



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Power line communication systems for power utility applications –
Part 1: Planning of analogue and digital power line carrier systems operating
over EHV/HV/MV electricity grids**

**Systèmes de communication sur lignes d'énergie pour les applications des
compagnies d'électricité –
Partie 1: Conception des systèmes à courants porteurs de lignes d'énergie
analogiques et numériques fonctionnant sur des réseaux d'électricité
EHT/HT/MT**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XF

ICS 33.200

ISBN 978-2-83220-517-4

**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.....	11
2 Terms, definitions and abbreviations	11
2.1 Terms and definitions	11
2.2 Abbreviations	19
3 Power line communication systems	21
3.1 Introduction to PLC	21
3.2 PLC usage	21
3.3 PLC telecommunication system.....	22
3.4 Analogue and digital PLC systems (APLC & DPLC).....	23
3.4.1 APLC systems.....	23
3.4.2 DPLC systems.....	24
3.5 PLC modulation schemes	27
3.5.1 General	27
3.5.2 AM-SSB (Refer to Table 1).....	27
3.5.3 QAM (Refer to Table 1)	27
3.5.4 OFDM (Refer to Table 1)	28
3.5.5 Other modulation schemes	28
3.5.6 Echo cancellation	30
4 Frequency bands for PLC systems	31
4.1 Introduction to the characteristics of PLC systems for EHV, HV and MV networks.....	31
4.2 Frequency bands for power line systems.....	33
4.3 Channel plans	35
4.3.1 General	35
4.3.2 EHV/HV/MV narrowband PLC channel plan	35
4.3.3 MV/LV narrowband DLC channel plan.....	35
4.4 High frequency spectral characteristics	36
4.5 Regulation and emission limits for PLC	36
4.5.1 Extra high voltage, high voltage for narrowband systems.....	36
4.5.2 Medium voltage and low voltage narrowband systems.....	37
4.5.3 Medium voltage and low voltage broadband systems.....	37
4.6 Selection of the frequency bands for HV PLC systems	37
4.6.1 General	37
4.6.2 Maximum power of PLC signal.....	37
4.6.3 Channelling	38
4.6.4 Frequency allocation	38
4.6.5 Paralleling	39
5 Media for DPLC and APLC systems.....	39
5.1 General	39
5.2 The electricity grid.....	39
5.3 Extra and high voltage electricity power lines	40
5.4 Medium voltage electricity power lines.....	40
5.5 Electricity power lines as transmission media	41
5.5.1 Coupling system	41
5.5.2 Coupling configuration for overhead cables EHV/HV/MV	48

5.5.3	Connecting cable	50
5.6	Transmission parameters of electricity power line channel	51
5.6.1	General	51
5.6.2	Characteristic impedance of power line	51
5.6.3	Overall link attenuation	54
5.6.4	Channel frequency and impulsive response	62
5.6.5	Noise and interference	64
6	Planning DPLC and APLC links and networks	71
6.1	General	71
6.2	APLC link budget	72
6.3	DPLC link budget	76
6.4	Frequency plan	81
6.4.1	General	81
6.4.2	Links over the same HV line between two substations	81
6.4.3	Global frequency planning	82
6.4.4	Other considerations	82
6.5	Network planning	83
6.5.1	General	83
6.5.2	Redundancy	83
6.5.3	Integration with other transmission technologies	83
6.6	Introduction to Internet numbering	84
6.6.1	Internet protocol numbering	84
6.6.2	IP addresses	84
6.6.3	Private IP addresses	86
6.6.4	Subnetting	86
6.7	Security	89
6.8	Management system	89
7	Performance of PLC systems	89
7.1	System performance	89
7.2	APLC link layer performance	90
7.3	DPLC link layer performance	92
7.4	Bit error ratio (BER)	93
7.5	Transmission capacity	93
7.6	Slip	94
7.7	Phase jitter	94
7.8	Sync loss and recovery time	95
7.9	Link latency	95
7.10	IETF-RFC2544 Ethernet performance parameters	95
7.11	Bit error testing setup	96
7.12	Serial synchronous interface	96
7.13	Ethernet interface	96
7.14	Overall quality link performance	97
8	Applications carried over PLC systems	99
8.1	General	99
8.2	Telephony	99
8.3	Speech quality	100
8.3.1	General	100
8.3.2	Measuring intelligibility (clarity)	101
8.4	Analogue telephony	101

