

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Industrial communication networks – High availability automation networks –
Part 5: Beacon Redundancy Protocol (BRP)**

**Réseaux industriels de communication – Réseaux d'automatisme à haute
disponibilité –
Partie 5: Protocole de redondance à balise (BRP)**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Industrial communication networks – High availability automation networks –
Part 5: Beacon Redundancy Protocol (BRP)**

**Réseaux industriels de communication – Réseaux d'automatisme à haute
disponibilité –
Partie 5: Protocole de redondance à balise (BRP)**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 25.040; 35.040

ISBN 978-2-8322-0060-5

**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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions, abbreviations, acronyms, and conventions	7
3.1 Terms and definitions	7
3.2 Abbreviations and acronyms.....	8
3.3 Conventions	8
4 BRP overview.....	8
5 BRP principle of operation	8
5.1 General.....	8
5.2 Network topology.....	8
5.3 Network components	10
5.4 Rapid reconfiguration of network traffic	11
6 BRP stack and fault detection features	11
7 BRP protocol specification.....	13
7.1 MAC addresses	13
7.2 EtherType	13
7.3 Fault detection mechanisms	13
7.4 End node state diagram	13
7.5 Beacon end node state diagram	21
8 BRP message structure	27
8.1 General.....	27
8.2 ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3) tagged frame header	28
8.3 Beacon message	28
8.4 Learning_Update message	28
8.5 Failure_Notify message	29
8.6 Path_Check_Request message	29
8.7 Path_Check_Response message	29
9 BRP fault recovery time	29
10 BRP service definition	30
10.1 Supported services.....	30
10.2 Common service parameters	30
10.3 Set_Node_Parameters service	31
10.4 Get_Node_Parameters service	33
10.5 Add_Node_Receive_Parameters service	35
10.6 Remove_Node_Receive_Parameters service	37
10.7 Get_Node_Status service	38
11 BRP Management Information Base (MIB).....	39
Bibliography.....	41
Figure 1 – BRP star network example	9
Figure 2 – BRP linear network example	9
Figure 3 – BRP ring network example	10

Figure 4 – BRP stack architecture	11
Figure 5 – BRP state diagram of end node	14
Figure 6 – BRP state diagram for beacon end node	21
Table 1 – BRP end node flags	16
Table 2 – BRP end node state transition table	17
Table 3 – BRP beacon end node flags	23
Table 4 – BRP beacon end node state transition table	24
Table 5 – BRP common header with ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3) tagged frame format	28
Table 6 – BRP beacon message format	28
Table 7 – BRP Learning_Update message format	28
Table 8 – BRP Failure_Notify message format	29
Table 9 – BRP Path_Check_Request message format	29
Table 10 – BRP Path_Check_Response message format	29
Table 11 – BRP Set_Node_Parameters service parameters	32
Table 12 – BRP Get_Node_Parameters service parameters	34
Table 13 – BRP Add_Node_Receive_Parameters service parameters	36
Table 14 – BRP Remove_Node_Receive_Parameters service parameters	37
Table 15 – BRP Get_Node_Status service parameters	38

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INDUSTRIAL COMMUNICATION NETWORKS –
HIGH AVAILABILITY AUTOMATION NETWORKS –****Part 5: Beacon Redundancy Protocol (BRP)**

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.

International Standard IEC 62439-5 has been prepared by subcommittee 65C: Industrial Networks, of IEC technical committee 65: Industrial-process measurement, control and automation.

This standard cancels and replaces IEC 62439 published in 2008. This first edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to IEC 62439 (2008):

- adding a calculation method for RSTP (rapid spanning tree protocol, IEEE 802.1Q),
- adding two new redundancy protocols: HSR (High-availability Seamless Redundancy) and DRP (Distributed Redundancy Protocol),
- moving former Clauses 1 to 4 (introduction, definitions, general aspects) and the Annexes (taxonomy, availability calculation) to IEC 62439-1, which serves now as a base for the other documents,
- moving Clause 5 (MRP) to IEC 62439-2 with minor editorial changes,

- moving Clause 6 (PRP) was to IEC 62439-3 with minor editorial changes,
- moving Clause 7 (CRP) was to IEC 62439-4 with minor editorial changes, and
- moving Clause 8 (BRP) was to IEC 62439-5 with minor editorial changes,
- adding a method to calculate the maximum recovery time of RSTP in a restricted configuration (ring) to IEC 62439-1 as Clause 8,
- adding specifications of the HSR (High-availability Seamless Redundancy) protocol, which shares the principles of PRP to IEC 62439-3 as Clause 5, and
- introducing the DRP protocol as IEC 62439-6.

This bilingual version (2012-04) corresponds to the English version, published in 2010-02.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
65C/583/FDIS	65C/589/RVD

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

The French version of this standard has not been voted upon.

This International Standard is to be read in conjunction with IEC 62439-1:2010, *Industrial communication networks – High availability automation networks – Part 1: General concepts and calculation methods*.

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

This publication has been drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this amendment and the base publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication 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

The IEC 62439 series specifies relevant principles for high availability networks that meet the requirements for industrial automation networks.

In the fault-free state of the network, the protocols of the IEC 62439 series provide ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3) compatible, reliable data communication, and preserve determinism of real-time data communication. In cases of fault, removal, and insertion of a component, they provide deterministic recovery times.

These protocols retain fully the typical Ethernet communication capabilities as used in the office world, so that the software involved remains applicable.

The market is in need of several network solutions, each with different performance characteristics and functional capabilities, matching diverse application requirements. These solutions support different redundancy topologies and mechanisms which are introduced in IEC 62439-1 and specified in the other Parts of the IEC 62439 series. IEC 62439-1 also distinguishes between the different solutions, giving guidance to the user.

The IEC 62439 series follows the general structure and terms of IEC 61158 series.

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this document may involve the use of a patent concerning fault-tolerant Ethernet provided through the use of special interfaces providing duplicate ports that may be alternatively enabled with the same network address. Switching between the ports corrects for single faults in a two-way redundant system. This is given in Clauses 5 and 6.

IEC takes no position concerning the evidence, validity and scope of this patent right.

The holder of this patent right has assured the IEC that he/she is willing to negotiate licences either free of charge or 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:

Rockwell Automation Technologies
1 Allen-Bradley Drive
Mayfield Heights
Ohio
USA

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

ISO (www.iso.org/patents) and IEC (http://www.iec.ch/tctools/patent_decl.htm) maintain on-line data bases of patents relevant to their standards. Users are encouraged to consult the data bases for the most up to date information concerning patents.

INDUSTRIAL COMMUNICATION NETWORKS – HIGH AVAILABILITY AUTOMATION NETWORKS –

Part 5: Beacon Redundancy Protocol (BRP)

1 Scope

The IEC 62439 series is applicable to high-availability automation networks based on the ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3) (Ethernet) technology.

This part of the IEC 62439 series specifies a redundancy protocol that is based on the duplication of the network, the redundancy protocol being executed within the end nodes, as opposed to a redundancy protocol built in the switches. Fast error detection is provided by two beacon nodes, the switchover decision is taken in every node individually. The cross-network connection capability enables single attached end nodes to be connected on either of the two networks.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application 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 60050-191, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 191: Dependability and quality of service*

IEC 62439-1:2010, *Industrial communication networks – High availability automation networks – Part 1: General concepts and calculation methods*

ISO/IEC/TR 8802-1, *Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 1: Overview of Local Area Network Standards (IEEE 802.1)*

ISO/IEC 8802-3:2000, *Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications*

IEEE 802.1D, *IEEE standards for local and metropolitan area networks: Media Access Control (MAC) Bridges*

IEEE 802.1Q, *IEEE standards for local and metropolitan area networks: Virtual bridged local area networks*

3 Terms, definitions, abbreviations, acronyms, and conventions

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-191, as well as in IEC 62439-1, apply.

3.2 Abbreviations and acronyms

For the purposes of this document, the abbreviations and acronyms given in IEC 62439-1, apply, in addition to the following:

BRP	Beacon Redundancy Protocol
DANB	double attached node implementing BRP

3.3 Conventions

This part of the IEC 62439 series follows the conventions defined in IEC 62439-1.

4 BRP overview

This clause specifies a protocol for an Ethernet network tolerant to all single point failures. This protocol is called Beacon Redundancy Protocol or BRP. A network based on the BRP is called a BRP network. The BRP network is based on switched ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3) (Ethernet) and ISO/IEC/TR 8802-1 (IEEE 802.1) technologies and redundant infrastructure. In this network, the decision to switch between infrastructures is made individually in each end node.

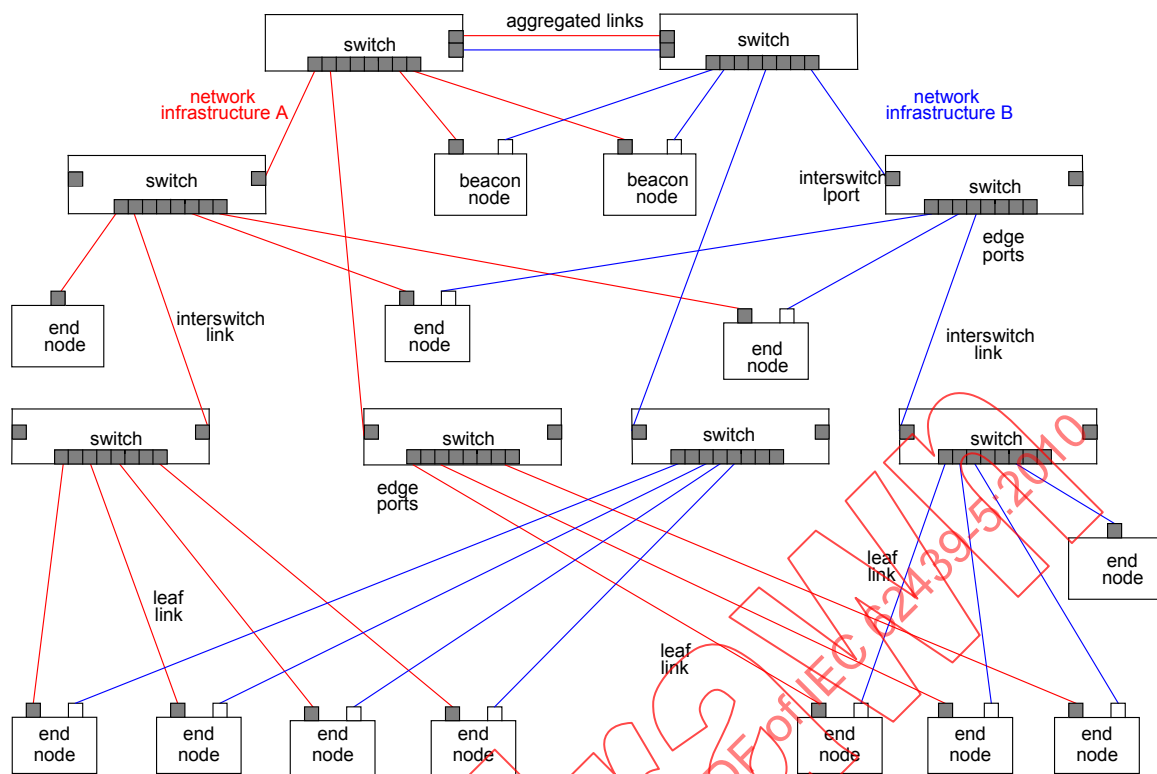
5 BRP principle of operation

5.1 General

Subclauses 5.2 to 5.4 are an explanation of overall actions performed by the BRP state machine. If a difference in the interpretation occurs between these subclauses and the state machines in Clause 7, then the state machines take precedence.

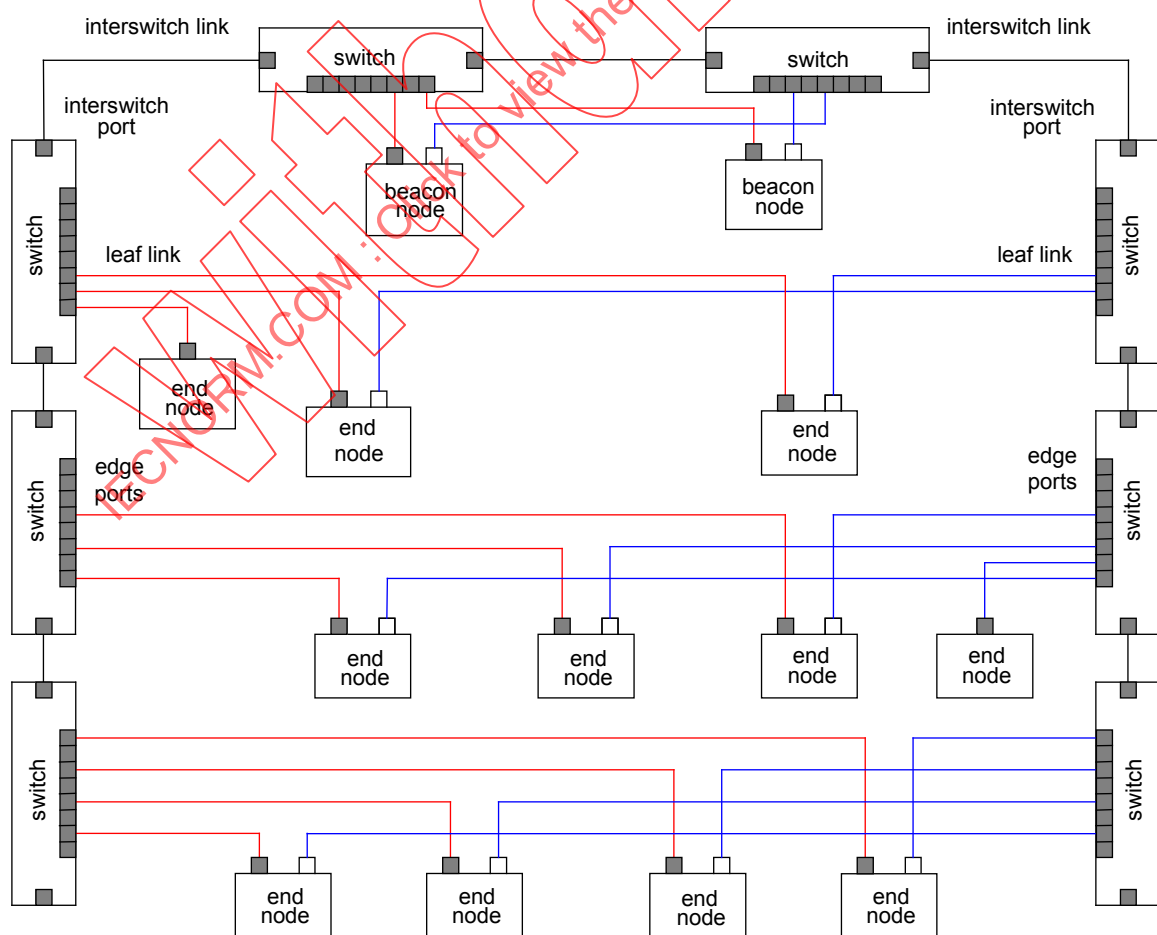
5.2 Network topology

The BRP network topology can be described as two interconnected top switches, each heading an underlying topology of star, line, or ring. Beacon end nodes shall be connected to the top switches. Examples of star, linear and ring BRP networks are shown in Figure 1, Figure 2 and Figure 3 respectively.



IEC 385/10

Figure 1 – BRP star network example



IEC 386/10

Figure 2 – BRP linear network example

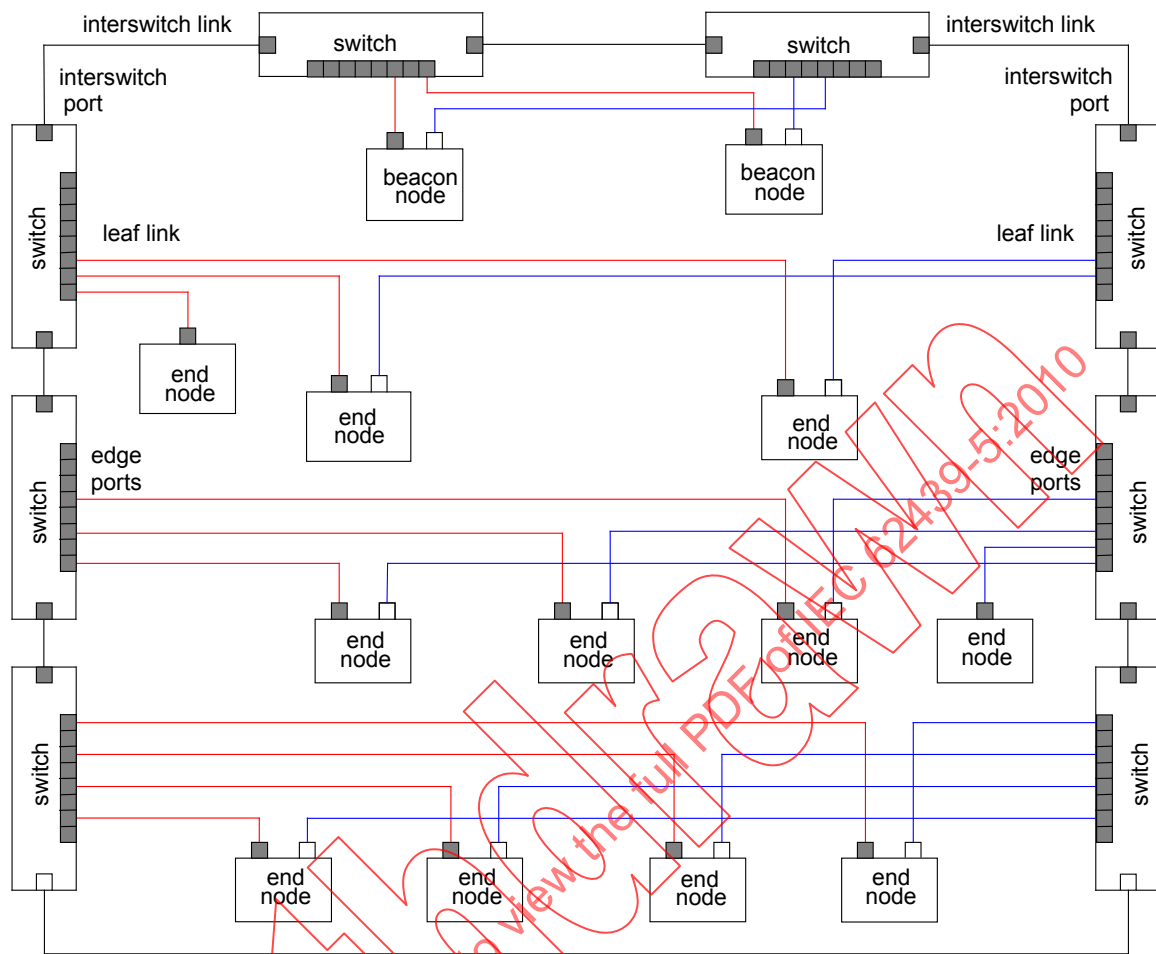


Figure 3 – BRP ring network example

IEC 387/10

5.3 Network components

The BRP network is built from layer 2 switches compliant with IEEE 802.1D and ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3). No support of the BRP protocol in switches is required.

