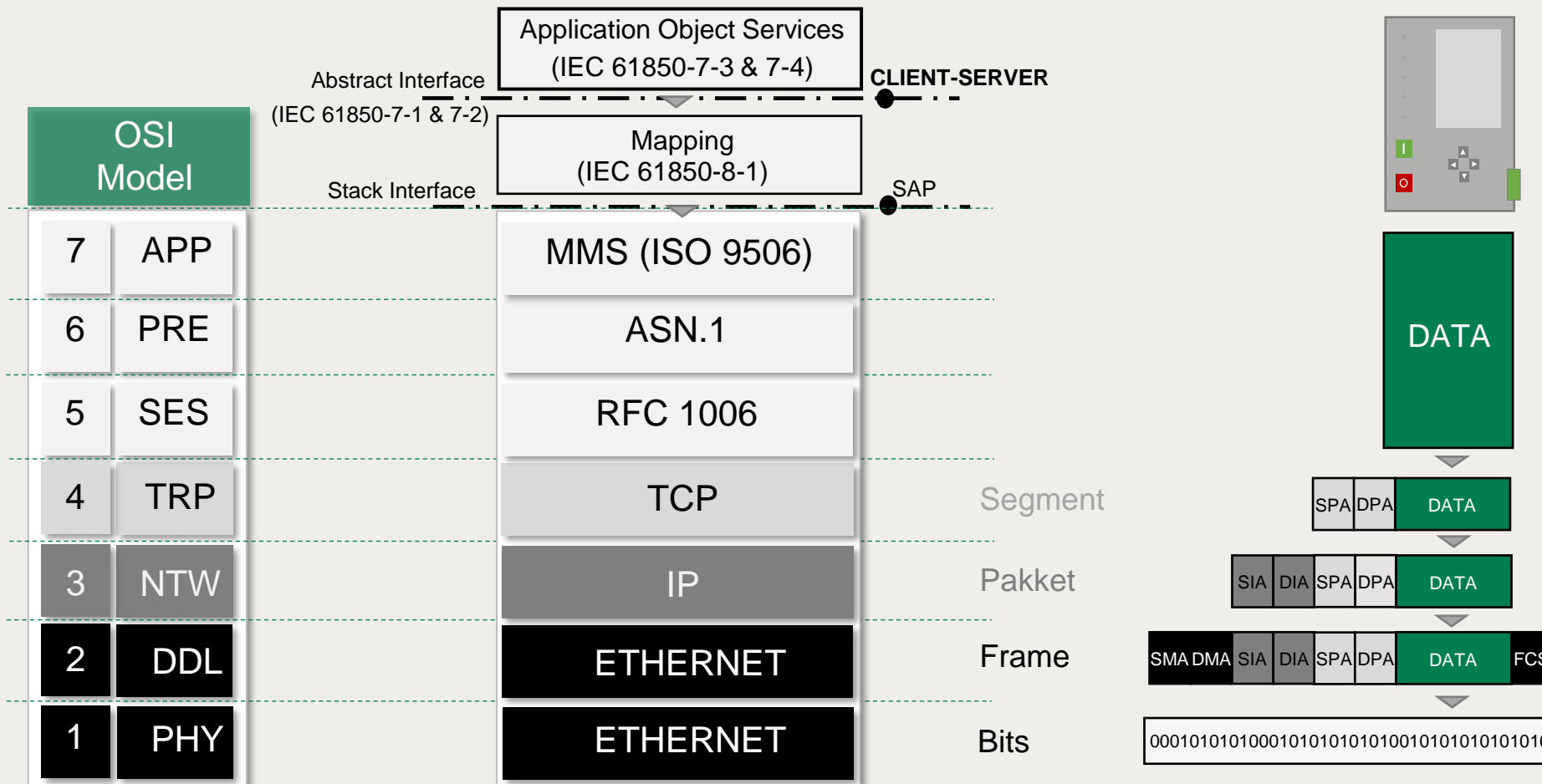
Multi Protocol Label Switching – Een 'tunnel' technologie

Het ISO-OSI communicatie referentie model



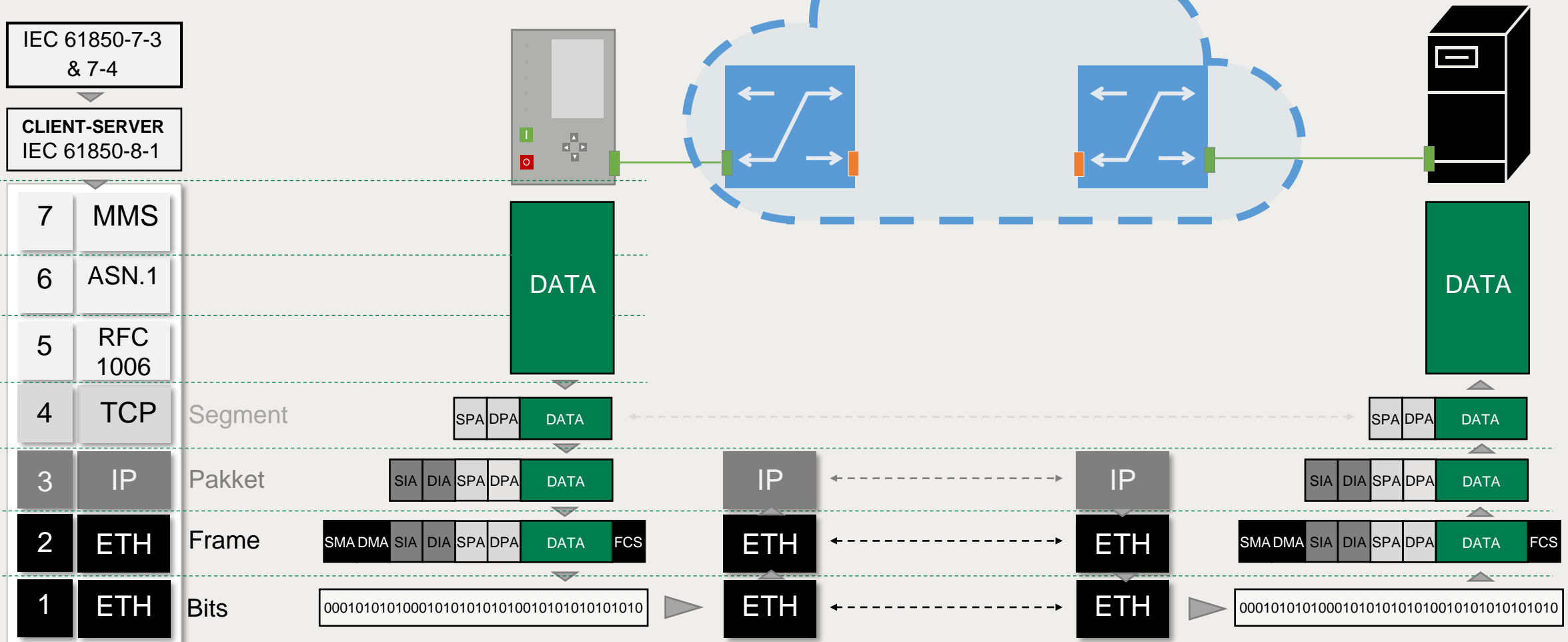
Encapsulatie: Data, Segment, Pakket, Frame, Bits

Voorbeeld IEC 61850 Client – server



Encapsulatie: Data, Segment, Pakket, Frame, Bits

Voorbeeld IEC 61850 Client – server



Control plane & Data plane

Control Plane

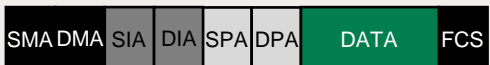
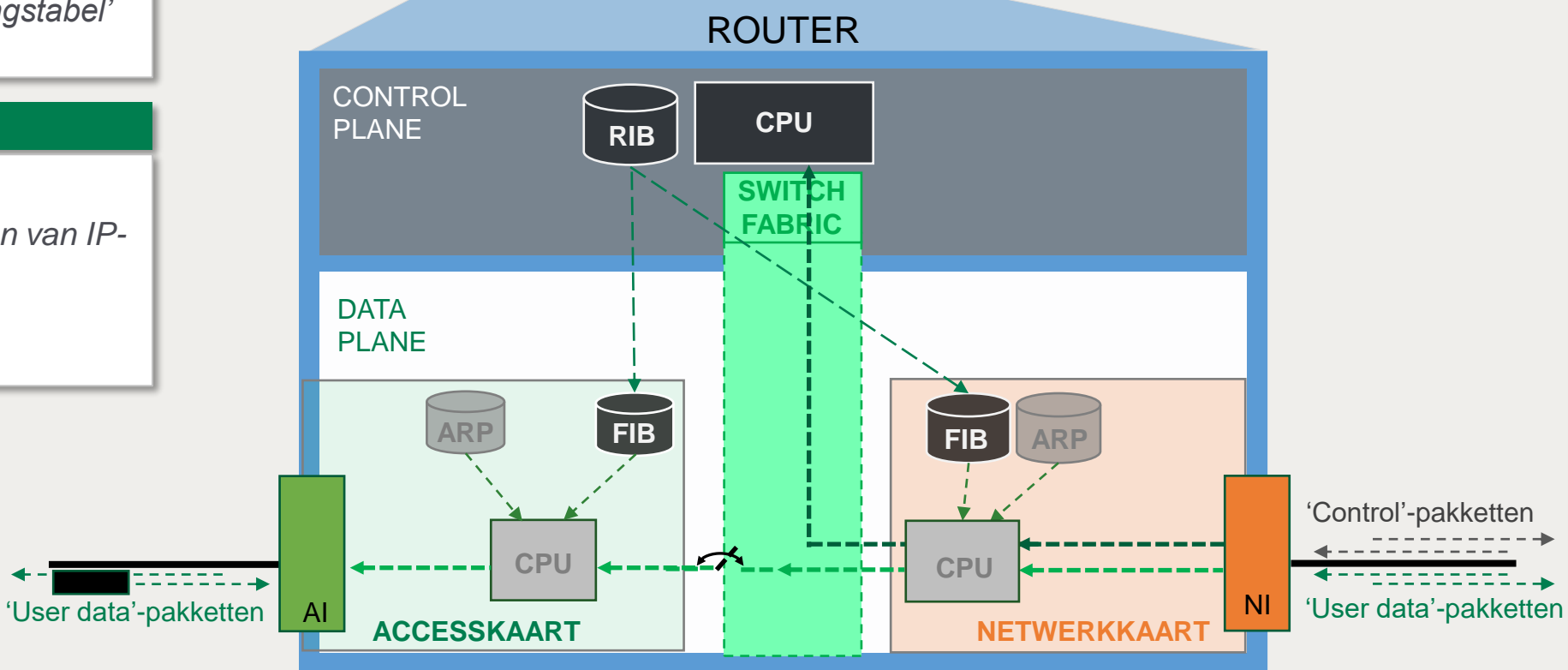
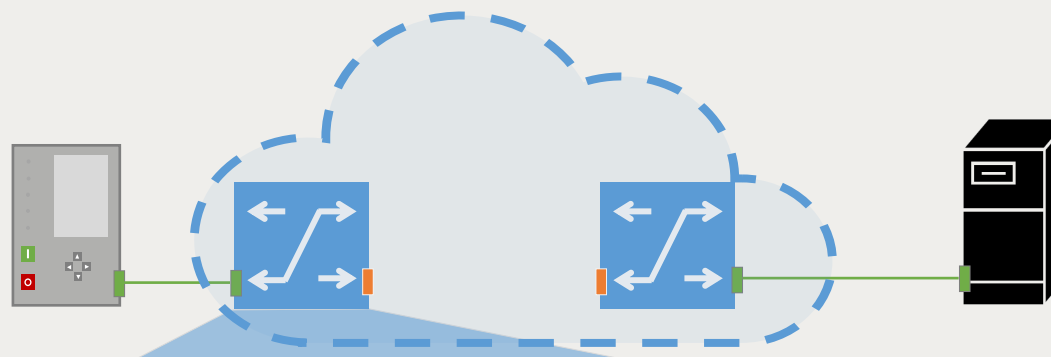
Verantwoordelijk voor:

- Het verzamelen en uitwisselen van routeringsinformatie
- 'Het bouwen van de routingstabel'
- OSPF, IS-IS, BGP → RIB

Data Plane

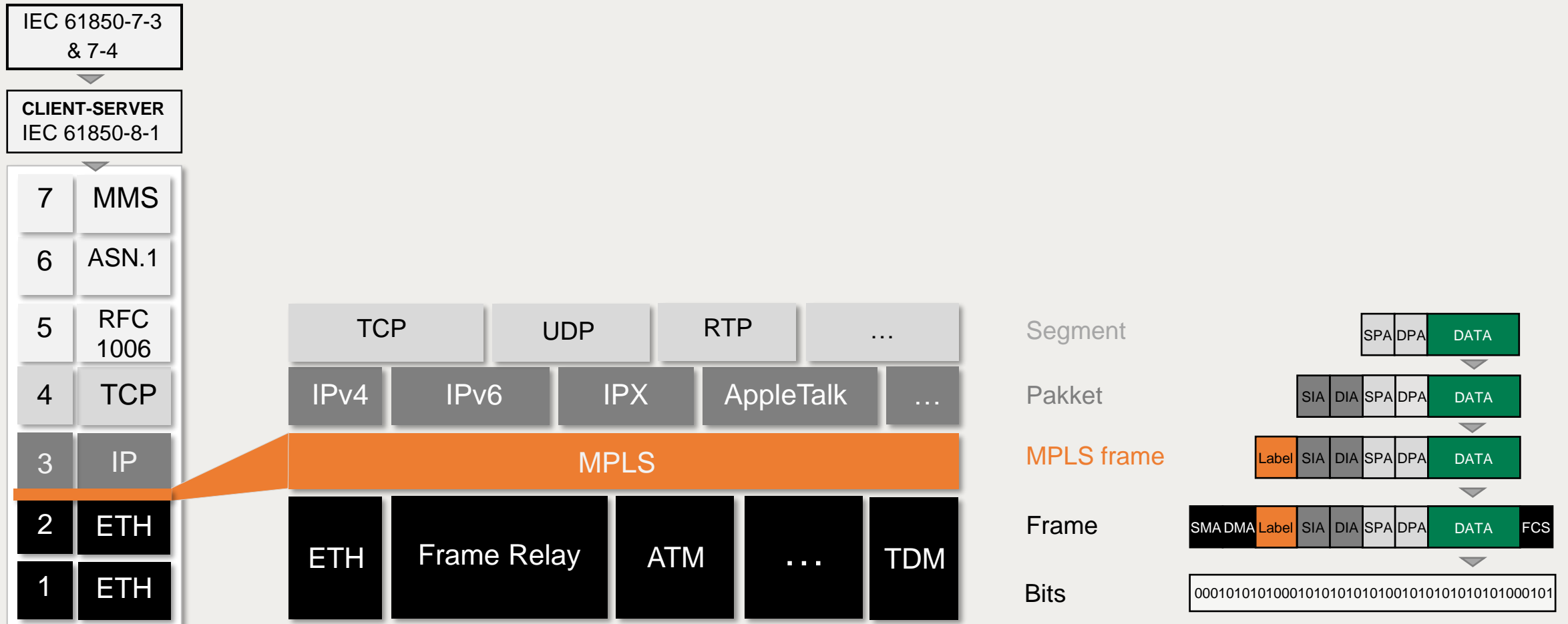
Verantwoordelijk voor:

- Het ontvangen en doorsturen van IP-pakketten
- 'Het IP forwardingsproces'
- FIB



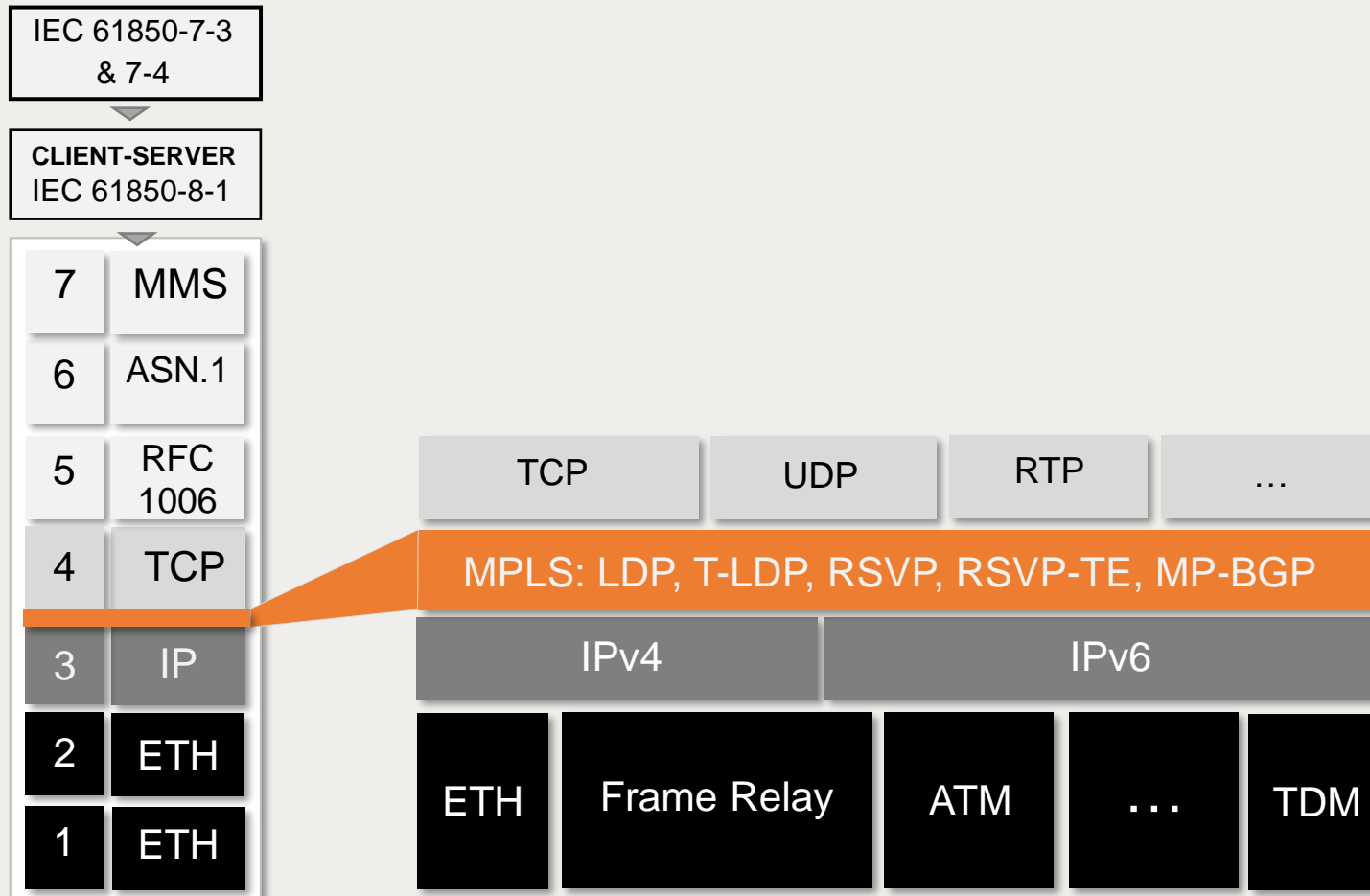
IP/MPLS – Data plane

- Label Switching: Forwarding gebaseerd op labels (MPLS header)
- Labels: Transport labels (transport tunnels) en Service labels (service tunnels)
- Push – swap – pop mechanisme met transport labels vormt transport tunnels
- Transport labels zijn lokaal; Elk router genereert een label voor elk netwerk dat hij kent; Service labels E2E



IP/MPLS – Control plane

- Labels worden uitgewisseld/geadvertiseerd met behulp van een control plane protocol zoals LDP of RSVP
- LDP: Label Distribution Protocol; RSVP: Ressource Reservation Protocol



IP/MPLS – Control plane & Data plane

Control Plane

Verantwoordelijk voor:

- Het verzamelen en uitwisselen van routeringsinformatie
- 'Het bouwen van de routingstabel'
- OSPF, IS-IS, BGP → RIB
- LDP, RSVP → LIB

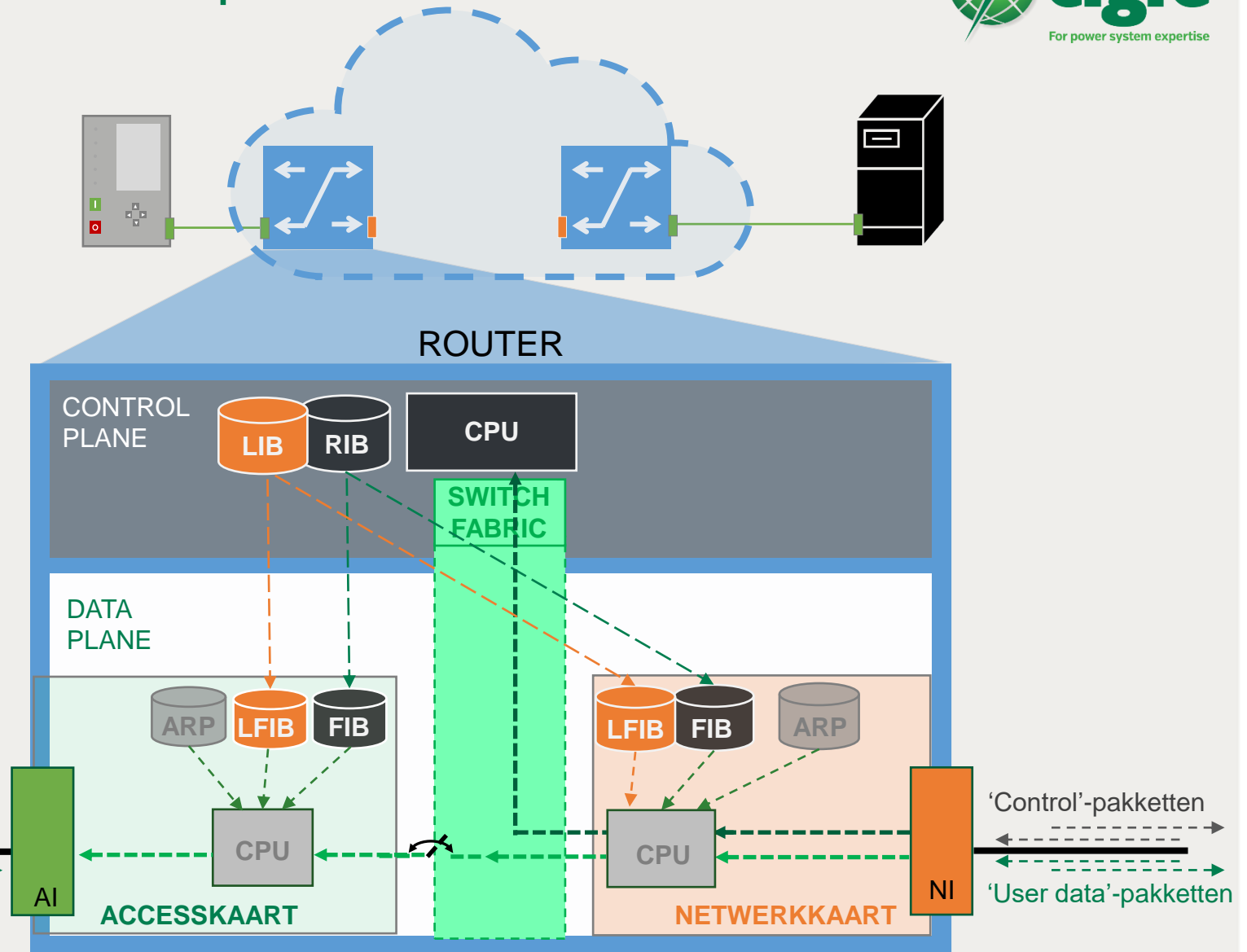
Data Plane

Verantwoordelijk voor:

- Het ontvangen en doorsturen van IP-pakketten & MPLS frames
- 'Het IP forwardingsproces' → FIB
- 'Het Label forwardingsproces' → LFIB



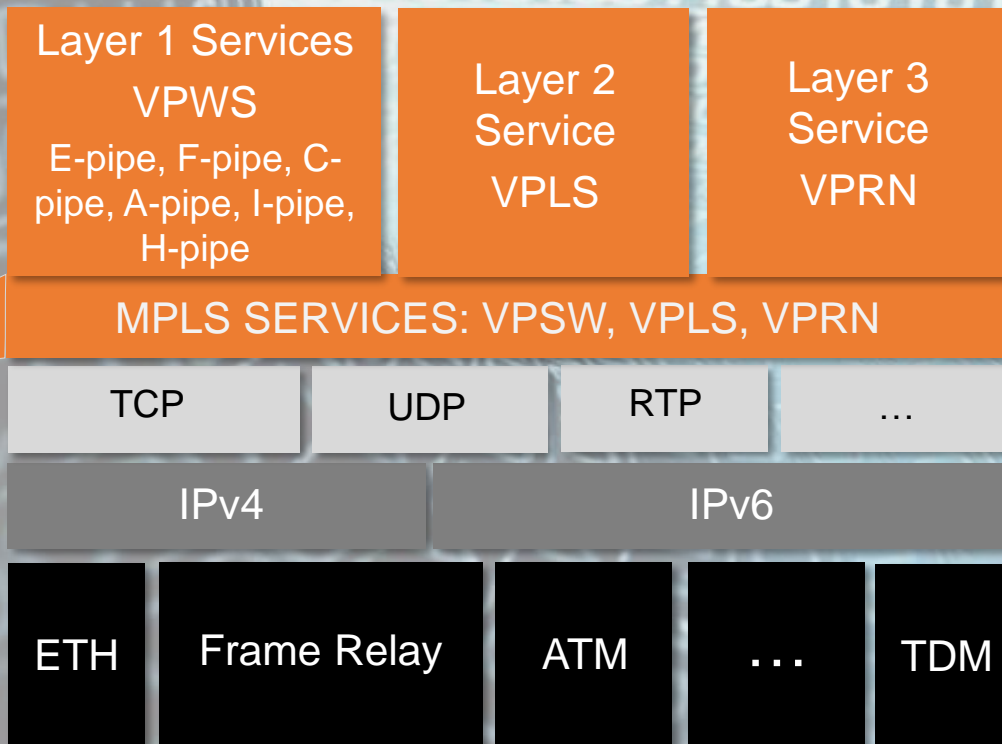
'User data'-pakketten



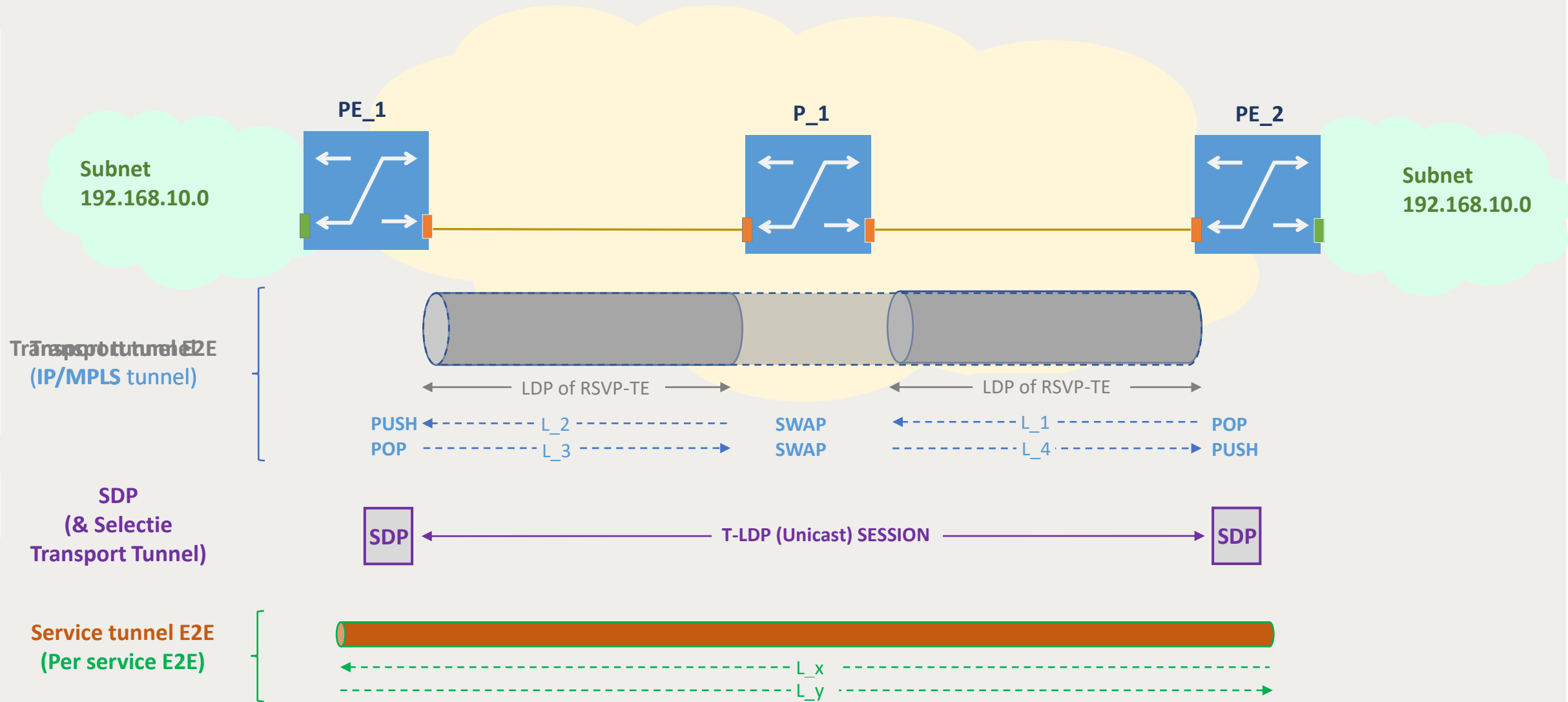
IP/MPLS – MPLS services – Service tunnels

- Laag 1 service: VPWS (Virtual Private Wire Service)
- Laag 2 service: VPLS (Virtual Private LAN Service)
- Laag 3 service: VPRN (Virtual Private Routed Network)
- Meerdere service tunnels kunnen door dezelfde transport tunnel.

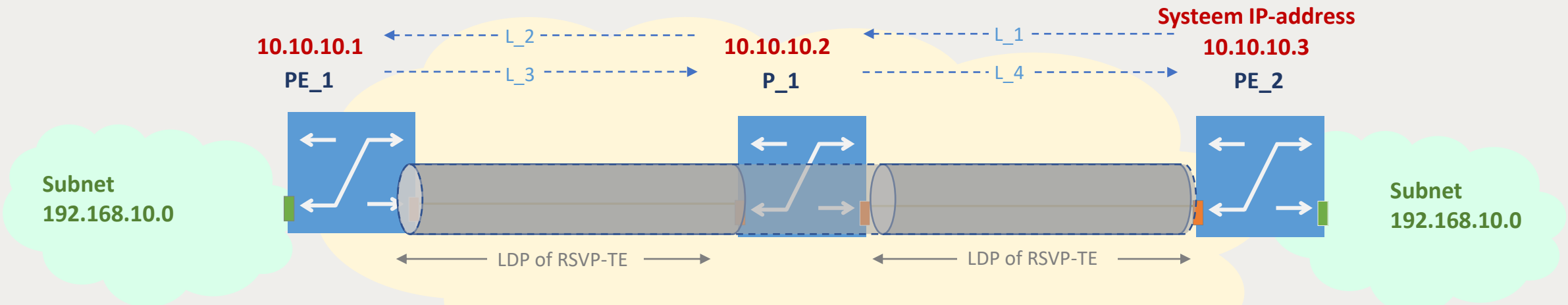
IEC 61850-7-3 & 7-4	
CLIENT-SERVER IEC 61850-8-1	
7	MMS
6	ASN.1
5	RFC 1006
4	TCP
3	IP
2	ETH
1	ETH



Voorbeeld: Configuratie VPLS service



Voorbeeld VPLS: Transport tunnel



Out Label	Next Hop
L_2	P_1

PUSH

In Label	Out Label	Next Hop
L_2	L_1	PE_2

SWAP

In Label	Next-hop
L_1	FEC

POP

In Label	Next-hop
L_3	FEC

POP

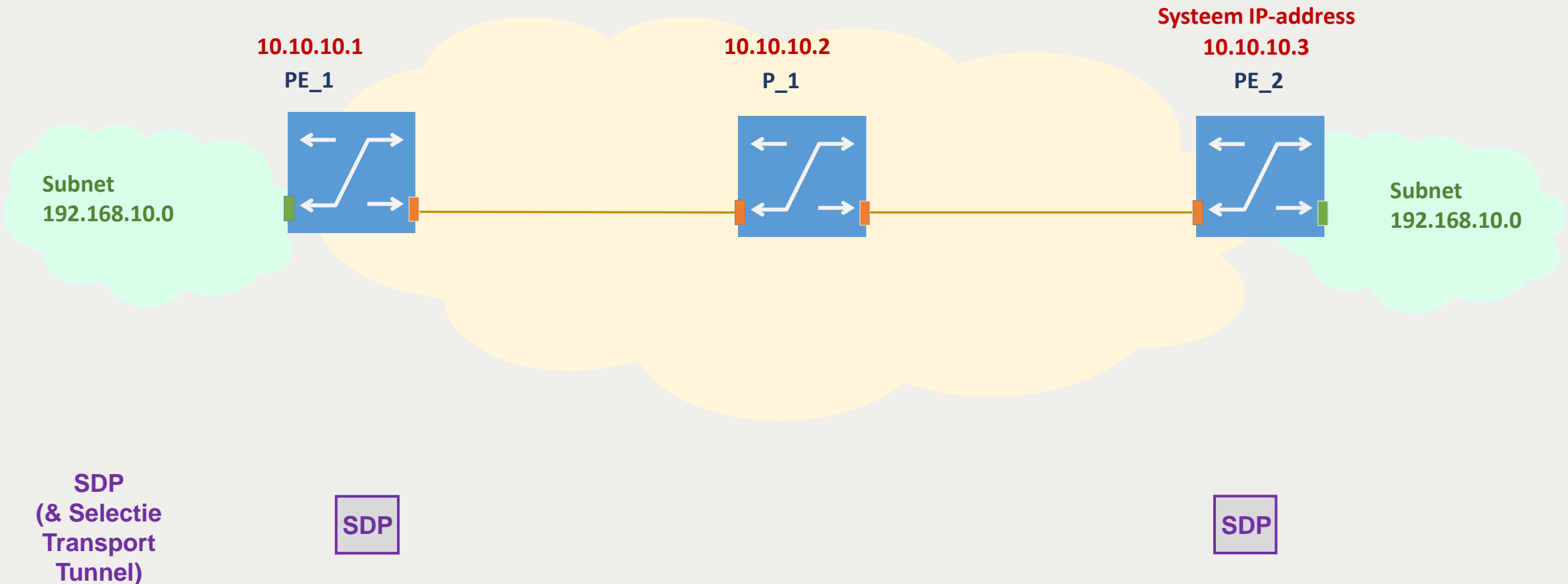
In Label	Out Label	Next Hop
L_4	L_3	PE_1

