

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Wireless power transfer – AirFuel Alliance resonant baseline system specification (BSS)

Transfert d'énergie sans fil – Spécification du système de référence (BSS) pour le système résonant d'AirFuel Alliance

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63028:2017



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC 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.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Wireless power transfer – AirFuel Alliance resonant baseline system specification (BSS)

Transfert d'énergie sans fil – Spécification du système de référence (BSS) pour le système résonant d'AirFuel Alliance

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.240.99; 33.160.99; 35.200

ISBN 978-2-8322-8732-3

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.....	7
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	10
2 Normative references	10
3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms.....	10
3.1 Terms and definitions.....	10
3.2 Symbols and abbreviated terms	13
3.2.1 Symbols	13
3.2.2 Abbreviated terms	17
4 System description	17
5 Conformance and backwards compatibility	18
6 Device types.....	19
6.1 PTU classification	19
6.2 PRU category	20
7 Power transfer specifications	21
7.1 System equivalent circuit and reference parameters	21
7.2 General system requirements	21
7.2.1 Operating frequency	21
7.2.2 Z_{TX_IN} relationship to R_{RECT}	21
7.2.3 Power stability	21
7.2.4 PTU co-location protection.....	21
7.2.5 PRU self-protection (informative).....	21
7.3 Resonator requirements.....	22
7.3.1 Resonator coupling efficiency (RCE)	22
7.3.2 PTU resonator requirements	22
7.3.3 PRU resonator requirements	24
7.4 Load parameters.....	26
7.4.1 Load parameters introduction	26
7.4.2 Minimum load resistance	26
7.4.3 Maximum allowable dynamic load.....	26
7.4.4 Maximum load capacitance.....	26
8 Power control specifications	27
8.1 Control objectives	27
8.2 PTU specifications	27
8.2.1 PTU state	27
8.2.2 General state requirements	27
8.2.3 PTU power save state.....	29
8.2.4 PTU Low Power state	31
8.2.5 PTU Power Transfer state	31
8.2.6 PTU Configuration state	34
8.2.7 PTU Local Fault state	35
8.2.8 PTU latching fault state	35
8.2.9 PTU state transitions	36
8.2.10 PTU Test Mode.....	39
8.3 PRU specifications.....	39
8.3.1 PRU general requirements.....	39

8.3.2	PRU state model	42
8.3.3	Null state	43
8.3.4	PRU boot.....	43
8.3.5	PRU On state	44
8.3.6	PRU System Error state.....	44
8.3.7	PRU state transitions	45
9	Signaling specifications	46
9.1	Architecture and state diagrams.....	46
9.1.1	Architecture	46
9.1.2	Overall charge process	47
9.2	Charge procedure and requirements	49
9.2.1	Removing PRU from WPT network	49
9.2.2	Power Sharing mode	49
9.3	Bluetooth low energy requirements	50
9.3.1	Bluetooth low energy requirements introduction	50
9.3.2	Bluetooth low energy objectives.....	50
9.3.3	PTU hardware requirement	50
9.3.4	PRU hardware requirement.....	50
9.3.5	Basic network structure	50
9.3.6	RF requirements	50
9.3.7	Timing and sequencing requirements.....	51
9.3.8	Profile structure	54
9.4	BLE profile definition.....	54
9.4.1	GATT sub-procedure	54
9.4.2	Configuration	54
9.4.3	PRU requirements	55
9.4.4	PTU requirements.....	56
9.4.5	Connection establishment.....	56
9.4.6	Security considerations.....	58
9.4.7	Charge completion.....	58
9.5	WPT service characteristics	59
9.5.1	WPT service characteristics introduction.....	59
9.5.2	PRU advertising payload	59
9.5.3	WPT service	61
9.5.4	PRU control.....	63
9.5.5	PTU static parameter	65
9.5.6	PRU static parameter characteristic.....	70
9.5.7	PRU dynamic parameter characteristic	73
9.5.8	PRU alert characteristic.....	77
9.6	Cross connection algorithm.....	79
9.6.1	Cross connection algorithm introduction	79
9.6.2	Definitions	79
9.6.3	Acceptance of advertisement.....	79
9.6.4	Impedance shift sensing	79
9.6.5	Reboot bit handling.....	80
9.6.6	Time set handling	80
9.7	Mode transition	81
9.7.1	Mode transition introduction.....	81
9.7.2	Mode transition procedure	81

9.7.3	BLE reconnection procedure.....	81
10	PTU resonators	84
10.1	PTU resonators introduction.....	84
10.2	Class n design template	84
10.2.1	Class n design template introduction.....	84
10.2.2	Table of specifications	84
10.2.3	PTU resonator structure	84
10.3	Approved PTU resonators	84
Annex A	(informative) Reference PRU for PTU acceptance testing	85
A.1	Category 1	85
A.2	Category 2	85
A.3	Category 3	85
A.3.1	PRU design 3-1	85
A.3.2	Geometry.....	85
A.4	Category 4	88
A.5	Category 5	88
Annex B	(informative) Lost power	89
B.1	Overview.....	89
B.2	General.....	89
B.3	Cross connection issues	89
B.4	Handoff issues	89
B.5	Power noise issues	90
B.6	PTU lost power calculation.....	90
B.6.1	Lost power detection threshold.....	90
B.6.2	Lost power detection speed.....	90
B.6.3	PTU lost power calculation	90
B.6.4	PTU power transmission detection accuracy.....	90
B.6.5	PRU lost power reports.....	91
B.6.6	Accuracy of reported power	91
B.6.7	Other PRU lost power reports	91
Annex C	(normative) User experience requirements	92
C.1	General.....	92
C.2	User indication.....	92
C.2.1	PRU user indication	92
C.2.2	PTU user indication	92
Annex D	(informative) RCE calculations.....	93
D.1	RCE calculation (using S-parameters)	93
D.2	RCE calculation (using Z-parameters).....	94
D.2.1	Series tuned case	95
D.2.2	Other RCE calculations.....	95
D.3	Conversion between S-parameters and Z-parameters	95
Figure 1	– Wireless power transfer system.....	18
Figure 2	– PTU-PRU resonator P_{TX_IN}	19
Figure 3	– PTU-PRU resonator P_{RX_OUT}	20
Figure 4	– Equivalent circuit and system parameters	21
Figure 5	– PTU resonator-load considerations	24

Figure 6 – PTU state model	27
Figure 7 – Beacon sequences	29
Figure 8 – Load variation detection	30
Figure 9 – Discovery	31
Figure 10 – PTU I_{TX} transition responses.....	32
Figure 11 – PRU state model	42
Figure 12 – V_{RECT} operating regions	43
Figure 13 – Basic architecture of WPT system	47
Figure 14 – Basic state procedure (informative)	48
Figure 15 – Registration period timeline example (informative)	53
Figure 16 – PTU/PRU services/characteristics communication.....	55
Figure 17 – PRU mode transition – Device Address field set to a non-zero value.....	82
Figure 18 – PRU mode transition – Device Address field set to all zeros.....	83
Figure A.1 – PRU design 3 block diagram.....	85
Figure A.2 – Front view	86
Figure A.3 – Back view	86
Figure A.4 – Side view	87
Figure A.5 – Front view, coil only	87
Figure A.6 – Side view, coil only	87
Table 1 – PTU classification.....	20
Table 2 – PRU category	20
Table 3 – Minimum RCE (percent and dB) between PRU and PTU.....	22
Table 4 – Maximum load capacitance	26
Table 5 – Time requirement to enter PTU Power Transfer state	28
Table 6 – Sub-state of PTU Power Transfer	32
Table 7 – PTU latching faults	38
Table 8 – Example of accuracy of reported current	42
Table 9 – PRU system errors	46
Table 10 – RF budget (informative).....	51
Table 11 – Timing constraints	53
Table 12 – BLE profile characteristics	54
Table 13 – GATT sub-procedure	54
Table 14 – PRU advertising payload	59
Table 15 – Impedance shift bit	61
Table 16 – WPT service UUID	61
Table 17 – WPT service	62
Table 18 – GAP service	63
Table 19 – GATT service	63
Table 20 – PRU Control Characteristic.....	64
Table 21 – Detail: bit field for enables	64
Table 22 – Detail: bit field for permission	65
Table 23 – Detail: bit field for time set.....	65

Table 24 – PTU reporting static values to PRU	66
Table 25 – Detail: bit field for optional fields validity.....	66
Table 26 – PTU power	67
Table 27 – Max source impedance.....	68
Table 28 – Max load resistance	69
Table 29 – AirFuel protocol revision field	70
Table 30 – PTU number of devices	70
Table 31 – PRU reporting static values to the PTU	71
Table 32 – Detail: bit field for optional fields validity.....	71
Table 33 – Detail: bit field for PRU information	72
Table 34 – PRU dynamic parameter characteristic.....	74
Table 35 – Detail: bit field for optional fields validity.....	74
Table 36 – Detail: bit field for PRU alert.....	76
Table 37 – Detail: bit field for PRU alert.....	77
Table 38 – Test mode commands	77
Table 39 – PRU alert fields	78
Table 40 – Detail: bit field for PRU alert notification	78
Table 41 – Mode transition.....	79
Table A.1 – PRU table of specifications	85

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63028:2017

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**WIRELESS POWER TRANSFER – AIRFUEL ALLIANCE RESONANT
BASELINE SYSTEM SPECIFICATION (BSS)**

FOREWORD

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

International Standard IEC 63028 has been prepared by technical area 15: Wireless power transfer, of IEC technical committee 100: Audio, video and multimedia systems and equipment.

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

FDIS	Report on voting
100/2901/FDIS	100/2941/RVD

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

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63028:2017

INTRODUCTION

In today's world, mainstream consumer mobile devices are ubiquitously supported by wireless technologies for data communication and connectivity functions while charging function is primarily supported by wired technologies. The development of wireless power transfer technologies offers increased user convenience for charging mobile devices; technologies include inductive, resonant, uncoupled (RF, ultrasonic, laser) methods.

IEC 63028 defines a specific wireless charging approach based on resonant technology and specifies technical requirements for the AirFuel™¹ resonant wireless power transfer (WPT) systems.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63028:2017

¹ AirFuel™ is the trade name of a product supplied by AirFuel Alliance. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of the product named.

WIRELESS POWER TRANSFER – AIRFUEL ALLIANCE RESONANT BASELINE SYSTEM SPECIFICATION (BSS)

1 Scope

This document defines technical requirements, behaviors and interfaces used for ensuring interoperability for flexibly coupled wireless power transfer (WPT) systems for AirFuel Resonant WPT. This document is based on AirFuel Wireless Power Transfer System Baseline System Specification (BSS) v1.3.

Products implementing this document are expected to follow applicable regulations and global standards.

2 Normative references

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

AirFuel Wireless Power Transfer System Baseline System Specification (BSS) v1.3 [viewed 2017-03-13]. Available at: <http://www.airfuel.org/technologies/specification-download>

AirFuel Wireless Power Transfer System Baseline System Specification (BSS) v1.2.1 [viewed 2017-03-13]. Available at: <http://www.airfuel.org/technologies/specification-download>

Bluetooth core specification v4.0, or later versions as they are available [viewed 2017-03-13]. Available at: https://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloaddoc.ashx?doc_id=229737

CSA4, or later versions as they are available [viewed 2017-03-13]. Available at: https://www.bluetooth.org/docman/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=269452

3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

advertisement

connectable, undirected advertising event where the device transmits three WPT service specific ADV_IND packets and accepts both scan requests and connect requests

Note 1 to entry: There is one ADV_IND packet transmitted on each of the advertising channels.

Note 2 to entry: Receipt of an advertisement is defined to be receipt of one of the three advertisement packets.

3.1.2**category**

type of power receiving unit (PRU)

Note 1 to entry: Refer also to the definition of power receiving unit (3.1.17).

3.1.3**charge area**

<PRU larger than the test area> region of maximum overlap between the PTU charge area and the PRU resonator

Note 1 to entry: The charge area is provided by the vendor, the PRU is the entire device, and the test area is the charge area in tests.

3.1.4**charge area**

<PRU smaller than the test area> region of maximum overlap between the PTU charge area and the PRU

Note 1 to entry: The charge area is provided by the vendor, and the test area is the charge area in tests.

Note 2 to entry: This does not preclude the PRU resonator being larger than the PTU resonator.

Note 3 to entry: Additionally, "within the charge area" is equated to mean "within the test area".

Note 4 to entry: The charge area includes the specification of the Z heights intended for the final product, from the surface of resonator coil.

3.1.5**class**

type of power transmitting unit (PTU)

Note 1 to entry: Refer also to the definition of power transmitting unit (3.1.18).

3.1.6**concurrent multiple charging**

transmission of power from one transmitting resonator to multiple receiving resonators

Note 1 to entry: Magnetic resonant coupling can occur among one transmitting resonator and many receiving resonators, while tight coupling is restricted to only one transmitting coil and one receiving coil. Thus, tightly coupled technology only allows one-to-one power transmission.

3.1.7**delta R1**

change in a PTU resonator's measured resistance when a PRU is placed at the center of PTU's charge area as compared to the resistance when no objects are in the charge area

Note 1 to entry: This measurement refers to the use of a PRU with an open-circuit resonator.

3.1.8**device registry**

list of active PRU's maintained by the PTU

3.1.9**dominant PRU**

PRU consuming the highest percentage of its rated output power ($V_{RECT} \times I_{RECT} / P_{RECT_MAX}$)

3.1.10**flexibly coupled wireless power transfer**

power transfer system that provides power through magnetic induction between a transmitter coil and a receiver coil, where the coupling factor (k) between the coils can be within a range between large and very small (e.g., less than 0,025)

Note 1 to entry: Also, in a flexibly coupled system, the transmitter (i.e., the primary) coil can be of the same size, or much larger than the receiver (i.e., secondary) coil. The allowable difference in coil size enables concurrent charging of multiple devices as well as more flexible placement of receiver coils within the charge area.

3.1.11

high voltage region

PRU region in which V_{RECT} levels result in high power dissipation without damaging the PRU

3.1.12

keep-out volume

volume outside of the charge area in which no testing is performed

Note 1 to entry: This parameter is defined by the PTU vendor.

3.1.13

low voltage region

V_{RECT} voltages below the operational range

3.1.14

normal operation

range of all specified WPT states other than PRU System Error state for over-voltage

3.1.15

over-voltage

V_{RECT} voltages greater than V_{RECT_MAX}

Note 1 to entry: Over-voltage can permanently damage PRU components if the PRU does not correct the condition (see 8.3.6).

3.1.16

OVP switch

switch in the PRU that opens or closes to protect the PRU

3.1.17

power receiving unit

unit receiving electrical power wirelessly from a power transmitting unit

3.1.18

power transmitting unit

unit transferring electrical power wirelessly to each power receiving unit

3.1.19

rectifier efficiency

ratio of rectified power to PRU received power (P_{RECT} / P_{RX_OUT})

3.1.20

resonance

condition of a body or system when it is subjected to a periodic disturbance of the same frequency as the natural frequency of the body or system

Note 1 to entry: At this frequency, the system displays an enhanced oscillation or vibration.

3.1.21

resonator

magnetic field generator that satisfies the resonance condition for efficiently transferring electrical power from a PTU to a PRU

Note 1 to entry: Both a coil and an electrical conducting wire are examples of a resonator.

3.1.22**wireless power transfer**

processes and methods that take place in any system where electrical power is transmitted from a power source to an electrical load without interconnecting wires

3.2 Symbols and abbreviated terms**3.2.1 Symbols**

For the purposes of this document, the following symbols for variable parameters apply.

3.2.1.1
 η_{RECT}

rectifier efficiency ($P_{\text{RECT}} / P_{\text{RX_OUT}}$)

3.2.1.2
 I_{RECT}

DC current out of the PRU's rectifier

3.2.1.3
 $I_{\text{RECT_REPORT}}$

I_{RECT} value reported by a PRU to a PTU

3.2.1.4
 $I_{\text{RX_IN}}$

RMS current out of the resonator/into the rectifier while in the PRU on state

3.2.1.5
 I_{TX}

RMS current into the PTU resonator coil

3.2.1.6
 $I_{\text{TX_LONG_BEACON}}$

RMS current into the PTU resonator during the long beacon period in the PTU power save state

Note 1 to entry: This current is used to provide minimum power for waking up a PRU signaling module and MCU, and to initiate communication.

3.2.1.7
 $I_{\text{TX_SHORT_BEACON}}$

RMS current into the PTU resonator while in the PTU power save state

Note 1 to entry: This current is used to detect the PTU impedance change caused by the placement of an object in the charge area.

3.2.1.8
 $I_{\text{TX_START}}$

RMS current into the PTU resonator that provides minimum power for waking up a PRU signaling module and MCU

Note 1 to entry: This current is also used to initiate communication and registration.

3.2.1.9
 P_{IN}

DC power into the PTU

3.2.1.10

P_{TX_IN}

input power to the PTU resonator

3.2.1.11

$P_{TX_IN_MAX}$

maximum input power to the PTU resonator

3.2.1.12

P_{RECT}

average power out of the PRU's rectifier AVG ($V_{RECT} \times I_{RECT}$)

3.2.1.13

P_{RECT_BOOT}

maximum average power out of the PRU's rectifier as declared by the vendor

Note 1 to entry: The rectifier power is measured over a 1 ms interval.

3.2.1.14

P_{RECT_IN}

average power into the PRU rectifier

3.2.1.15

$P_{RX_REPORTED}$

product of reported rectified voltage and current ($V_{RECT_REPORT} \times I_{RECT_REPORT}$)

3.2.1.16

P_{RX_OUT}

power out of the PRU resonator

3.2.1.17

R_{RECT}

effective load resistance at the output of the PRU's rectifier

3.2.1.18

R_{RECT_MP}

maximum power point resistance

3.2.1.19

R_{RX_IN}

parasitic resistance of the PRU resonator

3.2.1.20

V_{PAa}

DC input voltage to the PTU's power amplifier

3.2.1.21

V_{RECT}

DC voltage at the output of a PRU's rectifier

3.2.1.22

V_{RECT_REPORT}

V_{RECT} value which a PRU reports to a PTU

3.2.1.23 Z_{RX_IN}

input impedance of the PRU resonator and matching network

For the purposes of this document, the following symbols for PTU/PRU design dependent variable parameters apply.

3.2.1.24 ADV_PWR_MIN

minimum BLE advertisement power as seen at the PTU BLE antenna

3.2.1.25 $I_{TX_ABS_MAX}$

absolute maximum PTU current

3.2.1.26 $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$

minimum allowed current during PTU long beacon

3.2.1.27 $I_{TX_SHORT_BEACON_MIN}$

minimum allowed current during PTU short beacon

3.2.1.28 I_{TX_MAX}

operational maximum PTU current

3.2.1.29 I_{TX_MIN}

operational minimum PTU current

3.2.1.30 $I_{TX_NOMINAL}$

nominal PTU resonator current driving all PRUs to operate in the optimum voltage region

3.2.1.31 P_{RECT_MAX} PRU's maximum rated P_{RECT} power**3.2.1.32** P_{RECT_MIN} PRU's minimum rated P_{RECT} power**3.2.1.33** $P_{RX_OUT_MAX}$

maximum output power of the PRU resonator

3.2.1.34 R_{RX_MIN}

minimum resistance presented to the PRU resonator terminals during normal operation

3.2.1.35 R_{RECT_MP} R_{RECT} resistance that achieves maximum P_{RECT} power

3.2.1.36

R_{TX_IN}
real part of Z_{TX_IN}

3.2.1.37

V_{RECT_BOOT}
boot V_{RECT} voltage

Note 1 to entry: Below this level, the PRU cannot enter the PRU boot state.

3.2.1.38

V_{RECT_HIGH}
maximum operational V_{RECT} voltage

3.2.1.39

V_{RECT_MAX}
PRU's maximum allowable V_{RECT} voltage

3.2.1.40

V_{RECT_MIN}
minimum operational V_{RECT} voltage

Note 1 to entry: Below this voltage, PRUs might not deliver full power.

3.2.1.41

V_{RECT_SET}
PRU's preferred V_{RECT} voltage

3.2.1.42

V_{RECT_UVLO}
under voltage lock out V_{RECT} voltage

Note 1 to entry: Below this level, the PRU might not enable MCU and communication module.

3.2.1.43

X_{TX_IN}
imaginary part of Z_{TX_IN}

3.2.1.44

$|Z_{PA_SOURCE}|$
magnitude of the output impedance of the matching network and connected power amplifier of the PTU

3.2.1.45

$|Z_{PA_SOURCE_MIN}|$
magnitude of the minimum allowable source impedance of the amplifier or supply that provides current to the PTU resonator

3.2.1.46

$Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$
minimum load change in Z_{TX_IN} created by a PRU when placed in the charge area of a PTU

Note 1 to entry: The load change is measured when an I_{TX} current greater than or equal to $I_{TX_SHORT_BEACON_MIN}$ is applied.

Note 2 to entry: This value is specific to a PTU resonator design.

3.2.1.47

$Z_{TX_IN_LOAD_DETECT}$

magnitude of the minimum real and imaginary change in Z_{TX_IN} that the PTU resonator circuitry can be able to detect

3.2.1.48

Z_{TX_IN}

input impedance of PTU resonator

3.2.2 Abbreviated terms

BLE	bluetooth low energy
BSS	baseline system specification
GAP	generic access profile
GATT	generic attribute profile
MCU	microcontroller
NFC	near field communication
LE	low energy
OC	over-current protection
OEM	original equipment manufacturer
OTP	over-temperature protection
OVP	over-voltage protection
PA	power amplifier
PRU	power receiving unit
PTU	power transmitting unit
RCE	resonator coupling efficiency
RFU	reserved for future use
UUID	universally unique identifier
WPT	wireless power transfer

4 System description

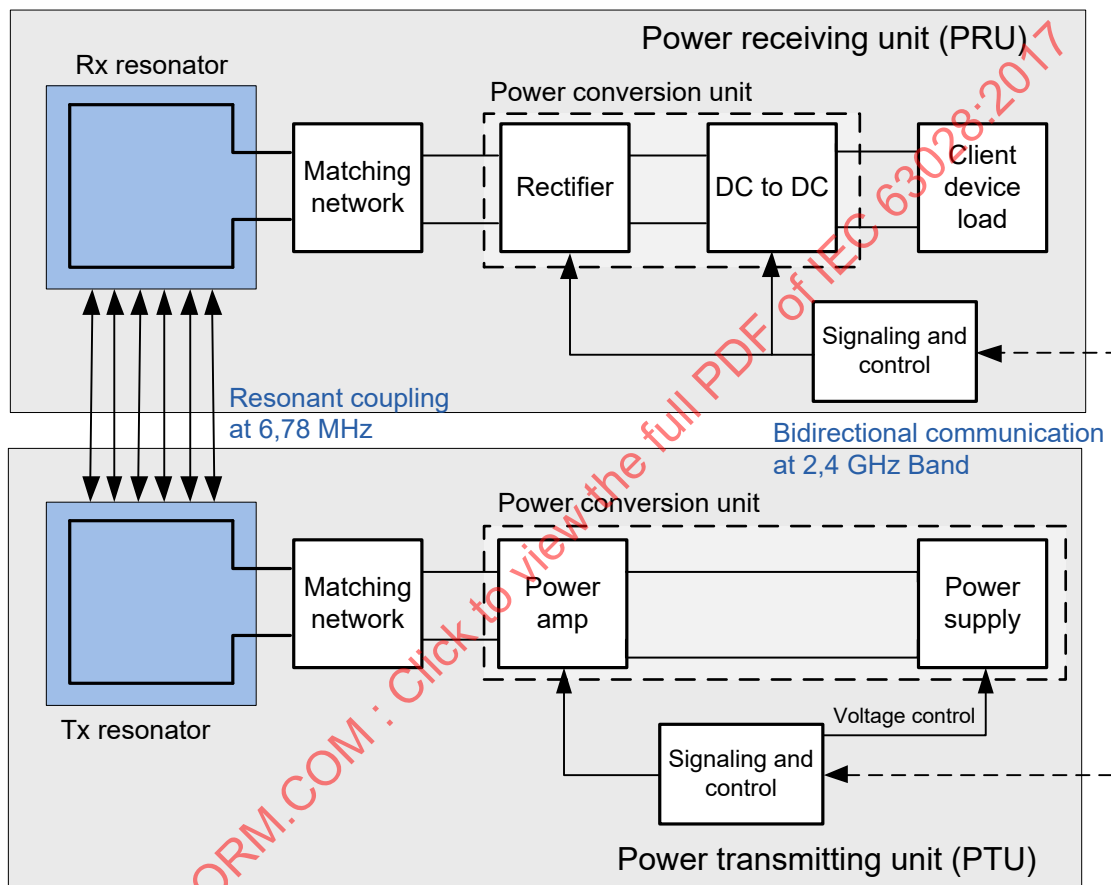
The AirFuel Alliance WPT system transfers power from a single power transmitter unit (PTU) to one or more power receiver units (PRUs.) The power transmission frequency is 6,78 MHz, and up to eight devices can be powered from a single PTU depending on transmitter and receiver geometry and power levels. The bluetooth low energy (BLE) link in the AirFuel Resonant system is intended for control of power levels, identification of valid loads and protection of non-compliant devices.

Figure 1 illustrates the basic WPT system configuration between a PTU and a PRU. The PTU can be expanded to serve multiple independent PRUs. The PTU comprises three main functional units which are a resonator and matching unit, a power conversion unit, and a signaling and control unit. The PRU also comprises three main functional units like the PTU.

The control and communication protocol for the WPT network is designed as the bidirectional and half duplex architecture and is used to signal PRU characteristics to the PTU as well as to provide feedback to enable efficiency optimization, over-voltage protection, under-voltage avoidance, and rogue object detection.

The WPT network is a star topology with the PTU as the master and PRUs as slaves. The PTU and the PRU perform the bidirectional communication to each other to identify the device compliance and to exchange the power negotiation information.

In this document, Clause 5 provides high level requirements and Clause 6 identifies device classifications. Clause 7 provides power transfer requirements (including a fixed 6,78 MHz operating frequency, resonator requirements and load parameters) while Clause 8 provides PTU and PRU power control requirements. Clause 9 provides signaling requirements, Clause 10 identifies approved PTU resonator designs, and Annex A (informative) includes reference PRUs for PTU acceptance testing. Annex B is an informative annex for PTU lost power. Annex C is a normative annex for user experience requirements. Annex D is an informative annex for addressing resonator coupling efficiency (RCE) measurements.



IEC

Figure 1 – Wireless power transfer system

5 Conformance and backwards compatibility

PRU and PTU devices shall comply with the AirFuel Wireless Power Transfer System Baseline System Specification (BSS) v1.3, the AirFuel Wireless Power Transfer System Baseline System Specification (BSS) v1.2.1, and the Bluetooth core specification v4.0 with CSA4.

Devices compliant with this document shall be backwards compatible with devices which are in compliance with the AirFuel Wireless Power Transfer System Baseline System Specification (BSS) v1.3, and the AirFuel Wireless Power Transfer System Baseline System Specification (BSS) v1.2.1 published by the AirFuel Alliance. To be backwards compatible, devices shall adhere to the following behavior.

Upon completion of device registration, if the device, based on the exchanged information, determines that it is connected to a prior version AirFuel resonant device or to an AirFuel resonant device with unsupported optional features, then the device shall not perform any procedure related to the unsupported features of the connected AirFuel resonant device. Further, if a device receives any unknown or unsupported information from the connected AirFuel resonant device, such information in any form or manner shall be ignored.

For AirFuel resonant devices, the following applies.

- a) The PRU shall be interoperable with all previous BSS version PTUs and shall support all mandatory features for the version to which the previous version PTU complies. The PRU may support the optional features that the PTU supports in the previous version for which the PTU complies. The PRU shall not request or initiate any feature (mandatory or optional) that is not supported by the previous version PTU.
- b) The PTU shall be interoperable with all previous BSS version PRUs and shall support all mandatory features for the version to which the previous version PRU complies. The PTU may support the optional features that the PRU supports in the previous version for which the PRU complies. The PTU shall not request or initiate any feature (mandatory or optional) that is not supported by the previous version PRU.

6 Device types

6.1 PTU classification

AirFuel resonant PTU classes are defined by the following.

- a) A PTU class is determined by the highest category PRU supported by that PTU as determined in Table 1. For example, a PTU that supports category 4 and below PRUs is considered a class 3 PTU. The maximum output power capability of a PTU of class n shall be larger than or equal to the value of $P_{TX_IN_MAX}$ of its class as denoted in Table 1. The output power of a PTU is denoted by P_{TX} in Figure 2, where P_{TX} is the real power, $\text{Avg}(V(t) \times I(t))$. See Clause 7 for power transfer requirements.
- b) The minimum PRU support requirements are specified in Table 1. The minimum support requirement specifies the number of highest category PRUs that the PTU shall support at the least. The PTU shall support power allocation for PRUs of all categories lower than the highest supported category specified in Table 1, at least up to the max number of devices specified in the table, per the limitation of available power. PTU vendors may specify a different charge area for the Category 1 PRUs from other PRU categories.

NOTE The minimum category support requirement specified in Table 1 does not limit PTUs from supporting PRUs of higher category, if the PTU is capable of supporting higher category devices.

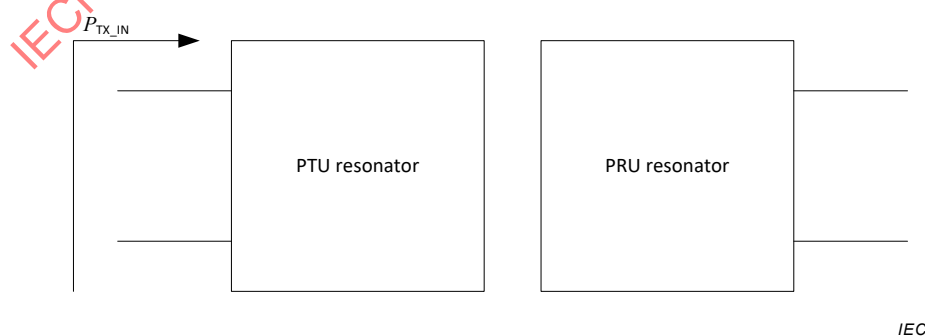


Figure 2 – PTU-PRU resonator P_{TX_IN}

Table 1 – PTU classification

	$P_{TX_IN_MAX'}$ watts	Minimum category support requirements	Minimum value for max number of devices supported
Class 1	2	1 x Category 1	1 x Category 1
Class 2	10	1 x Category 3	2x Category 2
Class 3	16	1 x Category 4	2x Category 3
Class 4	33	1 x Category 5	3x Category 3
Class 5	50	1 x Category 6	4x Category 3
Class 6	70	1 x Category 7	5x Category 3

The minimum number of maximum category devices is provided as a guideline for calculating $P_{TX_IN_MAX'}$, and is not meant to restrict the size of a corresponding class.

6.2 PRU category

Illustrated in Figure 3, the PRU resonator output power denoted by P_{RX_OUT} is the real power $\text{Avg } V(t) \times I(t)$. Table 2 lists the PRU resonator output power ($P_{RX_OUT_MAX'}$) for PRU categories. See Clause 7 for power transfer requirements.

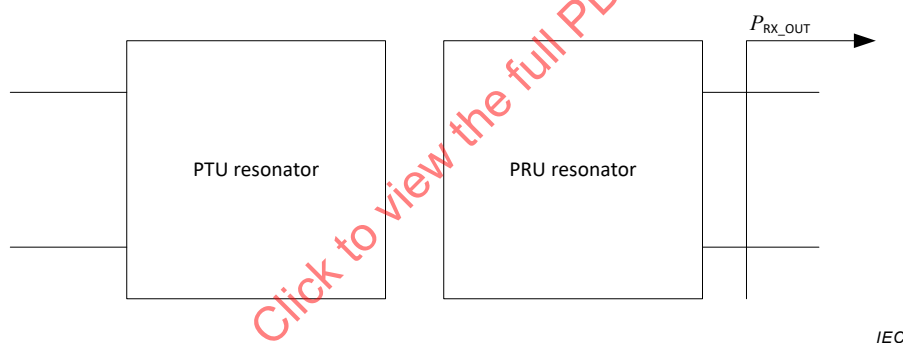


Figure 3 – PTU-PRU resonator P_{RX_OUT}

The PRU shall not draw more power than specified for its category. See Table 2.

Table 2 – PRU category

PRU	$P_{RX_OUT_MAX'}$ Watts	Example applications
Category 1	For further study	BT Headset
Category 2	3,5	Feature Phone
Category 3	6,5	Smart Phone
Category 4	13	Tablet, Phablet
Category 5	25	Small Form Factor Laptop
Category 6	37,5	Regular Laptop
Category 7	50	

NOTE 1 For P_{RX_OUT} , the PRU power is the output power of the PRU resonator.

NOTE 2 6,5 W is intended to allow 5 W at the charge port if the implementation has an efficiency greater than 80 %.

7 Power transfer specifications

7.1 System equivalent circuit and reference parameters

The equivalent circuit of the PTU resonator shall be series-tuned, or series-shunt-tuned. The equivalent circuit of the PRU resonator shall be series-tuned, shunt tuned, or series-shunt tuned. Figure 4 shows the interface point where the reference parameters are measured.

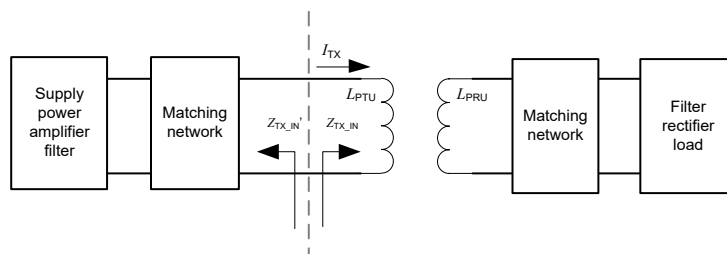


Figure 4 – Equivalent circuit and system parameters

7.2 General system requirements

7.2.1 Operating frequency

The resonator system shall operate at $6,78 \text{ MHz} \pm 15 \text{ kHz}$.

7.2.2 Z_{TX_IN} relationship to R_{RECT}

The real part of Z_{TX_IN} shall be inversely related to the load resistance of the rectifier. An increase in R_{RECT} shall cause a decrease in Z_{TX_IN} . A decrease in R_{RECT} shall cause an increase in Z_{TX_IN} .

7.2.3 Power stability

Under all operational conditions (transient/steady state) involving two or more PRUs, the change in rectified-output power of a first PRU should be no more than 10 % in the following two conditions.

- A second PRU is physically added or removed from the charge area in a location that does not overlap with the first PRU.
- A second PRU which is already in the charge area makes step response from 0 % load to 100 % load in less than 1 ms.

7.2.4 PTU co-location protection

A PTU shall protect itself when collocated with a PTU resonator of Clause 10, which is conducting up to $I_{TX_ABS_MAX}$. This includes all areas outside of the keep-out volume, in addition to the charge area.

7.2.5 PRU self-protection (informative)

PRUs can experience high field strengths as a result of $I_{TX_ABS_MAX}$ (from any class PTU) and are expected to protect themselves accordingly, including the situation of a link loss and failed to reconnect to PTU. This includes all areas outside of the keep-out volume, in addition to the charge Area.

7.3 Resonator requirements

7.3.1 Resonator coupling efficiency (RCE)

7.3.1.1 General

Resonator coupling efficiency (RCE) is defined as the maximum of the ratio of the power delivered by the PRU coil to a load, divided by the power delivered to the PTU coil, at 6,78 MHz. RCE is also equal to the maximum value of $|S_{21}|^2$ between one PTU and one PRU, occurring with perfectly-matched port impedance conditions, meaning S_{11} and S_{22} are zero, when the reference port impedances are as specified in 7.3.1.2 and 7.3.1.3. See informative Annex D, for RCE calculations.

The calculated value of RCE shall be equal to or higher than the minimum values given in Table 3, when the PRU is within the charge area specified in Clause 10.

NOTE 1 The actual measurements of S_{11} , S_{22} , S_{21} , and S_{12} can be made with nominal 50 Ω reference port conditions and the results converted to meet this RCE definition as well as finding the matching source and load, defined in 7.3.1.2 and 7.3.1.3. A step-by-step procedure to determine the maximum RCE and matching impedances is included in Annex D.

NOTE 2 Assessment for a new PRU is performed on all approved PTUs before that PRU is determined to be compliant with the specification.

Table 3 – Minimum RCE (percent and dB) between PRU and PTU

	Category 1	Category 2	Category 3	Category 4	Category 5	Category 6	Category 7
Class 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Class 2	N/A	74 (-1,3)	74 (-1,3)	N/A	N/A	N/A	N/A
Class 3	N/A	74 (-1,3)	74 (-1,3)	76 (-1,2)	N/A	N/A	N/A
Class 4	N/A	50 (-3)	65 (-1,9)	73 (-1,4)	76 (-1,2)	N/A	N/A
Class 5	N/A	40 (-4)	60 (-2,2)	63 (-2)	73 (-1,4)	76 (-1,2)	N/A
Class 6	N/A	30 (-5,2)	50 (-3)	54 (-2,7)	63 (-2)	73 (-1,4)	76 (-1,2)
NOTE The RCE is stated as "% (db)".							

NOTE 3 When multiple PRUs are used, the coupling efficiency will increase.

7.3.1.2 Reference port impedance of PTU resonator

The reference port impedance of the PTU resonator to measure S_{21} is defined as Z_{TX_IN} , and is PTU and PRU resonator design dependent.

7.3.1.3 Reference port impedance of PRU resonator

The reference port impedance of the PRU resonator to measure S_{21} is defined as Z_{RX_IN} , and is PTU and PRU resonator design dependent.

7.3.2 PTU resonator requirements

7.3.2.1 Approved PTU resonator designs

A PTU being tested for compliance to the specification shall use an accepted PTU resonator from the AirFuel resonant accepted PTU resonator list, prior to the completion of compliance testing.

7.3.2.2 Resonator current

7.3.2.2.1 Threshold values

The following are PTU resonator current threshold value requirements.

- a) The PTU resonator coil current shall not exceed I_{TX_MAX} during either the long beacon-on period or the short beacon-on period.
- b) The PTU shall conduct a current greater than $I_{TX_SHORT_BEACON_MIN}$ through the PTU resonator coil during the short beacon-on period.
- c) The PTU shall conduct a current greater than $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$ through the PTU resonator coil during the long beacon-on period.
- d) The PTU shall conduct a current greater than or equal to I_{TX_MIN} through the PTU resonator coil during the PTU Power Transfer state, unless any PRU is reporting a V_{RECT} over V_{RECT_HIGH} .
- e) The PTU shall be capable of conducting a current $I_{TX_NOMINAL}$ through the PTU resonator coil during the PTU Power Transfer state. The tolerance of $I_{TX_NOMINAL}$ shall be no greater than 5 % excluding measurement error. $I_{TX_NOMINAL}$ shall be derated at high values of R_{TX_IN} based on the value of $P_{TX_IN_MAX}$, which is defined according to the PTU class²⁾. The equation for the derated current is:

$$I_{TX_NOMINAL_DERATED} = \text{MIN} (I_{TX_NOMINAL}, \text{SQRT} (P_{TX_IN_MAX} / R_{IN_TX}))$$

- f) The PTU shall be capable of conducting a current I_{TX_MAX} through the PTU resonator coil. I_{TX_MAX} shall be derated at high values of R_{TX_IN} based on the value of $P_{TX_IN_MAX}$, which is defined according to the PTU Class. The equation for the derated current is:

$$I_{TX_MAX_DERATED} = \text{MIN} (I_{TX_MAX}, \text{SQRT} (P_{TX_IN_MAX} / R_{IN_TX}))$$

- g) The PTU resonator coil shall not conduct more than $I_{TX_ABS_MAX}$ in any transient or steady state condition.

A PTU may operate between I_{TX_MIN} and $I_{TX_ABS_MAX}$. A PTU shall operate between $I_{TX_NOMINAL}$ and I_{TX_MAX} .

7.3.2.2.2 Transitions

The PTU resonator coil shall not exceed its PTU resonator design maximum slew rate.

7.3.2.3 Resonator power supply characteristics

The PTU resonator shall be driven by a supply that has a source impedance that is greater than $|Z_{PA_SOURCE_MIN}|$ of the accepted PTU resonator used in the PTU (per its AirFuel resonant PTU resonator class n design template). A resonator's $|Z_{PA_SOURCE_MIN}|$ shall be selected such that PRUs do not experience an increased R_{RECT_MP} when operating on the PTU resonator.

NOTE 1 $|Z_{PA_SOURCE_MIN}|$ is specified because it affects the source impedance of PRUs.

NOTE 2 $|Z_{PA_SOURCE_MIN}|$ is specified to approximate a current source behavior at the PTU resonator interface.

NOTE 3 The test is performed with all resonator interface test (RIT) devices that are applicable to the PTU class.

2) Note that in implementation, the provision of $I_{TX_NOMINAL}$ to all loads is not intended to cause a rise in the charging area temperature.

7.3.2.4 Charge and test area

The boundaries of the PTU charge area and the PRU resonator area should be identified by the PTU and PRU vendors, respectively. Vendor charge area indication shall be equal or smaller than test charge area (charge area in tests). The keep-out volume shall be a bounded volume, and the PTU resonator designer shall provide a PTU mechanical housing design to indicate how the mechanical housing should prevent the PRU from being placed inside this keep-out volume.

7.3.2.5 Resonator power supply impedance range

The PTU shall be capable of conducting current levels through the PTU resonator coil that satisfy the resonator current threshold values across its specified range of Z_{TX_IN} (see Figure 5).

$$R_{TX_IN_MIN} \leq \text{Re}\{Z_{TX_IN}\} \leq R_{TX_IN_MAX}$$

$$X_{TX_IN_MIN} \leq \text{Im}\{Z_{TX_IN}\} \leq X_{TX_IN_MAX}$$

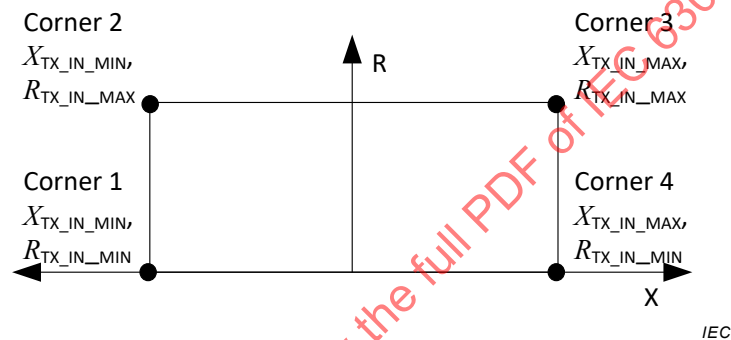


Figure 5 – PTU resonator-load considerations

For a specific PTU resonator, the allowed induced impedance for each PRU category shall be selected appropriately to account for the number of PRUs supported in that category.

7.3.2.6 Resonator geometry

The PTU resonator geometry shall be built to the requirements of Clause 10.

NOTE The above PTU resonator requirements are resonator design specific, and numbers for the above parameters are specified in Clause 10.

7.3.2.7 Resonator impedance sensitivity

The PTU resonator control circuitry shall be capable of detecting a load change of $Z_{TX_IN_LOAD_DETECT}$ in the value of Z_{TX_IN} .

$Z_{TX_IN_LOAD_DETECT}$ shall be at least 30 % less than both the real (R) and imaginary (X) components of the $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$ specified for the PTU resonator used in the PTU resonator and resonator interface acceptance test.

7.3.3 PRU resonator requirements

7.3.3.1 PRU operating points

7.3.3.1.1 General

V_{RECT} can be derived as a function of the Z matrix between the PTU and PRU coils (see Annex D), I_{TX} , rectifier characteristics and load. The relationship between all of the parameters is dependent on PRU implementation. It is the responsibility of the original equipment manufacturer (OEM) to produce a design that allows for conformance.

NOTE The requirements in 7.3.3.1 apply under all valid load conditions (i.e., P_{RECT_MIN} to P_{RECT_MAX}) within the charge area (including minimum and maximum coupling), unless otherwise noted.

7.3.3.1.2 PRU Low Voltage sub-state threshold

A PRU's V_{RECT} shall exceed its V_{RECT_BOOT} while consuming P_{RECT_BOOT} , when I_{TX} is greater than $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$ or I_{TX_MIN} (whichever threshold is lower) on presently approved PTU resonators (see Clause 10).

This requirement is for start-up conditions, and a PRU load is not required (see 8.3.4.1).

7.3.3.1.3 PRU Optimum Voltage sub-state threshold

With a PTU resonator that supports charging only a single device of the PRU's category, the following applies.

- a) The PRU's V_{RECT} shall exceed its V_{RECT_MIN} if I_{TX} is greater than or equal to I_{TX_MAX} .
- b) The PRU's V_{RECT} shall not exceed its V_{RECT_HIGH} if I_{TX} is less than or equal to $I_{TX_NOMINAL}$.

For a PTU resonator that supports charging multiple devices of the PRU's category, a PRU shall be in the PRU Optimum Voltage sub-state when I_{TX} is equal to $I_{TX_NOMINAL}$ on presently approved PTU resonators (see 10.3).

7.3.3.1.4 PRU set-point limit

A PRU shall not require I_{TX} to exceed I_{TX_MAX} to reach V_{RECT_SET} on presently approved PTU resonators (see 10.3).

7.3.3.1.5 PRU over-voltage threshold

A PRU in normal operation shall not enter the PRU System Error state if I_{TX} is less than or equal to I_{TX_MAX} on presently approved PTU resonators (see 10.3).

7.3.3.1.6 PRU over-voltage protection

A PRU shall not be damaged if I_{TX} is less than or equal to $I_{TX_ABS_MAX}$ on presently approved PTU resonators (see 10.3) for any period of time. This includes all areas outside of the keep-out volume, in addition to the charge area.

