

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Industrial communication networks – High availability automation networks –
Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless
Redundancy (HSR)**

**Réseaux de communication industriels – Réseaux de haute disponibilité pour
l'automatisation –
Partie 3: Protocole de redondance en parallèle (PRP) et redondance
transparente de haute disponibilité (HSR)**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 25.040.40; 35.100.05

ISBN 978-2-8322-1059-5

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor. Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.
--

CONTENTS

FOREWORD.....	10
INTRODUCTION.....	13
0.1 General.....	13
0.2 Patent declaration.....	13
1 Scope.....	15
1.1 General.....	15
1.2 Code component distribution.....	15
2 Normative references	16
3 Terms, definitions, abbreviated terms, and conventions.....	17
3.1 Terms and definitions.....	17
3.2 Abbreviated terms.....	19
3.3 Conventions.....	20
4 Parallel Redundancy Protocol (PRP)	20
4.1 PRP principle of operation	20
4.1.1 PRP network topology	20
4.1.2 PRP LANs with linear or bus topology.....	22
4.1.3 PRP LANs with ring topology	22
4.1.4 DANP node structure	23
4.1.5 PRP attachment of singly attached nodes.....	24
4.1.6 Compatibility between singly and doubly attached nodes.....	25
4.1.7 Network management	25
4.1.8 Implication on application	25
4.1.9 Transition to a single-thread network	26
4.1.10 Duplicate handling	26
4.1.11 Network supervision	31
4.1.12 Redundancy management interface.....	31
4.2 PRP protocol specifications	32
4.2.1 Installation, configuration and repair guidelines	32
4.2.2 Unicast MAC addresses.....	32
4.2.3 Multicast MAC addresses	32
4.2.4 IP addresses	33
4.2.5 Node specifications	33
4.2.6 Duplicate Accept mode (testing only).....	33
4.2.7 Duplicate Discard mode.....	34
4.3 PRP_Supervision frame	38
4.3.1 PRP_Supervision frame format.....	38
4.3.2 PRP_Supervision frame contents.....	40
4.3.3 PRP_Supervision frame for RedBox	41
4.3.4 Bridging node (deprecated)	41
4.4 Constants	42
4.5 PRP layer management entity (LME)	42
5 High-availability Seamless Redundancy (HSR).....	42
5.1 HSR objectives	42
5.2 HSR principle of operation	43
5.2.1 Basic operation with a ring topology	43
5.2.2 HSR connection to other networks	45

5.2.3	DANH node structure	57
5.2.4	RedBox structure	58
5.3	HSR protocol specifications	59
5.3.1	HSR layout	59
5.3.2	HSR operation	59
5.3.3	DANH sending from its link layer interface	61
5.3.4	DANH receiving from an HSR port	62
5.3.5	DANH forwarding rules	62
5.3.6	HSR Class of Service	64
5.3.7	HSR clock synchronization	64
5.3.8	Deterministic transmission delay and jitter	64
5.4	HSR RedBox specifications	64
5.4.1	RedBox properties	64
5.4.2	RedBox receiving from port C (interlink)	65
5.4.3	RedBox receiving from port A or port B (HSR ring)	67
5.4.4	RedBox receiving from its link layer interface (local)	69
5.4.5	Redbox ProxyNodeTable handling	69
5.4.6	RedBox CoS	69
5.4.7	RedBox clock synchronization	69
5.4.8	RedBox medium access	69
5.5	QuadBox specification	70
5.6	Duplicate Discard method	70
5.7	Frame format for HSR	70
5.7.1	Frame format for all frames	70
5.7.2	HSR_Supervision frame	71
5.8	HSR constants	74
5.9	HSR layer management entity (LME)	75
6	Protocol Implementation Conformance Statement (PICS)	77
7	PRP/HSR Management Information Base (MIB)	79
Annex A	(normative) Synchronization of clocks over redundant paths	94
A.1	Overview	94
A.2	PRP mapping to PTP	94
A.2.1	Particular operation of PRP for PTP messages	94
A.2.2	Scenarios and device roles	96
A.2.3	Attachment to redundant LANs by a BC	98
A.2.4	Attachment to redundant LANs by doubly attached clocks	98
A.2.5	Specifications of DANP as DAC	102
A.2.6	PRP-SAN RedBoxes for PTP	103
A.3	HSR Mapping to PTP	123
A.3.1	HSR messages and other messages	123
A.3.2	HSR operation with PTP messages	123
A.3.3	HSR with redundant master clocks	125
A.3.4	HSR timing diagram for PTP messages	126
A.3.5	HSR nodes specifications	127
A.4	HSR RedBoxes for PTP	129
A.4.1	HSR-SAN RedBox	129
A.4.2	HSR-PRP RedBox connection by BC	130
A.4.3	HSR-PRP RedBox connection by TC	132
A.4.4	HSR to HSR connection by QuadBoxes	134

A.5	Doubly attached clock specification.....	135
A.5.1	State machine	135
A.5.2	Supervision of the port.....	138
A.5.3	BMCA for paired ports	139
A.5.4	Selection of the port state	140
A.6	PTP datasets for high availability	140
A.6.1	General	140
A.6.2	Data types	140
A.6.3	Datasets for OC or BC.....	141
A.6.4	Datasets for TCs.....	149
Annex B (normative)	PTP profile for Power Utility Automation (PUP) – Redundant clock attachment.....	150
B.1	Application domain.....	150
B.2	PTP profile specification	150
B.3	Specifications	150
B.4	Redundant clock attachment	150
Annex C (normative)	PTP industry profiles for high-availability automation networks	151
C.1	Application domain.....	151
C.2	PTP profile specification	151
C.3	Clock types	152
C.4	Protocol specification common.....	152
C.4.1	Base protocol	152
C.4.2	Version control	152
C.4.3	Time scale	153
C.4.4	BMCA.....	153
C.4.5	Time correction mechanism	153
C.4.6	Management.....	153
C.4.7	1 PPS support	153
C.4.8	Leap second transition.....	153
C.4.9	Use of port number	153
C.4.10	Time distribution security	154
C.5	Protocol specification for L3E2E industry profile	154
C.5.1	Base protocol	154
C.5.2	Multicast address.....	154
C.5.3	Delay calculation mechanism.....	154
C.5.4	Sync message padding.....	154
C.6	Protocol specification for L2P2P industry profile	155
C.6.1	Base protocol	155
C.6.2	Delay measurement mechanism	155
C.6.3	Consideration of media converters.....	155
C.7	Common timing requirements for L2P2P and L3E2E	155
C.7.1	Measurement conditions	155
C.7.2	Network time inaccuracy	155
C.7.3	Response to time step changes	156
C.7.4	Requirements for GCs	156
C.7.5	Requirements for TCs.....	158
C.7.6	Requirements for BCs.....	158
C.8	Requirements for media converters.....	161
C.9	Requirements for links	161