Figure 1 shows an example of a BRP star network in the 2-way redundancy mode. It uses two sets of network infrastructure A and B (shown in two different colours). The number of levels of switches and number of switches on each level are dependent only on application requirements. Even with three levels of hierarchy it is possible to construct very large networks. For example, a BRP star network built from switches with eight regular ports and one uplink port can contain 500 nodes maximum. Two switches at the top level shall be connected to each other with one or more links providing sufficient bandwidth. With link aggregation capability, traffic is shared among bundle of links and failure of one link does not bring the network down. With such an arrangement infrastructures A and B form a single network.

Two types of end nodes can be connected to the BRP network: doubly attached and singly attached. A doubly attached end node can function as a BRP end node or a BRP beacon end node. A BRP beacon end node is a special case of a doubly attached end node that is connected directly to the top switches. Though doubly attached BRP end nodes have two network ports they use only one MAC address.

At any given point in time a BRP end node actively communicates through only one of its ports, while blocking all transmit and receive traffic on its other port, with the exception of received beacon messages and Failure_Notify messages. Fault tolerance is achieved in a

distributed fashion by BRP end nodes switching between their ports from inactive to active mode and vice versa.

As shown in Figure 1, Figure 2 and Figure 3, two beacon end nodes shall be connected to top level switches. Beacon end nodes multi/broadcast a short beacon message on the network periodically. Similarly to BRP end nodes, beacon end node at any given point in time actively communicates through only one of its ports, while blocking all traffic on its other port, with the exception of received Failure_Notify messages. Fault tolerance is achieved by beacon end nodes switching between their ports from inactive to active mode and vice versa.

Singly attached end nodes may also be connected to BRP network but they do not support the BRP protocol. A singly attached node can communicate with doubly attached nodes as well as other singly attached nodes on the network.

Since switches are IEEE 802.1D compliant, they support the RSTP protocol. This eliminates loop formation in BRP ring networks like in the one shown in Figure 3.

5.4 Rapid reconfiguration of network traffic

For fast reconfiguration, multicast control features in the switches shall be disabled. The multicast traffic is therefore treated as the broadcast traffic.

Unicast packets are affected by switches learning and filtering features. After end node port reconfiguration, switches have invalid knowledge. A switch implementing learning shall update its database when a packet with a learned MAC address in the source field is received on a different port from the learned port stored in the database.

When a BRP end node switches to the inactive port, its first action is to send a short multicast message, called Learning_Update message, through its newly enabled port. As this message propagates through the network, switches update their MAC address database resulting in rapid reconfiguration of the unicast traffic. This message is of no interest to other end nodes in the network and is dropped by them.

6 BRP stack and fault detection features

Figure 4 shows the BRP stack architecture. It is applicable to both BRP and beacon end nodes.

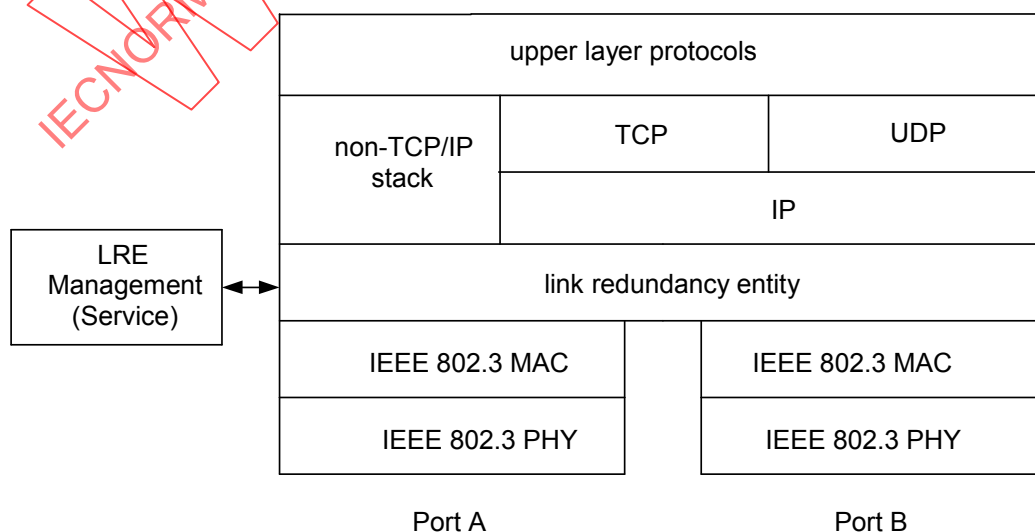


Figure 4 – BRP stack architecture

The BRP stack contains two identical ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3) ports, identified here as ports A and B, connected to the network. These ports interface with the MAC sub-layer compliant with ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3). Though there are two physical ports, a BRP end node uses only a single MAC address.

The link redundancy entity continuously monitors the status of leaf links between both ports and corresponding ports on the switches. When a failure of the leaf link between the end node active port and the corresponding port on the switch is detected, the link redundancy entity shall reconfigure end node ports, provided the inactive port was not in the fault mode as well. After reconfiguration, all traffic flows through the newly activated port. Some messages may be lost during the failure detection and reconfiguration process, and their recovery is supported by upper layer protocols which also deal with messages lost due to other network errors.

The link redundancy entity also monitors arrival of beacon messages on both ports. When a beacon message fails to arrive at the active port for a configured timeout period, the port is declared to be in the fault mode, and the link redundancy entity shall reconfigure end node ports, provided the other port was not in the fault mode as well. After reconfiguration all traffic starts flowing through newly activated port. Failure of beacon messages to arrive at inactive ports shall also be detected.

If one of the top switches fails, then all BRP nodes connected directly to it, or to network infrastructure below it, switch to the other network infrastructure. If, for example, the top switch of the LAN A fails, then all BRP nodes connected to LAN A switch over to LAN B.

If the fault occurred on a beacon end node, the network continues to operate without any problems, since the other beacon end node is active. The rate of beacon message arrival decreases from approximately two messages per beacon timer interval to one.

It is possible for transmit path failures to occur in the opposite direction to the flow of beacon messages. If such a fault manifests itself in the physical layer, it is detected by end nodes or switches adjacent to the faulty link. This results in a BRP end node reconfiguring its ports immediately or results in traffic being blocked on the affected link. The latter event leads to loss of beacon messages at the downstream end nodes, so they reconfigure themselves at expiry of the beacon timeout.

In a case when such failures are not detectable in the physical layer, the following mechanism is employed by the BRP link redundancy entity to detect them. The fault detection method for identifying all transmission failures shall be implemented using lists of communication nodes including a receive timeout value for each transmitting end node of interest to the node. This list may be communicated to the link redundancy entity manually or dynamically configured utilizing LRE management entity.

When a frame from a transmitting end node of interest fails to arrive before expiry of the associated Node_Receive timer, the receiving end node shall send a Failure_Notify message to the transmitting end node and send a Path_Check_Request message to beacon end nodes. Upon reception of a Failure_Notify message, the transmitting end node shall attempt to verify the transmit path by sending the Path_Check_Request message to beacon end nodes. When beacon end nodes receive these messages, they shall respond with Path_Check_Response messages. When Path_Check_Request fails to elicit response, an end node shall place its active port in faulted state and activate its inactive port, provided it is not in fault mode as well.

BRP beacon end nodes also behave in a similar way. When a frame from a transmitting end node of interest fails to arrive before expiry of the associated Node_Receive timer, the receiving beacon end node shall send a Failure_Notify message to the transmitting end node and send a Path_Check_Request message to a designated set of end nodes. When beacon end nodes receive Failure_Notify messages themselves, they shall verify their transmit path by sending a Path_Check_Request message to a designated set of end nodes. Upon receiving Path_Check_Request message, the designated end nodes shall respond with

Path_Check_Response message. When Path_Check_Request fails to elicit response, a beacon end node shall place its active port in faulted state and activate its inactive port, provided it is not in fault mode as well.

When the faulted port is restored, it shall stay idle until a switchover is initiated or the currently active port fails. When both ports are operational, the BRP end node shall periodically switch its message activity from one port to the other. This switchover is controlled by the Active_Port_Swap timer.

The LRE management entity is used to select an end node type (normal or beacon), configure protocol parameters (for example, beacon timer) and obtain the end node port status (active, failed, idle).

All detected failures shall be reported to the LRE management entity to trigger further diagnosis and repair. Fault diagnostics services shall be provided by LRE management entity or other accessible entities in the network.

7 BRP protocol specification

7.1 MAC addresses

BRP protocol shall use multicast address 01-15-4E-00-02-01. Both ports of a BRP node shall have the same MAC address for active communication.

7.2 EtherType

The BRP protocol shall use assigned EtherType 0x80E1.

7.3 Fault detection mechanisms

The following fault detection mechanisms are used:

- Link fault detection
This mechanism covers physical layer failures in transmit and receive directions on a link directly connected to the end node.
- Receive path fault detection
This is accomplished utilizing the beacon message transmission mechanism.
- Transmit path fault detection
This is accomplished utilizing Failure_Notify, Path_Check_Request, and Path_Check_Response messages. The periodic switchover between active and inactive ports ensures coverage of all transmit paths in the network.

7.4 End node state diagram

The BRP end node state diagram is shown in Figure 5.

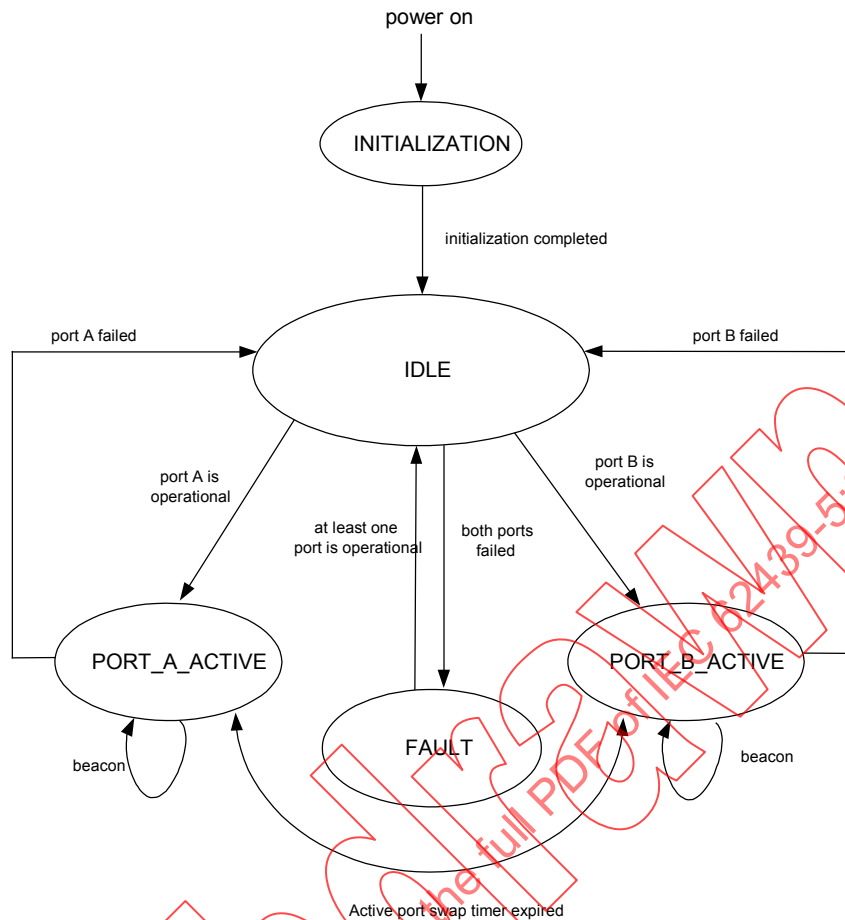


Figure 5 – BRP state diagram of end node

The BRP end node protocol state machine shall perform in accordance with the state transition table presented in Table 2.

When the node is powered up and passed the initialization process (the Initialization_Completed flag is set), it resets the protocol state machine and transitions to the IDLE state.

Since Port_A_Failed and Port_B_Failed flags were initially set, the node immediately transitions from the IDLE to the FAULT state.

If link A is active and a beacon message is received on this link, then the node transitions from the FAULT state back to the IDLE. A Learning_Update message is generated on this port and the node transitions from the IDLE to the PORT_A_ACTIVE state.

The node tests port B simultaneously with port A using the procedure described above. If both ports are operational, either one can be selected as the default.

Periodic reception of beacon messages (Beacon_A_Received is set) keeps the node in the PORT_A_ACTIVE state and trigger reset of the No_Beacon_A timer.

If, when in the PORT_A_ACTIVE state, link A becomes inactive (Link_A_Active is reset) or no beacon messages were received for a given time period (No_Beacon_A timer expired and Beacon_A_Received is reset), the node sets the Port_A_Failed flag and transitions to the IDLE state where it attempts to switch to port B.

Operation of port B is identical to operation of port A.

If a Node_Receive timer expires, the receiving node sends a Failure_Notify message to the associated transmitting end node and sends Path_Check_Request message on its active port to beacon end nodes. When the transmitting end node receives the Failure_Notify message, it attempts to verify transmission path on its active port by sending a Path_Check_Request message on this port to beacon end nodes. When beacon nodes receive these messages, they issue Path_Check_Response messages addressed to the requesting node.

When Path_Check_Request fails to elicit response (Path_A_Check/Path_B_Check timer expired), the node sets the Path_A_Failed/Path_B_Failed flag and Port_A_Failed/Port_B_Failed flag, and transitions to the IDLE state where it attempts to switch to port B/A.

If both ports failed, then the node transitions from the IDLE to the FAULT state and stays there until one of the ports becomes operational. In FAULT state, a node continuously monitors link status (Link_A_Active/Link_B_Active flags) and beacon arrival status (Beacon_A_Received/Beacon_B_Received flags). If Path_A_Failed and/or Path_B_Failed flags were set, the node also sends Path_Check_Request and monitors arrival of Path_Check_Response message for corresponding ports. When one of the ports becomes operational (Port_A_Failed/Port_B_Failed is reset), the node transitions back to the IDLE state and then to PORT_A_ACTIVE/PORT_B_ACTIVE as appropriate.

When a node receives a Path_Check_Request message in PORT_A_ACTIVE or PORT_B_ACTIVE states, it responds with the Path_Check_Response message and stays in current state.

When in PORT_A_ACTIVE/PORT_B_ACTIVE state and the Active_Port_Swap timer expires, the node transitions to PORT_B_ACTIVE/PORT_A_ACTIVE state provided PORT_B_FAILED/PORT_A_FAILED is not set.

The No_Beacon timer period is a configuration parameter selected for a specific system. The mandatory default value of the beacon period is 450 μ s, resulting in the default value of the No_Beacon period of 950 μ s. The timeout period is chosen in such a way that at least two beacon messages from each beacon end node have to be lost before fault is declared on a port.

A BRP compliant end node shall be able to receive beacon messages over both of its ports sent from both beacon end nodes at the mandatory default value of the beacon period.

The Path_A_Check and Path_B_Check timer periods are configuration parameters selected for a specific system. The mandatory default value is 2 ms.

The Active_Port_Swap timer period is a configuration parameter selected for a specific system. The mandatory default value is 1 h.

Table 1 specifies the flags used in the BRP end node state machine.

Table 1 – BRP end node flags

Name	Description	Data Type
Initialization_Completed	Used to indicate initialization completed successfully	BOOL
Link_A_Active	Used to indicate physical layer link status of port A	BOOL
Beacon_A_Received	Used to indicate beacon message was received on port A	BOOL
Path_A_Failed	Used to indicate if Path_Check_Response message was received for Path_Check_Request message on port A	BOOL
Link_B_Active	Used to indicate physical layer link status of port B	BOOL
Beacon_B_Received	Used to indicate beacon message was received on port B	BOOL
Path_B_Failed	Used to indicate if Path_Check_Response message was received for Path_Check_Request message on port B	BOOL
Path_A_Request	Used to indicate if Path_Check_Request message was sent on port A	BOOL
Path_B_Request	Used to indicate if Path_Check_Request message was sent on port B	BOOL
Port_A_Failed	Used to indicate if port A has failed	BOOL
Port_B_Failed	Used to indicate if port B has failed	BOOL
NOTE In this table, BOOL means Boolean.		

Table 2 specifies the BRP end node state transition table.