7.3.3.1.7 Margin between V_{RECT_HIGH} and V_{RECT_MAX}

V_{RECT_MAX} shall be greater than $1,1 \times V_{RECT_HIGH}$.

7.3.3.2 PRU-induced reactance change

A PRU shall present X_{TX_IN} which is within the X_{TX_IN} range defined in Clause 10.

7.3.3.3 PRU-induced resistance change

A PRU shall present R_{TX_IN} which is within the R_{TX_IN} range defined in Clause 10.

7.3.3.4 Short beacon PRU-induced impedance

On or before March 1, 2015, a PRU of Category 2 or greater should create a change in reactance and/or resistance of at least $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$ when placed in charge area of all currently approved PTU resonators.

After March 1, 2015, a PRU of Category 2 or greater shall create a change in reactance and/or resistance of at least $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$ when placed in charge area of all currently approved PTU resonators.

If a Category 1 PRU does not create an impedance change of at least $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$ when placed in charge area of all currently approved PTU resonators, then it shall advertise that it does not create an impedance shift in the PRU advertising payload (see 9.5.2).

7.4 Load parameters

7.4.1 Load parameters introduction

PRUs with non-integrated loads (e.g., backpack phone chargers that plug into a mobile phone) shall comply with the requirements in 7.4.2 to 7.4.4 for any devices with which they might be connected. This can require the PRU to include mechanisms to ensure that they are compliant when connected to their intended load devices.

7.4.2 Minimum load resistance

The minimum value of R_{RECT} shall be greater than the maximum power point resistance (R_{RECT_MP}). The maximum power point resistance, R_{RECT_MP} , is defined as the load resistance measured after the rectifier at which maximum power delivery is achieved.

NOTE R_{RECT_MP} is a function of $|Z_{PA_SOURCE}|$, PTU resonator design, and PRU resonator design.

7.4.3 Maximum allowable dynamic load

The load, measured at the output of the rectifier, shall not change by more than 650 mW/μs or $X/\mu s$, whichever is greater. X shall be calculated as 2 % times the maximum output power of the PRU resonator in mW.

7.4.4 Maximum load capacitance

The effective load capacitance connected after the rectifier shall be no greater than the maximum effective capacitance shown in Table 4.

Table 4 – Maximum load capacitance

Category	Maximum effective capacitance μF
Category 1	For further study
Category 2	100
Category 3	100
Category 4	100
Category 5	100
Category 6	130
Category 7	130

8 Power control specifications

8.1 Control objectives

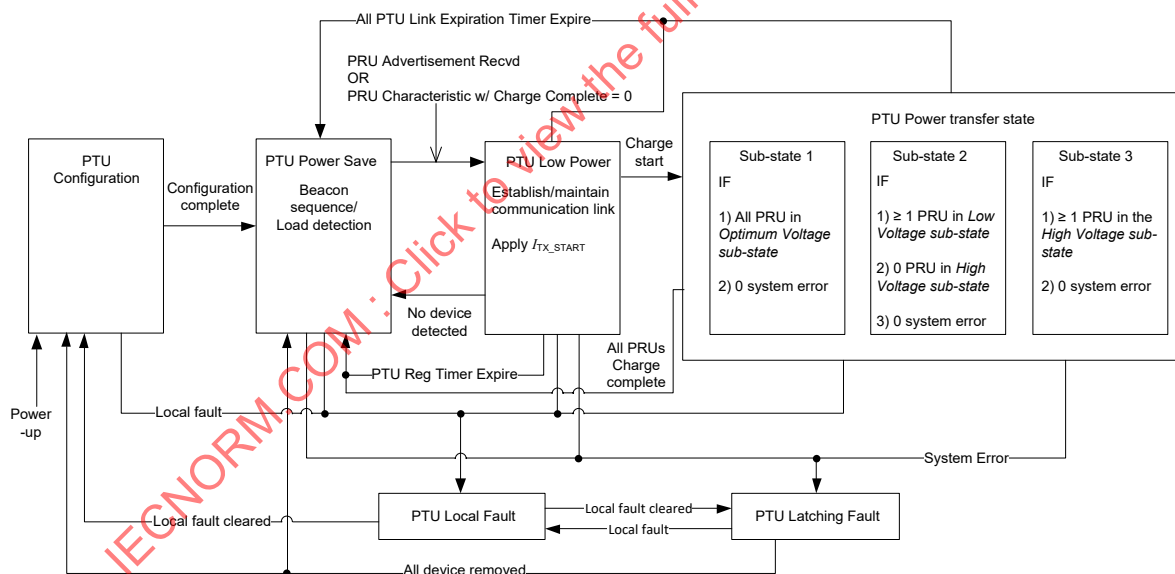
The control specifications are designed to

- a) protect PRU's V_{RECT} from over-voltage (i.e., $V_{RECT} > V_{RECT_MAX}$),
- a) reduce PRU's V_{RECT} such that $V_{RECT} \leq V_{RECT_HIGH}$ within 5 s after a PRU reports its $V_{RECT} > V_{RECT_HIGH}$,
- b) ensure that all PRUs are provided a V_{RECT} voltage greater than V_{RECT_MIN} and less than V_{RECT_HIGH} , if objectives a) and b) are satisfied, and
- c) control I_{TX} , if objectives a), b) and c) are satisfied, to:
 - 1) optimize the V_{RECT} of the PRU with the highest percentage utilization of P_{RECT} power, or
 - 2) maximize the total system efficiency.

8.2 PTU specifications

8.2.1 PTU state

The PTU shall have the following states: PTU Configuration, PTU Power Save, PTU Low Power, PTU Power Transfer, PTU Local Fault, and PTU Latching Fault. See Figure 6.



IEC

Figure 6 – PTU state model

8.2.2 General state requirements

8.2.2.1 General state introduction

8.2.2 defines requirements that are not specific to one PTU state.

8.2.2.2 New device registration

The PTU shall allow for registration of new devices after receiving valid PRU advertisements (see 9.6.3) in the PTU Power Save, PTU Low Power and PTU Power Transfer states.

8.2.2.3 PTU link supervision timer

The PTU shall maintain a separate link supervision timer for each PRU connection. The link supervision timer shall be started at zero seconds when a connection is established. The link supervision timer shall reset immediately after any BLE message is received from the PRU. The link supervision timer shall expire in one second.

If a PTU link supervision timer expires with less than 2 W of P_{TX_IN} variation before the timer expires, the PTU shall attempt the link loss reconnection procedure. See 9.4.5.3.3. If the reconnection procedure is not successful within 1,1 s after the PTU link expiration, the PRU shall be removed from the system registry. The PTU may consider that a PRU malfunction has occurred and enter the PTU Latching Fault state.

If the PTU link supervision timer expires with greater than or equal to 2 W of P_{TX_IN} variation before the timer expires, then the PTU shall remove the PRU from the system registry. If afterwards, the system registry is empty, the PTU shall enter the PTU Power Save state.

8.2.2.4 Messaging latency

Latency introduced by packet error rate is not considered as part of this document.

8.2.2.5 PTU response time for PRU detection

The PTU shall be capable of detecting a PRU placed in the charge area and enter PTU Power Transfer state or inform the PRU of power denial within the time as specified in Table 5.

NOTE 1 The PTU informs the PRU of power denial through writing in the permission field of the PRU control characteristic as described in Table 20.

Table 5 – Time requirement to enter PTU Power Transfer state

Condition	Maximum time for initiating charge of PRU s
Category 1 PRU	3,5
Until March 01, 2015: PRU creates less than $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$	7
PRU creates $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$ or greater and no extended long beacon request from PRU	1
PTU extends long beacon	3,5

See 7.3.3.4, for short beacon PRU-induced impedance, $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$.

NOTE 2 For category 2-5 PRUs, the maximum time for initiating charge of a PRU is based on short beacon operation (see 8.2.3.3) as well as the PTU-PRU ability to establish a BLE connection and complete WPT registration (see 8.2.4.2).

8.2.2.6 PTU Registration Timer

The PTU shall start a registration timer when a valid advertisement (see 9.6.3) is received. The timer shall be stopped when the PTU writes the control characteristic to the PRU. The registration timer shall expire in 500 ms. If the registration timer expires, the PTU may provide an indication to the user that a PRU connection attempt has failed.

If the PTU Registration Timer expires, the PTU shall terminate the connection with the PRU which failed to register, if the BLE connection was already established prior to registration timeout.

8.2.3 PTU power save state

8.2.3.1 State entry procedure

8.2.3.1.1 Beacon sequence start

The PTU shall start the beacon sequence within 50 ms of entering the PTU Power Save state.

8.2.3.1.2 Device registry

The PTU's device registry shall be cleared, except for the registry information of PRUs in charge complete connected mode.

8.2.3.2 Beacon sequence

During the PTU Power Save State, the PTU shall

- periodically apply current to the PTU resonator to detect changes of impedance of the PTU resonator, and
- periodically apply current to the PTU resonator to allow communication between PTU and PRU.

The beacon sequence is comprised of long beacons and short beacons as shown in Figure 7.

NOTE 1 Short beacon purpose is to detect changes in PTU impedance caused by the placement of an object in charge area. The use of short beacon reduces standby power.

NOTE 2 Long beacon purpose is to guarantee that PRUs have sufficient power to boot and respond.

See 9.6.3 for additional requirements.

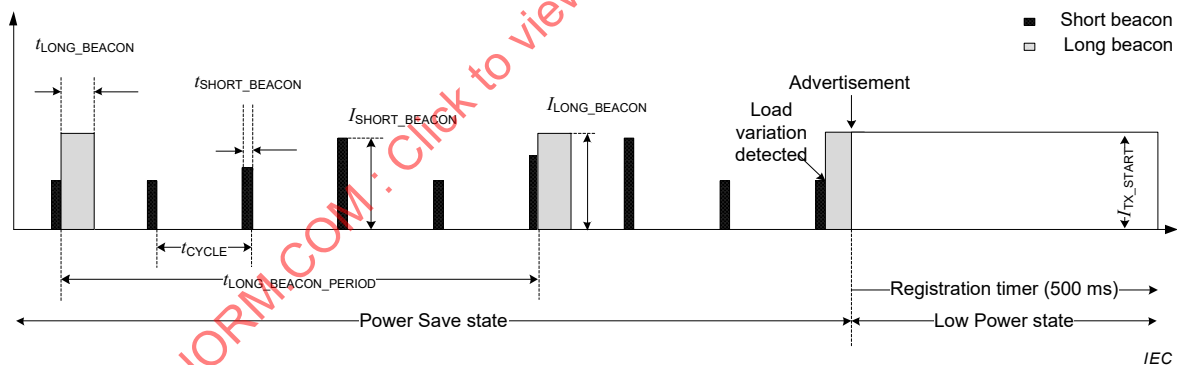


Figure 7 – Beacon sequences

8.2.3.3 Short beacon

8.2.3.3.1 Short beacon timing

The PTU shall periodically apply a short beacon to the PTU resonator to detect changes in impedance. The period, t_{CYCLE} , shall be $250 \text{ ms} \pm 5 \text{ ms}$. The short beacon-on-period ($t_{\text{SHORT_BEACON}}$) shall be between 10 ms and 30 ms.

8.2.3.3.2 Short beacon current

$I_{\text{TX_SHORT_BEACON_MIN}}$ is defined to be a measureable current greater than $I_{\text{TX_SHORT_BEACON_MIN}}$ and sufficient to enable detection of Category 2 and larger PRUs. See also 7.3.2.2.1 for short beacon current requirements.

8.2.3.3.3 Load variation detection

With the short beacon, the PTU shall be capable of sensing the reactance and resistance change of $Z_{TX_IN_LOAD_DETECT}$. $Z_{TX_IN_LOAD_DETECT}$ is called out in 10.3. See Figure 8. See also 7.3.3.4 for short beacon PRU-induced impedance.

The PTU shall initiate long beacon immediately when it detects a load variation during short beacon.

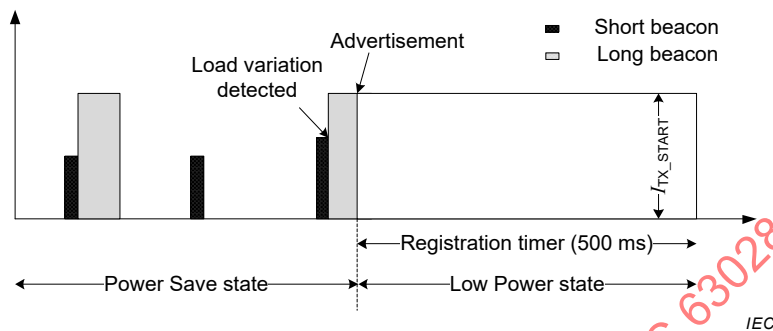


Figure 8 – Load variation detection

8.2.3.4 Long beacon

8.2.3.4.1 Long beacon timing

The PTU shall periodically apply current, $I_{TX_LONG_BEACON}$, to the PTU resonator. The PTU shall apply current $I_{TX_LONG_BEACON}$, as defined in 8.2.3.4.2, within 10 ms of the short beacon ending. The beacon-on-period (t_{LONG_BEACON}) shall be $105\text{ ms} \pm 5\text{ ms}$, unless exiting PTU Power Save state, in which case it may be shorter. The beacon period ($t_{LONG_BEACON_PERIOD}$) shall be longer than 850 ms and shall not exceed 3 000 ms. The long beacon shall be concatenated with a short beacon.

If the PRU requires long beacon extension, it shall generate a $100\text{ Hz} \pm 20\text{ Hz}$ load variation with a 45 % – 55 % duty cycle for at least 22 ms during the long beacon period. The PRU load variation shall be between 0,5 W and 1,1 W at the rectifier during the positive edge of the clock signal.

The PTU shall extend the long beacon to 3 000 ms when it detects at least two load variations at $(100 \pm 20)\text{ Hz}$ during the long beacon.

NOTE 1 The purpose of the long beacon is to induce sufficient voltage in a PRU to elicit a response.

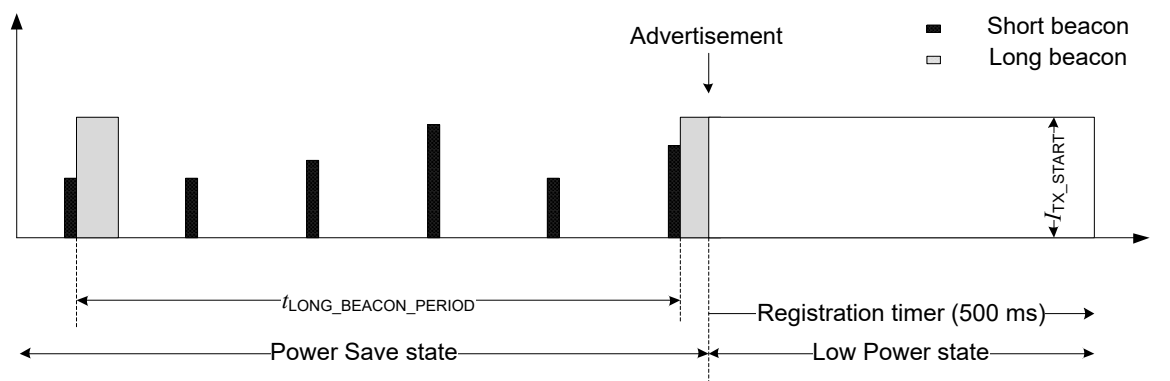
NOTE 2 The beacon-on-period is defined as the period of time during which the I_{TX} is greater than $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$. Rise and fall times are not included.

8.2.3.4.2 Long beacon current

See 7.3.2.2.1 for long beacon current requirements.

8.2.3.4.3 Device discovery

The PTU shall scan for WPT service related BLE advertisements during the long beacon-on period. See Figure 9 and 9.4.5.



IEC

Figure 9 – Discovery

8.2.4 PTU Low Power state

8.2.4.1 State entry procedure

8.2.4.1.1 I_{TX} adjustment

The PTU shall apply a current ranging from $0,8 \times I_{\text{TX_START}}$ to $I_{\text{TX_START}}$ within 100 ms of entering the PTU Low Power state. I_{TX} shall change monotonically between its previous state and a level between $0,8 \times I_{\text{TX_START}}$ and $I_{\text{TX_START}}$. The PTU shall then maintain the current between $0,8 \times I_{\text{TX_START}}$ to $I_{\text{TX_START}}$ until exiting the PTU Low Power state.

NOTE $I_{\text{TX_START}}$ is sufficient to wake up the communication circuit of the PRU.

8.2.4.1.2 Other state entry procedures

None.

8.2.4.2 WPT device registration

In the PTU Low Power state, the PTU shall establish a BLE connection with the PRU and complete registration according to the requirements in 9.4.5 and 9.3.7

8.2.5 PTU Power Transfer state

8.2.5.1 State entry procedure

8.2.5.1.1 I_{TX} adjustment

The PTU shall apply a current ranging from $0,8 \times I_{\text{TX_NOMINAL}}$ to $I_{\text{TX_NOMINAL}}$ within 500 ms of entering the PTU Power Transfer state.

8.2.5.1.2 Other state entry procedures

None.

8.2.5.2 General requirements

8.2.5.2.1 PTU Power Transfer state I_{TX}

The PTU shall continuously apply I_{TX} . The PTU shall adjust its I_{TX} as per the algorithms specified in 8.2.5.5.1.

8.2.5.2.2 I_{TX} adjustment timing

The PTU shall adjust I_{TX} at least once every 250 ms if an adjustment is required, and if I_{TX} has settled (see 8.2.5.2.4) from its previous adjustment, and if all connected PRUs' Dynamic Parameter Characteristics (see 9.5.7) are received within that interval. Prior to writing a PRU Control Characteristic with Enable PRU output = "1" (see 9.5.4), the PTU may apply $I_{TX_NOMINAL}$ with 10 % tolerance for expecting a V_{RECT} drop on the PRU due to additional loading. However, if any of these three conditions are not met, then I_{TX} shall not be adjusted.

8.2.5.2.3 PTU I_{TX} transition response

When increasing or decreasing I_{TX} , the transition shall not be under-damped. See Figure 10.

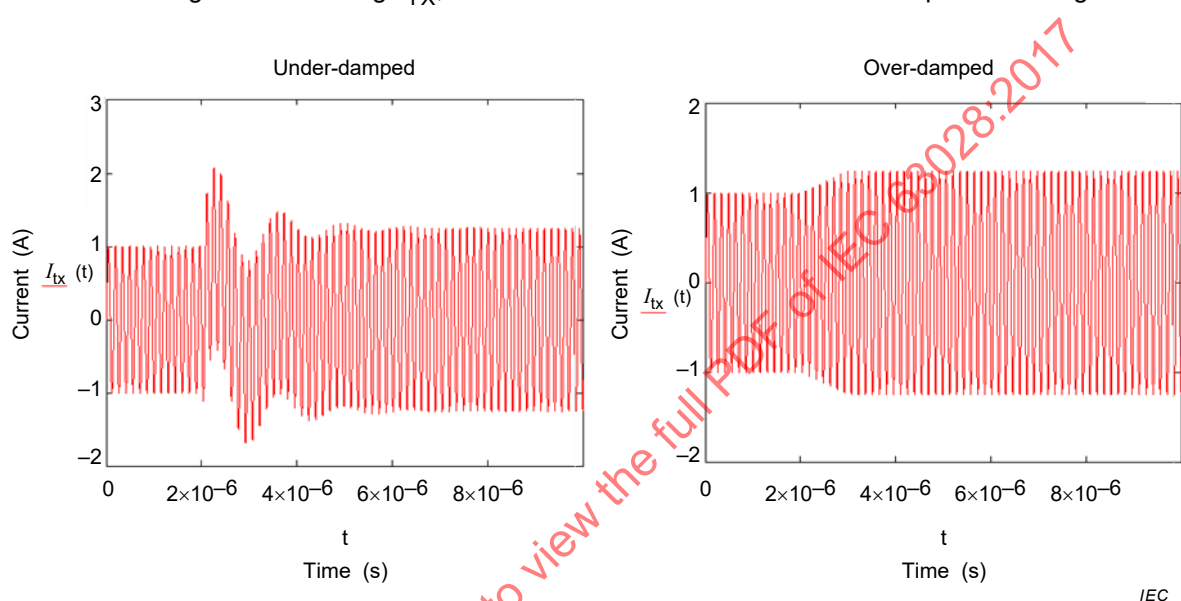


Figure 10 – PTU I_{TX} transition responses

8.2.5.2.4 PTU Power Transfer state I_{TX} settling time

I_{TX} shall reach steady state (90 % of the delta between the start and end current values) within 250 ms of any transition.

8.2.5.3 Sub-state definitions and transitions

The PTU Power Transfer state shall have three sub-states with the conditions for entering the sub-state shown in Table 6.

Table 6 – Sub-state of PTU Power Transfer

Sub-state	Condition for entering sub-state
1	All PRUs are in Optimum Voltage sub-state 0 system error
2	One or more PRUs are in Low Voltage sub-state 0 device are in High Voltage sub-state 0 system error
3	One or more PRUs are in High Voltage sub-state 0 system error

8.2.5.4 PRU reported values

The sub-state of a PRU is determined by examining the V_{RECT} reported by the PRU in relation to the $V_{RECT_MIN_STATIC}$ and $V_{RECT_HIGH_STATIC}$ parameters reported in the PRU Static Parameter Characteristic (see 9.5.6.3). If the PRU reports $V_{RECT_MIN_DYN}$ and $V_{RECT_HIGH_DYN}$ parameters in the PRU Dynamic Parameter Characteristic (see 9.5.7), the PTU shall use the most recently reported values in place of the values reported in the PRU Static Parameter Characteristic.

8.2.5.5 PTU Power Transfer sub-state 1

8.2.5.5.1 PTU Power Transfer sub-state 1 algorithm selection

The PTU shall use either the $V_{RECT_MIN_ERROR}$ or η_{MAX} algorithm. The PTU may switch between algorithms. However, the PTU shall not make an adjustment to I_{TX} that will cause any PRU operation to move outside of the optimum voltage region.

It is recommended that the PTU select the preferred algorithm of the dominant PRU.

NOTE For $V_{RECT} \times I_{RECT} / P_{RECT_MAX}$, P_{RECT_MAX} is reported in the PRU Static Parameter Characteristic value.

8.2.5.5.2 PTU Power Transfer sub-state 1 $V_{RECT_MIN_ERROR}$ algorithm

If the PTU is paired with one PRU, the PTU shall minimize the value of $E_{VRECT} = |V_{RECT} - V_{RECT_SET}|$.

If the PTU is paired with more than one PRU, the PTU shall adjust I_{TX} to minimize the E_{VRECT} for the PRU with the highest percentage utilization of its rated output.

The percentage of the rated output shall be calculated as P_{RECT} / P_{RECT_MAX} . P_{RECT_MAX} is the maximum output power of a PRU design.

NOTE $P_{RECT} = I_{RECT} \times V_{RECT}$.

8.2.5.5.3 PTU Power Transfer sub-state 1 η_{MAX} algorithm

The PTU shall adjust I_{TX} to maximize the total system efficiency. η_{MAX} is calculated as $\Sigma(P_{RX_REPORTED}) / P_{IN}$.

8.2.5.5.4 PTU Power Transfer sub-state 1 I_{TX} adjustment step size

I_{TX} adjustments shall have a step size no greater than 5 % of I_{TX_MAX} and no smaller than 1 % of I_{TX_MAX} with the following exceptions.

- If any PRU's V_{RECT} is greater than $V_{RECT_HIGH} \times 0,95$, the positive I_{TX} step size may be reduced.
- If any PRU's V_{RECT} is less than $V_{RECT_MIN} \times 1,05$, the negative I_{TX} step size may be reduced.
- If the dominant PRU's V_{RECT} is between $V_{RECT_SET}/1,05$ and $V_{RECT_SET}/0,95$, the positive and negative I_{TX} step size may be reduced.
- If I_{TX} is above I_{TX_MAX} , the positive I_{TX} step size may be reduced to avoid exceeding $I_{TX_ABS_MAX}$.

While using the $V_{RECT_MIN_ERROR}$ algorithm, the PTU shall be able to drive I_{TX} to get V_{RECT} of a PRU within 5 % of V_{RECT_SET} , unless doing so requires the I_{TX} to exceed I_{TX_MAX} or to fall below $I_{TX_NOMINAL}$. See 7.3.2.2.1 for operational limits on I_{TX} .

If only Category 4 and above PRUs are present, adjustments may be made at up to a step size of 10 %.

8.2.5.6 PTU Power Transfer sub-state 2

8.2.5.6.1 PTU Power Transfer sub-state 2 algorithm

The PTU shall increase I_{TX} until all PRUs have $V_{RECT(N)} \geq V_{RECT_MIN(N)}$, however the PTU should not make an adjustment to I_{TX} that causes any PRU to move into the High Voltage sub-state or the PRU System Error state for an over-voltage.

8.2.5.6.2 PTU Power Transfer sub-state 2 I_{TX} adjustment step size

I_{TX} adjustments shall have a step size no greater than 5 % of I_{TX_MAX} and no smaller than 1 % of I_{TX_MAX} .

8.2.5.7 PTU Power Transfer sub-state 3

8.2.5.7.1 PTU Power Transfer sub-state 3 algorithm

The PTU shall decrease I_{TX} until all PRUs report $V_{RECT(N)} \leq V_{RECT_HIGH(N)}$.

8.2.5.7.2 PTU Power Transfer sub-state 3 I_{TX} adjustment step size

I_{TX} adjustments shall have a step size no greater than 5 % of I_{TX_MAX} and no smaller than 1 % of I_{TX_MAX} .

8.2.6 PTU Configuration state

8.2.6.1 State entry procedure

8.2.6.1.1 I_{TX} adjustment

If $I_{TX} > 50 \text{ mA}_{rms}$ at the state entry, the PTU shall decrease I_{TX} to below 50 mA_{rms} within 500 ms of entering the PTU Configuration state.

8.2.6.1.2 PTU Configuration state time limit

The PTU shall exit the PTU Configuration state within 4 s of entering the state.

8.2.6.1.3 Device registry

The device registry shall be cleared.

8.2.6.2 PTU Configuration state functions

The PTU may perform self and system checks during the PTU Configuration state.

8.2.6.3 PTU Configuration state I_{TX}

I_{TX} shall remain below 50 mA_{rms} .

8.2.7 PTU Local Fault state

8.2.7.1 General

The PTU may exit any state and enter the PTU Local Fault state if the PTU experiences any local fault condition that requires power to be shut down. This may include, but is not limited to, PTU local over-temperature, local over-current, local over-voltage or any local PTU failure.

Before reaching a PTU over-temperature condition, the PTU shall attempt to limit the power allocated (i.e., drawn) by the PRUs being charged. For example, the PTU may send an Adjust power command to all PRUs receiving power that support the command, to reduce to a lower percentage of P_{RECT_MAX} (e.g., 66 %). Other implementations may include sending Disable PRU output, switching PTU power transfer sub-state algorithms, switching dominant PRU, or any other power limiting implementation.

8.2.7.2 State entry procedure

8.2.7.2.1 I_{TX} adjustment

If $I_{TX} > 50 \text{ mA}_{rms}$ at the state entry, the PTU shall decrease I_{TX} to below 50 mA_{rms} within 500 ms of entering the Fault state.

8.2.7.2.2 Device registry

The device registry shall be cleared.

8.2.7.3 PTU Local Fault state I_{TX}

I_{TX} shall remain below 50 mA_{rms} .

8.2.8 PTU latching fault state

8.2.8.1 General

A PTU enters the PTU Latching Fault state in response to at least one of the triggers listed in Table 7.

8.2.8.2 State entry procedure

8.2.8.2.1 I_{TX} adjustment

If $I_{TX} > 50 \text{ mA}_{rms}$ at the state entry, the PTU shall decrease I_{TX} to below 50 mA_{rms} within 500 ms of entering the PTU Latching Fault state.

8.2.8.2.2 Device registry

The device registry shall be cleared.

8.2.8.3 Clearing PTU latching fault

Unless the PTU is in the PTU Local Fault state, the PTU shall first attempt to clear the latching fault. If the PTU is unable to clear the latching fault, the PTU remains in the latching fault persistently which requires user interaction for clearing. The PTU shall attempt up to three times to clear the latching fault. Each PTU attempt for clearing the latching fault shall take between 1,1 s and 30 s from the start of the latching fault. The PTU shall clear the latching fault up to three times in succession by transitioning back to the PTU Power Save state, thus causing a system restart. If there are more than three successive latching faults, the PTU shall stay in the PTU Latching Fault state persistently and provide an indication to the user to clear the latching fault. The user clears persistent latching faults by removing all devices from the PTU (see 8.2.8.4).

The count of successive latching faults, for the purposes of remaining in the PTU Latching Fault state, shall be cleared after five minutes of continuous operation with no system errors. The count shall also be cleared when the user clears a persistent latching fault condition.

8.2.8.4 Load variation detection

After $1 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$ from entering the PTU Latching Fault state, the PTU shall perform the short beacon sequence with constant I_{TX} described in 8.2.3.3. The PTU shall transition to PTU Power Save or PTU Configuration state if the short beacons detect a load variation indicating the removal of device or devices from the charge area (except for PTU Local Fault conditions).

8.2.9 PTU state transitions

8.2.9.1 PTU state transitions introduction

The PTU shall not make any state transitions unless they are defined in 8.2.9 as required or optional.

The PTU shall make all transitions designated as required.

8.2.9.2 PTU Power-up

PTU is powered up.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
Null	PTU Configuration	Required	None	None

8.2.9.3 PTU configuration complete

The PTU completes a self-test.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PTU Configuration	PTU Power Save	Required	None	At least one PTU Local Fault

8.2.9.4 Device detected and charge start from PTU Power Save

The PTU shall begin device registration when one of the following occurs.

- The PTU receives a valid advertisement (see 9.6.3) from a non-connected PRU.
- The PTU reads a dynamic parameter or receives an alert from a connected PRU that indicates charge required (Charge complete = 0).

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PTU Power Save	PTU Low Power	Required	0 system errors or PTU receives: – Advertisement or – Characteristic with Charge complete = 0	None

8.2.9.5 PTU link supervision timer expired

The PTU link supervision timer expires for one or more PRUs.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PTU Power Transfer	PTU Power Save	Required	0 system errors	At least one PTU Local Fault
PTU Low Power			All connections lost	
PTU Power Transfer	PTU Latching Fault	Optional	0 system errors	None
PTU Low Power			Any connection lost without power variation and unsuccessful reconnection	

8.2.9.6 PTU-PRU registration complete

The PTU has completed the registration process and sent a PRU Control Characteristic to the PRU.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PTU Low Power	PTU Power Transfer	Required	0 system errors and bit field for permission equal to "0000 0000"	None
PTU Low Power	PTU Power Save or PTU Local Fault or PTU Power Transfer	Optional	0 system errors and bit field for permission not equal to "0000 0000"	None

8.2.9.7 Charge complete

This state transition indicates that a PTU has received a charge complete notification from all PRU units.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PTU Power Transfer	PTU Power Save	Required	0 system errors All PRU units indicate charge complete	At least one PTU Local Fault

8.2.9.8 PTU local fault

The PTU experiences a local fault condition.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PTU Power Save	PTU Local Fault	Optional	None	The local fault does not cause a state transition itself
PTU Low Power				
PTU Power Transfer				
PTU Configuration				
PTU Latching Fault				

8.2.9.9 PTU local fault cleared

The PTU determines that the PTU Local fault has been cleared.

NOTE The PTU Local fault is cleared when the conditions that caused the local fault are resolved.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PTU Local Fault	PTU Configuration	Optional	None	State preceding the PTU Local Fault was a PTU Latching Fault.
PTU Local Fault	PTU Latching Fault	Optional	State preceding the PTU Local Fault was a PTU Latching Fault	None

8.2.9.10 PTU Registration Timer expired

The PTU Registration Timer has expired.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PTU Low Power	PTU Power Save	Required	None	Entering PTU Latching Fault

8.2.9.11 PTU latching fault

The PTU latching faults are defined in Table 7

Table 7 – PTU latching faults

PTU latching faults	Latching fault description
1	Rogue object detected
2	System error – PRU over-voltage, over-current, over temperature
3 to 16	Reserved

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PTU Power Save	PTU Latching Fault	Required	None	None
PTU Low Power				
PTU Power Transfer				

8.2.9.12 User clears PTU latching fault

All latching faults are cleared by the user intervention.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PTU Latching Fault	PTU Power Save or PTU Configuration	Required	User intervention occurs	At least one PTU Local Fault

8.2.10 PTU Test Mode

PTU Test Mode is intended to operate with one PRU tester, the one that is requesting the initiation of testing, connected to the PTU. For a list of Tester Commands, see 9.5.7.14.

While in PTU Test Mode, the PTU behavior shall adhere to the protocol revision to which it complies, except as specified below.

- a) The PTU shall enter PTU Test Mode after reading a PRU Static Parameter Characteristic flag in the PRU Information octet during the PRU's device registration. See 9.5.6.7 for details of the PRU Static Parameter Characteristic Information Bit Field.
- b) The PTU shall enter Test Mode only if the PRU Static Characteristic Parameter message with the Test Mode bit set is received in less than 15 s after power is applied to the PTU.
- c) The PTU shall remain in test mode until the PRU simulator that initiated test mode is disconnected, or PTU shut down (power cycle).
- d) If a second PRU connects with the PTU in Test Mode, the PTU shall transition to a non-operational condition, similar to a hard reset, that is recoverable only by power cycle.

NOTE For the purposes of this requirement, connection with a second PRU is defined as the PTU having received the PRU's Static Characteristic message.

- e) I_{TX} in Test Mode shall be adjustable incrementally up or down as commanded by a field in the PRU Dynamic Parameter Characteristic value sent from the PRU that initiated test mode. See 9.5.7.14 for details of the PRU Dynamic Parameter Characteristic Tester Command. Commands to increase or decrease I_{TX} shall result in PTU I_{TX} increasing or decreasing in increments of greater than or equal to 5 % I_{TX_MAX} .
- f) When in Test Mode, current shall not be controlled by the external (BLE) feedback. Internal feedback, including tuning adjustment, if part of PA internal control, is acceptable.
- g) After adjusting I_{TX} by PRU simulator command or after adjusting load impedance, I_{TX} shall settle to steady state within 250 ms, after which no further changes in I_{TX} should be made until the next adjustment.
- h) The PTU in Test Mode shall have the ability to drive I_{TX} to $I_{TX_MAX} \pm 5\%$. The PTU in Test Mode shall be able to reach within 5 % of I_{TX_MIN} or to derated current at max R load, whichever is lower.
- i) I_{TX} shall not exceed $I_{TX_ABS_MAX}$ in Test Mode.

8.3 PRU specifications

8.3.1 PRU general requirements

8.3.1.1 Local protections

8.3.1.1.1 Over-temperature

The PRU shall implement local over-temperature protection³ such that when the PRU is operating in the Optimum Voltage sub-state and the ambient temperature is within the range of 0 °C to 30 °C, then the PRU shall not reach OTP limit. If the OTP limit is reached, the PRU shall report the over-temperature condition.

8.3.1.1.2 Over-current

The PRU shall implement local over-current protection and this protection shall occur at a current below the OCP alert limit. If the OCP limit is reached, the PRU shall report the over-current condition.

³ Local over-temperature protection can be in the form of the PRU having a heat dissipating structure.

8.3.1.1.3 Over-voltage

The PRU shall implement local over-voltage protection. The PRU may regulate its voltage by periodically closing and opening the OVP switch so that V_{RECT} stays within a region that allows communications with the PTU, and ensures that power dissipation and voltage levels are within acceptable levels. The PRU may report the over-voltage condition (see 8.3.6) only after $V_{RECT} \geq V_{RECT_MAX}$. If the OVP switch is located prior to the rectifier output, the PRU shall report the over-voltage condition after $V_{RECT} \geq V_{RECT_MAX}$, and close the OVP switch within 250 ms of triggering the OVP switch.

8.3.1.2 PRU signaling

The PRU shall be able to communicate in all V_{RECT} operating regions (see Figure 11) except the Under Voltage region.

8.3.1.3 PRU link establishment

The PRU shall not attempt to join a PTU network unless it is receiving power from a PTU.

8.3.1.4 PRU link supervision timer

The PRU shall maintain a separate link supervision timer for connection with the PTU. The link supervision timer shall start when a connection is established. The link supervision timer shall reset immediately after an expected BLE message is received. The link supervision timer shall expire in one second.

If a PRU link supervision timer expires, the PRU shall attempt the link loss reconnection procedure. The PRU shall maintain use of the same device address used prior to link expiration during the reconnection procedure. See 9.4.5.2.3. If the link loss reconnection procedure fails, then the PRU shall disable its charge output.

8.3.1.5 PRU link termination

When a PRU capable of providing its own power has an established link to a PTU and V_{RECT} drops below V_{RECT_UVLO} , the PRU shall initiate the GAP Terminate Connection procedure within 500 ms as described in 9.4.5.2.4, Idle connection.

8.3.1.6 PRU V_{RECT_SET} set value

V_{RECT_SET} shall always be greater than or equal to $V_{RECT_MIN_STATIC}$, and less than or equal to $V_{RECT_HIGH_STATIC}$ as reported in the PRU Static Parameter Characteristic (see 9.5.6.3). Likewise, if the PRU reports updated values in the PRU Dynamic Parameter message (see 9.5.7), $V_{RECT_SET_DYN}$ shall be greater than or equal to the most recently reported $V_{RECT_MIN_DYN}$, and less than or equal to $V_{RECT_HIGH_DYN}$. If no $V_{RECT_SET_DYN}$ is reported, $V_{RECT_MIN_DYN}$ shall never be greater than V_{RECT_SET} , and $V_{RECT_HIGH_DYN}$ shall never be less than V_{RECT_SET} . If no $V_{RECT_MIN_DYN}$ or $V_{RECT_HIGH_DYN}$ are reported, then $V_{RECT_SET_DYN}$ shall be greater than $V_{RECT_MIN_STATIC}$ and less than $V_{RECT_HIGH_STATIC}$.

8.3.1.7 PRU reported parameters

8.3.1.7.1 General

The PRU shall report V_{RECT} , I_{RECT} and PRU alert, and may report V_{OUT} , I_{OUT} , $V_{RECT_HIGH_DYN}$, $V_{RECT_MIN_DYN}$, $V_{RECT_SET_DYN}$ and temperature in the PRU On and PRU Boot states.

8.3.1.7.2 PRU reporting data age

At a given reporting instance, the value of each parameter shall be measured at least once since the last report. I_{RECT} and V_{RECT} values given in any report should be made within 1 ms of each other.

NOTE The 1 ms timing requirement between I_{RECT} and V_{RECT} measurements is highly desired and not intended to preclude implementations.

8.3.1.7.3 Accuracy of reported voltage

The value of $V_{\text{RECT_REPORT}}$ shall be reported with an accuracy better than $\pm 3 \%$, unless the PRU is in the PRU System Error state.

The voltage accuracy requirement is necessary for system control. The system is specified such that multi-device PTUs can keep all combinations of PRUs in the optimum voltage region. If there is error in the reported value of V_{RECT} , the system might be unable to keep all PRUs in the optimum voltage region.

8.3.1.7.4 Accuracy of reported current

The value of $I_{\text{RECT_REPORT}}$ shall be reported with accuracy better than 8 % of $P_{\text{RECT_MAX}}$ divided by $V_{\text{RECT_MIN}}$. $P_{\text{RECT_MAX}}$ and $V_{\text{RECT_MIN}}$ are those reported within the PRU Static Parameters. See also Table 8.

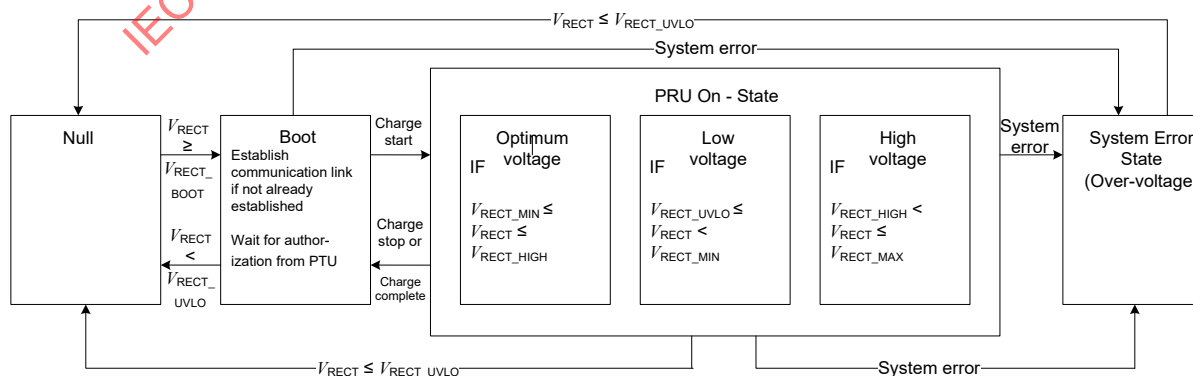
$$\text{ABS} (I_{\text{RECT}} - I_{\text{RECT_REPORT}}) \leq (8 \%) (P_{\text{RECT_MAX}} / V_{\text{RECT_MIN}})$$

Table 8 – Example of accuracy of reported current

Allowable I_{RECT} report delta for 8 % error							
milliamps							
	Pwr	Current	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5
Max W				3,5	5		
V_{RECT_MIN}				8	8		
	0	0,000		35,00	50,00		
	0,5	63		35,00	50,00		
	1	125		35,00	50,00		
	1,5	188		35,00	50,00		
	2	250		35,00	50,00		
	2,5	313		35,00	50,00		
	3	375		35,00	50,00		
	3,5	438		35,00	50,00		
	4	500			50,00		
	4,5	563			50,00		
	5	625			50,00		
	5,5	688			50,00		
	6	750			50,00		
	6,5	813			50,00		
	7	875					
	7,5	938					
	8	1 000					
	8,5	1 063					
	9	1 125					

8.3.2 PRU state model

The PRU can be in one of five states identified in Figure 11 and five operating regions at any given time. The operating region shall be determined by the value of V_{RECT} (as identified in Figure 12).



IEC

Figure 11 – PRU state model

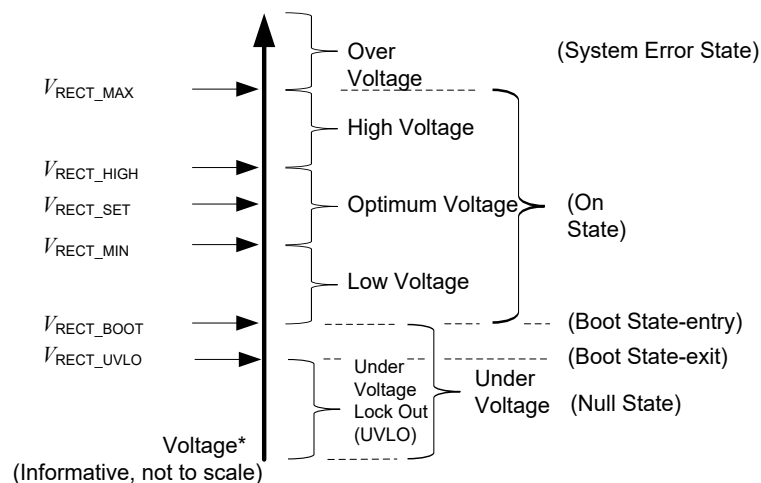


Figure 12 – V_{RECT} operating regions

8.3.3 Null state

At start-up, a PRU shall be considered to be in the Null state when $V_{RECT} < V_{RECT_BOOT}$. After exiting the Null state, a PRU shall be considered to re-enter the Null state when V_{RECT} falls below V_{RECT_UVLO} .

8.3.4 PRU boot

8.3.4.1 State procedure

The PRU shall disable its output at start-up.

If the PRU is not in a connection with the PTU, the following applies.

- If Charge Complete = 0, and if the PRU does not generate a long beacon extension request signal, the PRU shall send an advertisement within 100 ms of I_{TX} exceeding $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$ or I_{TX_MIN} (whichever threshold is lower).
- If Charge Complete = 0, and if the PRU generates a long beacon extension request signal, then the PRU shall send an advertisement within 3 s of I_{TX} exceeding $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$ or I_{TX_MIN} (whichever threshold is lower).
- Otherwise, if I_{TX} continuously exceeds $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$ or I_{TX_MIN} (whichever threshold is lower) for a period of 600 ms, the PRU shall send an advertisement within 800 ms of I_{TX} exceeding that lower threshold.
- The PRU shall not consume more than P_{RECT_BOOT} during the PRU Boot state. P_{RECT_BOOT} shall be less than 1,1 W.

8.3.4.2 Other state entry procedures

None.

8.3.5 PRU On state

8.3.5.1 PRU On state general requirements

8.3.5.1.1 Output enable/disable

The PRU shall draw less than 1,1 W (calculated at the output of the rectifier) unless allowed by the PTU. The PRU shall reduce its output to less than 1,1 W, within 1,1 s if Enable PRU output is set to "0" by the PTU (see 9.5.4).

8.3.5.1.2 Other On state requirements

None.

8.3.5.2 Optimum Voltage sub-state

A PRU is in the Optimum Voltage sub-state when $V_{RECT_MIN} < V_{RECT} < V_{RECT_HIGH}$.

8.3.5.3 Low Voltage sub-state

A PRU is in the Low Voltage sub-state when $V_{RECT_BOOT} \leq V_{RECT} < V_{RECT_MIN}$.

8.3.5.4 High Voltage sub-state

A PRU is in the High Voltage sub-state when $V_{RECT_HIGH} < V_{RECT} \leq V_{RECT_MAX}$.

NOTE In the High Voltage sub-state, the PRU might not be capable of continuous operation.

