

# 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](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://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](http://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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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](http://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](http://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](http://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](mailto: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](http://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](http://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](http://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](http://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](mailto: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](http://www.iso.org/patents)) and IEC ([http://www.iec.ch/tctools/patent\\_decl.htm](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.

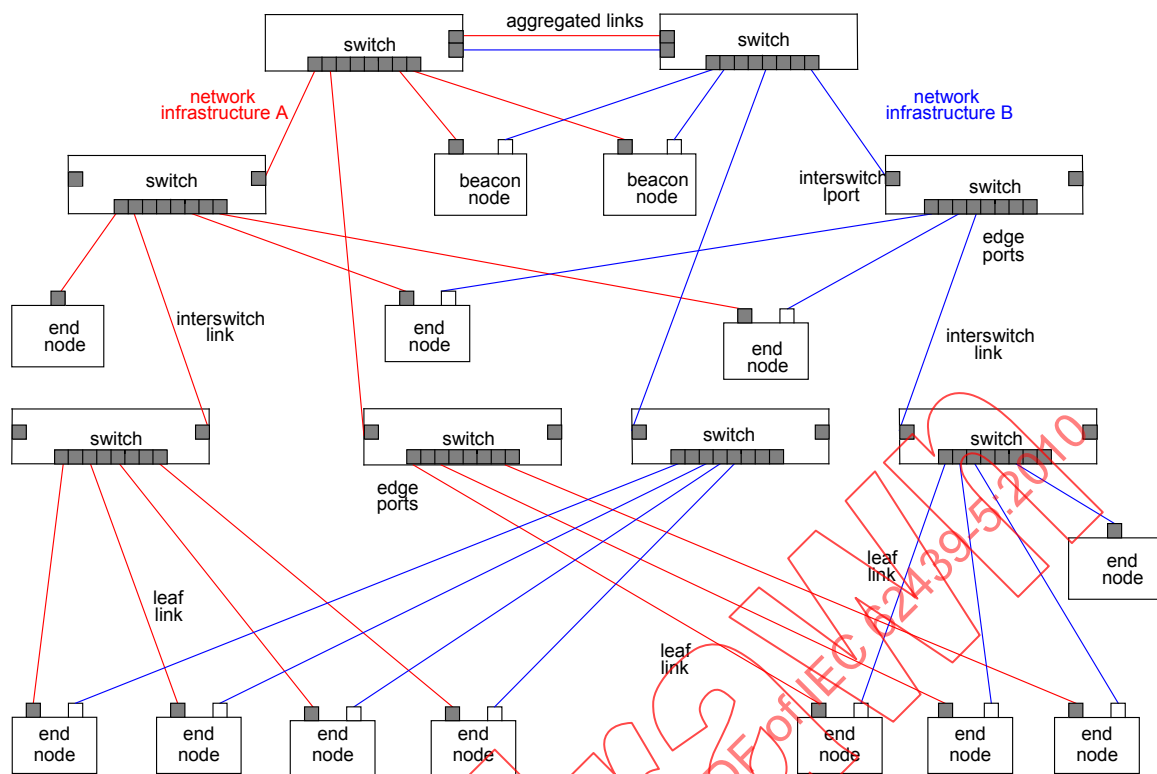
## 5 BRP principle of operation

### 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.

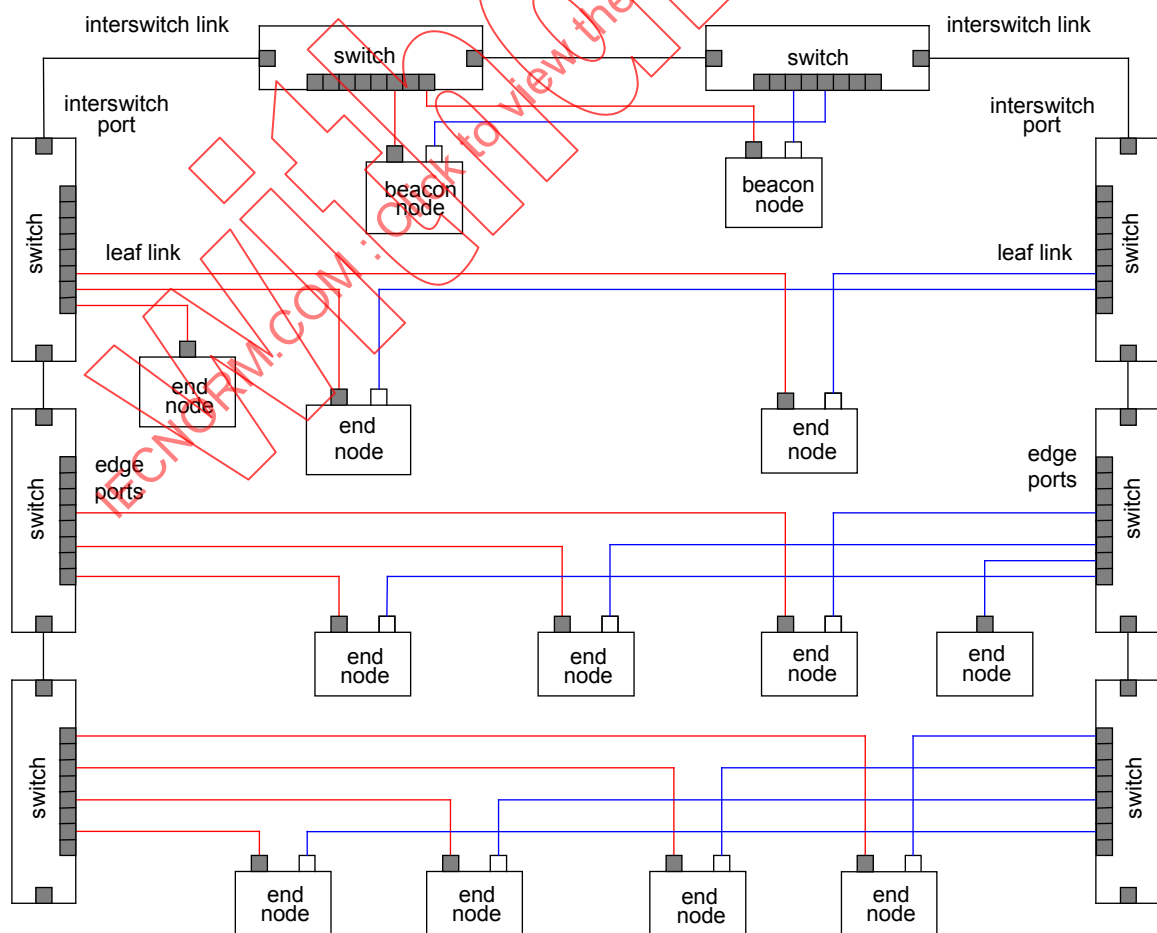
### 5.2 Network topology

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.