C.10	Network engineering	161
C.11	Default settings	162
C.12	Handling of doubly attached clocks	163
C.13	Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) for PTP	164
C.13.1	PICS conventions	164
C.13.2	PICS for PTP	164
C.14	Recommendations for time representation	166
C.14.1	Usage of flags in TimePropertyDS	166
C.14.2	UTC leap second transition	167
C.14.3	ALTERNATE_TIME_OFFSET_INDICATOR_TLV	168
Annex D (informative)	Precision Time Protocol tutorial for the PTP Industrial profile	172
D.1	Objective	172
D.2	Precision and accuracy	172
D.3	PTP clock types	173
D.4	PTP main options	175
D.5	Layer 2 and layer 3 communication	176
D.6	1-step and 2-step correction	176
D.6.1	Time correction in TCs	176
D.6.2	2-step to 1-step translation	177
D.7	End-to-End link delay measurement	179
D.7.1	General method	179
D.7.2	End-to-end link delay measurement with 1-step clock correction	179
D.7.3	End-to-end link delay measurement with 2-step clock correction	180
D.7.4	End-to-end link delay calculation by Delay_Req – Delay_Resp	181
D.7.5	Consideration of media converters in end-to-end delay calculation	181
D.8	Peer-to-peer link delay calculation	182
D.8.1	Peer-to-peer link delay calculation with 1-step correction	182
D.8.2	Peer-to-peer link delay calculation with 2-step correction	183
D.8.3	Consideration of media converters in peer delay calculation	184
Annex E (normative)	Management Information base for singly and doubly attached clocks	186
Annex F (normative)	Conformance testing for PRP and HSR and handling of redundancy in PIP and PUP	214
F.1	General	214
F.2	PRP conformance test	214
F.2.1	PRP test set-up	214
F.2.2	PRP test components	215
F.2.3	Test for documentation and labelling	215
F.2.4	Test for (unicast) IP addresses	216
F.2.5	Test for configuration	216
F.2.6	Test of DANP	217
F.2.7	Test of PRP Redboxes	221
F.2.8	Test for Management	223
F.2.9	Test of DANP or RedBox for processing of PTP frames	225
F.3	HSR conformance test	230
F.3.1	HSR test set-up	230
F.3.2	HSR test components	231
F.3.3	Test for HSR documentation and labelling	231
F.3.4	Test of DANH or RedBox for IP addresses	232

F.3.5	Test of DANH for configuration	232
F.3.6	Test of DANH	233
F.3.7	Test of HSR RedBoxes	237
F.3.8	Test of DANH or RedBox for receive/transmit counters	239
F.3.9	Test of DANH or RedBox for processing of PTP frames in L2P2P	240
Bibliography		244
Figure 1	– PRP example of general duplicated network	21
Figure 2	– PRP example of duplicated network in bus topology	22
Figure 3	– PRP example of redundant ring with SANs and DANPs	23
Figure 4	– PRP with two DANPs communicating	24
Figure 5	– PRP RedBox, transition from single to double LAN	26
Figure 6	– PRP frame closed by an RCT	27
Figure 7	– PRP VLAN-tagged frame closed by an RCT	28
Figure 8	– PRP padded frame closed by an RCT	28
Figure 9	– Duplicate Discard algorithm boundaries	30
Figure 10	– HSR example of ring traffic for multicast frames	43
Figure 11	– HSR example of ring traffic for unicast frames	44
Figure 12	– HSR example of coupling two redundant PRP LANs to a ring (unicast)	47
Figure 13	– HSR example of coupling from a ring node to PRP LANs (multicast)	49
Figure 14	– HSR example of coupling from a ring to two PRP LANs (multicast)	50
Figure 15	– HSR example of coupling three rings to one PRP LAN	51
Figure 16	– HSR example of peer coupling of two rings	52
Figure 17	– HSR example of connected rings	53
Figure 18	– HSR example of meshed topology	54
Figure 19	– HSR example of topology using two independent networks	55
Figure 20	– HSR example of coupling an RSTP LAN to HSR by two bridges	56
Figure 21	– HSR structure of a DANH	57
Figure 22	– HSR structure of a RedBox	58
Figure 23	– HSR frame without a VLAN tag	70
Figure 24	– HSR frame with VLAN tag	71
Figure 25	– HSR node with management counters	76
Figure 26	– HSR RedBox with management counters	77
Figure A.1	– Connection of a DAC master to a DAC slave over PRP	95
Figure A.2	– Elements of PRP time distribution networks	97
Figure A.3	– Doubly Attached Clock as BC (OC3A is best master)	98
Figure A.4	– Doubly Attached Clocks OC1 and OC2	100
Figure A.5	– Doubly attached clocks when OC1 has the same identity on both LANs	102
Figure A.6	– PRP RedBox as TWBCs	104
Figure A.7	– RedBox DABC clock model	105
Figure A.8	– PRP RedBoxes as DABC with E2E – message flow	107
Figure A.9	– PRP RedBoxes as DABC with E2E – timing	108
Figure A.10	– PRP RedBoxes as DABC with P2P on PRP – message flow	109
Figure A.11	– PRP RedBoxes as DABC with P2P on PRP – timing	110

Figure A.12 – PRP-SAN RedBox as SLTC with E2E – message flow	112
Figure A.13 – PRP RedBox as SLTC with E2E – timing	114
Figure A.14 – PRP RedBox as SLTC with P2P – message flow.....	115
Figure A.15 – PRP RedBox as SLTC with P2P – timing diagram	116
Figure A.16 – PRP RedBox as DATC with E2E – message flow	119
Figure A.17 – PRP RedBox as DATC with E2E – timing	120
Figure A.18 – PRP RedBox as DATC with P2P – message flow	121
Figure A.19 – PRP RedBox as DATC with P2P – timing	122
Figure A.20 – HSR with two GCs (GC1 is grandmaster, GC2 is back-up)	125
Figure A.21 – PTP messages sent and received by an HSR node (1-step).....	126
Figure A.22 – PTP messages sent and received by an HSR node (2-step).....	127
Figure A.23 – Attachment of a GC to an HSR ring through a RedBox as TC and BC	129
Figure A.24 – PRP to HSR coupling by BCs.....	131
Figure A.25 – PRP to HSR coupling by DATC and SLTC	133
Figure A.26 – HSR coupling to two PRP and one HSR network.....	134
Figure A.27 – Port states including transitions for redundant operation	136
Figure A.28 – BMCA for redundant masters	139
Figure C.1 – Response to a time step	156
Figure C.2 – States of a BC	159
Figure D.1 – Time error as a probability distribution function.....	172
Figure D.2 – PTP principle with GC, TC and OC	174
Figure D.3 – PTP elements	175
Figure D.4 – Delays and time-stamping logic in TCs	176
Figure D.5 – 1-step and 2-step correction of a Sync message (peer-to-peer)	177
Figure D.6 – Translation from 2-step to 1-step correction in TCs.....	178
Figure D.7 – Translation from 2-step to 1-step correction – message view	179
Figure D.8 – End-to-end link delay measurement with 1-step correction	180
Figure D.9 – End-to-end delay measurement with 2-step correction	181
Figure D.10 – Peer-to-peer link delay measurement with 1-step correction	182
Figure D.11 – Peer-to-peer link delay measurement with 2-step correction	183
Figure D.12 – Peer delay measurement and Sync message delay with media converter	185
Figure F.1 – Test set-up for PRP	215
Figure F.2 – Test set-up for PRP and PTP with L2P2P	225
Figure F.3 – Test set-up for HSR (without PTP)	231
Figure F.4 – Test set-up for HSR with L2P2P.....	240
Table 1 – Duplicate discard cases	30
Table 2 – Monitoring data set.....	34
Table 3 – NodesTable attributes	35
Table 4 – PRP_Supervision frame with no VLAN tag.....	39
Table 5 – PRP_Supervision frame with (optional) VLAN tag.....	40
Table 6 – PRP_Supervision frame contents	41
Table 7 – PRP_Supervision TLV for Redbox	41