SWAP

Out Label	Next Hop
L_4	P_1

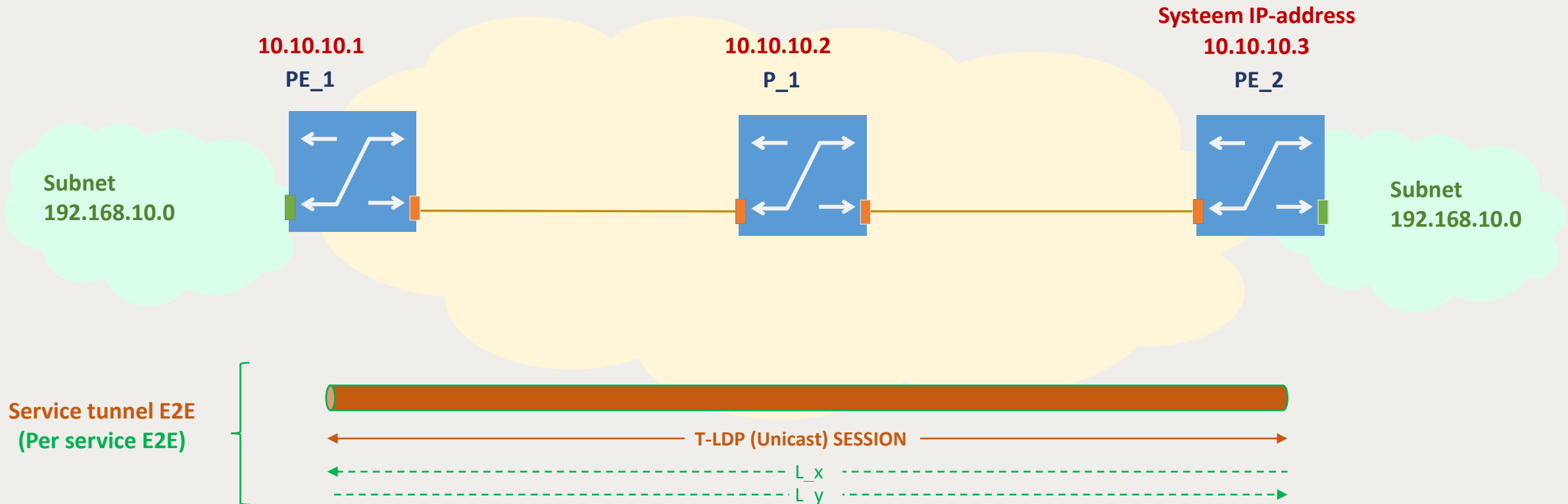
PUSH

Voorbeeld VPLS: Service Distribution Point



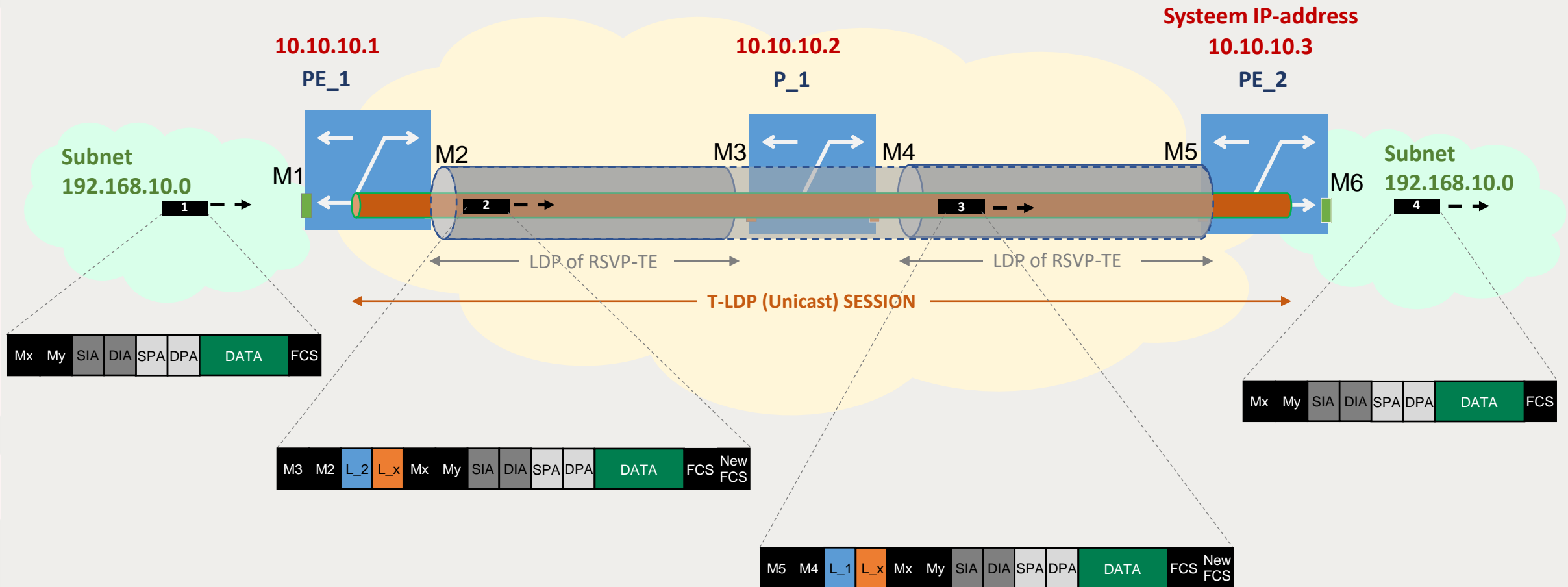
- Selectie Transport Tunnel. De SDP vertel de router welk Transport Tunnel of te wel tunnel encapsulation (LDP, RSVP-TE of GRE) de service gaat gebruiken
- Een SDP vertel de router op welke andere routers de service aangesloten is

Voorbeeld VPLS: Service tunnel

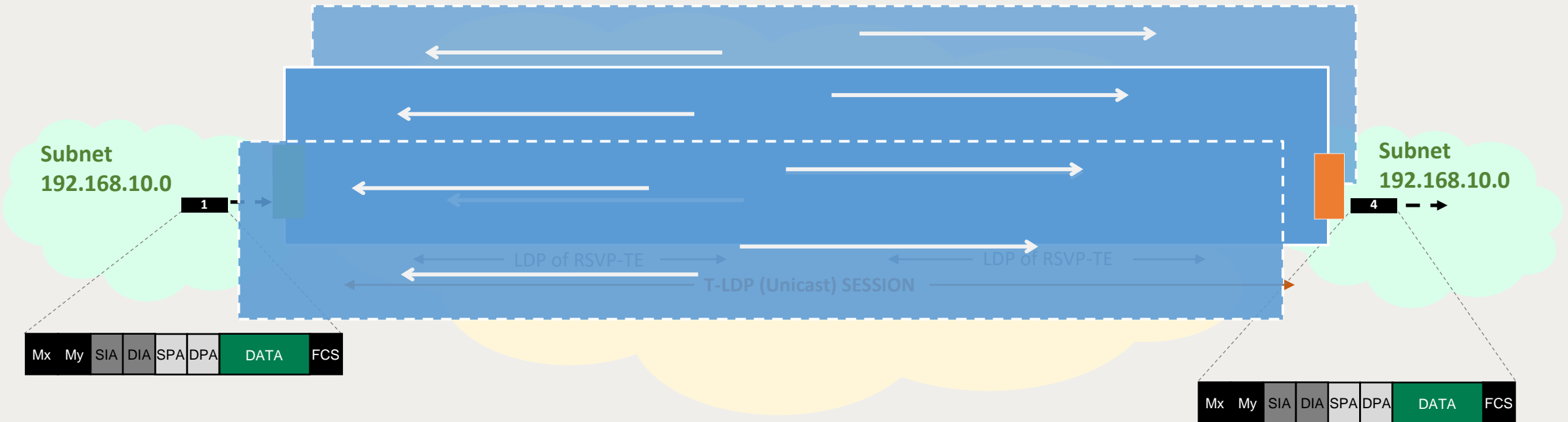


- Targeted-LDP zorgt voor een tunnel tussen Ingress en Egress-PE's End-to-end.
- E2E label L_x is afgegeven door PE₂ aan PE₁: om mijn SDP t.b.v. Service A te bereiken gebruik E2E Label L_x.
- E2E label L_y is afgegeven door PE₁ aan PE₂: om mijn SDP t.b.v. Service A te bereiken gebruik E2E Label L_y (voor verkeer van PE₂ naar PE₁).

Voorbeeld VPLS: Frame opbouw en forwarding



Voorbeeld VPLS: Hele WAN netwerk is een switch



- Netwerk is één grote 'Ethernet Switch' of meerdere 'Ethernet Switches'