8.3.5.4.1 High voltage operation time

A PRU shall not disconnect its output if $V_{RECT_HIGH} < V_{RECT} \leq V_{RECT_MAX}$ for a period of less than five seconds. This time shall be measured starting from the moment that the PRU communicates information indicating that it is within the High Voltage sub-state. A PRU may disconnect the output after five seconds.

8.3.5.4.2 High voltage sustain time

The PRU shall not be damaged in the High Voltage sub-state.

8.3.5.5 PRU Local Fault

PRU Local Fault is any error condition that is not required to be reported to the PTU (i.e., any non-system error). For system errors, see 8.3.6. PRU Local Faults then by their nature do not require the PTU to transition to the PTU Latching Fault state and therefore do not need to be specifically identified in this document. While experiencing a PRU Local Fault, the PRU shall continue communicating with the PTU, and shall not indicate a system error if there is not a system error (see 8.3.6). However, the PRU may adjust or disconnect its output.

8.3.6 PRU System Error state

8.3.6.1 General

A PRU shall be considered to be in the PRU System Error state when

- a) over-voltage alert is active ($V_{RECT} > V_{RECT_MAX}$), or
- b) over-current alert is active, or
- c) over-temperature alert is active.

8.3.6.2 Charge output

The PRU shall shut down output charging power in the PRU System Error state until the error condition is removed, except for PRU System Error state caused by PRU over-voltage.

8.3.6.3 PRU alert

The PRU shall send one or more alerts to the PTU when it is in the PRU System Error state within 250 ms of entering the PRU System Error state. See 9.5.8 and 9.5.7.

8.3.6.4 PRU alert messaging

The PRU shall be capable of sending notifications to the PTU as long as it is in the PRU System Error state and the PRU is receiving power from the PTU.

8.3.7 PRU state transitions

8.3.7.1 General

The PRU shall not make any state transitions unless they are defined in 8.3.7 as required or optional.

The PTU shall make all transitions designated as required.

8.3.7.2 Power applied

Power is applied. The PRU is in the charge area and $V_{RECT} \geq V_{RECT_BOOT}$.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PRU Null	PRU Boot	Required	None	None

8.3.7.3 PRU on state

The PRU enters the PRU On state when the PRU Control is written during device registration by the PTU.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PRU Boot	PRU On	Required	None	None

8.3.7.4 Charge complete

The PRU is disconnected or the PRU sets its Charge Complete bit to "1".

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PRU On	PRU Boot	Required	None	None

8.3.7.5 Power removed

Power is removed from the PRU. This can be related to PTU shutdown ($V_{RECT} < V_{RECT_UVLO}$) or the PRU has been removed from the charge area.

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PRU Boot	Null State	Required	None	None
PRU On				
PRU System Error				

8.3.7.6 PRU system error

The PRU shall transition to the PRU System Error state only if the PRU is unable to handle the condition locally without shutting down PTU power (i.e., moving to PTU Latching Fault). See 8.3.1.1. The PRU system errors are defined in Table 9.

Table 9 – PRU system errors

System error	System error description
1	PRU over-voltage
2	PRU over temperature
3	PRU over-current
4	A PRU determines it is receiving power from a first PTU, but is connected to the network of a second PTU.
5 to 16	Reserved

Origin state	Destination state	Required or optional	Additional required conditions	Exceptions
PRU Boot	PRU System Error	Required	None	None
PRU On				

9 Signaling specifications

9.1 Architecture and state diagrams

9.1.1 Architecture

The WPT network is a star topology (see Figure 13). The PTU exchanges information with the PRUs, and make operating point decisions, and resource allocations, if applicable. Each PRU transmits its information and receives network management information from the PTU operating as a network coordinator.

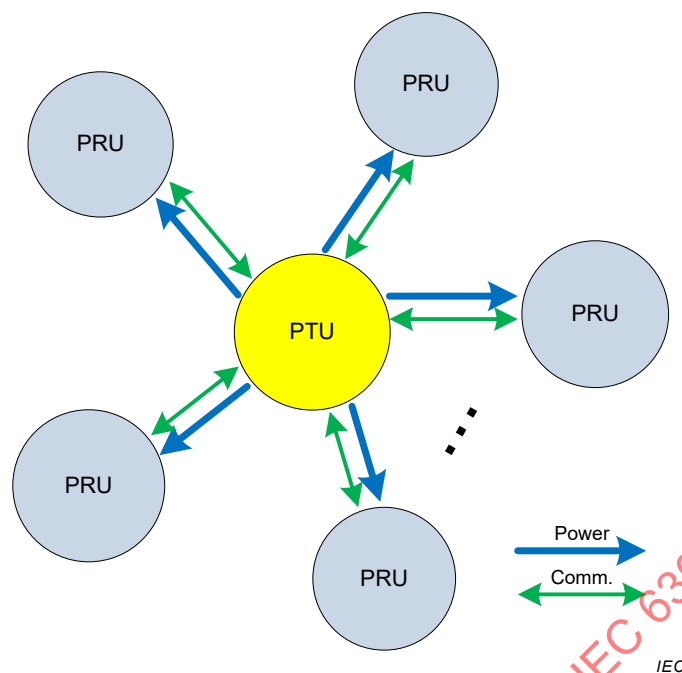


Figure 13 – Basic architecture of WPT system

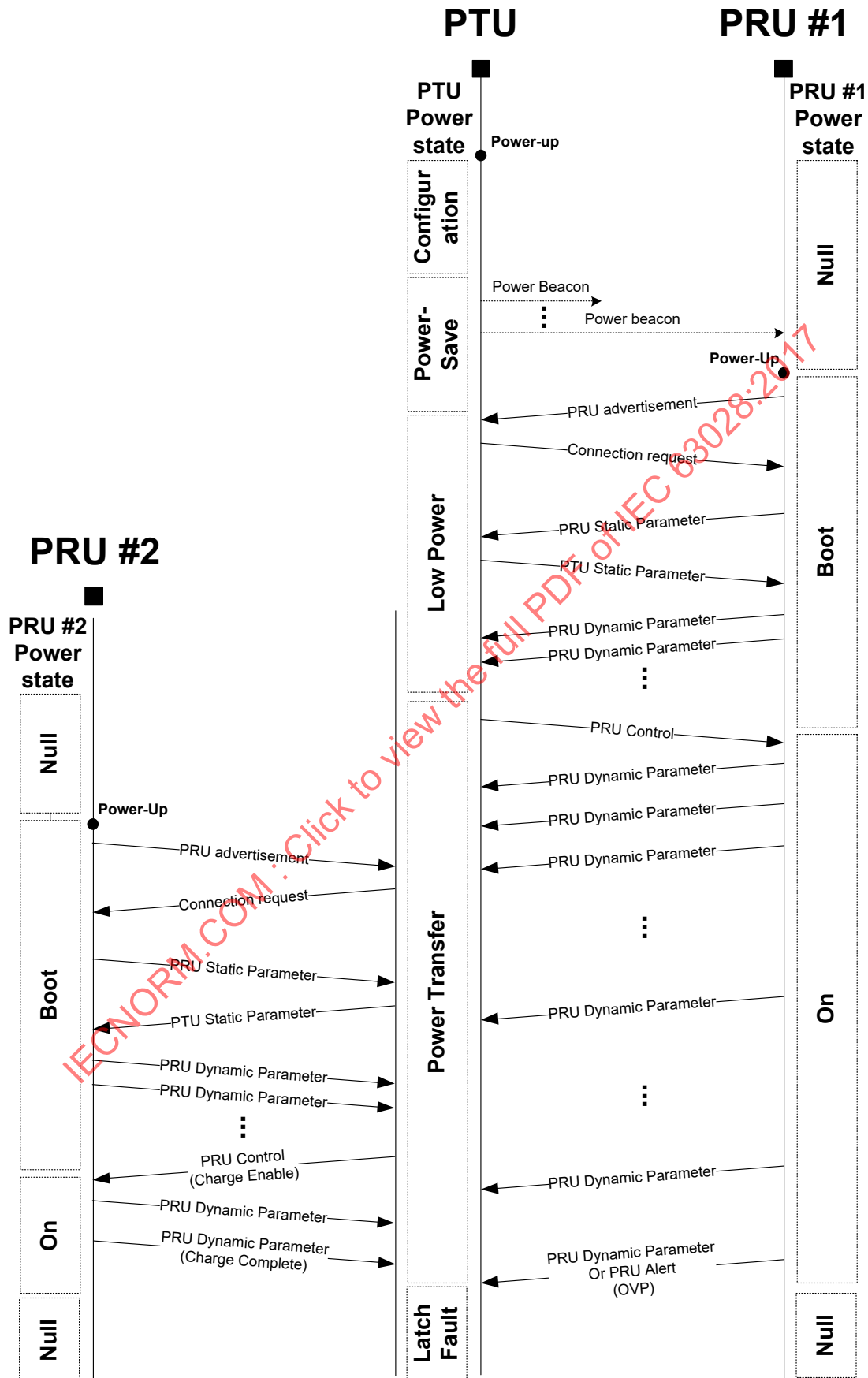
The PTU shall create and maintain the WPT network.

In PTU Power Transfer state, the PTU configures timing and sequence of PRUs.

The PTU shall manage and update the device control table (which has a role of managing and checking status of PRUs in its own network) and maintain its network with its time sync clock. It manages the timing and sequence of PRU communication.

9.1.2 Overall charge process

The wireless power transfer process begins with the PTU in the PTU Power Save state applying short and long beacons to the PTU resonator as required for load variation detection and eliciting a PRU response (see 8.2). Upon device detection, the PTU transitions to PTU Low Power state, establishes a communication link with the PRU, and exchanges information necessary for wireless power transfer. See also Figure 14.



IEC

Figure 14 – Basic state procedure (informative)

No PTU power transmission except beacon power takes place until the PTU receives a PRU advertisement. The PRU repeatedly sends advertisements until it receives a PTU Connection Request (see 9.3.7).

Upon receiving the PRU advertisement, the PTU enters PTU Low Power state if it is in PTU Power Save state. The PRU stops sending advertisements after it has received a Connection Request from the PTU. The PRU and the PTU form a connection.

The PTU first reads the value of the PRU Static Parameter that describes the status of the PRU. The PTU then writes a value to the PTU Static Parameter that describes the capabilities of the PTU.

Once the devices have exchanged static information, the PTU reads the PRU Dynamic Parameter that provides measured parameters from the PRU. The PTU then writes a value to the PRU Control including the information such as enable/disable charge and permission. The PTU may write to the PRU Control as needed and the PTU periodically reads the PRU Dynamic Parameter that contains values such as voltage, current, PRU status, and/or temperature.

Charging is initiated when the PTU writes a value to the PRU Control of the PRU that enables charging and it is delivered when the PTU has enough power to charge the PRU. In this state (PRU On), the PRU Dynamic Parameter is read by the PTU at least every 250 ms.

Based on the power information in the PRU Dynamic Parameter, the PTU updates the device control table in the registry corresponding to each PRU status.

If the PRU detects a system error or completes charging, the PRU sends one or more PRU alert notifications to the PTU. The PRU Dynamic Parameter is updated to include data describing the reason for the alert before sending to the PTU (e.g., over-current, over-voltage, over-temperature and self-protection notifications).

9.2 Charge procedure and requirements

9.2.1 Removing PRU from WPT network

A PRU shall be removed from the network when the conditions described in 8.2.2.3 and 8.2.9.5 are met.

9.2.2 Power Sharing mode

Power Sharing mode allows for power allocation across multiple devices when the PTU does not have enough power to supply full $P_{\text{RECT_MAX}}$ to all devices requesting power. The PTU shall support Power Sharing mode.

See 7.3.2.2.1, 7.3.3.1.2 and 7.3.3.1.3 for the PRU V_{RECT} conditions.

When a new PRU (i.e., a PRU that makes a new connection to initiate power transfer), completes device registration, the PTU before sending a PRU Control characteristic to enable charging shall determine if the PRUs currently receiving power from the PTU need to adjust their power draw to a lower value to allow the new PRU to draw power. If power adjustments are necessary, the PTU shall first send a PRU Control Characteristic to the new PRU with Permission set to "0000 0001" (see Table 22), determine the necessary adjustment needed from all the PRUs currently receiving power and then send PRU Control characteristics with adjust power commands to the PRUs that support the command (see Table 33, bit 4 "Adjust power capability").

If the PTU determines that it needs to adjust power draw from the PRUs currently receiving power to provide power to the new PRU, the PTU shall wait for a response from all the PRUs that support the adjust power command, before:

- a) deciding whether or not it can provide power to the new PRU,
- b) enabling the new PRU's charge port output by writing the PRU Control Characteristic with the bit field of Permission set to "0000 0000", if the PTU decides to provide power to the new PRU.

If the PTU cannot support the new device's full P_{RECT_MAX} requirement, but the new PRU supports power adjustment, and an adjust power command would reduce P_{RECT} to a range that the PTU can support, then the PTU shall send an appropriate adjust power command. The PTU shall wait for the "Adjust power response" (see 9.5.7.13) in the PRU Dynamic Parameter from the new PRU. The new PRU shall adjust power as requested by the PTU and set the "Adjust power response" bit to "1". If the PTU reads "Adjust power response", the PTU shall write the PRU Control Characteristic with bit field of Permission set to "0000 0000", on the new PRU and initiate charge.

9.3 Bluetooth low energy requirements

9.3.1 Bluetooth low energy requirements introduction

9.3 provides baseline requirements for the Bluetooth Low Energy profile to control a WPT system which operates with resonant coupling between two or more devices.

9.3.2 Bluetooth low energy objectives

The BLE radio system is intended to provide communication between one PTU and the PRU's being charged by that PTU.

9.3.3 PTU hardware requirement

A PTU Wireless Power Transfer service and profile shall be implemented using a Listed Bluetooth Qualified Design (QDL) with an LE Core Configuration or Basic Rate and Low Energy Combined Core Configuration as defined in the Bluetooth core specification v4.0, Volume 0, Part B, Section 3.1..

9.3.4 PRU hardware requirement

A PRU shall incorporate a compliant and qualified Bluetooth End Product with an LE Core Configuration or Basic Rate and Low Energy Combined Core Configuration as defined in the Bluetooth core specification v4.0, Volume 0, Part B, Section 3.1..

9.3.5 Basic network structure

The BLE network structure shall consist of one central device in the PTU and up to eight PRU peripherals.

9.3.6 RF requirements

9.3.6.1 PTU BLE transmit power

The PTU BLE radio shall transmit between –6 dBm and +8,5 dBm measured at the antenna connector.

9.3.6.2 PTU BLE sensitivity

The PTU BLE radio shall have sensitivity of better than –77 dBm at the antenna connector.

9.3.6.3 PTU BLE saturation

The PTU BLE radio shall support a maximum usable input level of –1 dBm at the antenna connector.

9.3.6.4 PRU BLE transmit power

The PRU BLE radio shall transmit between –6 dBm and +8,5 dBm measured at the antenna connector.

9.3.6.5 PRU BLE sensitivity

The PRU BLE radio shall have sensitivity of better than –77 dBm at the antenna connector.

9.3.6.6 PRU BLE saturation

The PRU BLE radio shall not saturate below –1 dBm at the antenna connector.

9.3.6.7 Interference (informative)

The system should accept up to 36 dB of desense from other nearby 2,4 GHz radios.

The system should accept up to 35 dB of path loss due to variable placements on the pad.

9.3.6.8 Link budget (informative)

Link budget data is provided in Table 10.

Table 10 – RF budget (informative)

Stage	Worst case loss
PTU	0 dBm
Filter	–3 dB
Antenna	–5 dB
Path loss	–35 dB
Desense	–36 dB
Antenna	–5 dB
Filter	–3 dB
Resulting signal at PRU	–87 dBm

9.3.7 Timing and sequencing requirements

If a BLE connection did not already exist, the following applies.

- The PRU shall present an advertisement to the PTU within the time allowed by the Power Transfer and Control requirements (see 8.3.4.1). The PRU shall use an advertising interval that is no greater than 20 ms.
- The PTU shall issue a connection request within 50 ms of the received advertisement only if the conditions in 9.6.3 are met. If the PTU does not receive response from the PRU after sending a connection request, the PTU shall restart the registration timer and retry the WPT device registration process once before declaring registration timeout.

The exact steps for the PTU's access of the PRU's WPT Service during the registration period shall be the following:

- 1) Read PRU Static Parameter Characteristic;
- 2) Write PTU Static Parameter Characteristic;
- 3) Read PRU Dynamic Parameter Characteristic, one or more times; and
- 4) Write PRU Control Characteristic (always mandatory).

Steps 1) to 3) are optional if transitioning from Charge Complete, Connected Mode and mandatory, otherwise.

During the registration period,

- the PRU shall respond, with a Read Response, to a Read Request within 50 ms, and
- the PTU shall only use the GATT Write Without Response procedure for writing characteristics on the PRU.

The BLE connection interval during the registration period ($t_{CI_REGISTRATION}$) shall be less than or equal to 50 ms. Once the PRU Control Characteristic has been written, the BLE connection interval (t_{CI}) shall be less than or equal to 250 ms.

The PRU Dynamic Parameter Characteristic shall be read by the PTU at least every 250 ms.

The PTU shall not write a PRU Control Characteristic to a PRU, to enable charge port output, until it has read at least one PRU Dynamic Parameter Characteristic from that PRU.

If the PRU is allowed to be charged, a PRU Control characteristic containing the Enable PRU output command (see 9.5.4.3) shall be written by the PTU within 500 ms of the received advertisement.

The registration timing and sequencing described in 9.3.7 is illustrated in Figure 15 and timing constraints are identified in Table 11.

Upon completing the device registration, the PTU shall use the GATT Write Request to write the Client Configuration Characteristic Descriptor of the PRU Alert.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63028:2017

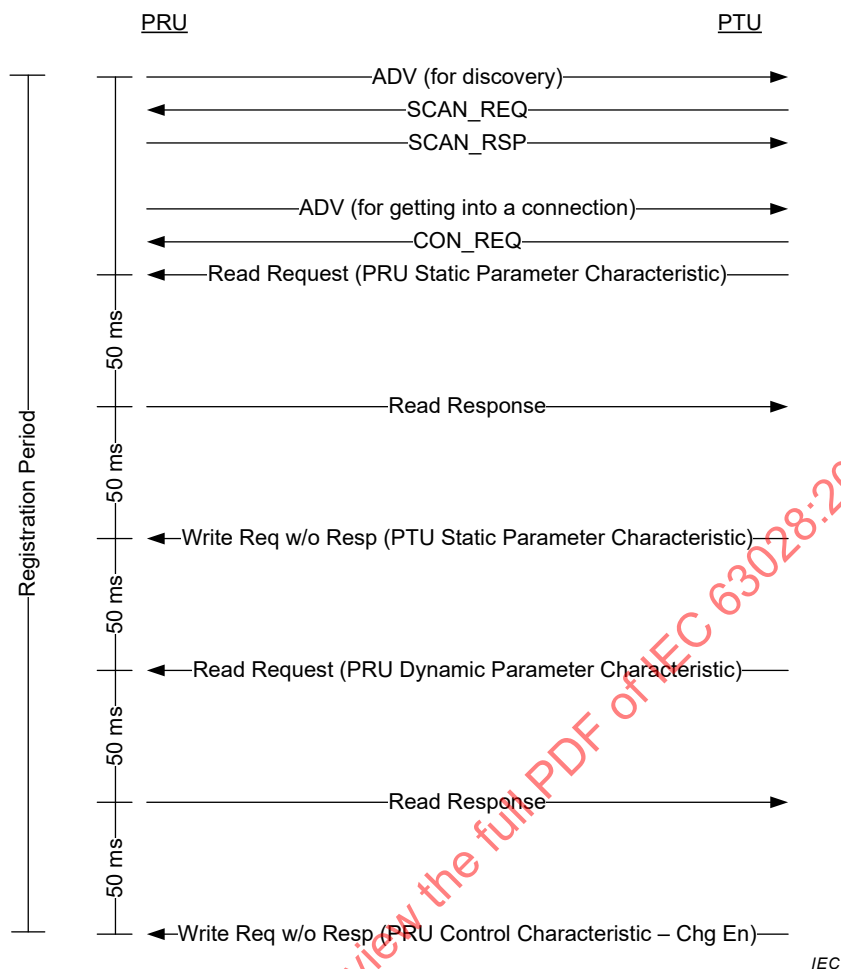


Figure 15 – Registration period timeline example (informative)

Table 11 – Timing constraints

Time constraint	Value milliseconds	Description	Reference clause
$t_{\text{SHORT_BEACON}}$	< 30	The short beacon-on-period	8.2.3.3.1
$t_{\text{LONG_BEACON}}$	105 ± 5	The long beacon-on-period	8.2.3.4.1
t_{CYCLE}	250 ± 5	The short beacon period	8.2.3.3.1
$t_{\text{LONG_BEACON_PERIOD}}$	> 850 $\leq 3\,000$	The long beacon period	8.2.3.4.1
$t_{\text{ADVERTISEMENT}}$	< 100	The PRU sends an advertisement within 100 ms of V_{RECT} exceeding $V_{\text{RECT_BOOT}}$ on state entry	8.3.4.1
$t_{\text{CONNECTION_REQUEST}}$	< 50	The PTU issues a connection request within 50 ms of discovery of the PRU	9.3.7
$t_{\text{REGISTRATION}}$	< 500	The PTU writes a PRU Control Characteristic containing the PRU enable command within 500 ms of the received advertisement.	9.3.7
t_{DYNAMIC}	≤ 250	The period in which PRU Dynamic Parameter Characteristic is read by the PTU	9.1.2 9.3.7
$t_{\text{CI_REGISTRATION}}$	< 50	The BLE connection interval during $t_{\text{REGISTRATION}}$	9.3.7
t_{CI}	< 250	The BLE connection interval	9.3.7

9.3.8 Profile structure

The BLE client and server shall support the characteristics identified in Table 12.

Table 12 – BLE profile characteristics

Characteristic	Data direction	Properties	Description
PRU Control	PTU → PRU	Write and Read	PRU ON/OFF control. PTU initiates write when command needs to be sent
PTU Static Parameter	PTU → PRU	Write and Read	Contains static characteristics of the PTU. PTU initiates write when new device connects.
PRU Alert	PTU ← PRU	Notifications (Indications conditional upon support for the Mode Transition Procedure in 9.7)	Notifies the PTU of overvoltage, over-current, over-temperature and self-protection conditions of the PRU.
PRU Static Parameter	PTU ← PRU	Read	Contains static characteristics of the PRU. PTU initiates read when device connects (can be more)
PRU Dynamic Parameter	PTU ← PRU	Read	Contains dynamic characteristics of the PRU. PTU initiates read from each device.

9.4 BLE profile definition

9.4.1 GATT sub-procedure

9.4.1.1 GATT sub-procedure introduction

9.4 contains specific information needed to implement the BLE profile. It is intended to allow programmers to implement the BLE profile within the GATT framework.

9.4.1.2 GATT sub-procedure requirements

Additional GATT sub-procedures requirements beyond those required by all GATT clients are indicated in Table 13.

Table 13 – GATT sub-procedure

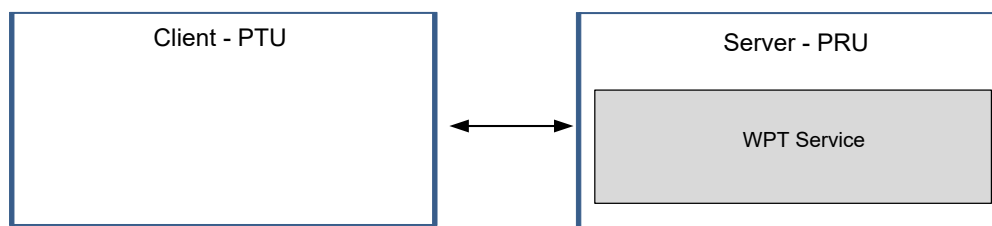
GATT sub-procedure	Requirement
Discover All Characteristic Descriptors	M
Read Characteristics Value	M
Write With Response	M
Write Without Response	M
Notifications	M

9.4.2 Configuration

9.4.2.1 Roles

The PRU shall be a GATT Server for the Wireless Power Transfer (WPT) Service.

The PTU shall be a GATT Client for the WPT Service. See Figure 16.



IEC

Figure 16 – PTU/PRU services/characteristics communication

NOTE Standard and WPT services and associated characteristics are defined in Table 17.

9.4.2.2 Concurrency limitations and restrictions

There are no concurrency limitations or restrictions for the PRU and the PTU roles imposed by this profile.

9.4.2.3 Topology limitations and restrictions

The PRU shall implement the GAP Peripheral role.

The PTU shall implement the GAP Central.

9.4.2.4 Transport dependencies

This profile shall operate over a Bluetooth Low Energy transport only.

9.4.2.5 Error codes

This service does not define any Attribute Protocol Application Error Codes.

9.4.2.6 Byte transmission order

All multi-byte data fields used with this service shall be sent with the least significant octet first (i.e., Little Endian). Multi-character string values shall be sent as individual byte fields. Structures such as GATT Characteristics included in this document are transmitted in the order shown where they occur from top to bottom and left to right.

9.4.3 PRU requirements

9.4.3.1 PRU requirements introduction

The PRU shall instantiate one and only one WPT Service.

The WPT Service shall be instantiated as a Primary Service.

The Bluetooth Device Information Service does not pertain to this profile. Information that is specific to the WPT capability of the PRU device, including the PRU Static Parameter Characteristic defined in 9.5.6.3, is independent of any implementation of the Bluetooth Device Information Service.

9.4.3.2 Writeable GAP device name characteristic

The PRU may support the write property for the Device Name characteristic to allow the PTU to write a Device Name to the PRU.

9.4.4 PTU requirements

9.4.4.1 PTU requirements introduction

The PTU shall discover and use the PRU's WPT Service. The Bluetooth Device Information Service does not pertain to this profile. Information that is specific to the WPT capability of the PTU device, including hardware and firmware versions, are contained in the PTU Static Parameter Characteristic defined in 9.5.5.3 and are independent of any implementation of the Bluetooth Device Information Service.

9.4.4.2 Discovery of services and characteristics

The PTU discovers the PRU's WPT service and characteristics using the WPT Service Data within the PRU advertisement payload which contains the GATT Primary Service Handle. The advertisement payload is defined in 9.5.2. The GATT Primary Service Handle, together with the handle offsets defined in 9.5.3.3 is used to discover all characteristics and descriptors in the service.

The PTU may perform service discovery using the GATT *Discover All Primary Services* sub-procedure or the GATT *Discover Primary Services by Service UUID* sub-procedure and characteristic discovery using the GATT *Discover Characteristics by UUID* sub-procedure or the *Discover All Characteristics of a Service* sub-procedure. These procedures may be used at any time except during registration. The procedures may be used in response to Service Changed indication or to discover services other than the WPT service supported by the PRU.

9.4.5 Connection establishment

9.4.5.1 Connection establishment introduction

9.4.5 describes the PRU discovery, connection establishment and connection termination procedures used by a PRU and PTU.

9.4.5.2 PRU connection establishment

9.4.5.2.1 Connection procedure for unbonded devices

This procedure is used for connection establishment when the PTU connects to a PRU which it is not bonded. This procedure is automatic and not initiated by user interaction.

The PRU shall enter the *GAP Limited Discoverable Mode* using Undirected Advertising (ADV_IND) packets for discovery and connection. PRU Discovery is used to identify a PRU device to the PTU and for receiving WPT Service specific Advertising data.

PRU Advertising Data shall contain an advertising payload as defined in 9.5.2.

The PRU shall use Security Mode 1 level 1 when connecting to an unbonded device. If a connection is not established within a time limit defined by the PRU, the PRU may exit the GAP connectable mode and wait for the next beacon signal.

9.4.5.2.2 PRU connection procedure for bonded devices

This procedure is applicable after the PRU has bonded with the PTU using the connection procedure defined in 9.3.7.

The PRU should use the recommended advertising interval value shown in 9.3.7.

Once connected, the PRU may request to change to the preferred connection parameters that best suits its use case.

If the PTU indicates during pairing that only security level 2 can be achieved, the PRU shall not request any security level higher than level 2 in responding to PTU's service request.

If a connection is not established within a time limit defined by the PRU, the PRU may exit the GAP connectable mode and wait for the next beacon signal.

9.4.5.2.3 Link loss reconnection procedure

When a connection is terminated, a PRU, if powered by the PTU, shall attempt to reconnect to the PTU by entering a GAP connectable mode using the recommended advertising interval value shown in 9.3.7. Note that if the PRU does not reconnect, it can appear to the PTU as a rogue object.

9.4.5.2.4 Idle connection

The PRU shall perform the *GAP Terminate Connection* procedure if power is removed from the PRU. The PRU shall not initiate a terminate connection to a BLE host at any time if the PRU is powered from a PTU.

9.4.5.3 PTU connection establishment

9.4.5.3.1 Connection procedure for unbonded devices

This procedure is used for connection establishment when the PTU connects to a PRU to which it is not bonded. This procedure may be initiated either through user interaction or autonomously when a PTU requires data from a PRU.

The PTU shall scan using the *GAP Limited Discovery* procedure and perform active scanning.

A PTU shall use the *GAP General Connection Establishment* procedure. The PTU may use this procedure when it requires data from one or more PRU(s). This procedure allows a PTU to connect to a PRU discovered during a scan without using the White List.

If a connection is not established within a time limit defined by the Power Control requirements (see Clause 8), the PTU may transition state and cease scanning for new devices.

9.4.5.3.2 PTU connection procedure for bonded devices

This procedure is applicable after the PTU has bonded with the PRU using the autonomous connection procedure in 9.4.5.3.1.

A PTU may use one of the following GAP connection procedures based on its connectivity requirements.

- a) General Connection Establishment Procedure. The PTU may use this procedure when it requires dynamic parameters or notifications from one or more PRUs. This procedure allows a PTU to connect to a PRU discovered during a scan without using the White List.
- b) Selective Connection Establishment Procedure. The PTU may use this procedure when it requires dynamic parameters or notifications from one or more PRUs. This procedure allows a PTU to connect to a PRU discovered during a scan while using the White List.
- c) Direct Connection Establishment Procedure. The PTU may use this procedure when it requires data from a single (or specific) PRU. The PTU may also use this procedure for link loss reconnection described in 9.4.5.3.3.
- d) Auto Connection Establishment Procedure. The PTU may use this procedure when it requires dynamic parameters or notifications from one or more PRUs. This procedure will automatically initiate connection to a PRU in the White List.

When initiating a connection while in PTU Low Power state, the PTU should use the continuous scan window/scan interval pair to attempt fast connection. When initiating a connection while in PTU Power Transfer state, the PTU should use an implementation specific scan window/scan interval to attempt a fast connection.

Notwithstanding the above, the PTU should use a scan window and scan interval suitable to its power and connection time requirements. Increasing the scan window increases the power consumption, but decreases the connection time.

The PTU should write the address of the target PRU in its White List and set its controller advertising filter policy to "process scan and connection requests only from devices in the White List".

The PTU shall support LE security mode 1, level 1 and level 2 as specified in the Bluetooth core specification v4.0.

9.4.5.3.3 Link loss reconnection procedure

When a connection is terminated due to link loss, a PTU shall attempt to reconnect to the PRU by making a connection request after detecting a PRU advertisement shown in 9.4.5.2.1.

9.4.5.3.4 Idle connection

If a connection is idle, the PTU may perform the *GAP Terminate Connection* procedure. An Idle Connection shall be determined if the PRU does not respond to Read Requests from the PTU and the PRU does not send alerts for greater than one second.

9.4.5.3.5 Fast connection interval

The PTU shall implement a connection interval that supports rapid service discovery, rapid encryption setup and the ability to receive a PRU Dynamic Parameter Characteristic from all PRUs within 250 ms.

9.4.6 Security considerations

9.4.6.1 Security considerations introduction

9.4.6 describes the security procedures used by a PRU and PTU.

9.4.6.2 PRU security considerations

All supported characteristics specified by the WPT Service shall be set to Security Mode 1 and should be set to Security Level 1 (No Security) or 2 (Unauthenticated pairing with encryption).

The PRU shall use the *SM Slave Security Request* procedure to inform the PTU of its security requirements.

9.4.6.3 PTU security considerations

The PTU may bond with the PRU.

The PTU shall accept any request by the PRU for LE Security Mode 1 and Security Level 1 or 2.

9.4.7 Charge completion

PTU support of the Charge Complete, Disconnected Mode is mandatory. Likewise, PRU support of the Charge Complete, Disconnected Mode is mandatory. A PTU may support Charge

Complete, Connected Mode. A PRU may also indicate support for the Charge Complete, Connected Mode in the PRU Static Parameter Characteristic.

PRUs shall indicate Charge Complete = 1 if they do not require charging from the PTU. When all PRUs on a PTU indicate Charge Complete = 1, the PTU shall transition to the PTU Power Save state according to 8.2.9.7.

Prior to transitioning to PTU Power Save state,

- the PTU shall instruct the PRU to disable its charge output by setting the Enable PRU output bit in the Enables field to 0 in the PRU Control,
- the PTU shall perform the GAP Terminate Connection procedure with all PRUs that do not support Charge Complete, Connected Mode, and
- the PTU may maintain a BLE connection with PRUs supporting Charge Complete, Connected Mode. Once in the PTU Power Save state, the PTU may increase the connection interval to further conserve power.

After indicating Charge Complete = 1, the PRU shall transition to PRU Boot state as described in 8.3.7.4.

9.5 WPT service characteristics

9.5.1 WPT service characteristics introduction

The PRU shall support the writing of the PRU Control and PTU Static Parameter characteristics by the PTU and the configuration of the PTU Alert characteristic by the PTU for notifications and optionally indications (conditional upon support for Mode Transition).

The PTU shall support reading the PRU Static Parameter and PRU Dynamic Parameter characteristics and shall also support the configuration of the PRU Alert characteristic for notifications and optionally indications (conditional upon support for Mode Transition).

As described elsewhere in this document, the PRU and PTU are required to determine the contents of the characteristics based on the contents of the Optional Fields Validity fields in most characteristics.

All characteristic Reserved for Further Use (RFU) bits and fields shall be set to zero by the sending entity and ignored by the receiving entity. If the PTU or PRU receives a characteristic that includes additional octets that are not recognized by the implementation, the receiving entity shall ignore those bits and continue to process the characteristic normally.

9.5.2 PRU advertising payload

9.5.2.1 PRU advertising payload introduction

For the purpose of communicating with a PTU, the PRU shall use the advertising packet payload format defined in Table 14.

Table 14 – PRU advertising payload

Flags AD Type	Service Data AD Type			
Flags	WPT Service 16-bit UUID	GATT Primary Service Handle	PRU RSSI Parameters	ADV Flags

The Flags field shall use the Bluetooth Generic Access Profile, Flags Advertising Data type format and indicate:

- LE Limited Discoverable Mode

The Service Data AD Type is used to indicate specific WPT Service information and shall use the Bluetooth Generic Access Profile, Service Data AD type format. The first 16-bits (after the AD type length field) shall hold the 16-bit Bluetooth SIG assigned Service UUID value as shown in Table 16.

The GATT Primary Service Handle field is included in the Bluetooth Generic Access Profile, Service Data Advertising Data type after the 16-bit Service UUID field and shall contain the PRU's attribute handle for the WPT Primary Service as defined in Table 17. All local characteristic handle values for this service shall be ordered sequentially starting from the (GATT Primary Service Handle + 1) in the order of the listed characteristics as represented in Table 17.

The PRU RSSI Parameters field is included in the Bluetooth Generic Access Profile, Service Data Advertising Data type after the GATT Primary Service Handle field and shall contain a PRU output power (PRU_Pwr) in bits 7 to 3 and PRU antenna gain (PRU_Gain) in bits 2 to 0, if known by the PRU application. If unknown by the PRU, the PRU application shall ensure that all bits in the unknown value fields are set to "1".

7:3	2:0
PRU_Pwr	PRU_Gain

PRU output power shall be encoded as follows:

- PRU_Pwr – 20 dBm = PRU output power in dBm, or
- PRU_Pwr = 11111b if output power unknown by PRU

3 bit PRU antenna gain shall be encoded as follows:

- PRU_Gain – 5 dB = PRU antenna gain in dBi, or
- PRU_Gain = 111b if antenna gain unknown by PRU

The ADV Flags field is included in the Bluetooth Generic Access Profile, Service Data Advertising Data type after the PRU RSSI Parameters field and shall contain AirFuel Resonant specific information and shall use the following bit format:

7	6	5	4	3	2	1	0
Impedance Shift Bit 2	Impedance Shift Bit 1	Impedance Shift Bit 0	Reboot Bit	OVP Status (optional)	Time Set Support	RFU	RFU

- Bits 5 to 7 – Impedance Shift Bits
- Bit 4 – Reboot Bit ("0" = recent reset, "1" = connection drop with no reset)
- Bit 3 – OVP Status (optional) – set to "0" if not used ("0" = no OVP, "1" = OVP)
- Bit 2 – Time Set Support ("0" = no support, "1" = support)

The Impedance Shift bit field shall be as defined in Table 15 (see 7.3.3.4 for Short Beacon PRU-induced Impedance).

Table 15 – Impedance shift bit

Impedance shift bits	Definition
000	Can never create an impedance shift
001	Cat 1 PRU
010	Cat 2 PRU
011	Cat 3 PRU
100	Cat 4 PRU
101	Cat 5 PRU
110	Reserved
111	Reserved

9.5.2.2 Sample data

The following shows sample data for PRU Advertising payload contents reflecting the following settings.

Flags AD Type:

- Limited Discoverable Mode is set;
- all other bits set to zero.

Service Data AD Type:

- 16-bit UUID is set to 0xFFFE;
- GATT Primary Service Handle is set to 0x0101;
- PRU RSSI Parameters is set to 0xFF;
- ADV Flags are set to:
 - CAT3 PRU;
 - Reboot bit is set to zero;
 - OVP indicator is set to zero.

Sample Data: 0000: 0201010716FEFF0101FF60

9.5.3 WPT service

9.5.3.1 WPT service introduction

The WPT Service exposes related control and status data for proper coordination between a PRU and a PTU.

9.5.3.2 WPT service UUID

Table 16 shows the mandatory UUID definitions for the WPT Service.

Table 16 – WPT service UUID

UUID	Value	Definition
WPT_CHARACTERISTIC_BASE_UUID	0x6455e670-a146-11e2-9e96-0800200c9a67	128-bit AirFuel Resonant WPT Characteristic Base UUID.
WPT_SERVICE_UUID	0xFFFE	16-bit Bluetooth SIG assigned WPT Service UUID.

9.5.3.3 WPT service definition

The mandatory service definition for the WPT Service is shown in Table 17.

Table 17 – WPT service

Type (16 bit)	Default value	Attribute permissions	Notes	Mandatory handle value
0x2800 GATT_PRIMARY_SERVICE_UUID	WPT_SERVICE_UUID (16-bit)	GATT_PERMIT_READ	Start of WPT Service	(GATT Primary Service Handle)
0x2803 GATT_CHARACTERISTIC_UUID	Properties = read/write UUID = WPT_CHARACTERISTIC_BASE_UUID	GATT_PERMIT_READ	PRU Control Characteristic declaration	GATT Primary Service Handle) + 1
WPT_CHARGING_PRU_CONTROL_UUID	00000 (5 Octets)	GATT_PERMIT_READ GATT_PERMIT_WRITE	PRU Control Characteristic value	GATT Primary Service Handle) + 2
0x2803 GATT_CHARACTERISTIC_UUID	Properties = read/write UUID = WPT_CHARACTERISTIC_BASE_UUID+1	GATT_PERMIT_READ	PTU Static Parameter Characteristic declaration	GATT Primary Service Handle) + 3
WPT_CHARGING_PTU_STATIC_UUID	000000000000000000 (17 Octets)	GATT_PERMIT_READ GATT_PERMIT_WRITE	PTU Static Parameter Characteristic value	GATT Primary Service Handle) + 4
0x2803 GATT_CHARACTERISTIC_UUID	Properties = read/notify UUID = WPT_CHARACTERISTIC_BASE_UUID+2	GATT_PERMIT_READ	PRU Alert Parameter Characteristic declaration	GATT Primary Service Handle) + 5
WPT_CHARGING_PRU_ALERT_UUID	0 (1 Octet)	GATT_PERMIT_READ GATT_PERMIT_NOTIFY	PRU Alert Parameter Characteristic value	GATT Primary Service Handle) + 6
0x2902 CLIENT_CHARACTERISTIC_CONFIGURATION_UUID	0 (1 Octet)	GATT_PERMIT_READ GATT_PERMIT_WRITE	Client Characteristic Configuration UUID for PRU Alert	GATT Primary Service Handle) + 7
0x2803 GATT_CHARACTERISTIC_UUID	Properties = read UUID = WPT_CHARACTERISTIC_BASE_UUID+3	GATT_PERMIT_READ	PRU Static Parameter Characteristic declaration	GATT Primary Service Handle) + 8
WPT_CHARGING_PRU_STATIC_UUID	00000000000000000000 (20 Octets)	GATT_PERMIT_READ	PRU Static Parameter Characteristic value	GATT Primary Service Handle) + 9
0x2803 GATT_CHARACTERISTIC_UUID	Properties = read UUID = WPT_CHARACTERISTIC_BASE_UUID+4	GATT_PERMIT_READ	PRU Dynamic Parameter Characteristic declaration	GATT Primary Service Handle) + 10
WPT_CHARGING_PRU_DYNAMIC_UUID	00000000000000000000 (20 Octets)	GATT_PERMIT_READ	PRU Dynamic Parameter Characteristic value	GATT Primary Service Handle) + 11

The definition for the mandatory GAP Service is shown in Table 18.

Table 18 – GAP service

Type (16 bit)	Default value	Attribute permissions	Notes
0x2800 GATT_PRIMARY_SERVICE_UUID	0x1800 (GAP_SERVICE_UUID)	GATT_PERMIT_READ	Start of GAP Service
0x2803 GATT_CHARACTERISTIC_UUID	02 (properties: read only) 00 2A (UUID: 0x2A00)	GATT_PERMIT_READ	Device Name characteristic declaration
0x2A00 GAP_DEVICE_NAME_UUID	"WPT PRU"	GATT_PERMIT_READ	Device Name characteristic value
0x2803 GATT_CHARACTERISTIC_UUID	02 (properties: read only) 01 2A (UUID: 0x2A01)	GATT_PERMIT_READ	Appearance characteristic declaration
0x2A01 GAP_APPEARANCE_UUID	0x0000 (unknown)	GATT_PERMIT_READ	Appearance characteristic value
0x2803 GATT_CHARACTERISTIC_UUID	02 (properties: read only) 04 2A (UUID: 0x2A04)	GATT_PERMIT_READ	Peripheral Preferred Connection Parameters characteristic declaration
0x2A04 GAP_PERI_CONN_PARAM_UUID	50 00 (50 ms preferred min connection interval) A0 00 (250 ms preferred max connection interval) 00 00 (0 preferred slave latency) E8 03 (1 000 ms preferred supervision timeout)	GATT_PERMIT_READ	Peripheral Preferred Connection Parameters characteristic value

The definition for the GATT Service, shown in Table 19, is mandatory if service definitions on the PRU can be added, changed, or removed, optional otherwise.

Table 19 – GATT service

Type (16 bit)	Default value	Attribute permissions	Notes
0x2800 GATT_PRIMARY_SERVICE_UUID	0x1801 (GATT_SERVICE_UUID)	GATT_PERMIT_READ	Start of GATT Service
0x2803 GATT_CHARACTERISTIC_UUID	20 (properties: indicate only) 05 2A (UUID: 0x2A05)	GATT_PERMIT_READ	Service Changed characteristic declaration
0x2A05 GATT_SERVICE_CHANGED_UUID	(null value)	(none)	Service Changed characteristic value

9.5.4 PRU control

9.5.4.1 PRU control introduction

When written, this characteristic initiates PTU commands (e.g., start charge) at the PRU. The PTU shall write a PRU Control Characteristic whenever it requires a status change in the PRU. The designated PRU shall change configuration according to the PRU Control Characteristic.

9.5.4.2 PRU Control Characteristic behavior

The PRU Control Characteristic is written using the GATT Write procedure. The PTU writes this characteristic to send commands to the PRU.

9.5.4.3 PRU Control Characteristic value

The PRU Control Characteristic value fields are described in Table 20. The length of the characteristic value is 5 octets.

Table 20 – PRU Control Characteristic

Field	Octet	Description	Use	Units
Enables	1	PTU turn on, PTU on indication etc.	Mandatory	N/A
Permission	1	PRU is permitted in PTU.	Mandatory	N/A
Time Set	1	PTU sets up time.	Mandatory	ms
RFU	2	Undefined	N/A	N/A

9.5.4.4 Enables

The Enables field provides PTU instruction for power control.

Table 21 – Detail: bit field for enables

7	6	5	4	3	2	1	0
Enable PRU output	Enable PRU charge indicator	Adjust power command		RFU	RFU	RFU	RFU
1 = Enable 0 = Disable	1 = Enable 0 = Disable	00 = Maximum power 01 = 66 % x P_{RECT_MAX} 10 = 33 % x P_{RECT_MAX} 11 = 2,5 W		RFU	RFU	RFU	RFU

Enable PRU output allows the PRU to provide power to the load. See 8.3.5.1.1 for PRU power draw (PRECT) requirements in the PRU On state based on the Enable PRU output bit.

Enable PRU charge indicator, when set to "1" allows the PRU to indicate that charging may occur. Otherwise this bit is set to "0".

If the adjust power command is supported by the PRU, the PRU shall either adjust its power draw to less than or equal to the percent of P_{RECT_MAX} , specified in the bits 4 and 5, in Table 21, or not change its power draw from the current limits, due to the inability of the PRU to adjust power to a lower value, at the time of receiving the adjust power command.

If the PRU adjusts its power draw, it shall provide a response to the PTU via the Adjust Power Response PRU alert bit field specified in Table 36. PTUs shall not send this command to PRUs that do not support the adjust power command. A PTU shall not send more than one adjust power command to a PRU in a two second period.