8.5	Digital telephony	101
8.6	VoIP applications	102
8.7	Data transmission.....	102
8.8	Internetworking.....	102
8.9	Telecontrol	102
8.9.1	IEC 60870-5-101 SCADA-RTU communication	102
8.9.2	IEC 60870-5-104 SCADA-RTU communication	102
8.9.3	Teleprotection	102
8.9.4	Teleprotection signal	103
Annex A (informative)	Environmental conditions	104
Annex B (informative)	Electromagnetic compatibility (EMC)	105
Annex C (informative)	HF modulated power signal	107
Annex D (informative)	Bandwidth efficiency	115
Annex E (informative)	Noise measurements.....	119
	Bibliography.....	121
Figure 1	– Smart grid vision	21
Figure 2	– Smart grid players.....	22
Figure 3	– Complex PLC telecommunication system	22
Figure 4	– PLC telecommunication link	23
Figure 5	– Typical structure of an APLC terminal equipment	24
Figure 6	– Typical structure of a DPLC terminal equipment	25
Figure 7	– APLC/DPLC terminal equipment structure	26
Figure 8	– APLC/DPLC link carrying telecontrol, teleprotection and telephony services	26
Figure 9	– Signal space for a 16-QAM constellation	27
Figure 10	– Echo cancellation method for a DPLC link	31
Figure 11	– APLC narrowband channel plan	35
Figure 12	– DLC narrowband channel plans Europe vs. North America	36
Figure 13	– Minimum frequency gap	38
Figure 14	– PLC communication system	39
Figure 15	– Capacitive coupling system	41
Figure 16	– PLC link exploiting inductive coupling system.....	42
Figure 17	– Principle of inductive coupling system	42
Figure 18	– EHV/HV typical coupling capacitor (CVT)	43
Figure 19	– EHV/HV typical capacitive coupling system (single phase to earth)	43
Figure 20	– MV capacitive coupling system.....	44
Figure 21	– MV coupling inductor.....	44
Figure 22	– Line trap electrical scheme.....	45
Figure 23	– HV line trap.....	45
Figure 24	– Line trap impedance versus frequency	45
Figure 25	– Blocking impedance characteristic of a narrowband line trap.....	46
Figure 26	– Blocking impedance characteristic of a double band line trap	46
Figure 27	– Blocking impedance characteristic of a broadband line trap.....	46
Figure 28	– LMU components and electric scheme	47

Figure 29 – LMU characteristics with a coupling capacitor of 4 000 pF.....	47
Figure 30 – Phase-to-earth coupling	48
Figure 31 – Phase-to-phase coupling.....	49
Figure 32 – GMR of conductor bundles	53
Figure 33 – Terminating network for a three-phase line.....	53
Figure 34 – Optimum coupling arrangements and modal conversion loss a_c	57
Figure 35 – Optimum phase to earth and phase to phase coupling arrangements	58
Figure 36 – Junctions of overhead lines with power cables	60
Figure 37 – EHV $H(f)$ and $h(t)$ typical channel response	63
Figure 38 – MV $H(f)$ and $h(t)$ typical channel response.....	63
Figure 39 – Attenuation versus frequency of a real HV power line channel.....	64
Figure 40 – Background noise	65
Figure 41 – Background noise over frequency	66
Figure 42 – Variations of the background noise spectrum over time.....	67
Figure 43 – Isolated pulse.....	67
Figure 44 – Transient pulse	68
Figure 45 – Periodic pulses.....	68
Figure 46 – Burst pulses	69
Figure 47 – APLC equipment architecture	72
Figure 48 – Example for a signal arrangement in two baseband channels	73
Figure 49 – DPLC equipment architecture.....	76
Figure 50 – Example for a DPLC channel arrangement.....	78
Figure 51 – Typical DPLC bandwidth efficiency for a BER of 10^{-6}	79
Figure 52 – HV line voltage ranges	80
Figure 53 – Example for DPLC system with automatic data rate adaptation	81
Figure 54 – Example of subnetting.....	87
Figure 55 – ISO/OSI reference model	90
Figure 56 – Limits for overall loss of the circuit relative to that at 1 020 Hz (ITU-T M.1020)	92
Figure 57 – Limits for group delay relative to the minimum measured group delay in the 500 Hz – 2 800 Hz band (ITU-T M.1020).....	92
Figure 58 – Some theoretical BER curves	93
Figure 59 – DPLC “C/SNR” characteristic in comparison to the Shannon limit efficiency for BER = 1E-4 and 1E-6 and Shannon limit.....	94
Figure 60 – Ethernet standard structure of frame format	97
Figure 61 – Example of unavailability determination (ITU-T G.826).....	98
Figure 62 – Example of the unavailable state of a bidirectional path (ITU-T G.826).....	98
Figure 63 – Quality performance estimation based on ITU-T G.821 and G.826	99
Figure 64 – Relationship between clarity, delay, and echo with regards to speech quality.....	100
Figure C.1 – Power concepts	107
Figure C.2 – Single tone	109
Figure C.3 – Two tones.....	110
Figure C.4 – Example of noise equivalent bands for different services	111