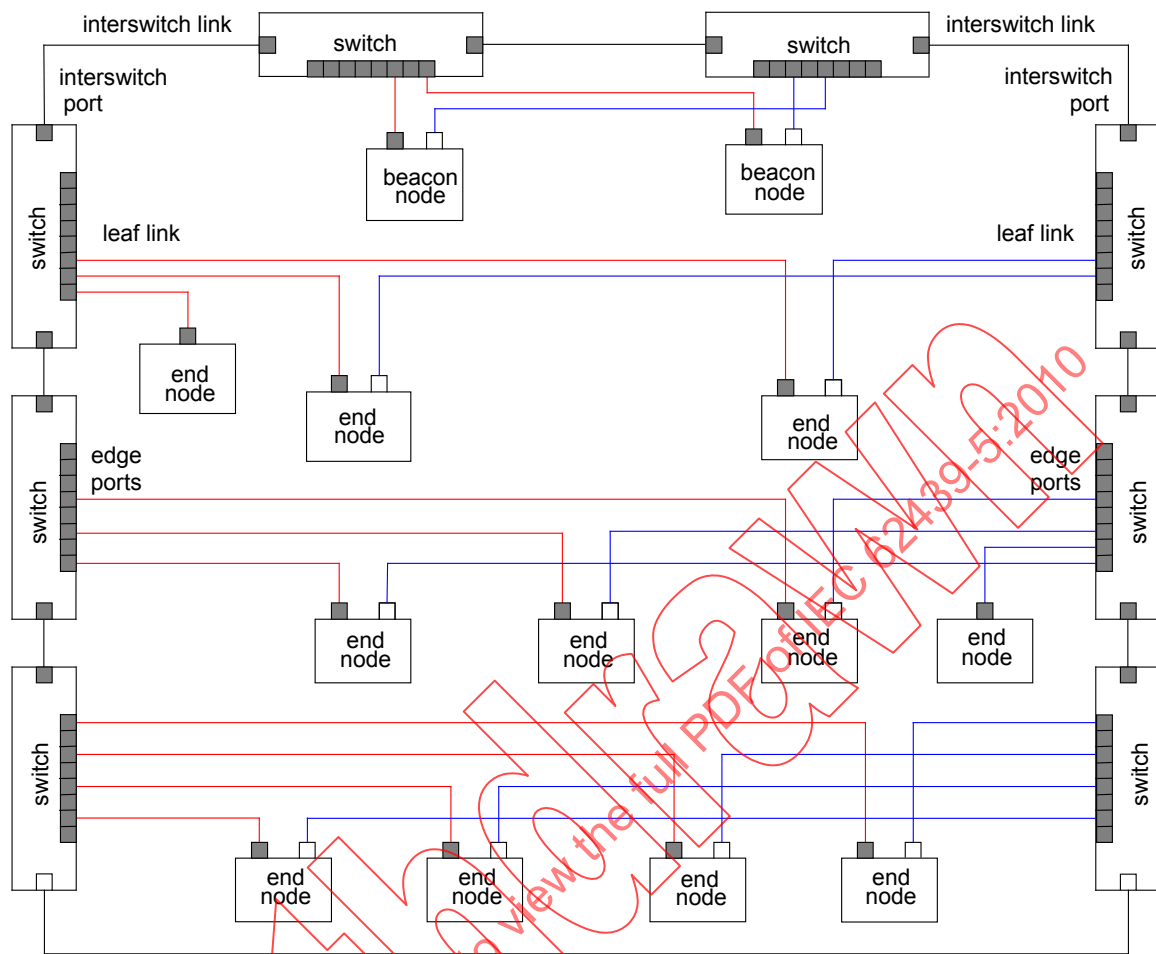
IEC 385/10

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.

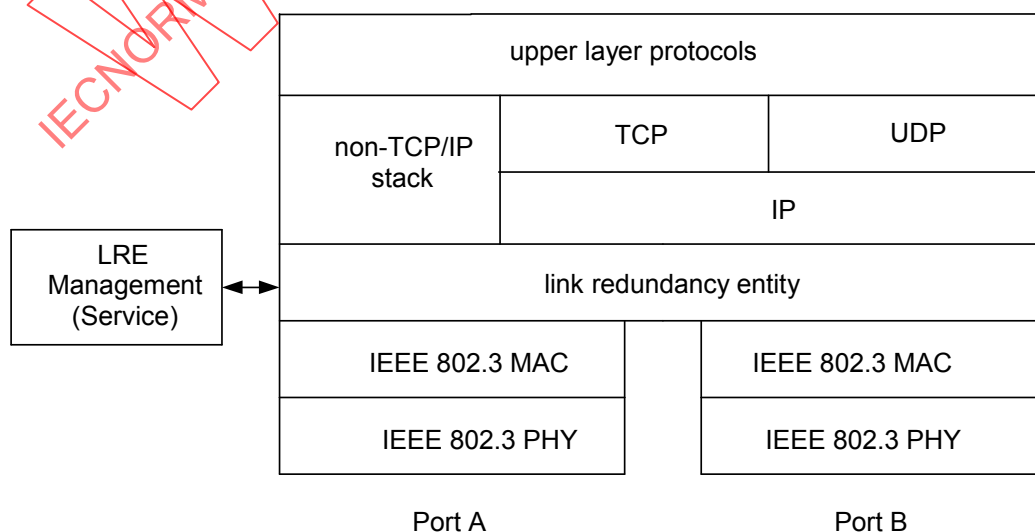


Figure 4 – BRP stack architecture

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.