Table 2 – BRP end node state transition table

State number	Current state	Event /Condition =>Action	Next state
1	INITIALIZATION	Initialization is completed => Set Initialization_Completed Reset Link_A_Active Reset Beacon_A_Received Stop No_Beacon_A timer Reset Path_A_Failed Stop Path_A_Check timer, reset Path_A_Request Reset Link_B_Active Reset Beacon_B_Received Stop No_Beacon_B timer Reset Path_B_Failed Stop Path_B_Check timer Reset Path_B_Request Set Port_A_Failed Set Port_B_Failed Stop Node_Receive timers Stop Active_Port_Swap timer	IDLE
2	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Port A link pass status => Set Link_A_Active	STAY IN CURRENT STATE
3	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Port A link fail status => Reset Link_A_Active	STAY IN CURRENT STATE
4	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Port B link pass status => Set Link_B_Active	STAY IN CURRENT STATE
5	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Port B link fail status => Reset Link_B_Active	STAY IN CURRENT STATE
6	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Beacon message received on port A => Set Beacon_A_Received Start No_Beacon_A timer	STAY IN CURRENT STATE
7	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	No_Beacon_A timer expired => Reset Beacon_A_Received	STAY IN CURRENT STATE
8	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Beacon message received on port B => Set Beacon_B_Received Start No_Beacon_B timer	STAY IN CURRENT STATE
9	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE,	No_Beacon_B timer expired =>	STAY IN CURRENT STATE

State number	Current state	Event /Condition =>Action	Next state
	PORT_B_ACTIVE	Reset Beacon_B_Received	
10	PORT_A_ACTIVE	Failure_Notify message is received => Send Path_Check_Request message on Port A Set Path_A_Request Start Path_A_Check timer	PORT_A_ACTIVE
11	PORT_B_ACTIVE	Failure_Notify message is received => Send Path_Check_Request message on port B Set Path_B_Request Start Path_B_Check timer	PORT_B_ACTIVE
12	PORT_A_ACTIVE, FAULT	Path_A_Check timer expired => Set Path_A_Failed Reset Path_A_Request	STAY IN CURRENT STATE
13	PORT_B_ACTIVE, FAULT	Path_B_Check timer expired => Set Path_B_Failed Reset Path_A_Request	STAY IN CURRENT STATE
14	PORT_A_ACTIVE, FAULT	Path_Check_Response message is received on port A => Stop Path_A_Check timer Reset Path_A_Failed Reset Path_A_Request	STAY IN CURRENT STATE
15	PORT_B_ACTIVE, FAULT	Path_Check_Response message is received on port B => Stop Path_B_Check timer Reset Path_B_Failed Reset Path_B_Request	STAY IN CURRENT STATE
16	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Link_A_Active is set AND Beacon_A_Received is set AND Path_A_Failed is reset => Reset Port_A_Failed	STAY IN CURRENT STATE
17	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Link_A_Active is reset OR Beacon_A_Received is reset OR Path_A_Failed is set => Set Port_A_Failed	STAY IN CURRENT STATE
18	IDLE	Port_A_Failed is reset => Send Learning_Update message on port A Start Node_Receive timers	PORT_A_ACTIVE

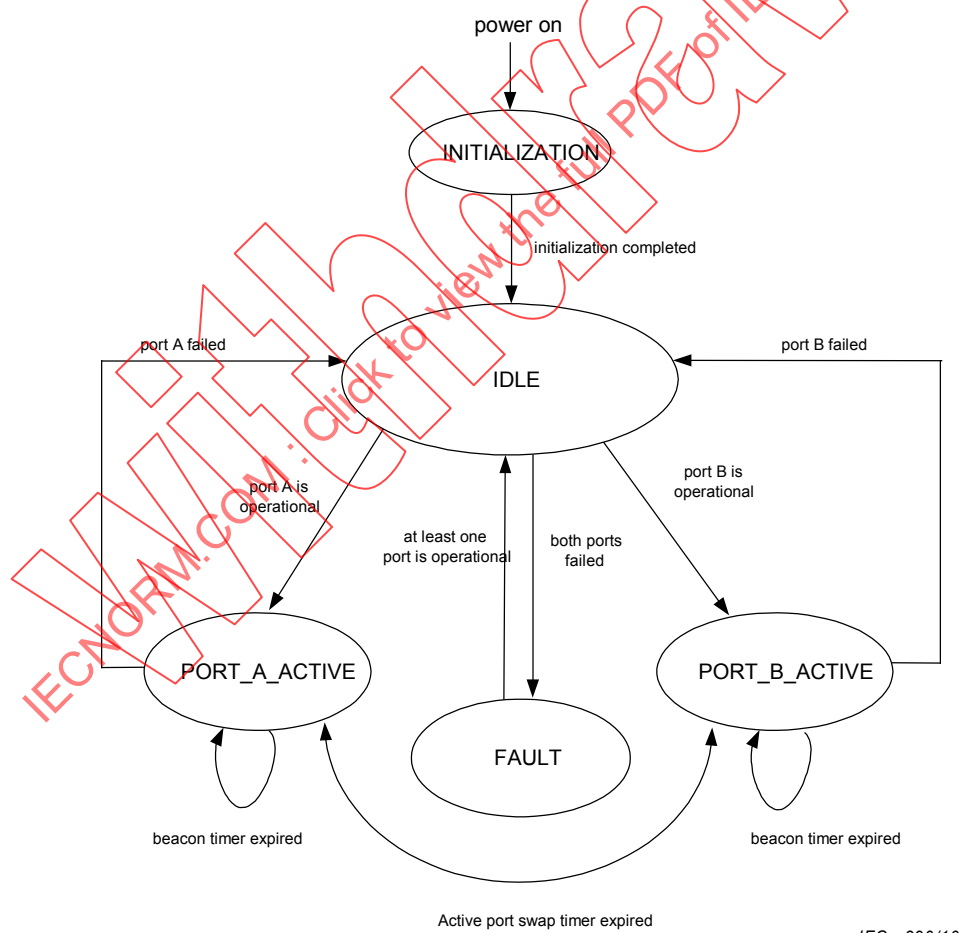
State number	Current state	Event /Condition =>Action	Next state
		Start Active_Port_Swap timer	
19	PORT_A_ACTIVE	Port_A_Failed is set => Stop Path_A_Check timer Reset Path_A_Request Stop Node_Receive timers Stop Active_Port_Swap timer	IDLE
20	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Link_B_Active is set AND Beacon_B_Received is set AND Path_B_Failed is reset => Reset Port_B_Failed	STAY IN CURRENT STATE
21	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Link_B_Active is reset OR Beacon_B_Received is reset OR Path_B_Failed is set => Set Port_B_Failed	STAY IN CURRENT STATE
22	IDLE	Port_B_Failed is reset => Send Learning_Update message on port B Start Node_Receive timers Start Active_Port_Swap timer	PORT_B_ACTIVE
23	PORT_B_ACTIVE	Port_B_Failed is set => Stop Path_B_Check timer Reset Path_B_Request Stop Node_Receive timers Stop Active_Port_Swap timer	IDLE
24	IDLE	Port_A_Failed is set AND Port_B_Failed is set	FAULT
25	FAULT	Link_A_Active is set AND Beacon_A_Received is set AND Path_A_Failed is set AND Path_A_Request is reset => Set Path_A_Request Send Path_Check_Request message on port A Start Path_A_Check timer	FAULT
26	FAULT	Link_B_Active is set AND Beacon_B_Received is set AND Path_B_Failed is set AND Path_B_Request is reset	FAULT

State number	Current state	Event /Condition =>Action	Next state
		=> Set Path_B_Request Send Path_Check_Request message on port B Start Path_B_Check timer	
27	FAULT	Port_A_Failed is reset OR Port_B_Failed is reset	IDLE
28	PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Path_Check_Request message received on active port => Send Path_Check_Response message on active port	STAY IN CURRENT STATE
29	PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Frame received from transmit node of interest on active port => Restart associated Node_Receive timer	STAY IN CURRENT STATE
30	PORT_A_ACTIVE	Node_Receive timer expired => Send Failure_Notify message on port A to associated transmit node Send Path_Check_Request message on port A Set Path_A_Request Start Path_A_Check timer	PORT_A_ACTIVE
31	PORT_B_ACTIVE	Node_Receive timer expired => Send Failure_Notify message on port B to associated transmit node Send Path_Check_Request message on port B Set Path_B_Request Start Path_B_Check timer	PORT_B_ACTIVE
32	PORT_A_ACTIVE	Active_Port_Swap timer expired AND Port_B_Failed is reset => Stop Path_A_Check timer Reset Path_A_Request Send Learning_Update message on port B Start Active_Port_Swap timer	PORT_B_ACTIVE
33	PORT_A_ACTIVE	Active_Port_Swap timer expired AND Port_B_Failed is set => Start Active_Port_Swap timer	PORT_A_ACTIVE
34	PORT_B_ACTIVE	Active_Port_Swap timer expired AND Port_A_Failed is reset => Stop Path_B_Check timer	PORT_A_ACTIVE

State number	Current state	Event /Condition =>Action	Next state
		Reset Path_B_Request Send Learning_Update message on port A Start Active_Port_Swap timer	
35	PORT_B_ACTIVE	Active_Port_Swap timer expired AND Port_A_Failed is set => Start Active_Port_Swap timer	PORT_B_ACTIVE

7.5 Beacon end node state diagram

If the end node is configured as a beacon, it periodically generates beacon messages. The Beacon end node state diagram is shown in Figure 6.



IEC 390/10

Figure 6 – BRP state diagram for beacon end node

When the beacon end node is powered up and passed the initialization process (the Initialization_Completed flag is set), it resets the protocol state machine and transitions to the IDLE state.

Since Port_A_Failed and Port_B_Failed flags were initially set, the node immediately transitions from the IDLE to the FAULT state.

If link A is active, then the node transitions from the FAULT state back to the IDLE. The node then generates a beacon message on port A, starts the beacon timer and transitions to the PORT_A_ACTIVE state.

The node tests port B simultaneously with port A executing procedure identical to the one described above. If both ports are operational, either one can be selected by default.

When the beacon timer expires, the node transmits the beacon message, restarts the beacon timer and continues staying in the PORT_A_ACTIVE state.

If, when in the PORT_A_ACTIVE state, link A becomes inactive (Link_A_Active is reset), the node sets the Port_A_Failed flag, stops the beacon timer and transitions to the IDLE state where it attempts to switch to port B.

Operation of port B is identical to operation of port A.

If a Node_Receive_Timer expires, the receiving beacon end node sends a Failure_Notify message to the associated transmitting end node and sends Path_Check_Request message on its active port to designated set of end nodes. When the transmitting end node receives the Failure_Notify message, it attempts to verify transmission path as described in 7.4.

When a beacon end node receives Failure_Notify message, it attempts to verify transmission path on its active port by sending Path_Check_Request message on this port to designated set of nodes. When the designated set of nodes receives this message, they respond with Path_Check_Response message.

When Path_Check_Request fails to elicit response (Path_A_Check/Path_B_Check timer expired), the node sets the Path_A_Failed/Path_B_Failed flag and Port_A_Failed/Port_B_Failed flag, and transitions to the IDLE state where it attempts to switch to port B/A.

If both ports failed, then the node transitions from the IDLE to the FAULT state and stays there until one of the ports becomes operational. In FAULT state, a node continuously monitors link status (Link_A_Active/Link_B_Active flags). If Path_A_Failed and/or Path_B_Failed flags were set, the node also sends Path_Check_Request and monitors arrival of Path_Check_Response message for corresponding ports. When one of the ports becomes operational (Port_A_Failed/Port_B_Failed is reset) the node transitions back to the IDLE state and then to PORT_A_ACTIVE/PORT_B_ACTIVE as appropriate.

When a node receives a Path_Check_Request message in PORT_A_ACTIVE or PORT_B_ACTIVE states, it responds with the Path_Check_Response message and stays in current state.

When in PORT_A_ACTIVE/PORT_B_ACTIVE state and the Active_Port_Swap timer expires, the node transitions to PORT_B_ACTIVE/PORT_A_ACTIVE state provided PORT_B_FAILED/PORT_A_FAILED is not set.

The No_Beacon timer period is a configuration parameter selected for a specific system. The mandatory default value of the beacon period is 450 μ s resulting in the default value of the No_Beacon period of 950 μ s. The timeout period is chosen in such a way that at least two beacon messages from each beacon end node have to be lost before fault is declared on a port.

A BRP compliant beacon end node shall be able to broadcast the beacon message every 450 ms via its active port.

The Path_A_Check and Path_B_Check timer periods are configuration parameters selected for a specific system. The mandatory default value is 2 ms.

The Active_Port_Swap timer period is a configuration parameter selected for a specific system. The mandatory default value is 1 h.

Table 3 specifies the flags used in the BRP beacon end node state machine.

Table 3 – BRP beacon end node flags

Name	Description	Data Type
Initialization_Completed	Used to indicate initialization completed successfully	BOOLEAN
Link_A_Active	Used to indicate physical layer link status of port A	BOOLEAN
Path_A_Failed	Used to indicate if Path_Check_Response message was received for Path_Check_Request message on port A	BOOLEAN
Link_B_Active	Used to indicate physical layer link status of port B	BOOLEAN
Path_B_Failed	Used to indicate if Path_Check_Response message was received for Path_Check_Request message on port B	BOOLEAN
Path_A_Request	Used to indicate if Path_Check_Request message was sent on port A	BOOLEAN
Path_B_Request	Used to indicate if Path_Check_Request message was sent on port B	BOOLEAN
Port_A_Failed	Used to indicate if port A has failed	BOOLEAN
Port_B_Failed	Used to indicate if port B has failed	BOOLEAN

Table 4 specifies the BRP beacon end node state transition table.

Table 4 – BRP beacon end node state transition table

State number	Current state	Event /Condition =>Action	Next state
1	INITIALIZATION	Initialization is completed => Set Initialization_Completed Reset Link_A_Active Reset Path_A_Failed Stop Path_A_Check timer Reset Path_A_Request Reset Link_B_Active Reset Path_B_Failed Stop Path_B_Check timer Reset Path_B_Request Set Port_A_Failed Set Port_B_Failed Stop Node_Receive timers Stop Active_Port_Swap timer	IDLE
2	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Port A link pass status => Set Link_A_Active	STAY IN CURRENT STATE
3	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Port A link fail status => Reset Link_A_Active	STAY IN CURRENT STATE
4	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Port B link pass status => Set Link_B_Active	STAY IN CURRENT STATE
5	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Port B link fail status => Reset Link_B_Active	STAY IN CURRENT STATE
6	PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Frame received from transmit node of interest on active port => Restart associated Node_Receive timer	STAY IN CURRENT STATE
7	PORT_A_ACTIVE	Node_Receive timer expired => Send Failure_Notify message on port A to associated transmit node Send Path_Check_Request message on port A Set Path_A_Request Start Path_A_Check timer	PORT_A_ACTIVE
8	PORT_B_ACTIVE	Node_Receive timer expired => Send Failure_Notify message on port B to associated transmit node Send Path_Check_Request message on port B Set Path_B_Request Start Path_B_Check timer	PORT_B_ACTIVE

State number	Current state	Event /Condition =>Action	Next state
9	PORT_A_ACTIVE	Failure_Notify message is received => Send Path_Check_Request message on port A Set Path_A_Request Start Path_A_Check timer	PORT_A_ACTIVE
10	PORT_B_ACTIVE	Failure_Notify message is received => Send Path_Check_Request message on port B Set Path_B_Request Start Path_B_Check timer	PORT_B_ACTIVE
11	PORT_A_ACTIVE, FAULT	Path_A_Check timer expired => Set Path_A_Failed Reset Path_A_Request	STAY IN CURRENT STATE
12	PORT_B_ACTIVE, FAULT	Path_B_Check timer expired => Set Path_B_Failed Reset Path_A_Request	STAY IN CURRENT STATE
13	PORT_A_ACTIVE, FAULT	Path_Check_Response message is received on port A => Stop Path_A_Check timer Reset Path_A_Failed Reset Path_A_Request	STAY IN CURRENT STATE
14	PORT_B_ACTIVE, FAULT	Path_Check_Response message is received on port B => Stop Path_B_Check timer Reset Path_B_Failed Reset Path_B_Request	STAY IN CURRENT STATE
15	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Link_A_Active is set AND Path_A_Failed is reset => Reset Port_A_Failed	STAY IN CURRENT STATE
16	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Link_A_Active is reset OR Path_A_Failed is set => Set Port_A_Failed	STAY IN CURRENT STATE
17	IDLE	Port_A_Failed is reset => Send Beacon message on port A Start Beacon timer Start Node_Receive timers Start Active_Port_Swap timer	PORT_A_ACTIVE

State number	Current state	Event /Condition =>Action	Next state
18	PORT_A_ACTIVE	Port_A_Failed is set => Stop beacon timer Stop Path_A_Check timer Reset Path_A_Request Stop Node_Receive timers Stop Active_Port_Swap timer	IDLE
19	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Link_B_Active is set AND Path_B_Failed is reset => Reset Port_B_Failed	STAY IN CURRENT STATE
20	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Link_B_Active is reset OR Path_B_Failed is set => Set Port_B_Failed	STAY IN CURRENT STATE
21	IDLE	Port_B_Failed is reset => Send Beacon message on port B Start Beacon timer Start Node_Receive timers Start Active_Port_Swap timer	PORT_B_ACTIVE
22	PORT_B_ACTIVE	Port_B_Failed is set => Stop beacon timer Stop Path_B_Check timer Reset Path_B_Request Stop Node_Receive timers Stop Active_Port_Swap timer	IDLE
23	IDLE	Port_A_Failed is set AND Port_B_Failed is set	FAULT
24	FAULT	Link_A_Active is set AND Path_A_Failed is set AND Path_A_Request is reset => Set Path_A_Request Send Path_Check_Request message on port A Start Path_A_Check timer	FAULT
25	FAULT	Link_B_Active is set AND Path_B_Failed is set AND Path_B_Request is reset => Set Path_B_Request Send Path_Check_Request message on port B	FAULT

State number	Current state	Event /Condition =>Action	Next state
		Start Path_B_Check timer	
26	FAULT	Port_A_Failed is reset OR Port_B_Failed is reset	IDLE
27	PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Path_Check_Request message received on active port => Send Path_Check_Response message on active port	STAY IN CURRENT STATE
28	PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Beacon timer expired => Transmit beacon message on active port Start beacon timer	STAY IN CURRENT STATE
29	PORT_A_ACTIVE	Active_Port_Swap timer expired AND Port_B_Failed is reset => Stop Path_A_Check timer Reset Path_A_Request Start Active_Port_Swap timer	PORT_B_ACTIVE
30	PORT_A_ACTIVE	Active_Port_Swap timer expired AND Port_B_Failed is set => Start Active_Port_Swap timer	PORT_A_ACTIVE
31	PORT_B_ACTIVE	Active_Port_Swap timer expired AND Port_A_Failed is reset => Stop Path_B_Check timer Reset Path_B_Request Start Active_Port_Swap timer	PORT_A_ACTIVE
32	PORT_B_ACTIVE	Active_Port_Swap timer expired AND Port_A_Failed is set => Start Active_Port_Swap timer	PORT_B_ACTIVE

8 BRP message structure

8.1 General

The BRP messages contain header, payload and the ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3) FCS.