9.5.4.5 Permission

The Permission field provides power availability (permitted/denied) reason codes.

Table 22 – Detail: bit field for permission

Value (Bit)	Description
0000 0000	Permitted without reason
0000 0001	Permitted with waiting time due to limited available power
1000 0000	Denied due to cross connection.
1000 0001	Denied due to limited available power
1000 0010	Denied due to limited PTU Number of Devices
1000 0011	Denied due to limited PTU Class support
1000 0100	Denied due to high temperature at PTU
All other values	RFU

If a PTU writes "Permitted with waiting time due to limited available power", once the PTU has power available, it shall update the value of the Permission field to "Permitted without reason" to allow the PRU to begin charging.

9.5.4.6 Time set

The Time Set field provides the time in which the PRU is to create a valid load variation.

Table 23 – Detail: bit field for time set

Value (Bit)	PTU setting time milliseconds
0000 0000	Do not perform Time Set (see 9.6.6)
0000 0001	10
0000 0010	20
0000 0011	30
0000 0100	40
0000 0101	50
0000 0110	60
0000 0111	70
0000 1000	80
All other values	RFU

NOTE This field is used for cross connection check (see 9.6.6).

9.5.5 PTU static parameter

9.5.5.1 PTU static parameter introduction

The PTU Static Parameter characteristic contains data with constant values on the PTU.

9.5.5.2 PTU static parameter characteristic behavior

The PTU Static Parameter characteristic is written using the GATT Write procedure.

This Characteristic is intended to provide static PTU parameters to a PRU.

9.5.5.3 PTU static parameter characteristic value

The PTU Static Parameter characteristic value fields are described in Table 24. The length of the characteristic value is 17 octets.

PTU static parameter characteristic shall have the following fields.

Table 24 – PTU reporting static values to PRU

Field	Octets	Description	Use	Units
Optional fields validity	1	Defines which fields are valid	Mandatory	
PTU Power	1	Power of PTU	Mandatory	
PTU Max Source Impedance	1	Maximum source impedance of the PTU	Optional	
PTU Max Load Resistance	1	Maximum load resistance of the PTU	Optional	
RFU	2	Undefined	N/A	
PTU class	1	PTU class	Mandatory	Class 1 – 5
Hardware rev	1	Revision of the PTU HW	Mandatory	
Firmware rev	1	Revision of the PTU SW	Mandatory	
Protocol Revision	1	AirFuel Resonant Supported Revision	Mandatory	
PTU Number of Devices Supported	1	Max Number of Devices	Mandatory	
RFU	6	Undefined	N/A	

9.5.5.4 Optional fields validity

The Optional Fields Validity field (see Table 25) shall identify which optional fields have valid values. All optional fields not identified as valid shall be set to zero.

Table 25 – Detail: bit field for optional fields validity

7	6	5	4	3	2	1	0
Max Impedance	Max Resistance	RFU	RFU	RFU	RFU	RFU	RFU

9.5.5.5 PTU power

The PTU Power field shall be set equal to the value shown in Table 1 according to the PTU class. The eight bits of the PTU Power field are populated per the State Definition Bit field (shown in decimal). Power values called out in Table 26 are in watts.

Table 26 – PTU power

7	6	5	4	3	2	1	0
PTU Power							

State definition									
Value decimal	Pwr watt	Value decimal	Pwr watt	Value decimal	Pwr watt	Value decimal	Pwr watt	Value decimal	Pwr watt
0	0	32	4,4	64	13,6	96	28	128	50
1	0,1	33	4,6	65	14	97	28,5	129	51
2	0,2	34	4,8	66	14,4	98	29	130	52
3	0,3	35	5	67	14,8	99	29,5	131	53
4	0,4	36	5,2	68	15,2	100	30	132	54
5	0,5	37	5,4	69	15,6	101	30,6	133	55
6	0,6	38	5,6	70	16	102	31,2	134	56
7	0,7	39	5,8	71	16,4	103	31,8	135	57
8	0,8	40	6	72	16,8	104	32,4	136	58
9	0,9	41	6,3	73	17,2	105	33	137	59
10	1	42	6,6	74	17,6	106	33,6	138	60
11	1,1	43	6,9	75	18	107	34,2	139	61
12	1,2	44	7,2	76	18,4	108	34,8	140 to 255	RFU
13	1,3	45	7,5	77	18,8	109	35,4		
14	1,4	46	7,8	78	19,2	110	36		
15	1,5	47	8,1	79	19,6	111	36,6		
16	1,6	48	8,4	80	20	112	37,2		
17	1,7	49	8,7	81	20,5	113	37,8		
18	1,8	50	9	82	21	114	38,4		
19	1,9	51	9,3	83	21,5	115	39		
20	2	52	9,6	84	22	116	39,6		
21	2,2	53	9,9	85	22,5	117	40,2		
22	2,4	54	10,2	86	23	118	40,8		
23	2,6	55	10,5	87	23,5	119	41,4		
24	2,8	56	10,8	88	24	120	42		
25	3	57	11,1	89	24,5	121	43		
26	3,2	58	11,4	90	25	122	44		
27	3,4	59	11,7	91	25,5	123	45		
28	3,6	60	12	92	26	124	46		
29	3,8	61	12,4	93	26,5	125	47		
30	4	62	12,8	94	27	126	48		
31	4,2	63	13,2	95	27,5	127	49		

9.5.5.6 PTU max source impedance

The PTU Max Source Impedance (see Table 27), if included, shall designate the maximum output impedance of the PA / filter in the PTU.

Table 27 – Max source impedance

7	6	5	4	3	2	1	0
PTU Max Source Impedance					RFU	RFU	RFU

State definition	
Value	PTU maximum source impedance
Decimal	ohms
0	50
1	60
2	70
3	80
4	90
5	100
6	110
7	120
8	130
9	140
10	150
11	175
12	200
13	225
14	250
15	275
16	300
17	350
18	375
19 to 31	RFU

9.5.5.7 PTU max load resistance

This field, if included, defines the maximum PTU load resistance (see Table 28) as seen at the input to the PTU resonator.

Table 28 – Max load resistance

7	6	5	4	3	2	1	0
PTU Max Load Resistance					RFU	RFU	RFU

State definition	
Value	PTU max load resistance
Decimal	ohms
0	5
1	10
2	15
3	20
4	25
5	30
6	35
7	40
8	45
9	50
10	55
11 to 31	RFU

9.5.5.8 PTU class

The PTU class field shall identify the class to which the PTU is assigned (see also 6.1).

State definition
00000000 = Class 1
00000001 = Class 2
00000010 = Class 3
00000011 = Class 4
00000100 = Class 5
00000101 to 11111111 = reserved

9.5.5.9 Hardware revision

The PTU Hardware Revision is vendor proprietary.

9.5.5.10 Firmware revision

The PTU Firmware revision is vendor proprietary.

9.5.5.11 Protocol revision

The PTU Protocol Revision field shall be assigned a number that maps to the highest AirFuel Resonant specification revision to which the PTU complies, per Table 29.

Table 29 – AirFuel protocol revision field

Protocol revision	AirFuel Resonant revision description
0	BSS v1.2.1
1	BSS v1.3
2 to 255	Reserved

9.5.5.12 PTU number of devices

This field defines the number of devices that the PTU can support. See Table 30.

Table 30 – PTU number of devices

7	6	5	4	3	2	1	0
RFU	RFU	RFU	RFU	PTU Number of Devices			

State definition	
Value Decimal	Number of devices
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8 to 255	RFU

9.5.6 PRU static parameter characteristic

9.5.6.1 PRU static parameter characteristic introduction

The PRU Static Parameter Characteristic contains data with constant values from a PRU.

9.5.6.2 PRU static parameter characteristic behavior

This characteristic is intended to enable a PTU to read the static information from the PRU.

9.5.6.3 PRU static parameter characteristic value

The Charging Parameters characteristic value fields are described in Table 31. The length of the characteristic value is 20 octets.

Table 31 – PRU reporting static values to the PTU

Field	Octets	Description	Use	Units
Optional fields validity	1	Defines which optional fields are populated	Mandatory	
Protocol Revision	1	AirFuel Resonant Supported Revision	Mandatory	
RFU	1	Undefined	N/A	
PRU Category	1	Category of PRU	Mandatory	
PRU Information	1	Capabilities of PRU (bit field)	Mandatory	
Hardware rev	1	Revision of the PRU HW	Mandatory	
Firmware rev	1	Revision of the PRU SW	Mandatory	
P_{RECT_MAX}	1	P_{RECT_MAX} of the PRU	Mandatory	mW x 100
$V_{RECT_MIN_STATIC}$	2	V_{RECT_MIN} (static, first estimate)	Mandatory	mV
$V_{RECT_HIGH_STATIC}$	2	V_{RECT_HIGH} (static, first estimate)	Mandatory	mV
V_{RECT_SET}	2	V_{RECT_SET}	Mandatory	mV
Delta R1 value	2	Delta R1 caused by PRU	Optional	0,01 ohms
RFU	4	Undefined	N/A	

9.5.6.4 Optional fields validity

The Optional Fields Validity field (see Table 32) shall identify which optional fields have valid values. All optional fields not identified as valid shall be set to zero.

Table 32 – Detail: bit field for optional fields validity

7	6	5	4	3	2	1	0
Delta R1	RFU	RFU	RFU	RFU	RFU	RFU	RFU

9.5.6.5 Protocol revision

The PRU Protocol Revision field shall be assigned a number that maps to the highest AirFuel Resonant specification revision to which the PRU complies, per Table 29.

9.5.6.6 PRU category

The PRU Category shall be assigned a Category number.

Bit field	Version description
0	Undefined
1	Category 1
2	Category 2
3	Category 3
4	Category 4
5	Category 5
6 to 255	Undefined

9.5.6.7 PRU information

The PRU Information shall be defined by this field. This field is used to identify PRU optional operation modes or features for future expansion.

Table 33 – Detail: bit field for PRU information

7	6	5	4	3	2	1	0
NFC receiver	Separate BTLE radio in PRU	Power Control Algorithm Preference	Adjust power capability	Charge Complete Connected Mode	PTU Test Mode	RFU	RFU
0 = Not supported 1 = Supported	0 = Not supported 1 = Supported	0 = $V_{RECT_MIN_ERR}$ OR 1 = Max System Efficiency	0 = Not supported 1 = Supported	0 = Not supported 1 = Supported	1 = Yes 0 = No		

- **NFC receiver**
This bit is set to "1" if an NFC receiver is supported. Otherwise, this bit is set to "0".
- **Separate BTLE radio**
This bit is set to "1" the BTLE radio is a separate entity in the PRU. Otherwise, this bit is set to "0".
- **Power Control Algorithm**
This bit is set to "1" if the preference is for Max System Efficiency. Otherwise, this bit is set to "0" for $V_{RECT_MIN_ERROR}$
- **Adjust power capability**
This bit is set to "1" if the PRU supports the Adjust power capability. Otherwise, this bit is set to "0".
- **Charge Complete Connected**
This bit is set to "1" if the PRU supports Charge Complete Connected Mode. Otherwise, this bit is set to "0".
- **PTU Test Mode**
This bit is set to "1" if the PRU is capable of operating as a PRU simulator and is requesting that the PTU enter PTU Test Mode. Otherwise, this bit is set to "0".

9.5.6.8 PRU hardware revision

The PRU Hardware Revision is vendor proprietary.

Bit field	Hardware revision description
	Defined by OEM

9.5.6.9 PRU firmware revision

The PRU Firmware Revision is vendor proprietary.

Bit field	Firmware revision description
	Defined by OEM

9.5.6.10 P_{RECT_MAX}

The PRU shall report its maximum rated P_{RECT} power as P_{RECT_MAX} . The value is in increments of 100 mW.

Bit field	Power mW
0 to 255	0 to 25 500

9.5.6.11 $V_{RECT_MIN_STATIC}$ (static, first estimate)

The PRU shall report its minimum V_{RECT} voltage as $V_{RECT_MIN_STATIC}$. The value is in mV.

Bit field	Voltage minimum mV
0 to 65 535	0 to 65 535

9.5.6.12 $V_{RECT_HIGH_STATIC}$ (static, first estimate)

The PRU shall report its maximum V_{RECT} voltage as $V_{RECT_HIGH_STATIC}$. The value is in mV.

Bit field	Voltage maximum mV
0 to 65 535	0 to 65 535

9.5.6.13 V_{RECT_SET}

The PRU shall report its desired V_{RECT} voltage as V_{RECT_SET} . The value is in mV.

Bit field	V_{RECT_SET} mV
0 to 65 535	0 to 65 535

9.5.6.14 Delta R1 caused by PRU

The PRU may report its Delta R1, if included, in increments of 0,01 Ω .

Bit field	Delta R1 ohms
0 to 65 535	0 to 655,35

9.5.7 PRU dynamic parameter characteristic**9.5.7.1 PRU dynamic parameter introduction**

The PRU Dynamic Parameter characteristic contains measurement data with values that change during the charging process on the PRU.

9.5.7.2 PRU dynamic parameter characteristic behavior

The PRU Characteristic Behavior characteristic returns its value when read using the GATT Read Characteristic Value procedure. The PTU shall read this characteristic at least every 250 ms.

When a PTU requires a connection to a PRU to read PRU Dynamic Parameter Characteristic values it shall follow the connection procedures described in 9.4.5.3.

Based on the PRU Dynamic Parameter Characteristic, the PTU shall update the device control table in the registry corresponding to each PRU status.

9.5.7.3 PRU dynamic parameter characteristic value

The PRU Dynamic Parameter characteristic value fields are described in Table 34. The length of the characteristic value is 20 octets.

When read, this characteristic returns dynamic variables from the PRU (e.g., V_{RECT}) to the PTU.

Table 34 – PRU dynamic parameter characteristic

Field	Octets	Description	Use	Units
Optional fields validity	1	Defines which optional fields are populated	Mandatory	
V_{RECT}	2	DC voltage at the output of the rectifier.	Mandatory	mV
I_{RECT}	2	DC current at the output of the rectifier.	Mandatory	mA
V_{OUT}	2	Voltage at charge/battery port	Optional	mV
I_{OUT}	2	Current at charge/battery port	Optional	mA
Temperature	1	Temperature of PRU	Optional	Degrees Celsius (from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$)
$V_{\text{RECT_MIN_DYN}}$	2	The current dynamic minimum rectifier voltage desired	Optional	mV
$V_{\text{RECT_SET_DYN}}$	2	Desired V_{RECT} (dynamic value)	Optional	mV
$V_{\text{RECT_HIGH_DYN}}$	2	The current dynamic maximum rectifier voltage desired	Optional	mV
PRU alert	1	Warnings	Mandatory	Bit field
Tester Command	1	PTU Test Mode Command	Optional	Bit Field
RFU	2	Undefined		

9.5.7.4 Optional fields validity

The Optional Fields Validity field (see Table 35) shall identify which optional fields have valid values. All optional fields not identified as valid shall be set to zero.

Table 35 – Detail: bit field for optional fields validity

[illegible]

9.5.7.5 V_{RECT} – voltage at diode output

The PRU shall report the voltage at its rectifier output as V_{RECT} . The value is in mV.

Bit field	V_{RECT} mV
0 to 65 535	0 to 65 535

9.5.7.6 I_{RECT} – current at diode output

The PRU shall report the current at its rectifier output as I_{RECT} . The value is in mA.

Bit field	I_{RECT_SET} mA
0 to 65 535	0 to 65 535

9.5.7.7 V_{OUT} – voltage at charge battery port

The PRU may report its charge output voltage as V_{OUT} . The value is in mV.

Bit field	Charge battery port voltage mV
0 to 65 535	0 to 65 535

9.5.7.8 I_{OUT} – current at charge battery port

The PRU may report its charge output current as I_{OUT} . The value is in mA.

Bit field	Charge battery port current mA
0 to 65 535	0 to 65 535

9.5.7.9 PRU temperature

The PRU may report its temperature in this field. The value is in degrees Celsius, with 0 corresponding to $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, and 255 corresponding to $+215\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Bit field	Temperature $^{\circ}\text{C}$
0 to 255	-40 to $+215$

9.5.7.10 $V_{RECT_MIN_DYN}$ (dynamic value)

The PRU may report its dynamic minimum rectifier voltage as $V_{RECT_MIN_DYN}$. The value is in mV.

Bit field	V_{RECT} dynamic value mV
0 to 65 535	0 to 65 535

9.5.7.11 $V_{\text{RECT_SET_DYN}}$ (dynamic value)

The PRU may report the desired voltage at its rectifier output as $V_{\text{RECT_SET_DYN}}$. The value is in mV.

Bit field	V_{RECT} dynamic value mV
0 to 65 535	0 to 65 535

9.5.7.12 $V_{\text{RECT_HIGH_DYN}}$ (dynamic value)

The PRU may report its dynamic maximum rectifier voltage as $V_{\text{RECT_HIGH_DYN}}$. The value is in mV.

Bit field	V_{RECT} dynamic value mV
0 to 65 535	0 to 65 535

9.5.7.13 PRU alert

PRU Alert is included in both the PRU Dynamic Parameter Characteristic and the PRU Alert Characteristic so as to provide for the fastest potential delivery and response.

Table 36 – Detail: bit field for PRU alert

7	6	5	4	3	2	1	0
Over-voltage	Over-current	Over-temp	PRU Self Protection	Charge Complete	Wired Charger Detect	PRU Charge Port	Adjust Power Response

See 9.5.8 for details on the following fields.

- Over-voltage
- Over-current
- Over-temp
- PRU Self Protection
- Charge Complete
- Wired Charger Detect

The PRU Charge Port bit is set to "1" to indicate that the PRU charge port output is activated. Otherwise this bit is set to "0".

The Adjust Power Response bit is used to indicate whether or not the PRU has limited its power draw in response to the Adjust Power command. If the PRU does limit its power draw according to the PTU Adjust Power command, it shall set the "Adjust Power Response" bit to "1" and adjust power draw within one second of receiving the command. The PRU shall keep the adjust power response bit set to "1" until the PRU detects that the PTU has read the update of the Dynamic Parameter Characteristic and then reset the bit to "0". If the PRU does not have the ability to detect when the PTU has read the Dynamic Parameter Characteristic, then it shall keep the power response bit set to "1" for one second and, then reset the bit to "0".

If the PTU does not read the response bit or detect the change in P_{RECT} from the PRU within two seconds of issuing the adjust power command, the PTU shall conclude that the PRU cannot adjust power and shall not wait any further for a response from the PRU.

9.5.7.14 Tester Command

The Tester Command field (see Table 37) is optional and shall only be used by the PRU simulator when the PTU was previously requested by that PRU to enter the PTU Test Mode during device registration (see 9.5.6.6). Otherwise, this field shall remain 0x00. If not in Test Mode, the PTU shall ignore this field.

The Tester Command octet is read as 8-bit binary rather than a bit-field. See Table 38.

NOTE For test operation, the PTU does not acknowledge that it is in PTU Test Mode.

Table 37 – Detail: bit field for PRU alert

7	6	5	4	3	2	1	0
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Table 38 – Test mode commands

Command number	Command description
0x00	Normal operation power control
0x01	Increase I_{TX} by one step
0x02	Decrease I_{TX} by one step
0x03	I_{TX} current shall not be adjusted
0x04 – 0xFF	Reserved

9.5.8 PRU alert characteristic

9.5.8.1 PRU alert characteristic introduction

The PRU Alert characteristic enables a PTU to receive notifications or indications of the PRU Alert characteristic from a PRU supporting this feature to show alerts (e.g., OVP, OCP, OTP and PRU Self Protection).

9.5.8.2 PRU alert characteristic behavior

The PRU Alert characteristic enables a PTU to receive notifications of the OVP, OCP, OTP and PRU Self Protection, Charge Complete and Wired Charger Detect flags from a PRU supporting this feature.

The PRU Alert characteristic also enables a PRU to send indications to the PTU regarding Mode Transition as described in 9.7 via the Mode Transition Bits.

The PTU shall be able to receive multiple notifications and indications of the PRU Alert characteristic from the PRU.

9.5.8.3 PRU alert characteristic value

The PRU Alert characteristic value fields are described in Table 39 and Table 40. The length of the characteristic value is 1 or 7 octets depending on the presence of the optional Device Address.

Table 39 – PRU alert fields

Field	Octets	Description	Use	Units
PRU Alert	1	Defines the Over-voltage, Over Current, Over Temperature and Self Protection Alerts	Mandatory	
Device Address (Optional)	6	Bluetooth device address (48 bits) used in mode transition reconnect	Conditional upon support for the Mode Transition feature.	

Table 40 – Detail: bit field for PRU alert notification

7	6	5	4	3	2	1	0
PRU Over-Voltage	PRU Over-Current	PRU Over-Temperature	PRU Self Protection	Charge Complete	Wired Charger Detect	Mode Transition Bit 1	Mode Transition Bit 0

9.5.8.4 PRU over-voltage

This bit, when set to "1", indicates that V_{RECT} at the PRU has exceeded the OVP limit. See 8.2.9.11 for PTU Latching Fault requirements. Otherwise, this bit is set to "0".

9.5.8.5 PRU over-current

This bit, when set, indicates that I_{RECT} at the PRU has exceeded the PRU's current limit. See 8.2.9.11 for PTU Latching Fault requirements.

9.5.8.6 PRU over-temperature

This bit, when set, indicates that measured temperature at the PRU has exceeded the PRU's temperature limit. See 8.2.9.11 for PTU Latching Fault requirements.

9.5.8.7 PRU Self-Protection

This bit, when set, indicates that the PRU is protecting itself by reducing power to its load. The PTU does not need to change states as a result. The PTU may provide feedback to the user via its user interface that one of the PRU's might not be charging at full rate.

9.5.8.8 Charge complete

This bit, when set, indicates that the PRU does not require charging.

9.5.8.9 Wired charger detect

This bit, when set, indicates that the PRU is powered by external wired power. When set, the PTU and the PRU should process this bit the same as when the Charge Complete bit is set.

9.5.8.10 Mode transition bits

The Mode Transition bits shall be set to a non-zero value to indicate to the PTU the duration of the pending Mode Transition procedure as described in 9.7. The bits shall indicate the Mode Transition duration values as defined in Table 41.

Table 41 – Mode transition

Value (Bit)	Mode transition bit description
00	No Mode Transition
01	2 s Mode Transition time limit
10	3 s Mode Transition time limit
11	6 s Mode Transition time limit

9.5.8.11 Device address

The Device Address field shall be included as part of the PRU Alert Notification field if and only if the Mode Transition bits are set to a non-zero value. See 9.7 for the Mode Transition procedure.

9.6 Cross connection algorithm

9.6.1 Cross connection algorithm introduction

The cross connection algorithm is a set of functions designed to prevent connection between a PTU and a PRU that is not in the PTU's charge area.

9.6.2 Definitions

A distant PRU is defined as one that is not within a given PTU's charge area. A local PRU is defined as one that is within a given PTU's charge area. A distant list is a persistent list of PRU addresses that are assumed to not be within a given PTU's charge area.

9.6.3 Acceptance of advertisement

During a long beacon, the BLE client (PTU) shall issue a connection request between 0 ms and 50 ms of a received WPT Service related advertisement provided that:

- the RSSI of the advertisement is greater than ADV_PWR_MIN as measured at the receive antenna, AND
- the PTU observes an impedance shift close to the time of the advertisement as described in 9.6.4.

The ADV_PWR_MIN recommended value is –60 dBm, but can vary based on implementation.

If neither of these conditions are satisfied, the PTU shall ignore advertisements from that device. If one of these conditions is satisfied, then once the 11th advertisement is received, or more than 1 700 ms elapses, then the PTU shall issue a connection request.

For information on use of the Distant List, see 9.6.5.

The PTU shall ignore any advertisements if they occur when the PTU's resonator is unpowered.

The PTU conditions for acceptance of advertisement shall not apply for PRUs in mode transition (see 9.7).

9.6.4 Impedance shift sensing

Each PTU design contains a table of Short Beacon PRU-induced Impedance, $Z_{TX_IN_LOAD_DETECT}$ that can be detected by the PTU. See 10.2.2.

Upon receipt of an advertisement from a PRU during a long beacon, the PTU shall look up the $Z_{TX_IN_LOAD_DETECT}$ from its internal table. From the time an impedance shift is detected, the PTU shall look for an advertisement during the next 110 ms. (Note that if this period extends beyond the boundaries of the long beacon, a comparison to the values measured during the previous beacon might need to be made.)

The PTU shall then compare the impedance change to the $Z_{TX_IN_LOAD_DETECT}$. (If the PTU is capable of measuring only one of reactance or resistance changes, then only one comparison is made.) If either the resistance or the reactance exceeds the values from the table, then the PTU is to consider the PRU to have an associated impedance shift. If the PRU reports Impedance Shift bits set to 000 in the PRU advertising payload (see 7.3.3.4 and 9.5.2), the PTU is to consider the PRU to have an associated impedance shift no matter what the measured value.

9.6.5 Reboot bit handling

A PTU may have an algorithm that looks for advertisements during periods when the power amplifier is off. Since advertisements are not allowed when the PRU is unpowered, any advertisement that occurs during this time may be considered an advertisement from a distant PRU. The PTU may retain the address of such advertisements and place them on a "distant" list, to be ignored in the future. This prevents future cross-connections to that PRU.

If a PTU implements such a system, it shall ignore the "distant" list whenever the reboot bit in the PRU advertisement is set to "0". In addition, it shall clear that device from the "distant" list whenever the reboot bit in the PRU advertisement is set to "0". The reboot bit indicates that the PRU has recently had power removed and re-applied, as it would if the phone were moved from one pad to another; this makes any "distant" list invalid. Otherwise, the PTU may ignore this bit.

9.6.6 Time set handling

The Time Set value shall be set to zero if the PRU does not support Time Set. For the PRU that supports Time Set, the PTU shall use a non-zero value at least once before using a Time Set value of zero.

After the PRU Control Characteristic is written that includes a non-zero Time Set value and Enable PRU output set to "1", the category 2 or greater PRU shall create a valid P_{RECT} variation of at least 0,5 W maintain that load condition for the defined time in the Time Set field (Table 23), and upon completion, the PRU shall return to its original load condition and maintain it for at least 20 ms. The PRU shall enable the output after checking cross connection by the Time Set value. Category 1 PRUs are for further study.

If present, the PTU shall detect a P_{TX_IN} change of 0,5 W or more as the PRU load variation and compare the measured load variation period to the defined PTU Time Set value with a tolerance of ± 4 ms. If the PRU does not create the expected load variation for the defined Time Set value within 500 ms and the PRU supports Time Set (see 9.5.2 for Time Set Support bit), the PTU considers that the PRU might be cross-connected, and the PTU may write a PRU Control Characteristic with permission denied due to cross connection (see 9.5.4.5) and terminate the connection with the PRU.

If there are other PRUs already charging on the PTU, the PTU may first temporarily disable charging of those PRUs to perform a time set test on the new PRU.

The PTU should not adjust I_{TX} during the Time Set procedure.

9.7 Mode transition

9.7.1 Mode transition introduction

A PRU's BLE controller may re-initialize during an active charging session when the PRU is in PRU On state as described in 8.3.5 and the PTU is in the PTU Power Transfer state as described in 8.2.5. An example of when this procedure might be necessary is when a PRU initially charging from a completely dead battery condition retains enough battery charge where it is then possible to energize other subsystems comprised in the platform containing the PRU.

If the BLE controller re-initialization procedure requires the BLE link between a PRU and a PTU to terminate and then reinitialize, then the Mode Transition procedure described in 9.7.2 shall be followed.

9.7.2 Mode transition procedure

The PRU shall notify the PTU of its intent to terminate the BLE link prior to executing its re-initialization procedure (of the BLE link). This Mode Transition notification is a GATT indication to the PTU that the PRU's physical BLE link is about to drop and that the PTU and PRU will take the following actions. It is mandatory for the PTU to support the mode transition procedures defined for both zero and non-zero Device Address fields in the Mode Transition indication.

While in the PRU On state, if the PRU needs to reinitialize the BLE link with the PTU, the PRU shall notify the PTU by issuing a Mode Transition alert. A Mode Transition shall be performed by the PRU sending an Alert characteristic indication as described in 9.5.8. The PRU shall include the following information within the Mode Transition alert.

- a) The Mode Transition Bits shall be set to the (non-zero) time required for mode transition to complete. The bit settings shall indicate the duration of the Mode Transition using the format described in 9.5.8.10.
- b) If known, the Device Address field shall be set to the BLE device address to be used when the PRU's advertises and reconnects to the PTU after BLE device re-initialization. If this device address is unknown at the time this indication is sent, then the PRU shall set the Device Address field to all zeros. See 9.5.8.11.

If the Mode Transition Bits indicate a period of less than or equal to three seconds, then the PTU shall maintain I_{TX} relative to the PRU for the duration of the Mode Transition period. The PTU shall exclude the PRU from being classified as a rogue object only during the Mode Transition procedure.

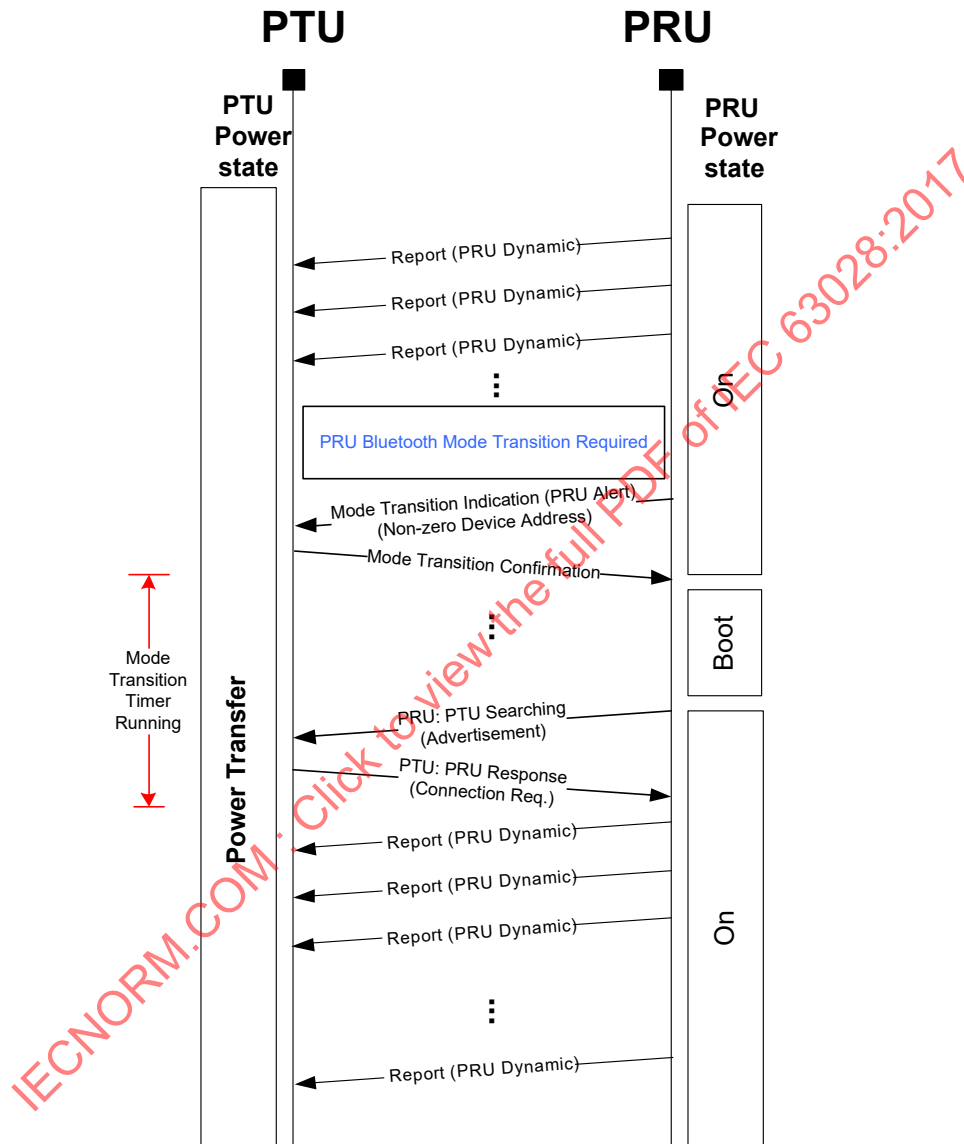
If the Mode Transition Bits are set to a value greater than three seconds, then prior to the beginning of the Mode Transition procedure, the PRU shall change its input impedance setting to support no more than a 1,1 W power draw and shall restrict any impedance change to this level during the entire Mode Transition procedure. The PTU shall adjust I_{TX} to this setting and shall maintain I_{TX} relative to the PRU for the duration of the Mode Transition procedure. If the Mode Transition device address is set to a non-zero value, then the Mode Transition expiration timer shall be stopped once the BLE connection is re-established. Otherwise the Mode Transition expiration timer shall be stopped once the registration procedure concludes at the issuing of the Control Characteristic containing the Enable PRU Charge command as described in 9.5.3.3.

If the PRU does not advertise and re-establish the BLE connection within the specified time frame indicated by the mode transition bit field, the PTU shall remove the PRU from the device registry, and wait for the PRU to advertise again to reconnect.

9.7.3 BLE reconnection procedure

If the Device Address field within the Mode Transition alert is set to a non-zero value, then the PRU shall use this device address as its own in advertisements issued after re-initializing. BLE

device discovery shall not be executed by the PTU, and the PTU shall attempt to reconnect to the PRU on receipt of the first advertisement from the PRU as well as any subsequent advertisements due to failed connection attempts. Once reconnected, the PTU shall be able to immediately support the previous charging session parameters used prior to re-initialization, and execution of the registration procedure shall not be executed and the PRU is not subjected to the acceptance of advertisement checking specified in 9.6.3. Figure 17 contains an illustrative message sequence chart depicting this procedure. GATT responses are omitted in the chart for simplicity.

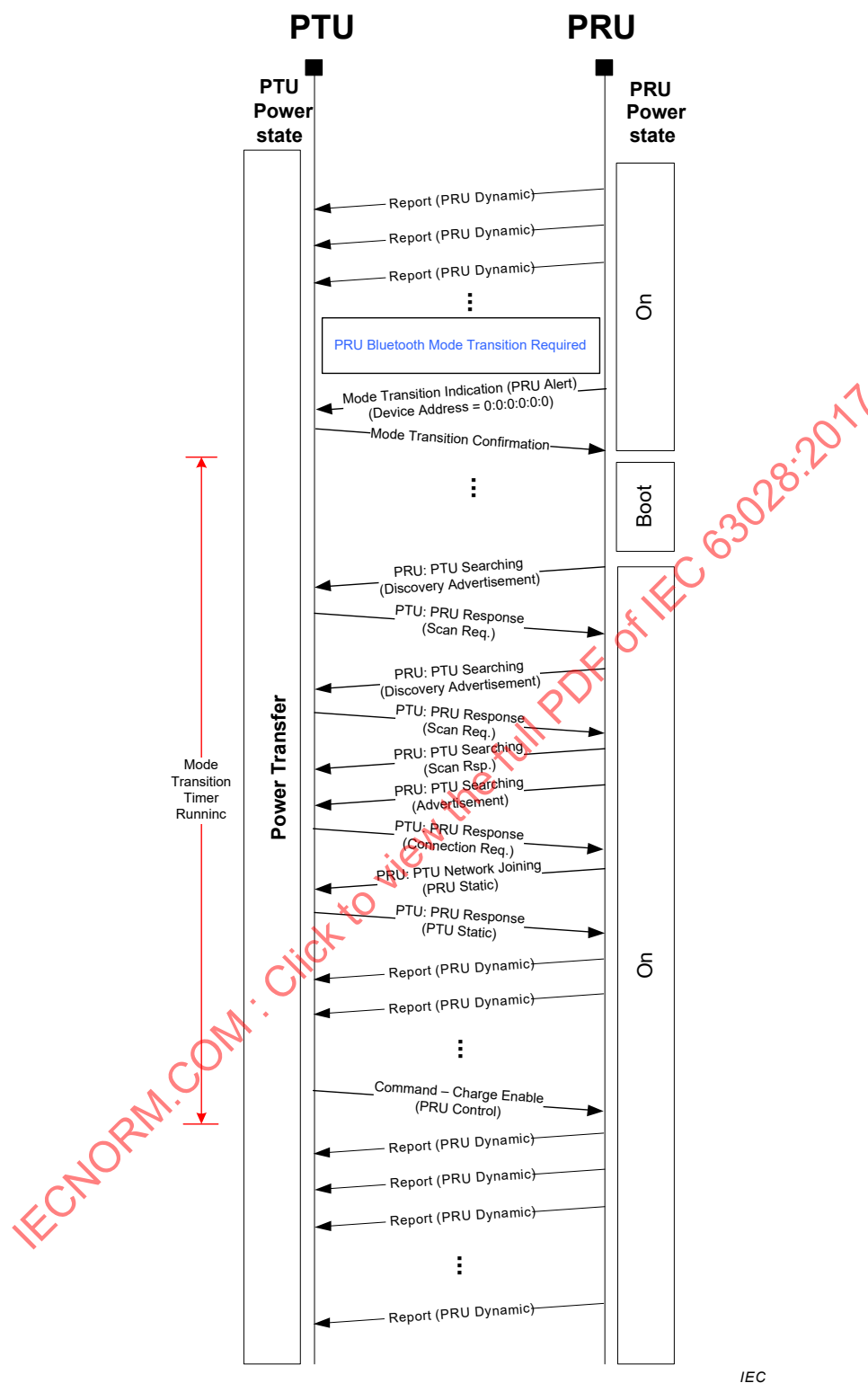


IEC

NOTE Read Requests are omitted for simplicity. Read Responses are shown as "Report (PRU Dynamic)".

Figure 17 – PRU mode transition – Device Address field set to a non-zero value

If the Device Address field within the Mode Transition alert is set to all zeros, then the PTU will not have any information regarding the address used by the PRU during BLE link reconnection. In this case, the PTU shall rediscover the PRU's BLE device address when the PRU once again begins advertising. Subsequently, the PTU shall reconnect with the PRU and execute the entire registration procedure which concludes at the issuing of the Control Characteristic containing Enable PRU Charge command as described in 9.5.4.3. Figure 18 contains an illustrative message sequence chart depicting this procedure.



IEC

Figure 18 – PRU mode transition – Device Address field set to all zeros

10 PTU resonators

10.1 PTU resonators introduction

The purpose of Clause 10 is to define the parameters required for the specification of approved PTU resonators as well as to identify currently approved PTU resonators.

NOTE All resonator impedance ranges and interfaces are specified in a manner which excludes the influence of any adaptive matching network.

10.2 Class *n* design template

10.2.1 Class *n* design template introduction

10.2.2 and 10.2.3 are required to be completed for every class of PTU resonator design. See 6.1 for PTU classifications.

10.2.2 Table of specifications

The AirFuel Resonant accepted PTU Resonator Design Template contains PTU resonator parameters. If a parameter in the template is not applicable to the PTU resonator design (e.g., the PTU does not support a category of PRUs), that parameter is to be identified as Not Applicable (N/A). See 6.2 for PRU categories.

10.2.3 PTU resonator structure

The PTU resonator design shall include all criteria necessary to build the PTU coil to the specification. The PTU resonator structure shall be defined including, however not necessarily limited to, the following:

- resonator geometry (a dimensioned drawing of the front, side, and top views shall be included);
- required resonator clearances (e.g., to charge surface, bottom of enclosure, enclosure edges);
- tuning;
- shielding; and
- matching network (if included as a component of the design).

10.3 Approved PTU resonators

The PTU resonator designs incorporated into the Accepted PTU Resonator List comprise the set of approved PTU resonators at the time of publication of this document. Parties to agreements based on this document are also required to investigate the possibility of additional approved PTU resonators at:

<https://members.airfuelalliance.org/wg/AirFuel/document/folder/122>

Annex A (informative)

Reference PRU for PTU acceptance testing

NOTE See 6.2 for PRU categories.

A.1 Category 1

For further study.

A.2 Category 2

See the RIT 3-2 design in AirFuel Resonant PTU Resonator and Resonator Interface Acceptance Test.

A.3 Category 3

A.3.1 PRU design 3-1

Table A.1 and Figure A.1 provide RIT 3-2 specific parameters and block diagram.

Table A.1 – PRU table of specifications

Parameter	Value	Units
$V_{RX_OC_BOOT}$	5,8	Volts
$V_{RX_OC_MIN}$	8,9	Volts
$V_{RX_OC_HIGH}$	13,7	Volts
$V_{RX_OC_MAX}$	18	Volts
R_{RX_MIN}	12,5	Ohms
Minimum clearance from charger area surface	0,5	millimetres

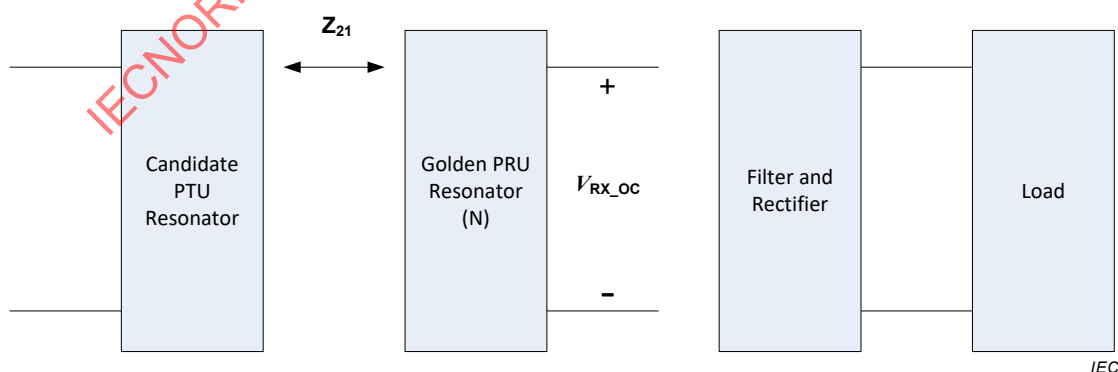


Figure A.1 – PRU design 3 block diagram

A.3.2 Geometry

Figures A.2 through A.6 provide RIT 3-2 specific geometry.