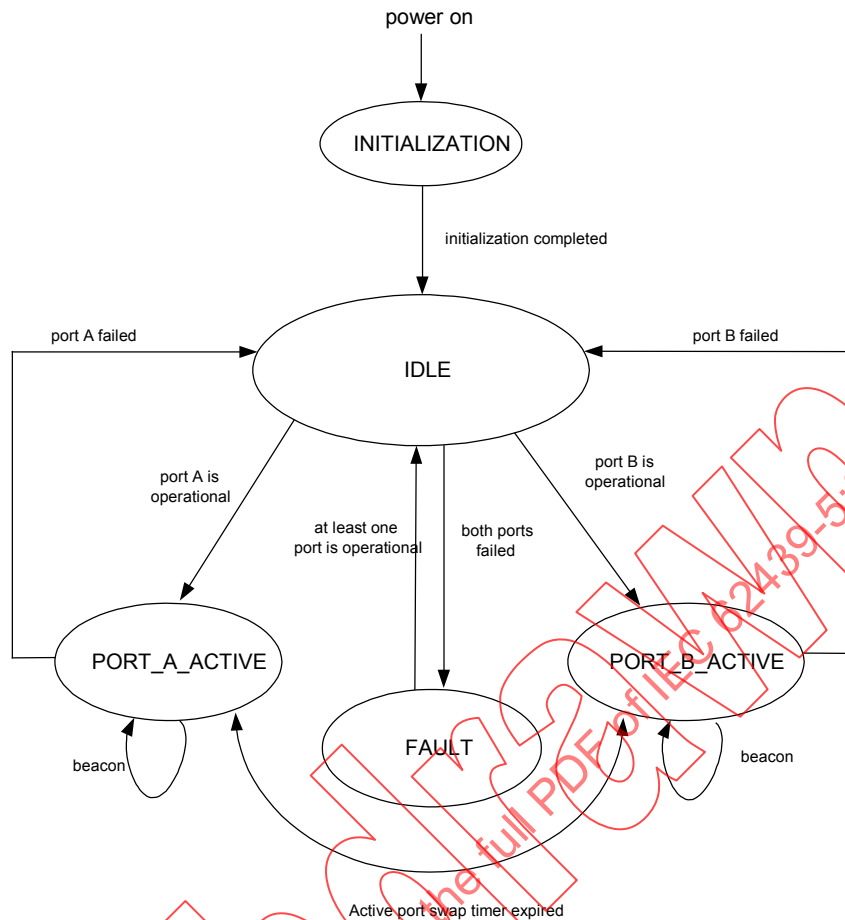
### **7.3 Fault detection mechanisms**

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.



IEC 389/10

**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  $\mu$ s, resulting in the default value of the No\_Beacon period of 950  $\mu$ 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<br>=>Action                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Next state            |
|--------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1            | INITIALIZATION                                  | <b>Initialization is completed</b><br>=><br>Set Initialization_Completed<br>Reset Link_A_Active<br>Reset Beacon_A_Received<br>Stop No_Beacon_A timer<br>Reset Path_A_Failed<br>Stop Path_A_Check timer, reset Path_A_Request<br>Reset Link_B_Active<br>Reset Beacon_B_Received<br>Stop No_Beacon_B timer<br>Reset Path_B_Failed<br>Stop Path_B_Check timer<br>Reset Path_B_Request<br>Set Port_A_Failed<br>Set Port_B_Failed<br>Stop Node_Receive timers<br>Stop Active_Port_Swap timer | IDLE                  |
| 2            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE | <b>Port A link pass status</b><br>=><br>Set Link_A_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | STAY IN CURRENT STATE |
| 3            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE | <b>Port A link fail status</b><br>=><br>Reset Link_A_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | STAY IN CURRENT STATE |
| 4            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE | <b>Port B link pass status</b><br>=><br>Set Link_B_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | STAY IN CURRENT STATE |
| 5            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE | <b>Port B link fail status</b><br>=><br>Reset Link_B_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | STAY IN CURRENT STATE |
| 6            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE | <b>Beacon message received on port A</b><br>=><br>Set Beacon_A_Received<br>Start No_Beacon_A timer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | STAY IN CURRENT STATE |
| 7            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE | <b>No_Beacon_A timer expired</b><br>=><br>Reset Beacon_A_Received                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | STAY IN CURRENT STATE |
| 8            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE | <b>Beacon message received on port B</b><br>=><br>Set Beacon_B_Received<br>Start No_Beacon_B timer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | STAY IN CURRENT STATE |
| 9            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,                  | <b>No_Beacon_B timer expired</b><br>=>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | STAY IN CURRENT STATE |

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

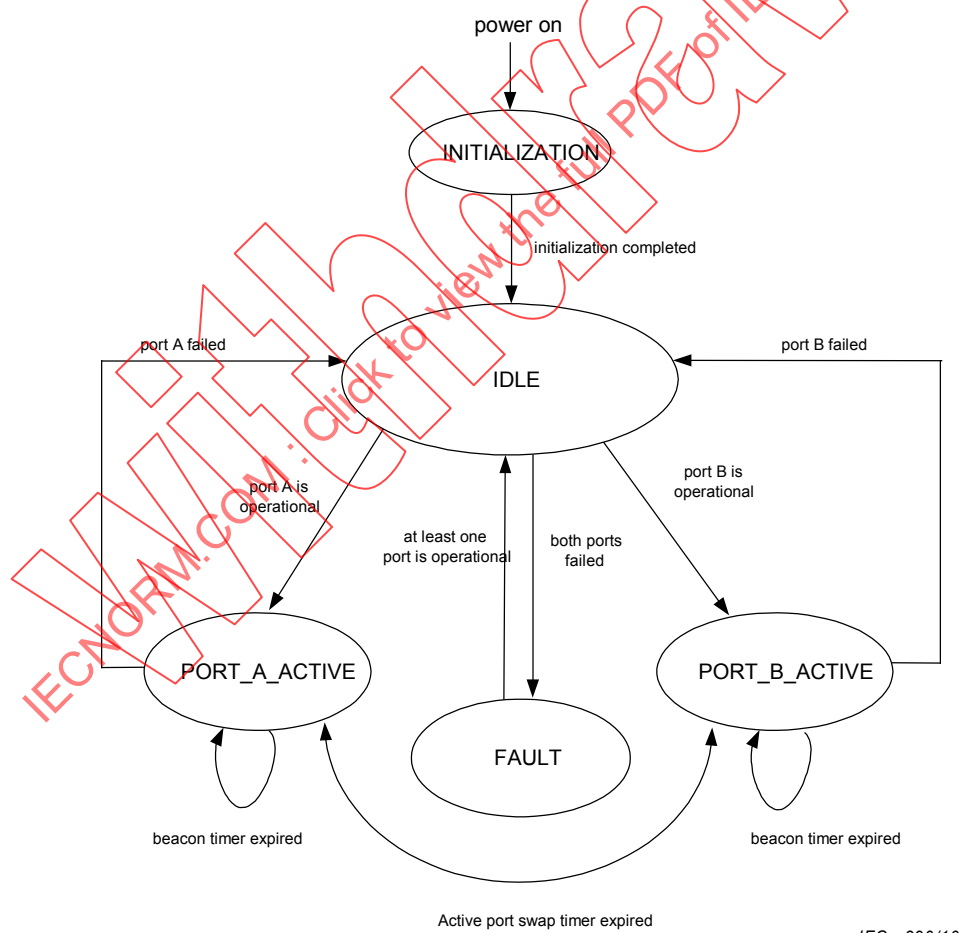
| State number | Current state                                   | Event /Condition<br>=>Action                                                                                                                                                                                                             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

