IEC 60255-187-1

Edition 1.0 2021-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Measuring relays and protection equipment – Part 187-1: Functional requirements for differential protection – Restrained and unrestrained differential protection of motors, generators and transformers

Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 187-1: Exigences fonctionnelles pour la protection différentielle – Protection différentielle avec et sans caractéristique de retenue des moteurs, générateurs et transformateurs

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 29.120.70

ISBN 978-2-8322-1003-9

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 11
1 Scope 13
2 Normative references 14
3 Terms and definitions 14
4 Specification of the function 18
4.1 General 18
4.2 Input energizing quantities/energizing quantities 19
4.2.1 General 19
4.2.2 Connections 19
4.3 Binary input signals 19
4.4 Functional logic 22
4.4.1 General 22
4.4.2 Phase biased differential protection 22
4.4.3 Biased restricted earth fault protection 24
4.4.4 Compensation of energizing quantities 25
4.4.5 Additional restraint or blocking methods 26
4.5 Binary output signals 27
4.5.1 General 27
4.5.2 Start (pick-up) signals 27
4.5.3 Operate (trip) signals 27
4.5.4 Other output signals 27
4.6 Additional influencing functions and conditions 27
4.6.1 General 27
4.6.2 Operation during CT saturation 28
4.6.3 Switch onto fault 28
4.6.4 Energizing quantity failure (CT supervision) 28
4.6.5 Off-nominal frequency operation 28
4.6.6 Geomagnetically induced currents (GIC) 28
5 Performance specification 29
5.1 General 29
5.2 Effective and operating ranges 29
5.3 Steady state accuracy tests in the effective range 29
5.3.1 General 29
5.3.2 Test related to the declared thermal withstand current 30
5.3.3 Basic characteristic accuracy 30
5.3.4 Ratio compensation accuracy 30
5.3.5 Phase (vector) compensation validity 31
5.3.6 Zero sequence compensation validity 31
5.3.7 Harmonic restraint basic accuracy 31
5.3.8 Basic accuracy of time delay settings 31
5.3.9 Disengage time 31
5.4 Dynamic performance in operating range 32
5.4.1 General 32
5.4.2 Typical operate time 32
5.4.3 Relay stability for external faults 32
5.4.4 Relay behaviour for internal fault preceded by an external fault 33
5.5 Stability during magnetizing inrush conditions 33

5.6 Stability during overexcitation conditions 33
5.7 Presence of harmonics on load 33
5.8 Performance during saturation of current transformers 33
5.9 Behaviour of differential protection with digital interface for the energizing quantities 34
6 Functional tests 34
6.1 General 34
6.2 Test related to the declared thermal withstand current 35
6.3 Steady state accuracy tests in effective range 35
6.3.1 General 35
6.3.2 Basic characteristic accuracy 37
6.3.3 Ratio (magnitude) compensation accuracy 44
6.3.4 Phase (vector) compensation validity 45
6.3.5 Zero sequence compensation validity 47
6.3.6 Harmonic restraint basic accuracy test under steady state conditions at nominal frequency 50
6.3.7 Accuracy related to time delay setting 52
6.3.8 Determination and reporting of the disengage time 54
6.4 Dynamic performance tests 55
6.4.1 General 55
6.4.2 Operate time for double infeed network model (restrained operation) 57
6.4.3 Operate time for double infeed network model (unrestrained operation) 68
6.4.4 Operate time for radial single infeed network model (restrained operation) 73
6.4.5 Operate time for radial single infeed network model (unrestrained operation) 86
6.4.6 Reporting of typical operate time 89
6.4.7 Stability for external faults 95
6.5 Relay behaviour for internal fault preceded by an external fault 112
6.5.1 General 112
6.5.2 Application specific considerations: transformer differential 112
6.5.3 Application specific considerations: biased restricted earth fault 115
6.5.4 Application specific considerations: generator differential 119
6.5.5 Reporting 122
6.6 Stability during inrush conditions 123
6.6.1 General 123
6.6.2 Application specific considerations: transformer differential 123
6.7 Stability during overexcitation conditions 128
6.7.1 General 128
6.7.2 Application specific considerations: transformer differential 128
6.8 Performance with load harmonics 133
6.8.1 General 133
6.8.2 Application specific considerations: transformer differential 133
6.8.3 Application specific considerations: generator or motor differential 137
6.8.4 Application specific considerations: biased restricted earth fault 140
6.8.5 Reporting 142
7 Documentation requirements 143
7.1 Type test report 143
7.2 Other user documentation 143

Annex A (informative) Examples of phase (vector) compensation and zero sequence compensation schemes 144
A.1 General 144
A.2 Y→d conversion 145
A.2.1 Current conversion 145
A.2.2 Three-phase fault at Y (star/wye) side 146
A.2.3 Phase-phase fault at Y (star/wye) side 147
A.2.4 Single-phase fault at Y (star/wye) side 147
A.2.5 Three-phase fault at delta side 148
A.2.6 Phase-phase fault at delta side 149
A.2.7 Single-phase fault at delta side 149
A.2.8 Ratio between start currents under different fault types 152
A.3 d→Y conversion 152
A.3.1 Current conversion 152
A.3.2 Three-phase fault at Y (star/wye) side 153
A.3.3 Phase-phase fault at Y (star/wye) side 153
A.3.4 Single-phase fault at Y (star/wye) side 153
A.3.5 Three-phase fault at delta side 154
A.3.6 Phase-phase fault at delta side 154
A.3.7 Single-phase fault at delta side 155
A.3.8 Ratio between start currents under different fault types 155
Annex B (normative) Calculation of mean, median and mode 156
B.1 Mean 156
B.2 Median 156
B.3 Mode 156
B.4 Example 156
Annex C (normative) CT requirements 157
C.1 General 157
C.2 Transformer differential protection 161
C.2.1 General 161
C.2.2 Fault 1 161
C.2.3 Fault 2 162
C.2.4 Fault 3 162
C.3 Transformer restricted earth fault protection 163
C.3.1 General 163
C.3.2 Fault 1 163
C.3.3 Fault 2 164
C.3.4 Fault 3 164
C.4 Generator differential protection 165
C.4.1 General 165
C.4.2 Fault 2 165
C.4.3 Criteria and additional conditions 166
C.5 Motor differential protection 166
C.5.1 General 166
C.5.2 Fault 1 166
C.5.3 Criteria and additional conditions 166
C.5.4 Start of motor, security case 167
C.5.5 Criteria and additional conditions 167
C.6 Reporting 167

Annex D (informative) CT saturation and influence on the performance of differential relays 168
Annex E (informative) Guidance on dimensioning of CTs for transformer differential protection 173
E.1 General 173
E.2 Example 1 174
E.2.1 General 174
E.2.2 Verification of CT1 – Internal fault 175
E.2.3 Verification of CT1 – External fault 175
E.2.4 Verification of CT2 176
E.3 Example 2 177
E.3.1 General 177
E.3.2 Dimensioning of CT1 178
E.3.3 Dimensioning of CT2 179
Annex F (informative) Examples of test procedures to determine CT sizing requirements for differential protection 181
F.1 General 181
F.2 Test data 183
F.2.1 General 183
F.2.2 Network model for CT requirement tests for the transformer differential protection 183
F.2.3 Network model for CT requirement tests for the transformer restricted earth fault protection 187
F.3 CT data and CT models 189
F.4 Test summary 197
Annex G (normative) Ramping methods for testing basic characteristic accuracy 199
G.1 General 199
G.2 Pre-fault condition 199
G.3 Pseudo-continuous ramp 199
G.4 Ramp of shots 201
Annex H (informative) Example of COMTRADE file for an evolving fault test case 203
Annex I (normative) Definition of fault inception angle 204
Bibliography 205