Figure C.5 – Noise equivalent band for different services.....	112
Figure D.1 – 8-PAM signal constellation.....	115
Figure D.2 – SNR gap of DPLC efficiency to Shannon limit	117
Figure D.3 – DPLC efficiency for BER = 10^{-4} and 10^{-6} and Shannon limit	118
Table 1 – Characteristics of DPLC modulation schemes	29
Table 2 – QAM and OFDM DPLC modulation scheme characteristics	29
Table 3 – Early power communications techniques and frequencies	33
Table 4 – Parameters of power communications systems	34
Table 5 – Frequency bands in power line communication systems	34
Table 6 – HF spectrum allocated for PLC systems	35
Table 7 – HF spectrum allocation for narrowband PLC.....	36
Table 8 – Range of characteristic impedances for PLC circuits on EHV/HV overhead lines.....	54
Table 9 – Additional loss a_{add} [dB] for various line configurations and optimum coupling arrangements.....	59
Table 10 – Typical power of corona noise power levels, referring to a 4 kHz bandwidth for various EHV/HV system voltages	66
Table 11 – Typical average impulse-type noise levels, measured at the HF-cable side of the coupling across 150 Ω in a bandwidth of 4 kHz	70
Table 12 – Signal parameters	74
Table 13 – Link budget	74
Table 14 – Signal and allowed noise levels at the receiver input	75
Table 15 – Typical corona noise levels for AC overhead lines	75
Table 16 – Possible solutions for the example of Figure 50.....	78
Table 17 – IP address definitions	85
Table 18 – Quality mask objectives (sample)	99
Table B.1 – Permitted conducted emissions on the mains port of class A equipment	105
Table B.2 – Permitted conducted emissions on the mains port of class B equipment	106

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER LINE COMMUNICATION SYSTEMS FOR POWER UTILITY APPLICATIONS –

Part 1: Planning of analogue and digital power line carrier systems operating over EHV/HV/MV electricity grids

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.

This International Standard has been prepared by IEC technical committee 57: Power systems management and associated information exchange.

This first edition of IEC 62488-1 cancels and replaces the relevant parts of IEC 60663 and IEC 60495, which will be withdrawn at a later date.

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

FDIS	Report on voting
57/1279/FDIS	57/1298/RVD

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

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

A list of all parts of IEC 62488 series, under the general title *Power line communication systems for power utility applications*, can be found on the IEC website.

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

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

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

INTRODUCTION

The complexity and extensive size of present-day electricity generation, transmission and distribution systems are such that it is possible to control them only by means of an associated and often equally large and complex telecommunication system having a high order of reliability.

The control of electrical networks and transmission and reception of data are through a combination of analogue and digital communication systems controlling devices and systems distributed throughout the electrical network.

The emergence of digital communication systems for controlling the devices of the electrical distribution network enables faster data transmission. The ability to represent the various electrical parameters as an analogue signal and or digital signal ensures the quality and quantitative aspects of seamless communication to be maintained throughout the electrical power network.

Therefore, by using either analogue power line communication (APLC) or digital power line communication (DPLC) or a combination of both types of system, seamless efficient communication may be maintained throughout the power network.

The development of digital techniques for communications in the electrical distribution networks is now very widespread along with other applications in electronics. This is especially relevant for the electrical distribution network where many of the devices have built into them analogue to digital converters, together with digital signal processing enabling them to perform many functions and offer fast seamless communication. The conversion of the analogue signal into a binary signal requires the binary digits to be formed into a code for the transmission of the information. These codes take different forms to represent the information to be transmitted. However, the main advantage for this is that digital signals compared with analogue signals provide for virtually error free transmission and the minimum errors that do arise may be detected and corrected by using suitable data encoding techniques. Further, digital transmission circuits generally are compatible with the digital devices in the communications circuit. The most commonly used multiplex systems are frequency division multiplex (FDM) and time division multiplex (TDM).

The development of the technical report “Planning of power line carrier systems” was first produced by the International Electrotechnical Commission through publication IEC 60663 in 1980 entitled Planning of (single sideband) power line carrier systems. In 1993, the International Electrotechnical Commission produced IEC 60495 “Single sideband power-line carrier terminals”. In the intervening years, electronic systems and the associated communications systems for electronic devices evolved and developed considerably. The introduction of digital transmission and reception techniques improved the quality of transmission and reception within electronic devices, enabling them to provide more detailed quality analysis and control of the data being communicated throughout the electricity distribution network, from control centre to service provider.