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

| State number | Current state | Event /Condition<br>=>Action                                                                                             | Next state    |
|--------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|              |               | Reset Path_B_Request<br>Send Learning_Update message on port A<br>Start Active_Port_Swap timer                           |               |
| 35           | PORT_B_ACTIVE | <b>Active_Port_Swap timer expired</b><br><b>AND</b><br><b>Port_A_Failed is set</b><br>=><br>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  $\mu$ s resulting in the default value of the No\_Beacon period of 950  $\mu$ 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<br>=>Action                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Next state            |
|--------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1            | INITIALIZATION                                  | <b>Initialization is completed</b><br>=><br>Set Initialization_Completed<br>Reset Link_A_Active<br>Reset Path_A_Failed<br>Stop Path_A_Check timer Reset Path_A_Request<br>Reset Link_B_Active<br>Reset Path_B_Failed<br>Stop Path_B_Check timer<br>Reset Path_B_Request<br>Set Port_A_Failed<br>Set Port_B_Failed<br>Stop Node_Receive timers<br>Stop Active_Port_Swap timer | IDLE                  |
| 2            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE | <b>Port A link pass status</b><br>=><br>Set Link_A_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | STAY IN CURRENT STATE |
| 3            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE | <b>Port A link fail status</b><br>=><br>Reset Link_A_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | STAY IN CURRENT STATE |
| 4            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE | <b>Port B link pass status</b><br>=><br>Set Link_B_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | STAY IN CURRENT STATE |
| 5            | IDLE, FAULT,<br>PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE | <b>Port B link fail status</b><br>=><br>Reset Link_B_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | STAY IN CURRENT STATE |
| 6            | PORT_A_ACTIVE,<br>PORT_B_ACTIVE                 | <b>Frame received from transmit node of interest on active port</b><br>=><br>Restart associated Node_Receive timer                                                                                                                                                                                                                                                           | STAY IN CURRENT STATE |
| 7            | PORT_A_ACTIVE                                   | <b>Node_Receive timer expired</b><br>=><br>Send Failure_Notify message on port A to associated transmit node<br>Send Path_Check_Request message on port A<br>Set Path_A_Request<br>Start Path_A_Check timer                                                                                                                                                                  | PORT_A_ACTIVE         |
| 8            | PORT_B_ACTIVE                                   | <b>Node_Receive timer expired</b><br>=><br>Send Failure_Notify message on port B to associated transmit node<br>Send Path_Check_Request message on port B<br>Set Path_B_Request<br>Start Path_B_Check timer                                                                                                                                                                  | PORT_B_ACTIVE         |

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

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

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

The Failure\_Notify message size is 68 octets, its transmit time plus inter-frame gap time is about 8  $\mu$ s.

Assuming the worst case message queuing in the switch, the Failure\_Notify message delay in each switch is:

$$124 \mu\text{s} + 8 \mu\text{s} = 132 \mu\text{s}.$$

The total delay of the Failure\_Notify message travelling through the longest path of the network infrastructure is:

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

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*

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](http://www.iso.org/patents)) et la CEI ([http://www.iec.ch/tctools/patent\\_decl.htm](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.