Figure 1 – Explanatory diagram for start time, operate time and disengage time 17
Figure 2 – Simplified biased differential functional block diagram 18
Figure 3 – Primary current reference direction 21
Figure 4 – Typical restrained element (biased) characteristic 23
Figure 5 – Typical unrestrained element characteristic 23
Figure 6 – Example of combined characteristic using restrained and unrestrained elements 24
Figure 7 – Basic error of the operating characteristic 30
Figure 8 – Example of an operating characteristic in the I_{DIFF}/I_{REST} plane with a tolerance band 37
Figure 9 – Test cases for differential characteristic basic accuracy 39
Figure 10 – Example of a differential characteristic with test lines "a" to "h" 40
Figure 11 – Machine differential protection 40
Figure 12 – Test sequence for basic characteristic accuracy 42

Figure 13 – Machine restricted earth fault protection 43
Figure 14 – Example for documenting the test results for differential relay characteristic 44
Figure 15 – Ratio (magnitude) compensation accuracy test 45
Figure 16 – Secondary three-phase and double-phase injection for Winding 1 (example) 46
Figure 17 – Secondary single-phase and three-phase injections for Winding 1 (example) 48
Figure 18 – Zero sequence current injection on the Y side of the transformer 49
Figure 19 – Zero sequence current injection on the delta side of the transformer 49
Figure 20 – Example of a rated frequency harmonic restraint characteristic with visualization of test lines 52
Figure 21 – Sequence of events for testing the disengage time 54
Figure 22 – Double infeed network model for operate time tests 57
Figure 23 – Test sequence for double infeed network model – Restrained operation (transformer) 61
Figure 24 – Double infeed network model for operate time tests 62
Figure 25 – Test sequence for double infeed network model – Restrained operation (REF) 65
Figure 26 – Double infeed network model for operate time tests 66
Figure 27 – Test sequence for double infeed network model – Restrained operation (generator) 69
Figure 28 – Test sequence for double infeed network model – Unrestrained operation (transformer) 72
Figure 29 – Single infeed network model for operate time tests 73
Figure 30 – Test sequence radial single infeed network model – Restrained operation 77
Figure 31 – Single infeed network model for operate time tests 78
Figure 32 – Test sequence for radial single infeed network – Restrained operation (generator) 81
Figure 33 – Single infeed network model for operate time tests 82
Figure 34 – Test sequence for radial single infeed network – Restrained operation (motor) 85
Figure 35 – Test sequence for radial single infeed network – Unrestrained operation ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figure 36 – Example of distribution of the operate time for one application 92
Figure 37 – Operate time as a function of the off-nominal frequency values (effective range is the specified range of ±10 % of nominal frequency) 94
Figure 38 – Operate time as a function of the off-nominal frequency values (accuracy range beyond the specified range of ±10 % of nominal frequency 95
Figure 39 – Double infeed network model for stability tests 96
Figure 40 – Sequence of fault injection for stability due to external faults (transformer) 99
Figure 41 – Double infeed network model for stability tests 100
Figure 42 – Sequence of fault injection for stability due to external faults (REF) 103
Figure 43 – Double infeed network model for stability tests 104
Figure 44 – Sequence of fault injection for stability due to external faults (generator) 107
Figure 45 – Double infeed network model for stability tests 108
Figure 46 – Sequence of fault injection for stability due to external faults (motor) 111

Figure 47 – Double infeed network model for internal fault preceded by an external fault 112
Figure 48 – Double infeed network model for internal fault preceded by an external fault test 116
Figure 49 – Double infeed network model for internal fault preceded by an external fault test 119
Figure 50 – Power transformer inrush current waveform 124
Figure 51 – Comparison of waveforms 125
Figure 52 – Connection for the relay when current is injected from Y winding 126
Figure 53 – Connection for the relay when current is injected from delta winding 127
Figure 54 – Power transformer overexcitation current waveform injected from Y winding 129
Figure 55 – Overexcitation current waveform injected from delta winding 129
Figure 56 – Comparison of the waveforms injected from Y winding 130
Figure 57 – Comparison of the waveforms injected from delta winding 131
Figure 58 – Three-phase overexcitation current waveform injected from Y winding 132
Figure 59 – Three-phase overexcitation current waveform injected from delta winding 133
Figure 60 – Test with superimposed harmonics on load – Transformer protection 133
Figure 61 – Three-phase load current waveform on the Y side of the transformer with superimposed harmonics 137
Figure 62 – Three-phase load current waveforms on the delta side of the YNd1 transformer with superimposed harmonics 137
Figure 63 – Test with superimposed harmonics on load 138
Figure 64 – Test with superimposed harmonics on load – Restricted earth fault protection . 140
Figure A.1 – Example of a transformer 144
Figure A.2 – Current vectors 145
Figure A.3 – Three-phase injection at Y (star/wye) side 147
Figure A.4 – Phase-phase injection at Y (star/wye) side 147
Figure A.5 – Single-phase injection at Y (star/wye) side 148
Figure A.6 – Three-phase injection at delta side 149
Figure A.7 – Phase-phase injection at delta side 149
Figure A.8 – Internal single-phase fault at delta side with neutral grounding transformer in the system 150
Figure A.9 – Single-phase injection at delta side 150
Figure A.10 – External single-phase fault at delta side with neutral grounding transformer inside protected zone 151
Figure C.1 – Fault positions to be considered for specifying the CT requirements 160
Figure C.2 – Fault positions to be considered for transformer differential protection 161
Figure C.3 – Fault positions to be considered for the restricted earth fault protection 163
Figure C.4 – External fault position to be considered for the generator differential protection 165
Figure C.5 – Internal fault position to be considered for the motor differential protection 166
Figure D.1 – Fault positions to be considered for specifying the CT requirements 170
Figure D.2 – Additional fault position to be considered in case of summation of currents 170
Figure E.1 – Transformer differential relay example 1 174
Figure E.2 – Transformer differential relay example 2 177
Figure F.1 – Network models and fault positions for transformer differential protection 184

Figure F.2 – Network models and fault positions for transformer restricted earth fault protection 187
Figure F.3 – Excitation characteristic for the high-remanence basic CT 191
Figure F.4 – Magnetization curve for the high-remanence type basic CT 193
Figure F.5 – Secondary current at the limit of saturation caused by the AC component with no remanent flux in the CT 194
Figure F.6 – Secondary current in case of maximum DC offset 194
Figure F.7 – Excitation characteristics for non-remanence and high-remanence type basic CTs 196
Figure F.8 – Magnetization curve for non-remanence type basic CTs 197
Figure G.1 – Secondary injected currents for the simulation of a through load of 30 % 200
Figure G.2 – Pseudo-continuous ramp in the restraining current – Differential current plane in the time domain 201
Figure G.3 – Ramp of shots showing differential step change and the time step 202
Figure G.4 – Ramp of shots with binary search algorithm 202
Figure I.1 – Graphical definition of fault inception angle 204