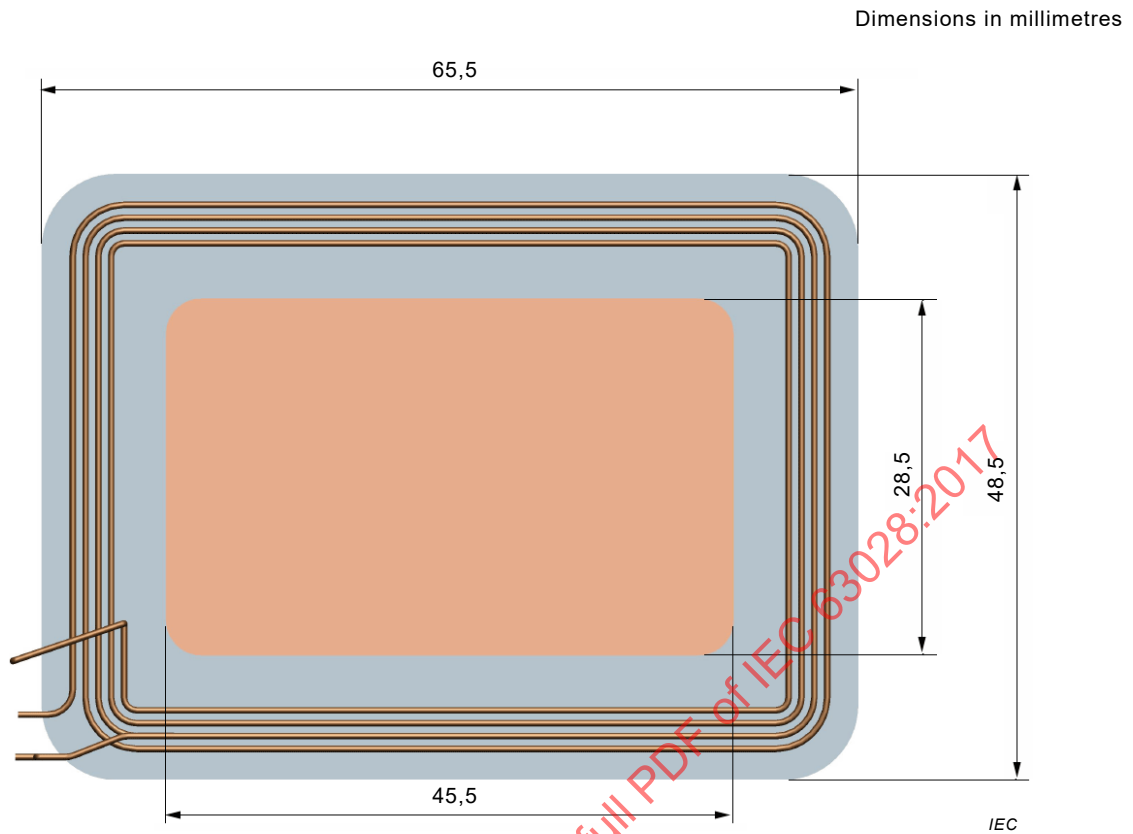


Figure A.2 – Front view

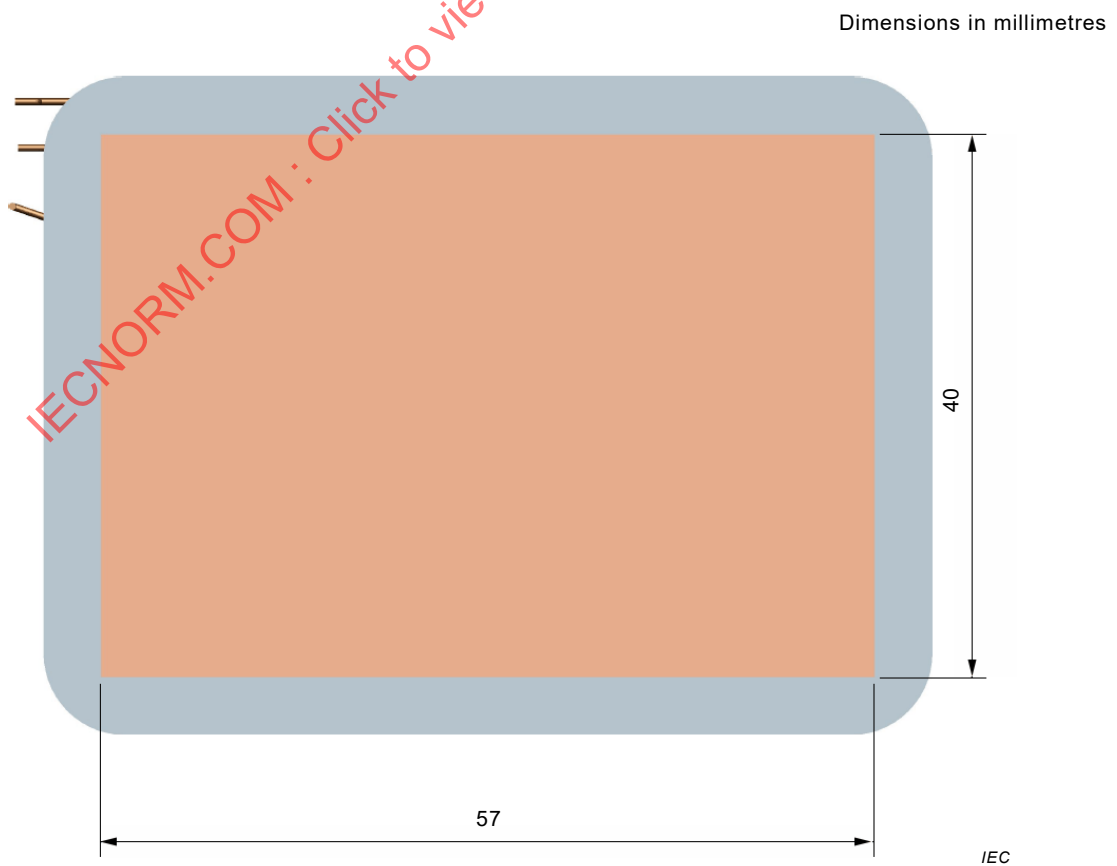
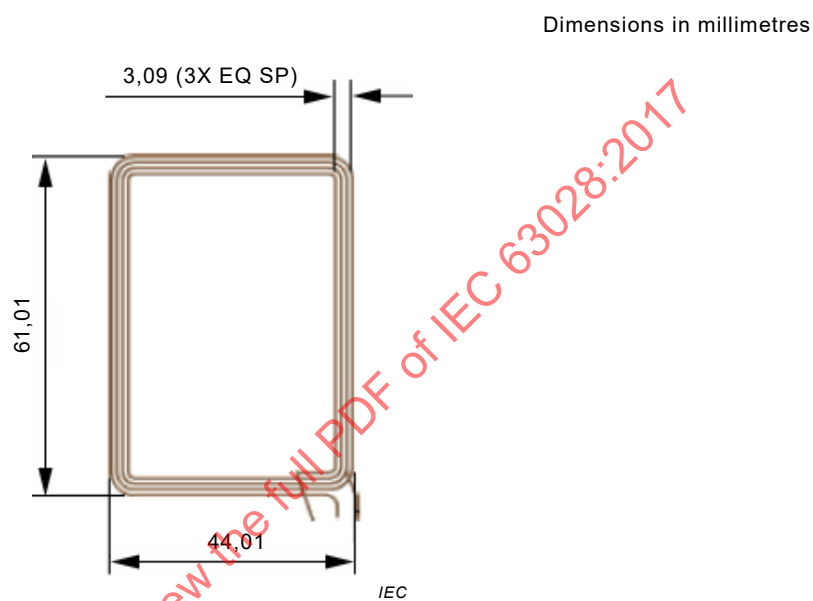
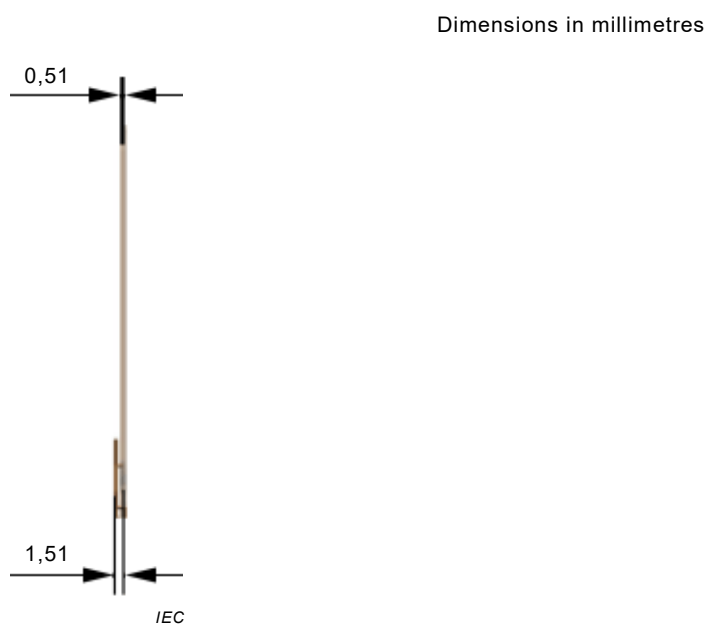


Figure A.3 – Back view

**Figure A.4 – Side view**

NOTE "3X EQ SP" means "Three equal spaces".

Figure A.5 – Front view, coil only**Figure A.6 – Side view, coil only**

A.4 Category 4

For further study.

A.5 Category 5

For further study.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63028:2017

Annex B (informative)

Lost power

B.1 Overview

Annex B provides considerations for the development of lost power procedures and lost power calculations.

B.2 General

Lost power is defined as the power that cannot be accounted for by the system. System power losses include:

- efficiency losses in the PTU power section;
- losses in the PTU resonator;
- radiated losses;
- losses in the PRU resonator;
- efficiency losses in the PRU power section;
- losses caused by induction heating of the body of the PRU;
- losses caused by induction heating of other objects in the vicinity.

Generally, the PTU will have the ability to measure power in and the PRU will have the ability to measure and report power out. There will always be a difference between these two caused by the losses listed above. Some of the losses (such as PTU and PRU resonator losses, and PRU induction heating losses) can be estimated and accounted for fairly accurately. Some of the losses (such as induction heating of other objects) are unknowns.

Since induction heating of other objects is undesirable, PTU designers will often wish to estimate the amount of lost power assignable to induction heating of other objects. Simulation and empirical testing demonstrates that this can be done with an accuracy of a few watts. If an unaccountable amount of lost power is detected, PTU designers might elect to shut down the PTU to prevent potential heating of other objects.

Annex B lists some of the issues surrounding lost power detection.

B.3 Cross connection issues

When a device is cross-connected, it will be reporting its power to the "wrong" PTU and will generally cause a significant amount of lost power error. This can be used to help remedy cross connection issues, since a shutdown will tend to reset all BLE links on that PTU and allow the cross-connected device to "try again".

B.4 Handoff issues

In some cases, a device might need to "hand off", i.e., to transfer control from one BLE link to another, or from one BLE radio to another. During this time, there will often be a transient in unreported power, and PTU designers need to ensure that this does not cause an undesired lost power detection shutdown.

B.5 Power noise issues

The "spectrum" of power draw of a phone in current limit (i.e., drawing maximum power during charge) is relatively quiet since most phone inputs are current-regulated. However, once fully charged or close to fully charged, the power drawn becomes very noisy and thus hard to measure accurately. System designers can overcome this by implementing filters with a time constant much longer than the 250 ms sampling interval for PRU power, but this is somewhat difficult to implement. Thus, measurement of lost power during periods other than full power might be difficult or impossible.

B.6 PTU lost power calculation

B.6.1 Lost power detection threshold

The PTU detects when $P_{\text{LOST}} \geq n$ W for at least six seconds, where n is an implementation specific value.

B.6.2 Lost power detection speed

If lost power exceeds, and then stays above the implementation threshold, the PTU shall shut down within six seconds measured from the moment that the implementation threshold was first exceeded.

B.6.3 PTU lost power calculation

The PTU can implement the calculation

$$P_{\text{LOST}} = P_{\text{TX_OUT}} - P_{\text{ACK}}$$

where

$P_{\text{TX_OUT}}$ is the power output of the PTU resonator;

P_{ACK} is the power consumption acknowledged by PRUs.

$$P_{\text{TX_OUT}} = P_{\text{TX}} - P_{\text{TX_RESONATOR_DISSIPATION}}$$

where

$P_{\text{TX_RESONATOR_DISSIPATION}}$ is the power dissipated in the PTU resonator

$$P_{\text{ACK}} = (P_{\text{AC1}} + P_{\text{RXCOIL1}} + P_{\text{INDUCTION1}}) + \dots + (P_{\text{AC}_N} + P_{\text{RXCOIL}_N} + P_{\text{INDUCTION}_N})$$

where

P_{AC1} is the power into the rectifier of PRU 1;

P_{RXCOIL1} is the power dissipated in the coil of PRU 1;

$P_{\text{INDUCTION1}}$ is the power consumed by the induction heating of PRU 1.

B.6.4 PTU power transmission detection accuracy

The PTU detects the amount of power transmitted to within n W, where n is an implementation specific value.

B.6.5 PRU lost power reports

NOTE The PRU reports are used to calculate a total value of power consumption and dissipation that is acknowledged by the PRU (P_{ACK}). The parameters V_{RECT} , I_{RECT} , R_{RX_IN} , η_{RECT} , and Delta R1 can be used to compute the total of power delivered to the load, power consumed by any PRU circuitry, power consumed by the resonator, and power consumed by any induction heating effects.

B.6.6 Accuracy of reported power

The total error of the power acknowledged by each PRU, (P_{ACK}), is less than 0,75 W.

B.6.7 Other PRU lost power reports

None.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63028:2017

Annex C (normative)

User experience requirements

C.1 General

Annex C defines the requirements that AirFuel Resonant PTUs and PRUs should meet to achieve a satisfactory overall user experience.

C.2 User indication

A user indication is a PTU and/or PRU capability to convey information to the user regarding the state of wireless power transfer. Use case and form factor may limit the capability of some devices to provide a user indication. See 9.5.4.3 for additional information on PRU charge permission.

C.2.1 PRU user indication

The PRU, if it has the capability as declared by the PRU vendor, shall provide the following user indications for wireless power transfer.

- a) The PRU is charging (for initial conditions, this can also mean preparing or permitted to charge).
- b) The PRU is not charging.
 - 1) The PRU is denied charge.
 - 2) The PRU is waiting to charge (i.e., there is limited charging available).
 - 3) An error condition is preventing the PRU from charging.

C.2.2 PTU user indication

The PTU, if it has the capability, shall provide the following user indications for wireless power transfer.

- a) The PTU is charging one or more PRUs.
- b) The PTU is not charging any PRUs.
 - 1) A PRU is denied charge.
 - 2) Charging is available, no PRUs are charging or present.
 - 3) An error condition is preventing one or more PRU from charging.

Annex D (informative)

RCE calculations

D.1 RCE calculation (using S-parameters)

Delete this test equation:

$$\Delta = \det(S) = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

Optimum resonator coupling efficiency can be determined from the S-parameters. This method removes the effect of any matching network used in the measurement.

Define the following constants, which depend only on the S-parameters:

$$\begin{aligned}\Delta &= \det(S) = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \\ B_1 &= 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2 \\ B_2 &= 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2 \\ C_1 &= S_{11} - \Delta S_{22}^* \\ C_2 &= S_{22} - \Delta S_{11}^*\end{aligned}\tag{D.1}$$

The reflection coefficients for the generator and load at optimal efficiency are then given by:

$$\begin{aligned}\Gamma_G^{opt} &= \frac{B_1 - \text{sign}(B_1)\sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}}{2C_1} \\ \Gamma_L^{opt} &= \frac{B_2 - \text{sign}(B_2)\sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2C_2}.\end{aligned}\tag{D.2}$$

The expression for the optimal efficiency in terms of the S-parameters is obtained by substituting in the values for Γ_L^{opt} and $\Gamma_{in}^{opt} = (\Gamma_G^{opt})^*$ in Equation (D.2) into:

$$RCE = \frac{1}{1 - |\Gamma_{in}^{opt}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L^{opt}|^2}{(|1 - S_{22}\Gamma_L^{opt}|)^2}\tag{D.3}$$

The optimal loads can be found using the following expressions, where $Z_0 = 50 \, \Omega$ is the port impedance used in the S-parameter measurement:

$$Z_G = Z_0 \frac{1 + \Gamma_G}{1 - \Gamma_G}\tag{D.4}$$

$$Z_L = Z_0 \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L}.$$

D.2 RCE calculation (using Z-parameters)

Optimum resonator coupling efficiency can also be determined from the Z parameters.

General case: Given the 2 x 2 matrix of Z-parameters, we can determine the impedances seen at the input and output ports of the 2-port network with load impedance Z_L and generator impedance Z_G :

$$Z_{IN} = Z_{11} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_{22} + Z_L} \quad (D.5)$$

$$Z_{OUT} = Z_{22} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_{11} + Z_G} \quad (D.6)$$

For perfect conjugate matching, we want $Z_{IN} = Z_G^*$ and $Z_{OUT} = Z_L^*$. Solving these two equations for the optimum Z_L and Z_G we find:

$$\begin{aligned} Z_{L,opt} &= -jX_{22} + j\frac{IM[Z_{12}Z_{21}]}{2R_{11}} + R_{22} \sqrt{\left(1 + j\frac{IM[Z_{12}Z_{21}]}{2R_{11}R_{22}}\right)^2 - \frac{Z_{12}Z_{21}}{R_{11}R_{22}}} \\ &= -jX_{22} + j\frac{IM[Z_{12}Z_{21}]}{2R_{11}} + R_{22} \sqrt{1 - \left(\frac{IM[Z_{12}Z_{21}]}{2R_{11}R_{22}}\right)^2 - \frac{RE[Z_{12}Z_{21}]}{R_{11}R_{22}}} \end{aligned} \quad (D.7)$$

$$\begin{aligned} Z_{G,opt} &= -jX_{11} + j\frac{IM[Z_{12}Z_{21}]}{2R_{22}} + R_{11} \sqrt{\left(1 + j\frac{IM[Z_{12}Z_{21}]}{2R_{11}R_{22}}\right)^2 - \frac{Z_{12}Z_{21}}{R_{11}R_{22}}} \\ &= -jX_{11} + j\frac{IM[Z_{12}Z_{21}]}{2R_{22}} + R_{11} \sqrt{1 - \left(\frac{IM[Z_{12}Z_{21}]}{2R_{11}R_{22}}\right)^2 - \frac{RE[Z_{12}Z_{21}]}{R_{11}R_{22}}} \end{aligned} \quad (D.8)$$

where $R_{11} = RE[Z_{11}]$, $R_{22} = RE[Z_{22}]$, $X_{11} = IM[Z_{11}]$ and $X_{22} = IM[Z_{22}]$.

We can determine the optimum efficiency using

$$RCE = \frac{|Z_{21}|^2}{|Z_{22} + Z_{L,opt}|^2} R_{L,opt}/R_{IN} \quad (D.9)$$

where $R_{L,opt} = RE[Z_{L,opt}]$ and $R_{IN} = RE[Z_{IN}]$ evaluated with $Z_L = Z_{L,opt}$. Under optimum loading conditions,

$$\frac{R_{L,opt}}{R_{IN}} = \frac{RE[Z_{L,opt}]}{RE[Z_{G,opt}]} = \frac{R_{22}}{R_{11}} \quad (D.10)$$

and RCE can be expressed as

$$RCE = \frac{\frac{|Z_{21}|^2}{R_{11}R_{22}}}{\left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{IM[Z_{12}Z_{21}]}{2R_{11}R_{22}}\right)^2 - \frac{RE[Z_{12}Z_{21}]}{R_{11}R_{22}}}\right)^2 + \left(\frac{IM[Z_{12}Z_{21}]}{2R_{11}R_{22}}\right)^2} \quad (D.11)$$

D.2.1 Series tuned case

In the special case of coils with only series matching elements, $Z_{21} = Z_{12} = j\omega M$ and then

$$Z_{L,opt} = -jX_{22} + R_{22} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_{11}R_{22}}} \quad (D.12)$$

and

$$Z_{G,opt} = -jX_{11} + R_{11} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_{11}R_{22}}} \quad (D.13)$$

RCE simplifies to:

$$RCE = \frac{Q_M^2}{\left(1 + \sqrt{1 + Q_M^2}\right)^2} \quad (D.14)$$

where

$$Q_M = \frac{\omega M}{\sqrt{R_{11}R_{22}}} \quad (D.15)$$

Note that in this case $R_{11} = R_1$ and $R_{22} = R_2$, where R_1 and R_2 are the resistances of coils 1 and 2 plus series matching capacitors, respectively.

D.2.2 Other RCE calculations

None.

D.3 Conversion between S-parameters and Z-parameters

S-parameters can be converted to Z-parameters and vice-versa.

$$Z_0 = 50$$

S to Z Parameters	Z to S Parameters
$Z_{11} = \frac{((1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21})}{\Delta_s} Z_0$ $Z_{12} = \frac{2S_{12}}{\Delta_s} Z_0$ $Z_{21} = \frac{2S_{21}}{\Delta_s} Z_0$ $Z_{22} = \frac{((1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21})}{\Delta_s} Z_0$	$S_{11} = \frac{(Z_{11} - Z_0)(Z_{22} + Z_0) - Z_{12}Z_{21}}{\Delta_z}$ $S_{12} = \frac{2Z_{12}Z_0}{\Delta_z}$ $S_{21} = \frac{2Z_{21}Z_0}{\Delta_z}$ $S_{22} = \frac{(Z_{11} + Z_0)(Z_{22} - Z_0) - Z_{12}Z_{21}}{\Delta_z}$
$\Delta_s = ((1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21})$	$\Delta_z = (Z_{11} + Z_0)(Z_{22} + Z_0) - Z_{12}Z_{21}$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63028:2017

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63028:2017

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	103
INTRODUCTION.....	105
1 Domaine d'application	106
2 Références normatives	106
3 Termes, définitions, symboles et termes abrégés	106
3.1 Termes et définitions	106
3.2 Symboles et termes abrégés.....	109
3.2.1 Symboles.....	109
3.2.2 Termes abrégés.....	113
4 Description du système	114
5 Conformité et rétrocompatibilité	116
6 Types de dispositifs	116
6.1 Classification des PTU.....	116
6.2 Catégories de PRU	117
7 Spécifications relatives au transfert d'énergie.....	118
7.1 Circuit équivalent et paramètres de référence du système	118
7.2 Exigences générales relatives au système.....	119
7.2.1 Fréquence de fonctionnement.....	119
7.2.2 Relation entre Z_{TX_IN} et R_{RECT}	119
7.2.3 Stabilité de la puissance.....	119
7.2.4 Protection contre la colocation des PTU	119
7.2.5 Autoprotection de la PRU (informative).....	119
7.3 Exigences relatives au résonateur	120
7.3.1 Rendement de couplage du résonateur (RCE)	120
7.3.2 Exigences relatives au résonateur PTU	120
7.3.3 Exigences relatives au résonateur PRU	123
7.4 Paramètres de charge.....	124
7.4.1 Introduction aux paramètres de charge.....	124
7.4.2 Résistance de charge minimale	124
7.4.3 Charge dynamique maximale admissible	124
7.4.4 Capacité de charge maximale.....	124
8 Spécifications du contrôle de puissance	125
8.1 Objectifs du contrôle	125
8.2 Spécifications relatives à la PTU.....	125
8.2.1 Etat de la PTU	125
8.2.2 Exigences générales relatives aux états	127
8.2.3 Etat d'économie d'énergie de PTU	128
8.2.4 Etat de puissance faible de PTU	131
8.2.5 Etat de transfert d'énergie de PTU.....	131
8.2.6 Etat de configuration de PTU.....	135
8.2.7 Etat de panne locale de PTU	135
8.2.8 Etat de panne permanente de PTU	136
8.2.9 Transitions d'état de la PTU.....	136
8.2.10 Mode essai de PTU	139
8.3 Spécifications relatives à la PRU	140
8.3.1 Exigences générales relatives aux PRU.....	140

8.3.2	Modèle d'état PRU	143
8.3.3	Etat nul	145
8.3.4	Amorçage de PRU	145
8.3.5	Etat de PRU active	146
8.3.6	Etat d'erreur système PRU	147
8.3.7	Transitions d'état de la PRU	147
9	Spécifications de signalisation	149
9.1	Architecture et diagrammes d'état	149
9.1.1	Architecture	149
9.1.2	Processus de charge général	149
9.2	Procédure de charge et exigences	152
9.2.1	Retrait d'une PRU du réseau WPT	152
9.2.2	Mode partage de puissance	152
9.3	Exigences relatives au profil Bluetooth faible énergie (BLE)	153
9.3.1	Introduction aux exigences du profil Bluetooth faible énergie (BLE)	153
9.3.2	Objectifs Bluetooth faible énergie (BLE)	153
9.3.3	Exigence relative au matériel de la PTU	153
9.3.4	Exigence relative au matériel de la PRU	153
9.3.5	Structure du réseau de base	153
9.3.6	Exigences relatives aux radiofréquences	153
9.3.7	Exigences de temporisation et de séquençement	154
9.3.8	Structure du profil	157
9.4	Définition du profil BLE	158
9.4.1	Sous-procédure GATT	158
9.4.2	Configuration	158
9.4.3	Exigences relatives à la PRU	159
9.4.4	Exigences relatives à la PTU	159
9.4.5	Etablissement de la connexion	160
9.4.6	Considérations relatives à la sécurité	162
9.4.7	Charge complète	162
9.5	Caractéristiques du service WPT	163
9.5.1	Introduction aux caractéristiques du service WPT	163
9.5.2	Charge utile d'annonce de la PRU	163
9.5.3	Service WPT	165
9.5.4	Contrôle de PRU	168
9.5.5	Paramètre statique de la PTU	170
9.5.6	Caractéristique Paramètre statique de la PRU	175
9.5.7	Caractéristique Paramètre dynamique de la PRU	178
9.5.8	Caractéristique Alerte PRU	183
9.6	Algorithme d'interconnexion	184
9.6.1	Introduction à l'algorithme d'interconnexion	184
9.6.2	Définitions	184
9.6.3	Acceptation d'une annonce	185
9.6.4	Détection d'un décalage d'impédance	185
9.6.5	Gestion du bit de redémarrage	185
9.6.6	Gestion du réglage de l'heure	186
9.7	Transition de mode	186
9.7.1	Introduction à la transition de mode	186
9.7.2	Procédure de transition de mode	187

9.7.3	Procédure de reconnexion BLE	187
10	Résonateurs PTU	190
10.1	Introduction aux résonateurs PTU	190
10.2	Modèle de conception de classe n	190
10.2.1	Introduction au modèle de conception de classe n	190
10.2.2	Tableau de spécifications	191
10.2.3	Structure du résonateur PTU	191
10.3	Résonateurs de PTU approuvés	191
Annexe A	(informative) PRU de référence pour les essais d'acceptation des PTU	192
A.1	Catégorie 1	192
A.2	Catégorie 2	192
A.3	Catégorie 3	192
A.3.1	Conception 3-1 de la PRU	192
A.3.2	Géométrie	193
A.4	Catégorie 4	195
A.5	Catégorie 5	195
Annexe B	(informative) Puissance perdue	196
B.1	Vue d'ensemble	196
B.2	Généralités	196
B.3	Problèmes d'interconnexion	196
B.4	Problèmes de délégation	197
B.5	Problèmes de bruit de puissance	197
B.6	Calcul de la puissance perdue par la PTU	197
B.6.1	Seuil de détection de la puissance perdue	197
B.6.2	Vitesse de détection de la puissance perdue	197
B.6.3	Calcul de la puissance perdue par la PTU	197
B.6.4	Précision de détection du transfert d'énergie de la PTU	198
B.6.5	Rapports de puissance perdue de la PRU	198
B.6.6	Précision de la puissance signalée	198
B.6.7	Autres rapports de puissance perdue de la PRU	198
Annexe C	(normative) Exigences relatives à l'expérience utilisateur	199
C.1	Généralités	199
C.2	Indication à l'utilisateur	199
C.2.1	Indication à l'utilisateur de la PRU	199
C.2.2	Indication à l'utilisateur de la PTU	199
Annexe D	(informative) Calculs du RCE	200
D.1	Calculs du RCE (à l'aide des paramètres S)	200
D.2	Calculs du RCE (à l'aide des paramètres Z)	201
D.2.1	Cas d'un circuit oscillant série	202
D.2.2	Autres calculs du RCE	202
D.3	Conversion entre les paramètres S et Z	202
Figure 1	– Système de transfert d'énergie sans fil	115
Figure 2	– Représentation de la P_{TX_IN} d'un résonateur PTU-PRU	117
Figure 3	– Représentation de la P_{RX_OUT} d'un résonateur PTU-PRU	118
Figure 4	– Circuit équivalent et paramètres du système	119
Figure 5	– Considérations relatives à la charge du résonateur PTU	122

Figure 6 – Modèle d'états pour la PTU	126
Figure 7 – Séquences de balises	129
Figure 8 – Détection des variations de charge	130
Figure 9 – Découverte	131
Figure 10 – Réponse de transition I_{TX} de la PTU	132
Figure 11 – Modèle d'états pour la PRU	144
Figure 12 – Régions de fonctionnement V_{RECT}	145
Figure 13 – Architecture de base d'un système WPT	149
Figure 14 – Diagramme d'états de base (informatif)	151
Figure 15 – Exemple de chronologie d'enregistrement (informatif)	156
Figure 16 – Communication des services/caractéristiques de la PTU/PRU	158
Figure 17 – Transition de mode PRU – champ Adresse de dispositif défini sur une valeur différente de zéro	188
Figure 18 – Transition de mode PRU – champ Adresse de dispositif défini sur des zéros	190
Figure A.1 – Schéma fonctionnel de la conception 3 de la PRU	193
Figure A.2 – Vue avant	193
Figure A.3 – Vue arrière	194
Figure A.4 – Vue latérale	194
Figure A.5 – Vue avant, bobine seulement	195
Figure A.6 – Vue latérale, bobine seulement	195
Tableau 1 – Classification des PTU	117
Tableau 2 – Catégories de PRU	118
Tableau 3 – RCE minimal (pourcentage et dB) entre la PRU et la PTU	120
Tableau 4 – Capacité de charge maximale	125
Tableau 5 – Exigence de délai pour passer à l'état de transfert d'énergie de PTU	127
Tableau 6 – Sous-état de transfert d'énergie de PTU	133
Tableau 7 – Pannes permanentes de PTU	139
Tableau 8 – Exemple de précision du courant signalé	143
Tableau 9 – Erreurs système PRU	148
Tableau 10 – Bilan RF (informatif)	154
Tableau 11 – Contraintes relatives à la temporisation	157
Tableau 12 – Caractéristiques de profil BLE	157
Tableau 13 – Sous-procédure GATT	158
Tableau 14 – Charge utile d'annonce de la PRU	163
Tableau 15 – Bit de décalage d'impédance	165
Tableau 16 – UUID du service WPT	166
Tableau 17 – Service WPT	166
Tableau 18 – Service GAP	167
Tableau 19 – Service GATT	168
Tableau 20 – Caractéristique Contrôle de PRU	168
Tableau 21 – Élément: champ de bits pour les activations	169

Tableau 22 – Élément: champ de bits pour la permission.....	169
Tableau 23 – Élément: champ de bits pour le réglage de l'heure.....	170
Tableau 24 – PTU signalant les valeurs statiques à la PRU	171
Tableau 25 – Élément: champ de bits pour la validité des champs facultatifs	171
Tableau 26 – Puissance PTU.....	172
Tableau 27 – Impédance source max.....	173
Tableau 28 – Résistance de charge max.....	174
Tableau 29 – Champ Révision du protocole AirFuel	175
Tableau 30 – Nombre de dispositifs de la PTU.....	175
Tableau 31 – PRU qui signale les valeurs statiques à la PTU	176
Tableau 32 – Élément: champ de bits pour la validité des champs facultatifs	176
Tableau 33 – Élément: champ de bits pour les informations de la PRU	177
Tableau 34 – Caractéristique Paramètre dynamique de la PRU	179
Tableau 35 – Élément: champ de bits pour la validité des champs facultatifs	180
Tableau 36 – Élément: champ de bits pour l'alerte PRU.....	181
Tableau 37 – Élément: champ de bits pour l'alerte PRU.....	182
Tableau 38 – Commandes du mode d'essai	182
Tableau 39 – Champs d'alerte PRU	183
Tableau 40 – Élément: champ de bits pour la notification d'alerte PRU	183
Tableau 41 – Transition de mode.....	184
Tableau A.1 – Tableau de spécifications de la PRU	192

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFERT D'ÉNERGIE SANS FIL – SPÉCIFICATION DU SYSTÈME DE RÉFÉRENCE (BSS) POUR LE SYSTÈME RÉSONANT D'AIRFUEL ALLIANCE**AVANT-PROPOS**

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

La Norme internationale IEC 63028 a été établie par le domaine technique 15: Transfert d'énergie sans fil, du comité d'études 100 de l'IEC: Systèmes et équipements audio, vidéo et services de données.

La présente version bilingue (2020-10) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2017-06.

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63028:2017

INTRODUCTION

Dans le monde actuel, les dispositifs mobiles grand public sont généralement pris en charge par des technologies sans fil pour les fonctions de connectivité et de communication des données, tandis que la fonction de charge est essentiellement assurée par des technologies filaires. La mise au point des technologies de transfert d'énergie sans fil confère aux utilisateurs davantage de flexibilité pour la charge des dispositifs mobiles; ces technologies font notamment appel à des méthodes inductives, résonantes ou non couplées (RF, ultrasons, laser).

L'IEC 63028 définit une approche de charge sans fil spécifique reposant sur la technologie de résonance et spécifie les exigences techniques pour les systèmes de transfert d'énergie sans fil (WPT, *Wireless Power Transfer*) résonants AirFuel™¹.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63028:2017

¹ AirFuel™ est l'appellation commerciale d'un produit fourni par AirFuel Alliance. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que l'IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné.

TRANSFERT D'ÉNERGIE SANS FIL – SPÉCIFICATION DU SYSTÈME DE RÉFÉRENCE (BSS) POUR LE SYSTÈME RÉSONANT D'AIRFUEL ALLIANCE

1 Domaine d'application

Le présent document définit les exigences techniques, les comportements ainsi que les interfaces utilisées pour assurer l'interopérabilité des systèmes de transfert d'énergie sans fil (WPT) à couplage flexible avec le système WPT résonant AirFuel. Ce document repose sur la Spécification du système de référence (BSS) du système de transfert d'énergie sans fil AirFuel v1.3.

Par hypothèse, les produits qui mettent en œuvre le présent document suivent les règlements et les normes internationales en vigueur.

2 Références normatives

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

Spécification du système de référence (BSS) du système de transfert d'énergie sans fil AirFuel v1.3 [consultée le 13-03-2017]. Disponible à l'adresse:
<http://www.airfuel.org/technologies/specification-download>

Spécification du système de référence (BSS) du système de transfert d'énergie sans fil AirFuel v1.2.1 [consultée le 13-03-2017]. Disponible à l'adresse:
<http://www.airfuel.org/technologies/specification-download>

Spécification de base Bluetooth v4.0 ou versions ultérieures dès qu'elles seront disponibles [consultée le 13-03-2017]. Disponible à l'adresse:
https://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloaddoc.ashx?doc_id=229737

CSA4 ou versions ultérieures telles qu'elles seront disponibles [consultée le 13-03-2017]. Disponible à l'adresse:
https://www.bluetooth.org/docman/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=269452

3 Termes, définitions, symboles et termes abrégés

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

annonce

événement d'annonce non dirigé connectable, où le dispositif transfère trois paquets ADV_IND spécifiques au service WPT et accepte les demandes d'analyse et de connexion

Note 1 à l'article: Un paquet ADV_IND est transmis sur chacun des canaux d'annonce.

Note 2 à l'article: La réception d'une annonce se définit comme la réception de l'un des trois paquets d'annonces.

3.1.2

catégorie

type d'unité de réception d'énergie (PRU)

Note 1 à l'article: Voir aussi la définition de l'unité de réception d'énergie (3.1.17).

3.1.3

zone de charge

<PRU plus grande que la zone d'essai> région de superposition maximale entre la zone de charge de la PTU et le résonateur de la PRU

Note 1 à l'article: La zone de charge est procurée par le fournisseur, la PRU correspond au dispositif proprement dit et la zone d'essai désigne la zone de charge utilisée lors des essais.

3.1.4

zone de charge

<PRU plus petite que la zone d'essai> région de superposition maximale entre la zone de charge de la PTU et la PRU

Note 1 à l'article: La zone de charge est procurée par le fournisseur et la zone d'essai désigne la zone de charge utilisée lors des essais.

Note 2 à l'article: Cela n'empêche pas le résonateur de la PRU d'être plus grand que le résonateur de la PTU.

Note 3 à l'article: En outre, "au sein de la zone de charge" a la même signification que "au sein de la zone d'essai".

Note 4 à l'article: La zone de charge inclut la spécification des hauteurs Z destinées au produit final, mesurées à partir de la surface de la bobine du résonateur.

3.1.5

classe

type d'unité de transmission d'énergie (PTU)

Note 1 à l'article: Voir aussi la définition de l'unité de transmission d'énergie (3.1.18).

3.1.6

charge multiple simultanée

transfert d'énergie d'un résonateur de transmission vers plusieurs résonateurs de réception

Note 1 à l'article: Un couplage résonant magnétique peut se produire entre un résonateur de transmission et plusieurs résonateurs de réception, tandis qu'un couplage serré se limite à une seule bobine de transmission et à une seule bobine de réception. Ainsi, la technologie à couplage serré ne permet que le transfert d'énergie biunivoque.

3.1.7

delta R1

variation de la résistance mesurée d'un résonateur PTU lorsqu'une PRU est placée au centre de la zone de charge de la PTU par rapport à la résistance mesurée lorsqu'aucun objet ne se trouve dans la zone de charge

Note 1 à l'article: Cette mesure se réfère à l'utilisation d'une PRU avec un résonateur à circuit ouvert.

3.1.8

registre des dispositifs

liste des PRU actives gérées par la PTU

3.1.9

PRU dominante

PRU qui consomme le pourcentage le plus élevé de sa puissance de sortie assignée ($V_{RECT} \times I_{RECT} / P_{RECT_MAX}$)

3.1.10

transfert d'énergie sans fil à couplage flexible

système de transfert d'énergie qui fournit de l'énergie par induction magnétique entre une bobine de transmission et une bobine de réception, où le facteur de couplage (k) entre les bobines peut se situer dans une plage comprise entre une valeur faible et une valeur élevée (inférieur à 0,025, par exemple)

Note 1 à l'article: En outre, dans un système à couplage flexible, la bobine de transmission (bobine principale) peut être de même taille ou beaucoup plus grande que la bobine de réception (bobine secondaire). La différence admissible de taille entre les bobines permet la charge simultanée de plusieurs dispositifs, ainsi qu'un placement plus flexible des bobines de réception dans la zone de charge.

3.1.11

région de haute tension

région de la PRU dans laquelle les niveaux V_{RECT} se traduisent par une puissance dissipée importante sans endommager la PRU

3.1.12

volume d'exclusion

volume extérieur à la zone de charge dans lequel aucun essai n'est réalisé

Note 1 à l'article: Ce paramètre est défini par le fournisseur de la PTU.

3.1.13

région de basse tension

tensions V_{RECT} inférieures à la plage de fonctionnement

3.1.14

fonctionnement normal

plage de tous les états du WPT spécifiés, autres que l'état d'erreur système PRU résultant d'une surtension

3.1.15

surtension

tensions V_{RECT} supérieures à V_{RECT_MAX}

Note 1 à l'article: Une surtension peut endommager les composants de la PRU de manière permanente si la PRU ne corrige pas cette condition (voir 8.3.6).

3.1.16

interrupteur OVP

interrupteur de la PRU qui s'ouvre ou se ferme pour protéger la PRU

3.1.17

unité de réception d'énergie

unité qui reçoit de l'énergie électrique sans fil à partir d'une unité de transmission d'énergie

3.1.18

unité de transmission d'énergie

unité qui transfère de l'énergie électrique sans fil à chaque unité de réception d'énergie

3.1.19

rendement du redresseur

rapport entre la puissance rectifiée et la puissance reçue par la PRU (P_{RECT} / P_{RX_OUT})

3.1.20

résonance

condition d'un corps ou d'un système, qui est soumis à une perturbation périodique de même fréquence que la fréquence naturelle du corps ou du système

Note 1 à l'article: A cette fréquence, le système montre une augmentation des oscillations ou des vibrations.

3.1.21

résonateur

générateur de champ magnétique qui satisfait à la condition de résonance pour transférer de manière efficace l'énergie électrique d'une PTU à une PRU

Note 1 à l'article: Une bobine et un câble conducteur électrique sont des exemples de résonateurs.

3.1.22

transfert d'énergie sans fil

processus et méthodes qui interviennent dans un système, où l'énergie électrique est transmise d'une source d'alimentation à une charge électrique sans fils d'interconnexion

3.2 Symboles et termes abrégés

3.2.1 Symboles

Pour les besoins du présent document, les symboles suivants s'appliquent pour les paramètres variables.

3.2.1.1

η_{RECT}

rendement du redresseur ($P_{\text{RECT}} / P_{\text{RX_OUT}}$)

3.2.1.2

I_{RECT}

courant continu à la sortie du redresseur de la PRU

3.2.1.3

$I_{\text{RECT_REPORT}}$

valeur I_{RECT} signalée par une PRU à une PTU

3.2.1.4

$I_{\text{RX_IN}}$

courant efficace à la sortie du résonateur/à l'intérieur du redresseur à l'état de PRU active

3.2.1.5

I_{TX}

courant efficace à l'intérieur de la bobine du résonateur PTU

3.2.1.6

$I_{\text{TX_LONG_BEACON}}$

courant efficace à l'intérieur du résonateur PTU pendant la période de balise longue lorsque la PTU se trouve à l'état d'économie d'énergie

Note 1 à l'article: Ce courant est utilisé pour fournir de l'énergie minimale afin de réactiver un module de signalisation PRU et un microcontrôleur (MCU) et de déclencher la communication.

3.2.1.7

$I_{\text{TX_SHORT_BEACON}}$

courant efficace à l'intérieur du résonateur PTU lorsque la PTU se trouve à l'état d'économie d'énergie de PTU

Note 1 à l'article: Ce courant est utilisé pour détecter les variations d'impédance de la PTU, qui sont causées par le placement d'un objet dans la zone de charge.

3.2.1.8

I_{TX_START}

courant efficace dans le résonateur PTU qui fournit l'énergie minimale pour réactiver un module de signalisation PRU et un MCU

Note 1 à l'article: Ce courant est également utilisé pour déclencher la communication et l'enregistrement.

3.2.1.9

P_{IN}

puissance en courant continu dans la PTU

3.2.1.10

P_{TX_IN}

puissance d'entrée vers le résonateur PTU

3.2.1.11

$P_{TX_IN_MAX}$

puissance d'entrée maximale vers le résonateur PTU

3.2.1.12

P_{RECT}

puissance de sortie moyenne du redresseur de la PRU, $Avg(I_{RECT} \times I_{RECT})$

3.2.1.13

P_{RECT_BOOT}

puissance de sortie maximale moyenne du redresseur de la PRU déclarée par le fournisseur

Note 1 à l'article: La puissance du redresseur est mesurée sur un intervalle de 1 ms.

3.2.1.14

P_{RECT_IN}

puissance moyenne dans le redresseur de la PRU

3.2.1.15

$P_{RX_REPORTED}$

produit de la tension et du courant rectifiés signalés ($V_{RECT_REPORT} \times I_{RECT_REPORT}$)

3.2.1.16

P_{RX_OUT}

puissance de sortie du résonateur PRU

3.2.1.17

R_{RECT}

résistance de charge effective à la sortie du redresseur de la PRU

3.2.1.18

R_{RECT_MP}

résistance au point de puissance maximal

3.2.1.19

R_{RX_IN}

résistance parasite du résonateur PRU

3.2.1.20 V_{PAa}

tension continue à l'entrée de l'amplificateur de puissance de la PTU

3.2.1.21 V_{RECT}

tension continue à la sortie du redresseur de la PRU

3.2.1.22 V_{RECT_REPORT} valeur V_{RECT} qu'une PRU signale à une PTU**3.2.1.23** Z_{RX_IN}

impédance d'entrée du résonateur PRU et du réseau d'adaptation

Pour les besoins du présent document, les symboles suivants s'appliquent pour les paramètres variables, qui sont spécifiques à la conception de la PTU/PRU.

3.2.1.24 ADV_PWR_MIN

puissance d'annonce BLE minimale observée sur l'antenne BLE de la PTU

3.2.1.25 $I_{TX_ABS_MAX}$

courant absolu maximal de la PTU

3.2.1.26 $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$

courant minimal admissible pendant une balise longue de la PTU

3.2.1.27 $I_{TX_SHORT_BEACON_MIN}$

courant minimal admissible pendant une courte balise de la PTU

3.2.1.28 I_{TX_MAX}

courant de fonctionnement maximal de la PTU

3.2.1.29 I_{TX_MIN}

courant de fonctionnement minimal de la PTU

3.2.1.30 $I_{TX_NOMINAL}$

courant nominal du résonateur PTU qui conduit toutes les PRU à fonctionner dans la région de tension optimale

3.2.1.31 P_{RECT_MAX} puissance P_{RECT} assignée maximale de la PRU

3.2.1.32

P_{RECT_MIN}

puissance P_{RECT} assignée minimale de la PRU

3.2.1.33

$P_{RX_OUT_MAX}$

puissance de sortie maximale du résonateur PRU

3.2.1.34

R_{RX_MIN}

résistance minimale présentée aux terminaux du résonateur PRU en fonctionnement normal

3.2.1.35

R_{RECT_MP}

résistance R_{RECT} qui permet d'obtenir la puissance P_{RECT} maximale

3.2.1.36

R_{TX_IN}

partie réelle de Z_{TX_IN}

3.2.1.37

V_{RECT_BOOT}

tension d'amorçage V_{RECT}

Note 1 à l'article: Lorsque la tension est inférieure à ce niveau, la PRU ne peut pas passer à l'état d'amorçage de PRU.

3.2.1.38

V_{RECT_HIGH}

tension V_{RECT} de fonctionnement maximale

3.2.1.39

V_{RECT_MAX}

tension V_{RECT} maximale admissible de la PRU

3.2.1.40

V_{RECT_MIN}

tension V_{RECT} de fonctionnement minimale

Note 1 à l'article: Lorsque la tension est inférieure à ce niveau, les PRU peuvent ne pas fournir la pleine puissance.

3.2.1.41

V_{RECT_SET}

tension V_{RECT} préférentielle de la PRU

3.2.1.42

V_{RECT_UVLO}

tension V_{RECT} de blocage de sous-tension

Note 1 à l'article: Lorsque la tension est inférieure à ce niveau, la PRU peut ne pas activer le MCU et le module de communication.

3.2.1.43

X_{TX_IN}

partie imaginaire de Z_{TX_IN}

3.2.1.44 $|Z_{PA_SOURCE}|$

amplitude de l'impédance de sortie du réseau d'adaptation et de l'amplificateur de puissance connecté de la PTU

3.2.1.45 $|Z_{PA_SOURCE_MIN}|$

amplitude de l'impédance source minimale admissible de l'amplificateur ou de l'alimentation qui fournit du courant au résonateur PTU

3.2.1.46 $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$

variation de charge minimale dans Z_{TX_IN} , produite par une PRU placée dans la zone de charge d'une PTU

Note 1 à l'article: La variation de charge est mesurée lorsqu'un courant d'une intensité I_{TX} supérieure ou égale à $I_{TX_SHORT_BEACON_MIN}$ est appliqué.

Note 2 à l'article: Cette valeur dépend de la conception du résonateur PTU.