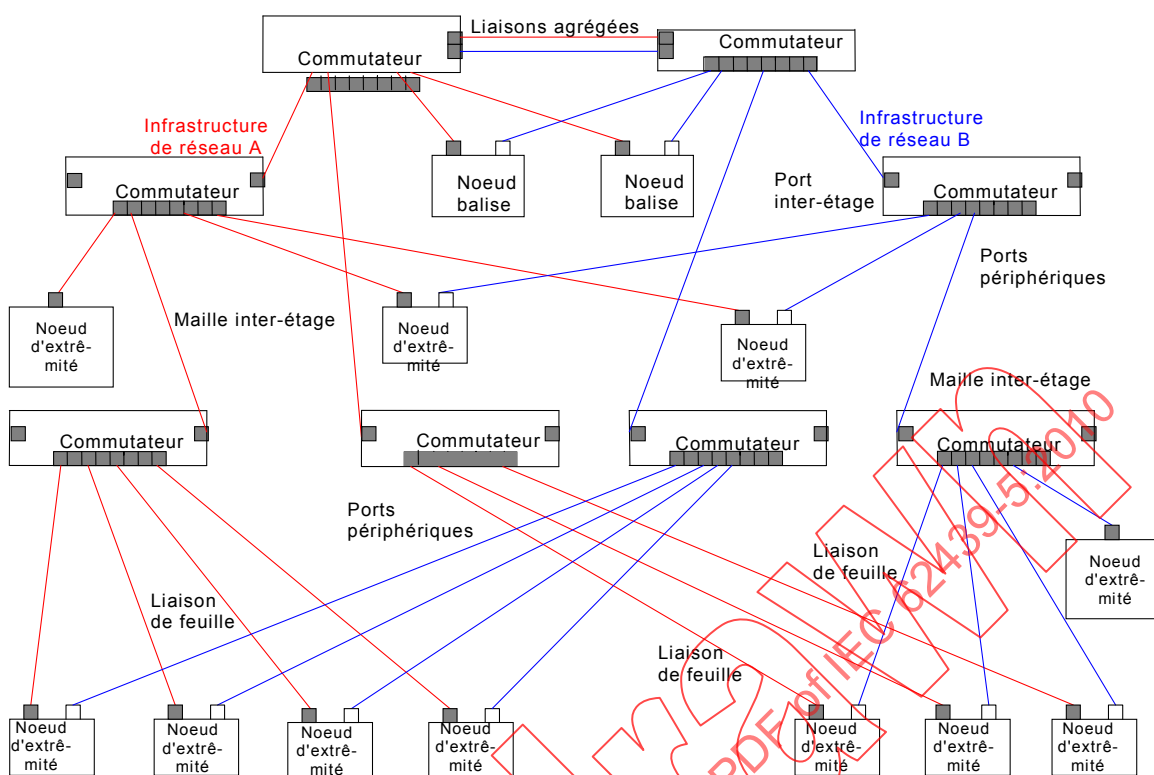
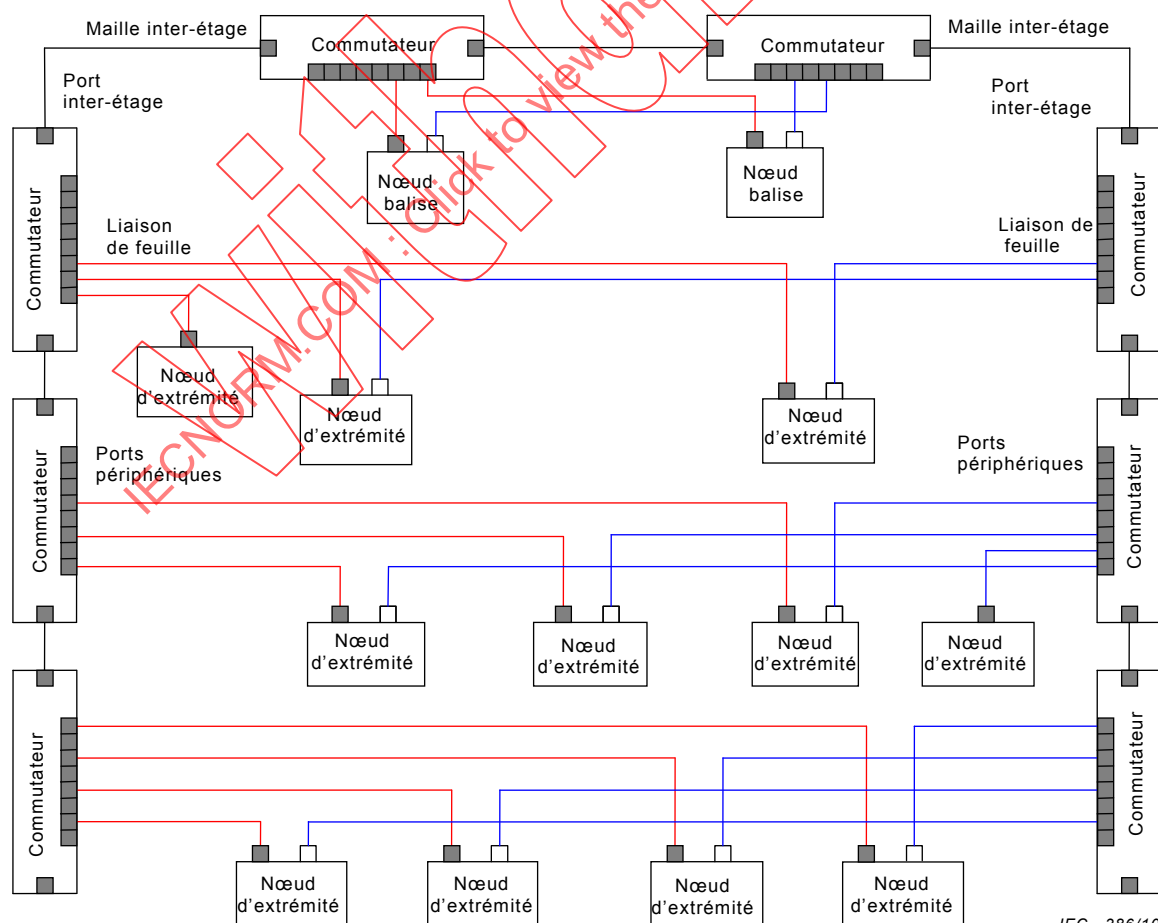


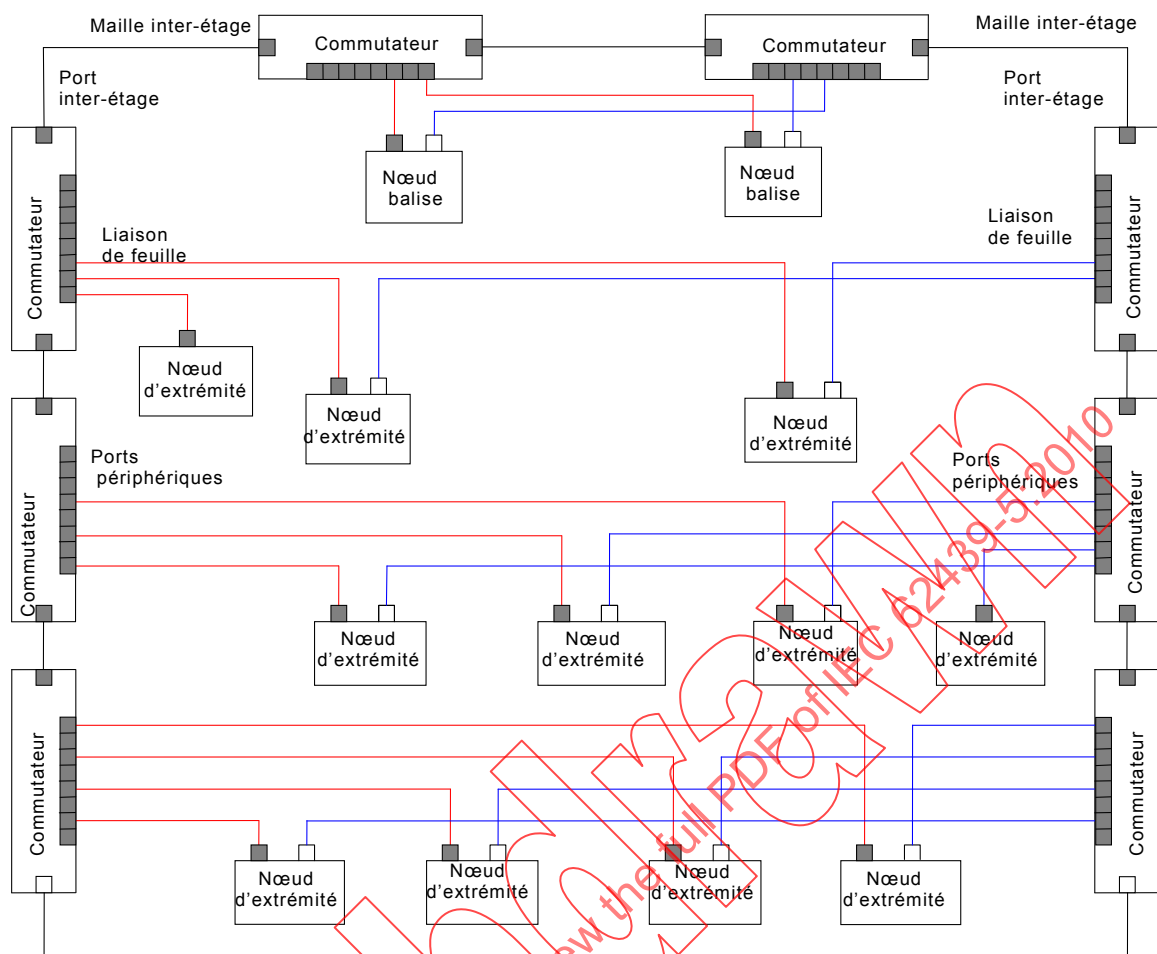
Figure 1 – Exemple de réseau BRP en étoile