Both of these standards, IEC 60663 and IEC 60495, are being updated and replaced by the following: IEC 60663 is replaced by IEC 62488-1 and IEC 60495 is replaced by IEC 62488-2, IEC 62488-3, IEC 62488-4, covering respectively analogue, digital power line carrier and broadband power line terminals.

The first part of this series is IEC 62488-1. Following this standard, parts IEC 62488-2, IEC 62488-3, IEC 62488-4 will follow. During the development of the above mentioned standards, the existing standards IEC 60663 and IEC 60495 will be maintained in use. They will be subsequently phased out at a date to be agreed by the International Electrotechnical Commission in conjunction with IEC technical committee 57.

These international standards apply to power line carrier (PLC) terminals used to transmit information over power networks including extra high, high and medium voltage (EHV/HV/MV) power lines. Both analogue and digital modulation systems will be included.

IEC 62488 series consists of the following parts under the general title: Power line communication systems for power utility applications:

- Part 1: Planning of analogue and digital power line carrier systems operating over EHV/HV/MV electricity grids;
- Part 2: Analogue power line terminals or APLC;
- Part 3: Digital power line carrier terminals or DPLC;
- Part 4: Broadband power line systems or BPL.

POWER LINE COMMUNICATION SYSTEMS FOR POWER UTILITY APPLICATIONS –

Part 1: Planning of analogue and digital power line carrier systems operating over EHV/HV/MV electricity grids

1 Scope

This part of IEC 62488 applies to the planning of analogue and digital power line carrier systems operating over EHV/HV/MV electricity grids. The object of this standard is to establish the planning of the services and performance parameters for the operational requirements to transmit and receive data efficiently over Power Networks.

The transmission media used by the different electricity supply industries will include analogue and digital systems together with more common communication services including national telecommunications authorities, radio links and fibre optic networks and satellite networks. With the developments in communication infrastructures over the last two decades and the ability of devices connected in the electricity communications network to internally and externally communicate, there is a variety of architectures to use in the electricity distribution network to provide efficient seamless communications.

These series of standards for the planning of power line carrier systems will also be an integral part of the development of the overall architecture, standard IEC 61850 developed within IEC TC57 which provides the fundamental architecture for the formation of the smart grid.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	129
INTRODUCTION.....	131
1 Domaine d'application	133
2 Termes, définitions et abréviations	133
2.1 Termes et définitions	133
2.2 Abréviations	141
3 Systèmes de communication sur lignes d'énergie	144
3.1 Présentation du CPL	144
3.2 Utilisation du CPL.....	144
3.3 Système de télécommunication CPL.....	145
3.4 Systèmes CPL analogiques et numériques (APLC et DPLC).....	147
3.4.1 Systèmes APLC.....	147
3.4.2 Systèmes DPLC	149
3.5 Schémas de modulation CPL.....	154
3.5.1 Généralités.....	154
3.5.2 AM-SSB (Voir Tableau 1)	154
3.5.3 QAM (Voir Tableau 1).....	154
3.5.4 OFDM (Voir Tableau 1).....	155
3.5.5 Autres schémas de modulation	156
3.5.6 Suppression d'écho	157
4 Bandes de fréquences pour systèmes CPL.....	158
4.1 Présentation des caractéristiques des systèmes CPL pour réseaux EHT, HT et MT.....	158
4.2 Bandes de fréquences pour systèmes sur lignes d'énergie	161
4.3 Plans de canaux.....	163
4.3.1 Généralités.....	163
4.3.2 Plan de canaux CPL à bande étroite EHT/HT/MT	163
4.3.3 Plan de disposition des canaux DLC à bande étroite MT/BT	164
4.4 Caractéristiques spectrales hautes fréquences.....	165
4.5 Réglementation et limites d'émission pour CPL	165
4.5.1 Extra haute tension, haute tension pour systèmes à bande étroite.....	165
4.5.2 Systèmes à bande étroite moyenne tension et basse tension	165
4.5.3 Systèmes à bande large moyenne tension et basse tension	165
4.6 Sélection des bandes de fréquences pour systèmes CPL HT	165
4.6.1 Généralités.....	165
4.6.2 Puissance maximale du signal CPL	165
4.6.3 Disposition des canaux.....	166
4.6.4 Allocation des fréquences.....	167
4.6.5 Mise en parallèle	167
5 Supports pour systèmes DPLC et APLC	168
5.1 Généralités.....	168
5.2 Le réseau d'électricité	169
5.3 Lignes électriques extra et haute tension.....	169
5.4 Lignes électriques moyenne tension.....	170
5.5 Lignes électriques comme support de transmission	170
5.5.1 Système de couplage	170