Table 1 – Example of effective and operating ranges of differential protection 29
Table 2 – Frequencies for steady state accuracy tests when the frequency effective range is equal to ±5 % of nominal frequency 36
Table 3 – Frequencies for steady state accuracy tests when the frequency effective range is larger than ±5 % of nominal frequency 36
Table 4 – Example frequencies for steady state accuracy tests when the frequency effective range is narrower than ±5 % of nominal frequency 36
Table 5 – Test points for differential characteristic basic accuracy 38
Table 6 – Test lines on the differential characteristic (Figure 10) 39
Table 7 – Basic characteristic accuracy 43
Table 8 – Example of start ratios resulting from phase (vector) compensation 47
Table 9 – Example of start ratios resulting from zero sequence compensation 50
Table 10 – Test points for rated frequency harmonic restraint 51
Table 11 – Reporting example of test results for harmonic restraint basic accuracy test 52
Table 12 – Results of time delay tests 53
Table 13 – Reported time delay 53
Table 14 – Results of disengage time for all the tests 55
Table 15 – Frequencies for dynamic performance tests when the frequency operating range is equal to ±10 % of nominal frequency 55
Table 16 – Frequencies for dynamic performance tests when the frequency operating range is wider than ±10 % of nominal frequency 55
Table 17 – Example frequencies for dynamic performance tests when the frequency operating range is narrower than ±10 % of nominal frequency 56
Table 18 – Double infeed network model 58
Table 19 – Source impedances for double infeed network model – Restrained operation (e.g. 50 Hz ± 10 % operating range) 59
Table 20 – Double infeed network model 62
Table 21 – Source impedances for double infeed network model – Restrained operation (e.g. 50 Hz ± 10 % operating range) 63
Table 22 – Double infeed network model 66

Table 23 – Source impedances for double infeed network model – Restrained operation (e.g. 50 Hz ± 10 % operating range) 67
Table 24 – Source impedances for double infeed network model – Unrestrained operation (e.g. 60 Hz ± 10 % operating range) 70
Table 25 – Single infeed network model 74
Table 26 – Source impedances for radial single infeed network model – Restrained operation (e.g. 50 Hz ± 10 % operating range) 74
Table 27 – Single infeed network model 78
Table 28 – Source impedances for radial single infeed network model – Restrained operation (e.g. 50 Hz ± 10 % operating range) 79
Table 29 – Single infeed network model 82
Table 30 – Source impedances for radial single infeed network model – Restrained operation (e.g. 50 Hz ± 10 % operating range) 83
Table 31 – Source impedances for radial single infeed network model – Unrestrained operation (e.g. 60 Hz ± 10 % operating range) 86
Table 32 – Fault statistics for typical operate time of transformer protection (nominal frequency only) 89
Table 33 – Fault statistics for typical operate time of biased restricted earth fault protection (nominal frequency only) 90
Table 34 – Fault statistics for typical operate time of generator protection (nominal frequency only) 90
Table 35 – Fault statistics for typical operate time of motor protection (nominal frequency only) 90
Table 36 – Operate time classes 91
Table 37 – Corresponding operate time classes 91
Table 38 – Number of operate times and percentage 92
Table 39 – Example of typical operate time at nominal frequency (mode, median, mean) 93
Table 40 – Examples of operate times (50 Hz nominal, CT configuration 500 A/1 A and 1 000 A/1 A, power transformer protection) 94
Table 41 – Double infeed network model 96
Table 42 – Source impedances for double infeed network model stability tests (e.g. 50 Hz ± 10 % operating range) 97
Table 43 – Double infeed network model 100
Table 44 – Source impedances for double infeed network model stability tests (e.g. 50 Hz ± 10 % operating range) 101
Table 45 – Double infeed network model 104
Table 46 – Source impedances for double infeed network model stability tests (e.g. 50 Hz ± 10 % operating range) 105
Table 47 – Double infeed network model 108
Table 48 – Source impedances for double infeed network model stability tests (e.g. 50 Hz ± 10 % operating range) 109
Table 49 – Double infeed network model 113
Table 50 – Source impedances, fault resistances and pre-fault conditions for internal fault preceded by an external fault (e.g. for 50 Hz power system frequency) 113
Table 51 – Double infeed network model 116
Table 52 – Source impedances, fault resistances and pre-fault conditions for internal fault preceded by an external fault tests (e.g. for 50 Hz power system frequency) 117
Table 53 – Double infeed network model 120

Table 54 – Source impedances, fault resistances and pre-fault conditions for internal fault preceded by an external fault tests (e.g. for 50 Hz power system frequency) 120
Table 55 – Operate time for internal fault preceded by an external fault and for internal fault when the relay always operated 122
Table 56 – Operate time for internal fault preceded by an external fault and for internal fault when the relay did not always operate 123
Table 57 – Coefficients of the inrush current waveforms 124
Table 58 – Nameplate data for test-transformers 125
Table 59 – Parameter k values 125
Table 60 – Coefficient of the overexcitation waveforms 130
Table 61 – Test data for the transformer 131
Table 62 – Transformer data for the superimposed harmonics on load test 134
Table 63 – Fundamental component of load current in pu 134
Table 64 – Harmonic content for superimposed harmonics on load test 134
Table 65 – Harmonic phase angles for superimposed harmonics on load test 134
Table 66 – Generator or motor data for the superimposed harmonics on load test 138
Table 67 – Harmonic phase angles for superimposed harmonics on load test 139
Table 68 – Transformer data for the superimposed harmonics on load test 141
Table 69 – Harmonic phase angles for superimposed harmonics on load test 141
Table A.1 – Transformer data 144
Table A.2 – Start currents under different fault types 152
Table A.3 – Start currents under different fault types 155
Table C.1 – Levels of remanent or remaining flux to be considered for external faults 159
Table C.2 – Levels of remanent or remaining flux to be considered for external faults when the difference of size between the CTs is limited 159
Table E.1 – Fault currents 174
Table E.2 – Fault currents 177
Table F.1 – Specification of test cases for the transformer differential protection – Internal and external faults with one saturated CT 185
Table F.2 – Specification of test cases for the transformer differential protection – External faults with two saturated CTs 186
Table F.3 – Example time constants with corresponding R/X ratios 186
Table F.4 – Specification of test cases for the transformer restricted earth fault protection – Internal and external faults with one saturated CT 188
Table F.5 – Specification of test cases for the transformer restricted earth fault protection – External faults with two saturated CTs 188
Table F.6 – Excitation characteristic data for the high-remanence basic CT 190
Table F.7 – Magnetization curve data for the high-remanence type basic CT 193
Table F.8 – Excitation characteristic data for the non-remanence type basic CT 196
Table F.9 – Magnetization curve data for non-remanence type CT 197
Table G.1 – Restraining and differential currents for different definitions of the restraining current 200
Table I.1 – Fault type and reference voltage 204

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

MEASURING RELAYS AND PROTECTION EQUIPMENT –

Part 187-1: Functional requirements for differential protection – Restrained and unrestrained differential protection of motors, generators and transformers

FOREWORD

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

IEC 60255-187-1 has been prepared by IEC technical committee 95: Measuring relays and protection equipment. It is an International Standard.

This document, together with IEC 60255-187-2 and IEC 60255-187-3, cancels and replaces IEC 60255-13. This document constitutes a technical revision.

This document includes the following significant technical changes with respect to IEC 60255-13:

a) IEC 60255-13 has been significantly revised to follow the common structure of the functional standards for protection relays (IEC 60255-1xx series). IEC 60255-187-1 has been developed to address the restrained and unrestrained differential protection of motors, generators and transformers. The revisions include detailed description of the functions including the performance specification, testing and documentation requirements.