cigre

For power system expertise

TELEPROTECTIE OVER MPLS

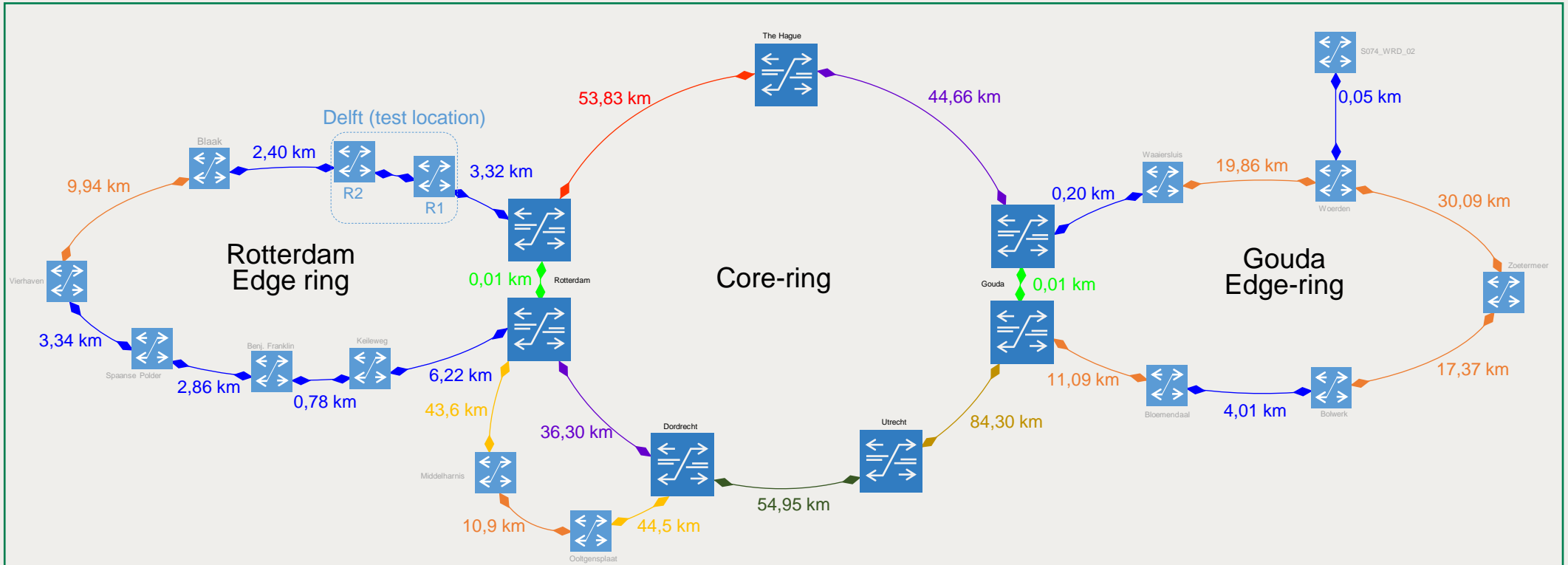
Doelen van de pilot

Lange termijn doelen	<ul style="list-style-type: none">▪ Realiseer de Stedin Telecom strategie: Een ‘single platform’ pakket-geschakelde netwerk voor alle secundaire businessdiensten.▪ Verhoog de betrouwbaarheid van de nieuwe flexibele pakket-geschakelde (MPLS) netwerk ter vervanging van verouderde technologieën (SDH/PDH).▪ Bied synchronisatie-as-a-service aan vanuit het MPLS-netwerk aan alle OT businessdiensten.
Korte termijn doelen	<ul style="list-style-type: none">▪ Test alternatieve failover mechanismen over MPLS om redundantie in het netwerk te verhogen▪ Test “klassieke” C37.94 differentiaalbeveiliging interfaces met nieuwe “active/active multipath” functionaliteit▪ Test “moderne” Ethernet differentiaalbeveiliging interfaces met PRP functionaliteit
Communicatie-vereisten	<ul style="list-style-type: none">▪ Hoog betrouwbare communicatie (< 1% pakketcorruptie/uitval),▪ Hoog beschikbare communicatie (< 50 ms pad failover-tijd),▪ Zo laag mogelijke netwerkvertraging (maximale end-to-end latentie 5 ms),▪ Zonering netwerkverkeer en QoS,▪ Hoge resiliency (gescheiden communicatiepaden over het netwerk),▪ Constante, symmetrische netwerkvertraging met minimale jitter voor TDM-gebaseerde beveiligingen communicatie,▪ Hoog nauwkeurige en hoog beschikbare tijd synchronisatie (1PPS of IEEE 1588v2 (PTP) voor Ethernet gebaseerde beveiligingen communicatie)

STEDIN Ontwikkel-, Test- en Acceptatie- (OTA) Network



TEST NETWORK
= STEDIN OTA NETWORK



Legenda



7705 SAR-8 (Edge router)



7705 SAR-18 (Core router)

◆ SFP 1GE LX 10 km 1310 nm

◆ SFP 1GE EX 40 km 1310 nm

◆ SFP 1GE ZX 70 km 1550 nm

◆ SFP 10GE SR 850 nm

◆ SFP 10GE ER 40 km 1550 nm

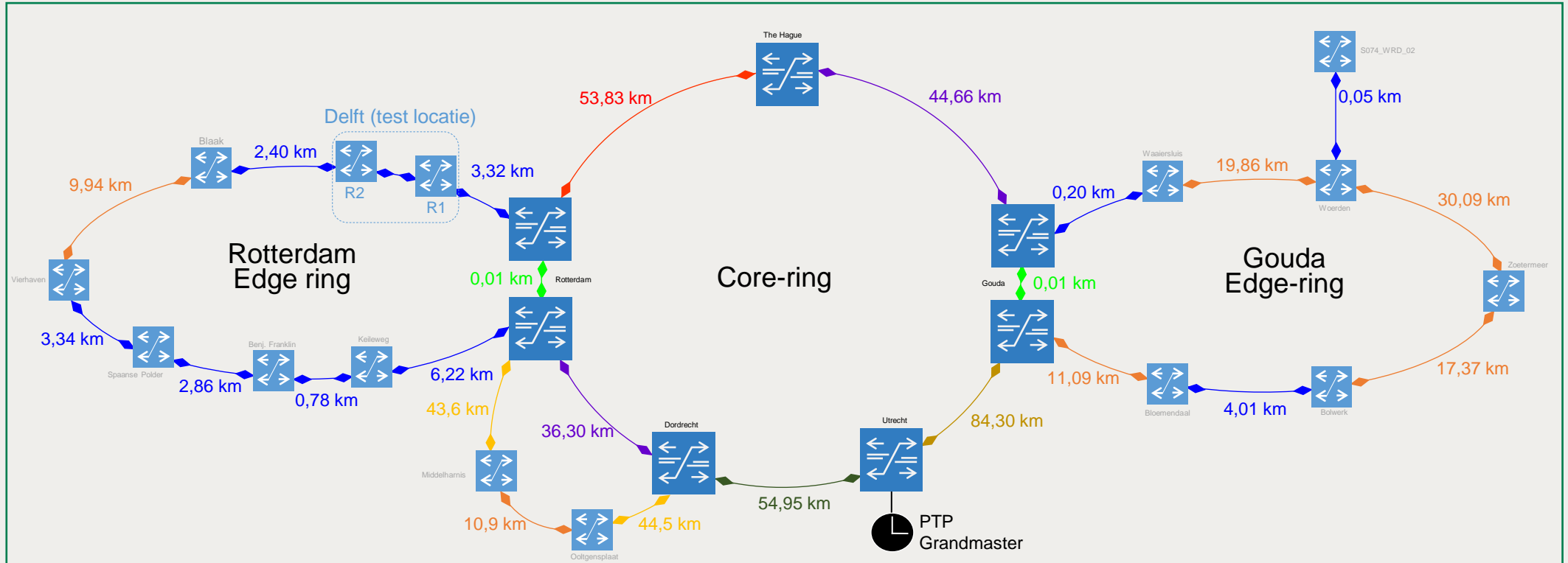
◆ SFP 10GE ZR 70 km 1611 nm

◆ SFP 10GE CWDM 70 km 1611 nm

◆ SFP 10GE CWDM 70 km 1511 nm

STEDIN OTA-Netwerk – Belangrijke cijfers

TEST
NETWORK
=
STEDIN OTA
NETWORK

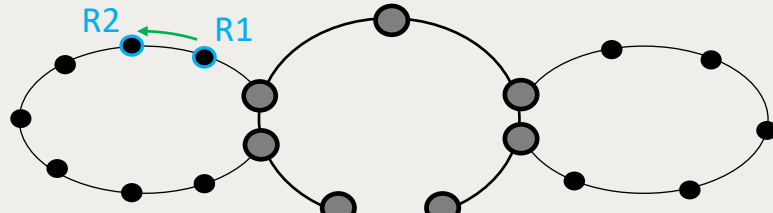


Belangrijke
cijfers

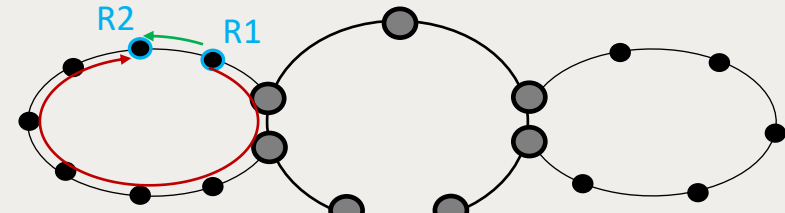
- **Digital & physical twin** van het productie netwerk (fysiek gescheiden).
- Een **10 Gigabit Core-ring** en drie **1 Gigabit Edge-ringen** verbonden met **22 MPLS routers** (NOKIA 7705 SAR-8/18).
- Het netwerk gebruikt en levert **PTP (IEEE1588v2)** en **Sync-E**, waarbij de tijdbron **GNSS** is op een core locatie.
- PTP is geconfigureerd op de **Telecom Profile** op alle MPLS Routers en vertaald naar de **Power Utility Profile (IEC 61850 -9-3:2016)**, via de boundary clocks interworking settings, richting de IED's.

Voorbeelden van gebruikte LSP's

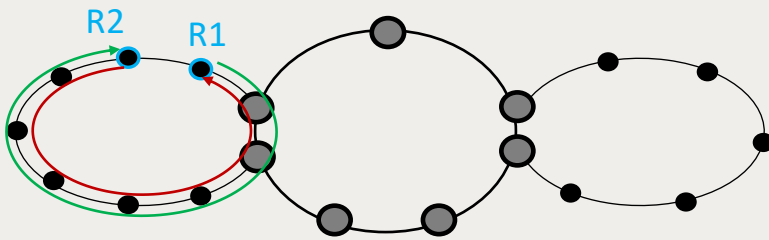
Gebruikte LSP's



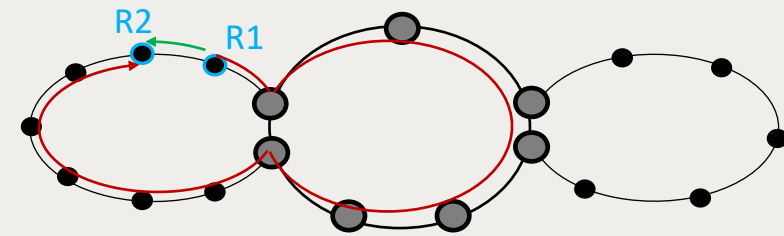
(a) LSP: Direct



(c) Primary path: Direct; Secondary Rdm_Edge



(b) LSP: Rdm_Edge



(d) Primary path: Direct; Secondary Rdm_Edge_Core

Afstanden

De gebruikte LSP's in het OTA-netwerk laten de verschillende logische typologieën zien tijdens de testen:

- Direct: < 0,01 km
- Rdm_Edge: ~ 30 km (28,87 km)
- Rdm_Edge_Core: ~ 300 km (302,91 km)
- Rdm_Edge_Core_Gda_Edge: ~ 385 km (385,52 km)