5.5.2	Configuration de couplage pour câbles aériens EHT/HT/MT	179
5.5.3	Câble de raccordement.....	182
5.6	Paramètres de transmission du canal sur lignes électriques	182
5.6.1	Généralités.....	182
5.6.2	Impédance caractéristique de la ligne d'énergie	183
5.6.3	Atténuation de la liaison générale.....	187
5.6.4	Fréquence et réponse impulsionnelle des canaux.....	195
5.6.5	Bruit et perturbations	196
6	Conception de liaisons et réseaux DPLC et APLC	204
6.1	Généralités.....	204
6.2	Bilan de liaison APLC	205
6.3	Bilan de liaison DPLC.....	210
6.4	Plan de fréquences	216
6.4.1	Généralités.....	216
6.4.2	Liaisons sur la même ligne HT entre deux sous-stations.....	217
6.4.3	Planification globale de fréquences	218
6.4.4	Autres considérations	218
6.5	Conception du réseau	219
6.5.1	Généralités.....	219
6.5.2	Redondance	219
6.5.3	Intégration avec d'autres technologies de transmission	219
6.6	Présentation de la numérotation Internet	219
6.6.1	Numérotation IP (Internet Protocol)	219
6.6.2	Adresses IP	220
6.6.3	Adresses IP privées.....	222
6.6.4	Utilisation des sous-réseaux	222
6.7	Sécurité.....	225
6.8	Système de gestion.....	225
7	Performances des systèmes CPL	225
7.1	Performances du système	225
7.2	Performances de la couche liaison APLC	227
7.3	Performances de la couche liaison DPLC	229
7.4	Taux d'erreurs sur bits (TEB).....	230
7.5	Capacité de transmission	231
7.6	Glissement	232
7.7	Gigue de phase.....	232
7.8	Perte de synchronisation et temps de rétablissement	232
7.9	Latence de liaison	233
7.10	Paramètres de performance Ethernet IETF- RFC2544.....	233
7.11	Configuration d'essai d'erreur sur les bits	234
7.12	Interface synchrone série	234
7.13	Interface Ethernet.....	234
7.14	Performances de qualité de la liaison globale.....	235
8	Applications effectuées sur les systèmes CPL	238
8.1	Généralités.....	238
8.2	Téléphonie	238
8.3	Qualité vocale	239
8.3.1	Généralités.....	239
8.3.2	Mesure d'intelligibilité (clarté).....	240

8.4	Téléphonie analogique	240
8.5	Téléphonie numérique	240
8.6	Applications VoIP	241
8.7	Émission de données	241
8.8	Raccordement de réseaux	241
8.9	Téléconduite	241
8.9.1	Communication SCADA-RTU CEI 60870-5-101	241
8.9.2	Communication SCADA-RTU CEI 60870-5-104	241
8.9.3	Téléprotection	242
8.9.4	Signal de téléprotection	242
Annexe A	(informative) Conditions d'environnement	243
Annexe B	(informative) Compatibilité électromagnétique (CEM)	244
Annexe C	(informative) Signal électrique modulé HF	246
Annexe D	(informative) Rendement de bande passante	254
Annexe E	(informative) Mesures de bruit	258
Bibliographie	260
Figure 1	– Vision du réseau intelligent	144
Figure 2	– Acteurs du réseau intelligent	145
Figure 3	– Système de télécommunication CPL complexe	146
Figure 4	– Liaison de télécommunication CPL	147
Figure 5	– Structure type d'un équipement terminal APLC	149
Figure 6	– Structure type d'un équipement terminal DPLC	151
Figure 7	– Structure d'un équipement terminal APLC/DPLC	152
Figure 8	– Liaison APLC/DPLC transportant des services de télécontrôle, téléprotection et téléphonie	153
Figure 9	– Espace des signaux pour une constellation 16-QAM	155
Figure 10	– Méthode de suppression d'écho pour une liaison DPLC	158
Figure 11	– Plan de disposition des canaux à bande étroite APLC	164
Figure 12	– Plans de disposition des canaux DLC à bande étroite, en Europe et en Amérique du Nord	165
Figure 13	– Écart de fréquence minimum	167
Figure 14	– Système de communication CPL	168
Figure 15	– Système de couplage capacitif	170
Figure 16	– Liaison CPL exploitant le système de couplage inductif	171
Figure 17	– Principe du système de couplage inductif	171
Figure 18	– Condensateur de couplage typique EHT/HT (CVT)	172
Figure 19	– Système de couplage capacitif typique EHT/HT (courant monophasé à la terre)	173
Figure 20	– Système de couplage capacitif MT	173
Figure 21	– Inductance de couplage MT	174
Figure 22	– Schéma électrique d'un circuit-bouchon	174
Figure 23	– Circuit-bouchon HT	175
Figure 24	– Impédance du circuit-bouchon en fonction de la fréquence	175
Figure 25	– Caractéristique d'impédance de blocage d'un circuit-bouchon à bande étroite	176