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

FDIS	Report on voting
95/465/FDIS	95/471/RVD

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

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

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

This International Standard contains attached files in COMTRADE file format. Configuration file: IEC 60255-187-1_External_Internal_YY0_50 Hz_4 kHz.CFG and data file: IEC 60255-187-1_External_Internal_YY0_50 Hz_4 kHz.DAT. These files are intended to be used as a complement and do not form an integral part of the document.

A list of all parts in the IEC 60255 series, published under the general title *Measuring relays and protection equipment*, can be found on the IEC website.

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

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

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document 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.

MEASURING RELAYS AND PROTECTION EQUIPMENT –

Part 187-1: Functional requirements for differential protection – Restrained and unrestrained differential protection of motors, generators and transformers

1 Scope

This part of IEC 60255 specifies the minimum requirements for functional and performance evaluation of (longitudinal) differential protection designed for the detection of faults in ac motors, generators and transformers. This document also defines how to document and publish performance test results.

This document covers the differential protection function whose operating characteristic can be defined on a bias-differential plane. It includes specification of the protection function, measurement characteristics, compensation of energizing quantities, additional restraint or blocking methods (for overexcitation and magnetizing inrush), starting and time delay characteristics. This document also covers unrestrained differential protection functions traditionally combined with the restrained (biased) differential element to form a single differential relay.

This document defines the influencing factors that affect the accuracy under steady state conditions and performance characteristics during dynamic conditions. The test methodologies for verifying performance characteristics and accuracy are also included in this document.

This document also includes current transformer requirements for the protection functions.

The differential protection functions covered by this document are as follows:

	IEEE/ANSI C37.2 function numbers	IEC 61850-7-4 logical nodes
Transformer differential	87T	PDIF
Motor differential	87M	PDIF
Generator differential	87G	PDIF
Restricted earth fault (ground differential)	87N	PDIF
Inrush restraint or inrush blocking		PHAR
Overexcitation restraint or overexcitation blocking		PHAR

This document does not specify the functional description of additional features often associated with biased differential relays such as current transformer (CT) supervision (CTS), switch onto fault (SOTF) and detection of geo-magnetically induced currents (GIC).

This document does not cover differential relays designed for bus bar protection (including high impedance differential protection and low impedance differential protection) or line protection. Additionally, this document does not explicitly cover generator incomplete longitudinal differential protection, generator split-phase transverse differential protection, self-balancing or magnetic balanced protection scheme, differential protection of phase-shifting transformers, directional restricted earth fault protection, railway transformers, convertor transformers and reactors. However, the principles covered by this document can be extended to provide guidance on these applications.

The general requirements for measuring relays and protection equipment are defined in IEC 60255-1.

2 Normative references

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

IEC 60255-1, *Measuring relays and protection equipment – Part 1: Common requirements*

IEC 61850-8-1, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 8-1: Specific communication service mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3*

IEC 61869-2, *Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers*

IEC 61869-9, *Instrument transformers – Part 9: Digital interface for instrument transformers*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 217
1 Domaine d'application 219
2 Références normatives 220
3 Termes et définitions 220
4 Spécification de la fonction 224
4.1 Généralités 224
4.2 Grandeurs d'entrée 225
4.2.1 Généralités 225
4.2.2 Connexions 225
4.3 Signaux d'entrée binaires 226
4.4 Logique fonctionnelle 228
4.4.1 Généralités 228
4.4.2 Protection différentielle à polarisation de phase 228
4.4.3 Protection contre la terre restreinte polarisée 230
4.4.4 Compensation des grandeurs d'entrée 231
4.4.5 Méthodes de retenue ou de blocage supplémentaires 232
4.5 Signaux de sortie binaires 233
4.5.1 Généralités 233
4.5.2 Signaux de démarrage 233
4.5.3 Signaux de fonctionnement (déclenchement) 233
4.5.4 Autres signaux de sortie 233
4.6 Fonctions et conditions d'influence supplémentaires 234
4.6.1 Généralités 234
4.6.2 Fonctionnement pendant la saturation du TC 234
4.6.3 Enclenchement sur défaut 234
4.6.4 Défaut de grandeur d'entrée (supervision du TC) 234
4.6.5 Fonctionnement à fréquence non nominale 234
4.6.6 Courants induits géomagnétiquement (GIC) 235
5 Spécifications des performances 235
5.1 Généralités 235
5.2 Domaines de précision et de fonctionnement 235
5.3 Essais de précision en régime établi dans le domaine de précision 236
5.3.1 Généralités 236
5.3.2 Essai relatif au courant de tenue thermique déclaré 236
5.3.3 Précision de base de la caractéristique 236
5.3.4 Précision de la compensation du rapport d'amplitude 237
5.3.5 Validité de la compensation de phase (vecteur) 237
5.3.6 Validité de la compensation homopolaire 237
5.3.7 Précision de base de la retenue des harmoniques 238
5.3.8 Précision de base des réglages de la temporisation 238
5.3.9 Temps de dégagement 238
5.4 Performance dynamique dans le domaine de fonctionnement 238
5.4.1 Généralités 238
5.4.2 Temps de fonctionnement typique 239
5.4.3 Stabilité du relais pour les défauts externes 239
5.4.4 Comportement du relais en cas de défaut interne précédé d'un défaut externe 239

5.5 Stabilité dans des conditions de courant d'appel magnétisant 239
5.6 Stabilité dans des conditions de surexcitation 240
5.7 Présence d'harmoniques dans le courant de charge 240
5.8 Performances pendant la saturation des transformateurs de courant 240
5.9 Comportement d'une protection différentielle avec interface numérique pour les grandeurs d'entrée 240
6 Essais fonctionnels 241
6.1 Généralités 241
6.2 Essai relatif au courant de tenue thermique déclaré 241
6.3 Essais de précision en régime établi dans le domaine de précision 242
6.3.1 Généralités 242
6.3.2 Précision de base de la caractéristique 243
6.3.3 Précision de la compensation du rapport d'amplitude 251
6.3.4 Validité de la compensation de phase (vecteur) 252
6.3.5 Validité de la compensation homopolaire 254
6.3.6 Essai de précision de base de retenue des harmoniques en état stable à la fréquence nominale 257
6.3.7 Précision liée au réglage de la temporisation 259
6.3.8 Détermination et rapport du temps de dégagement 261
6.4 Essais de performance dynamique 262
6.4.1 Généralités 262
6.4.2 Temps de fonctionnement du modèle de réseau avec deux sources d'alimentation (fonctionnement avec caractéristique de retenue) 264
6.4.3 Temps de fonctionnement du modèle de réseau avec deux sources d'alimentation (fonctionnement sans caractéristique de retenue) 277
6.4.4 Temps de fonctionnement du modèle de réseau radial avec une source d'alimentation unique (fonctionnement avec caractéristique de retenue) 282
6.4.5 Temps de fonctionnement du modèle de réseau radial avec une source d'alimentation unique (fonctionnement sans caractéristique de retenue) 295
6.4.6 Rapport des temps de fonctionnement typiques 298
6.4.7 Stabilité pour les défauts externes 304
6.5 Comportement du relais en cas de défaut interne précédé d'un défaut externe 321
6.5.1 Généralités 321
6.5.2 Considérations spécifiques à l'application: différentielle transformateur 321
6.5.3 Considérations spécifiques à l'application: terre restreinte polarisée 324
6.5.4 Considérations spécifiques à l'application: différentielle générateur 328
6.5.5 Rapport 331
6.6 Stabilité pendant les conditions de courant d'appel 332
6.6.1 Généralités 332
6.6.2 Considérations spécifiques à l'application: différentielle transformateur 332
6.7 Stabilité dans des conditions de surexcitation 337
6.7.1 Généralités 337
6.7.2 Considérations spécifiques à l'application: différentielle transformateur 337
6.8 Performance avec les harmoniques dans le courant de charge 342
6.8.1 Généralités 342
6.8.2 Considérations spécifiques à l'application: différentielle transformateur 342
6.8.3 Considérations spécifiques à l'application: différentielle générateur ou moteur 346
6.8.4 Considérations spécifiques à l'application: terre restreinte polarisée 349