3.2.1.47 $Z_{TX_IN_LOAD_DETECT}$

amplitude de la variation minimale de la partie réelle et imaginaire de Z_{TX_IN} que le circuit du résonateur PTU peut détecter

3.2.1.48 Z_{TX_IN}

impédance d'entrée du résonateur PTU

3.2.2 Termes abrégés

BLE (Bluetooth Low Energy)	Bluetooth faible énergie
BSS (Baseline System Specification)	Spécification du système de référence
GAP (Generic Access Profile)	Profil d'accès générique
GATT (Generic ATtribute profile)	Profil d'attribut générique
MCU (Microcontroller Unit)	Microcontrôleur
NFC (Near Field Communication)	Communication en champ proche
LE (Low Energy)	Faible énergie
OCP (Over Current Protection)	Protection contre les surintensités
OEM (Original Equipment Manufacturer)	Fabricant d'équipements d'origine
OTP (Over Temperature Protection)	Protection contre la surchauffe
OVP (Over Voltage Protection)	Protection contre les surtensions
PA (Power Amplifier)	Amplificateur de puissance
PRU (Power Receiving Unit)	Unité de réception d'énergie
PTU (Power Transmitting Unit)	Unité de transmission d'énergie
RCE (Resonator Coupling Efficiency)	Rendement de couplage du résonateur
RFU (Reserved for Future Use)	Réservé à un usage ultérieur
UUID (Universally Unique Identifier)	Identificateur unique universel
WPT (Wireless Power Transfer)	Transfert d'énergie sans fil

4 Description du système

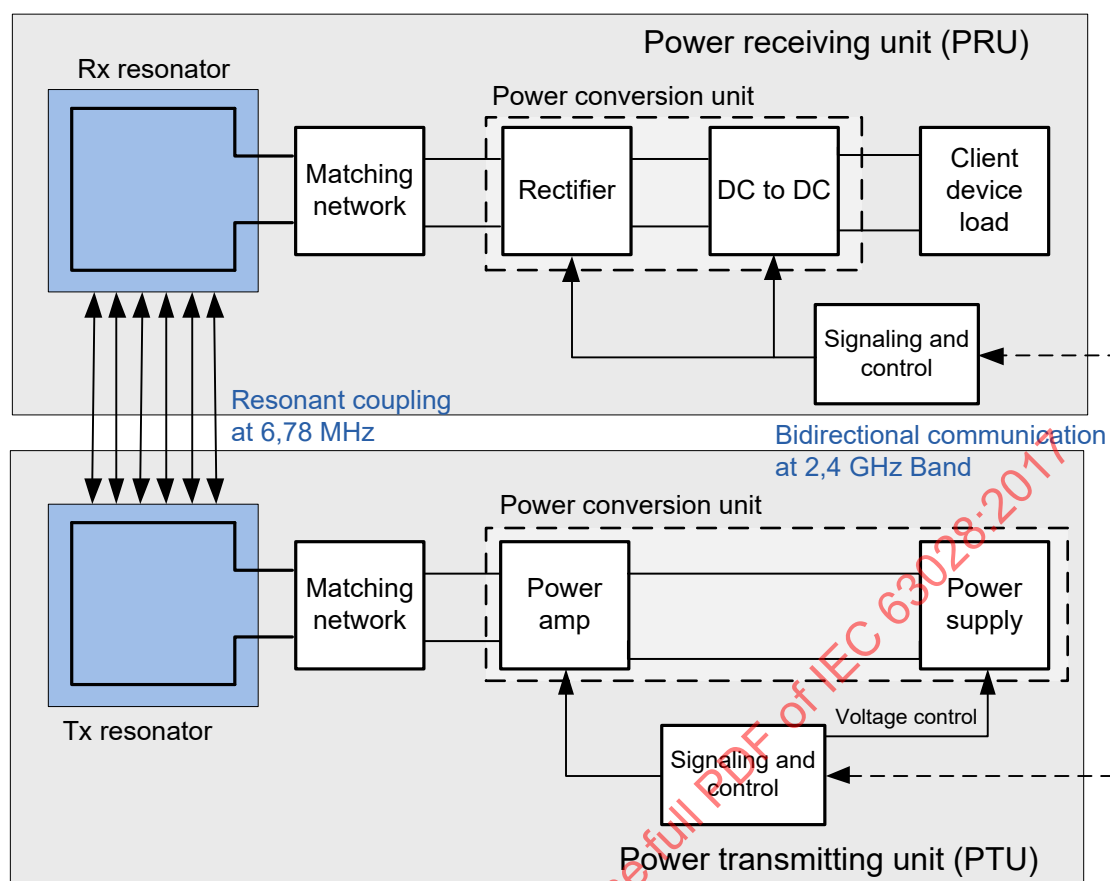
Le système WPT d'AirFuel Alliance transfère la puissance d'une seule unité de transmission d'énergie (PTU) vers une ou plusieurs unités de réception d'énergie (PRU). La fréquence de transfert d'énergie est de 6,78 MHz, et jusqu'à 8 dispositifs peuvent être alimentés à partir d'une seule PTU en fonction de la géométrie des unités de transmission et de réception, ainsi que des niveaux d'alimentation. La liaison BLE (Bluetooth Low Energy) du système résonant AirFuel est destinée au contrôle des niveaux de puissance, à l'identification des charges valides et à la protection des dispositifs non conformes.

La Figure 1 représente la configuration de base du système WPT entre une PTU et une PRU. La PTU peut être étendue pour fournir plusieurs PRU indépendantes. La PTU comporte trois unités fonctionnelles principales: un résonateur et l'unité d'adaptation associée, une unité de conversion de puissance et une unité de signalisation et de contrôle. La PRU comporte également trois unités fonctionnelles principales comme la PTU.

Le protocole de contrôle et de communication du réseau WPT est conçu comme une architecture bidirectionnelle semi-duplex; il est utilisé pour signaler les caractéristiques de la PRU à la PTU et fournir des informations de rétroaction à différentes fins (optimisation du rendement, protection contre les surtensions, élimination des sous-tensions et détection d'objets suspects).

Le réseau WPT est une topologie en étoile, où la PTU et les PRU sont respectivement le maître et les esclaves. La PTU et la PRU procèdent à une communication bidirectionnelle pour identifier la conformité du dispositif et échanger des informations relatives à la négociation de puissance.

Dans le présent document, l'Article 5 fournit les exigences générales et l'Article 6 décrit la classification des dispositifs. L'Article 7 fournit les exigences de transfert d'énergie (y compris une fréquence de fonctionnement fixe de 6,78 MHz, les exigences du résonateur et les paramètres de charge) et l'Article 8 indique les exigences de contrôle de puissance de la PTU et de la PRU. L'Article 9 fournit les exigences relatives à la signalisation, l'Article 10 identifie les conceptions de résonateurs de PTU approuvées et l'Annexe A (informative) répertorie les PRU de référence pour les essais d'acceptation des PTU. L'Annexe B est une annexe informative qui traite de la puissance perdue de la PTU. L'Annexe C est une annexe normative qui traite des exigences relatives à l'expérience utilisateur. L'Annexe D est une annexe informative qui traite des mesures du rendement de couplage du résonateur (RCE).



IEC

Anglais	Français
Rx Resonator	Résonateur de réception
Power Receiving Unit (PRU)	Unité de réception d'énergie (PRU)
Matching network	Réseau d'adaptation
Power conversion unit	Unité de conversion de puissance
Rectifier	Redresseur
DC to DC	Convertisseur continu/continu
Client Device Load	Charge du dispositif client
Signaling and control	Signalisation et contrôle
Resonant Coupling @ 6.78 MHz	Couplage résonant à 6,78 MHz
Bidirectional Communication @ 2.4 GHz Band	Communication bidirectionnelle dans la bande 2,4 GHz
Tx Resonator	Résonateur de transmission
Power amp	Amplificateur de puissance
Power supply	Alimentation
Voltage Control	Régulation de tension
Power Transmitting Unit (PTU)	Unité de transmission d'énergie (PTU)

Figure 1 – Système de transfert d'énergie sans fil

5 Conformité et rétrocompatibilité

Les dispositifs PRU et PTU doivent satisfaire à la Spécification du système de référence (BSS) du système de transfert d'énergie sans fil AirFuel v1.3, à la Spécification du système de référence (BSS) du système de transfert d'énergie sans fil AirFuel v1.2.1 et à la Spécification de base Bluetooth v4.0 avec CSA4.

Les dispositifs conformes au présent document doivent être rétrocompatibles avec les dispositifs qui sont conformes à la Spécification du système de référence (BSS) du système de transfert d'énergie sans fil AirFuel v1.3 et à la Spécification du système de référence (BSS) du système de transfert d'énergie sans fil AirFuel v1.2.1 publiée par AirFuel Alliance. Pour être rétrocompatibles, les dispositifs doivent respecter le comportement suivant.

A la fin de l'enregistrement du dispositif, si le dispositif détermine en fonction des informations échangées qu'il est connecté à un système résonant AirFuel d'une version antérieure ou à un système résonant AirFuel dont les fonctionnalités facultatives ne sont pas prises en charge, le dispositif ne doit effectuer aucune procédure associée aux fonctionnalités non prises en charge du système résonant AirFuel connecté. De plus, si un dispositif reçoit des informations inconnues ou non prises en charge du système résonant AirFuel connecté, ces informations doivent être ignorées, sous quelque forme ou manière que ce soit.

Pour les systèmes résonants AirFuel, les exigences suivantes s'appliquent.

- a) La PRU doit être interopérable avec toutes les PTU de version BSS antérieure et doit prendre en charge l'ensemble des fonctionnalités obligatoires de la version à laquelle satisfait la PTU d'une version antérieure. La PRU peut prendre en charge les fonctionnalités facultatives que la PTU prend en charge dans la version antérieure à laquelle satisfait la PTU. La PRU ne doit ni demander ni déclencher de fonctionnalité (obligatoire ou facultative) qui n'est pas prise en charge par la PTU d'une version antérieure.
- b) La PTU doit être interopérable avec toutes les PRU de version BSS antérieure et doit prendre en charge l'ensemble des fonctionnalités obligatoires de la version à laquelle satisfait la PRU d'une version antérieure. La PTU peut prendre en charge les fonctionnalités facultatives que la PRU prend en charge dans la version antérieure à laquelle satisfait la PRU. La PTU ne doit ni demander ni déclencher de fonctionnalité (obligatoire ou facultative) qui n'est pas prise en charge par la PRU d'une version antérieure.

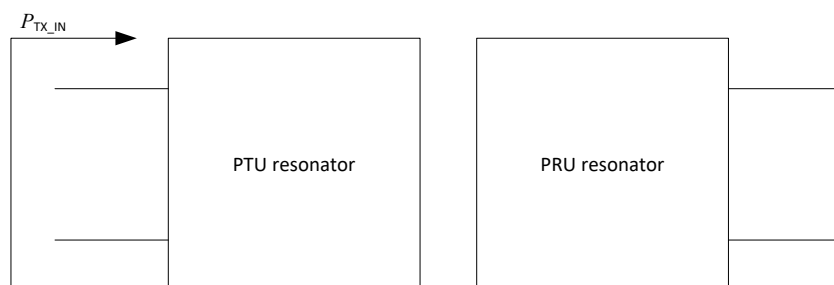
6 Types de dispositifs

6.1 Classification des PTU

Les classes de PTU pour le système résonant AirFuel sont définies comme suit.

- a) Une classe de PTU est déterminée par la PRU de la catégorie la plus élevée prise en charge par cette PTU (voir Tableau 1). Par exemple, une PTU qui prend en charge les PRU de catégorie 4 et moins est considérée comme une PTU de classe 3. La capacité de puissance de sortie maximale d'une PTU de classe n doit être supérieure ou égale à la valeur de $P_{TX_IN_MAX}$ de sa classe (voir Tableau 1). La puissance de sortie d'une PTU est indiquée par P_{TX} sur la Figure 2, où P_{TX} est la puissance réelle, $\text{Avg } V(t) \times I(t)$. Pour les exigences de transfert d'énergie, voir Article 7.
- b) Les exigences minimales de prise en charge de la PRU sont spécifiées dans le Tableau 1. L'exigence minimale de prise en charge spécifie le nombre de PRU de la catégorie la plus élevée que la PTU doit prendre en charge au minimum. La PTU doit prendre en charge l'allocation de puissance pour les PRU de toutes les catégories inférieures à la catégorie la plus élevée prise en charge spécifiée dans le Tableau 1, au moins jusqu'au nombre maximal de dispositifs indiqués dans le tableau, selon la limitation de la puissance disponible. Les fournisseurs de PTU peuvent spécifier une zone de charge différente pour les PRU de catégorie 1 par rapport aux autres catégories de PRU.

NOTE L'exigence minimale de prise en charge de catégories spécifiée dans le Tableau 1 ne limite pas la prise en charge par les PTU de PRU de catégorie supérieure, si la PTU est capable de prendre en charge des dispositifs de catégorie supérieure.



IEC	
Anglais	Français
PTU Resonator	Résonateur PTU
PRU Resonator	Résonateur PRU

Figure 2 – Représentation de la P_{TX_IN} d'un résonateur PTU-PRU

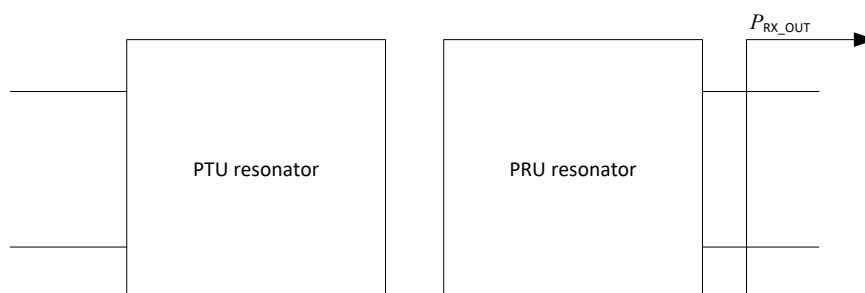
Tableau 1 – Classification des PTU

	$P_{TX_IN_MAX}$ W	Exigences minimales de prise en charge de catégories	Valeur minimale du nombre maximal de dispositifs pris en charge
Classe 1	2	1 x catégorie 1	1 x catégorie 1
Classe 2	10	1 x catégorie 3	2 x catégorie 2
Classe 3	16	1 x catégorie 4	3 x catégorie 2
Classe 4	33	1 x catégorie 5	3 x catégorie 3
Classe 5	50	1 x catégorie 6	4 x catégorie 3
Classe 6	70	1 x catégorie 7	5 x catégorie 3

Le nombre minimal de dispositifs de catégorie maximale est fourni à titre de ligne directrice pour le calcul de $P_{TX_IN_MAX}$ et n'a pas pour objet de restreindre la taille de la classe correspondante.

6.2 Catégories de PRU

La puissance de sortie du résonateur PRU (voir Figure 3) indiquée par P_{RX_OUT} est la puissance réelle, $\text{Avg } I(t) \times I(t)$. Le Tableau 2 indique les puissances de sortie du résonateur PRU ($P_{RX_OUT_MAX}$) par catégorie de PRU. Pour les exigences de transfert d'énergie, voir Article 7.



IEC	
Anglais	Français
PTU Resonator	Résonateur PTU
PRU Resonator	Résonateur PRU

Figure 3 – Représentation de la P_{RX_OUT} d'un résonateur PTU-PRU

La PRU ne doit pas prélever plus d'énergie que la quantité spécifiée pour sa catégorie. Voir Tableau 2.

Tableau 2 – Catégories de PRU

PRU	$P_{RX_OUT_MAX}$ W	Exemples d'applications
Catégorie 1	Pour étude ultérieure	Casque BT
Catégorie 2	3,5	Téléphone mobile évolué
Catégorie 3	6,5	Smartphone
Catégorie 4	13	Tablette, phablette
Catégorie 5	25	Ordinateur portable de petites dimensions
Catégorie 6	37,5	Ordinateur portable de dimensions classiques
Catégorie 7	50	

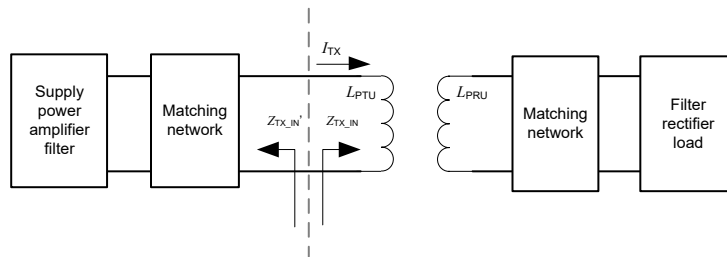
NOTE 1 Pour P_{RX_OUT} , la puissance de la PRU est la puissance de sortie du résonateur PRU.

NOTE 2 Une puissance de 6,5 W permet d'obtenir une sortie de 5 W sur l'accès de charge si la mise en œuvre présente un rendement supérieur à 80 %.

7 Spécifications relatives au transfert d'énergie

7.1 Circuit équivalent et paramètres de référence du système

Le circuit équivalent du résonateur PTU doit être un circuit oscillant série ou un circuit oscillant série parallèle. Le circuit équivalent du résonateur PRU doit être un circuit oscillant série, un circuit oscillant parallèle ou un circuit oscillant série parallèle. La Figure 4 représente le point d'interface auquel les paramètres de référence sont mesurés.



IEC

Anglais	Français
Supply power amplifier filter	Filtre de l'amplificateur de puissance d'alimentation
Matching network	Réseau d'adaptation
Filter rectifier load	Charge du redresseur de filtre

Figure 4 – Circuit équivalent et paramètres du système

7.2 Exigences générales relatives au système

7.2.1 Fréquence de fonctionnement

Le système résonateur doit fonctionner à $6,78 \text{ MHz} \pm 15 \text{ kHz}$.

7.2.2 Relation entre Z_{TX_IN} et R_{RECT}

La partie réelle de Z_{TX_IN} doit être inversement proportionnelle à la résistance de charge du redresseur. Une augmentation de R_{RECT} doit produire une diminution de Z_{TX_IN} . Une diminution de R_{RECT} doit produire une augmentation de Z_{TX_IN} .

7.2.3 Stabilité de la puissance

Dans toutes les conditions de fonctionnement (régime transitoire ou établi) qui impliquent deux PRU ou plus, il convient que la variation de la puissance de sortie redressée d'une première PRU ne représente pas plus de 10 % dans les deux conditions suivantes:

- Une seconde PRU est physiquement ajoutée ou retirée de la zone de charge dans un endroit qui n'est pas en superposition avec la première PRU.
- Une seconde PRU qui se trouve déjà dans la zone de charge fournit une réponse à l'échelon de 0 % à 100 % de charge en moins de 1 ms.

7.2.4 Protection contre la colocation des PTU

Une PTU doit se protéger lorsqu'elle partage son emplacement (colocation) avec un résonateur PTU tel que décrit à l'Article 10, qui conduit une intensité maximale de $I_{TX_ABS_MAX}$. Cela inclut toutes les zones situées à l'extérieur du volume d'exclusion, en plus de la zone de charge.

7.2.5 Autoprotection de la PRU (informative)

Les PRU peuvent être soumises à d'importantes intensités de champ en conséquence de $I_{TX_ABS_MAX}$ (quelle que soit la classe de la PTU) et il est prévu qu'elles se protègent elles-mêmes en conséquence, y compris dans le cas d'une perte de liaison et d'incapacité à se reconnecter à la PTU. Cela inclut toutes les zones situées à l'extérieur du volume d'exclusion, en plus de la zone de charge.

7.3 Exigences relatives au résonateur

7.3.1 Rendement de couplage du résonateur (RCE)

7.3.1.1 Généralités

Le rendement de couplage du résonateur (RCE) est défini comme la valeur maximale du rapport de la puissance fournie par la bobine de la PRU à une charge, divisée par la puissance fournie à la bobine de la PTU, à 6,78 MHz. Le RCE est aussi égal à la valeur maximale de $|S_{21}|^2$ entre une PTU et une PRU, qui se produit dans des conditions parfaitement adaptées d'impédance des accès. Autrement dit, S_{11} et S_{22} sont égaux à zéro lorsque les impédances de l'accès de référence correspondent à celles spécifiées en 7.3.1.2 et en 7.3.1.3. Pour les calculs du RCE, voir Annexe D (informative).

La valeur calculée du RCE doit être supérieure ou égale aux valeurs minimales indiquées dans le Tableau 3 lorsque la PRU se trouve dans la zone de charge spécifiée à l'Article 10.

NOTE 1 Les mesurages réels de S_{11} , S_{22} , S_{21} et S_{12} peuvent être réalisés dans des conditions d'impédance nominale de 50 Ω pour l'accès de référence. Les résultats sont alors convertis pour satisfaire à cette définition du RCE et déterminer la source et la charge d'adaptation, définies respectivement en 7.3.1.2 et en 7.3.1.3. L'Annexe D fournit une procédure étape par étape pour déterminer le RCE maximal et les impédances d'adaptation.

NOTE 2 En cas de nouvelle PRU, celle-ci est évaluée sur l'ensemble des PTU approuvées afin de vérifier que la PRU est conforme à la spécification.

Tableau 3 – RCE minimal (pourcentage et dB) entre la PRU et la PTU

	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4	Catégorie 5	Catégorie 6	Catégorie 7
Classe 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Classe 2	N/A	74 (-1,3)	74 (-1,3)	N/A	N/A	N/A	N/A
Classe 3	N/A	74 (-1,3)	74 (-1,3)	76 (-1,2)	N/A	N/A	N/A
Classe 4	N/A	50 (-3)	65 (-1,9)	73 (-1,4)	76 (-1,2)	N/A	N/A
Classe 5	N/A	40 (-4)	60 (-2,2)	63 (-2)	73 (-1,4)	76 (-1,2)	N/A
Classe 6	N/A	30 (-5,2)	50 (-3)	54 (-2,7)	63 (-2)	73 (-1,4)	76 (-1,2)
NOTE Le RCE est exprimé en "% (db)".							

NOTE 3 Lorsque plusieurs PRU sont utilisées, le rendement de couplage augmente.

7.3.1.2 Impédance de l'accès de référence du résonateur PTU

L'impédance de l'accès de référence du résonateur PTU utilisée pour le mesurage de S_{21} est définie en tant que Z_{TX_IN} ; sa valeur dépend de la conception des résonateurs PTU et PRU.

7.3.1.3 Impédance de l'accès de référence du résonateur PRU

L'impédance de l'accès de référence du résonateur PRU utilisée pour le mesurage de S_{21} est définie en tant que Z_{RX_IN} ; sa valeur dépend de la conception des résonateurs PTU et PRU.

7.3.2 Exigences relatives au résonateur PTU

7.3.2.1 Conceptions de résonateurs PTU approuvées

Une PTU soumise à un essai de conformité pour vérifier qu'elle est conforme à la spécification doit utiliser un résonateur PTU accepté parmi la liste des résonateurs PTU acceptés pour le système résonant AirFuel avant la fin des essais de conformité.

7.3.2.2 Intensité du résonateur

7.3.2.2.1 Valeurs de seuil

Les exigences suivantes s'appliquent pour les valeurs de seuil de courant du résonateur PTU.

- L'intensité du courant de la bobine du résonateur PTU ne doit pas être supérieure à I_{TX_MAX} pendant la période de balise longue active ou la période de balise courte active.
- La PTU doit conduire un courant d'une intensité supérieure à $I_{TX_SHORT_BEACON_MIN}$ dans la bobine du résonateur PTU pendant la période de balise courte active.
- La PTU doit conduire un courant d'une intensité supérieure à $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$ dans la bobine du résonateur PTU pendant la période de balise longue active.
- La PTU doit conduire un courant d'intensité supérieure ou égale à I_{TX_MIN} dans la bobine du résonateur PTU pendant l'état de transfert d'énergie de PTU, sauf si une PRU signale que la V_{RECT} est supérieure à V_{RECT_HIGH} .
- La PTU doit être capable de conduire un courant d'intensité $I_{TX_NOMINAL}$ dans la bobine du résonateur PTU pendant l'état de transfert d'énergie de PTU. La tolérance de $I_{TX_NOMINAL}$ ne doit pas être supérieure à 5 % à l'exclusion de l'erreur de mesure. $I_{TX_NOMINAL}$ doit être réduite aux valeurs élevées de R_{TX_IN} en fonction de la valeur de $P_{TX_IN_MAX}$ qui est définie selon la classe de la PTU²⁾. L'équation pour le calcul du courant réduit est:

$$I_{TX_NOMINAL_DERATED} = \text{MIN} (I_{TX_NOMINAL}, \text{SQRT} (P_{TX_IN_MAX}/R_{IN_TX}))$$

- La PTU doit être capable de conduire un courant d'intensité I_{TX_MAX} dans la bobine du résonateur PTU. I_{TX_MAX} doit être réduite aux valeurs élevées de R_{TX_IN} en fonction de la valeur de $P_{TX_IN_MAX}$ qui est définie selon la classe de la PTU. L'équation pour le calcul du courant réduit est:

$$I_{TX_MAX_DERATED} = \text{MIN} (I_{TX_MAX}, \text{SQRT} (P_{TX_IN_MAX}/R_{IN_TX}))$$

- La bobine du résonateur PTU ne doit pas conduire un courant d'intensité supérieure à $I_{TX_ABS_MAX}$ en condition de fonctionnement en régime transitoire ou établi.

Une PTU peut fonctionner entre I_{TX_MIN} et $I_{TX_ABS_MAX}$. Une PTU doit fonctionner entre $I_{TX_NOMINAL}$ et I_{TX_MAX} .

7.3.2.2.2 Transitions

La bobine du résonateur PTU ne doit pas dépasser la vitesse de balayage maximale correspondant à la conception du résonateur PTU.

7.3.2.3 Caractéristiques d'alimentation du résonateur

Le résonateur PTU doit être alimenté par une alimentation dont l'impédance source est supérieure à $|Z_{PA_SOURCE_MIN}|$ du résonateur PTU accepté utilisé dans la PTU (selon le modèle de conception de classe *n* des résonateurs PTU acceptés pour le système résonant AirFuel). La valeur $|Z_{PA_SOURCE_MIN}|$ d'un résonateur doit être choisie de telle sorte que les PRU ne subissent pas une augmentation de R_{RECT_MP} lorsqu'elles fonctionnent sur le résonateur PTU.

NOTE 1 $|Z_{PA_SOURCE_MIN}|$ est spécifiée du fait de son incidence sur l'impédance source des PRU.

2) Dans la mise en œuvre, la fourniture du courant $I_{TX_NOMINAL}$ à l'ensemble des charges n'a pas pour but de produire un échauffement de la zone de charge.

NOTE 2 $|Z_{PA_SOURCE_MIN}|$ est spécifiée pour se rapprocher du comportement d'une source de courant à l'interface du résonateur PTU.

NOTE 3 L'essai est réalisé avec l'ensemble des dispositifs d'essai d'interface du résonateur (RIT, *Resonator Interface Test*) qui s'appliquent à la classe de la PTU.

7.3.2.4 Zone de charge et d'essai

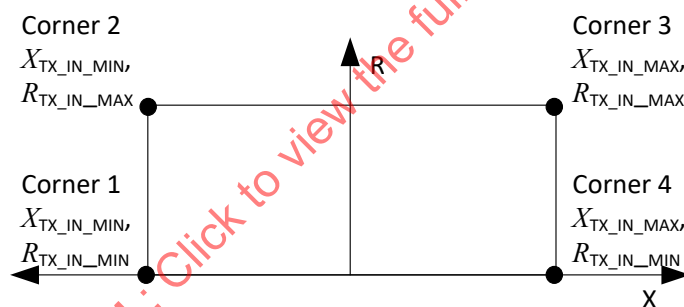
Il convient que les fournisseurs de la PTU et de la PRU identifient respectivement les limites de la zone de charge de la PTU et de la zone du résonateur PRU. L'indication de la zone de charge par le fournisseur doit être inférieure ou égale à la zone de charge d'essai (zone de charge utilisée lors des essais). Le volume d'exclusion doit être un volume délimité, et le concepteur du résonateur PTU doit fournir une conception du boîtier mécanique de la PTU afin d'indiquer de quelle manière il convient que le boîtier mécanique empêche le placement de la PRU à l'intérieur de ce volume d'exclusion.

7.3.2.5 Plage d'impédances de l'alimentation du résonateur

La PTU doit être capable de conduire à travers la bobine du résonateur PTU des niveaux de courant, qui respectent les valeurs de seuil de courant du résonateur dans sa plage spécifiée de Z_{TX_IN} (voir Figure 5).

$$R_{TX_IN_MIN} \leq \text{Re}\{Z_{TX_IN}\} \leq R_{TX_IN_MAX}$$

$$X_{TX_IN_MIN} \leq \text{Im}\{Z_{TX_IN}\} \leq X_{TX_IN_MAX}$$



Anglais	Français
Corner	Coin

Figure 5 – Considérations relatives à la charge du résonateur PTU

Pour un résonateur de PTU spécifique, l'impédance induite admissible pour chaque catégorie de PRU doit être choisie de façon appropriée en tenant compte du nombre de PRU prises en charge dans cette catégorie.

7.3.2.6 Géométrie du résonateur

La géométrie du résonateur PTU doit satisfaire aux exigences de l'Article 10.

NOTE Les exigences ci-dessus relatives aux résonateurs de PTU dépendent de la conception du résonateur, et le nombre des paramètres ci-dessus sont spécifiés à l'Article 10.

7.3.2.7 Sensibilité d'impédance du résonateur

Le circuit de commande du résonateur PTU doit être capable de détecter une variation de charge de $Z_{TX_IN_LOAD_DETECT}$ dans la valeur de Z_{TX_IN} .

La valeur de $Z_{TX_IN_LOAD_DETECT}$ doit être au moins 30 % inférieure aux composantes réelles (R) et imaginaires (X) de la $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$ spécifiée pour le résonateur PTU utilisé lors de l'essai du résonateur PTU et de l'essai d'acceptation de l'interface du résonateur.

7.3.3 Exigences relatives au résonateur PRU

7.3.3.1 Points de fonctionnement de la PRU

7.3.3.1.1 Généralités

V_{RECT} peut être déduite en fonction de la matrice Z entre les bobines de la PTU et de la PRU (voir Annexe D), de I_{TX} , des caractéristiques du redresseur et de la charge. La relation entre tous les paramètres dépend de la mise en œuvre de la PRU. Il revient au fabricant d'équipements d'origine (OEM) de produire une conception conforme.

NOTE Les exigences du 7.3.3.1 s'appliquent à l'ensemble des conditions de charge valides (c'est-à-dire P_{RECT_MIN} à P_{RECT_MAX}) dans la zone de charge (incluant le couplage minimal et maximal), sauf indication contraire.

7.3.3.1.2 Seuil de sous-état de basse tension de la PRU

La V_{RECT} d'une PRU doit être supérieure à sa V_{RECT_BOOT} en consommant P_{RECT_BOOT} , lorsque I_{TX} est supérieure à $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$ ou à I_{TX_MIN} (en retenant le seuil le plus faible des deux) sur les résonateurs de PTU actuellement approuvés (voir Article 10).

Cette exigence concerne les conditions de démarrage et aucune charge de PRU n'est exigée (voir 8.3.4.1).

7.3.3.1.3 Seuil de sous-état de tension optimale de la PRU

Avec un résonateur PTU qui permet la charge d'un seul dispositif de la catégorie de la PRU, les exigences suivantes s'appliquent:

- La V_{RECT} de la PRU doit être supérieure à sa V_{RECT_MIN} si I_{TX} est supérieure ou égale à I_{TX_MAX} .
- La V_{RECT} de la PRU ne doit pas être supérieure à sa V_{RECT_HIGH} si I_{TX} est inférieure ou égale à $I_{TX_NOMINAL}$.

Pour un résonateur PTU qui permet la charge de plusieurs dispositifs de la catégorie de la PRU, une PRU doit être dans le sous-état de tension optimale de la PRU lorsque I_{TX} est égale à $I_{TX_NOMINAL}$ sur les résonateurs PTU actuellement approuvés (voir 10.3).

7.3.3.1.4 Limite de consigne de la PRU

Une PRU ne doit pas exiger que I_{TX} soit supérieure à I_{TX_MAX} pour atteindre V_{RECT_SET} sur les résonateurs de PTU actuellement approuvés (voir 10.3).

7.3.3.1.5 Seuil de surtension de la PRU

Une PRU en fonctionnement normal ne doit pas passer à l'état d'erreur système PRU si I_{TX} est inférieure ou égale à I_{TX_MAX} sur les résonateurs de PTU actuellement approuvés (voir 10.3).

7.3.3.1.6 Protection contre les surtensions de la PRU

Une PRU ne doit pas subir de dommages si I_{TX} est inférieure ou égale à $I_{TX_ABS_MAX}$ sur les résonateurs de PTU actuellement approuvés (voir 10.3) pendant une durée donnée. Cela inclut toutes les zones situées à l'extérieur du volume d'exclusion, en plus de la zone de charge.

7.3.3.1.7 Marge entre V_{RECT_HIGH} et V_{RECT_MAX}

La valeur de V_{RECT_MAX} doit être supérieure à $1,1 \times V_{RECT_HIGH}$.

7.3.3.2 Variation de réactance induite par la PRU

Une PRU doit présenter une valeur de X_{TX_IN} comprise dans la plage X_{TX_IN} définie à l'Article 10.

7.3.3.3 Variation de résistance induite par la PRU

Une PRU doit présenter une valeur de R_{TX_IN} comprise dans la plage R_{TX_IN} définie à l'Article 10.

7.3.3.4 Impédance induite par la PRU pour une balise courte

Au plus tard le 1^{er} mars 2015, il convient qu'une PRU de catégorie 2 ou plus produise une variation de la réactance et/ou de la résistance d'au moins $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$ lorsqu'elle est placée dans la zone de charge de tous les résonateurs PTU actuellement approuvés.

Après le 1^{er} mars 2015, une PRU de catégorie 2 ou plus doit produire une variation de la réactance et/ou de la résistance d'au moins $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$ lorsqu'elle est placée dans la zone de charge de tous les résonateurs de PTU actuellement approuvés.

Si une PRU de catégorie 1 ne produit pas un décalage d'impédance d'au moins $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$, elle doit annoncer qu'elle ne produit pas de décalage d'impédance dans la charge utile d'annonce de la PRU (voir 9.5.2).

7.4 Paramètres de charge

7.4.1 Introduction aux paramètres de charge

Les PRU qui présentent des charges non intégrées (par exemple, chargeurs de téléphone de sac à dos qui se branchent à un téléphone mobile) doivent satisfaire aux exigences de 7.4.2 à 7.4.4 pour tous les dispositifs auxquels elles peuvent être connectées. Il peut être nécessaire que la PRU comporte des mécanismes qui permettent de s'assurer qu'elle est conforme lorsqu'elle est connectée aux dispositifs à charger prévus.

7.4.2 Résistance de charge minimale

La valeur minimale de R_{RECT} doit être supérieure à la résistance du point de puissance maximal (R_{RECT_MP}). La résistance du point de puissance maximal, R_{RECT_MP} , est définie comme la résistance de la charge mesurée en aval du redresseur qui délivre la puissance maximale.

NOTE R_{RECT_MP} est une fonction de $|Z_{PA_SOURCE}|$, de la conception du résonateur PTU et de la conception du résonateur PRU.

7.4.3 Charge dynamique maximale admissible

La charge, mesurée à la sortie du redresseur, ne doit pas varier de plus de 650 mW/μs ou $X/\mu s$, selon la valeur la plus élevée. X doit être calculé comme 2 % fois la puissance de sortie maximale du résonateur PRU en mW.

7.4.4 Capacité de charge maximale

La capacité de charge effective connectée en aval du redresseur ne doit pas être supérieure à la capacité effective maximale indiquée dans le Tableau 4.

Tableau 4 – Capacité de charge maximale

Catégorie	Capacité effective maximale μF
Catégorie 1	Pour étude ultérieure
Catégorie 2	100
Catégorie 3	100
Catégorie 4	100
Catégorie 5	100
Catégorie 6	130
Catégorie 7	130

8 Spécifications du contrôle de puissance

8.1 Objectifs du contrôle

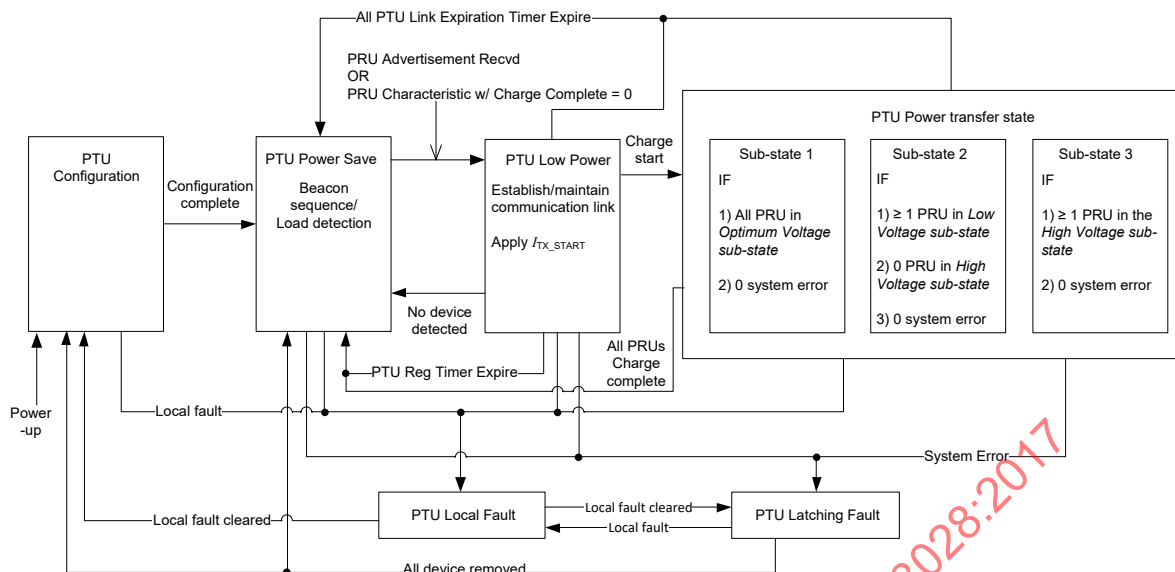
L'objet des spécifications du contrôle est de:

- a) protéger la V_{RECT} de la PRU contre les surtensions (c'est-à-dire $V_{RECT} > V_{RECT_MAX}$);
- a) réduire la V_{RECT} de la PRU de sorte que la $V_{RECT} \leq V_{RECT_HIGH}$ dans les 5 s suivant le signalement par la PRU que son V_{RECT} est $>$ à la V_{RECT_HIGH} ;
- b) s'assurer que toutes les PRU reçoivent une tension V_{RECT} supérieure à V_{RECT_MIN} et inférieure à V_{RECT_HIGH} , si les objectifs a) et b) sont respectés; et
- c) contrôler I_{TX} si les objectifs a), b) et c) sont respectés pour:
 - 1) optimiser la valeur V_{RECT} de la PRU avec le pourcentage d'utilisation le plus élevé de la puissance P_{RECT} ; ou
 - 2) maximiser le rendement total du système.

8.2 Spécifications relatives à la PTU

8.2.1 Etat de la PTU

La PTU doit avoir les états suivants: configuration de PTU, économie d'énergie de PTU, puissance faible de PTU, transfert d'énergie de PTU, panne locale de PTU et panne permanente de PTU. Voir Figure 6.



IEC

Anglais	Français
All PTU Link Expiration Timer Expire	Expiration des temporisateurs d'expiration de liaison de toutes les PTU
PRU Advertisement Recvd OR PRU Characteristic w/ Charge Complete = 0	Annonce PRU reçue OU Caractéristique PRU avec Charge complète = 0
PTU Configuration	Configuration PTU
Configuration Complete	Configuration complète
PTU Power Save Beacon sequence/Load detection	Economie d'énergie de PTU Séquence de balise/Détection de charge
PTU Low Power Establish/maintain communication link Apply I_{TX_START}	Puissance faible de PTU Etablissement/maintien de la liaison de communication Appliquer I_{TX_START}
Charge Start	Démarrage de la charge
PTU Power Transfer State	Etat de transfert d'énergie de PTU
Sub-state 1	Sous-état 1
All PRU in Optimal voltage sub-state	Toutes les PRU en sous-état de tension optimale
0 System error	0 erreur système
Sub-state 2	Sous-état 2
≥ 1 PRU in Low voltage sub-state	≥ 1 PRU en sous-état de basse tension
0 PRU in High Voltage Sub-state	0 PRU en sous-état de haute tension
Sub-state 3	Sous-état 3
≥ 1 PRU in the High voltage sub-state	≥ 1 PRU en sous-état de haute tension
No device detected	Aucun dispositif détecté
PTU Reg Timer Expire	Expiration des temporisateurs d'enregistrement des PTU
All PRUs Charge Complete	Toutes les PRU en charge complète
Power-up	Mise sous tension
Local fault	Panne locale
System Error	Erreur système
Local fault cleared	Panne locale résolue
PTU Local Fault	Panne locale de PTU
PTU Latching Fault	Panne permanente de PTU
All device removed	Tous les dispositifs retirés

Figure 6 – Modèle d'états pour la PTU

8.2.2 Exigences générales relatives aux états

8.2.2.1 Introduction générale aux états

Le 8.2.2 définit les exigences qui ne sont pas spécifiques à l'état d'une PTU.

8.2.2.2 Enregistrement d'un nouveau dispositif

La PTU doit permettre l'enregistrement des nouveaux dispositifs après réception d'annonces de PRU valides (voir 9.6.3) dans les états d'économie d'énergie de PTU, de puissance faible de PTU et de transfert d'énergie de PTU.

8.2.2.3 Temporisateur de supervision de liaison de la PTU

La PTU doit gérer un temporisateur de supervision de liaison distinct pour la connexion à chaque PRU. Le temporisateur de supervision de liaison doit être démarré à 0 s lors de l'établissement d'une connexion. Le temporisateur de supervision de liaison doit se réinitialiser immédiatement après toute réception d'un message BLE envoyé par la PRU. Le temporisateur de supervision de liaison doit expirer dans un délai de 1 s.

Si le temporisateur de supervision de liaison d'une PTU expire avec moins de 2 W de variation de P_{TX_IN} avant l'expiration du temporisateur, la PTU doit tenter la procédure de reconnexion de la liaison perdue. Voir 9.4.5.3.3. Si la procédure de reconnexion échoue dans les 1,1 s suivant l'expiration de la liaison de la PTU, la PRU doit être retirée du registre des dispositifs. La PTU peut prendre pour hypothèse qu'un dysfonctionnement de la PRU s'est produit et passe à l'état de panne permanente de PTU.

Si le temporisateur de supervision de liaison d'une PTU expire avec une valeur supérieure ou égale à 2 W de variation de P_{TX_IN} avant l'expiration du temporisateur, la PTU doit retirer la PRU du registre des dispositifs. Si, par la suite, le registre des dispositifs est vide, la PTU doit passer à l'état d'économie d'énergie de PTU.

8.2.2.4 Latence de la messagerie

La latence introduite par le taux d'erreur de paquet n'est pas réputée faire partie du présent document.

8.2.2.5 Temps de réponse de la PTU pour la détection de PRU

La PTU doit être capable de détecter une PRU placée dans la zone de charge et passer à l'état de transfert d'énergie de PTU ou informer la PRU du refus de puissance dans le délai indiqué dans le Tableau 5.

NOTE 1 La PTU informe la PRU du refus de puissance en écrivant dans le champ Permission de la caractéristique Contrôle de PRU (voir Tableau 20).

Tableau 5 – Exigence de délai pour passer à l'état de transfert d'énergie de PTU

Condition	Délai maximal pour déclencher la charge de la PRU s
PRU de catégorie 1	3,5
Jusqu'au 1 ^{er} mars 2015: La PRU crée moins de $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$	7
La PRU crée $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$ ou plus et aucune demande d'extension de balise longue par la PRU	1
La PTU étend la balise longue	3,5

Voir 7.3.3.4 pour l'impédance induite par la PRU pour une balise courte, $Z_{TX_IN_LOAD_CHANGE}$.

NOTE 2 Pour les PRU de catégorie 2 à 5, le délai maximal pour déclencher la charge d'une PRU dépend du fonctionnement en balise courte (voir 8.2.3.3) et de la capacité de la PTU-PRU à établir une connexion BLE et à réaliser l'enregistrement du système WPT (voir 8.2.4.2).

8.2.2.6 Temporisateur d'enregistrement de la PTU

La PTU doit démarrer un temporisateur d'enregistrement lorsqu'une annonce valide (voir 9.6.3) est reçue. Le temporisateur doit être arrêté lorsque la PTU écrit la caractéristique de contrôle dans la PRU. Le temporisateur d'enregistrement doit expirer dans un délai de 500 ms. Si le temporisateur d'enregistrement expire, la PTU peut fournir à l'utilisateur l'indication qu'une tentative de connexion de la PRU a échoué.

Si le temporisateur d'enregistrement de la PTU expire, la PTU doit mettre fin à la connexion avec la PRU qui n'a pas pu s'enregistrer, si la connexion BLE était déjà établie avant l'expiration du délai d'enregistrement.

8.2.3 Etat d'économie d'énergie de PTU

8.2.3.1 Procédure de passage d'état

8.2.3.1.1 Démarrage de la séquence de balises

La PTU doit démarrer la séquence de balises dans les 50 ms suivant le passage de la PTU à l'état d'économie d'énergie de PTU.

8.2.3.1.2 Registre des dispositifs

Le registre des dispositifs de la PTU doit être effacé, à l'exception des informations de registre des PRU en mode Charge complète, Mode connecté.

8.2.3.2 Séquence de balises

A l'état d'économie d'énergie de PTU, la PTU doit:

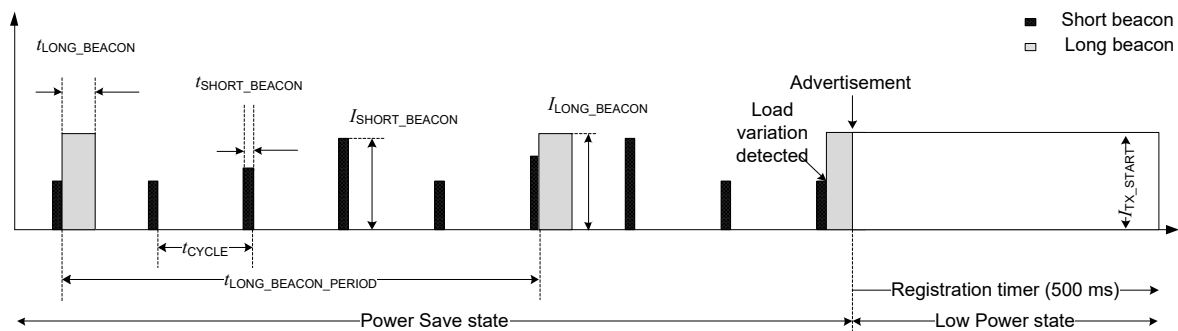
- a) appliquer périodiquement un courant au résonateur PTU pour détecter les variations d'impédance du résonateur PTU; et
- b) appliquer périodiquement un courant au résonateur PTU pour permettre la communication entre la PTU et la PRU.