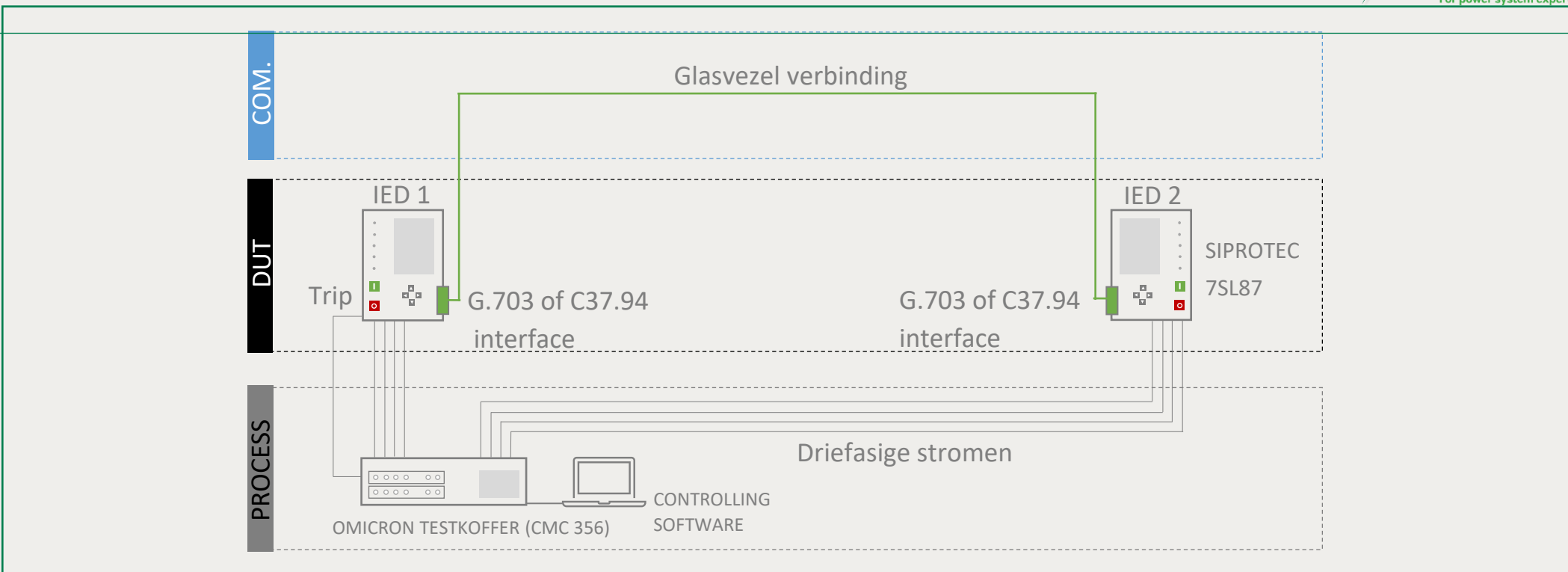
Testopstelling 1 – P2P verbinding

TEST SETUP 1

ÉÉN
COMMUNICATIE
INTERFACE

G.703
C37.94

IED trip- gedrag



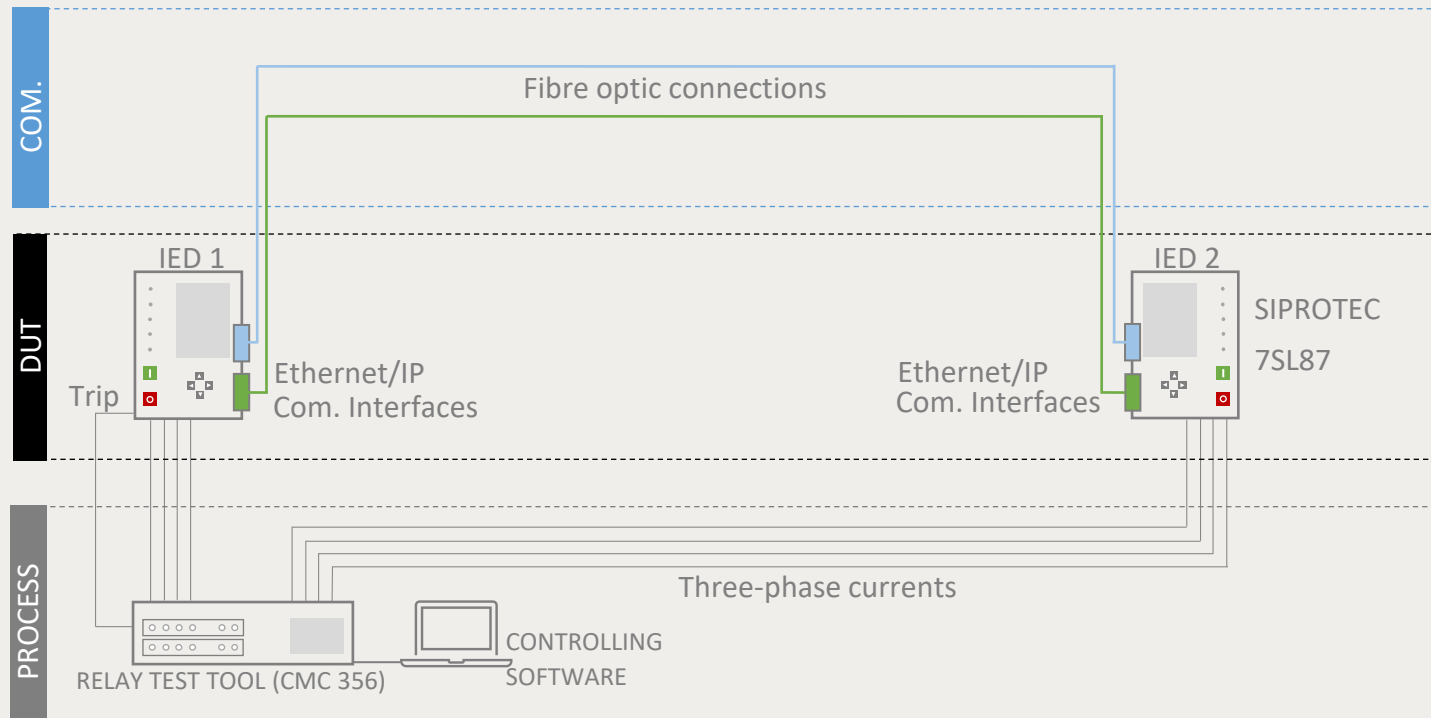
- Het vastleggen van het trip gedrag (differentiërend en stabiliserend) van de IED's, onder 'optimale' omstandigheden (directe verbinding met minimale vertraging) als referentie
- **Doorgaande fout** simulatie test; Bevestiging **trip-karakteristiek** ('search-test'); Vastlegging **trip-tijden** (trip-time test plane). Eenfase, tweefase en driefase fouten.
- 6 stroom uitgangen en een trip signal. Testkoffer injecteert driefasige stromen in beide relais. Het trip signaal wordt gelezen vanuit één van de relais.

Testopstelling 2 – Redundante P2P verbindingen

TEST SETUP
2

REDUNDANT
ATTACHED
RELAY

ETH/IP
PRP



Tripgedrag
vastleggen

- Het vastleggen van het trip gedrag (differentiërend en stabiliserend) van de IED's, onder 'optimale' omstandigheden (directe verbinding met minimale vertraging) als referentie
- **Doorgaande fout** simulatie test; Bevestiging **trip-karakteristiek** ('search-test'); Vastlegging **trip-tijden** (trip-time test plane). Eenfase, tweefase en driefase fouten.
- De Ethernet-interfaces van de beveiligingsrelais ondersteunen de redundantieprotocollen High-availability Seamless Redundancy (HSR) en Parallel Redundancy Protocol (PRP).

Testopstelling 3 – MPLS pseudowire (C-Pipe)

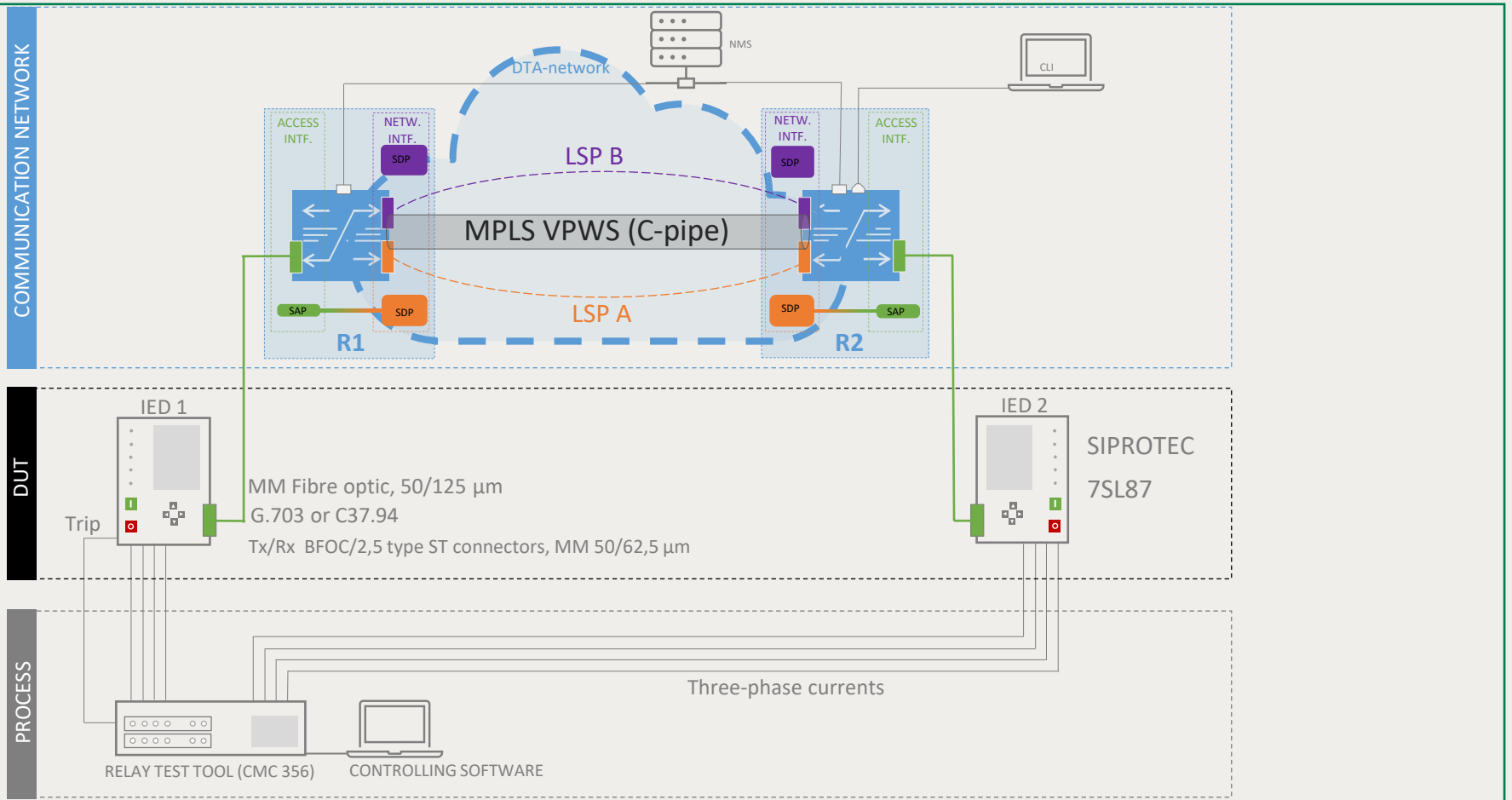
TEST SETUP
3

SINGLE
ATTACHED
RELAY

G.703
C37.94

MPLS
VPWS
C-PIPE

Active/active
Multipath



NB:

- Bepalen van het trippedrag van de IED's – Één communicatie interface – Met het MPLS netwerk (C-pipe configuratie)

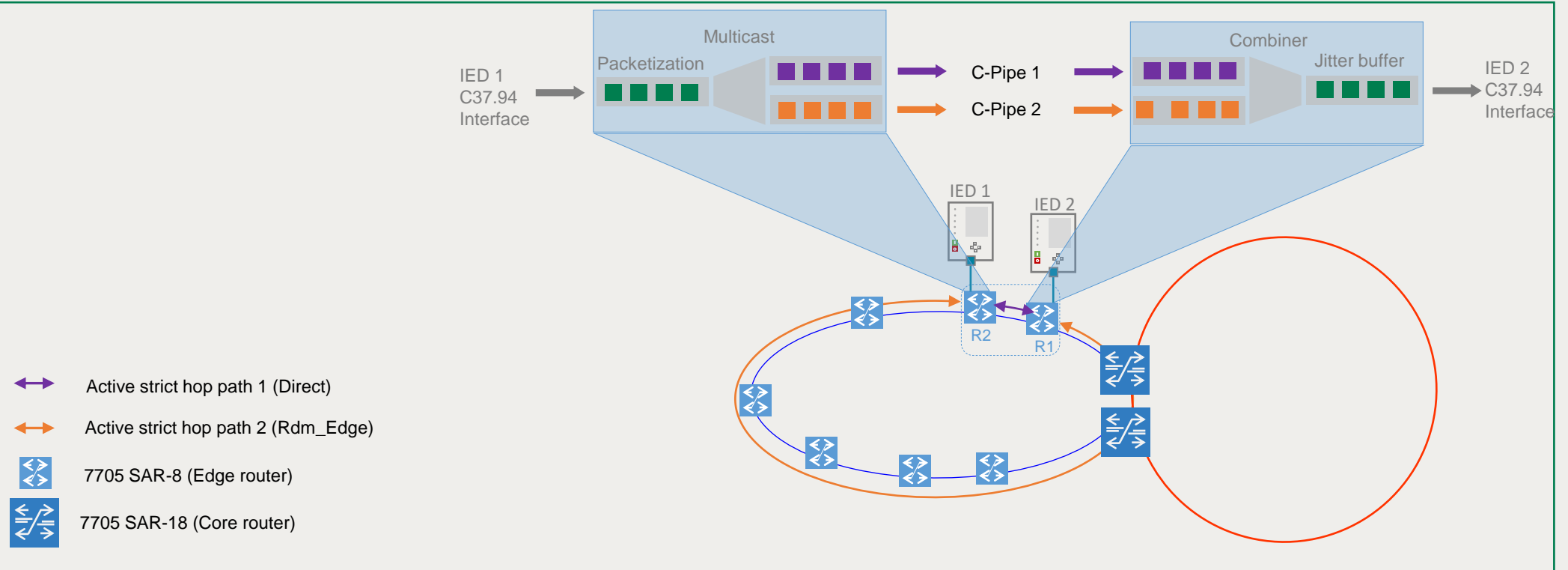
Test case 1 met testopstelling 3: Active/active multipath

TEST CASE
1
Test setup 3

SINGLE
ATTACHED
RELAY

G.703
C37.94

C-PIPE
Active/active
Multipath



Opmerkingen

- **Payload size** en **jitter buffer** geconfigureerd op identieke wijze en geoptimaliseerd voor het **langste pad**.
- De netwerkcomponenten zijn gesynchroniseerd met **Synchronous Ethernet (Sync-E)**
- Voor deze circuit emulatie (laag 1 service van het type C-pipe), is het aanbevolen om gebruik te maken van **RSVP-TE** expliciete LSPs met "**Strict Hop**" methode en **geen failover** mechanisme toestaan op de LSPs.