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**

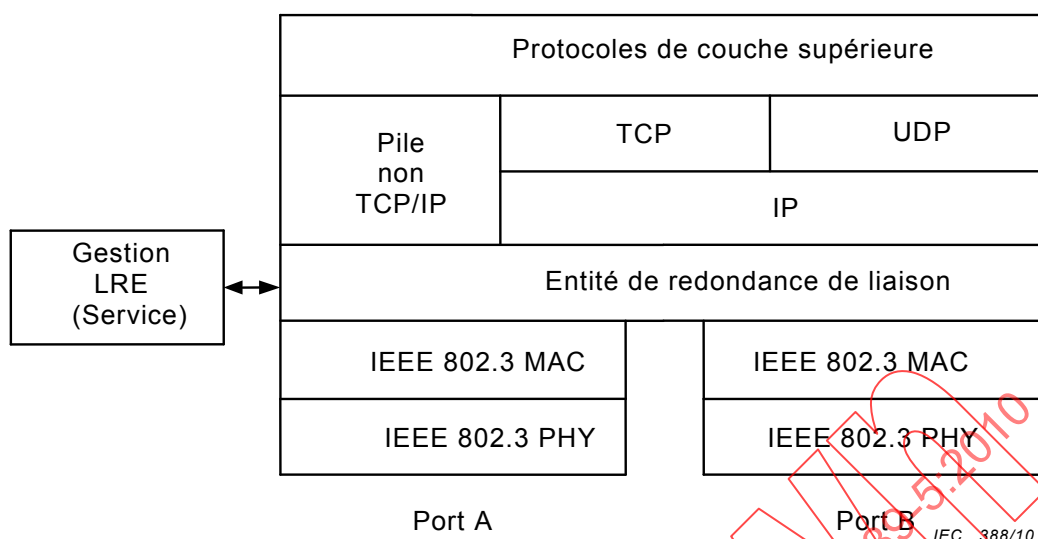
Pour procéder à une rapide reconfiguration, les fonctions de contrôle multidiffusion des commutateurs doivent être désactivées. Le trafic multidiffusion est donc traité comme le trafic de diffusion.

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

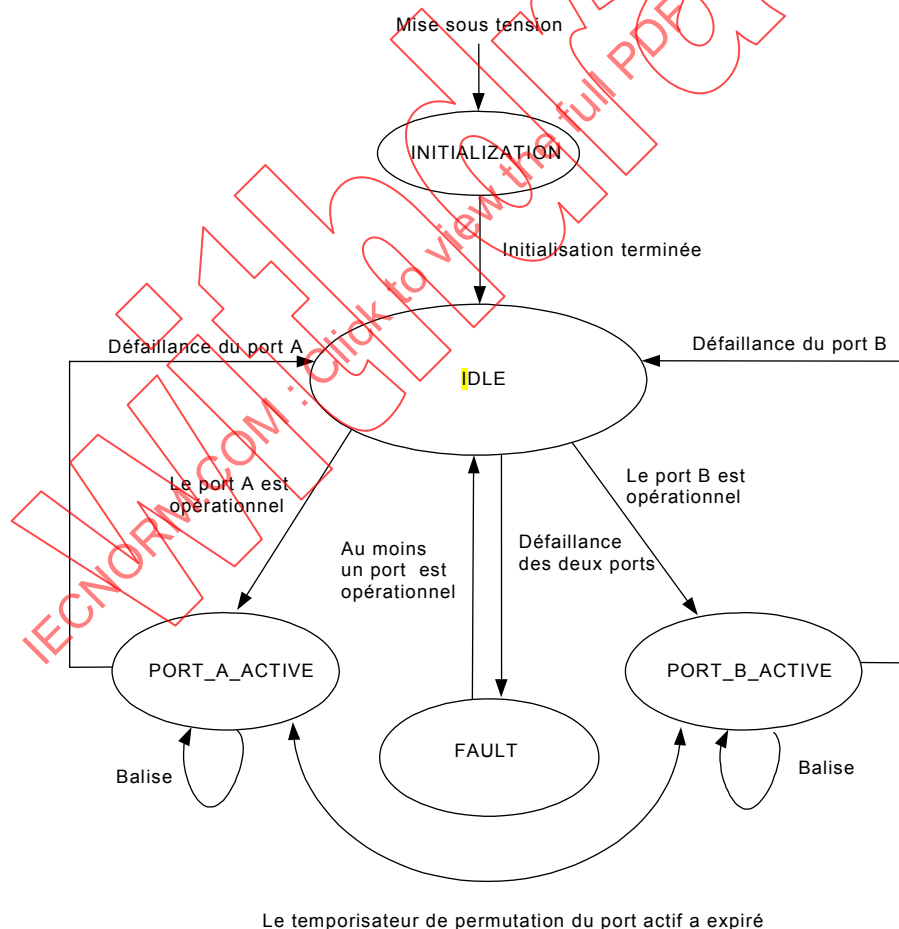
Il s'agit d'utiliser le mécanisme de transmission des messages balise.