Table 8 – PRP constants	42
Table 9 – HSR_Supervision frame with no VLAN tag	72
Table 10 – HSR_Supervision frame with optional VLAN tag	73
Table 11 – HSR Constants.....	75
Table 12 – PICS	78
Table A.1 – States	137
Table A.2 – Transitions	138
Table A.3 – Variables	138
Table C.1 – ClockClass.....	157
Table C.2 – PTP attributes.....	163
Table C.3 – PICS for clocks	164
Table C.4 – Transitions with an inserted leap second (UTC binary and C37.118).....	168
Table C.5 – Transitions with a removed leap second (UTC binary and C37.118).....	168
Table C.6 – ATOI transition to Pacific Summer Time (spring).....	170
Table C.7 – ATOI transitions to Pacific Standard Time (autumn)	170
Table C.8 – Transitions with an inserted leap second in Pacific Standard Time.....	171
Table C.9 – Transitions with a removed leap second in Pacific Standard Time.....	171
Table F.1 – Test for PRP documentation and labelling	216
Table F.2 – Test for (unicast) IP addresses.....	216
Table F.3 – Test for PRP configuration (Table 8)	217
Table F.4 – Test for PRP supervision frames (Table 4 and Table 5).....	217
Table F.5 – Test for PRP tagging (4.1.10.2, 4.2.7.3)	219
Table F.6 – Test of a DANP without a NodesTable.....	220
Table F.7 – Test of a DANP with a NodesTable	220
Table F.8 – Test for discard over different ports.....	221
Table F.9 – Test for PRP supervision frames (Table 4 and Table 5).....	222
Table F.10 – Test of RedBox for ProxyNodeTable.....	222
Table F.11 – Test of RedBox for forwarding	223
Table F.12 – Test for DANP receive/transmit counters	224
Table F.13 – Test procedure for processing of PTP frames	227
Table F.14 – Test for processing of PTP frames	228
Table F.15 – Test for processing of PTP frames	229
Table F.16 – Test procedure for processing of PTP frames	230
Table F.17 – Test for HSR documentation.....	232
Table F.18 – Test for IP addresses	232
Table F.19 – Test procedure for HSR configuration (Table 11).....	233
Table F.20 – Test for HSR supervision frames (Table 9 and Table 10).....	234
Table F.21 – Test for HSR tagging	235
Table F.22 – Test of DANH for HSR Mode H multicast.....	236
Table F.23 – Test of DANH for HSR Mode H unicast.....	236
Table F.24 – Test of DANH for other modes than Mode H.....	237
Table F.25 – Test of RedBox for HSR supervision frames (Table 9 and Table 10).....	237
Table F.26 – Test of RedBox for ProxyNodeTable.....	238

Table F.27 – Test of RedBox for Mode H Unicast.....	238
Table F.28 – Test of DANH or RedBox for receive/transmit counters	239
Table F.29 – Test for processing of PTP frames (slave).....	241
Table F.30 – Test for processing of PTP frames (master)	242

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INDUSTRIAL COMMUNICATION NETWORKS –
HIGH AVAILABILITY AUTOMATION NETWORKS –****Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and
High-availability Seamless Redundancy (HSR)**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62439-3 has been prepared by subcommittee 65C: Industrial networks, of IEC technical committee 65: Industrial-process measurement, control and automation. It is an International Standard.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2016. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) References to Precision Time Protocol (PTP) IEC 61588:2021 replace references to IEC 61588:2009, unless the previous version is explicitly referenced (Clause 2);
- b) References to IEC 61850-90-4:2020 replace references to IEC 61850-90-4:2013 with corresponding changes in the Logical Nodes (Clause 2);

- c) Terms and abbreviations are aligned with the next edition of IEC/IEEE 61850-9-3 (currently under preparation) (Clause 3);
- d) RSTP support in HSR is specified (5.2.2.10);
- e) RedBoxes and QuadBoxes specifications are extended to TCs (5.5);
- f) Network management (MIB) for PRP and HSR is available as a "Code Component", machine-readable separate document (Clause 7);
- g) PTP over PRP specifies a unified operation of DATC and SLTC RedBoxes (A.2.6.4);
- h) PTP over HSR specifies the operation of RedBoxes for TCs (A.4.3);
- i) PTP datasets are aligned with IEC 61588:2021 (Clause A.6);
- j) PTP industry profile is extended:
 - Sync messages padding to support media converters (C.5.4);
 - ClockClass definition aligned with IEC 61588:2021 option a) (C.7.4.3);
 - TC operation over different domains (C.7.5.3);
 - BCs behaviour in holdover and recovery (C.7.6.2);
 - PICS entries renamed and extended (C.13.2);
 - Flags semantics in TimePropertyDS actualized (C.14.1);
 - UTC events handling during a leap second specified (C.14.2);
 - UTC leap second time representation aligned with IEEE C37.118.2 (C.14.2.2);
 - Daylight saving time and leap second events recommended in the ALTERNATE_TIME_OFFSET_INDICATOR TLV (C.14.3.2);
- k) Tutorial extended to explain the media converter issue (D.8.3);
- l) PTP network management MIB (Annex E) is available as a "Code Component", machine-readable separate document and considers IEC 61588:2021 objects;
- m) Conformance testing for PRP, HSR and the doubly attached PTP clocks (Annex F) has been added.
- n) Interoperability issues with previous editions of this International Standard are mentioned in a note at the end of the corresponding clause.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
65C/1120/FDIS	65C/1139/RVD

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

This International Standard is to be read in conjunction with IEC 62439-1.

A list of all parts in the IEC 62439 series, published under the general title *Industrial communication networks – High availability automation networks*, can be found on the IEC website.

This IEC standard includes Code Components, i.e., components that are intended to be directly processed by a computer. Such content is any text found between the markers <CODE BEGINS> and <CODE ENDS>, or otherwise is clearly labeled in this standard as a Code Component.

The purchase of this IEC standard carries a copyright license for the purchaser to sell software containing Code Components from this standard directly to end users and to end users via distributors, subject to IEC software licensing conditions, which can be found at: <http://www.iec.ch/CCv1>.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this publication using a colour printer.

INTRODUCTION

0.1 General

This document belongs to the IEC 62439 series “*Industrial communication networks – High availability automation networks*”. It was developed jointly with IEC TC57 WG10 as the redundancy method for demanding substation automation networks operating on layer 2 networks, in accordance with IEC 61850-8-1 and IEC 61850-9-2, and extended to encompass the needs of CPF 2 of IEC 61784-1 and IEC 61784-2 for layer 3 networks.

This document specifies two related redundancy protocols that, in the event of failure of any network element, provide seamless switchover with zero recovery time:

- PRP (Parallel Redundancy Protocol), which allows attaching nodes to two separate networks while allowing attachment of nodes to one network only; and
- HSR (High-availability Seamless Redundancy), which allows threading two-port nodes in a ring or multi-port nodes in a meshed network.

This document applies the seamless redundancy principle to clocks compliant with the Precision Time Protocol (PTP).

This document specifies a PTP Industry profile (PIP) that offers the performance needed to achieve sub-microsecond time accuracy. This profile can be applied to any industrial communication network based on Ethernet. Two variants of PIP are specified:

- L3E2E (Layer 3, end-to-end) for clocks operating on layer 3 networks with end-to-end path delay measurement such as CP 2/2 of IEC 61784-1 and IEC 61784-2; and
- L2P2P (Layer 2, peer-to-peer) for clocks operating on layer 2 with peer-to-peer link delay measurement (P2P).

Based on L2P2P, IEC TC57 WG10 and the IEEE PSRC jointly specified the Power Utility Profile (PUP) and copied it to IEC/IEEE 61850-9-3. IEC and IEEE agreed to keep the contents of this document and IEC/IEEE 61850-9-3 aligned, under the umbrella of the Dual Logo Maintenance Team (DLMT) hosted by IEEE PSCC P20.

The specifications of PRP and HSR present no backward compatibility issues as the changes are compatible extensions of the protocol. The minor version of these protocols is kept at value “1”.

The specifications of the clock profile PIP are based on IEC 61588:2021, which presents some differences compared with IEC 61588:2009. The minorVersionPTP has been increased to 1.

This document includes guidelines for conformance testing, applicable to PRP, HSR and to the PIP and PUP clock synchronization profiles.

0.2 Patent declaration

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this standard may involve the use of a patent. IEC takes no position concerning the evidence, validity, and scope of this patent right.