Testcase 1: Resultaten

RESULTATEN
TEST CASE 1

ÉÉN
COMUNICATIE
INTERFACE

G.703
C37.94

Active/active
Multipath

- De beveiligingsrelais zien geen problemen als een van de links verbroken wordt.
- Een storing in een van beide paden heeft geen invloed op de prestaties van de beveiligingsrelais; er werden geen fouten geregistreerd.
- Bij het verlies van beide paden, merkten de beveiligingsrelais een communicatiefout op en werd de lijndifferentiaalbeveiligingsfunctie geblokkeerd. Beide links moeten weer online komen voordat het relais de werking hervat.

Opmerkingen

- Synchronous Ethernet is belangrijk voor een goede werking van deze dienst.
- Andere lokale beveiligingsfuncties, zoals overstroom, blijven, indien aanwezig, normaal werken.

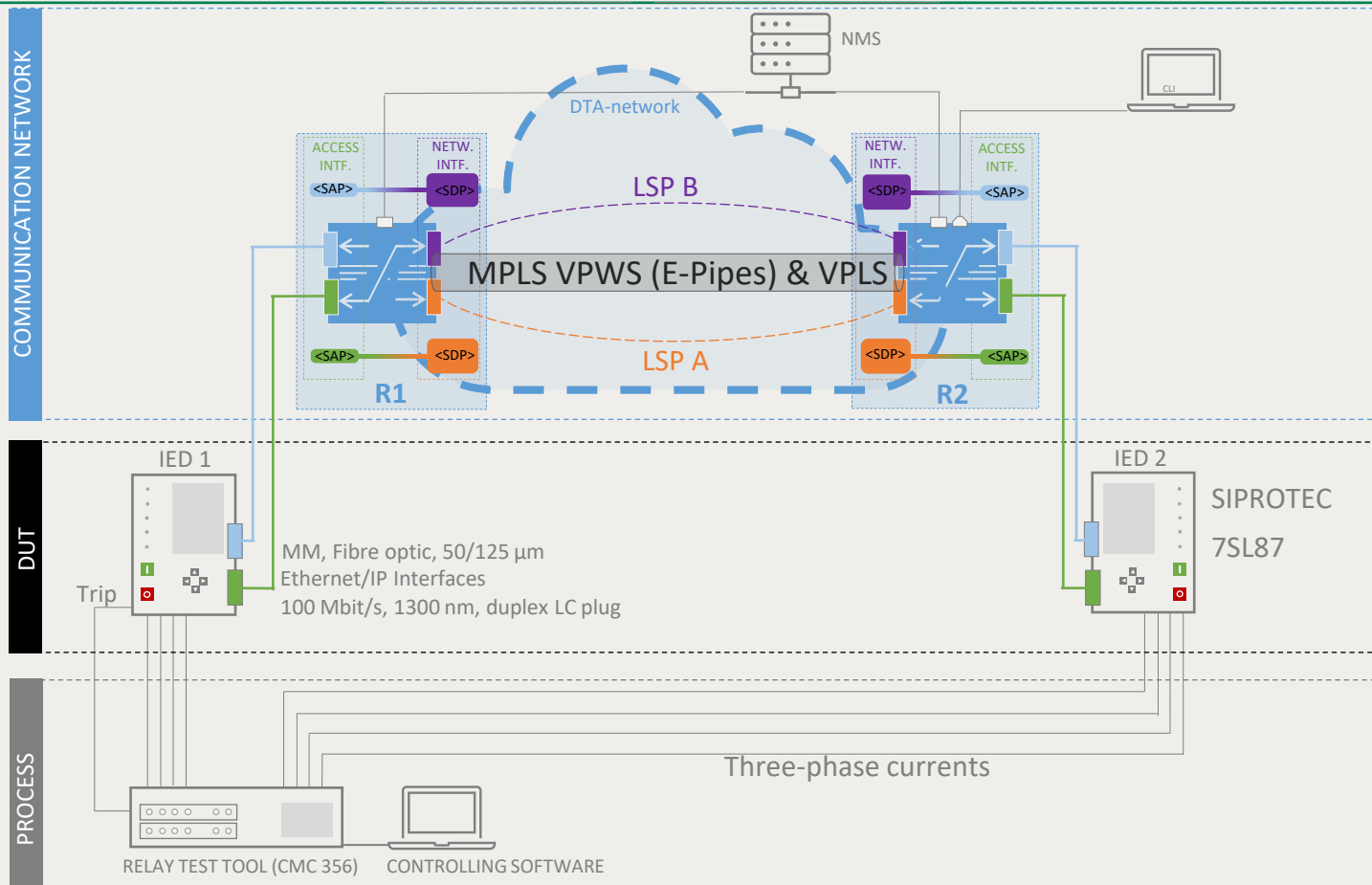
Testopstelling 4: MPLS pseudowire (E-Pipe) & VPLS

TEST-
OPSTELLING
4

REDUNDANT
ATTACHED
RELAY

ETH/IP
PRP

MPLS
VPWS
VPLS
E-PIPE



NB:

- Bepalen van het trippedrag van de Devices Under Test (DUTs) – Redundante comm. interfaces – Met het MPLS netwerk.

Testcase 2 met testopstelling 4 – Redundante ETH service

TEST CASE
2

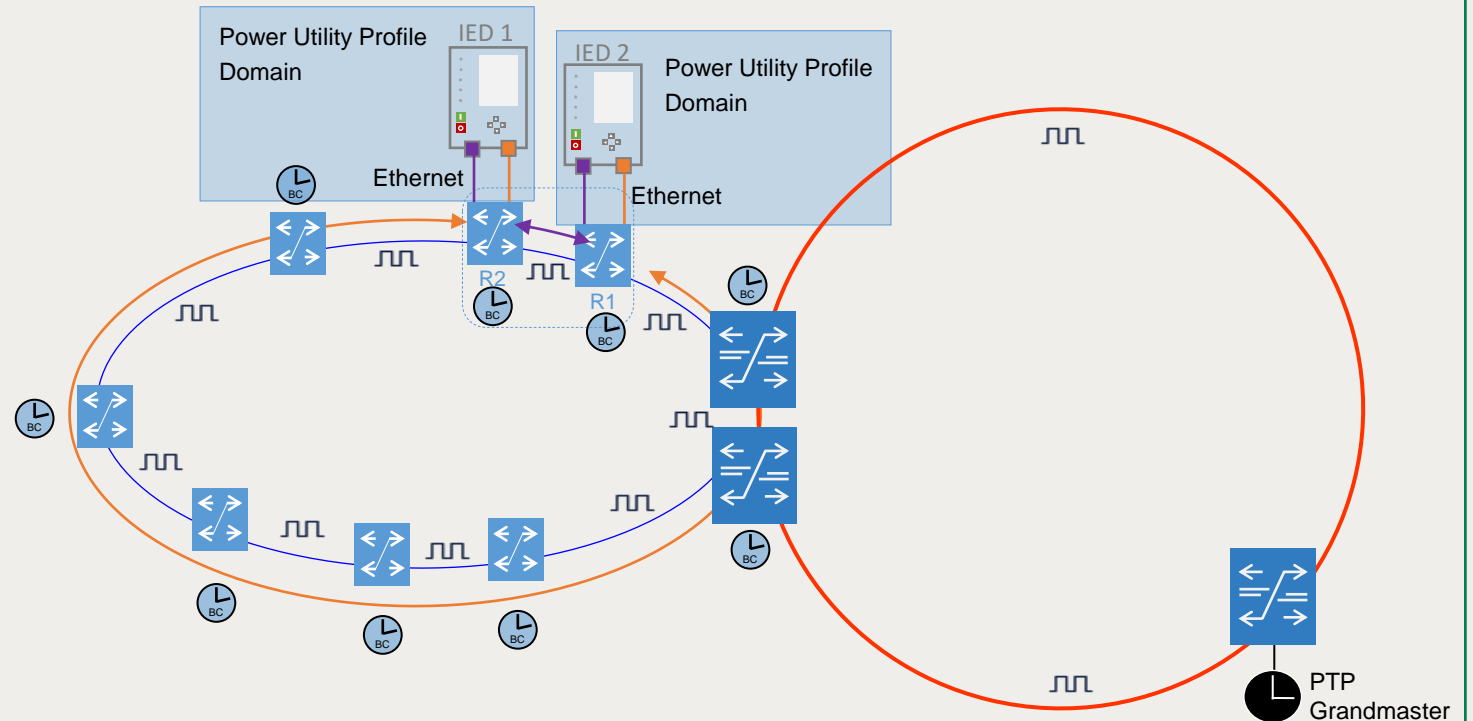
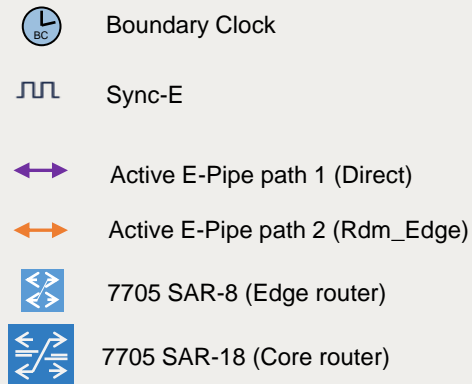
Test setup 4

REDUNDANTE
COMMUNICATIE
INTERFACE

ETH/IP
PRP

PTP
SYNC-E

2 APARTE
E-PIPEs



Opmerkingen

- Het netwerk gebruikt het **PTP Telecom Profile (IEEE 1588v2)**
- De beveiligingsrelais gebruiken het **PTP Power Utility Profile (IEC)** om te functioneren
- Alle Edge-routers zijn **Boundary Cloks**
- Alle netwerkcomponenten gebruiken **Synchronous Ethernet (Sync-E)** voor de frequentie synchronisatie
- Omdat de relais tijdsinformatie ontvangen, zijn ze minder gevoelig voor jitter & het falen/verliezen van een verbinding