La séquence de balises se compose de balises longues et courtes (voir Figure 7).

NOTE 1 La balise courte a pour objet de détecter les variations d'impédance de la PTU, qui sont causées par le placement d'un objet dans la zone de charge. L'utilisation d'une balise courte réduit la puissance de veille.

NOTE 2 La balise longue a pour objet de garantir que les PRU ont suffisamment d'énergie pour s'amorcer et répondre.

Pour des exigences supplémentaires, voir 9.6.3.



Anglais	Français
Load variation detected	Variation de charge détectée
Advertisement	Annonce
Short Beacon	Balise courte
Long Beacon	Balise longue
Registration timer	Temporisateur d'enregistrement
Power Save State	Etat d'économie d'énergie
Low Power State	Etat de puissance faible

Figure 7 – Séquences de balises

8.2.3.3 Balise courte

8.2.3.3.1 Temporisation de balise courte

La PTU doit appliquer périodiquement une balise courte au résonateur PTU pour détecter les variations d'impédance. La période, t_{CYCLE} doit être de $250 \text{ ms} \pm 5 \text{ ms}$. La période de balise courte active ($t_{\text{SHORT_BEACON}}$) doit être comprise entre 10 ms et 30 ms.

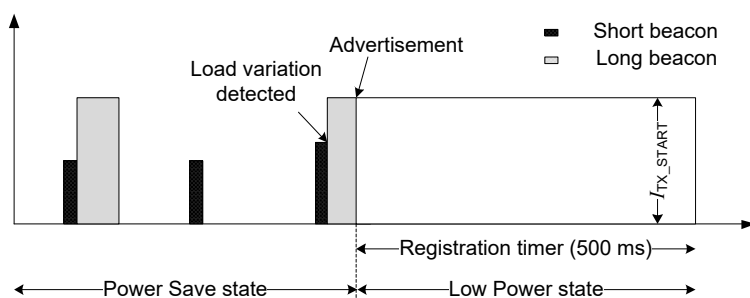
8.2.3.3.2 Courant de balise courte

$I_{\text{TX_SHORT_BEACON_MIN}}$ est définie comme un courant mesurable d'intensité supérieure à $I_{\text{TX_SHORT_BEACON_MIN}}$ et suffisante pour permettre la détection des PRU de catégorie 2 ou plus. Pour les exigences de courant de balise courte, voir aussi 7.3.2.2.1.

8.2.3.3.3 Détection des variations de charge

Avec la balise courte, la PTU doit être capable de détecter une variation de la réactance et de la résistance de $Z_{\text{TX_IN_LOAD_DETECT}}$. $Z_{\text{TX_IN_LOAD_DETECT}}$ est définie en 10.3. Voir Figure 8. Pour l'impédance induite par la PRU pour une balise courte, voir aussi 7.3.3.4.

La PTU doit déclencher une balise longue immédiatement lorsqu'elle détecte une variation de charge au cours d'une balise courte.



IEC

Anglais	Français
Load variation detected	Variation de charge détectée
Advertisement	Annonce
Short Beacon	Balise courte
Long Beacon	Balise longue
Registration timer	Temporisateur d'enregistrement
Power Save State	Etat d'économie d'énergie
Low Power State	Etat de puissance faible

Figure 8 – Détection des variations de charge

8.2.3.4 Balise longue

8.2.3.4.1 Temporisation de balise longue

La PTU doit appliquer périodiquement un courant d'intensité $I_{TX_LONG_BEACON}$ au résonateur PTU. La PTU doit appliquer un courant d'intensité $I_{TX_LONG_BEACON}$ (définie en 8.2.3.4.2) dans les 10 ms suivant la fin de la balise courte. La période de balise longue active (t_{LONG_BEACON}) doit être de $105\text{ ms} \pm 5\text{ ms}$, sauf si la PTU quitte l'état d'économie d'énergie de PTU, auquel cas elle peut être plus courte. La période de balise ($t_{LONG_BEACON_PERIOD}$) doit durer plus de 850 ms et ne doit pas dépasser 3 000 ms. La balise longue doit être enchaînée par une balise courte.

Si la PRU exige l'extension d'une balise longue, elle doit générer une variation de charge de $100\text{ Hz} \pm 20\text{ Hz}$ avec un cycle de service de 45 % – 55 % pendant au moins 22 ms au cours de la période de balise longue. La variation de charge de la PRU doit être comprise entre 0,5 W et 1,1 W sur le redresseur pendant le front positif du signal d'horloge.

La PTU doit étendre la balise longue à 3 000 ms lorsqu'elle détecte au moins 2 variations de charge à $(100 \pm 20)\text{ Hz}$ au cours de la balise longue.

NOTE 1 La balise longue a pour objet d'induire une tension suffisante dans une PRU pour obtenir une réponse.

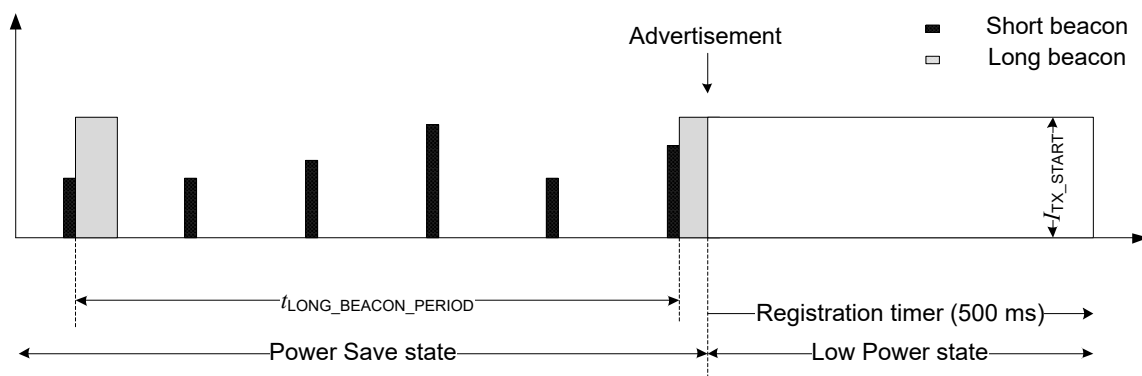
NOTE 2 La période de balise active est définie comme la période au cours de laquelle I_{TX} est supérieure à $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$. Les temps de montée et de descente ne sont pas inclus.

8.2.3.4.2 Courant de balise longue

Pour les exigences de courant de balise longue, voir 7.3.2.2.1.

8.2.3.4.3 Découverte des dispositifs

La PTU doit analyser les annonces BLE associées au service WPT au cours de la période de balise longue active. Voir Figure 9 et 9.4.5.



IEC

Anglais	Français
Advertisement	Annonce
Short Beacon	Balise courte
Long Beacon	Balise longue
Registration timer	Temporisateur d'enregistrement
Power Save State	Etat d'économie d'énergie
Low Power State	Etat de puissance faible

Figure 9 – Découverte

8.2.4 Etat de puissance faible de PTU

8.2.4.1 Procédure de passage d'état

8.2.4.1.1 Ajustage de I_{TX}

La PTU doit appliquer un courant d'intensité comprise entre $0,8 \times I_{\text{TX_START}}$ et $I_{\text{TX_START}}$ dans un délai de 100 ms suivant le passage de la PTU à l'état de puissance faible de PTU. I_{TX} doit varier de façon monotone entre son état précédent et un niveau compris entre $0,8 \times I_{\text{TX_START}}$ et $I_{\text{TX_START}}$. La PTU doit ensuite maintenir le courant à une intensité entre $0,8 \times I_{\text{TX_START}}$ et $I_{\text{TX_START}}$ jusqu'à ce que la PTU quitte l'état de puissance faible de PTU.

NOTE $I_{\text{TX_START}}$ est suffisante pour éveiller le circuit de communication de la PRU.

8.2.4.1.2 Autres procédures de passage d'état

Néant.

8.2.4.2 Enregistrement d'un système WPT

A l'état de puissance faible de PTU, la PTU doit établir une connexion BLE avec la PRU et terminer l'enregistrement conformément aux exigences du 9.4.5 et du 9.3.7.

8.2.5 Etat de transfert d'énergie de PTU

8.2.5.1 Procédure de passage d'état

8.2.5.1.1 Ajustage de I_{TX}

La PTU doit appliquer un courant d'intensité comprise entre $0,8 \times I_{\text{TX_NOMINAL}}$ et $I_{\text{TX_NOMINAL}}$ dans un délai de 500 ms suivant le passage de la PTU à l'état de transfert d'énergie de PTU.

8.2.5.1.2 Autres procédures de passage d'état

Néant.

8.2.5.2 Exigences générales

8.2.5.2.1 Etat de transfert d'énergie de PTU I_{TX}

La PTU doit appliquer I_{TX} de façon continue. La PTU doit ajuster sa valeur de I_{TX} selon les algorithmes spécifiés en 8.2.5.5.1.

8.2.5.2.2 Temporisation d'ajustage de I_{TX}

La PTU doit ajuster la valeur de I_{TX} au moins une fois toutes les 250 ms si un ajustage est exigé, que I_{TX} s'est stabilisée (voir 8.2.5.2.4) par rapport à son ajustage précédent et que les caractéristiques Paramètre dynamique de toutes les PRU connectées (voir 9.5.7) ont été reçues dans cet intervalle. Avant d'écrire une caractéristique Contrôle de PRU avec la commande Activer la sortie PRU = "1" (voir 9.5.4), la PTU peut appliquer $I_{TX_NOMINAL}$ avec une tolérance de 10 % pour prévoir une chute de V_{RECT} sur la PRU à la suite d'une charge supplémentaire. Toutefois, si l'une de ces trois conditions n'est pas respectée, I_{TX} ne doit pas être ajustée.

8.2.5.2.3 Réponse de transition I_{TX} de la PTU

Lors de l'augmentation ou de la diminution de I_{TX} , la transition ne doit pas être sous-amortie. Voir Figure 10.

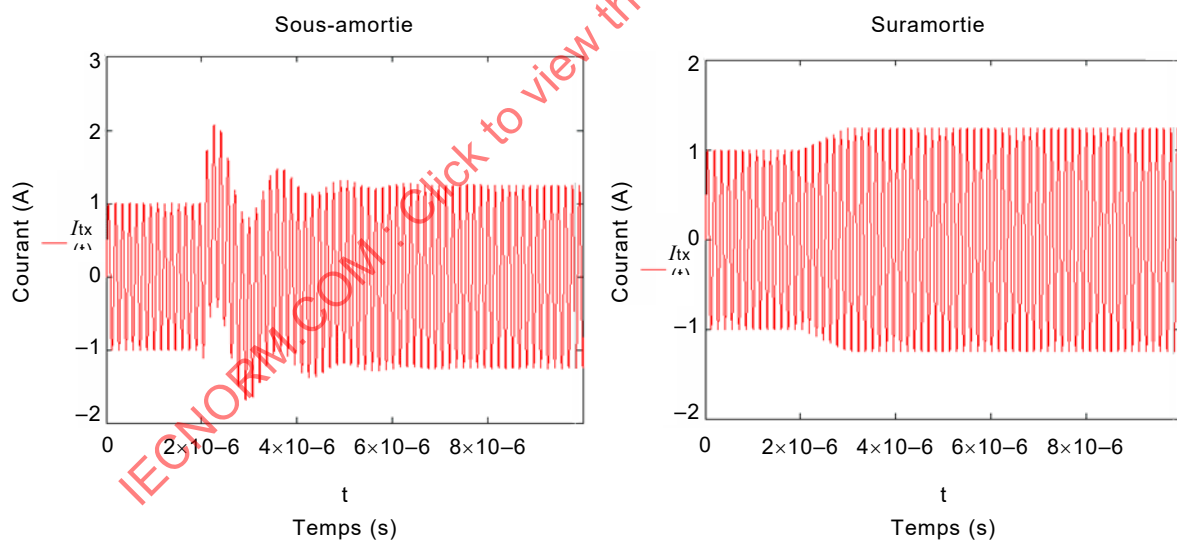


Figure 10 – Réponse de transition I_{TX} de la PTU

8.2.5.2.4 Temps de stabilisation de l'état de transfert d'énergie de PTU I_{TX}

I_{TX} doit atteindre un régime établi (90 % du delta entre les valeurs de début et de fin du courant) dans les 250 ms suivant une transition donnée.

8.2.5.3 Définitions de sous-état et transitions

L'état de transfert d'énergie de PTU doit comporter trois sous-états; les conditions de passage à un sous-état sont indiquées dans le Tableau 6.

Tableau 6 – Sous-état de transfert d'énergie de PTU

Sous-état	Condition de passage à un sous-état
1	Toutes les PRU sont dans le sous-état de tension optimale. 0 erreur système
2	Une ou plusieurs PRU sont dans le sous-état de basse tension. Aucun dispositif n'est dans le sous-état de haute tension. 0 erreur système
3	Une ou plusieurs PRU sont dans le sous-état de haute tension. 0 erreur système

8.2.5.4 Valeurs signalées par la PRU

Le sous-état d'une PRU est déterminé en examinant la V_{RECT} signalée par la PRU par rapport aux paramètres de la $V_{RECT_MIN_STATIC}$ et de la $V_{RECT_HIGH_STATIC}$ signalés dans la caractéristique Paramètre statique de la PRU (voir 9.5.6.3). Si la PRU signale des paramètres $V_{RECT_MIN_DYN}$ et $V_{RECT_HIGH_DYN}$ dans la caractéristique Paramètre dynamique de la PRU (voir 9.5.7), la PTU doit utiliser les valeurs signalées le plus récemment à la place des valeurs signalées dans la caractéristique Paramètre statique de la PRU.

8.2.5.5 Sous-état 1 de transfert d'énergie de PTU

8.2.5.5.1 Choix de l'algorithme du sous-état 1 de transfert d'énergie de PTU

La PTU doit utiliser l'algorithme $V_{RECT_MIN_ERROR}$ ou η_{MAX} . La PTU peut changer d'algorithme. Toutefois, la PTU ne doit pas procéder à un ajustage de I_{TX} susceptible de causer un fonctionnement de la PRU en dehors de la région de tension optimale.

Il est recommandé que la PTU choisisse l'algorithme préférentiel de la PRU dominante.

NOTE Pour $V_{RECT} \times I_{RECT} / P_{RECT_MAX}$, P_{RECT_MAX} est signalée dans la valeur de la caractéristique Paramètre statique de la PRU.

8.2.5.5.2 Algorithme du sous-état 1 de transfert d'énergie de PTU $V_{RECT_MIN_ERROR}$

Si la PTU est couplée à une PRU, la PTU doit réduire le plus possible la valeur de $E_{VRECT} = |V_{RECT} - V_{RECT_SET}|$.

Si la PTU est couplée à plusieurs PRU, la PTU doit ajuster I_{TX} pour réduire le plus possible la valeur E_{VRECT} de la PRU qui présente le pourcentage d'utilisation le plus élevé de sa sortie assignée.

Le pourcentage de la sortie assignée doit être calculé sous la forme P_{RECT} / P_{RECT_MAX} . P_{RECT_MAX} est la puissance de sortie maximale d'une conception de PRU.

NOTE $P_{RECT} = I_{RECT} \times V_{RECT}$.

8.2.5.5.3 Algorithme du sous-état 1 de transfert d'énergie de PTU η_{MAX}

La PTU doit ajuster I_{TX} pour maximiser le rendement total du système. η_{MAX} est calculé par $\Sigma(P_{RX_REPORTED}) / P_{IN}$.

8.2.5.5.4 Taille des échelons d'ajustage du sous-état 1 de transfert d'énergie de PTU I_{TX}

Les ajustages de I_{TX} doivent s'effectuer par échelons inférieurs à 5 % de I_{TX_MAX} et supérieurs à 1 % de I_{TX_MAX} , avec les exceptions suivantes.

- Si la valeur V_{RECT} de l'une des PRU est supérieure à $V_{RECT_HIGH} \times 0,95$, la taille d'échelon I_{TX} positive peut être réduite.
- Si la valeur V_{RECT} de l'une des PRU est inférieure à $V_{RECT_MIN} \times 1,05$, la taille d'échelon I_{TX} négative peut être réduite.
- Si la V_{RECT} de la PRU dominante se situe entre $V_{RECT_SET}/1,05$ et $V_{RECT_SET}/0,95$, la taille d'échelon I_{TX} positive et négative peut être réduite.
- Si I_{TX} est supérieure à I_{TX_MAX} , la taille d'échelon I_{TX} positive peut être réduite pour éviter qu'elle ne soit supérieure à $I_{TX_ABS_MAX}$.

En utilisant l'algorithme $V_{RECT_MIN_ERROR}$, la PTU doit être capable d'induire I_{TX} pour obtenir la V_{RECT} d'une PRU dans les 5 % de la V_{RECT_SET} , sauf si cela nécessite que la valeur de I_{TX} soit supérieure à la valeur de I_{TX_MAX} ou chute au-dessous de la valeur de $I_{TX_NOMINAL}$. Pour connaître les limites de fonctionnement sur I_{TX} , voir 7.3.2.2.1.

Si seules des PRU de catégorie 4 et plus sont présentes, des ajustages peuvent être réalisés jusqu'à une taille d'échelon de 10 %.

8.2.5.6 Sous-état 2 de transfert d'énergie de PTU

8.2.5.6.1 Algorithme du sous-état 2 de transfert d'énergie de PTU

La PTU doit augmenter la valeur de I_{TX} jusqu'à ce que toutes les PRU aient $V_{RECT(N)} \geq V_{RECT_MIN(N)}$. Toutefois, il convient que la PTU ne procède pas à un ajustage de I_{TX} qui provoquerait le passage d'une PRU au sous-état de haute tension ou à l'état d'erreur système PRU pour une surtension.

8.2.5.6.2 Taille des échelons d'ajustage du sous-état 2 de transfert d'énergie de PTU I_{TX}

Les ajustages de I_{TX} doivent s'effectuer par échelons inférieurs à 5 % de I_{TX_MAX} et supérieurs à 1 % de I_{TX_MAX} .

8.2.5.7 Sous-état 3 de transfert d'énergie de PTU

8.2.5.7.1 Algorithme du sous-état 3 de transfert d'énergie de PTU

La PTU doit réduire la valeur de I_{TX} jusqu'à ce que toutes les PRU aient une $V_{RECT(N)} \leq V_{RECT_HIGH(N)}$.

8.2.5.7.2 Taille des échelons d'ajustage du sous-état 3 de transfert d'énergie de PTU I_{TX}

Les ajustages de I_{TX} doivent s'effectuer par échelons inférieurs à 5 % de I_{TX_MAX} et supérieurs à 1 % de I_{TX_MAX} .

8.2.6 Etat de configuration de PTU

8.2.6.1 Procédure de passage d'état

8.2.6.1.1 Ajustage de I_{TX}

Si $I_{TX} > 50 \text{ mA}_{\text{eff}}$ au passage d'état, la PTU doit réduire la valeur de I_{TX} au-dessous de $50 \text{ mA}_{\text{eff}}$ dans un délai de 500 ms suivant le passage de la PTU à l'état de configuration de PTU.

8.2.6.1.2 Limite de délai de l'état de configuration de PTU

La PTU doit quitter l'état de configuration de PTU dans un délai de 4 s suivant le passage de la PTU à cet état.

8.2.6.1.3 Registre des dispositifs

Le registre des dispositifs doit être effacé.

8.2.6.2 Fonctions de l'état de configuration de PTU

La PTU peut effectuer des contrôles systèmes et des autocontrôles pendant l'état de configuration de PTU.

8.2.6.3 Etat de configuration de PTU I_{TX}

I_{TX} doit rester au-dessous de $50 \text{ mA}_{\text{eff}}$.

8.2.7 Etat de panne locale de PTU

8.2.7.1 Généralités

La PTU peut quitter n'importe quel état et passer à l'état de panne locale de PTU si la PTU rencontre une condition de panne locale qui exige la coupure de l'alimentation. Cela peut inclure notamment la surchauffe locale de la PTU, la surintensité locale, la surtension locale ou une défaillance locale de la PTU.

Avant d'atteindre une condition de surchauffe de la PTU, la PTU doit tenter de limiter la puissance allouée (c'est-à-dire prélevée) par les PRU en charge. Par exemple, la PTU peut envoyer une commande d'ajustage de puissance à toutes les PRU qui reçoivent de l'énergie et qui prennent en charge la commande afin de réduire le pourcentage de $P_{\text{RECT_MAX}}$ (par exemple, 66 %). D'autres mises en œuvre peuvent inclure l'envoi de la commande Désactiver la sortie PRU, le changement des algorithmes de sous-état de transfert d'énergie de PTU, le changement de la PRU dominante, ou toute autre mise en œuvre de limitation de puissance.

8.2.7.2 Procédure de passage d'état

8.2.7.2.1 Ajustage de I_{TX}

Si $I_{TX} > 50 \text{ mA}_{\text{eff}}$ au passage d'état, la PTU doit réduire la valeur de I_{TX} au-dessous de $50 \text{ mA}_{\text{eff}}$ dans un délai de 500 ms suivant le passage de la PTU à l'état de panne.

8.2.7.2.2 Registre des dispositifs

Le registre des dispositifs doit être effacé.

8.2.7.3 Etat de panne locale de PTU I_{TX}

I_{TX} doit rester au-dessous de $50 \text{ mA}_{\text{eff}}$.

8.2.8 Etat de panne permanente de PTU

8.2.8.1 Généralités

Une PTU passe à l'état de panne permanente de PTU en réponse à au moins l'un des déclencheurs répertoriés dans le Tableau 7.

8.2.8.2 Procédure de passage d'état

8.2.8.2.1 Ajustage de I_{TX}

Si $I_{TX} > 50 \text{ mA}_{\text{eff}}$ au passage d'état, la PTU doit réduire la valeur de I_{TX} au-dessous de $50 \text{ mA}_{\text{eff}}$ dans un délai de 500 ms suivant le passage de la PTU à l'état de panne permanente de PTU.

8.2.8.2.2 Registre des dispositifs

Le registre des dispositifs doit être effacé.

8.2.8.3 Résolution d'une panne permanente de PTU

A moins que la PTU ne se trouve à l'état de panne locale de PTU, la PTU doit d'abord tenter de résoudre la panne permanente. Si la PTU ne peut pas résoudre la panne permanente, la PTU reste à l'état de panne permanente de façon continue et l'utilisateur doit intervenir pour résoudre la panne. La PTU doit tenter de résoudre la panne permanente jusqu'à trois fois. Chaque tentative de la PTU pour résoudre la panne permanente doit prendre entre 1,1 s et 30 s suivant le début de la panne permanente. La PTU doit résoudre la panne permanente jusqu'à trois fois successivement en revenant à l'état d'économie d'énergie de PTU, ce qui déclenche le redémarrage du système. S'il y a plus de trois pannes permanentes successives, la PTU doit rester à l'état de panne permanente de façon continue et fournir une indication à l'utilisateur pour lui permettre de résoudre la panne permanente. L'utilisateur résout les pannes permanentes continues en retirant tous les dispositifs de la PTU (voir 8.2.8.4).

Le nombre de pannes permanentes successives, dans l'objectif de rester à l'état de panne permanente de PTU, doit être effacé après 5 min de fonctionnement continu sans erreurs système. Ce nombre doit également être effacé lorsque l'utilisateur résout une condition de panne permanente continue.

8.2.8.4 Détection des variations de charge

Dans un délai de $1 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$ suivant le passage à l'état de panne permanente de PTU, la PTU doit effectuer la séquence de balises courtes avec la valeur constante de I_{TX} décrite en 8.2.3.3. La PTU doit passer à l'état d'économie d'énergie de PTU ou de configuration de PTU si les balises courtes détectent une variation de charge, qui indiquent le retrait d'un ou de plusieurs dispositifs de la zone de charge (excepté dans les conditions de panne locale de PTU).

8.2.9 Transitions d'état de la PTU

8.2.9.1 Introduction aux transitions d'état de la PTU

La PTU ne doit effectuer aucune transition d'état sauf si elles sont définies en 8.2.9 comme étant exigées ou facultatives.

La PTU doit effectuer toutes les transitions réputées exigées.

8.2.9.2 Mise sous tension de la PTU

La PTU est mise sous tension.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Nul	Configuration de PTU	Exigé	Néant	Néant

8.2.9.3 Configuration de PTU complète

La PTU achève son autotest.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Configuration de PTU	Economie d'énergie de PTU	Exigé	Néant	Au moins une panne locale de PTU

8.2.9.4 Dispositif détecté et démarrage de la charge à partir de l'état d'économie d'énergie de PTU

La PTU doit démarrer l'enregistrement du dispositif lorsque l'une des conditions suivantes se produit:

- La PTU reçoit une annonce valide (voir 9.6.3) envoyée par une PRU non connectée.
- La PTU lit un paramètre dynamique ou reçoit une alerte émise par une PRU connectée qui indique la charge exigée (Charge complète = 0).

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Economie d'énergie de PTU	Puissance faible de PTU	Exigé	0 erreur système ou la PTU reçoit: – Annonce ou – Caractéristique avec Charge complète = 0	Néant

8.2.9.5 Expiration du temporisateur de supervision de liaison de la PTU

Le temporisateur de supervision de liaison de la PTU expire pour une ou plusieurs PRU.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Transfert d'énergie de PTU	Economie d'énergie de PTU	Exigé	0 erreur système Toutes les connexions sont perdues	Au moins une panne locale de PTU
Puissance faible de PTU				
Transfert d'énergie de PTU	Panne permanente de PTU	Facultative	0 erreur système Connexion perdue sans variation de puissance et échec de la reconnexion	Néant
Puissance faible de PTU				

8.2.9.6 Enregistrement PTU-PRU terminé

La PTU a terminé le processus d'enregistrement et envoyé la caractéristique Contrôle de PRU à la PRU.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Puissance faible de PTU	Transfert d'énergie de PTU	Exigé	0 erreur système et le champ de bits Permission est égal à "0000 0000"	Néant
Puissance faible de PTU	Economie d'énergie de PTU ou Panne locale de PTU ou Transfert d'énergie de PTU	Facultative	0 erreur système et le champ de bits Permission n'est pas égal à "0000 0000"	Néant

8.2.9.7 Charge complète

Cette transition d'état indique qu'une PTU a reçu une notification de charge complète de l'ensemble des unités PRU.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Transfert d'énergie de PTU	Economie d'énergie de PTU	Exigé	0 erreur système Toutes les unités PRU indiquent une charge complète	Au moins une panne locale de PTU

8.2.9.8 Panne locale de PTU

La PTU rencontre une condition de panne locale.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Economie d'énergie de PTU	Panne locale de PTU	Facultative	Néant	La panne locale n'engendre pas de transition d'état par elle-même.
Puissance faible de PTU				
Transfert d'énergie de PTU				
Configuration de PTU				
Panne permanente de PTU				

8.2.9.9 Panne locale de PTU résolue

La PTU détermine que sa panne locale a été résolue.

NOTE La panne locale de PTU est résolue lorsque les conditions à l'origine de la panne locale ont disparu.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Panne locale de PTU	Configuration de PTU	Facultative	Néant	L'état avant la panne locale de PTU était une panne permanente de PTU.
Panne locale de PTU	Panne permanente de PTU	Facultative	L'état avant la panne locale de PTU était une panne permanente de PTU	Néant

8.2.9.10 Expiration du temporisateur d'enregistrement de la PTU

Le temporisateur d'enregistrement de la PTU a expiré.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Puissance faible de PTU	Economie d'énergie de PTU	Exigé	Néant	Passage à l'état de panne permanente de PTU

8.2.9.11 Panne permanente de PTU

Les pannes permanentes de PTU sont décrites dans le Tableau 7.

Tableau 7 – Pannes permanentes de PTU

Pannes permanentes de PTU	Description de la panne permanente
1	Objet suspect détecté
2	Erreur système – surtension, surintensité ou surchauffe de la PRU
3 à 16	Réservé

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Economie d'énergie de PTU	Panne permanente de PTU	Exigé	Néant	Néant
Puissance faible de PTU				
Transfert d'énergie de PTU				

8.2.9.12 L'utilisateur résout la panne permanente de PTU

Toutes les pannes permanentes sont résolues par l'intervention de l'utilisateur.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Panne permanente de PTU	Economie d'énergie de PTU ou configuration de PTU	Exigé	Intervention de l'utilisateur	Au moins une panne locale de PTU

8.2.10 Mode essai de PTU

Le mode essai de PTU est destiné à être utilisé avec une PRU d'essai, autrement dit celle qui demande le déclenchement de l'essai et qui est connectée à la PTU. Pour obtenir la liste des commandes d'essai, voir 9.5.7.14.

En mode essai de PTU, le comportement de la PTU doit respecter la révision de protocole à laquelle elle satisfait, sauf spécification contraire ci-dessous.

- La PTU doit passer en mode essai de PTU après lecture du fanion de la caractéristique Paramètre statique de la PRU dans l'octet d'information de la PRU lors de l'enregistrement du dispositif de la PRU. Pour plus d'informations sur le champ de bits d'information de la caractéristique Paramètre statique de la PRU, voir 9.5.6.7.

- b) La PTU ne doit passer en mode essai que si le message de la caractéristique Paramètre statique de la PRU avec le bit Mode essai défini est reçu moins de 15 s après la mise sous tension de la PTU.
- c) La PTU doit rester en mode essai jusqu'à ce que le simulateur de PRU qui a déclenché le mode essai soit déconnecté ou que la PTU soit arrêtée (cycle d'alimentation).
- d) Si une seconde PRU se connecte à la PTU en mode essai, la PTU doit passer à un état non opérationnel, semblable à une réinitialisation matérielle, récupérable uniquement par un cycle d'alimentation.

NOTE Pour les besoins de cette exigence, la connexion à une seconde PRU est définie comme la PTU qui a reçu le message de la caractéristique Paramètre statique de la PRU.

- e) I_{TX} en mode essai doit être ajustable de façon incrémentielle vers le haut ou vers le bas, selon le champ spécifié dans la valeur de la caractéristique Paramètre dynamique de la PRU envoyée par la PRU qui a déclenché le mode essai. Pour plus d'informations sur la commande d'essai de la caractéristique Paramètre dynamique de la PRU, voir 9.5.7.14. Les commandes qui permettent d'augmenter ou de réduire I_{TX} doivent donner lieu à une augmentation ou une réduction de I_{TX} par la PTU, par incréments supérieurs ou égaux à 5 % de I_{TX_MAX} .
- f) En mode essai, le courant ne doit pas être contrôlé par le mécanisme de rétroaction externe (BLE). Un mécanisme de rétroaction interne, y compris l'ajustage de réglage, s'il fait partie du contrôle interne PA, est acceptable.
- g) Après ajustement de I_{TX} par la commande du simulateur de PRU ou après ajustement de l'impédance de charge, I_{TX} doit se stabiliser en régime établi dans un délai de 250 ms, après quoi il convient qu'il n'y ait aucune autre variation de I_{TX} jusqu'au prochain ajustage.
- h) La PTU en mode essai doit pouvoir induire I_{TX} à $I_{TX_MAX} \pm 5\%$. La PTU en mode essai doit pouvoir atteindre 5 % de I_{TX_MIN} ou le courant réduit à la charge R maximale, selon la valeur la plus faible des deux.
- i) I_{TX} ne doit pas être supérieure à $I_{TX_ABS_MAX}$ en mode essai.

8.3 Spécifications relatives à la PRU

8.3.1 Exigences générales relatives aux PRU

8.3.1.1 Protections locales

8.3.1.1.1 Surchauffe

La PRU doit mettre en œuvre une protection locale contre la surchauffe³ afin que, lorsque la PRU fonctionne dans le sous-état de tension optimale et que la température ambiante se trouve dans la plage 0 °C à 30 °C, la PRU ne doit pas atteindre la limite OTP. Si la limite OTP est atteinte, la PRU doit signaler la condition de surchauffe.

8.3.1.1.2 Surintensité

La PRU doit mettre en œuvre une protection locale contre les surintensités; cette protection doit se déclencher à un courant inférieur à la limite d'alerte OCP. Si la limite OCP est atteinte, la PRU doit signaler la condition de surintensité.

8.3.1.1.3 Surtension

La PRU doit mettre en œuvre une protection locale contre les surtensions. La PRU peut réguler sa tension en fermant et en ouvrant périodiquement l'interrupteur OVP afin que la valeur V_{RECT} reste dans une région qui permet les communications avec la PTU et qui garantit que la puissance dissipée et la tension demeurent à des niveaux acceptables. La PRU peut signaler

³ La protection locale contre la surchauffe peut se traduire par une PRU équipée d'une structure de dissipation de chaleur.

la condition de surtension (voir 8.3.6) uniquement lorsque $V_{RECT} \geq V_{RECT_MAX}$. Si l'interrupteur OVP est situé en amont de la sortie du redresseur, la PRU doit signaler la condition de surtension lorsque $V_{RECT} \geq V_{RECT_MAX}$ et fermer l'interrupteur OVP dans les 250 ms suivant son déclenchement.

8.3.1.2 Signalisation de la PRU

La PRU doit pouvoir communiquer dans toutes les régions de fonctionnement V_{RECT} (voir Figure 11) excepté la région de sous-tension.

8.3.1.3 Etablissement d'une liaison avec la PRU

La PRU ne doit pas tenter de rejoindre le réseau d'une PTU sauf si elle reçoit de l'énergie d'une PTU.

8.3.1.4 Temporisateur de supervision de liaison de la PRU

La PRU doit gérer un temporisateur de supervision de liaison distinct pour la connexion à la PTU. Le temporisateur de supervision de liaison doit démarrer lors de l'établissement d'une connexion. Le temporisateur de supervision de liaison doit se réinitialiser immédiatement après la réception du message BLE prévu. Le temporisateur de supervision de liaison doit expirer dans un délai de 1 s.

Si le temporisateur de supervision de liaison d'une PRU expire, la PRU doit tenter la procédure de reconnexion de la liaison perdue. La PRU doit continuer d'utiliser la même adresse de dispositif que celle utilisée avant l'expiration de la liaison lors de la procédure de reconnexion. Voir 9.4.5.2.3. Si la procédure de reconnexion de la liaison perdue échoue, la PRU doit désactiver sa sortie de charge.

8.3.1.5 Fin d'une liaison de la PRU

Lorsqu'une PRU capable de fournir sa propre énergie a une liaison établie avec une PTU et que V_{RECT} chute au-dessous de V_{RECT_UVLO} , la PRU doit déclencher la procédure de fin de connexion GAP dans un délai de 500 ms (voir 9.4.5.2.4, Connexion inactive).

8.3.1.6 Valeur de consigne V_{RECT} de la PRU

V_{RECT_SET} doit toujours être supérieure ou égale à $V_{RECT_MIN_STATIC}$ et doit être inférieure ou égale à $V_{RECT_HIGH_STATIC}$ comme indiqué dans la caractéristique Paramètre statique de la PRU (voir 9.5.6.3). De même, si la PRU signale des valeurs actualisées dans le message Paramètre dynamique de la PRU (voir 9.5.7), $V_{RECT_SET_DYN}$ doit être supérieure ou égale à la valeur $V_{RECT_MIN_DYN}$ signalée le plus récemment, et doit être inférieure ou égale à $V_{RECT_HIGH_DYN}$. Si aucune valeur de $V_{RECT_SET_DYN}$ n'est signalée, $V_{RECT_MIN_DYN}$ ne doit jamais être supérieure ou égale à la valeur V_{RECT_SET} et $V_{RECT_HIGH_DYN}$ ne doit jamais être inférieure à V_{RECT_SET} . Si aucune valeur de $V_{RECT_MIN_DYN}$ ou de $V_{RECT_HIGH_DYN}$ n'est signalée, $V_{RECT_SET_DYN}$ doit être supérieure à $V_{RECT_MIN_STATIC}$ et doit être inférieure à $V_{RECT_HIGH_STATIC}$.

8.3.1.7 Paramètres signalés par la PRU

8.3.1.7.1 Généralités

La PRU doit signaler V_{RECT} , I_{RECT} et une alerte PRU, et peut signaler V_{OUT} , I_{OUT} , $V_{RECT_HIGH_DYN}$, $V_{RECT_MIN_DYN}$, $V_{RECT_SET_DYN}$ et la température dans les états de PRU active et d'amorçage de PRU.

8.3.1.7.2 PRU signalant l'âge des données

A une instance de rapport donnée, la valeur de chaque paramètre doit être mesurée au moins une fois depuis le dernier rapport. Il convient de mesurer les valeurs de I_{RECT} et de V_{RECT} indiquées dans les rapports dans un délai de 1 ms l'une de l'autre.

NOTE L'exigence de temporisation de 1 ms entre les mesurages de I_{RECT} et de V_{RECT} est hautement souhaitée et n'a pas pour objet d'empêcher les mises en œuvre.

8.3.1.7.3 Précision de la tension signalée

La valeur de V_{RECT_REPORT} doit être signalée avec une précision supérieure à $\pm 3 \%$, à moins que la PRU ne se trouve à l'état d'erreur système PRU.

L'exigence de précision de la tension est nécessaire pour le contrôle du système. Le système est spécifié de telle sorte que les PTU à plusieurs dispositifs puissent conserver l'ensemble des combinaisons de PRU dans la région de tension optimale. Si la valeur signalée de V_{RECT} comporte une erreur, le système peut être dans l'incapacité de conserver toutes les PRU dans la région de tension optimale.

8.3.1.7.4 Précision du courant signalé

La valeur de I_{RECT_REPORT} doit être signalée avec une précision supérieure à 8 % de P_{RECT_MAX} , divisée par V_{RECT_MIN} . P_{RECT_MAX} et V_{RECT_MIN} sont les valeurs signalées dans les paramètres statiques de la PRU. Voir aussi Tableau 8.

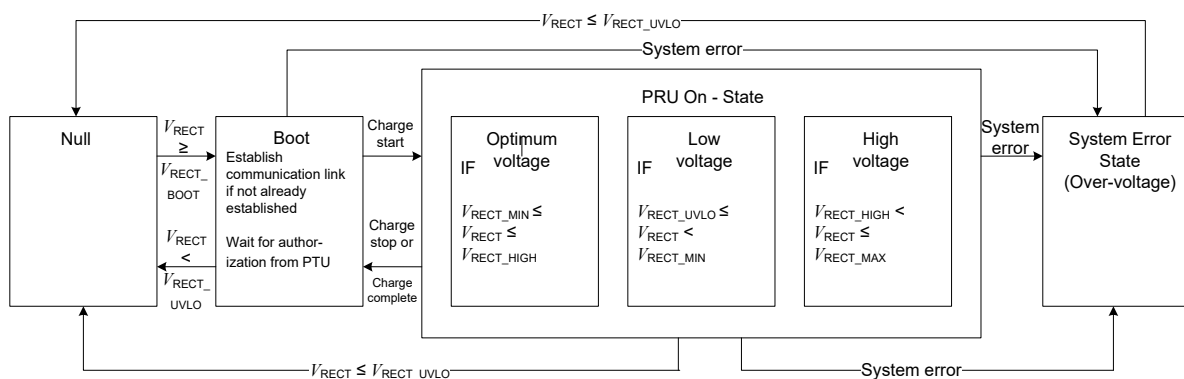
$$ABS(I_{RECT} - I_{RECT_REPORT}) \leq (8 \%) (P_{RECT_MAX} / V_{RECT_MIN})$$

Tableau 8 – Exemple de précision du courant signalé

Delta du rapport I_{RECT} admissible pour une erreur de 8 %							
mA							
	Puiss.	Courant	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5
W max				3,5	5		
V_{RECT_MIN}				8	8		
	0	0,000		35,00	50,00		
	0,5	63		35,00	50,00		
	1	125		35,00	50,00		
	1,5	188		35,00	50,00		
	2	250		35,00	50,00		
	2,5	313		35,00	50,00		
	3	375		35,00	50,00		
	3,5	438		35,00	50,00		
	4	500			50,00		
	4,5	563			50,00		
	5	625			50,00		
	5,5	688			50,00		
	6	750			50,00		
	6,5	813			50,00		
	7	875					
	7,5	938					
	8	1 000					
	8,5	1 063					
	9	1 125					

8.3.2 Modèle d'état PRU

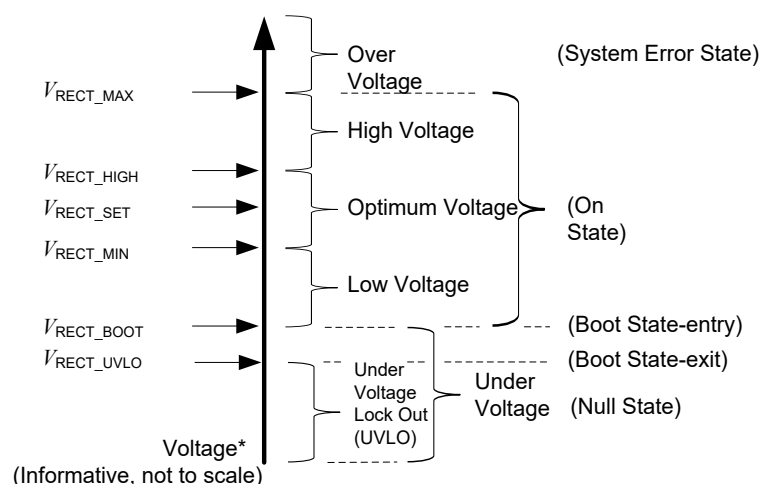
La PRU peut être dans l'un des cinq états identifiés à la Figure 11 et dans cinq régions de fonctionnement à un instant donné. La région de fonctionnement doit être déterminée par la valeur de V_{RECT} (identifiée à la Figure 12).



IEC

Anglais	Français
System error	Erreur système
Null	Nul
Boot	Amorçage
Establish communication link if not already established	Etablissement de la liaison de communication si elle n'est pas encore établie
Wait for authorization from PTU	Attendre l'autorisation de la PTU
Charge Start	Démarrage de la charge
Charge stop or	Arrêt de la charge ou
Charge complete	Charge complète
PRU On – State	Etat PRU active
Optimum Voltage	Tension optimale
Low voltage	Basse tension
High voltage	Haute tension
System error	Erreur système
System Error State (Over-voltage)	Etat d'erreur système (surtension)

Figure 11 – Modèle d'états pour la PRU



Anglais	Français
Over Voltage	Surtension
(System Error State)	(état d'erreur système)
High Voltage	Haute tension
Optimum Voltage	Tension optimale
Low Voltage	Basse tension
(On State)	(état actif)
(Boot State-entry)	(passage à l'état d'amorçage)
(Boot State-exit)	(sortie de l'état d'amorçage)
Under Voltage Lock Out (UVLO)	Blocage de sous-tension (UVLO)
Under Voltage	Sous-tension
(Null State)	(état nul)
Voltage* (Informative, not to scale)	Tension* (informative, pas à l'échelle)

Figure 12 – Régions de fonctionnement V_{RECT}

8.3.3 Etat nul

Au démarrage, une PRU doit par hypothèse être à l'état nul lorsque $V_{RECT} < V_{RECT_BOOT}$. Après avoir quitté l'état nul, une PRU doit par hypothèse repasser à l'état nul lorsque V_{RECT} chute au-dessous de V_{RECT_UVLO} .

8.3.4 Amorçage de PRU

8.3.4.1 Procédure de changement d'état

La PRU doit désactiver sa sortie au démarrage.

Si la PRU n'est pas connectée à la PTU, les exigences suivantes s'appliquent:

- Si Charge complète = 0 et que la PRU ne génère pas un signal de demande d'extension d'une balise longue, la PRU doit envoyer une annonce dans un délai de 100 ms, où I_{TX} est supérieure à $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$ ou I_{TX_MIN} (en retenant le seuil le plus faible des deux).
- Si Charge complète = 0 et que la PRU génère un signal de demande d'extension d'une balise longue, la PRU doit envoyer une annonce dans un délai de 3 s, où I_{TX} est supérieure à $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$ ou I_{TX_MIN} (en retenant le seuil le plus faible des deux).

- Sinon, si I_{TX} est supérieure à $I_{TX_LONG_BEACON_MIN}$ ou à I_{TX_MIN} de façon continue (en retenant le seuil le plus faible des deux) pendant une période de 600 ms, la PRU doit envoyer une annonce dans un délai de 800 ms avec une valeur de I_{TX} supérieure au seuil le plus faible.
- La PRU ne doit pas consommer plus de P_{RECT_BOOT} pendant l'état d'amorçage de PRU. P_{RECT_BOOT} doit être inférieure à 1,1 W.

8.3.4.2 Autres procédures de passage d'état

Néant.

8.3.5 Etat de PRU active

8.3.5.1 Exigences générales relatives à l'état de PRU active

8.3.5.1.1 Sortie activée/désactivée

La PRU doit prélever moins de 1,1 W (valeur calculée à la sortie du redresseur) sauf si la PTU le permet. La PRU doit réduire sa sortie à moins de 1,1 W, dans un délai de 1,1 s si la commande Activer la sortie PRU est définie sur "0" par la PTU (voir 9.5.4, Contrôle de PRU).

8.3.5.1.2 Autres exigences relatives à l'état PRU active

Néant.

8.3.5.2 Sous-état de tension optimale

Une PRU se trouve dans le sous-état de tension optimale lorsque $V_{RECT_MIN} < V_{RECT} < V_{RECT_HIGH}$.

8.3.5.3 Sous-état de basse tension

Une PRU se trouve dans le sous-état de basse tension lorsque $V_{RECT_BOOT} \leq V_{RECT} < V_{RECT_MIN}$.

8.3.5.4 Sous-état de haute tension

Une PRU se trouve dans le sous-état de haute tension lorsque $V_{RECT_HIGH} < V_{RECT} \leq V_{RECT_MAX}$.

NOTE Dans le sous-état de haute tension, la PRU peut ne pas être capable d'assurer un fonctionnement continu.