The holder of this patent right has assured IEC that s/he is willing to negotiate licences under reasonable and non-discriminatory terms and conditions with applicants throughout the world. In this respect, the statement of the holder of this patent right is registered with IEC. Information may be obtained from the patent database available at <http://patents.iec.ch>.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this standard may be the subject of patent rights other than those in the patent database. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

INDUSTRIAL COMMUNICATION NETWORKS – HIGH AVAILABILITY AUTOMATION NETWORKS –

Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR)

1 Scope

1.1 General

The IEC 62439 series is applicable to high-availability automation networks based on the Ethernet technology.

This document:

- specifies PRP and HSR as two related redundancy protocols designed to provide seamless recovery in case of single failure of an inter-bridge link or bridge in the network, which are based on the same scheme: parallel transmission of duplicated information;
- specifies the operation of the precision time protocol (PTP) in networks that implement the two redundancy protocols (Annex A);
- specifies PTP profiles with performance suitable for power utility automation (Annex B) and industrial automation (Annex C);
- includes for better understanding a tutorial (Annex D) on the PTP features effectively used in high-availability automation networks;
- includes a management information base for PTP (Annex E);
- defines a conformance test suite for the above protocols (Annex F).

1.2 Code component distribution

This document is associated with Code components. Each Code Component is a ZIP package containing at least the electronic representation of the Code Component itself and a file describing the content of the package (IECManifest.xml).

The IECManifest contains different sections giving information on:

- the copyright notice;
- the identification of the code component;
- the publication related to the code component;
- the list of the electronic files which compose the code component;
- an optional list of history files to track changes during the evolution process of the code component.

The Code Components associated with this IEC standard are a set of SNMP MIBs. The Code Component IEC-62439-3-MIB.mib is a file containing the MIBs for PRP/HSR and PTP_SNMP. It is available in a full version, which contains the MIBs defined in this document with the documentation associated and access is restricted to purchaser of this document.

The Code Components are freely accessible on the IEC website for download at: https://www.iec.ch/sc65c/supportingdocuments/IEC_62439-3.MIB.{VersionStateInfo}.full.zip but the usage remains under the licensing conditions.

The life cycle of a code component is not restricted to the life cycle of the related publication. The publication life cycle goes through two stages, "Version" (corresponding to an edition) and "Revision" (corresponding to an amendment). Consequently, new release(s) of the Code Component(s) may be released, which supersede(s) the previous release, and will be distributed through the IEC web site at: <https://www.iec.ch/sc65c/supportingdocuments>.

The latest version/release of the document will be found by selecting the file IEC_62439-3.MIB.{VersionStateInfo}.full.zip for the code component with the highest value for VersionStateInfo.

In case of any differences between the downloadable code and the IEC pdf published content, the downloadable code(s) is(are) the valid one; it may be subject to updates. See history files.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-192, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 192: Dependability*

IEC 61588:2021, *Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*

IEC TR 61850-90-4:2020, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-4: Network engineering guidelines*

IEC 62439-1, *Industrial communication networks – High availability automation networks – Part 1: General concepts and calculation method*

ISO/IEC/IEEE 8802-3:2021, *Standard for Ethernet*

IEC/IEEE 61850-9-3:2016, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-3: Precision time protocol profile for power utility automation*

IEEE 802.1Q-2018, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Bridges and Bridged Network*

NOTE IETF references are dated with the original Request for Comment (RFC). Subsequent versions receive a new RFC number. Since IETF amends or extends documents and publishes errata on-line, the valid version can be found on the internet at <https://tools.ietf.org/>.

IETF RFC 768, *User Datagram Protocol (UDP)* [online]. August 1980 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc768>

IETF RFC 791, *Internet Protocol (IP)* [online]. September 1981 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc791>

IETF RFC 792, *Internet Control Message Protocol* [online]. September 1981 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc792>

IETF RFC 793, *Transmission Control Protocol* [online]. September 1981 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc793>

IETF RFC 826, *Ethernet Address Resolution Protocol* [online]. November 1982 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc826>

IETF RFC 2578, *Structure of Management Information Version 2 (SMIv2)* [online]. April 1999 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc2578>

IETF RFC 3418, *Structure of Management Information Version 2 (SMIv2)* [online]. December 2002 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc3418>

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	254
INTRODUCTION.....	257
0.1 Généralités	257
0.2 Déclaration de brevet.....	257
1 Domaine d'application	259
1.1 Généralités	259
1.2 Répartition des composants de code	259
2 Références normatives	260
3 Termes, définitions, termes abrégés et conventions	261
3.1 Termes et définitions	261
3.2 Termes abrégés.....	263
3.3 Conventions.....	265
4 Protocole de redondance en parallèle (PRP)	265
4.1 Principe de fonctionnement du protocole PRP.....	265
4.1.1 Topologie du réseau PRP	265
4.1.2 LAN PRP avec topologie linéaire ou en bus	267
4.1.3 LAN PRP avec topologie en anneau	267
4.1.4 Structure des nœuds DANP	268
4.1.5 Association PRP de nœuds à une seule association	268
4.1.6 Compatibilité entre les nœuds à une seule association et à double association	269
4.1.7 Gestion de réseau	269
4.1.8 Incidence sur l'application.....	269
4.1.9 Transition vers un réseau à liaison simple	270
4.1.10 Gestion des doublons	270
4.1.11 Supervision du réseau	275
4.1.12 Interface de gestion de la redondance	276
4.2 Spécifications du protocole PRP	276
4.2.1 Lignes directrices d'installation, de configuration et de réparation.....	276
4.2.2 Adresses MAC de monodiffusion	276
4.2.3 Adresses MAC de multidiffusion	277
4.2.4 Adresses IP.....	277
4.2.5 Spécifications des nœuds.....	277
4.2.6 Mode d'acceptation des doublons (essais seulement).....	278
4.2.7 Mode de rejet des doublons.....	278
4.3 Trame PRP_Supervision	282
4.3.1 Format de la trame PRP_Supervision	282
4.3.2 Contenu de la trame PRP_Supervision	284
4.3.3 Trame PRP_Supervision pour RedBox.....	285
4.3.4 Nœud de pontage (obsolète)	285
4.4 Constantes	286
4.5 Entité de gestion de couche PRP (LME).....	286
5 Redondance transparente de haute disponibilité (HSR)	286
5.1 Objectifs du protocole HSR.....	286
5.2 Principe de fonctionnement du protocole HSR	287
5.2.1 Fonctionnement de base avec une topologie en anneau	287
5.2.2 Connexion HSR à d'autres réseaux	289