Test case 2 – Resultaten – E-Pipe – Redundante interfaces



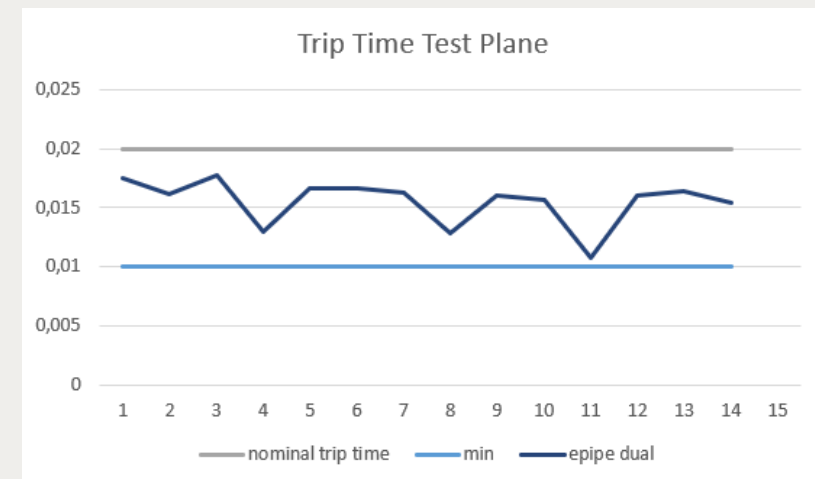
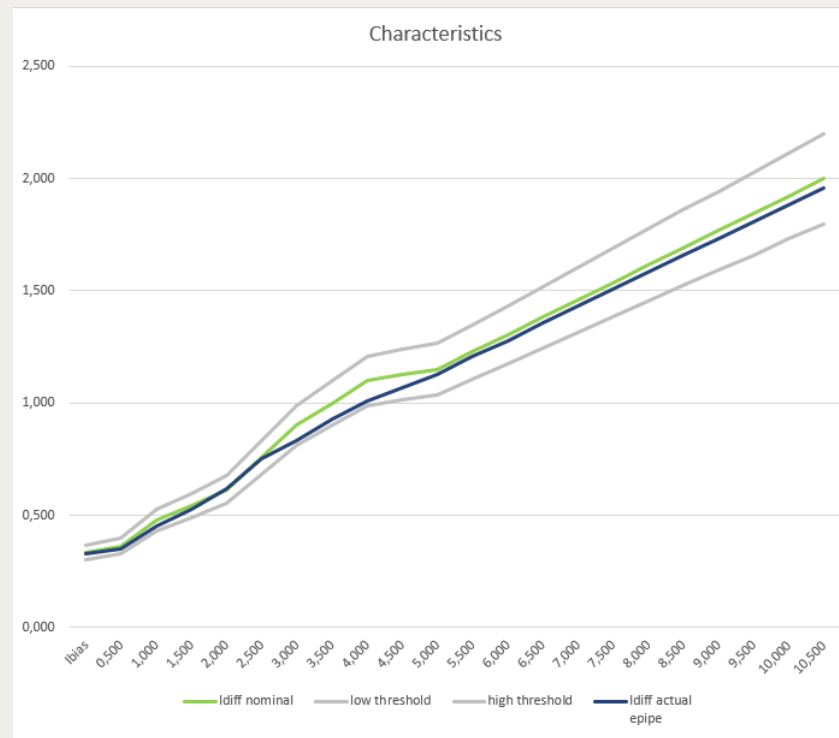
RESULTATEN
TEST CASE 2

REDUNDANTE
INTERFACES

ETH/IP
PRP

E-PIPE

Active/active
Multipath



Opmerkingen

- De werkelijke waarden bevinden zich binnen de gedefinieerde drempelwaarden zoals bepaald door het referentie test
- Andere ingestelde lokale beveiligingsfuncties zoals overstroom, indien aanwezig, blijven normaal functioneren.

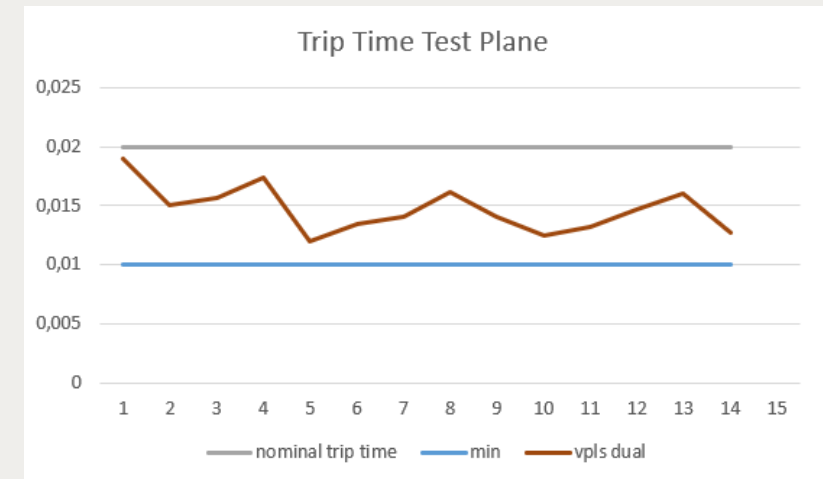
Test case 2 – Resultaten – VPLS – Redundante interfaces

TEST CASE 2
RESULTATEN

REDUNDANTE
INTERFACES

ETH/IP
PRP

VPLS



Opmerkingen

- De werkelijke waarden bevinden zich binnen de gedefinieerde drempelwaarden zoals bepaald door het referentie test
- Andere ingestelde lokale beveiligingsfuncties zoals overstroom, indien aanwezig, blijven normaal functioneren.



cigre

For power system expertise

CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

Conclusies en aanbevelingen

CONCLUSIES

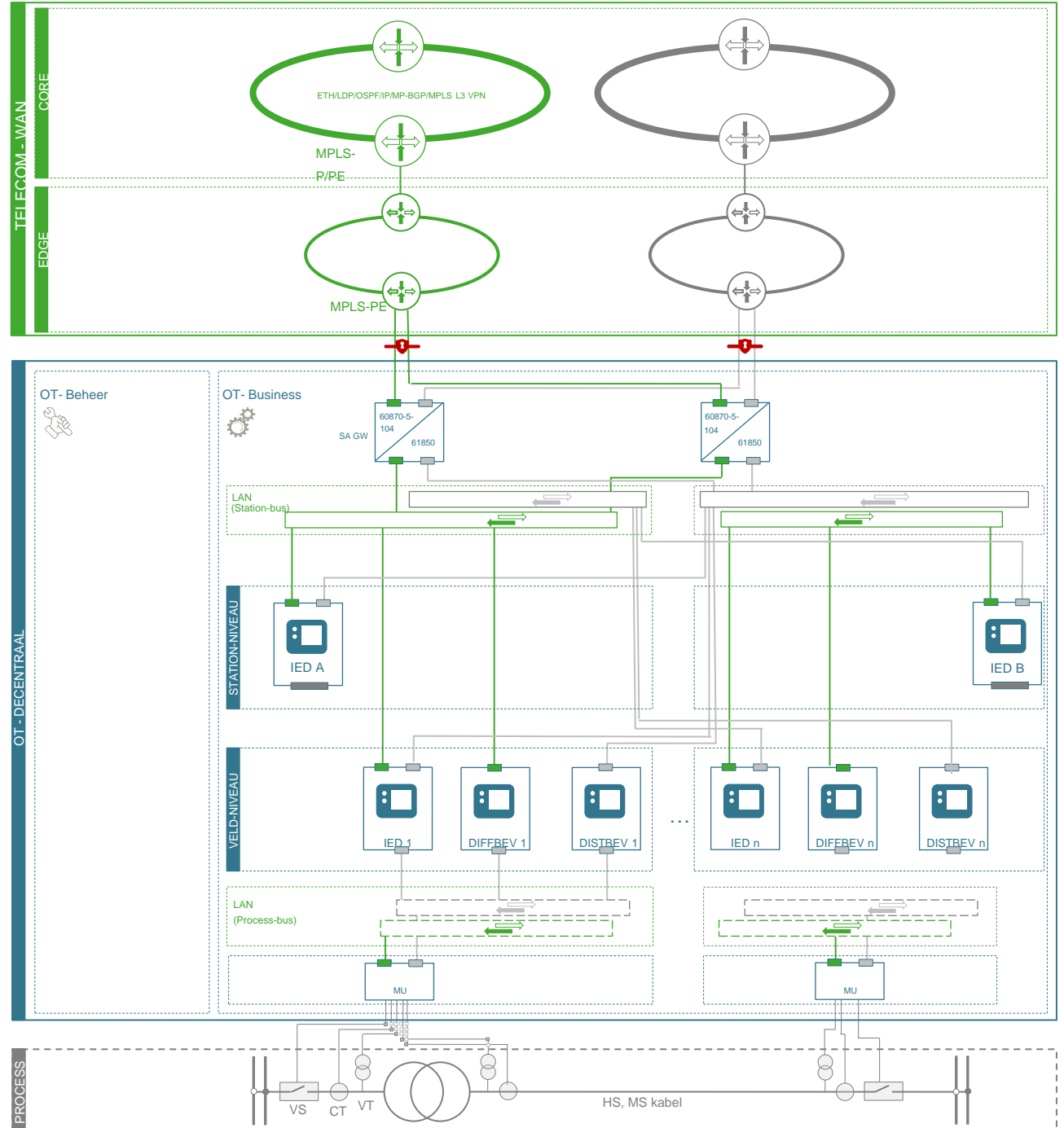
- Beide geteste use cases, “PRP over fysiek gescheiden paden” en “legacy interface over active-multi-path (MPLS)”, leveren een werkende oplossing voor differentiaalbeveiligingen communicatie over IP/MPLS.
- Er konden geen significante verschillen worden gezien tussen de MPLS trippedrag testen en de referentie testen:
 - Alle tests slaagden voor de doorgaande fouten simulaties.
 - Alle tests slaagden voor de Trip-karakteristieken-tests.
 - Alle tests slaagden voor de Trip Time-tests.
- Alle testen slaagden voor de verschillende communicatie onderbrekingen in het MPLS netwerk
- De test bevestigen de correcte omzetting van het PTP Telecom profile over de core en edge-ringen naar het PTP Power Utility profile op de access-poorten verbonden met de beveiligingsrelais.

AANBEVELINGEN

- Gebruik de Telecom Profile in het Wide Area IP/MPLS netwerk en de Power Utility Profile in the Station bus (stations-LAN) en selecteer een MPLS router dat ondersteunt de omzetting van de ene naar het andere.
- Gebruik zowel SyncE als PTP voor synchronisatie.
 - PTP voor tijd en fase synchronisatie
 - SyncE versnelt het herstel/convergentie-process van de PTP nodes in relatie tot de Grand Master, in tijden van congestie in het netwerk of link en node storingen
- Verder onderzoek naar resiliency van het synchronisatie ontwerp (backup Grand Master, falen referentie, etc.)
- Configureer de pseudowire parameters identiek voor beide paden en geoptimaliseerd voor het langste pad
- verder onderzoek worden naar procedures en tools voor zowel service-oplevering, operaties en beheer.
- Voeg fasor hoeken aan het trippedrag referentietest.

MPLS mogelijkheden in digitale onderstation

- MPLS Laag 3 services
 - Zonering tot access-laag middels VPRN voor alle native IP-diensten (SA: IEC61850 en IEC60870-104, PQ, VoIP, camerabewaking, etc.)
 - Inter-station communicatie
 - R-GOOSE & R-SV
- MPLS Laag 2 services:
 - Station-bus en proces-bus virtualisatie middels VPLS op dezelfde fysieke netwerkcomponenten
 - VPWS (E-pipes) voor nieuwe generatie beveiligingsrelais (ETH/IP interfaces); PRP;
- MPLS Laag 1 services
 - Legacy SA: IEC 60870-101
 - Legacy teleprotectie: C37.94, G703





cigre

For power system expertise

VRAGEN?