In Table 5 to Table 10:

- destination_MAC_Address is the multicast address defined in 7.1 for beacon and Learning_Update messages, while Failure_Notify, Path_Check_Request and Path_Check_Response messages use unicast addresses of receivers;
- IEEE 802.1Q tag priority = 7 (highest priority);
- all multi-byte fields shall be encoded in big endian (except the Ethernet addresses).

8.2 ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3) tagged frame header

Table 5 specifies the format for the common header with ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3) tagged frame.

NOTE The tag frame priority should be preserved when the BRP message is transferred through the LAN.

Table 5 – BRP common header with ISO/IEC 8802-3 (IEEE 802.3) tagged frame format

Octet position	Field	Type	Remarks
0	Destination_MAC_Address	UINT8[6]	
6	Source_MAC_Address	UINT8[6]	
12	802.1Q tag type	UINT16	= 0x8100
14	802.1Q tag control	UINT16	= 0xE000 + optional VLAN_ID
16	BRP EtherType	UINT16	= 0x80E1
18	BRP sub-type	UINT8	= 0x01
19	BRP version	UINT8	= 0x01

8.3 Beacon message

Table 6 specifies the format for the beacon message.

Table 6 – BRP beacon message format

Octet position	Field	Type	Remarks
20	Message type	UINT8	= 0x80
21	Source IP address	UINT32	= 0x0, if source has no IP address
25	Sequence Id	UINT32	
29	Beacon timeout	UINT32	In μ s
33	Reserved	UINT8[31]	
64	CRC	UINT32	

8.4 Learning_Update message

Table 7 specifies the format for the Learning_Update message.

Table 7 – BRP Learning_Update message format

Octet position	Field	Type	Remarks
20	Message type	UINT8	= 0x40
21	Source IP address	UINT32	= 0x0, if source has no IP address
25	Sequence Id	UINT32	
29	Reserved	UINT8[35]	
64	CRC	UINT32	

8.5 Failure_Notify message

Table 8 specifies the format for the Failure_Notify message.

Table 8 – BRP Failure_Notify message format

Octet position	Field	Type	Remarks
20	Message type	UINT8	= 0x20
21	Source IP address	UINT32	= 0x0, if source has no IP address
25	Sequence Id	UINT32	
29	Reserved	UINT8[35]	
64	CRC	UINT32	

8.6 Path_Check_Request message

Table 9 specifies the format for the Path_Check_Request message.

Table 9 – BRP Path_Check_Request message format

Octet position	Field	Type	Remarks
20	Message type	UINT8	= 0x10
21	Source IP address	UINT32	= 0x0, if source has no IP address
25	Sequence Id	UINT32	
29	Source port	UINT8	= 0x1 or 0x2
30	Reserved	UINT8[34]	
64	CRC	UINT32	

8.7 Path_Check_Response message

Table 10 specifies the format for the Path_Check_Response message.

Table 10 – BRP Path_Check_Response message format

Byte	Field	Type	Remarks
20	Message type	UINT8	= 0x08
21	Source IP address	UINT32	= 0x0, if source has no IP address
25	Sequence Id	UINT32	= Sequence Id of Path_Check_Request message
29	Source port	UINT8	= Source Port of Path_Check_Request message
30	Reserved	UINT8[34]	
64	CRC	UINT32	

9 BRP fault recovery time

The following types of faults may occur in an BRP based network.

- Leaf link faults. These faults are detectable in the end node physical layer. The fault recovery time shall be less than 10 μ s.
- Faults occurred in the direction of flow of beacon messages plus those occurred in the opposite direction to the flow of beacon messages but are detectable in the node/switch

physical layer. The fault recovery time in this case is two beacon timeouts which is less than 1 ms.

- Faults occurred in the opposite direction to the flow of beacon messages but are not detectable in the node/switch physical layer. Since the fault recovery time in this case is longer than in the two cases described above, it is considered the worst case.

NOTE Faults in the inactive paths transmitting towards the beacon have no effect on operational performance until the next network switchover. At switchover, they are detected using the above methods with the given worst case recovery time.

The worst case fault recovery time is:

$$t_{fr} = t_{nr} + t_{id} + t_{pcr},$$

where:

t_{fr} is the fault recovery time;
 t_{nr} is the Node_Receive timer time out;
 t_{id} is the infrastructure propagation delay of the Failure_Notify message;
 t_{pcr} is the path check request timer time out.

EXAMPLE

Consider a network of 500 nodes with 3 layers of 8-port switches, similar to the one shown in Figure 1.

Assuming that all links have a data rate of 100 Mbit/s and a data frame size of 1 522 octets, the data frame transmit time plus inter-frame gap time is about 124 µs.

The Failure_Notify message size is 68 octets, its transmit time plus inter-frame gap time is about 8 µs.

Assuming the worst case message queuing in the switch, the Failure_Notify message delay in each switch is:

$$124 \mu s + 8 \mu s = 132 \mu s.$$

The total delay of the Failure_Notify message travelling through the longest path of the network infrastructure is:

$$t_{id} = 8 \mu s + (132 \times 6) \mu s + 8 \mu s = 808 \mu s = 0,81 \text{ ms}.$$

Assuming that Node_Receive timer time out $t_{nr} = 2 \text{ ms}$, and Path_Check_A_Request timer time out $t_{pcr} = 2 \text{ ms}$, and also assuming that Path_Check_B_Request timer is set to the same time as the Path_Check_A_Request timer:

$$t_{fr} = 2 \text{ ms} + 0,81 \text{ ms} + 2 \text{ ms} = 4,81 \text{ ms}.$$

10 BRP service definition

10.1 Supported services

The BRP services provide ability to set end node parameters and read these parameters and node status. The following services are provided:

- Set_Node_Parameters;
- Get_Node_Parameters;
- Add_Node_Receive_Parameters;
- Remove_Node_Receive_Parameters;
- Get_Node_Status.

10.2 Common service parameters

The following service parameters are common to several BRP services.

Node_Name

This parameter contains end node name.

(String32)

Source_MAC_Address

This parameter is the MAC address of the node from which the service request has been sent.

(String16)

Destination_MAC_Address

This parameter is the MAC address of the node to which the service request has been sent.

(String16)

Node_Type

This parameter contains description of the end node type (DANB or Beacon).

(String32)

VLAN_ID

This parameter contains the VLAN identifier.

(String32)

Status

This parameter contains description of the positive response to a service request

(String128)

Error_Info

This parameter contains description of the negative response to a service request

(String128)

10.3 Set_Node_Parameters service

Table 11 shows the parameters of the Set_Node_Parameters service.

Table 11 – BRP Set_Node_Parameters service parameters

Parameter name	Req	Ind	Rsp	Cnf
Argument	M	M(=)		
Node_Name	M	M(=)		
Source_MAC_Address	M	M(=)		
Destination_MAC_Address	M	M(=)		
Node_Type	M	M(=)		
Beacon_Timer_Reload_Value	C	C(=)		
No_Beacon_Timer_Reload_Value	C	C(=)		
Path_A_Check timer reload value	M	M(=)		
Path_B_Check timer reload value	M	M(=)		
Active_Port_Swap timer reload value	M	M(=)		
Number_Of_Designated_Nodes	C	C(=)		
Designated_Node_List	C	C(=)		
VLAN_ID	C	C(=)		
Result (+)			S	S(=)
Node_Name			M	M(=)
Source_MAC_Address			M	M(=)
Destination_MAC_Address			M	M(=)
Status			M	M(=)
Result (-)			S	S(=)
Node_Name			M	M(=)
Source_MAC_Address			M	M(=)
Destination_MAC_Address			M	M(=)
Error_Info			M	M(=)
NOTE For the meaning of Req, Ind, Rsp, Cnf, M, U and S, refer to ISO/IEC 10164-1.				

Argument

The argument conveys the parameters of the service request.

Beacon_Timer_Reload_Value

This parameter contains the value of the beacon timer in microseconds.

(Unsigned 32)

No_Beacon_Timer_Reload_Value

This parameter contains the value of the No_Beacon timer in microseconds.

(Unsigned 32)

Path_A_Check timer reload value

This parameter contains the value of the Path_A_Check timer in microseconds.

(Unsigned 32)

Path_B_Check timer reload value

This parameter contains the value of the Path_B_Check timer in microseconds.

(Unsigned 32)

Active_Port_Swap timer reload value

This parameter contains the value of the Active_Port_Swap timer in seconds.

(Unsigned 32)

Number_Of_Designated_Nodes

This parameter contains the number of nodes in designated node list.

(Unsigned 16)

Designated_Node_List

This parameter contains the list of MAC addresses of designated nodes. It is applicable to beacon end nodes.

(Array of OctetString16)

Result (+)

This parameter indicates that the service request succeeded. The following fields are included in the response:

Node_Name

Source_MAC_Address

Destination_MAC_Address

Status

Result (-)

This parameter indicates that the service request failed and specifies error conditions, when applicable. The following fields are included in the response:

Node_Name

Source_MAC_Address

Destination_MAC_Address

Error_Info

10.4 Get_Node_Parameters service

Table 12 shows the parameters of the Get_Node_Parameters service.

Table 12 – BRP Get_Node_Parameters service parameters

Parameter name	Req	Ind	Rsp	Cnf
Argument	M	M(=)		
Node_Name	M	M(=)		
Source_MAC_Address	M	M(=)		
Destination_MAC_Address	M	M(=)		
Result (+)			S	S(=)
Node_Name			M	M(=)
Manufacturer	M	M(=)		
Version	M	M(=)		
Destination_MAC_Address			M	M(=)
Node_Type			M	M(=)
Beacon_Timer_Reload_Value			C	C(=)
No_Beacon_Timer_Reload_Value			C	C(=)
Path_A_Check timer reload value			M	M(=)
Path_B_Check timer reload value			M	M(=)
Active_Port_Swap timer reload value			M	M(=)
Number_Of_Designated_Nodes			C	C(=)
Designated_Node_List			C	C(=)
VLAN_ID			C	C(=)
Result (-)			S	S(=)
Node_Name			M	M(=)
Source_MAC_Address			M	M(=)
Destination_MAC_Address			M	M(=)
Error_Info			M	M(=)
NOTE For the meaning of Req, Ind, Rsp, Cnf, M, U and S, refer to ISO/IEC 10164-1.				

Argument

The argument conveys the parameters of the service request. There are no specific parameters for this service.

Result (+)

This parameter indicates that the service request succeeded. The following fields are included in the response:

Manufacturer

This parameter contains the name of the manufacturer
(VisibleString255)

Version

This parameter contains the version of the BRP. Future versions of the BRP shall be downward compatible with the version specified in this clause. A BRP end node shall accept packets from end nodes supporting BRP versions lower than the one it supports. A BRP end node shall drop unknown packets and shall ignore extended payload contents in known packets from end nodes supporting BRP versions higher than the one it supports.
(Unsigned32)

Beacon_Timer_Reload_Value

This parameter contains the value of the Beacon timer in microseconds.
(Unsigned 32)

No_Beacon_Timer_Reload_Value

This parameter contains the value of the No_Beacon timer in microseconds.
(Unsigned 32)

Path_A_Check timer reload value

This parameter contains the value of the Path_A_Check timer in microseconds.
(Unsigned 32)

Path_B_Check timer reload value

This parameter contains the value of the Path_B_Check timer in microseconds.
(Unsigned 32)

Active_Port_Swap timer reload value

This parameter contains the value of the Active_Port_Swap timer in seconds.
(Unsigned 32)

Number_Of_Designated_Nodes

This parameter contains the number of nodes in designated node list.
(Unsigned 16)

Designated_Node_List

This parameter contains the list of MAC addresses of designated nodes. It is applicable to Beacon end nodes.
(Array of OctetString16)

Result (-)

This parameter indicates that the service request failed and specifies error conditions, when applicable. The following fields are included in the response:

Node_Name**Source_MAC_Address****Destination_MAC_Address****Error_Info****10.5 Add_Node_Receive_Parameters service**

Table 13 shows the parameters of the Add_Node_Receive_Parameters service.

Table 13 – BRP Add_Node_Receive_Parameters service parameters

Parameter name	Req	Ind	Rsp	Cnf
Argument	M	M(=)		
Node_Name	M	M(=)		
Source_MAC_Address	M	M(=)		
Destination_MAC_Address	M	M(=)		
Transmit_Node_MAC_Address	M	M(=)		
Node_Receive_Timeout	M	M(=)		
Result (+)			S	S(=)
Node_Name			M	M(=)
Source_MAC_Address			M	M(=)
Destination_MAC_Address			M	M(=)
Status			M	M(=)
Result (-)			S	S(=)
Node_Name			M	M(=)
Source_MAC_Address			M	M(=)
Destination_MAC_Address			M	M(=)
Error_Info			M	M(=)
NOTE For the meaning of Req, Ind, Rsp, Cnf, M, U and S, refer to ISO/IEC 10164-1.				

Argument

The argument conveys the parameters of the service request.

Transmit_Node_MAC_Address

This parameter contains MAC address of transmit node of interest.

(VisibleString16)

Node_Receive_Timeout

This parameter contains associated node receive timeout in microseconds.

(Unsigned 32)

Result (+)

This parameter indicates that the service request succeeded. The following fields are included in the response:

Node_Name

Source_MAC_Address

Destination_MAC_Address

Status

Result (-)

This parameter indicates that the service request failed and specifies error conditions, when applicable. The following fields are included in the response:

Node_Name
Source_MAC_Address
Destination_MAC_Address
Error_Info

10.6 Remove_Node_Receive_Parameters service

Table 14 shows the parameters of the Remove_Node_Receive_Parameters service.

Table 14 – BRP Remove_Node_Receive_Parameters service parameters

Parameter name	Req	Ind	Rsp	Cnf
Argument	M	M(=)		
Node_Name	M	M(=)		
Source_MAC_Address	M	M(=)		
Destination_MAC_Address	M	M(=)		
Transmit_Node_MAC_Address	M	M(=)		
Result (+)			S	S(=)
Node_Name			M	M(=)
Source_MAC_Address			M	M(=)
Destination_MAC_Address			M	M(=)
Status			M	M(=)
Result (-)			S	S(=)
Node_Name			M	M(=)
Source_MAC_Address			M	M(=)
Destination_MAC_Address			M	M(=)
Error_Info			M	M(=)
NOTE For the meaning of Req, Ind, Rsp, Cnf, M, U and S, refer to ISO/IEC 10164-1.				

Argument

The argument conveys the parameters of the service request.

Transmit_Node_MAC_Address

This parameter contains MAC address of transmit node to be removed from Node_Receive timers.

(VisibleString16)

Result (+)

This parameter indicates that the service request succeeded. The following fields are included in the response:

Node_Name
Source_MAC_Address
Destination_MAC_Address
Status

Result (-)

This parameter indicates that the service request failed and specifies error conditions, when applicable. The following fields are included in the response:

Node_Name
Source_MAC_Address
Destination_MAC_Address
Error_Info

10.7 Get_Node_Status service

Table 15 shows the parameters of the Get_Node_Status service.

Table 15 – BRP Get_Node_Status service parameters

Parameter name	Req	Ind	Rsp	Cnf
Argument	M	M(=)		
Node_Name	M	M(=)		
Source_MAC_Address	M	M(=)		
Destination_MAC_Address	M	M(=)		
Result (+)			S	S(=)
Node_Name			M	M(=)
Source_MAC_Address			M	M(=)
Destination_MAC_Address			M	M(=)
Node_Type			M	M(=)
Node_Status			M	M(=)
Port_A_Status			M	M(=)
Port_B_Status			M	M(=)
Result (-)			S	S(=)
Node_Name			M	M(=)
Source_MAC_Address			M	M(=)
Destination_MAC_Address			M	M(=)
Error_Info			M	M(=)
NOTE For the meaning of Req, Ind, Rsp, Cnf, M, U and S, refer to ISO/IEC 10164-1.				

Argument

The argument conveys the parameters of the service request. There are no specific parameters for this service.

Result (+)

This parameter indicates that the service request succeeded. The following fields are included in the response:

Node_Status

This parameter contains the value representing node status.

(OctetString16)

Port_A_Status

This parameter contains the value representing port A status.

(OctetString16)

Port_B_Status

This parameter contains the value representing port B status.