5.2.3	Structure des nœuds DANH.....	301
5.2.4	Structure d'une RedBox.....	302
5.3	Spécifications du protocole HSR.....	303
5.3.1	Disposition HSR.....	303
5.3.2	Fonctionnement HSR.....	303
5.3.3	Envoi de données par le DANH depuis son interface de couche de liaison.....	305
5.3.4	Réception de données par le DANH depuis un port HSR.....	306
5.3.5	Règles de transfert du DANH.....	306
5.3.6	Classe de service HSR.....	308
5.3.7	Synchronisation des horloges HSR.....	308
5.3.8	Retard de transmission déterministe et gigue.....	308
5.4	Spécifications de la RedBox HSR.....	308
5.4.1	Propriétés de la RedBox.....	308
5.4.2	Réception par la RedBox depuis le port C (interconnexion).....	309
5.4.3	Réception par la RedBox depuis le port A ou le port B (anneau HSR).....	311
5.4.4	Réception par la RedBox depuis son interface de couche de liaison (en local).....	313
5.4.5	Gestion de la ProxyNodeTable par la RedBox.....	313
5.4.6	CoS RedBox.....	313
5.4.7	Synchronisation des horloges RedBox.....	313
5.4.8	Accès au support RedBox.....	314
5.5	Spécification de la QuadBox.....	314
5.6	Méthode de rejet des doublons.....	314
5.7	Format des trames pour HSR.....	314
5.7.1	Format des trames pour toutes les trames.....	314
5.7.2	Trame HSR_Supervision.....	315
5.8	Constantes HSR.....	318
5.9	Entité de gestion de couche (LME) HSR.....	319
6	Déclaration de conformité de mise en œuvre de protocole (PICS).....	321
7	Base d'informations de gestion (MIB) PRP/HSR.....	323
	Annexe A (normative) Synchronisation d'horloges sur des chemins redondants.....	339
A.1	Vue d'ensemble.....	339
A.2	Mapping PRP à PTP.....	339
A.2.1	Fonctionnement particulier du PRP pour les messages PTP.....	339
A.2.2	Scénarios et rôles d'appareils.....	341
A.2.3	Association à des LAN redondants par une BC.....	343
A.2.4	Association à des LAN redondants par des horloges à double association.....	343
A.2.5	Spécifications d'un DANP en tant que DAC.....	347
A.2.6	RedBoxes PRP-SAN pour PTP.....	348
A.3	Mapping HSR à PTP.....	368
A.3.1	Messages HSR et autres messages.....	368
A.3.2	Fonctionnement HSR avec les messages PTP.....	368
A.3.3	HSR avec horloges maîtres redondantes.....	370
A.3.4	Diagramme de temporisation HSR pour les messages PTP.....	371
A.3.5	Spécifications des nœuds HSR.....	372
A.4	RedBoxes HSR pour PTP.....	374
A.4.1	RedBoxes HSR-SAN.....	374

A.4.2	Connexion RedBox HSR-PRP par BC	375
A.4.3	Connexion RedBox HSR-PRP par TC	377
A.4.4	Connexion HSR-HSR par QuadBoxes	379
A.5	Spécification d'horloge à double association	380
A.5.1	Diagramme d'états	380
A.5.2	Supervision du port	383
A.5.3	Algorithme BMCA pour les ports couplés	384
A.5.4	Sélection de l'état des ports	385
A.6	Ensembles de données PTP pour la haute disponibilité	385
A.6.1	Généralités	385
A.6.2	Types de données	385
A.6.3	Ensembles de données pour OC ou BC	386
A.6.4	Ensembles de données pour TC	394
Annexe B (normative) Profil PTP destiné à l'automatisation des systèmes électriques (PUP) – Association d'une horloge redondante		395
B.1	Domaine d'application	395
B.2	Spécification du profil PTP	395
B.3	Spécifications	395
B.4	Association d'une horloge redondante	395
Annexe C (normative) Profils industriels PTP destinés aux réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation		397
C.1	Domaine d'application	397
C.2	Spécification du profil PTP	397
C.3	Types d'horloges	398
C.4	Informations communes sur la spécification du protocole	398
C.4.1	Protocole de base	398
C.4.2	Contrôle de version	398
C.4.3	Echelle de temps	399
C.4.4	BMCA	399
C.4.5	Mécanisme de correction de temps	399
C.4.6	Gestion	399
C.4.7	Prise en charge de 1 PPS	399
C.4.8	Transition de second intercalaire	399
C.4.9	Utilisation du numéro de port	399
C.4.10	Sécurité de la distribution de temps	400
C.5	Spécification du protocole pour le profil industriel L3E2E	400
C.5.1	Protocole de base	400
C.5.2	Adresse de multidiffusion	400
C.5.3	Mécanisme de calcul de retard	400
C.5.4	Remplissage des messages Sync	400
C.6	Spécification du protocole pour le profil industriel L2P2P	401
C.6.1	Protocole de base	401
C.6.2	Mécanisme de mesure de retard	401
C.6.3	Prise en compte des convertisseurs de support	401
C.7	Exigences de temporisation communes pour les profils L2P2P et L3E2E	401
C.7.1	Conditions de mesure	401
C.7.2	Imprécision temporelle du réseau	401
C.7.3	Réponse aux modifications d'intervalle	402
C.7.4	Exigences pour les GC	402

C.7.5	Exigences pour les horloges transparentes.....	404
C.7.6	Exigences pour les BC.....	404
C.8	Exigences pour les convertisseurs de support.....	408
C.9	Exigences pour les liaisons.....	408
C.10	Ingénierie de réseau.....	408
C.11	Réglages par défaut.....	409
C.12	Gestion des horloges à double association.....	410
C.13	Déclaration de conformité de mise en œuvre de protocole (PICS) pour PTP.....	411
C.13.1	Conventions PICS.....	411
C.13.2	PICS pour PTP.....	411
C.14	Recommandations pour la représentation temporelle.....	413
C.14.1	Utilisation d'indicateurs dans TimePropertyDS.....	413
C.14.2	Transition de second intercalaire UTC.....	414
C.14.3	ALTERNATE_TIME_OFFSET_INDICATOR_TLV.....	416
Annexe D (informative)	Tutoriel relatif au protocole PTP pour le profil industriel PTP.....	420
D.1	Objectif.....	420
D.2	Exactitude et précision.....	420
D.3	Types d'horloges PTP.....	421
D.4	Options PTP principales.....	423
D.5	Communication des couches 2 et 3.....	424
D.6	Correction en 1 étape et en 2 étapes.....	424
D.6.1	Correction du temps dans les horloges transparentes.....	424
D.6.2	Conversion 2 étapes/1 étape.....	425
D.7	Mesure du retard de ligne entre extrémités.....	427
D.7.1	Méthode générale.....	427
D.7.2	Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 1 étape.....	427
D.7.3	Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 2 étapes.....	428
D.7.4	Calcul du retard de ligne entre extrémités à partir des messages Delay_Req/Delay_Resp.....	429
D.7.5	Prise en compte des convertisseurs de support dans le calcul du retard entre extrémités.....	430
D.8	Calcul du retard de ligne entre homologues.....	430
D.8.1	Calcul du retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 1 étape.....	430
D.8.2	Calcul du retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 2 étapes.....	431
D.8.3	Prise en compte des convertisseurs de support dans le calcul du retard entre homologues.....	432
Annexe E (normative)	Base d'informations de gestion pour les horloges à une seule association et les horloges à double association.....	434
Annexe F (normative)	Essais de conformité pour le PRP, la HSR et la gestion de la redondance dans les PIP et PUP.....	462
F.1	Généralités.....	462
F.2	Essai de conformité PRP.....	462
F.2.1	Montage d'essai PRP.....	462
F.2.2	Composants d'un essai PRP.....	463
F.2.3	Essai de la documentation et de l'étiquetage.....	464
F.2.4	Essai des adresses IP (de monodiffusion).....	464