Figure 26 – Caractéristique d'impédance de blocage d'un circuit-bouchon à double bande	176
Figure 27 – Caractéristique d'impédance de blocage d'un circuit-bouchon à bande large	177
Figure 28 – Composants de la LMU et schéma électrique	178
Figure 29 – Caractéristiques de la LMU avec un condensateur de couplage de 4 000 pF	178
Figure 30 – Couplage phase-terre	180
Figure 31 – Couplage phase-phase	180
Figure 32 – GMR des faisceaux de conducteurs	185
Figure 33 – Réseau de terminaison pour une ligne triphasée	186
Figure 34 – Agencements de couplage optimaux et perte de conversion modale a_c	189
Figure 35 – Agencements de couplage phase-terre et phase-phase optimaux	190
Figure 36 – Raccordements de lignes aériennes à des câbles d'alimentation	192
Figure 37 – Réponse de canal type $H(f)$ et $h(t)$ de l'EHT	195
Figure 38 – Réponse de canal type $H(f)$ et $h(t)$ de la MT	196
Figure 39 – Atténuation en fonction de la fréquence pour un canal sur ligne d'énergie HT réel	196
Figure 40 – Bruit de fond	198
Figure 41 – Bruit de fond en fonction de la fréquence	200
Figure 42 – Variations du spectre de bruit de fond en fonction du temps	200
Figure 43 – Impulsion isolée	201
Figure 44 – Impulsion transitoire	201
Figure 45 – Impulsions périodiques	202
Figure 46 – Impulsions en salves	202
Figure 47 – Architecture des équipements APLC	206
Figure 48 – Exemple d'une configuration de signal dans deux canaux de bande de base	208
Figure 49 – Architecture des équipements DPLC	211
Figure 50 – Exemple de configuration de canal DPLC	213
Figure 51 – Rendement de bande passante DPLC type pour un TEB de 10^{-6}	214
Figure 52 – Gammes de tension des lignes HT	215
Figure 53 – Exemple pour un système DPLC avec adaptation automatique du débit de données	216
Figure 54 – Exemple d'utilisation de sous-réseaux	223
Figure 55 – Modèle de référence ISO/OSI	226
Figure 56 – Limites de perte totale du circuit par rapport à celle à 1020 Hz (UIT-T M.1020)	229
Figure 57 – Limites pour le retard de groupe par rapport au retard de groupe minimal mesuré dans la bande de 500 Hz à 2800 Hz (UIT-T M.1020)	229
Figure 58 – Quelques courbes de TEB théoriques	230
Figure 59 – DPLC Caractéristique "C/SNR" DPLC comparée au rendement limite de Shannon pour TEB = $1E-4$ et $1E-6$ et limite de Shannon	231
Figure 60 – Structure normalisée Ethernet du format des trames	235
Figure 61 – Exemple de détermination d'indisponibilité (UIT-T G.826)	236
Figure 62 – Exemple de l'état indisponible d'un trajet bidirectionnel (UIT-T G.826)	237