(OctetString16)

Result (-)

This parameter indicates that the service request failed and specifies error conditions, when applicable. The following fields are included in the response:

Node_Name
Source_MAC_Address
Destination_MAC_Address
Error_Info

11 BRP Management Information Base (MIB)

```
-- *****
IEC-62439-5-MIB DEFINITIONS ::= BEGIN

-- *****
-- Imports
-- *****

IMPORTS

    OBJECT-TYPE, Counter32,
    TimeTicks, Integer32   FROM SNMPv2-SMI
    Boolean                 FROM HOST-RESOURCES-MIB
    MacAddress              FROM BRIDGE-MIB
    iso                     FROM RFC1155-SMI;

-- *****
-- Root OID
-- *****

iec      OBJECT IDENTIFIER ::= { iso 0 }

iec62439 MODULE-IDENTITY
    LAST-UPDATED "200811080000Z" -- November 8, 2008
    ORGANIZATION "IEC/SC 65C"
    CONTACT-INFO ""

    DESCRIPTION "This MIB module defines the Network Management interfaces
    for the Beacon Redundancy Protocol defined by the IEC
    standard 62439-5."

    REVISION "200711080000Z" -- November 8, 2007
    DESCRIPTION "Initial version of the Network Management interface for the
    Beacon Redundancy Protocol"

    REVISION "200811100000Z" -- November 10, 2008
    DESCRIPTION "
    Separation of IEC 62439 into a suite of documents
    This MIB applies to IEC 62439-5, no change in functionality
    "

    ::= { IEC 62439-5}

-- *****
-- Redundancy Protocols
-- *****

mrp      OBJECT IDENTIFIER ::= { iec62439 1 }
prp      OBJECT IDENTIFIER ::= { iec62439 2 }
crp      OBJECT IDENTIFIER ::= { iec62439 3 }
brp      OBJECT IDENTIFIER ::= { iec62439 4 }
drp      OBJECT IDENTIFIER ::= { iec62439 5 }

-- *****
-- Objects of the BRP Network Management
-- *****

NodeName OBJECT-TYPE
    SYNTAX OCTET STRING (SIZE(1..32))
    MAX-ACCESS read-only
    STATUS      mandatory
```

```

DESCRIPTION
    "specifies the unique node name"
::= { brp 1 }

Manufacturer OBJECT-TYPE
    SYNTAX OCTET STRING (SIZE(1..255))
    MAX-ACCESS read-only
    STATUS      mandatory
    DESCRIPTION
        "specifies the name of the manufacturer"
    ::= { brp 2 }

Version OBJECT-TYPE
    SYNTAX OCTET STRING (SIZE(1..32))
    MAX-ACCESS read-only
    STATUS      mandatory
    DESCRIPTION
        "specifies the version of BRP"
    ::= { brp 3 }

MACAddress OBJECT-TYPE
    SYNTAX MACAddress
    MAX-ACCESS read-only
    STATUS      mandatory
    DESCRIPTION
        "specifies node MAC address"
    ::= { brp 4 }

NodeType OBJECT-TYPE
    SYNTAX OCTET STRING (SIZE(1..32))
    MAX-ACCESS read-write
    STATUS      mandatory
    DESCRIPTION
        "specifies the node type"
    ::= { brp 5 }

NodeStatus OBJECT-TYPE
    SYNTAX OCTET STRING (SIZE(1..32))
    MAX-ACCESS read-only
    STATUS      mandatory
    DESCRIPTION
        "specifies the node status"
    ::= { brp 6 }

PortAStatus OBJECT-TYPE
    SYNTAX OCTET STRING (SIZE(1..32))
    MAX-ACCESS read-only
    STATUS      mandatory
    DESCRIPTION
        "specifies port A status"
    ::= { brp 7 }

PortBStatus OBJECT-TYPE
    SYNTAX OCTET STRING (SIZE(1..32))
    MAX-ACCESS read-only
    STATUS      mandatory
    DESCRIPTION
        "specifies port B status"
    ::= { brp 8 }

VLANID OBJECT-TYPE
    SYNTAX OCTET STRING (SIZE(1..32))
    MAX-ACCESS read-only
    STATUS      mandatory
    DESCRIPTION
        "specifies VLAN ID"
    ::= { brp 9 }

```

END

Bibliography

IEC 61158 (all parts), *Industrial communication networks – Fieldbus specifications*

IEC 62439-2, *Industrial communication networks – High availability automation networks – Part 2: Media Redundancy Protocol (MRP)*

IEC 62439-3, *Industrial communication networks – High availability automation networks – Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR)*

IEC 62439-4, *Industrial communication networks – High availability automation networks – Part 4: Cross-network Redundancy Protocol (CRP)*

IEC 62439-6, *Industrial communication networks – High availability automation networks – Part 6: Distributed Redundancy Protocol (DRP)*

ISO/IEC 10164-1, *Information technology – Open Systems Interconnection – Systems Management: Object Management Function*

Withd
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62439-5:2010

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	44
INTRODUCTION	46
1 Domaine d'application	47
2 Références normatives	47
3 Termes, définitions, abréviations, acronymes et conventions	47
3.1 Termes et définitions	47
3.2 Abréviations et acronymes	48
3.3 Conventions	48
4 Présentation du BRP	48
5 Principe de fonctionnement du BRP	48
5.1 Généralités	48
5.2 Topologie de réseau	48
5.3 Composants de réseau	50
5.4 Reconfiguration rapide du trafic de réseau	51
6 Pile BRP et fonctions de détection des anomalies	51
7 Spécification de protocole BRP	53
7.1 Adresses MAC	53
7.2 EtherType	54
7.3 Mécanismes de détection des défauts	54
7.4 Schéma d'état du nœud d'extrémité	54
7.5 Schéma d'état du nœud d'extrémité balise	61
8 Structure du message BRP	67
8.1 Généralités	67
8.2 En-tête de trame balisée ISO/CEI 8802-3 (IEEE 802.3)	68
8.3 Message balise	68
8.4 Message Learning_Update	68
8.5 Message Failure_Notify	69
8.6 Message Path_Check_Request	69
8.7 Message Path_Check_Response	69
9 Temps de reprise après défaillance BRP	70
10 Définition de service BRP	71
10.1 Services pris en charge	71
10.2 Paramètres de service communs	71
10.3 Service Set_Node_Parameters	72
10.4 Service Get_Node_Parameters	73
10.5 Service Add_Node_Receive_Parameters	75
10.6 Service Remove_Node_Receive_Parameters	77
10.7 Service Get_Node_Status	78
11 Base d'informations de gestion (MIB) du BRP	79
Bibliographie	81
Figure 1 – Exemple de réseau BRP en étoile	49
Figure 2 – Exemple de réseau BRP linéaire	49
Figure 3 – Exemple de réseau BRP en anneau	50

Figure 4 – Architecture de pile BRP	52
Figure 5 – Schéma d'état BRP du nœud d'extrémité	54
Figure 6 – Schéma d'état BRP du nœud d'extrémité balise	61
Tableau 1 – Drapeaux de nœud d'extrémité BRP	56
Tableau 2 – Table des transitions d'état du nœud d'extrémité BRP	57
Tableau 3 – Drapeaux de nœud d'extrémité balise BRP	63
Tableau 4 – Table des transitions d'état du nœud d'extrémité balise BRP	64
Tableau 5 – En-tête commun BRP avec format de trame balisée ISO/CEI 8802-3 (IEEE 802.3)	68
Tableau 6 – Format du message balise BRP	68
Tableau 7 – Format du message Learning_Update BRP	69
Tableau 8 – Format du message Failure_Notify BRP	69
Tableau 9 – Format du message Path_Check_Request BRP	69
Tableau 10 – Format du message Path_Check_Response BRP	70
Tableau 11 – Paramètres du service BRP Set_Node_Parameters	72
Tableau 12 – Paramètres du service BRP Get_Node_Parameters	74
Tableau 13 – Paramètres du service BRP Add_Node_Receive_Parameters	76
Tableau 14 – Paramètres du service BRP Remove_Node_Receive_Parameters	77
Tableau 15 – Paramètres du service BRP Get_Node_Status	78

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSEAUX INDUSTRIELS DE COMMUNICATION – RÉSEAUX D'AUTOMATISME À HAUTE DISPONIBILITÉ –

Partie 5: Protocole de redondance à balise (BRP)

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62439-5 a été établie par le sous-comité 65C: Réseaux industriels, du comité d'études 65 de la CEI: Mesure, commande et automation dans les processus industriels.

La présente norme annule et remplace la CEI 62439 publiée en 2008. Cette première édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à la CEI 62439 (2008):

- ajout d'une méthode de calcul pour le protocole RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol, IEEE 802.1Q),
- ajout de deux nouveaux protocoles de redondance: HSR (redondance transparente de haute disponibilité) et DRP (protocole de redondance distribuée),

- déplacement des Articles 1 à 4 (Introduction, Définitions, Aspects généraux) et des Annexes (Taxinomie, Calcul de disponibilité) dans la CEI 62439-1, qui servent à présent de base aux autres documents,
- déplacement de l'Article 5 (MRP, Media Redundancy Protocol) dans la CEI 62439-2 avec peu de modifications éditoriales,
- déplacement de l'Article 6 (PRP, Protocole de Redondance Parallèle) dans la CEI 62439-3 avec peu de modifications éditoriales,
- déplacement de l'Article 7 (CRP, Protocole de Redondance Transréseau) dans la CEI 62439-4 avec peu de modifications éditoriales, et
- déplacement de l'Article 8 (BRP, Protocole de Redondance à Balise) dans la CEI 62439-5 avec peu de modifications éditoriales,
- ajout d'une méthode de calcul du temps de reprise maximal du protocole RSTP dans une configuration restreinte (anneau) dans la CEI 62439-1 (Article 8),
- ajout de spécifications du protocole HSR, qui partage les principes du protocole PRP dans la CEI 62439-3 (Article 5), et
- introduction du protocole DRP (CEI 62439-6).

La présente version bilingue (2012-04) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2010-02.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 65C/583/FDIS et 65C/589/RVD.

Le rapport de vote 65C/589/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

La présente Norme internationale doit être lue conjointement avec la CEI 62439-1:2010, *Réseaux industriels de communication – Réseaux d'automatisme à haute disponibilité – Partie 1: Concepts généraux et méthodes de calcul*.

Une liste de la série CEI 62439 est disponible sur le site web de la CEI, sous le titre général *Réseaux industriels de communication – Réseaux d'automatisme à haute disponibilité*.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

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

La série CEI 62439 spécifie des principes applicables aux réseaux à haute disponibilité répondant aux exigences des réseaux d'automatisme industriels.

A l'état exempt de défaillance du réseau, les protocoles de la série CEI 62439 assurent une communication de données fiable et conforme à l'ISO/CEI 8802-3 (IEEE 802.3) et préservent le caractère déterministe des communications en temps réel. En cas de panne, de retrait et d'insertion d'un composant, ils assurent des temps de reprise déterministes.

Ces protocoles conservent la totalité des fonctions de communication Ethernet classiques (telles qu'elles sont utilisées dans le monde professionnel), ce qui permet de continuer à utiliser le logiciel.

Le marché a besoin de plusieurs solutions réseau, présentant chacune des caractéristiques de performance et des capacités fonctionnelles différentes correspondant aux diverses exigences d'application. Ces solutions prennent en charge différentes topologies et mécanismes de redondance présentés dans la CEI 62439-1 et spécifiés dans les autres parties de la série CEI 62439. La CEI 62439-1 distingue également les différentes solutions, en donnant des lignes directrices à l'utilisateur.

La série CEI 62439 se conforme à la structure générale et aux termes de la série CEI 61158.

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité aux dispositions du présent document peut impliquer l'utilisation d'un brevet concernant Ethernet tolérant aux pannes fourni par l'utilisation d'interfaces particulières offrant des ports en double qui peuvent être par ailleurs activés avec la même adresse réseau. La commutation entre les ports corrige les premiers défauts d'un système redondant deux voies. Ce sujet est abordé dans les Articles 5 et 6.

La CEI ne prend pas position quant à la preuve, la validité et la portée de ce droit de propriété.

Le détenteur de ce droit de propriété a assuré à la CEI qu'il est prêt à négocier des licences avec les demandeurs dans le monde entier, gratuitement ou dans des conditions raisonnables et non discriminatoires. A ce propos, la déclaration du détenteur de ce droit de propriété est enregistrée à la CEI. Des informations peuvent être obtenues auprès de:

Rockwell Automation Technologies
1 Allen-Bradley Drive
Mayfield Heights
Ohio
USA

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété autres que ceux identifiés ci-dessus. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

L'ISO (www.iso.org/patents) et la CEI (http://www.iec.ch/tctools/patent_decl.htm) gèrent des bases de données de brevets en ligne concernant leurs normes. Les utilisateurs sont invités à les consulter pour obtenir les dernières informations relatives aux brevets.

RÉSEAUX INDUSTRIELS DE COMMUNICATION – RÉSEAUX D'AUTOMATISME À HAUTE DISPONIBILITÉ –

Partie 5: Protocole de redondance à balise (BRP)

1 Domaine d'application

La série CEI 62439 concerne les réseaux d'automatisme à haute disponibilité reposant sur la technologie (Ethernet) de l'ISO/CEI 8802-3 (IEEE 802.3).

La présente partie de la série CEI 62439 porte sur un protocole de redondance reposant sur la duplication du réseau, ce protocole étant exécuté dans les nœuds d'extrémité, par opposition à un protocole de redondance intégré aux commutateurs. La détection rapide des erreurs est assurée par deux nœuds balise, la décision de basculement étant prise dans chaque nœud individuellement. La capacité de connexion inter-réseau permet à des nœuds d'extrémité à une seule association d'être connectés sur l'un ou l'autre des deux réseaux.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

CEI 60050-191, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 191: Sûreté de fonctionnement et qualité de service*

CEI 62439-1:2010, *Réseaux industriels de communication – Réseaux d'automatisme à haute disponibilité – Partie 1: Concepts généraux et méthodes de calcul*

ISO/CEI/TR 8802-1, *Technologies de l'information – Télécommunications et échange d'information entre systèmes – Réseaux locaux et métropolitains – Exigences spécifiques – Partie 1: Vue d'ensemble des normes de réseaux locaux (IEEE 802.1)*

ISO/CEI 8802-3:2000, *Technologies de l'information – Télécommunications et échange d'information entre systèmes – Réseaux locaux et métropolitains – Prescriptions spécifiques – Partie 3: Accès multiple par surveillance du signal et détection de collision (CSMA/CD) et spécifications pour la couche physique*

IEEE 802.1D, *IEEE standards for local and metropolitan area networks: Media Access Control (MAC) Bridges* (disponible en anglais seulement)

IEEE 802.1Q, *IEEE standards for local and metropolitan area networks: Virtual bridged local area networks* (disponible en anglais seulement)

3 Termes, définitions, abréviations, acronymes et conventions

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60050-191, ainsi que dans la CEI 62439-1, s'appliquent.

3.2 Abréviations et acronymes

Pour les besoins du présent document, les abréviations et acronymes donnés dans la CEI 62439-1 s'appliquent, avec ceux indiqués ci-dessous.

BRP Protocole de redondance à balise (*Beacon Redundancy Protocol*)

DANB nœud à double association mettant en œuvre le BRP (*double attached node implementing BRP*)

3.3 Conventions

La présente partie de la série CEI 62439 suit les conventions définies dans la CEI 62439-1.

4 Présentation du BRP

Le présent article spécifie un protocole destiné à un réseau Ethernet tolérant à toutes les pannes localisées. Ce protocole s'appelle Protocole de redondance à balise (ou BRP). Un réseau reposant sur le protocole BRP est appelé réseau BRP. Le réseau BRP repose sur des technologies ISO/CEI 8802-3 (IEEE 802.3) (Ethernet) et ISO/CEI/TR 8802-1 (IEEE 802.1) commutées et une infrastructure redondante. Dans ce réseau, la décision de commuter entre des infrastructures est prise de manière individuelle dans chaque nœud d'extrémité.

5 Principe de fonctionnement du BRP

5.1 Généralités

Les Paragraphes 5.2 à 5.4 expliquent les actions globales réalisées par le diagramme d'états du BRP. En cas de différence d'interprétation entre ces paragraphes et les diagrammes d'états à l'Article 7, les diagrammes d'états prévalent.

5.2 Topologie de réseau

La topologie de réseau BRP peut être présentée comme deux commutateurs supérieurs interconnectés, chacun présentant une topologie sous-jacente en étoile, linéaire ou en anneau. Les nœuds balise d'extrémité doivent être connectés aux commutateurs supérieurs. Des exemples de réseaux BRP en étoile, linéaires et en anneau sont respectivement donnés à la Figure 1, à la Figure 2 et à la Figure 3.