6.8.5 Rapport 352
7 Exigences en matière de documentation 352
7.1 Rapport d'essai de type 352
7.2 Autre documentation utilisateur 352
Annexe A (informative) Exemples de schémas de compensation de phase (vecteur) et de compensation homopolaire 354
A.1 Généralités 354
A.2 Conversion Y→d 355
A.2.1 Conversion du courant 355
A.2.2 Défaut triphasé du côté Y (en étoile) 356
A.2.3 Défaut entre phases du côté Y (en étoile) 357
A.2.4 Défaut monophasé du côté Y (en étoile) 357
A.2.5 Défaut triphasé du côté delta 358
A.2.6 Défaut entre phases du côté delta 359
A.2.7 Défaut monophasé du côté delta 359
A.2.8 Rapport entre les courants de démarrage sous différents types de défauts 362
A.3 Conversion d→Y 362
A.3.1 Conversion du courant 362
A.3.2 Défaut triphasé du côté Y (en étoile) 363
A.3.3 Défaut entre phases du côté Y (en étoile) 363
A.3.4 Défaut monophasé du côté Y (en étoile) 363
A.3.5 Défaut triphasé du côté delta 364
A.3.6 Défaut entre phases du côté delta 364
A.3.7 Défaut monophasé du côté delta 365
A.3.8 Rapport entre les courants de démarrage sous différents types de défauts 365
Annexe B (normative) Calcul de la moyenne, de la médiane et du mode 367
B.1 Moyenne 367
B.2 Médiane 367
B.3 Mode 367
B.4 Exemple 367
Annexe C (normative) Exigences relatives aux TC 368
C.1 Généralités 368
C.2 Protection différentielle du transformateur 373
C.2.1 Généralités 373
C.2.2 Défaut 1 373
C.2.3 Défaut 2 374
C.2.4 Défaut 3 374
C.3 Protection contre la terre restreinte du transformateur 375
C.3.1 Généralités 375
C.3.2 Défaut 1 375
C.3.3 Défaut 2 376
C.3.4 Défaut 3 376
C.4 Protection différentielle du générateur 377
C.4.1 Généralités 377
C.4.2 Défaut 2 377
C.4.3 Critères et conditions supplémentaires 378
C.5 Protection différentielle du moteur 378

C.5.1 Généralités 378
C.5.2 Défaut 1 378
C.5.3 Critères et conditions supplémentaires 378
C.5.4 Démarrage du moteur, étude de sécurité 379
C.5.5 Critères et conditions supplémentaires 379
C.6 Rapport 379
Annexe D (informative) Saturation des TC et influence sur les performances des relais différentiels 380
Annexe E (informative) Recommandations relatives au dimensionnement des TC pour la protection différentielle des transformateurs 386
E.1 Généralités 386
E.2 Exemple 1 387
E.2.1 Généralités 387
E.2.2 Vérification du TC1 – Défaut interne 388
E.2.3 Vérification du TC1 – Défaut externe 389
E.2.4 Vérification du TC2 389
E.3 Exemple 2 390
E.3.1 Généralités 390
E.3.2 Dimensionnement du TC1 391
E.3.3 Dimensionnement du TC2 392
Annexe F (informative) Exemples de procédures d'essai pour déterminer les exigences de dimensionnement des TC pour la protection différentielle 394
F.1 Généralités 394
F.2 Données d'essai 396
F.2.1 Généralités 396
F.2.2 Modèle de réseau pour les essais d'exigences de TC pour la protection différentielle du transformateur 396
F.2.3 Modèle de réseau pour les essais d'exigence de TC pour la protection contre la terre restreinte du transformateur 400
F.3 Données du TC et modèles de TC 402
F.4 Résumé des essais 410
Annexe G (normative) Méthodes de rampe pour soumettre à l'essai la précision de base de la caractéristique 412
G.1 Généralités 412
G.2 Condition de prédéfaut 412
G.3 Rampe pseudo-continue 412
G.4 Rampe d'injections unitaires 414
Annexe H (informative) Exemple de fichier COMTRADE pour un cas d'essai de défaut évolutif 416
Annexe I (normative) Définition de l'angle d'apparition du défaut 417
Bibliographie 418

Figure 1 – Diagramme explicatif du temps de démarrage, du temps de fonctionnement et du temps de dégagement 223
Figure 2 – Diagramme fonctionnel différentiel avec caractéristique de retenue simplifié 224
Figure 3 – Direction de référence du courant primaire 227
Figure 4 – Caractéristique typique d'un élément avec caractéristique de retenue (polarisé) 229
Figure 5 – Caractéristique typique d'un élément sans caractéristique de retenue 229

Figure 6 – Exemple de caractéristique combinée utilisant des éléments avec et sans caractéristique de retenue 230
Figure 7 – Erreur de base de la caractéristique de fonctionnement 237
Figure 8 – Exemple d'une caractéristique de fonctionnement dans le plan I_{DIFF}/I_{REST} avec une bande de tolérance 244
Figure 9 – Cas d'essai pour la précision de base de la caractéristique différentielle 246
Figure 10 – Exemple de caractéristique différentielle avec les lignes d'essai "a" à "h" 247
Figure 11 – Protection différentielle de machine 247
Figure 12 – Séquence d'essai pour la précision de base de la caractéristique 249
Figure 13 – Protection contre la terre restreinte de la machine 250
Figure 14 – Exemple de documentation des résultats d'essai pour la caractéristique de relais différentiel 251
Figure 15 – Essais de précision de la compensation du rapport d'amplitude 252
Figure 16 – Injection secondaire triphasée et biphasée pour l'enroulement 1 (exemple) 253
Figure 17 – Injections secondaires monophasées et triphasées pour l'enroulement 1 (exemple) 255
Figure 18 – Injection de courant homopolaire du côté Y du transformateur 256
Figure 19 – Injection de courant homopolaire du côté delta du transformateur 256
Figure 20 – Exemple de caractéristique de retenue des harmoniques à la fréquence assignée avec visualisation des lignes d'essai 259
Figure 21 – Séquence des événements pour l'essai du temps de dégagement 261
Figure 22 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation pour les essais de temps de fonctionnement 265
Figure 23 – Séquence d'essai pour le modèle de réseau avec deux sources d'alimentation – Fonctionnement avec caractéristique de retenue (transformateur) 268
Figure 24 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation pour les essais de temps de fonctionnement 269
Figure 25 – Séquence d'essai du modèle de réseau avec deux sources d'alimentation – Fonctionnement avec caractéristique de retenue (REF) 273
Figure 26 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation pour les essais de temps de fonctionnement 274
Figure 27 – Séquence d'essai du modèle de réseau avec deux sources d'alimentation – Fonctionnement avec caractéristique de retenue (générateur) 278
Figure 28 – Séquence d'essai du modèle de réseau avec deux sources d'alimentation – Fonctionnement sans caractéristique de retenue (transformateur) 281
Figure 29 – Modèle de réseau avec une source d'alimentation unique pour les essais de temps de fonctionnement 282
Figure 30 – Séquence d'essai du modèle de réseau radial avec une source d'alimentation unique – Fonctionnement avec caractéristique de retenue 286
Figure 31 – Modèle de réseau avec une source d'alimentation unique pour les essais de temps de fonctionnement 287
Figure 32 – Séquence d'essai du réseau radial avec une source d'alimentation unique – Fonctionnement avec caractéristique de retenue (générateur) 290
Figure 33 – Modèle de réseau avec une source d'alimentation unique pour les essais de temps de fonctionnement 291
Figure 34 – Séquence d'essai du réseau radial avec une source d'alimentation unique – Fonctionnement avec caractéristique de retenue (moteur) 294
Figure 35 – Séquence d'essai pour le réseau radial avec une source d'alimentation unique – Fonctionnement sans caractéristique de retenue ..... **Error! Bookmark not defined.**