8.3.5.4.1 Temps de fonctionnement sous haute tension

Une PRU ne doit pas déconnecter sa sortie si $V_{RECT_HIGH} < V_{RECT} \leq V_{RECT_MAX}$ pendant une période inférieure à 5 s. Cette durée doit être mesurée à partir du moment, où la PRU communique des informations indiquant qu'elle se trouve dans le sous-état de haute tension. Une PRU peut déconnecter la sortie après un délai de 5 s.

8.3.5.4.2 Temps de maintien sous haute tension

La PRU ne doit pas subir de dommages dans le sous-état de haute tension.

8.3.5.5 Panne locale de PRU

Une panne locale de PRU est une condition d'erreur qui ne doit pas être signalée à la PTU (c'est-à-dire les erreurs qui ne concernent pas le système). Pour les erreurs système, voir 8.3.6. Par nature, une panne locale de PRU n'exige pas que la PTU passe à l'état de panne permanente de PTU et il n'est donc pas nécessaire de l'identifier de manière spécifique dans le présent document. En cas de panne locale d'une PRU, la PRU doit continuer de communiquer avec la PTU et ne doit pas indiquer une erreur système en l'absence d'erreurs système (voir 8.3.6). Toutefois, la PRU peut ajuster ou déconnecter sa sortie.

8.3.6 Etat d'erreur système PRU

8.3.6.1 Généralités

Une PRU doit par hypothèse être à l'état d'erreur système PRU lorsque:

- a) une alerte de surtension est active ($V_{RECT} > V_{RECT_MAX}$); ou
- b) une alerte de surintensité est active; ou
- c) une alerte de surchauffe est active.

8.3.6.2 Sortie de charge

La PRU doit arrêter la puissance de charge de sortie à l'état d'erreur système PRU jusqu'à ce que la condition d'erreur soit éliminée, excepté si l'état d'erreur système PRU est causé par une surtension de la PRU.

8.3.6.3 Alerte PRU

La PRU doit envoyer une ou plusieurs alertes à la PTU lorsqu'elle se trouve à l'état d'erreur système PRU dans un délai de 250 ms suivant le passage à l'état d'erreur système PRU. Voir 9.5.8 et 9.5.7.

8.3.6.4 Messagerie d'alerte PRU

La PRU doit être capable d'envoyer des notifications à la PTU tant qu'elle se trouve à l'état d'erreur système PRU et que la PRU reçoit de l'énergie de la PTU.

8.3.7 Transitions d'état de la PRU

8.3.7.1 Généralités

La PRU ne doit effectuer aucune transition d'état sauf si elles sont définies en 8.3.7 comme étant exigées ou facultatives.

La PTU doit effectuer toutes les transitions réputées exigées.

8.3.7.2 Puissance appliquée

La puissance est appliquée. La PRU est dans la zone de charge et $V_{RECT} \geq V_{RECT_BOOT}$.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
PRU à l'état nul	Amorçage de PRU	Exigé	Néant	Néant

8.3.7.3 Etat de PRU active

La PRU passe à l'état de PRU active lorsque la caractéristique Contrôle de PRU est écrite au cours de l'enregistrement du dispositif par la PTU.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Amorçage de PRU	PRU active	Exigé	Néant	Néant

8.3.7.4 Charge complète

La PRU est déconnectée ou définit son bit Charge complète sur "1".

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
PRU active	Amorçage de PRU	Exigé	Néant	Néant

8.3.7.5 Alimentation retirée

L'alimentation est retirée de la PRU. Cela peut être lié à l'arrêt de la PTU ($V_{RECT} < V_{RECT_UVLO}$) ou au fait que la PRU a été retirée de la zone de charge.

Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Amorçage de PRU	Etat nul	Exigé	Néant	Néant
PRU active				
Erreur système PRU				

8.3.7.6 Erreur système PRU

La PRU ne doit passer à l'état d'erreur système PRU que si elle ne peut pas gérer la condition en local sans couper l'alimentation de la PTU (c'est-à-dire sans passer à l'état de panne permanente de PTU). Voir 8.3.1.1. Les erreurs système PRU sont décrites dans le Tableau 9.

Tableau 9 – Erreurs système PRU

Erreur système	Description de l'erreur système
1	Surtension de la PRU
2	Surchauffe de la PRU
3	Surintensité de la PRU
4	Une PRU détermine qu'elle reçoit de l'énergie d'une première PTU, mais qu'elle est connectée au réseau d'une seconde PTU.
5 à 16	Réservé

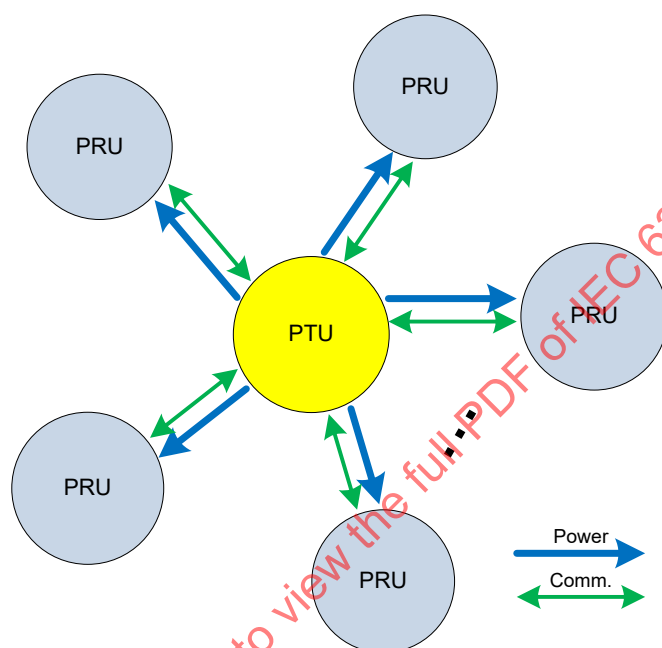
Etat initial	Etat cible	Exigé ou facultatif	Conditions exigées supplémentaires	Exceptions
Amorçage de PRU	Erreur système PRU	Exigé	Néant	Néant
PRU active				

9 Spécifications de signalisation

9.1 Architecture et diagrammes d'état

9.1.1 Architecture

Le réseau WPT a une topologie en étoile (voir Figure 13). La PTU échange des informations avec les PRU et prend des décisions concernant le point de fonctionnement, et l'allocation des ressources, le cas échéant. Chaque PRU transmet des informations et reçoit des informations relatives à la gestion du réseau qui sont envoyées par la PTU, qui assure la fonction de coordinateur du réseau.



IEC	
Anglais	Français
Power	Puissance
Comm.	Communication

Figure 13 – Architecture de base d'un système WPT

La PTU doit créer et gérer le réseau WPT.

A l'état de transfert d'énergie de PTU, la PTU configure la temporisation et le séquençement des PRU.

La PTU doit gérer et mettre à jour le tableau de contrôle des dispositifs (dont la fonction est de gérer et vérifier l'état des PRU dans son propre réseau) et gérer son réseau avec son horloge de synchronisation. Elle gère la temporisation et le séquençement des communications des PRU.

9.1.2 Processus de charge général

Le processus de transfert d'énergie sans fil démarre lorsque la PTU à l'état d'économie d'énergie de PTU applique des balises courtes et longues au résonateur PTU comme l'exige la détection de variation de charge et qu'elle obtient une réponse de la PRU (voir 8.2). Lors de la détection d'un dispositif, la PTU passe à l'état de puissance faible de PTU, établit une liaison de communication avec la PRU et échange les informations nécessaires au transfert d'énergie sans fil. Voir aussi Figure 14.



Anglais	Français
PRU #1	PRU 1
PRU #2	PRU 2
PRU Power State	Etat de puissance de la PRU
PRU #1 Power State	Etat de puissance de la PRU 1
PRU #2 Power State	Etat de puissance de la PRU 2
Null	Nul
Boot	Amorçage
On	Active
Power-Up	Mise sous tension
PRU advertisement	Annonce PRU
Connection request	Demande de connexion
PRU Static Parameter	Paramètre statique de la PRU
PTU Static Parameter	Paramètre statique de la PTU
PRU Dynamic Parameter	Paramètre dynamique de la PRU
PRU Control (Charge Enable)	Contrôle de PRU (activation de la charge)
PRU Dynamic Parameter (Charge Complete)	Paramètre dynamique de la PRU (charge complète)
Power-Save	Economie d'énergie
Low Power	Puissance faible
Power Transfer	Transfert d'énergie
Latch Fault	Panne permanente
Power Beacon	Balise de puissance
PRU Dynamic Parameter Or PRU Alert (OVP)	Paramètre dynamique de la PRU ou alerte PRU (OVP)

Figure 14 – Diagramme d'états de base (informatif)

La PTU n'effectue aucun transfert d'énergie (excepté la puissance de balise) tant que le PTU n'a pas reçu d'annonce de PRU. La PRU envoie plusieurs annonces jusqu'à ce qu'elle reçoive une demande de connexion de la PTU (voir 9.3.7).

Lors de la réception de l'annonce envoyée par la PRU, la PTU passe à l'état de puissance faible de PTU si elle se trouve à l'état d'économie d'énergie de PTU. La PRU cesse d'envoyer des annonces après réception d'une demande de connexion envoyée par la PTU. La PRU et la PTU établissent une connexion.

La PTU lit d'abord la valeur du paramètre statique de la PRU qui décrit l'état de la PRU. La PTU écrit ensuite une valeur dans le paramètre statique de la PTU, qui décrit les capacités de la PTU.

Lorsque les dispositifs ont échangé des informations statiques, la PTU lit le paramètre dynamique de la PRU qui fournit des paramètres mesurés de la PRU. La PTU écrit ensuite une valeur dans la caractéristique Contrôle de PRU, notamment des informations telles que la charge activée/désactivée et la permission. Si nécessaire, la PTU peut écrire dans la caractéristique Contrôle de PRU. La PTU lit périodiquement le paramètre dynamique de la PRU qui contient des valeurs telles que la tension, le courant, l'état de la PRU et/ou la température.

La charge démarre lorsque la PTU écrit une valeur dans la caractéristique Contrôle de PRU qui déclenche la charge; la charge est distribuée lorsque la puissance de la PTU est suffisante pour charger la PRU. Dans cet état (PRU active), le paramètre dynamique de la PRU est lu par la PTU au moins toutes les 250 ms.

Selon les informations de puissance du paramètre dynamique de la PRU, la PTU met à jour le tableau de contrôle des dispositifs dans le registre correspondant à chaque état de la PRU.

Si la PRU détecte une erreur système ou achève une charge, la PRU envoie une ou plusieurs notifications d'alerte à la PTU. Le paramètre dynamique de la PRU est actualisé afin d'inclure des données qui décrivent la raison de l'alerte avant leur envoi à la PTU (notifications de surtension, de surintensité, de surchauffe et d'autoprotection, par exemple).

9.2 Procédure de charge et exigences

9.2.1 Retrait d'une PRU du réseau WPT

Une PRU doit être retirée du réseau lorsque les conditions décrites en 8.2.2.3 et en 8.2.9.5 sont respectées.

9.2.2 Mode partage de puissance

Le mode partage de puissance permet d'allouer la puissance à plusieurs dispositifs lorsque la PTU n'a pas suffisamment d'énergie pour fournir une P_{RECT_MAX} complète à l'ensemble des dispositifs qui le demandent. La PTU doit prendre en charge le mode partage de puissance.

Pour connaître les conditions V_{RECT} de la PRU, voir 7.3.2.2.1, 7.3.3.1.2 et 7.3.3.1.3.

Lorsqu'une nouvelle PRU (c'est-à-dire une PRU qui établit une nouvelle connexion pour déclencher un transfert d'énergie) termine l'enregistrement du dispositif, la PTU doit, avant d'envoyer une caractéristique Contrôle de PRU pour activer la charge, déterminer si les PRU qui reçoivent actuellement de l'énergie de la PTU ont besoin d'ajuster leur prélèvement d'énergie sur une valeur inférieure pour permettre à la nouvelle PRU de prélever de l'énergie. Si des ajustages de puissance sont nécessaires, la PTU doit d'abord envoyer une caractéristique Contrôle de PRU à la nouvelle PRU avec le champ Permission défini sur "0000 0001" (voir Tableau 22), déterminer les ajustages nécessaires pour toutes les PRU qui reçoivent actuellement de l'énergie, puis envoyer des caractéristiques Contrôle de PRU avec des commandes d'ajustage de puissance aux PRU qui prennent en charge la commande (voir Tableau 33, bit 4 "Capacité d'ajustage de puissance").

Si la PTU détermine qu'il est nécessaire d'ajuster le prélèvement d'énergie des PRU qui reçoivent actuellement de l'énergie pour fournir de l'énergie à la nouvelle PRU, la PTU doit attendre la réponse de toutes les PRU qui prennent en charge la commande d'ajustage de puissance, avant:

- a) de décider si elle peut ou non fournir de l'énergie à la nouvelle PRU;
- b) d'activer la sortie de l'accès de charge de la nouvelle PRU en écrivant la caractéristique Contrôle de PRU avec le champ de bits Permission défini sur "0000 0000", si la PTU décide de fournir de l'énergie à la nouvelle PRU.

Si la PTU ne peut pas prendre en charge complètement l'exigence P_{RECT_MAX} du nouveau dispositif, mais que la nouvelle PRU prend en charge l'ajustage de puissance et qu'une commande d'ajustage de puissance vise à réduire P_{RECT} dans une plage qui peut être prise en charge par la PTU, la PTU doit envoyer une commande d'ajustage de puissance appropriée. La PTU doit attendre la "Réponse à l'ajustage de puissance" (voir 9.5.7.13) dans le paramètre dynamique de la nouvelle PRU. La nouvelle PRU doit ajuster la puissance comme l'a demandé la PTU et définir le bit de "Réponse à l'ajustage de puissance" sur "1". Si la PTU lit "Réponse à l'ajustage de puissance", la PTU doit écrire la caractéristique Contrôle de PRU avec le champ de bits Permission défini sur "0000 0000" sur la nouvelle PRU et déclencher la charge.

9.3 Exigences relatives au profil Bluetooth faible énergie (BLE)

9.3.1 Introduction aux exigences du profil Bluetooth faible énergie (BLE)

Le 9.3 donne les exigences de référence relatives au profil Bluetooth faible énergie (BLE) pour contrôler un système WPT qui fonctionne avec un couplage résonant entre deux dispositifs ou plus.

9.3.2 Objectifs Bluetooth faible énergie (BLE)

Le système radio BLE est destiné à assurer la communication entre une PTU et les PRU qui sont chargées par cette PTU.

9.3.3 Exigence relative au matériel de la PTU

Un service et un profil de transfert d'énergie sans fil de PTU doivent être mis en œuvre en utilisant une liste des conceptions Bluetooth qualifiées (QDL, *Qualified Design List*) avec une configuration de base à faible consommation énergétique ou une configuration de base combinée taux de base et faible consommation énergétique définie dans la Spécification de base Bluetooth v4.0, Volume 0, Partie B, Section 3.1.

9.3.4 Exigence relative au matériel de la PRU

Une PRU doit incorporer un produit final conforme et qualifié Bluetooth avec une configuration de base à faible consommation énergétique ou une configuration de base combinée taux de base et faible consommation énergétique définie dans la Spécification de base Bluetooth v4.0, Volume 0, Partie B, Section 3.1.

9.3.5 Structure du réseau de base

La structure du réseau BLE doit comporter un dispositif central dans la PTU et jusqu'à huit périphériques PRU.

9.3.6 Exigences relatives aux radiofréquences

9.3.6.1 Transmission d'énergie BLE PTU

Le système radio BLE de la PTU doit transmettre une puissance comprise entre –6 dBm et +8,5 dBm, mesurée au niveau du connecteur d'antenne.

9.3.6.2 Sensibilité BLE PTU

Le système radio BLE de la PTU doit avoir une sensibilité supérieure à –77 dBm, mesurée au niveau du connecteur d'antenne.

9.3.6.3 Saturation BLE PTU

Le système radio BLE de la PTU doit prendre en charge un niveau d'entrée utilisable maximal de –1 dBm, mesuré au niveau du connecteur d'antenne.

9.3.6.4 Transmission d'énergie BLE PRU

Le système radio BLE de la PRU doit transmettre une puissance comprise entre –6 dBm et +8,5 dBm, mesurée au niveau du connecteur d'antenne.

9.3.6.5 Sensibilité BLE PRU

Le système radio BLE de la PRU doit avoir une sensibilité supérieure à –77 dBm, mesurée au niveau du connecteur d'antenne.

9.3.6.6 Saturation BLE PRU

Le système radio BLE de la PRU ne doit pas saturer sous -1 dBm, mesuré au niveau du connecteur d'antenne.

9.3.6.7 Interférence (informative)

Il convient que le système accepte jusqu'à 36 dB de perte de sensibilité des autres radios 2,4 GHz voisines.

Il convient que le système accepte jusqu'à 35 dB d'affaiblissement de propagation lors de placements variables sur le bloc.

9.3.6.8 Bilan de liaison (informative)

Les données du bilan de liaison sont indiquées dans le Tableau 10.

Tableau 10 – Bilan RF (informatif)

Etape	Pertes les plus défavorables
PTU	0 dBm
Filtre	-3 dB
Antenne	-5 dB
Affaiblissement de propagation	-35 dB
Perte de sensibilité	-36 dB
Antenne	-5 dB
Filtre	-3 dB
Signal résultant sur la PRU	-87 dBm

9.3.7 Exigences de temporisation et de séquençement

Si une connexion BLE n'existait pas encore, les exigences suivantes s'appliquent:

- La PRU doit présenter une annonce à la PTU dans le délai admis par les exigences de transfert et de contrôle d'énergie (voir 8.3.4.1). La PRU doit utiliser un intervalle d'annonce inférieur ou égal à 20 ms.
- La PTU doit émettre une demande de connexion dans un délai de 50 ms suivant la réception de l'annonce seulement si les conditions de 9.6.3 sont respectées. Si la PTU ne reçoit pas de réponse de la PRU après l'envoi d'une demande de connexion, la PTU doit démarrer le temporisateur d'enregistrement et renouveler le processus d'enregistrement de système WPT une fois avant de déclarer l'expiration du délai.

L'accès de la PTU au service WPT de la PRU au cours de la période d'enregistrement doit suivre les étapes exactes suivantes:

- lecture de la caractéristique Paramètre statique de la PRU;
- écriture de la caractéristique Paramètre statique de la PTU;
- lecture de la caractéristique Paramètre dynamique de la PRU une ou plusieurs fois; et
- écriture de la caractéristique Contrôle de PRU (toujours obligatoire).

Les étapes 1) à 3) sont facultatives en cas de transition depuis le mode Charge complète, Mode connecté; sinon, elles sont obligatoires.

Au cours de la période d'enregistrement:

- la PRU doit répondre, avec une réponse en lecture, à une demande de lecture dans un délai de 50 ms; et
- la PTU doit uniquement utiliser la procédure de réponse sans écriture GATT pour écrire des caractéristiques sur la PRU.

L'intervalle de connexion BLE au cours de la période d'enregistrement ($t_{CI_REGISTRATION}$) doit être inférieur ou égal à 50 ms. Lorsque la caractéristique Contrôle de PRU a été écrite, l'intervalle de connexion BLE (t_{CI}) doit être inférieur ou égal à 250 ms.

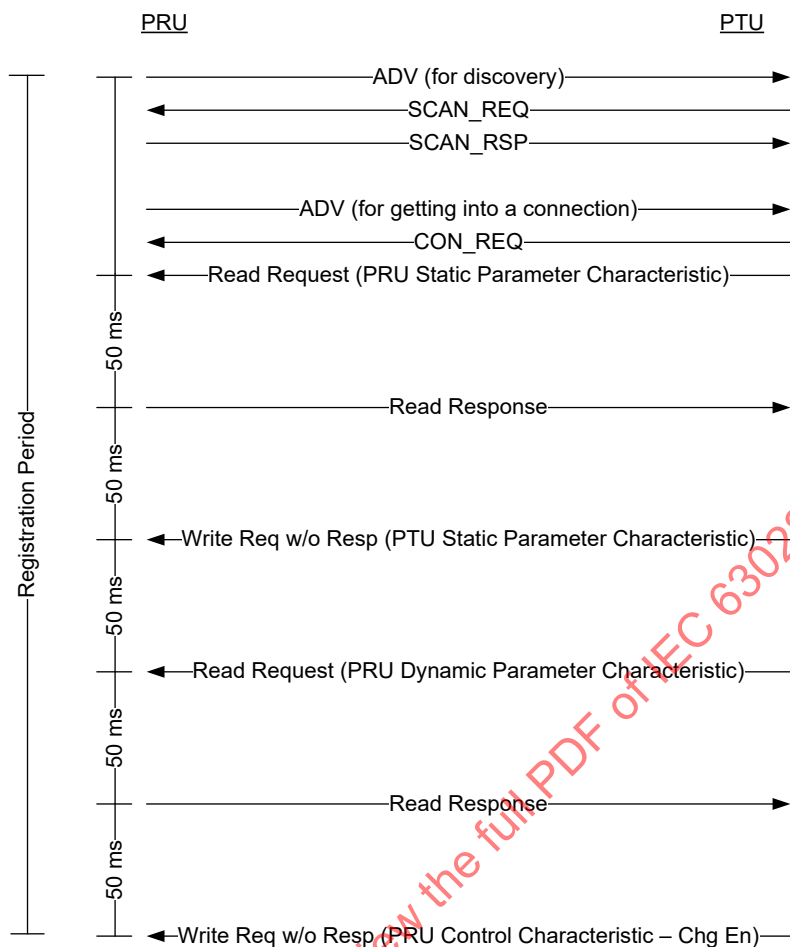
La caractéristique Paramètre dynamique de la PRU doit être lue par la PTU au moins toutes les 250 ms.

La PTU ne doit pas écrire une caractéristique Contrôle de PRU sur une PRU pour activer la sortie de l'accès de charge tant qu'elle n'a pas lu au moins une caractéristique Paramètre dynamique de cette PRU.

Si la PRU peut être chargée, la PTU doit écrire une caractéristique Contrôle de PRU qui contient la commande Activer la sortie PRU (voir 9.5.4.3) dans un délai de 500 ms suivant la réception de l'annonce.

La temporisation et le séquençement de l'enregistrement décrits en 9.3.7 sont représentés à la Figure 15, et les contraintes de temporisation sont identifiées dans le Tableau 11.

A la fin de l'enregistrement du dispositif, la PTU doit utiliser la demande d'écriture GATT pour écrire le descripteur de caractéristique de configuration du client de l'alerte PRU.



Anglais	Français
ADV (for discovery)	ADV (pour la découverte)
ADV (for getting into a connection)	ADV (pour participer à une connexion)
Read Request (PRU Static Parameter Characteristic)	Demande de lecture (caractéristique Paramètre statique de la PRU)
Read Response	Réponse de lecture
Write Req w/o Resp (PTU Static Parameter Characteristic)	Demande d'écriture sans réponse (caractéristique Paramètre statique de la PTU)
Read Request (PRU Dynamic Parameter Characteristic)	Demande de lecture (caractéristique Paramètre dynamique de la PRU)
Write Req w/o Resp (PRU Control Characteristic – Chg En)	Demande d'écriture sans réponse (caractéristique Contrôle de PRU – Activation de la charge)
Registration Period	Période d'enregistrement

Figure 15 – Exemple de chronologie d'enregistrement (informative)

Tableau 11 – Contraintes relatives à la temporisation

Contrainte de temps	Valeur ms	Description	Article de référence
$t_{\text{SHORT_BEACON}}$	< 30	Période de balise courte active	8.2.3.3.1
$t_{\text{LONG_BEACON}}$	105 ± 5	Période de balise longue active	8.2.3.4.1
t_{CYCLE}	250 ± 5	Période de balise courte	8.2.3.3.1
$t_{\text{LONG_BEACON_PERIOD}}$	> 850 ≤ 3 000	Période de balise longue	8.2.3.4.1
$t_{\text{ADVERTISEMENT}}$	< 100	La PRU envoie une annonce dans un délai de 100 ms lorsque V_{RECT} a dépassé $V_{\text{RECT_BOOT}}$ au passage d'état.	8.3.4.1
$t_{\text{CONNECTION_REQUEST}}$	< 50	La PTU émet une demande de connexion dans un délai de 50 ms suivant la découverte de la PRU	9.3.7
$t_{\text{REGISTRATION}}$	< 500	La PTU écrit une caractéristique Contrôle de PRU qui contient la commande Activer PRU dans un délai de 500 ms suivant la réception de l'annonce.	9.3.7
t_{DYNAMIC}	≤ 250	Période au cours de laquelle la caractéristique Paramètre dynamique de la PRU est lue par la PTU	9.1.2 9.3.7
$t_{\text{CI_REGISTRATION}}$	< 50	Intervalle de connexion BLE au cours de $t_{\text{REGISTRATION}}$	9.3.7
t_{CI}	< 250	Intervalle de connexion BLE	9.3.7

9.3.8 Structure du profil

Le client et le serveur BLE doivent prendre en charge les caractéristiques identifiées dans le Tableau 12.

Tableau 12 – Caractéristiques de profil BLE

Caractéristique	Direction des données	Propriétés	Description
Contrôle de PRU	PTU → PRU	Ecriture et lecture	Contrôle de PRU ACTIVE/INACTIVE. La PTU déclenche l'écriture lorsqu'il est nécessaire d'envoyer la commande.
Paramètre statique de la PTU	PTU → PRU	Ecriture et lecture	Contient les caractéristiques statiques de la PTU. La PTU déclenche l'écriture lorsqu'un nouveau dispositif se connecte.
Alerte PRU	PTU ← PRU	Notifications (indications dépendant de la prise en charge de la procédure de transition de mode en 9.7)	Notifie la PTU des conditions de surtension, de surintensité, de surchauffe et d'autoprotection de la PRU.
Paramètre statique de la PRU	PTU ← PRU	Lecture	Contient les caractéristiques statiques de la PRU. La PTU déclenche la lecture lorsqu'un dispositif se connecte (il peut y en avoir plusieurs).
Paramètre dynamique de la PRU	PTU ← PRU	Lecture	Contient les caractéristiques dynamiques de la PRU. La PTU déclenche la lecture à partir de chaque dispositif.

9.4 Définition du profil BLE

9.4.1 Sous-procédure GATT

9.4.1.1 Introduction à la sous-procédure GATT

Le 9.4 contient les informations spécifiques nécessaires pour mettre en œuvre le profil BLE. Il a pour but de permettre aux programmeurs de mettre en œuvre le profil BLE au sein de l'infrastructure GATT.

9.4.1.2 Exigences relatives à la sous-procédure GATT

Les exigences supplémentaires relatives à la sous-procédure GATT en plus de celles exigées par tous les clients GATT sont indiquées dans le Tableau 13.

Tableau 13 – Sous-procédure GATT

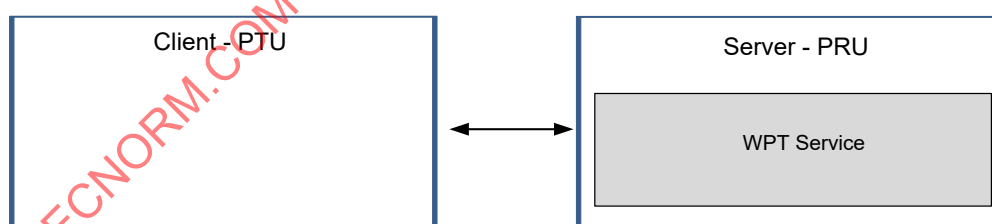
Sous-procédure GATT	Exigence
Découverte de tous les descripteurs de caractéristiques	M
Lecture de la valeur des caractéristiques	M
Ecriture avec réponse	M
Ecriture sans réponse	M
Notifications	M

9.4.2 Configuration

9.4.2.1 Rôles

La PRU doit être un serveur GATT pour le service de transfert d'énergie sans fil (WPT).

La PTU doit être un client GATT pour le service WPT. Voir Figure 16.



Anglais	Français
Server – PRU	Serveur – PRU
WPT Service	Service WPT

Figure 16 – Communication des services/caractéristiques de la PTU/PRU

NOTE Les services normaux et WPT et les caractéristiques associées sont définis dans le Tableau 17.

9.4.2.2 Limitations et restrictions de simultanéité

Ce profil n'impose aucune limitation ou restriction de simultanéité pour les rôles de PRU et de PTU.

9.4.2.3 Limitations et restrictions de topologie

La PRU doit mettre en œuvre le rôle de périphérique GAP.

La PTU doit mettre en œuvre le rôle central GAP.

9.4.2.4 Dépendances de transport

Ce profil ne doit fonctionner que sur un transport Bluetooth faible énergie (BLE).

9.4.2.5 Codes d'erreur

Ce service ne définit aucun code d'erreur d'application de protocole d'attribut.

9.4.2.6 Ordre de transmission des octets

Tous les champs de données multioctets utilisés avec ce service doivent être envoyés avec l'octet le moins significatif en premier (c'est-à-dire Little Endian). Les valeurs de champs à plusieurs caractères doivent être envoyées en tant que champs d'octets individuels. Les structures telles que les caractéristiques GATT incluses dans le présent document sont transmises dans l'ordre, où elles apparaissent de haut en bas et de gauche à droite.

9.4.3 Exigences relatives à la PRU

9.4.3.1 Introduction aux exigences de la PRU

La PRU doit instancier un et un seul service WPT.

Le service WPT doit être instancié en tant que service principal.

Le service d'information de dispositif Bluetooth n'est pas associé à ce profil. Les informations spécifiques à la capacité WPT du dispositif PRU, notamment la caractéristique Paramètre statique de la PRU définie en 9.5.6.3, sont indépendantes de toute mise en œuvre du service d'information de dispositif Bluetooth.

9.4.3.2 Caractéristique Nom de dispositif GAP inscriptible

La PRU peut prendre en charge la propriété d'écriture pour la caractéristique Nom de dispositif afin de permettre à la PTU d'écrire un nom de dispositif dans la PRU.

9.4.4 Exigences relatives à la PTU

9.4.4.1 Introduction aux exigences de la PTU

La PTU doit découvrir et utiliser le service WPT de la PRU. Le service d'information de dispositif Bluetooth n'est pas associé à ce profil. Les informations spécifiques à la capacité WPT du dispositif PTU, notamment les versions matérielles et micrologicielles, sont contenues dans la caractéristique Paramètre statique de la PTU définie en 9.5.5.3 et sont indépendantes de toute mise en œuvre du service d'information de dispositif Bluetooth.

9.4.4.2 Découverte des services et caractéristiques

La PTU découvre les caractéristiques et le service WPT de la PRU à l'aide des données du service WPT figurant dans la charge utile d'annonce de la PRU qui contient le descripteur du service principal GATT. La charge utile d'annonce est définie au 9.5.2. Le descripteur du service principal GATT, ainsi que les décalages de descripteur définis en 9.5.3.3, est utilisé pour découvrir l'ensemble des caractéristiques et descripteurs du service.

La PTU peut effectuer la découverte de services en utilisant la sous-procédure GATT *Découverte de tous les services principaux* ou la sous-procédure GATT *Découverte des services principaux par UUID de service* et la découverte de caractéristiques en utilisant la sous-procédure GATT *Découverte de caractéristiques par UUID* ou la sous-procédure GATT *Découverte de toutes les caractéristiques d'un service*. Ces procédures peuvent être utilisées à tout moment, excepté lors de l'enregistrement. Ces procédures peuvent être utilisées en réponse à l'indication de changement de service ou pour découvrir des services autres que le service WPT pris en charge par la PRU.

9.4.5 Etablissement de la connexion

9.4.5.1 Introduction à l'établissement de la connexion

Le 9.4.5 décrit les procédures de découverte de PRU, d'établissement de connexion et de fin de connexion utilisées par une PRU et une PTU.

9.4.5.2 Etablissement d'une connexion à la PRU

9.4.5.2.1 Procédure de connexion pour les dispositifs non liés

Cette procédure est utilisée pour l'établissement d'une connexion lorsque la PTU se connecte à une PRU à laquelle elle n'est pas liée. Cette procédure est automatique et n'est pas déclenchée par l'utilisateur.

La PRU doit passer en *mode de découverte limitée GAP* en utilisant des paquets Undirected Advertising (ADV_IND) pour la découverte et la connexion. La découverte de PRU est utilisée pour identifier un dispositif PRU auprès de la PTU et pour recevoir les données d'annonce spécifiques d'un service WPT.

Les données d'annonce de la PRU doivent contenir une charge utile d'annonce telle que définie en 9.5.2.

La PRU doit utiliser le niveau 1 du mode de sécurité 1 lors de la connexion à un dispositif non lié. Si une connexion n'est pas établie dans le délai défini par la PRU, la PRU peut quitter le mode connectable GAP et attendre le prochain signal de balise.

9.4.5.2.2 Procédure de connexion de la PRU pour les dispositifs liés

Cette procédure s'applique lorsque la PRU s'est liée à la PTU à l'aide de la procédure de connexion définie au 9.3.7.

Il convient que la PRU utilise la valeur recommandée d'intervalle d'annonce indiquée en 9.3.7.

Une fois connectée, la PRU peut demander de remplacer les valeurs par les paramètres de connexion préférentiels les plus adaptés à son cas d'utilisation.

Si la PTU indique au cours du couplage que seul le niveau de sécurité 2 peut être obtenu, la PRU ne doit pas demander un niveau de sécurité autre que le niveau 2 en réponse à la demande de service de la PTU.

Si une connexion n'est pas établie dans le délai défini par la PRU, la PRU peut quitter le mode connectable GAP et attendre le prochain signal de balise.

9.4.5.2.3 Procédure de reconnexion de la liaison perdue

Lorsqu'une connexion est terminée, une PRU, si elle est alimentée par la PTU, doit tenter de se reconnecter à la PTU en entrant dans un mode connectable GAP selon la valeur d'intervalle d'annonce recommandée en 9.3.7. Si la PRU ne se reconnecte pas, elle peut apparaître comme un objet suspect auprès de la PTU.

9.4.5.2.4 Connexion inactive

La PRU doit effectuer la procédure de *fin de connexion GAP* si la PRU cesse d'être alimentée. La PRU ne doit déclencher la procédure de fin de connexion vers un hôte BLE à aucun moment si la PRU est alimentée par une PTU.

9.4.5.3 Etablissement d'une connexion de la PTU

9.4.5.3.1 Procédure de connexion pour les dispositifs non liés

Cette procédure est utilisée pour l'établissement d'une connexion lorsque la PTU se connecte à une PRU à laquelle elle n'est pas liée. Elle peut être déclenchée par l'intervention d'un utilisateur ou de façon autonome lorsqu'une PTU exige des données d'une PRU.

La PTU doit effectuer une analyse à l'aide de la procédure de *découverte limitée GAP* et effectuer une analyse active.

Une PTU doit utiliser la procédure *générale d'établissement d'une connexion GAP*. La PTU peut utiliser cette procédure lorsqu'elle exige des données d'une ou de plusieurs PRU. Cette procédure permet à une PTU de se connecter à une PRU qui a été découverte au cours d'une analyse sans utiliser la liste blanche.

Si une connexion n'est pas établie dans le délai défini par les exigences du contrôle de puissance (voir Article 8), la PTU peut changer d'état et interrompre l'analyse des nouveaux dispositifs.

9.4.5.3.2 Procédure de connexion de la PTU pour les dispositifs liés

Cette procédure s'applique lorsque la PTU s'est liée avec la PRU à l'aide de la procédure de connexion autonome définie au 9.4.5.3.1.

Une PTU peut utiliser l'une des procédures de connexion GAP suivantes selon ses exigences de connectivité.

- a) Procédure générale d'établissement d'une connexion. La PTU peut utiliser cette procédure lorsqu'elle exige des paramètres dynamiques ou des notifications d'une ou de plusieurs PRU. Cette procédure permet à une PTU de se connecter à une PRU qui a été découverte au cours d'une analyse sans utiliser la liste blanche.
- b) Procédure sélective d'établissement d'une connexion. La PTU peut utiliser cette procédure lorsqu'elle exige des paramètres dynamiques ou des notifications d'une ou de plusieurs PRU. Cette procédure permet à une PTU de se connecter à une PRU qui a été découverte au cours d'une analyse en utilisant la liste blanche.
- c) Procédure directe d'établissement d'une connexion. La PTU peut utiliser cette procédure lorsqu'elle exige des données d'une seule PRU (ou d'une PRU spécifique). La PTU peut également utiliser cette procédure pour la reconnexion de la liaison perdue décrite au 9.4.5.3.3.
- d) Procédure automatique d'établissement d'une connexion. La PTU peut utiliser cette procédure lorsqu'elle exige des paramètres dynamiques ou des notifications d'une ou de plusieurs PRU. Cette procédure déclenche automatiquement la connexion à une PRU de la liste blanche.

Lorsqu'une connexion est établie alors que la PTU est à l'état de puissance faible de PTU, il convient que la PTU utilise la paire fenêtre d'analyse/intervalle d'analyse en continu pour tenter d'effectuer une connexion rapide. Lorsqu'une connexion est établie alors que la PTU est à l'état de transfert d'énergie de PTU, il convient que la PTU utilise une paire fenêtre d'analyse/intervalle d'analyse spécifique à la mise en œuvre pour tenter d'effectuer une connexion rapide.

Néanmoins, il convient que la PTU utilise une fenêtre d'analyse et un intervalle d'analyse adaptés à ses exigences de puissance et de temps de connexion. L'élargissement de la fenêtre d'analyse augmente la consommation d'énergie, mais réduit les temps de connexion.

Il convient que la PTU écrive l'adresse de la PRU cible dans sa liste blanche et qu'elle configure sa stratégie de filtre d'annonce du contrôleur sur "traiter uniquement les demandes d'analyse et de connexion des dispositifs figurant dans la liste blanche".

La PTU doit prendre en charge les niveaux 1 et 2 du mode de sécurité LE 1 indiqués dans la Spécification de base Bluetooth v4.0.

9.4.5.3.3 Procédure de reconnexion de la liaison perdue

Lorsqu'une connexion est terminée du fait d'une perte de liaison, une PTU doit tenter de se reconnecter à la PRU en émettant une demande de connexion après avoir détecté une annonce PRU comme indiqué en 9.4.5.2.1.

9.4.5.3.4 Connexion inactive

Si une connexion est inactive, la PTU peut effectuer la procédure de *fin de connexion GAP*. Une connexion inactive doit être déterminée si la PRU ne répond pas aux demandes de lecture de la PTU et que la PRU n'envoie pas d'alerte pendant plus de 1 s.

9.4.5.3.5 Intervalle de connexion rapide

La PTU doit mettre en œuvre un intervalle de connexion qui prend en charge la découverte rapide de services, la configuration rapide du chiffrement et l'aptitude à recevoir une caractéristique Paramètre dynamique de toutes les PRU dans un délai de 250 ms.

9.4.6 Considérations relatives à la sécurité

9.4.6.1 Introduction aux considérations relatives à la sécurité

Le 9.4.6 décrit les procédures de sécurité utilisées par une PRU et une PTU.

9.4.6.2 Considérations relatives à la sécurité de la PRU

Toutes les caractéristiques prises en charge spécifiées par le service WPT doivent être configurées sur le mode de sécurité 1; il convient de les configurer sur le niveau de sécurité 1 (aucune sécurité) ou 2 (couplage non authentifié avec chiffrement).

La PRU doit utiliser la procédure de *demande de sécurité esclave SM* pour transmettre ses exigences de sécurité à la PTU.

9.4.6.3 Considérations relatives à la sécurité de la PTU

La PTU peut être liée à la PRU.

La PTU doit accepter toute demande de la PRU concernant le niveau 1 ou 2 du mode de sécurité LE 1.

9.4.7 Charge complète

La prise en charge du mode Charge complète, Mode déconnecté par la PTU est obligatoire. De même, la prise en charge du mode Charge complète, Mode déconnecté par la PRU est obligatoire. Une PTU peut prendre en charge le mode Charge complète, Mode connecté. Une PRU peut également indiquer la prise en charge du mode Charge complète, Mode connecté dans la caractéristique Paramètre statique de la PRU.

Les PRU doivent indiquer Charge complète = 1 si elles n'exigent pas une charge par la PTU. Lorsque toutes les PRU d'une PTU indiquent Charge complète = 1, la PTU doit passer à l'état d'économie d'énergie de PTU conformément au 8.2.9.7.

Avant de passer à l'état d'économie d'énergie de PTU:

- la PTU doit indiquer à la PRU de désactiver sa sortie de charge en définissant le bit Activer la sortie PRU du champ Activations sur "0" dans la caractéristique Contrôle de PRU;
- la PTU doit effectuer la procédure de fin de connexion GAP avec l'ensemble des PRU qui ne prennent pas en charge le mode Charge complète, Mode connecté; et
- la PTU peut maintenir une connexion BLE établie avec les PRU qui prennent en charge le mode Charge complète, Mode connecté. Lorsque la PTU se trouve à l'état d'économie d'énergie de PTU, elle peut augmenter l'intervalle de connexion pour économiser davantage d'énergie.

Après une indication Charge complète = 1, la PRU doit passer à l'état d'amorçage de PRU (voir 8.3.7.4).

9.5 Caractéristiques du service WPT

9.5.1 Introduction aux caractéristiques du service WPT

La PRU doit prendre en charge l'écriture des caractéristiques Contrôle de PRU et Paramètre statique de la PTU par la PTU et la configuration de la caractéristique Alerte de la PTU par la PTU pour les notifications et éventuellement les indications (sous réserve de la prise en charge de la fonction Transition de mode).

La PTU doit prendre en charge la lecture des caractéristiques Paramètre statique de la PRU et Paramètre dynamique de la PRU ainsi que la configuration de la caractéristique Alerte PRU pour les notifications et éventuellement les indications (selon la prise en charge de la fonction Transition de mode).

Comme décrit ailleurs dans le présent document, la PRU et la PTU doivent déterminer le contenu des caractéristiques en fonction du contenu des champs de validité des champs facultatifs de plusieurs caractéristiques.

Tous les bits et champs de caractéristique "réservés à un usage ultérieur" doivent être définis sur zéro par l'entité d'expédition et ignorés par l'entité de réception. Si la PTU ou la PRU reçoit une caractéristique qui inclut des octets supplémentaires non reconnus par la mise en œuvre, l'entité de réception doit ignorer ces bits et continuer de traiter la caractéristique normalement.

9.5.2 Charge utile d'annonce de la PRU

9.5.2.1 Introduction à la charge utile d'annonce de la PRU

Pour communiquer avec une PTU, la PRU doit utiliser le format de charge utile du paquet d'annonces défini dans le Tableau 14.

Tableau 14 – Charge utile d'annonce de la PRU

Type AD des fanions	Type AD des données de service			
Fanions	UUID à 16 bits du service WPT	Descripteur du service principal GATT	Paramètres RSSI de la PRU	Fanions ADV

Le champ Fanions doit utiliser le profil d'accès générique Bluetooth, le format de type des données d'annonce de fanion et indiquer:

- Mode de découverte limitée LE

Le type AD des données de service est utilisé pour indiquer des informations de service WPT spécifiques et doit utiliser le profil d'accès générique Bluetooth, avec le format Type AD des données de service. Les 16 premiers bits (après le champ de longueur de type AD) doivent contenir la valeur de l'UUID à 16 bits du service affecté à Bluetooth SIG, indiquée dans le Tableau 16.

Le champ Descripteur du service principal GATT est inclus dans le profil d'accès générique Bluetooth, type AD des données de service après le champ UUID à 16 bits du service et doit contenir le descripteur de l'attribut de la PRU pour le service principal WPT (voir Tableau 17). Toutes les valeurs de descripteur de caractéristiques locales de ce service doivent être organisées de façon séquentielle en commençant par (Descripteur du service principal GATT + 1) dans l'ordre des caractéristiques répertoriées dans le Tableau 17.

Le champ Paramètres RSSI de la PRU est inclus dans le profil d'accès générique Bluetooth, type AD des données de service après le champ Descripteur du service principal GATT et doit contenir la puissance de sortie de la PRU (PRU_Pwr) dans les bits 7 à 3 et le gain d'antenne de la PRU (PRU_Gain) dans les bits 2 à 0, s'ils sont connus par l'application PRU. S'ils ne sont pas connus par la PRU, l'application PRU doit s'assurer que tous les bits des champs de valeur inconnue sont configurés sur "1".

7:3	2:0
PRU_Pwr	PRU_Gain

La puissance de sortie de la PRU doit être codée comme suit:

- PRU_Pwr – 20 dBm = puissance de sortie de la PRU en dBm, ou
- PRU_Pwr = 11111b si la puissance de sortie n'est pas connue de la PRU

Le gain d'antenne à 3 bits de la PRU doit être codé comme suit:

- PRU_Gain – 5 dB = gain d'antenne de la PRU en dBi, ou
- PRU_Pwr = 111b si le gain d'antenne n'est pas connu de la PRU

Le champ Fanions ADV est inclus dans le profil d'accès générique Bluetooth, type AD des données de service après le champ Paramètres RSSI de la PRU; il doit contenir des informations spécifiques au système résonant AirFuel et doit utiliser le format de bit suivant:

7	6	5	4	3	2	1	0
Décalage d'impédance Bit 2	Décalage d'impédance Bit 1	Décalage d'impédance Bit 0	Bit de redémarrage	Statut OVP (facultatif)	Prise en charge du réglage de l'heure	RFU	RFU

- Bits 5 à 7 – Bits de décalage d'impédance
- Bit 4 – Bit de redémarrage ("0" = réinitialisation récente, "1" = perte de connexion sans réinitialisation)
- Bit 3 – Statut OVP (facultatif) – défini sur "0" s'il n'est pas utilisé ("0" = aucun OVP, "1" = OVP)
- Bit 2 – Prise en charge du réglage de l'heure ("0" = aucune prise en charge, "1" = prise en charge)