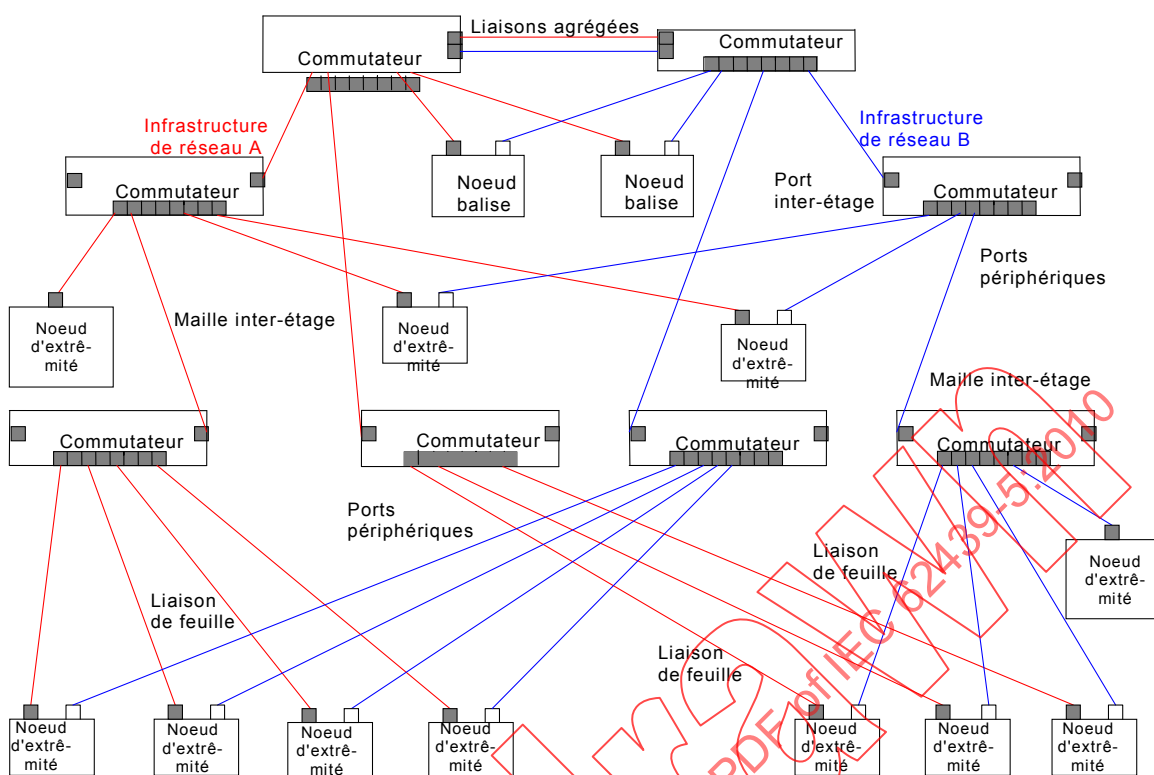
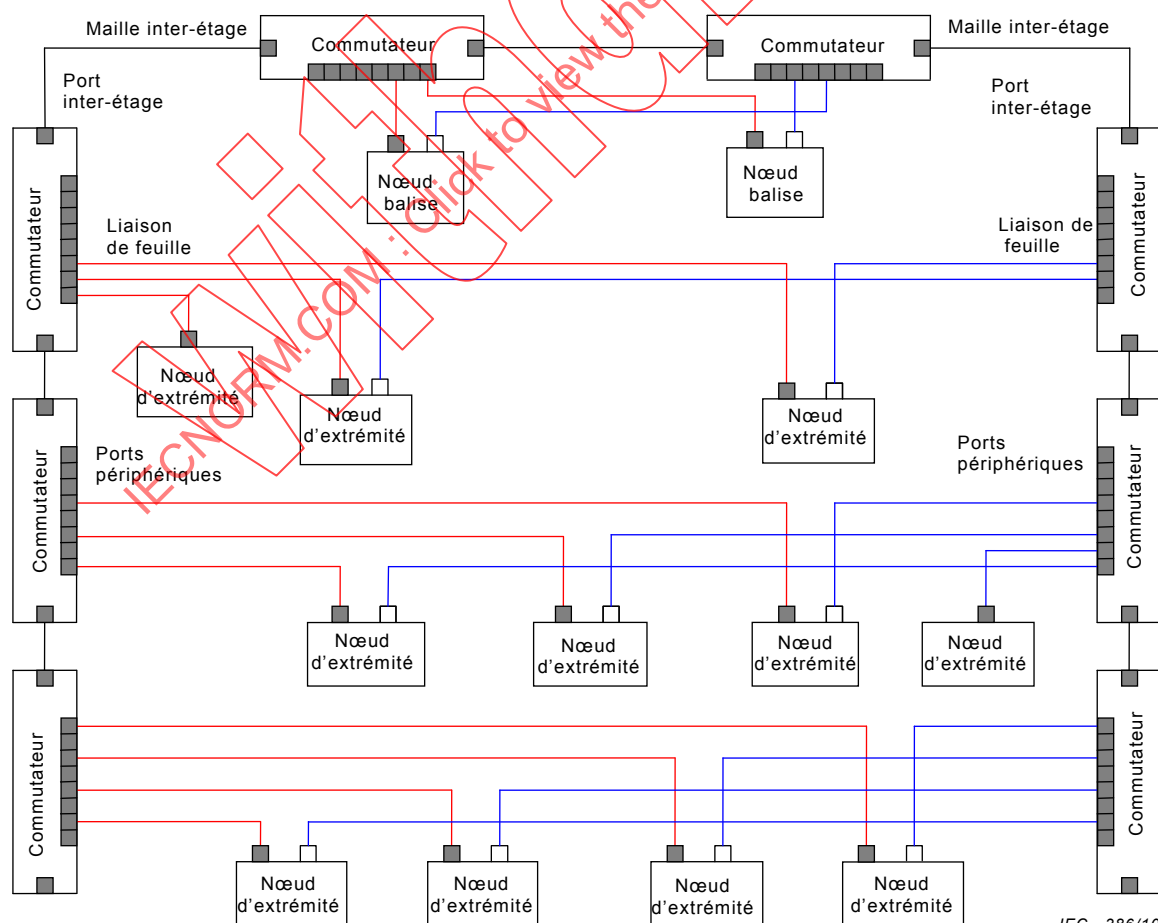


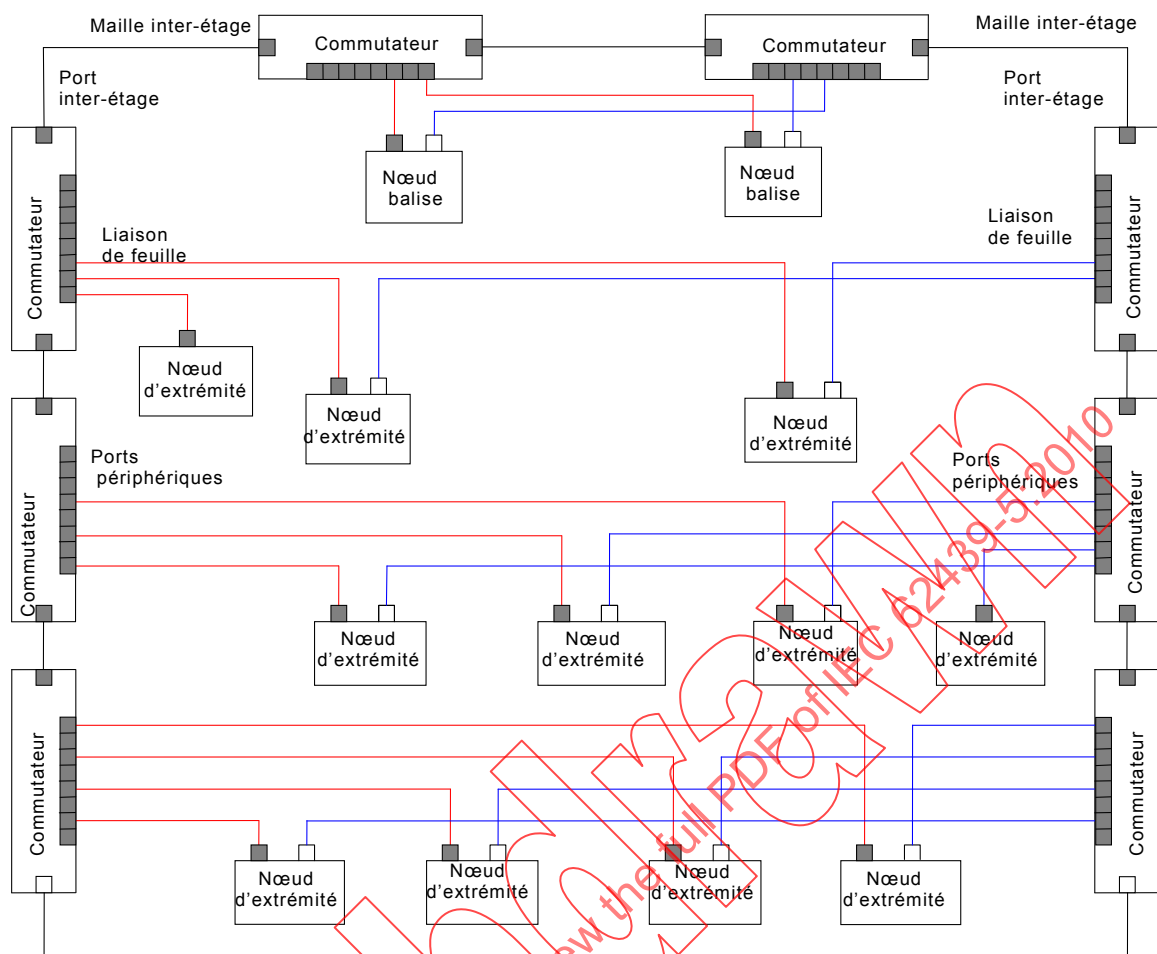
Figure 1 – Exemple de réseau BRP en étoile

IEC 385/10



IEC 386/10

Figure 2 – Exemple de réseau BRP linéaire



IEC 387/10

Figure 3 – Exemple de réseau BRP en anneau

5.3 Composants de réseau

Le réseau BRP est conçu autour de commutateurs de couche 2 conformes à l'IEEE 802.1D et l'ISO/CEI 8802-3 (IEEE 802.3). Aucun support du protocole BRP dans les commutateurs n'est requis.

La Figure 1 donne un exemple de réseau BRP en étoile en mode de redondance 2 voies. Elle utilise deux ensembles d'infrastructures de réseau A et B (illustrés par deux couleurs différentes). Le nombre de niveaux de commutateurs et de commutateurs sur chaque niveau dépend uniquement des exigences de l'application. Même avec trois niveaux hiérarchiques, des réseaux très volumineux peuvent être construits. Par exemple, un réseau BRP en étoile conçu autour de commutateurs à huit ports réguliers et un port de liaison montante peut contenir 500 nœuds au maximum. Deux commutateurs de niveau supérieur doivent être connectés l'un à l'autre avec une ou plusieurs liaisons assurant une largeur de bande suffisante. Grâce à la fonction d'agrégation de liaison, le trafic est partagé entre des faisceaux de liaisons, la défaillance d'une liaison ne provoquant pas l'arrêt du réseau. Ce type d'organisation permet aux infrastructures A et B de ne former qu'un seul réseau.

Deux types de nœud d'extrémité peuvent être connectés au réseau BRP: les nœuds à double association et à simple association. Un nœud d'extrémité à double association peut fonctionner comme un nœud d'extrémité BRP ou un nœud d'extrémité balise BRP. Un nœud d'extrémité balise BRP est un cas particulier de nœud d'extrémité à double association connecté directement aux commutateurs supérieurs. Bien que les nœuds d'extrémité BRP à double association disposent de deux accès de réseau, ils n'utilisent qu'une adresse MAC.

En un point donné dans le temps, un nœud d'extrémité BRP communique activement par l'un de ses ports uniquement, bloquant tout le trafic de transmission et de réception sur son autre port, à l'exception des messages balise reçus et des messages Failure_Notify. La tolérance aux anomalies est obtenue de manière distribuée par les nœuds d'extrémité BRP passant du mode inactif au mode actif sur leurs ports, et inversement.

Comme le montrent la Figure 1, la Figure 2 et la Figure 3, deux nœuds d'extrémité balise doivent être connectés aux commutateurs de niveau supérieur. Les nœuds d'extrémité balise diffusent périodiquement un court message balise sur le réseau. A l'instar des nœuds d'extrémité BRP, le nœud d'extrémité balise ne communique à un instant donné que par l'un de ses ports, en bloquant tout le trafic sur son autre port, à l'exception des messages Failure_Notify reçus. Pour assurer la tolérance aux anomalies, les nœuds d'extrémité balise passent du mode inactif au mode actif sur leurs ports, et inversement.

Les nœuds d'extrémité à une seule association peuvent également être connectés au réseau BRP, mais ils ne prennent pas en charge le protocole BRP. Un nœud à une seule association peut communiquer avec des nœuds à double association et avec d'autres nœuds à une seule association du réseau.

Les commutateurs étant conformes à l'IEEE 802.1D, ils prennent en charge le protocole RSTP. Cela permet d'éviter la formation de boucle dans les réseaux BRP en anneau, (celui de la Figure 3, par exemple).

5.4 Reconfiguration rapide du trafic de réseau

Pour procéder à une rapide reconfiguration, les fonctions de contrôle multidiffusion des commutateurs doivent être désactivées. Le trafic multidiffusion est donc traité comme le trafic de diffusion.

Les fonctions d'apprentissage et de filtrage des commutateurs ont un impact sur les paquets à diffusion individuelle. Suite à la reconfiguration d'un port du nœud d'extrémité, les connaissances de commutateurs ne sont plus valides. Un commutateur mettant en œuvre un apprentissage doit mettre à jour sa base de données lorsqu'un paquet avec une adresse MAC apprise dans le champ source est reçu sur un port différent depuis le port appris stocké dans la base de données.

Si un nœud d'extrémité BRP bascule sur le port inactif, sa première action consiste à envoyer un court message multidiffusion, appelé Learning_Update, par l'intermédiaire de son port nouvellement activé. Au fur et à mesure de la propagation de ce message sur le réseau, les commutateurs mettent à jour leur base de données d'adresses MAC, ce qui donne lieu à une rapide reconfiguration du trafic à diffusion individuelle. Ce message n'a aucun intérêt pour les autres nœuds d'extrémité du réseau, lesquels le suppriment.

6 Pile BRP et fonctions de détection des anomalies

La Figure 4 illustre l'architecture de pile BRP. Elle s'applique aux nœuds d'extrémité BRP et balise.

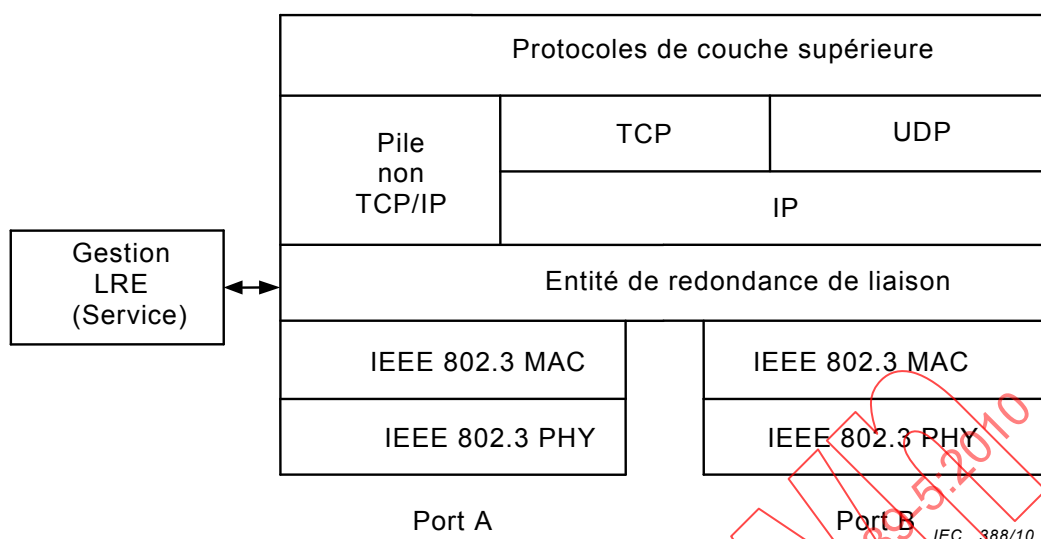


Figure 4 – Architecture de pile BRP

La pile BRP contient deux ports ISO/CEI 8802-3 (IEEE 802.3) identiques, appelés ici ports A et B, et connectés au réseau. Ces ports assurent l'interface avec la sous-couche MAC conforme à l'ISO/CEI 8802-3 (IEEE 802.3). Malgré la présence de deux ports physiques, un nœud d'extrémité BRP n'utilise qu'une seule adresse MAC.

L'entité de redondance de liaison surveille en permanence l'état des liaisons de feuille entre les deux ports et les ports correspondants sur les commutateurs. En cas de défaillance de la liaison de feuille entre le port actif du nœud d'extrémité et le port correspondant sur le commutateur, l'entité de redondance de liaison doit reconfigurer les ports du nœud d'extrémité, à condition que le port inactif ne se trouve pas également en mode de défaillance. Après la reconfiguration, la totalité du trafic passe par le port nouvellement activé. Certains messages peuvent être perdus pendant le processus de détection des pannes et de reconfiguration, les protocoles de couche supérieure étant chargés de les récupérer, et de traiter également les messages perdus suite à d'autres erreurs de réseau.

L'entité de redondance de liaison surveille également l'arrivée de messages balise sur les deux ports. Si un message balise n'arrive pas jusqu'au port actif pendant un délai déterminé, le port est déclaré comme étant en mode de défaillance. L'entité de redondance de liaison doit alors reconfigurer les ports du nœud d'extrémité, à condition que l'autre port ne se trouve pas également en mode de défaillance. Après la reconfiguration, la totalité du trafic commence à passer par le port nouvellement activé. L'impossibilité d'un message balise à atteindre des ports inactifs doit également être détectée.

En cas de défaillance de l'un des commutateurs supérieurs, tous les nœuds BRP connectés directement à ce commutateur ou à son infrastructure de réseaux basculent vers l'autre infrastructure de réseau. Par exemple, en cas de défaillance du commutateur supérieur du réseau local A, tous les nœuds BRP connectés à ce réseau local basculent vers le réseau local B.

Si la défaillance s'est produite sur un nœud d'extrémité balise, le réseau continue à fonctionner normalement, étant donné que l'autre nœud d'extrémité balise est actif. Le débit d'arrivée de message balise passe d'environ deux messages à un seul message par intervalle de temporisateur balise.

Des anomalies de chemin de transmission peuvent se produire dans le sens opposé à la circulation des messages balise. Si ce type de défaillance se produit dans la couche physique, elle est détectée par les nœuds d'extrémité ou les commutateurs adjacents à la liaison défectueuse. Dès lors, soit le nœud d'extrémité BRP reconfigure ses ports immédiatement

soit le trafic est bloqué sur la liaison concernée. Dans le dernier cas, les messages balise sont perdus au niveau des nœuds d'extrémité en aval, lesquels se reconfigurent donc eux-mêmes à l'expiration du délai d'attente balise.