Figure 36 – Exemple de distribution du temps de fonctionnement d'une application 301
Figure 37 – Temps de fonctionnement en fonction des valeurs de la fréquence non nominale (le domaine de précision est le domaine spécifié de ±10 % de la fréquence nominale) 303
Figure 38 – Temps de fonctionnement en fonction des valeurs de fréquence non nominale (domaine de précision au-delà du domaine spécifié de ±10 % de la fréquence nominale) 304
Figure 39 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation pour les essais de stabilité 305
Figure 40 – Séquence d'injection de défaut pour la stabilité due à des défauts externes (transformateur) 308
Figure 41 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation pour les essais de stabilité 309
Figure 42 – Séquence d'injection de défaut pour la stabilité due à des défauts externes (REF) 312
Figure 43 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation pour les essais de stabilité 313
Figure 44 – Séquence d'injection de défaut pour la stabilité due à des défauts externes (générateur) 316
Figure 45 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation pour les essais de stabilité 317
Figure 46 – Séquence d'injection de défaut pour la stabilité due à des défauts externes (moteur) 320
Figure 47 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation pour un défaut interne précédé d'un défaut externe 321
Figure 48 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation pour l'essai de défaut interne précédé d'un défaut externe 325
Figure 49 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation pour un essai de défaut interne précédé d'un défaut externe 328
Figure 50 – Forme d'onde du courant d'appel du transformateur de puissance 333
Figure 51 – Comparaison des formes d'onde 334
Figure 52 – Connexion du relais lorsque le courant est injecté par l'enroulement Y 335
Figure 53 – Connexion du relais lorsque le courant est injecté par l'enroulement en triangle 336
Figure 54 – Forme d'onde du courant de surexcitation du transformateur de puissance injecté par l'enroulement Y 338
Figure 55 – Forme d'onde du courant de surexcitation injecté par l'enroulement en triangle 338
Figure 56 – Comparaison des formes d'onde injectées par l'enroulement Y 339
Figure 57 – Comparaison des formes d'onde injectées par l'enroulement en triangle 340
Figure 58 – Forme d'onde du courant triphasé de surexcitation injecté par l'enroulement Y 341
Figure 59 – Forme d'onde du courant triphasé de surexcitation injecté par l'enroulement en triangle 342
Figure 60 – Essai avec harmoniques superposées au courant de charge – Protection du transformateur 342
Figure 61 – Forme d'onde du courant de charge triphasé du côté Y du transformateur avec harmoniques superposées 346
Figure 62 – Formes d'onde du courant de charge triphasé du côté delta du transformateur YNd1 avec harmoniques superposées 346

Figure 63 – Essai avec harmoniques superposées au courant de charge 347
Figure 64 – Essai avec harmoniques superposées au courant de charge – Protection de terre restreinte 349
Figure A.1 – Exemple de transformateur 354
Figure A.2 – Vecteurs de courant 355
Figure A.3 – Injection triphasée du côté Y (en étoile) 357
Figure A.4 – Injection entre phases du côté Y (en étoile) 357
Figure A.5 – Injection monophasée du côté Y (en étoile) 358
Figure A.6 – Injection triphasée du côté delta 358
Figure A.7 – Injection entre phases du côté delta 359
Figure A.8 – Défaut interne monophasé du côté delta avec un transformateur de mise à la terre du neutre dans le système 360
Figure A.9 – Injection monophasée du côté delta 360
Figure A.10 – Défaut externe monophasé du côté delta avec un transformateur de mise à la terre du neutre dans la zone protégée 361
Figure C.1 – Positions de défaut à prendre en considération pour spécifier les exigences du TC 372
Figure C.2 – Positions de défaut à prendre en considération pour la protection différentielle du transformateur 373
Figure C.3 – Positions de défaut à prendre en considération pour la protection contre la terre restreinte 375
Figure C4 – Position du défaut externe à prendre en considération pour la protection différentielle du générateur 377
Figure C.5 – Position du défaut interne à prendre en considération pour la protection différentielle du moteur 378
Figure D.1 – Positions de défaut à prendre en considération pour spécifier les exigences du TC 382
Figure D.2 – Position supplémentaire du défaut à prendre en considération en cas de sommation des courants 382
Figure E.1 – Exemple 1 de relais différentiel de transformateur 387
Figure E.2 – Exemple 2 de relais différentiel de transformateur 390
Figure F.1 – Modèles de réseau et positions de défaut pour la protection différentielle du transformateur 397
Figure F.2 – Modèles de réseau et positions de défaut pour la protection contre la terre restreinte du transformateur 400
Figure F.3 – Caractéristique d'excitation pour le TC de base à haute rémanence 404
Figure F.4 – Courbe de magnétisation pour le TC de base de type à haute rémanence 406
Figure F5 – Courant secondaire à la limite de la saturation causée par la composante alternative sans flux rémanent dans le TC 407
Figure F.6 – Courant secondaire en cas de composante continue maximale 407
Figure F.7 – Caractéristiques d'excitation des TC de base de type sans rémanence et à haute rémanence 409
Figure F.8 – Courbe de magnétisation pour les TC de base de type sans rémanence 410
Figure G.1 – Courants secondaires injectés pour la simulation d'une charge traversante de 30 % 413
Figure G.2 – Rampe pseudo-continue dans le courant de retenue – Plan de courant différentiel dans le domaine temporel 414

Figure G.3 – Rampe d’injections unitaires représentant le changement de palier différentiel et le palier temporel 415
Figure G.4 – Rampe d’injections unitaires avec algorithme de recherche binaire 415
Figure I.1 – Définition graphique de l'angle d’apparition du défaut 417