- 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                            | <b>Initialisation terminée</b><br>=><br>Définir Initialization_Completed<br>Réinitialiser Link_A_Active<br>Réinitialiser Beacon_A_Received<br>Arrêter le temporisateur No_Beacon_A<br>Réinitialiser Path_A_Failed<br>Arrêter le temporisateur Path_A_Check, réinitialiser Path_A_Request<br>Réinitialiser Link_B_Active<br>Réinitialiser Beacon_B_Received<br>Arrêter le temporisateur No_Beacon_B<br>Réinitialiser Path_B_Failed<br>Arrêter le temporisateur Path_B_Check timer<br>Réinitialiser Path_B_Request<br>Définir Port_A_Failed<br>Définir Port_B_Failed<br>Arrêter les temporisateurs Node_Receive<br>Arrêter le temporisateur Active_Port_Swap | IDLE                    |
| 2             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Etat de passage de la liaison du port A</b><br>=><br>définir Link_A_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 3             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Etat de défaillance de la liaison du port A</b><br>=><br>Réinitialiser Link_A_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 4             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Etat de passage de la liaison du port B</b><br>=><br>définir Link_B_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 5             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Etat de défaillance de la liaison du port B</b><br>=><br>Réinitialiser Link_B_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 6             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Message balise reçu sur le port A</b><br>=><br>Définir Beacon_A_Received<br>Démarrer le temporisateur No_Beacon_A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 7             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Expiration du temporisateur No_Beacon_A</b><br>=><br>Réinitialiser Beacon_A_Received                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 8             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Message balise reçu sur le port B</b><br>=><br>Définir Beacon_B_Received<br>Démarrer le temporisateur No_Beacon_B                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 9             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE,               | <b>Expiration du temporisateur No_Beacon_B</b><br>=>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 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                             | <b>Réception du message Failure_Notify</b><br>=><br>Envoyer le message Path_Check_Request sur le port A<br>Définir Path_A_Request<br>Démarrer le temporisateur Path_A_Check             | PORT_A_ACTIVE           |
| 11            | PORT_B_ACTIVE                             | <b>Réception du message Failure_Notify</b><br>=><br>Envoyer le message Path_Check_Request sur le port B<br>Définir Path_B_Request<br>Démarrer le temporisateur Path_B_Check             | PORT_B_ACTIVE           |
| 12            | PORT_A_ACTIVE, FAULT                      | <b>Expiration du temporisateur Path_A_Check</b><br>=><br>Définir Path_A_Failed<br>Réinitialiser Path_A_Request                                                                          | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 13            | PORT_B_ACTIVE, FAULT                      | <b>Expiration du temporisateur Path_B_Check</b><br>=><br>Définir Path_B_Failed<br>Réinitialiser Path_A_Request                                                                          | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 14            | PORT_A_ACTIVE, FAULT                      | <b>Réception du message Path_Check_Response sur le port A</b><br>=><br>Arrêter le temporisateur Path_A_Check<br>Réinitialiser Path_A_Failed<br>Réinitialiser Path_A_Request             | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 15            | PORT_B_ACTIVE, FAULT                      | <b>Réception du message Path_Check_Response sur le port B</b><br>=><br>Arrêter le temporisateur Path_B_Check<br>Réinitialiser Path_B_Failed<br>Réinitialiser Path_B_Request             | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 16            | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Définition de Link_A_Active</b><br><b>ET</b><br><b>Définition de Beacon_A_Received</b><br><b>ET</b><br><b>Réinitialisation de Path_A_Failed</b><br>=><br>Réinitialiser Port_A_Failed | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 17            | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Réinitialisation de Link_A_Active</b><br><b>OU</b><br><b>Réinitialisation de Beacon_A_Received</b><br><b>OU</b><br><b>Définition de Path_A_Failed</b><br>=><br>Définir Port_A_Failed | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 18            | IDLE                                      | <b>Réinitialisation de Port_A_Failed</b><br>=><br>Envoyer le message Learning_Update sur le port A<br>Démarrer les temporisateurs Node_Receive                                          | PORT_A_ACTIVE           |

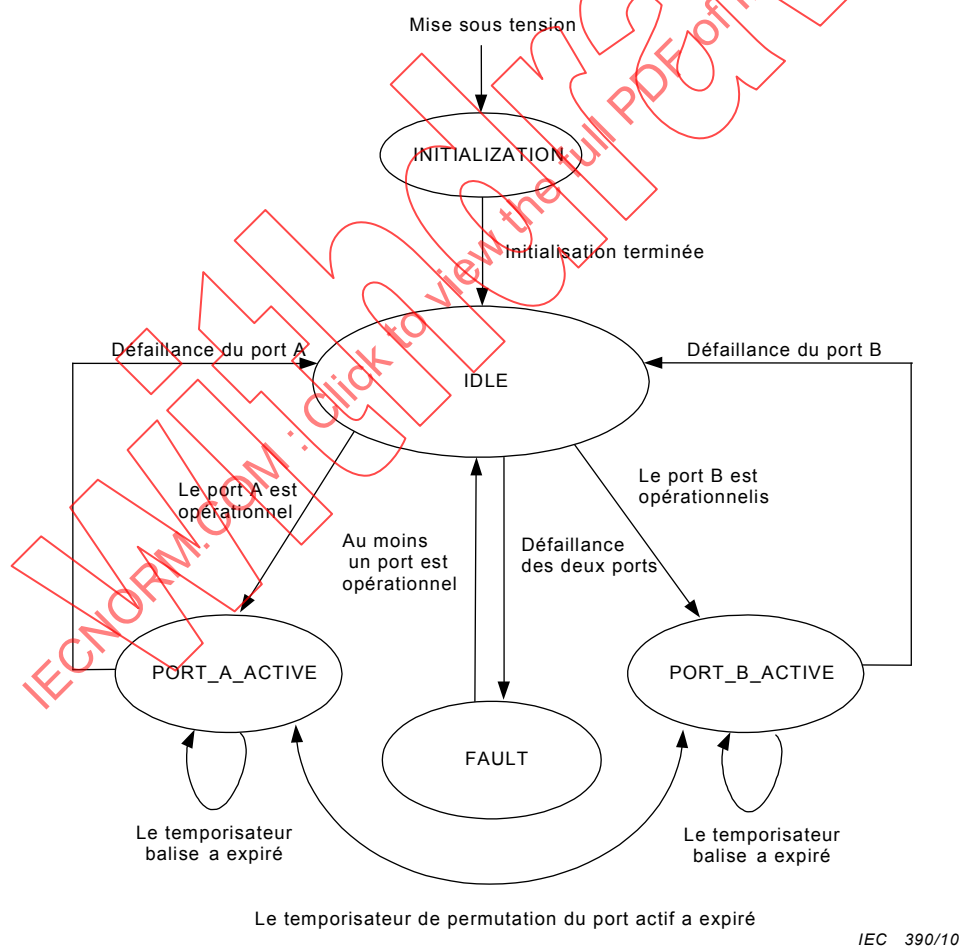
| Numéro d'état | Etat en cours                             | Evénement /Condition => Action                                                                                                                                                                                                                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