Si ce type de défaillance n'est pas détectable dans la couche physique, l'entité de redondance de liaison BRP s'appuie sur le mécanisme ci-dessous pour le détecter. La méthode de détection des défaillances permettant d'identifier toutes les anomalies de transmission doit être mise en œuvre à l'aide des listes de nœuds de communication contenant une valeur de délai de réception pour chaque nœud d'extrémité de transmission intéressant pour le nœud. Ces listes peuvent être communiquées manuellement à l'entité de redondance de liaison ou configurées de manière dynamique à l'aide de l'entité de gestion LRE.

Lorsqu'une trame provenant d'un nœud d'extrémité émetteur n'arrive pas avant l'expiration du temporisateur `Node_Receive` associé, le nœud d'extrémité destinataire doit envoyer un message `Failure_Notify` au nœud d'extrémité émetteur et un message `Path_Check_Request` aux nœuds d'extrémité balise. Dès la réception d'un message `Failure_Notify`, le nœud d'extrémité émetteur doit tenter de vérifier le chemin de transmission en envoyant le message `Path_Check_Request` aux nœuds d'extrémité balise. Lorsque les nœuds d'extrémité balise reçoivent ces messages, ils doivent répondre par des messages `Path_Check_Response`. Si le message `Path_Check_Request` reste sans réponse, un nœud d'extrémité doit placer son port actif à l'état d'anomalie et activer son port inactif, à condition qu'il ne se trouve pas également en mode de défaillance.

Les nœuds d'extrémité balise BRP se comportent également de la même manière. Lorsqu'une trame provenant d'un nœud d'extrémité émetteur n'arrive pas avant l'expiration du temporisateur `Node_Receive` associé, le nœud d'extrémité balise destinataire doit envoyer un message `Failure_Notify` au nœud d'extrémité émetteur et un message `Path_Check_Request` à un ensemble de nœuds d'extrémité choisis. Si les nœuds d'extrémité balise reçoivent eux-mêmes des messages `Failure_Notify`, ils doivent vérifier leur chemin de transmission en envoyant un message `Path_Check_Request` à un ensemble de nœuds d'extrémité choisis. Dès la réception du message `Path_Check_Request`, les nœuds d'extrémité choisis doivent répondre par un message `Path_Check_Response`. Si le message `Path_Check_Request` reste sans réponse, un nœud d'extrémité balise doit placer son port actif à l'état d'anomalie et activer son port inactif, à condition qu'il ne se trouve pas également en mode de défaillance.

Si le port défaillant est restauré, il doit rester inactif tant qu'un basculement n'a pas été initié ou que le port actuellement actif ne fait pas l'objet d'une défaillance. Si les deux ports sont opérationnels, le nœud d'extrémité BRP doit régulièrement basculer son activité de message d'un port à l'autre. Ce basculement est contrôlé par le temporisateur `Active_Port_Swap`.

L'entité de gestion LRE est utilisée pour sélectionner un type de nœud d'extrémité (normal ou balise), configurer les paramètres de protocole (le temporisateur balise, par exemple) et obtenir l'état du port du nœud d'extrémité (actif, en défaillance, inactif).

Toutes les défaillances détectées doivent être signalées à l'entité de gestion LRE afin de déclencher un diagnostic approfondi et une réparation. Des services de diagnostic des défaillances doivent être assurés par l'entité de gestion LRE ou d'autres entités accessibles dans le réseau.

7 Spécification de protocole BRP

7.1 Adresses MAC

Le protocole BRP doit utiliser l'adresse multidiffusion 01-15-4E-00-02-01. Les deux ports d'un nœud BRP doivent porter la même adresse MAC de communication active.

7.2 EtherType

Le protocole BRP doit utiliser l'EtherType 0x80E1 assigné.

7.3 Mécanismes de détection des défauts

Les mécanismes suivants de détection des défauts sont utilisés:

- Détection des défauts de liaison

Ce mécanisme couvre les anomalies de couche physique dans les directions de transmission et de réception sur une liaison directement connectée au nœud d'extrémité.

- Détection des défauts de chemin de réception

Il s'agit d'utiliser le mécanisme de transmission des messages balise.

- Détection des défauts de chemin de transmission

Il s'agit d'utiliser les messages Failure_Notify, Path_Check_Request et Path_Check_Response. Le basculement périodique entre les ports actifs et inactifs assure la couverture de tous les chemins de transmission du réseau.

7.4 Schéma d'état du nœud d'extrémité

Le Schéma d'état du nœud d'extrémité BRP est présenté à la Figure 5.

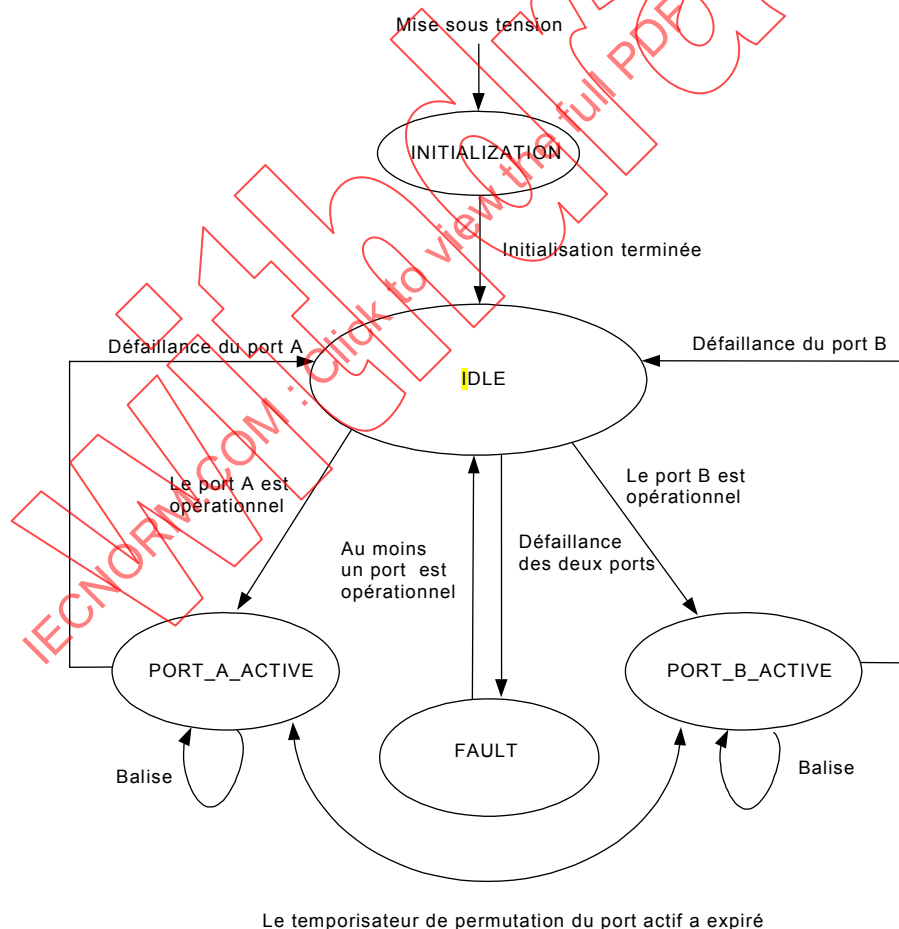


Figure 5 – Schéma d'état BRP du nœud d'extrémité

Le diagramme d'états du nœud d'extrémité BRP doit s'exécuter conformément au tableau des transitions d'état présenté au Tableau 2.

Après la mise sous tension du nœud et une fois le processus d'initialisation exécuté (une valeur est attribuée au drapeau Initialization_Completed), le nœud réinitialise le diagramme d'états de protocole et passe à l'état IDLE.

Etant donné que les drapeaux Port_A_Failed et Port_B_Failed étaient à l'origine définis, le nœud passe immédiatement de l'état IDLE à l'état FAULT.

Si la liaison A est active et qu'un message balise est reçu sur cette liaison, le nœud repasse de l'état FAULT à l'état IDLE. Un message Learning_Update est généré sur ce port et le nœud passe de l'état IDLE à l'état PORT_A_ACTIVE.

Le nœud soumet simultanément les ports B et A à essai en suivant la procédure ci-dessus. Si les deux ports sont opérationnels, l'un d'eux peut être sélectionné par défaut.

La réception périodique de messages balise (Beacon_A_Received est défini) maintient le nœud à l'état PORT_A_ACTIVE et déclenche la réinitialisation du temporisateur No_Beacon_A.

Si, à l'état PORT_A_ACTIVE, la liaison A devient inactive (Link_A_Active est réinitialisé) ou qu'aucun message balise n'a été reçu pendant une période donnée (le temporisateur No_Beacon_A a expiré et Beacon_A_Received est réinitialisé), le nœud définit le drapeau Port_A_Failed et passe à l'état IDLE, dans lequel il tente de basculer vers le port B.

Le port B fonctionne comme le port A.

Si un temporisateur Node_Receive expire, le nœud de réception envoie un message Failure_Notify au nœud d'extrémité émetteur associé et envoie un message Path_Check_Request sur son port actif aux nœuds d'extrémité balise. Lorsque le nœud d'extrémité émetteur reçoit le message Failure_Notify, il tente de vérifier la voie de transmission sur son port actif en envoyant un message Path_Check_Request sur ce port aux nœuds d'extrémité balise. Lorsque les nœuds balise reçoivent ces messages, ils émettent des messages Path_Check_Response adressés au nœud demandeur.

Si le message Path_Check_Request reste sans réponse (le temporisateur Path_A_Check/Path_B_Check a expiré), le nœud définit les drapeaux Path_A_Failed/Path_B_Failed et Port_A_Failed/Port_B_Failed, puis passe à l'état IDLE, dans lequel il tente de basculer vers le port B/A.

Si les deux ports sont défaillants, le nœud passe de l'état IDLE à l'état FAULT et y reste tant que l'un des deux ports n'est pas opérationnel. A l'état FAULT, un nœud surveille en permanence l'état de la liaison (drapeaux Link_A_Active/Link_B_Active) et l'état d'arrivée balise (drapeaux Beacon_A_Received/Beacon_B_Received). Si les drapeaux Path_A_Failed et/ou Path_B_Failed ont été définis, le nœud envoie également le message Path_Check_Request et surveille l'arrivée du message Path_Check_Response pour les ports correspondants. Lorsque l'un des ports devient opérationnel (Port_A_Failed/Port_B_Failed est réinitialisé), le nœud revient à l'état IDLE, puis à PORT_A_ACTIVE/PORT_B_ACTIVE selon le cas.

Lorsqu'un nœud reçoit un message Path_Check_Request à l'état PORT_A_ACTIVE ou PORT_B_ACTIVE, il répond par le message Path_Check_Response et reste à l'état en cours.

A l'état PORT_A_ACTIVE/PORT_B_ACTIVE et à l'expiration du temporisateur Active_Port_Swap, le nœud passe à l'état PORT_B_ACTIVE/PORT_A_ACTIVE, à condition que PORT_B_FAILED/PORT_A_FAILED ne soit pas défini.

La période de temporisateur No_Beacon est un paramètre de configuration sélectionné pour un système particulier. La valeur par défaut obligatoire de la période balise est de 450 µs, donnant lieu à la valeur par défaut de 950 µs pour la période No_Beacon. Le délai est choisi

de manière à devoir perdre au moins deux messages balise provenant de chaque nœud d'extrémité balise avant de déclarer une défaillance sur un port.

Un nœud d'extrémité BRP doit pouvoir recevoir des messages balise sur deux de ces ports, lesdits messages ayant été envoyés à partir de deux nœuds d'extrémité balise avec la valeur par défaut obligatoire de la période balise.

Les périodes de temporisateur Path_A_Check et Path_B_Check sont des paramètres de configuration sélectionnés pour un système particulier. La valeur par défaut obligatoire est 2 ms.

La période de temporisateur Active_Port_Swap est un paramètre de configuration sélectionné pour un système particulier. La valeur par défaut obligatoire est 1 h.

Le Tableau 1 spécifie les drapeaux utilisés dans le diagramme d'états de nœud d'extrémité BRP.

Tableau 1 – Drapeaux de nœud d'extrémité BRP

Nom	Description	Type de données
Initialization_Completed	Indique que l'initialisation a abouti	BOOL
Link_A_Active	Indique l'état de la liaison de couche physique sur le port A	BOOL
Beacon_A_Received	Indique que le message balise a été reçu sur le port A	BOOL
Path_A_Failed	Indique si le message Path_Check_Response a été reçu en réponse au message Path_Check_Request sur le port A	BOOL
Link_B_Active	Indique l'état de la liaison de couche physique sur le port B	BOOL
Beacon_B_Received	Indique que le message balise a été reçu sur le port B	BOOL
Path_B_Failed	Indique si le message Path_Check_Response a été reçu en réponse au message Path_Check_Request sur le port B	BOOL
Path_A_Request	Indique si le message Path_Check_Request a été envoyé sur le port A	BOOL
Path_B_Request	Indique si le message Path_Check_Request a été envoyé sur le port B	BOOL
Port_A_Failed	Indique si le port A a fait l'objet d'une défaillance	BOOL
Port_B_Failed	Indique si le port B a fait l'objet d'une défaillance	BOOL
NOTE Dans ce tableau, BOOL signifie booléen.		

Le Tableau 2 spécifie la table des transitions d'état du nœud d'extrémité BRP.

Tableau 2 – Table des transitions d'état du nœud d'extrémité BRP

Numéro d'état	Etat en cours	Evénement /Condition => Action	Etat suivant
1	INITIALIZATION	Initialisation terminée => Définir Initialization_Completed Réinitialiser Link_A_Active Réinitialiser Beacon_A_Received Arrêter le temporisateur No_Beacon_A Réinitialiser Path_A_Failed Arrêter le temporisateur Path_A_Check, réinitialiser Path_A_Request Réinitialiser Link_B_Active Réinitialiser Beacon_B_Received Arrêter le temporisateur No_Beacon_B Réinitialiser Path_B_Failed Arrêter le temporisateur Path_B_Check timer Réinitialiser Path_B_Request Définir Port_A_Failed Définir Port_B_Failed Arrêter les temporisateurs Node_Receive Arrêter le temporisateur Active_Port_Swap	IDLE
2	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Etat de passage de la liaison du port A => définir Link_A_Active	RESTE A L'ETAT EN COURS
3	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Etat de défaillance de la liaison du port A => Réinitialiser Link_A_Active	RESTE A L'ETAT EN COURS
4	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Etat de passage de la liaison du port B => définir Link_B_Active	RESTE A L'ETAT EN COURS
5	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Etat de défaillance de la liaison du port B => Réinitialiser Link_B_Active	RESTE A L'ETAT EN COURS
6	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Message balise reçu sur le port A => Définir Beacon_A_Received Démarrer le temporisateur No_Beacon_A	RESTE A L'ETAT EN COURS
7	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Expiration du temporisateur No_Beacon_A => Réinitialiser Beacon_A_Received	RESTE A L'ETAT EN COURS
8	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Message balise reçu sur le port B => Définir Beacon_B_Received Démarrer le temporisateur No_Beacon_B	RESTE A L'ETAT EN COURS
9	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE,	Expiration du temporisateur No_Beacon_B =>	RESTE A L'ETAT EN COURS

Numéro d'état	Etat en cours	Evénement /Condition => Action	Etat suivant
	PORT_B_ACTIVE	Réinitialiser Beacon_B_Received	
10	PORT_A_ACTIVE	Réception du message Failure_Notify => Envoyer le message Path_Check_Request sur le port A Définir Path_A_Request Démarrer le temporisateur Path_A_Check	PORT_A_ACTIVE
11	PORT_B_ACTIVE	Réception du message Failure_Notify => Envoyer le message Path_Check_Request sur le port B Définir Path_B_Request Démarrer le temporisateur Path_B_Check	PORT_B_ACTIVE
12	PORT_A_ACTIVE, FAULT	Expiration du temporisateur Path_A_Check => Définir Path_A_Failed Réinitialiser Path_A_Request	RESTE A L'ETAT EN COURS
13	PORT_B_ACTIVE, FAULT	Expiration du temporisateur Path_B_Check => Définir Path_B_Failed Réinitialiser Path_A_Request	RESTE A L'ETAT EN COURS
14	PORT_A_ACTIVE, FAULT	Réception du message Path_Check_Response sur le port A => Arrêter le temporisateur Path_A_Check Réinitialiser Path_A_Failed Réinitialiser Path_A_Request	RESTE A L'ETAT EN COURS
15	PORT_B_ACTIVE, FAULT	Réception du message Path_Check_Response sur le port B => Arrêter le temporisateur Path_B_Check Réinitialiser Path_B_Failed Réinitialiser Path_B_Request	RESTE A L'ETAT EN COURS
16	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Définition de Link_A_Active ET Définition de Beacon_A_Received ET Réinitialisation de Path_A_Failed => Réinitialiser Port_A_Failed	RESTE A L'ETAT EN COURS
17	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Réinitialisation de Link_A_Active OU Réinitialisation de Beacon_A_Received OU Définition de Path_A_Failed => Définir Port_A_Failed	RESTE A L'ETAT EN COURS
18	IDLE	Réinitialisation de Port_A_Failed => Envoyer le message Learning_Update sur le port A Démarrer les temporisateurs Node_Receive	PORT_A_ACTIVE