Figure 63 – Estimation de qualité de performance basée sur UIT-T G.821 et G.826.....	237
Figure 64 – Relation entre clarté, retard et écho concernant la qualité vocale.....	239
Figure C.1 – Concepts de puissance.....	246
Figure C.2 – Tonalité unique.....	248
Figure C.3 – Deux tonalités.....	249
Figure C.4 – Exemple de bandes équivalentes de bruit pour différents services.....	250
Figure C.5 – Bande équivalente de bruit pour différents services.....	251
Figure D.1 – Constellation de signal 8-PAM.....	254
Figure D.2 – Intervalle de SNR de rendement DPLC à la limite de Shannon.....	256
Figure D.3 – Rendement DPLC pour $TEB = 10^{-4}$ et 10^{-6} et limite de Shannon.....	257
Tableau 1 – Caractéristiques des schémas de modulation DPLC.....	156
Tableau 2 – Caractéristiques des schémas de modulation CPL QAM et OFDM.....	157
Tableau 3 – Premières techniques et fréquences pour la communication sur lignes d'énergie.....	161
Tableau 4 – Paramètres des systèmes de communication sur lignes d'énergie.....	162
Tableau 5 – Bandes de fréquences dans les systèmes de communication sur lignes d'énergie.....	162
Tableau 6 – Spectre HF alloué aux systèmes CPL.....	163
Tableau 7 – Spectre HF alloué aux systèmes CPL à bande étroite.....	164
Tableau 8 – Gamme des impédances caractéristiques des circuits CPL sur lignes aériennes EHT/HT.....	186
Tableau 9 – Perte supplémentaire a_{SUP} [dB] pour différentes configurations de ligne et agencements de couplage optimaux.....	191
Tableau 10 – Valeur type des niveaux de puissance de bruit d'effet couronne, rapportée à une bande passante de 4 kHz pour diverses tensions de systèmes EHT/HT.....	199
Tableau 11 – Niveaux de bruit de type impulsionnel moyens types, mesurés côté câble HF du couplage aux bornes de 150Ω dans une bande passante de 4 kHz.....	203
Tableau 12 – Paramètres des signaux.....	208
Tableau 13 – Bilan de liaison.....	209
Tableau 14 – Niveaux de signal et de bruit admissibles à l'entrée du récepteur.....	209
Tableau 15 – Niveaux de bruit d'effet couronne types pour les lignes CA aériennes.....	210
Tableau 16 – Solutions possibles pour l'exemple de la Figure 50.....	213
Tableau 17 – Définitions des adresses IP.....	221
Tableau 18 – Objectifs du masque de qualité (échantillon).....	238
Tableau B.1 – Emissions conduites autorisées sur le port secteur de l'équipement de classe A.....	244
Tableau B.2 – Emissions conduites autorisées sur le port secteur de l'équipement de classe B.....	245

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES DE COMMUNICATION SUR LIGNES D'ÉNERGIE POUR LES APPLICATIONS DES COMPAGNIES D'ÉLECTRICITÉ –

Partie 1: Conception des systèmes à courants porteurs de lignes d'énergie analogiques et numériques fonctionnant sur des réseaux d'électricité EHT/HT/MT

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 présente Norme internationale a été élaborée par le comité d'études 57 de la CEI: Gestion des systèmes de puissance et échanges d'informations associés.

Cette première édition de la CEI 62488-1 annule et remplace les parties concernées des CEI 60663 et CEI 60495 , qui seront retirées à l'avenir.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
57/1279/FDIS	57/1298/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62488, présentées sous le titre général *Systèmes de communication sur lignes d'énergie pour les applications des compagnies d'électricité*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

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

INTRODUCTION

La complexité et la taille importante des systèmes actuels de génération, de transmission et de distribution d'électricité sont telles qu'il est possible de contrôler ces systèmes uniquement au moyen d'un système de télécommunication associé, souvent également étendu et complexe, présentant une fiabilité très élevée.

Le contrôle des réseaux électriques et l'émission et la réception de données s'effectuent au moyen d'une combinaison de systèmes de communication analogiques et numériques qui contrôlent les dispositifs et systèmes répartis sur le réseau électrique.

L'émergence de systèmes de communication numériques pour contrôler les dispositifs du réseau de distribution électrique permet une transmission plus rapide des données. La capacité à représenter les divers paramètres électriques sous forme de signal analogique et/ou de signal numérique garantit les aspects qualitatifs et quantitatifs d'une communication sans raccord à maintenir dans le réseau électrique.

Par conséquent, à l'aide d'une communication sur lignes d'énergie analogiques (APLC) ou d'une communication sur lignes d'énergie numériques (DPLC), ou d'une combinaison de deux types de système, on peut maintenir une communication efficace sans raccord sur l'ensemble du réseau électrique.

Le développement de techniques numériques pour les communications dans les réseaux de distribution électrique est maintenant très répandu, ainsi que d'autres applications du domaine de l'électronique. Ceci est particulièrement intéressant pour le réseau de distribution électrique, dans lequel de nombreux dispositifs comportent des convertisseurs analogiques-numériques intégrés, et pour le traitement de signaux numériques leur permettant d'effectuer de nombreuses fonctions et d'offrir une communication quasiment sans raccord. La conversion du signal analogique en un signal binaire nécessite de coder les chiffres binaires pour la transmission des informations. Ces codes revêtent différentes formes représentant les informations à transmettre. Cependant, le principal avantage en est que les signaux numériques, contrairement aux signaux analogiques, permettent une transmission quasiment dépourvue d'erreur, et que des techniques de codage de données appropriées peuvent détecter et corriger les erreurs minimes qui se produisent. De plus, les circuits de transmission numériques sont généralement compatibles avec les dispositifs numériques du circuit de communication. Les systèmes de multiplexage les plus couramment utilisés sont le multiplexage par répartition de la fréquence (FDM) et le multiplexage par répartition dans le temps (TDM).