Tableau 1 – Exemple de domaines de précision et de fonctionnement de la protection différentielle 235
Tableau 2 – Fréquences pour les essais de précision en régime établi lorsque le domaine de précision de la fréquence est égal à ±5 % de la fréquence nominale 242
Tableau 3 – Fréquences pour les essais de précision en régime établi lorsque le domaine de précision de la fréquence est supérieur à ±5 % de la fréquence nominale 243
Tableau 4 – Exemples de fréquences pour les essais de précision en régime établi lorsque le domaine de précision de la fréquence est inférieur à ±5 % de la fréquence nominale 243
Tableau 5 – Points d'essai pour la précision de base de la caractéristique différentielle 245
Tableau 6 – Lignes d'essai sur la caractéristique différentielle (Figure 10) 246
Tableau 7 – Précision de base de la caractéristique 250
Tableau 8 – Exemple de rapports de démarrage résultant de la compensation de phase (vecteur) 254
Tableau 9 – Exemple de rapports de démarrage résultant de la compensation homopolaire 257
Tableau 10 – Points d'essai pour la retenue des harmoniques à la fréquence assignée 258
Tableau 11 – Exemple de rapport sur les résultats de l'essai de précision de base de la retenue des harmoniques 259
Tableau 12 – Résultats des essais de temporisation 260
Tableau 13 – Temporisation rapportée 260
Tableau 14 – Résultats du temps de dégagement pour tous les essais 262
Tableau 15 – Fréquences pour les essais de performance dynamique lorsque le domaine de fonctionnement de la fréquence est égal à ±10 % de la fréquence nominale 262
Tableau 16 – Fréquences pour les essais de performance dynamique lorsque le domaine de fonctionnement de la fréquence est supérieur à ±10 % de la fréquence nominale 263
Tableau 17 – Exemples de fréquences pour les essais de performance dynamique lorsque le domaine de fonctionnement de la fréquence est inférieur à ±10 % de la fréquence nominale 263
Tableau 18 – Modèle de réseau avec deux sources d’alimentation 265
Tableau 19 – Impédances de source du modèle de réseau avec deux sources d’alimentation – Fonctionnement avec caractéristique de retenue (par exemple, domaine de fonctionnement de 50 Hz ± 10 %) 266
Tableau 20 – Modèle de réseau avec deux sources d’alimentation 270
Tableau 21 – Impédances de source pour le modèle de réseau avec deux sources d’alimentation – Fonctionnement avec caractéristique de retenue (par exemple, domaine de fonctionnement de 50 Hz ± 10 %) 271
Tableau 22 – Modèle de réseau avec deux sources d’alimentation 274
Tableau 23 – Impédances de source pour le modèle de réseau avec deux sources d’alimentation – Fonctionnement avec caractéristique de retenue (par exemple, domaine de fonctionnement de 50 Hz ± 10 %) 275

Tableau 24 – Impédances de source du modèle de réseau avec deux sources d'alimentation – Fonctionnement sans caractéristique de retenue (par exemple, domaine de fonctionnement de 60 Hz ± 10 %) 279

Tableau 25 – Modèle de réseau avec une source d'alimentation unique 283

Tableau 26 – Impédances de source du modèle de réseau radial avec une source d'alimentation unique – Fonctionnement avec caractéristique de retenue (par exemple, domaine de fonctionnement de 50 Hz ± 10 %) 283

Tableau 27 – Modèle de réseau avec une source d'alimentation unique 287

Tableau 28 – Impédances de source du modèle de réseau radial avec une source d'alimentation unique – Fonctionnement avec caractéristique de retenue (par exemple, domaine de fonctionnement de 50 Hz ± 10 %) 288

Tableau 29 – Modèle de réseau avec une source d'alimentation unique 291

Tableau 30 – Impédances de source du modèle de réseau radial avec une source d'alimentation unique – Fonctionnement avec caractéristique de retenue (par exemple, domaine de fonctionnement de 50 Hz ± 10 %) 292

Tableau 31 – Impédances de source du modèle de réseau radial avec une source d'alimentation unique – Fonctionnement sans caractéristique de retenue (par exemple, domaine de fonctionnement de 60 Hz ± 10 %) 295

Tableau 32 – Statistiques de défaut pour le temps de fonctionnement typique de la protection du transformateur (fréquence nominale uniquement) 298

Tableau 33 – Statistiques de défaut pour le temps de fonctionnement typique de la protection contre la terre restreinte polarisée (fréquence nominale uniquement) 299

Tableau 34 – Statistiques de défaut pour le temps de fonctionnement typique de la protection du générateur (fréquence nominale uniquement) 299

Tableau 35 – Statistiques de défaut pour le temps de fonctionnement typique de la protection du moteur (fréquence nominale uniquement) 299

Tableau 36 – Classes de temps de fonctionnement 300

Tableau 37 – Classes de temps de fonctionnement correspondantes 300

Tableau 38 – Nombre de temps de fonctionnement et pourcentage 301

Tableau 39 – Exemple de temps de fonctionnement typique à la fréquence nominale (mode, médiane, moyenne) 302

Tableau 40 – Exemples de temps de fonctionnement (50 Hz nominal, configuration des TC 500 A/1 A et 1 000 A/1 A, protection des transformateurs de puissance) 303

Tableau 41 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation 305

Tableau 42 – Impédances de source pour les essais de stabilité du modèle de réseau avec deux sources d'alimentation (par exemple, domaine de fonctionnement de 50 Hz ± 10 %) 306

Tableau 43 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation 309

Tableau 44 – Impédances de source pour les essais de stabilité du modèle de réseau avec deux sources d'alimentation (par exemple, domaine de fonctionnement de 50 Hz ± 10 %) 310

Tableau 45 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation 313

Tableau 46 – Impédances de source pour les essais de stabilité du modèle de réseau avec deux sources d'alimentation (par exemple, domaine de fonctionnement de 50 Hz ± 10 %) 314

Tableau 47 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation 317

Tableau 48 – Impédances de source pour les essais de stabilité du modèle de réseau avec deux sources d'alimentation (par exemple, domaine de fonctionnement de 50 Hz ± 10 %) 318

Tableau 49 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation 322

Tableau 50 – Impédances de source, résistances de défaut et conditions de prédéfaut pour un défaut interne précédé d'un défaut externe (par exemple pour une fréquence de réseau électrique de 50 Hz) 322
Tableau 51 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation 325
Tableau 52 – Impédances de source, résistances de défaut et conditions de prédéfaut pour un défaut interne précédé d'essais de défaut externe (par exemple pour une fréquence de réseau électrique de 50 Hz) 326
Tableau 53 – Modèle de réseau avec deux sources d'alimentation 329
Tableau 54 – Impédances de source, résistances de défaut et conditions de prédéfaut pour les essais de défaut interne précédé d'un défaut externe (par exemple pour une fréquence de réseau électrique de 50 Hz) 329
Tableau 55 – Temps de fonctionnement d'un défaut interne précédé d'un défaut externe et d'un défaut interne lorsque le relais a toujours fonctionné 332
Tableau 56 – Temps de fonctionnement d'un défaut interne précédé d'un défaut externe et d'un défaut interne lorsque le relais n'a pas toujours fonctionné 332
Tableau 57 – Coefficients des formes d'onde du courant d'appel 333
Tableau 58 – Données de la plaque signalétique des transformateurs d'essai 334
Tableau 59 – Valeurs du paramètre k 334
Tableau 60 – Coefficient des formes d'onde du courant de surexcitation 339
Tableau 61 – Données d'essai du transformateur 340
Tableau 62 – Données du transformateur pour l'essai des harmoniques superposées au courant de charge 343
Tableau 63 – Composante fondamentale du courant de charge en pu 343
Tableau 64 – Contenu harmonique pour l'essai des harmoniques superposées au courant de charge 343
Tableau 65 – Angles de phase des harmoniques pour l'essai des harmoniques superposées au courant de charge 343
Tableau 66 – Données du générateur ou du moteur pour l'essai des harmoniques superposées au courant de charge 347
Tableau 67 – Angles de phase des harmoniques pour l'essai des harmoniques superposées au courant de charge 348
Tableau 68 – Données du transformateur pour l'essai des harmoniques superposées au courant de charge 350
Tableau 69 – Angles de phase des harmoniques pour l'essai des harmoniques superposées au courant de charge 350
Tableau A.1 – Données relatives aux transformateurs 354
Tableau A.2 – Courants de démarrage sous différents types de défauts 362
Tableau A.3 – Courants de démarrage sous différents types de défauts 366
Tableau C.1 – Niveaux de flux rémanent ou résiduel à prendre en considération pour les défauts externes 370
Tableau C.2 – Niveaux de flux rémanent ou résiduel à prendre en considération pour les défauts externes lorsque la différence de taille entre les TC est limitée 371
Tableau E.1 – Courants de défaut 388
Tableau E.2 – Courants de défaut 391
Tableau F.1 – Spécification des cas d'essai pour la protection différentielle du transformateur – Défauts internes et externes avec un TC saturé 398
Tableau F.2 – Spécification des cas d'essai pour la protection différentielle du transformateur – Défauts externes avec deux TC saturés 399