Numéro d'état	Etat en cours	Evénement /Condition => Action	Etat suivant
		Démarrer le temporisateur Active_Port_Swap	
19	PORT_A_ACTIVE	Définition de Port_A_Failed => Arrêter le temporisateur Path_A_Check Réinitialiser Path_A_Request Arrêter les temporisateurs Node_Receive Arrêter le temporisateur Active_Port_Swap	IDLE
20	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Définition de Link_B_Active ET Définition de Beacon_B_Received ET Réinitialisation de Path_B_Failed => Réinitialiser Port_B_Failed	RESTE A L'ETAT EN COURS
21	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Réinitialisation de Link_B_Active OU Réinitialisation de Beacon_B_Received OU Définition de Path_B_Failed => Définir Port_A_Failed	RESTE A L'ETAT EN COURS
22	IDLE	Réinitialisation de Port_B_Failed => Envoyer le message Learning_Update sur le port B Démarrer les temporisateurs Node_Receive Démarrer le temporisateur Active_Port_Swap	PORT_B_ACTIVE
23	PORT_B_ACTIVE	Définition de Port_B_Failed => Arrêter le temporisateur Path_B_Check Réinitialiser Path_B_Request Arrêter les temporisateurs Node_Receive Arrêter le temporisateur Active_Port_Swap	IDLE
24	IDLE	Définition de Port_A_Failed ET Définition de Port_B_Failed	FAULT
25	FAULT	Définition de Link_A_Active ET Définition de Beacon_A_Received ET Définition de Path_A_Failed ET Réinitialisation de Path_A_Request => Définir Path_A_Request Envoyer le message Path_Check_Request sur le port A Démarrer le temporisateur Path_A_Check	FAULT
26	FAULT	Définition de Link_B_Active ET Définition de Beacon_B_Received ET Définition de Path_B_Failed ET Réinitialisation de Path_B_Request	FAULT

Numéro d'état	Etat en cours	Evénement /Condition => Action	Etat suivant
		=> Définir Path_B_Request Envoyer le message Path_Check_Request sur le port B Démarrer le temporisateur Path_B_Check	
27	FAULT	Réinitialisation de Port_A_Failed OU Réinitialisation de Port_B_Failed	IDLE
28	PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Réception du message Path_Check_Request sur le port actif => Envoyer le message Path_Check_Response sur le port actif	RESTE A L'ETAT EN COURS
29	PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Réception d'une trame provenant du nœud de transmission correspondant sur le port actif => Redémarrer le temporisateur Node_Receive associé	RESTE A L'ETAT EN COURS
30	PORT_A_ACTIVE	Expiration du temporisateur Node_Receive => Envoyer le message Failure_Notify sur le port A au nœud de transmission associé Envoyer le message Path_Check_Request sur le port A Définir Path_A_Request Démarrer le temporisateur Path_A_Check	PORT_A_ACTIVE
31	PORT_B_ACTIVE	Expiration du temporisateur Node_Receive => Envoyer le message Failure_Notify sur le port B au nœud de transmission associé Envoyer le message Path_Check_Request sur le port B Définir Path_B_Request Démarrer le temporisateur Path_B_Check	PORT_B_ACTIVE
32	PORT_A_ACTIVE	Expiration du temporisateur Active_Port_Swap ET Réinitialisation de Port_B_Failed => Arrêter le temporisateur Path_A_Check Réinitialiser Path_A_Request Envoyer le message Learning_Update sur le port B Démarrer le temporisateur Active_Port_Swap	PORT_B_ACTIVE
33	PORT_A_ACTIVE	Expiration du temporisateur Active_Port_Swap ET Définition de Port_B_Failed => Démarrer le temporisateur Active_Port_Swap	PORT_A_ACTIVE
34	PORT_B_ACTIVE	Expiration du temporisateur Active_Port_Swap ET Réinitialisation de Port_A_Failed =>	PORT_A_ACTIVE

Numéro d'état	Etat en cours	Evénement /Condition => Action	Etat suivant
		Arrêter le temporisateur Path_B_Check Réinitialiser Path_B_Request Envoyer le message Learning_Update sur le port A Démarrer le temporisateur Active_Port_Swap	
35	PORT_B_ACTIVE	Expiration du temporisateur Active_Port_Swap ET Définition de Port_A_Failed => Démarrer le temporisateur Active_Port_Swap	PORT_B_ACTIVE

7.5 Schéma d'état du nœud d'extrémité balise

Si le nœud d'extrémité est configuré comme un nœud balise, il génère périodiquement des messages balise. Le schéma d'état du nœud d'extrémité balise est présenté à la Figure 6.

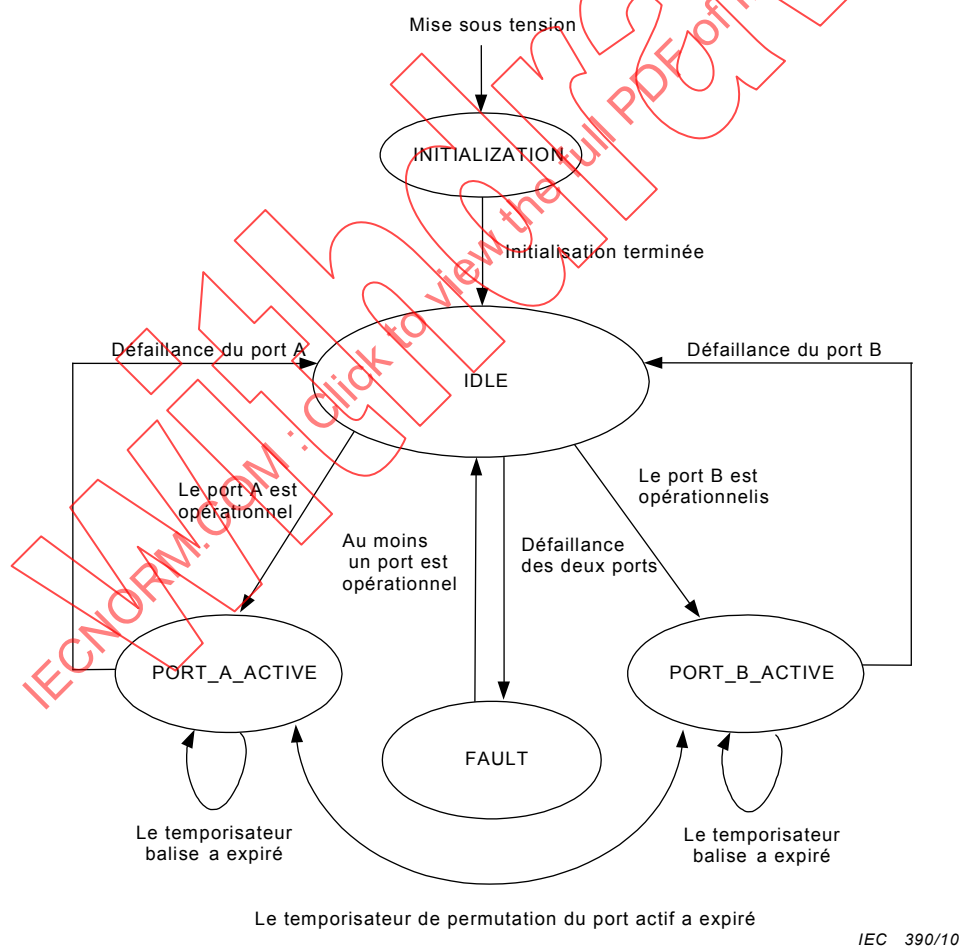


Figure 6 – Schéma d'état BRP du nœud d'extrémité balise

Après la mise sous tension du nœud d'extrémité balise et une fois le processus d'initialisation exécuté (une valeur est attribuée au drapeau Initialization_Completed), le nœud réinitialise le diagramme d'états de protocole et passe à l'état IDLE.

Etant donné que les drapeaux Port_A_Failed et Port_B_Failed étaient à l'origine définis, le nœud passe immédiatement de l'état IDLE à l'état FAULT.

Si une liaison A est active, le nœud repasse de l'état FAULT à l'état IDLE. Ensuite, le nœud génère un message balise sur le port A, démarre le temporisateur balise et passe à l'état PORT_A_ACTIVE.

Le nœud soumet simultanément les ports B et A à essai en exécutant la procédure identique à celle décrite ci-dessus. Si les deux ports sont opérationnels, l'un d'eux peut être sélectionné par défaut.

Si le temporisateur balise expire, le nœud transmet le message balise, redémarre le temporisateur balise et reste à l'état PORT_A_ACTIVE.

A l'état PORT_A_ACTIVE, si la liaison A devient inactive (Link_A_Active est réinitialisé), le nœud définit le drapeau Port_A_Failed, arrête le temporisateur balise et passe à l'état IDLE lorsqu'il tente de basculer vers le port B.

Le port B fonctionne comme le port A.

Si un temporisateur Node_Receive_Timer expire, le nœud d'extrémité balise de réception envoie un message Failure_Notify au nœud d'extrémité émetteur associé et envoie un message Path_Check_Request sur son port actif à l'ensemble de nœuds d'extrémité désigné. Lorsque le nœud d'extrémité émetteur reçoit le message Failure_Notify, il tente de vérifier la voie de transmission (voir 7.4).

Lorsque le nœud d'extrémité balise reçoit le message Failure_Notify, il tente de vérifier la voie de transmission sur son port actif en envoyant un message Path_Check_Request sur ce port à l'ensemble de nœuds désigné. Lorsque l'ensemble de nœuds désigné reçoit ce message, il répond par un message Path_Check_Response.

Si le message Path_Check_Request reste sans réponse (le temporisateur Path_A_Check/Path_B_Check a expiré), le nœud définit les drapeaux Path_A_Failed/Path_B_Failed et Port_A_Failed/Port_B_Failed, puis passe à l'état IDLE, dans lequel il tente de basculer vers le port B/A.

Si les deux ports sont défaillants, le nœud passe de l'état IDLE à l'état FAULT et y reste tant que l'un des deux ports n'est pas opérationnel. A l'état FAULT, un nœud surveille en permanence l'état de la liaison (drapeaux Link_A_Active/Link_B_Active). Si les drapeaux Path_A_Failed et/ou Path_B_Failed ont été définis, le nœud envoie également le message Path_Check_Request et surveille l'arrivée du message Path_Check_Response pour les ports correspondants. Lorsque l'un des ports devient opérationnel (Port_A_Failed/Port_B_Failed est réinitialisé), le nœud revient à l'état IDLE, puis à PORT_A_ACTIVE/PORT_B_ACTIVE selon le cas.

Lorsqu'un nœud reçoit un message Path_Check_Request à l'état PORT_A_ACTIVE ou PORT_B_ACTIVE, il répond par le message Path_Check_Response et reste à l'état en cours.

A l'état PORT_A_ACTIVE/PORT_B_ACTIVE et à l'expiration du temporisateur Active_Port_Swap, le nœud passe à l'état PORT_B_ACTIVE/PORT_A_ACTIVE, à condition que PORT_B_FAILED/PORT_A_FAILED ne soit pas défini.

La période de temporisateur No_Beacon est un paramètre de configuration sélectionné pour un système particulier. La valeur par défaut obligatoire de la période balise est de 450 µs, donnant lieu à la valeur par défaut de 950 µs pour la période No_Beacon. Le délai est choisi de manière à devoir perdre au moins deux messages balise provenant de chaque nœud d'extrémité balise avant de déclarer une défaillance sur un port.

Un nœud d'extrémité balise BRP doit pouvoir diffuser le message balise toutes les 450 ms par son port actif.

Les périodes de temporisateur Path_A_Check et Path_B_Check sont des paramètres de configuration sélectionnés pour un système particulier. La valeur par défaut obligatoire est 2 ms.

La période de temporisateur Active_Port_Swap est un paramètre de configuration sélectionné pour un système particulier. La valeur par défaut obligatoire est 1 h.

Le Tableau 3 spécifie les drapeaux utilisés dans le diagramme d'états de nœud d'extrémité balise BRP.

Tableau 3 – Drapeaux de nœud d'extrémité balise BRP

Nom	Description	Type de données
Initialization_Completed	Indique que l'initialisation a abouti	BOOL.
Link_A_Active	Indique l'état de la liaison de couche physique sur le port A	BOOL.
Path_A_Failed	Indique si le message Path_Check_Response a été reçu en réponse au message Path_Check_Request sur le port A	BOOL.
Link_B_Active	Indique l'état de la liaison de couche physique sur le port B	BOOL.
Path_B_Failed	Indique si le message Path_Check_Response a été reçu en réponse au message Path_Check_Request sur le port B	BOOL.
Path_A_Request	Indique si le message Path_Check_Request a été envoyé sur le port A	BOOL.
Path_B_Request	Indique si le message Path_Check_Request a été envoyé sur le port B	BOOL.
Port_A_Failed	Indique si le port A a fait l'objet d'une défaillance	BOOL.
Port_B_Failed	Indique si le port B a fait l'objet d'une défaillance	BOOL.

Le Tableau 4 spécifie la table des transitions d'état du nœud d'extrémité balise BRP.

Tableau 4 – Table des transitions d'état du nœud d'extrémité balise BRP

Numéro d'état	Etat en cours	Evénement /Condition => Action	Etat suivant
1	INITIALIZATION	Initialisation terminée => Définir Initialization_Completed Réinitialiser Link_A_Active Réinitialiser Path_A_Failed Arrêter le temporisateur Path_A_Check, réinitialiser Path_A_Request Réinitialiser Link_B_Active Réinitialiser Path_B_Failed Arrêter le temporisateur Path_B_Check Réinitialiser Path_B_Request Définir Port_A_Failed Définir Port_B_Failed Arrêter les temporisateurs Node_Receive Arrêter le temporisateur Active_Port_Swap	IDLE
2	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Etat de passage de la liaison du port A => définir Link_A_Active	RESTE A L'ETAT EN COURS
3	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Etat de défaillance de la liaison du port A => Réinitialiser Link_A_Active	RESTE A L'ETAT EN COURS
4	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Etat de passage de la liaison du port B => définir Link_B_Active	RESTE A L'ETAT EN COURS
5	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Etat de défaillance de la liaison du port B => Réinitialiser Link_B_Active	RESTE A L'ETAT EN COURS
6	PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Réception d'une trame provenant du nœud de transmission correspondant sur le port actif => Redémarrer le temporisateur Node_Receive associé	RESTE A L'ETAT EN COURS
7	PORT_A_ACTIVE	Expiration du temporisateur Node_Receive => Envoyer le message Failure_Notify sur le port A au nœud de transmission associé Envoyer le message Path_Check_Request sur le port A Définir Path_A_Request Démarrer le temporisateur Path_A_Check	PORT_A_ACTIVE
8	PORT_B_ACTIVE	Expiration du temporisateur Node_Receive => Envoyer le message Failure_Notify sur le port B au nœud de transmission associé Envoyer le message Path_Check_Request sur le port B Définir Path_B_Request	PORT_B_ACTIVE

Numéro d'état	Etat en cours	Evénement /Condition => Action	Etat suivant
		Démarrer le temporisateur Path_B_Check	
9	PORT_A_ACTIVE	Réception du message Failure_Notify => Envoyer le message Path_Check_Request sur le port A Définir Path_A_Request Démarrer le temporisateur Path_A_Check	PORT_A_ACTIVE
10	PORT_B_ACTIVE	Réception du message Failure_Notify => Envoyer le message Path_Check_Request sur le port B Définir Path_B_Request Démarrer le temporisateur Path_B_Check	PORT_B_ACTIVE
11	PORT_A_ACTIVE, FAULT	Expiration du temporisateur Path_A_Check => Définir Path_A_Failed Réinitialiser Path_A_Request	RESTE A L'ETAT EN COURS
12	PORT_B_ACTIVE, FAULT	Expiration du temporisateur Path_B_Check => Définir Path_B_Failed Réinitialiser Path_A_Request	RESTE A L'ETAT EN COURS
13	PORT_A_ACTIVE, FAULT	Réception du message Path_Check_Response sur le port A => Arrêter le temporisateur Path_A_Check Réinitialiser Path_A_Failed Réinitialiser Path_A_Request	RESTE A L'ETAT EN COURS
14	PORT_B_ACTIVE, FAULT	Réception du message Path_Check_Response sur le port B => Arrêter le temporisateur Path_B_Check Réinitialiser Path_B_Failed Réinitialiser Path_B_Request	RESTE A L'ETAT EN COURS
15	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Définition de Link_A_Active ET Réinitialisation de Path_A_Failed => Réinitialiser Port_A_Failed	RESTE A L'ETAT EN COURS
16	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Réinitialisation de Link_A_Active OU Définition de Path_A_Failed => Définir Port_A_Failed	RESTE A L'ETAT EN COURS
17	IDLE	Réinitialisation de Port_A_Failed => Envoyer le message balise sur le port A Démarrer le temporisateur balise Démarrer les temporisateurs Node_Receive	PORT_A_ACTIVE

Numéro d'état	Etat en cours	Evénement /Condition => Action	Etat suivant
		Démarrer le temporisateur Active_Port_Swap	
18	PORT_A_ACTIVE	Définition de Port_A_Failed => Arrêter le temporisateur balise Arrêter le temporisateur Path_A_Check Réinitialiser Path_A_Request Arrêter les temporisateurs Node_Receive Arrêter le temporisateur Active_Port_Swap	IDLE
19	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Définition de Link_B_Active ET Réinitialisation de Path_B_Failed => Réinitialiser Port_B_Failed	RESTE A L'ETAT EN COURS
20	IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE	Réinitialisation de Link_B_Active OU Définition de Path_B_Failed => Définir Port_A_Failed	RESTE A L'ETAT EN COURS
21	IDLE	Réinitialisation de Port_B_Failed => Envoyer le message balise sur le port B Démarrer le temporisateur balise Démarrer les temporisateurs Node_Receive Démarrer le temporisateur Active_Port_Swap	PORT_B_ACTIVE
22	PORT_B_ACTIVE	Définition de Port_B_Failed => Arrêter le temporisateur balise Arrêter le temporisateur Path_B_Check Réinitialiser Path_B_Request Arrêter les temporisateurs Node_Receive Arrêter le temporisateur Active_Port_Swap	IDLE
23	IDLE	Définition de Port_A_Failed ET Définition de Port_B_Failed	FAULT
24	FAULT	Définition de Link_A_Active ET Définition de Path_A_Failed ET Réinitialisation de Path_A_Request => Définir Path_A_Request Envoyer le message Path_Check_Request sur le port A Démarrer le temporisateur Path_A_Check	FAULT
25	FAULT	Définition de Link_B_Active ET Définition de Path_B_Failed ET Réinitialisation de Path_B_Request => Définir Path_B_Request	FAULT