F.2.5	Essai de configuration	465
F.2.6	Essai de DANP	465
F.2.7	Essai des Redboxes PRP	469
F.2.8	Essai de gestion	471
F.2.9	Essai de DANP ou de RedBox pour le traitement des trames PTP	473
F.3	Essai de conformité HSR	478
F.3.1	Montage d'essai HSR	478
F.3.2	Composants d'un essai HSR	479
F.3.3	Essai de la documentation et de l'étiquetage HSR	479
F.3.4	Essai de DANH ou de RedBox pour les adresses IP	480
F.3.5	Essai de DANH pour la configuration	480
F.3.6	Essai de DANH	481
F.3.7	Essai de RedBoxes HSR	485
F.3.8	Essai de DANH ou de RedBox pour compteurs de réception/transmission	487
F.3.9	Essai de DANH ou de RedBox pour le traitement des trames PTP dans L2P2P	488
	Bibliographie	492
	Figure 1 – Exemple PRP de réseau dupliqué général	266
	Figure 2 – Exemple PRP de réseau dupliqué dans la topologie en bus	267
	Figure 3 – Exemple PRP d'anneau redondant constitué de SAN et de DANP	267
	Figure 4 – PRP constitué de deux DANP qui communiquent	268
	Figure 5 – RedBox PRP, transition d'un LAN simple vers un LAN double	270
	Figure 6 – Trame PRP étendue par une RCT	271
	Figure 7 – Trame PRP à balise VLAN fermée par une RCT	272
	Figure 8 – Trame remplie PRP fermée par une RCT	272
	Figure 9 – Limites de l'algorithme de rejet de doublons	274
	Figure 10 – Exemple HSR de trafic en anneau pour les trames de multidiffusion	287
	Figure 11 – Exemple HSR de trafic en anneau pour les trames de monodiffusion	288
	Figure 12 – Exemple HSR de couplage de deux LAN PRP redondants à un anneau (monodiffusion)	291
	Figure 13 – Exemple HSR de couplage d'un nœud d'anneau à des LAN PRP (multidiffusion)	293
	Figure 14 – Exemple HSR de couplage d'un anneau à deux LAN PRP (multidiffusion)	294
	Figure 15 – Exemple HSR de couplage de trois anneaux à un LAN PRP	295
	Figure 16 – Exemple HSR de couplage par homologues de deux anneaux	296
	Figure 17 – Exemple HSR d'anneaux connectés	297
	Figure 18 – Exemple HSR de topologie maillée	298
	Figure 19 – Exemple HSR de topologie qui utilise deux réseaux indépendants	299
	Figure 20 – Exemple HSR de couplage d'un LAN RSTP à HSR par deux ponts	300
	Figure 21 – Structure HSR d'un DANH	301
	Figure 22 – Structure HSR d'une RedBox	302
	Figure 23 – Trame HSR sans balise VLAN	314
	Figure 24 – Trame HSR avec balise VLAN	315
	Figure 25 – Nœud HSR avec compteurs de gestion	320

Figure 26 – RedBox HSR avec compteurs de gestion	321
Figure A.1 – Connexion d'une DAC maître à une DAC esclave par PRP	340
Figure A.2 – Eléments des réseaux de distribution de temps PRP	342
Figure A.3 – Horloge à double association en tant que BC (OC3A est la meilleure horloge maître)	343
Figure A.4 – Horloges à double association OC1 et OC2	345
Figure A.5 – Horloges à double association lorsqu'OC1 a la même identité sur les deux LAN	347
Figure A.6 – RedBox PRP en tant que TWBC	349
Figure A.7 – Modèle d'horloge DABC RedBox	350
Figure A.8 – RedBoxes PRP en tant que DABC avec E2E – flux de messages	352
Figure A.9 – RedBoxes PRP en tant que DABC avec E2E – temporisation	353
Figure A.10 – RedBoxes PRP en tant que DABC avec P2P sur PRP – flux de messages	354
Figure A.11 – RedBoxes PRP en tant que DABC avec P2P – temporisation	355
Figure A.12 – RedBox PRP en tant que SLTC avec E2E – flux de messages	357
Figure A.13 – RedBox PRP en tant que SLTC avec E2E – temporisation	359
Figure A.14 – RedBox PRP en tant que SLTC avec P2P – flux de messages	360
Figure A.15 – RedBox PRP en tant que SLTC avec P2P – diagramme de temporisation	361
Figure A.16 – RedBox PRP en tant que DATC avec E2E – flux de messages	364
Figure A.17 – RedBox PRP en tant que DATC avec E2E – temporisation	365
Figure A.18 – RedBox PRP en tant que DATC avec P2P – flux de messages	366
Figure A.19 – RedBox PRP en tant que DATC avec P2P – temporisation	367
Figure A.20 – HSR avec deux GC (GC1 est le grand maître, GC2 est le maître de secours)	370
Figure A.21 – Messages PTP envoyés et reçus par un nœud HSR (1 étape)	371
Figure A.22 – Messages PTP envoyés et reçus par un nœud HSR (2 étapes)	372
Figure A.23 – Association d'une GC à un anneau HSR par l'intermédiaire d'une RedBox en tant que TC et BC	374
Figure A.24 – Couplage PRP-HSR par BC	376
Figure A.25 – Couplage PRP-HSR par DATC et SLTC	378
Figure A.26 – Couplage HSR à deux réseaux PRP et à un réseau HSR	379
Figure A.27 – Etats des ports avec les transitions pour le fonctionnement redondant	381
Figure A.28 – Algorithme BMCA pour les maîtres redondants	384
Figure C.1 – Réponse à un intervalle	402
Figure C.2 – Etats des BC	406
Figure D.1 – Erreur de temporisation en tant que fonction de distribution de probabilité	420
Figure D.2 – Principe du protocole PTP avec GC, TC et OC	422
Figure D.3 – Eléments PTP	423
Figure D.4 – Retards et logique d'horodatage dans les TC	424
Figure D.5 – Correction en 1 étape et en 2 étapes d'un message Sync (entre homologues)	425
Figure D.6 – Conversion de la correction en 2 étapes en correction en 1 étape dans les TC	426
Figure D.7 – Conversion de la correction en 2 étapes en correction en 1 étape – Vue des messages	427

Figure D.8 – Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 1 étape	428
Figure D.9 – Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 2 étapes.....	429
Figure D.10 – Mesure du retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 1 étape	431
Figure D.11 – Mesure du retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 2 étapes.....	432
Figure D.12 – Mesure du retard entre homologues et du retard du message Sync avec convertisseur de support.....	433
Figure F.1 – Montage d'essai pour PRP.....	463
Figure F.2 – Montage d'essai pour PRP et PTP avec L2P2P.....	473
Figure F.3 – Montage d'essai pour HSR (sans PTP)	479
Figure F.4 – Montage d'essai pour HSR avec L2P2P	488
Tableau 1 – Cas de rejet des doublons	274
Tableau 2 – Ensemble de données de surveillance	278
Tableau 3 – Attributs de NodesTable	279
Tableau 4 – Trame PRP_Supervision sans balise VLAN	283
Tableau 5 – Trame PRP_Supervision avec balise VLAN (facultative).....	284
Tableau 6 – Contenu de la trame PRP_Supervision	285
Tableau 7 – TLV PRP_Supervision pour RedBox	285
Tableau 8 – Constantes PRP	286
Tableau 9 – Trame HSR_Supervision sans balise VLAN	316
Tableau 10 – Trame HSR_Supervision avec balise VLAN facultative	317
Tableau 11 – Constantes HSR.....	319
Tableau 12 – PICS.....	322
Tableau A.1 – Etats	382
Tableau A.2 – Transitions	383
Tableau A.3 – Variables.....	383
Tableau C.1 – ClockClass.....	403
Tableau C.2 – Attributs PTP	410
Tableau C.3 – PICS pour les horloges	411
Tableau C.4 – Transitions avec un second intercalaire inséré (binaire UTC et C37.118)	415
Tableau C.5 – Transitions avec un second intercalaire retiré (UTC binaire et C37.118)	416
Tableau C.6 – Transition de l'ATOI à l'heure d'été du Pacifique (printemps).....	417
Tableau C.7 – Transitions de l'ATOI à l'heure normale du Pacifique (automne).....	418
Tableau C.8 – Transitions avec un second intercalaire inséré dans l'heure normale du Pacifique	418
Tableau C.9 – Transitions avec un second intercalaire retiré dans l'heure normale du Pacifique	419
Tableau F.1 – Essai de la documentation et de l'étiquetage PRP	464
Tableau F.2 – Essai des adresses IP (de monodiffusion)	464
Tableau F.3 – Essai de configuration PRP (Tableau 8)	465
Tableau F.4 – Essai pour les trames de supervision PRP (Tableau 4 et Tableau 5)	465