Le rapport technique sur la conception des systèmes à courants porteurs sur lignes d'énergie a d'abord été élaboré par la Commission Électrotechnique Internationale dans la CEI 60663 de 1980 intitulée "Conception des systèmes à courants porteurs de lignes d'énergie (à bande latérale unique)". En 1993, la Commission Électrotechnique Internationale a élaboré la CEI 60495, "Équipements terminaux à courants porteurs de lignes d'énergie à bande latérale unique". Dans les années qui ont suivi, les systèmes électroniques et les systèmes de communication associés pour dispositifs électroniques ont évolué et se sont considérablement développés. L'introduction de techniques d'émission et de réception numériques a amélioré la qualité de l'émission et de la réception dans les dispositifs électroniques, leur permettant de fournir une analyse de la qualité plus détaillée et un contrôle des données communiquées sur l'ensemble du réseau de distribution de l'énergie électrique, du centre de commande au fournisseur de service.

Ces deux normes, CEI 60663 et CEI 60495, ont été mises à jour et remplacées par les normes suivantes. La CEI 60663 est remplacée par la CEI 62488-1, et la CEI 60495 est remplacée par les CEI 62488-2, CEI 62488-3, CEI 62488-4 couvrant les équipements terminaux à courants porteurs sur, respectivement, lignes d'énergie analogiques, numériques et à bande large.

La première partie de la présente série est la CEI 62488-1. Les parties CEI 62488-2, CEI 62488-3, CEI 62488-4 feront suite à la présente norme. Au cours du développement des normes mentionnées ci-dessus, les normes existantes CEI 60663 et CEI 60495 continueront d'être utilisées. Elles seront ensuite éliminées à une date à définir par la Commission Électrotechnique Internationale en relation avec le comité d'études 57.

Ces normes internationales s'appliquent aux équipements terminaux à courants porteurs de lignes d'énergie (CPL) utilisés pour transmettre des informations sur les réseaux électriques, ce qui englobe les lignes d'énergie Extra Haute, Haute et Moyenne Tension (EHT/HT/MT). Les systèmes de modulation analogiques et numériques y sont inclus.

La série CEI 62488 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: Systèmes de communication sur lignes d'énergie pour les applications des compagnies d'électricité:

- Partie 1: Conception des systèmes à courants porteurs de lignes d'énergie analogiques et numériques fonctionnant sur des réseaux d'électricité EHT/HT/MT;
- Partie 2: Équipements terminaux sur lignes d'énergie analogiques ou APLC;
- Partie 3: Équipements terminaux sur lignes d'énergie numériques ou DPLC;
- Partie 4: Systèmes sur lignes d'énergie à large bande ou BPL.

SYSTÈMES DE COMMUNICATION SUR LIGNES D'ÉNERGIE POUR LES APPLICATIONS DES COMPAGNIES D'ÉLECTRICITÉ –

Partie 1: Conception des systèmes à courants porteurs de lignes d'énergie analogiques et numériques fonctionnant sur des réseaux d'électricité EHT/HT/MT

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62488 s'applique à la conception des systèmes à courants porteurs de lignes d'énergie analogiques et numériques fonctionnant sur des réseaux d'électricité EHT/HT/MT. Elle a pour objet de définir la conception des services et des paramètres de performance relatifs aux exigences opérationnelles en matière d'émission et de réception efficace des données sur les réseaux électriques.

Le support de transmission utilisé par les différentes compagnies d'électricité comprend des systèmes analogiques et numériques accompagnés de services de communication plus courants, tels que les autorités de télécommunications nationales, les liaisons radio, les réseaux à fibres optiques et les réseaux par satellite. Grâce aux développements des infrastructures de communication au cours des deux dernières décennies et à la capacité des dispositifs connectés au réseau de communication électriques à communiquer en interne et en externe, il existe une grande variété d'architectures utilisables dans le réseau de distribution d'électricité pour fournir des communications sans raccord efficaces.

Ces séries de normes pour la conception des systèmes à courants porteurs de lignes d'énergie feront également partie intégrante du développement de l'architecture générale, la CEI 61850 développée par le comité d'études 57 de la CEI qui définit l'architecture fondamentale pour la formation du réseau électrique intelligent.