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

| Numéro d'état | Etat en cours | Evénement /Condition => Action                                                                                                                                          | Etat suivant  |
|---------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|               |               | Arrêter le temporisateur Path_B_Check<br>Réinitialiser Path_B_Request<br>Envoyer le message Learning_Update sur le port A<br>Démarrer le temporisateur Active_Port_Swap |               |
| 35            | PORT_B_ACTIVE | <b>Expiration du temporisateur Active_Port_Swap</b><br><b>ET</b><br><b>Définition de Port_A_Failed</b><br>=><br>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                            | <b>Initialisation terminée</b><br>=><br>Définir Initialization_Completed<br>Réinitialiser Link_A_Active<br>Réinitialiser Path_A_Failed<br>Arrêter le temporisateur Path_A_Check, réinitialiser Path_A_Request<br>Réinitialiser Link_B_Active<br>Réinitialiser Path_B_Failed<br>Arrêter le temporisateur Path_B_Check<br>Réinitialiser Path_B_Request<br>Définir Port_A_Failed<br>Définir Port_B_Failed<br>Arrêter les temporisateurs Node_Receive<br>Arrêter le temporisateur Active_Port_Swap | IDLE                    |
| 2             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Etat de passage de la liaison du port A</b><br>=><br>définir Link_A_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 3             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Etat de défaillance de la liaison du port A</b><br>=><br>Réinitialiser Link_A_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 4             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Etat de passage de la liaison du port B</b><br>=><br>définir Link_B_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 5             | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Etat de défaillance de la liaison du port B</b><br>=><br>Réinitialiser Link_B_Active                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 6             | PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE              | <b>Réception d'une trame provenant du nœud de transmission correspondant sur le port actif</b><br>=><br>Redémarrer le temporisateur Node_Receive associé                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 7             | PORT_A_ACTIVE                             | <b>Expiration du temporisateur Node_Receive</b><br>=><br>Envoyer le message Failure_Notify sur le port A au nœud de transmission associé<br>Envoyer le message Path_Check_Request sur le port A<br>Définir Path_A_Request<br>Démarrer le temporisateur Path_A_Check                                                                                                                                                                                                                            | PORT_A_ACTIVE           |
| 8             | PORT_B_ACTIVE                             | <b>Expiration du temporisateur Node_Receive</b><br>=><br>Envoyer le message Failure_Notify sur le port B au nœud de transmission associé<br>Envoyer le message Path_Check_Request sur le port B<br>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                             | <b>Réception du message Failure_Notify</b><br>=><br>Envoyer le message Path_Check_Request sur le port A<br>Définir Path_A_Request<br>Démarrer le temporisateur Path_A_Check | PORT_A_ACTIVE           |
| 10            | PORT_B_ACTIVE                             | <b>Réception du message Failure_Notify</b><br>=><br>Envoyer le message Path_Check_Request sur le port B<br>Définir Path_B_Request<br>Démarrer le temporisateur Path_B_Check | PORT_B_ACTIVE           |
| 11            | PORT_A_ACTIVE, FAULT                      | <b>Expiration du temporisateur Path_A_Check</b><br>=><br>Définir Path_A_Failed<br>Réinitialiser Path_A_Request                                                              | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 12            | PORT_B_ACTIVE, FAULT                      | <b>Expiration du temporisateur Path_B_Check</b><br>=><br>Définir Path_B_Failed<br>Réinitialiser Path_A_Request                                                              | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 13            | PORT_A_ACTIVE, FAULT                      | <b>Réception du message Path_Check_Response sur le port A</b><br>=><br>Arrêter le temporisateur Path_A_Check<br>Réinitialiser Path_A_Failed<br>Réinitialiser Path_A_Request | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 14            | PORT_B_ACTIVE, FAULT                      | <b>Réception du message Path_Check_Response sur le port B</b><br>=><br>Arrêter le temporisateur Path_B_Check<br>Réinitialiser Path_B_Failed<br>Réinitialiser Path_B_Request | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 15            | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Définition de Link_A_Active ET Réinitialisation de Path_A_Failed</b><br>=><br>Réinitialiser Port_A_Failed                                                                | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 16            | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Réinitialisation de Link_A_Active OU Définition de Path_A_Failed</b><br>=><br>Définir Port_A_Failed                                                                      | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 17            | IDLE                                      | <b>Réinitialisation de Port_A_Failed</b><br>=><br>Envoyer le message balise sur le port A<br>Démarrer le temporisateur balise<br>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                             | <b>Définition de Port_A_Failed</b><br>=><br>Arrêter le temporisateur balise<br>Arrêter le temporisateur Path_A_Check<br>Réinitialiser Path_A_Request<br>Arrêter les temporisateurs Node_Receive<br>Arrêter le temporisateur Active_Port_Swap                                     | IDLE                    |
| 19            | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Définition de Link_B_Active</b><br><b>ET</b><br><b>Réinitialisation de Path_B_Failed</b><br>=><br>Réinitialiser Port_B_Failed                                                                                                                                                 | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 20            | IDLE, FAULT, PORT_A_ACTIVE, PORT_B_ACTIVE | <b>Réinitialisation de Link_B_Active</b><br><b>OU</b><br><b>Définition de Path_B_Failed</b><br>=><br>Définir Port_A_Failed                                                                                                                                                       | RESTE A L'ETAT EN COURS |
| 21            | IDLE                                      | <b>Réinitialisation de Port_B_Failed</b><br>=><br>Envoyer le message balise sur le port B<br>Démarrer le temporisateur balise<br>Démarrer les temporisateurs Node_Receive<br>Démarrer le temporisateur Active_Port_Swap                                                          | PORT_B_ACTIVE           |
| 22            | PORT_B_ACTIVE                             | <b>Définition de Port_B_Failed</b><br>=><br>Arrêter le temporisateur balise<br>Arrêter le temporisateur Path_B_Check<br>Réinitialiser Path_B_Request<br>Arrêter les temporisateurs Node_Receive<br>Arrêter le temporisateur Active_Port_Swap                                     | IDLE                    |
| 23            | IDLE                                      | <b>Définition de Port_A_Failed</b><br><b>ET</b><br><b>Définition de Port_B_Failed</b>                                                                                                                                                                                            | FAULT                   |
| 24            | FAULT                                     | <b>Définition de Link_A_Active</b><br><b>ET</b><br><b>Définition de Path_A_Failed</b><br><b>ET</b><br><b>Réinitialisation de Path_A_Request</b><br>=><br>Définir Path_A_Request<br>Envoyer le message Path_Check_Request sur le port A<br>Démarrer le temporisateur Path_A_Check | FAULT                   |
| 25            | FAULT                                     | <b>Définition de Link_B_Active</b><br><b>ET</b><br><b>Définition de Path_B_Failed</b><br><b>ET</b><br><b>Réinitialisation de Path_B_Request</b><br>=><br>Définir Path_B_Request                                                                                                  | FAULT                   |