Tableau F.5 – Essai pour le balisage PRP (4.1.10.2, 4.2.7.3)	467
Tableau F.6 – Essai de DANP sans NodesTable.....	468
Tableau F.7 – Essai de DANP avec une NodesTable	468
Tableau F.8 – Essai de rejet sur différents ports	469
Tableau F.9 – Essai pour les trames de supervision PRP (Tableau 4 et Tableau 5)	470
Tableau F.10 – Essai de RedBox pour ProxyNodeTable	470
Tableau F.11 – Essai de RedBox pour le transfert	471
Tableau F.12 – Essai des compteurs de réception/transmission DANP	472
Tableau F.13 – Procédure d'essai pour le traitement des trames PTP.....	475
Tableau F.14 – Essai de traitement des trames PTP	476
Tableau F.15 – Essai de traitement des trames PTP	477
Tableau F.16 – Procédure d'essai pour le traitement des trames PTP.....	478
Tableau F.17 – Essai de la documentation HSR	480
Tableau F.18 – Essai des adresses IP	480
Tableau F.19 – Procédure d'essai pour la configuration HSR (Tableau 11)	481
Tableau F.20 – Essai pour les trames de supervision HSR (Tableau 9 et Tableau 10)	482
Tableau F.21 – Essai pour le balisage HSR	483
Tableau F.22 – Essai de DANH pour la multidiffusion HSR en mode H	484
Tableau F.23 – Essai de DANH pour la monodiffusion HSR en mode H	484
Tableau F.24 – Essai de DANH pour les autres modes que le mode H.....	485
Tableau F.25 – Essai de Redbox pour les trames de supervision (Tableau 9 et Tableau 10)	485
Tableau F.26 – Essai de RedBox pour ProxyNodeTable	486
Tableau F.27 – Essai de RedBox pour la monodiffusion en mode H.....	486
Tableau F.28 – Essai de DANH ou de RedBox pour compteurs de réception/transmission	487
Tableau F.29 – Essai de traitement des trames PTP (esclave).....	489
Tableau F.30 – Essai de traitement des trames PTP (maître)	490

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSEAUX DE COMMUNICATION INDUSTRIELS – RÉSEAUX DE HAUTE DISPONIBILITÉ POUR L'AUTOMATISATION –

Partie 3: Protocole de redondance en parallèle (PRP) et redondance transparente de haute disponibilité (HSR)

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 62439-3 a été établie par le sous-comité 65C: Réseaux industriels, du comité d'études 65 de l'IEC: Mesure, commande et automation dans les processus industriels. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2016. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) remplacement des références à l'IEC 61588:2009 par des références à l'IEC 61588:2021 pour le protocole PTP (*Precision Time Protocol*), sauf si la version précédente est explicitement référencée (Article 2);
- b) remplacement des références à l'IEC 61850-90-4:2013 par des références à l'IEC 61850-90-4:2020, avec les modifications correspondantes apportées aux nœuds logiques (Article 2);
- c) alignement des termes et abréviations sur la prochaine édition de l'IEC/IEEE 61850-9-3 (en cours d'élaboration) (Article 3);
- d) spécification de la prise en charge du protocole RSTP pour la HSR (5.2.2.10);
- e) extension des spécifications des RedBoxes et QuadBoxes aux TC (5.5);
- f) mise à disposition de la gestion de réseau (MIB) pour le PRP et la HSR sous forme de "composant de code", dans un document distinct lisible par machine (Article 7);
- g) spécification par le PTP, par rapport au PRP, d'un fonctionnement unifié des RedBoxes DATC et SLTC (A.2.6.4);
- h) spécification par le PTP, par rapport au PRP, du fonctionnement des RedBoxes pour les TC (A.4.3);
- i) alignement des ensembles de données PTP sur l'IEC 61588:2021 (Article A.6);
- j) extension du profil industriel PTP:
 - remplissage des messages Sync pour les convertisseurs de support (C.5.4);
 - définition de ClockClass alignée sur l'IEC 61588:2021, option a) (C.7.4.3);
 - fonctionnement des TC dans différents domaines (C.7.5.3);
 - comportement des BC en matière de rémanence et de récupération (C.7.6.2);
 - renommage et extension des entrées PICS (C.13.2);
 - mise à jour de la sémantique des indicateurs dans TimePropertyDS (C.14.1);
 - spécification de la gestion des événements UTC pendant un second intercalaire (C.14.2);
 - alignement de la représentation temporelle d'un second intercalaire UTC sur l'IEEE C37.118.2 (C.14.2.2);
 - recommandation des événements liés à l'heure d'été et aux seconds intercalaires dans le TLV ALTERNATE_TIME_OFFSET_INDICATOR (C.14.3.2).
- k) enrichissement du tutoriel pour expliquer la problématique des convertisseurs de support (D.8.3);
- l) mise à disposition de la MIB de gestion de réseau PTP (Annexe E) sous forme de "composant de code", dans un document distinct lisible par machine, en tenant compte des objets de l'IEC 61588:2021;
- m) ajout d'essais de conformité pour le PRP, la HSR et les horloges PTP à double association (Annexe F);
- n) mention des problèmes d'interopérabilité avec les éditions précédentes de la présente Norme internationale dans une note à la fin du paragraphe correspondant.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
65C/1120/FDIS	65C/1139/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

La présente Norme internationale doit être lue conjointement avec l'IEC 62439-1.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62439, publiées sous le titre général *Réseaux de communication industriels – Réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation*, se trouve sur le site web de l'IEC.

La présente norme IEC inclut des composants de code, c'est-à-dire des composants qui sont destinés à être traités directement par un ordinateur. Leur contenu correspond au texte placé entre les marqueurs <CODE BEGINS> et <CODE ENDS>, ou est clairement indiqué dans la présente norme comme étant un composant de code.

L'achat de la présente norme IEC inclut une licence de droits d'auteur qui permet à l'acheteur de vendre des logiciels qui contiennent des composants de code issus de la présente norme directement aux utilisateurs finaux et aux utilisateurs finaux par l'intermédiaire de distributeurs, sous réserve des conditions de licence logicielle de l'IEC, qui peuvent être consultées à l'adresse suivante: <http://www.iec.ch/CCv1>.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.
--

INTRODUCTION

0.1 Généralités

Le présent document fait partie de la série IEC 62439 "*Réseaux de communication industriels – Réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation*". Il a été élaboré conjointement avec le GT 10 du CE 57 de l'IEC comme méthode de redondance pour les réseaux d'automatisation de postes exigeants qui fonctionnent sur des réseaux de couche 2, conformément à l'IEC 61850-8-1 et à l'IEC 61850-9-2, et a été étendu pour répondre aux besoins de la CPF 2 de l'IEC 61784-1 et de l'IEC 61784-2 des réseaux de couche 3.

Le présent document spécifie deux protocoles de redondance associés qui assurent une commutation transparente avec un temps de reprise nul en cas de défaillance d'un élément de réseau:

- le protocole de redondance en parallèle PRP (Parallel Redundancy Protocol) qui permet d'associer des nœuds à deux réseaux tout en permettant d'associer des nœuds à un seul réseau; et
- la redondance transparente de haute disponibilité HSR (High-availability Seamless Redundancy) qui permet de lier des nœuds à deux ports dans un anneau ou des nœuds à plusieurs ports dans un réseau maillé.

Le présent document applique le principe de redondance transparente aux horloges conformes au protocole PTP.