Tableau F.3 – Exemples de constantes de temps avec les rapports R/X correspondants 399
Tableau F.4 – Spécification des cas d'essai pour la protection contre la terre restreinte du transformateur – Défauts internes et externes avec un TC saturé 401
Tableau F.5 – Spécification des cas d'essai pour la protection contre la terre restreinte du transformateur – Défauts externes avec deux TC saturés 401
Tableau F.6 – Données caractéristiques d'excitation pour le TC de base à haute rémanence 403
Tableau F.7 – Données de la courbe de magnétisation pour le TC de base de type à haute rémanence 406
Tableau F.8 – Données caractéristiques d'excitation pour le TC de base de type sans rémanence 409
Tableau F.9 – Données de la courbe de magnétisation pour le TC de type sans rémanence 410
Tableau G.1 – Courants de retenue et courants différentiels pour différentes définitions du courant de retenue 413
Tableau I.1 – Type de défaut et tension de référence 417

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

RELAIS DE MESURE ET DISPOSITIFS DE PROTECTION –

Partie 187-1: Exigences fonctionnelles pour la protection différentielle – Protection différentielle avec et sans caractéristique de retenue des moteurs, générateurs et transformateurs

AVANT-PROPOS

1) La Commission Électrotechnique 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. À 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.

L'IEC 60255-187-1 a été établie par le comité d'études 95 de l'IEC: Relais de mesure et dispositifs de protection. Il s'agit d'une Norme internationale.

Le présent document, ainsi que l'IEC 60255-187-2 et l'IEC 60255-187-3, annule et remplace l'IEC 60255-13. Le présent document constitue une révision technique.

Le présent document inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'IEC 60255-13:

a) L'IEC 60255-13 a été considérablement révisée pour suivre la structure commune des normes fonctionnelles pour les relais de protection (série IEC 60255-1xx). L'IEC 60255-187-1 a été développée pour traiter la protection différentielle avec et sans caractéristique de retenue des moteurs, générateurs et transformateurs. Les révisions comprennent une description détaillée des fonctions, y compris les spécifications de performance, les essais et les exigences en matière de documentation.

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

FDIS	Rapport de vote
95/465/FDIS	95/471/RVD

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

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

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

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

La présente Norme internationale contient des fichiers joints au format de fichier COMTRADE. Fichier de configuration: IEC 60255-187-1_External_Internal_YY0_50 Hz_4 kHz.CFG et fichier de données: IEC 60255-187-1_External_Internal_YY0_50 Hz_4 kHz.DAT. Ces fichiers sont destinés à être utilisés comme complément et ne font pas partie intégrante du document.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60255, publiées sous le titre général *Relais de mesure et dispositifs de protection*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives au document recherché. À 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 du présent document indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer le présent document en utilisant une imprimante couleur.

RELAIS DE MESURE ET DISPOSITIFS DE PROTECTION –

Partie 187-1: Exigences fonctionnelles pour la protection différentielle – Protection différentielle avec et sans caractéristique de retenue des moteurs, générateurs et transformateurs

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60255 spécifie les exigences minimales relatives à l'évaluation fonctionnelle et à l'évaluation de la performance de la protection différentielle (longitudinale) conçue pour la détection des défauts dans les moteurs à courant alternatif, les générateurs et les transformateurs. Le présent document définit également comment documenter et publier les résultats des essais de performance.

Le présent document couvre la fonction de protection différentielle dont la caractéristique de fonctionnement peut être définie sur un plan différentiel-polarisé. Il comprend la spécification de la fonction de protection, les caractéristiques de mesure, la compensation des grandeurs d'entrée, les méthodes de retenue ou de blocage supplémentaires (pour la surexcitation et les courants d'appel magnétisants), les caractéristiques de démarrage et de temporisation. Le présent document couvre également les fonctions de protection différentielle sans caractéristique de retenue traditionnellement combinées avec un élément différentiel (polarisé) avec caractéristique de retenue pour former un seul relais différentiel.

Le présent document définit les facteurs d'influence qui affectent la précision en état stable et les caractéristiques de performance dans des conditions dynamiques. Les méthodologies d'essai permettant de vérifier les caractéristiques de performance et la précision sont également incluses dans le présent document.

Le présent document comprend également les exigences relatives aux transformateurs de courant pour les fonctions de protection.

Les fonctions de protection différentielle couvertes par le présent document sont les suivantes:

	Numéros de fonction de l'IEEE/ANSI C37.2	**Nœuds logiques de l'IEC 61850-7-4**
Différentielle transformateur	87T	PDIF
Différentielle moteur	87M	PDIF
Différentielle générateur	87G	PDIF
Terre restreinte (différentielle de terre)	87N	PDIF
Retenue ou blocage en cas de courant d'appel		PHAR
Retenue de la surexcitation ou blocage de la surexcitation		PHAR

Le présent document ne spécifie pas la description fonctionnelle des fonctions supplémentaires souvent associées aux relais différentiels polarisés, telles que la supervision du transformateur de courant (TC) (STC), l'enclenchement sur défaut (SOTF - *switch onto fault*) et la détection des courants induits géomagnétiquement (GIC - *geo-magnetically induced current*).

Le présent document ne couvre pas les relais différentiels conçus pour la protection des jeux de barres (y compris la protection différentielle à haute impédance et la protection différentielle à basse impédance) ou la protection de ligne. De plus, le présent document ne couvre pas explicitement la protection différentielle longitudinale incomplète des générateurs, la protection différentielle transversale des générateurs en phase auxiliaire, le système de protection auto-équilibré ou magnétiquement équilibré, la protection différentielle des transformateurs déphaseurs, la protection de terre restreinte directionnelle, les transformateurs ferroviaires, les transformateurs et réactances associés à des convertisseurs. Toutefois, les principes couverts par le présent document peuvent être étendus pour fournir des recommandations sur ces applications.

Les exigences générales relatives aux relais de mesure et aux dispositifs de protection sont définies dans l'IEC 60255-1.

2 Références normatives

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

IEC 60255-1, *Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 1: Exigences communes*

IEC 61850-8-1, *Réseaux et systèmes de communication pour l'automatisation des systèmes électriques – Partie 8-1: Mise en correspondance des services de communication spécifiques (SCSM) – Mises en correspondance pour MMS (ISO 9506-1 et ISO 9506-2) et pour l'ISO/IEC 8802-3*

IEC 61869-2, *Transformateurs de mesure – Partie 2: Exigences supplémentaires concernant les transformateurs de courant*

IEC 61869-9, *Transformateurs de mesure – Partie 9: Interface numérique des transformateurs de mesure*