Le présent document spécifie un profil industriel PTP (PIP, *PTP Industry Profile*) qui assure les performances nécessaires pour obtenir une précision temporelle inférieure à la microseconde. Ce profil peut être appliqué à tout réseau de communication industriel qui repose sur Ethernet. Deux variantes du PIP sont spécifiées:

- le profil de couche 3 entre extrémités (L3E2E, *Layer 3, End-to-End*) pour les horloges qui fonctionnent sur des réseaux de couche 3 avec une mesure du retard de chemin entre extrémités, comme le CP 2/2 de l'IEC 61784-1 et de l'IEC 61784-2; et
- le profil de couche 2 entre homologues (L2P2P, *Layer 2, Peer-to-Peer*) pour les horloges qui fonctionnent sur la couche 2 avec une mesure du retard de ligne entre homologues (P2P).

A partir du profil L2P2P, le WG 10 du CE 57 de l'IEC et le PSRC de l'IEEE ont conjointement spécifié le profil de système électrique (PUP, *Power Utility Profile*) et l'ont copié dans l'IEC/IEEE 61850-9-3. L'IEC et l'IEEE ont convenu par accord de maintenir l'alignement des contenus du présent document et de l'IEC/IEEE 61850-9-3, sous la tutelle de l'équipe DLMT (*Dual Logo Maintenance Team*) hébergée par l'IEEE PSCC P20.

Les spécifications du PRP et de la HSR ne présentent aucun problème de rétrocompatibilité, car les modifications sont des extensions compatibles du protocole. La version mineure de ces protocoles est maintenue à la valeur "1".

Les spécifications du profil d'horloge PIP reposent sur l'IEC 61588:2021, qui présente certaines différences par rapport à l'IEC 61588:2009. Le minorVersionPTP est passé à 1.

Le présent document comprend des lignes directrices pour les essais de conformité, qui s'appliquent au PRP, à la HSR et aux profils de synchronisation d'horloge PIP et PUP.

0.2 Déclaration de brevet

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité avec les dispositions de la présente norme peut impliquer l'utilisation d'un brevet. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété.

Le détenteur de ces droits de propriété a donné l'assurance à l'IEC qu'il consent à négocier des licences avec des demandeurs du monde entier à des termes et conditions raisonnables et non discriminatoires. A ce propos, la déclaration du détenteur des droits de propriété est enregistrée à l'IEC. Des informations peuvent être obtenues dans la base de données des droits de propriété, disponible à l'adresse suivante: <http://patents.iec.ch>.

L'attention est d'autre part attirée sur le fait que certains des éléments de la présente norme peuvent faire l'objet de droits de propriété autres que ceux qui ont été enregistrés dans la base de données des droits de propriété. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de l'identification de ces droits de propriété en tout ou partie.

RÉSEAUX DE COMMUNICATION INDUSTRIELS – RÉSEAUX DE HAUTE DISPONIBILITÉ POUR L'AUTOMATISATION –

Partie 3: Protocole de redondance en parallèle (PRP) et redondance transparente de haute disponibilité (HSR)

1 Domaine d'application

1.1 Généralités

La série IEC 62439 s'applique aux réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation qui reposent sur la technologie Ethernet.

Le présent document:

- spécifie le PRP et la HSR comme deux protocoles de redondance associés pour procurer une reprise transparente en cas de défaillance unique de liaison interpont ou de pont au sein du réseau, qui reposent sur le même schéma: transmission en parallèle d'informations dupliquées;
- spécifie le fonctionnement du protocole PTP dans les réseaux qui mettent en œuvre les deux protocoles de redondance (Annexe A);
- spécifie les profils PTP avec des performances adaptées à l'automatisation des systèmes électriques (Annexe B) et à l'automatisation industrielle (Annexe C);
- fournit, pour une meilleure compréhension, un tutoriel (Annexe D) relatif aux fonctionnalités PTP utilisées efficacement dans les réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation;
- comprend une base d'informations de gestion pour le PTP (Annexe E);
- définit une suite d'essais de conformité pour les protocoles ci-dessus (Annexe F).

1.2 Répartition des composants de code

Le présent document est associé à des composants de code. Chaque composant de code est un paquet ZIP qui contient au moins la représentation électronique du composant de code lui-même et un fichier qui décrit le contenu du paquet (IECManifest.xml).

Le fichier IECManifest contient différentes sections qui fournissent des informations sur:

- la notice de droit d'auteur;
- l'identification du composant de code;
- la publication relative au composant de code;
- la liste des fichiers électroniques qui composent le composant de code;
- une liste facultative de fichiers historiques qui permet de suivre les modifications apportées au cours du processus d'évolution du composant de code.

Les composants de code associés à la présente norme IEC sont un ensemble de MIB SNMP. Le composant de code IEC-62439-3-MIB.mib est un fichier qui contient les MIB pour le PRP/la HSR et le PTP_SNMP. Il est disponible dans une version complète, qui contient les MIB définies dans le présent document ainsi que la documentation associée, et dont l'accès est réservé à l'acheteur du présent document.

Les composants de code sont librement accessibles en téléchargement sur le site web de l'IEC à l'adresse suivante: https://www.iec.ch/sc65c/supportingdocuments/IEC_62439-3.MIB.{VersionStateInfo}.full.zip, mais son utilisation reste soumise aux conditions de licence.

Le cycle de vie d'un composant de code ne se limite pas au cycle de vie de la publication correspondante. Le cycle de vie de la publication comprend deux étapes, la "version" (qui correspond à une édition) et la "révision" (qui correspond à un amendement). Par conséquent, de nouvelles versions des composants de code peuvent être publiées, qui remplacent la version précédente, et sont disponibles sur le site web de l'IEC à l'adresse suivante: <https://www.iec.ch/sc65c/supportingdocuments>.

La dernière version/publication du document est accessible en sélectionnant le fichier IEC_62439-3.MIB.{VersionStateInfo}.full.zip du composant de code dont la valeur de VersionStateInfo est la plus élevée.

Si le code téléchargeable et le contenu publié par l'IEC au format pdf diffèrent, le code téléchargeable est le contenu valide; il peut faire l'objet de mises à jour. Voir les fichiers historiques.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60050-192, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 192: Sécurité de fonctionnement*

IEC 61588:2021, *Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems* (disponible en anglais seulement)

IEC TR 61850-90-4:2020, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-4: Network engineering guidelines* (disponible en anglais seulement)

IEC 62439-1, *Réseaux de communication industriels – Réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation – Partie 1: Concepts généraux et méthodes de calcul*

ISO/IEC/IEEE 8802-3:2021, *Telecommunications and exchange between information technology systems - Requirements for local and metropolitan area networks - Part 3: Standard for Ethernet* (disponible en anglais seulement)

IEC/IEEE 61850-9-3:2016, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-3: Precision time protocol profile for power utility automation* (disponible en anglais seulement)

IEEE 802.1Q-2018, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Bridges and Bridged Network* (disponible en anglais seulement)

NOTE Les références à l'IETF sont datées et accompagnées de la demande de commentaire (RFC) originale. Les versions suivantes reçoivent un nouveau numéro de RFC. Etant donné que l'IETF modifie ou étend les documents et publie les errata en ligne, la version valide peut être consultée sur le web à l'adresse <https://tools.ietf.org/>.

IETF RFC 768, *User Datagram Protocol (UDP)* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Août 1980 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc768>

IETF RFC 791, *Internet Protocol (IP)* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Septembre 1981 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc791>

IETF RFC 792, *Internet Control Message Protocol* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Septembre 1981 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc792>

IETF RFC 793, *Transmission Control Protocol* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Septembre 1981 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc793>

IETF RFC 826, *Ethernet Address Resolution Protocol* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Novembre 1982 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc826>

IETF RFC 2578, *Structure of Management Information Version 2 (SMIv2)* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Avril 1999 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc2578>

IETF RFC 3418, *Structure of Management Information Version 2 (SMIv2)* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Décembre 2002 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc3418>