

Implementation of
ISO 9334:1995

Optics and optical instruments — Optical transfer function — Definitions and mathematical relationships

ICS 37.020

NO COPYING WITHOUT BSI PERMISSION EXCEPT AS PERMITTED BY COPYRIGHT LAW



Document Sharing Hub

Committees responsible for this British Standard

The preparation of this British Standard was entrusted to Technical Committee CPW/172, Optics and optical instruments, upon which the following bodies were represented:

- AEA Technology
- Association of Industrial Laser Users
- British College of Optometrists
- British Computer Society
- British Measurement and Testing Association
- Department of Trade and Industry (Eureka 643)
- Department of Trade and Industry (National Physical Laboratory)
- Engineering Equipment and Materials Users' Association
- Flat Glass Manufacturers' Association
- Institute of Physics
- Ministry of Defence
- Scottish Optoelectronics Association
- Sira Limited
- Society of British Aerospace Companies Limited
- United Kingdom Laser and Electro-optic Association

This British Standard, having been prepared under the direction of the Consumer Products and Services Sector Board, was published under the authority of the Standards Board and comes into effect on 15 February 1996

© BSI 12-1999

The following BSI references relate to the work on this standard:
Committee reference CPW/172
Draft for comment 87/37559 DC

ISBN 0 580 25276 0

Amendments issued since publication

Amd. No.	Date	Comments

Contents

	Page
Committees responsible	Inside front cover
National foreword	ii
Foreword	ii
Introduction	1
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Fundamental definitions	13
4 Practical definitions	22
Alphabetical index	28
Figure 1	16
Figure 2	21
Table 1 — Parameters	11

National foreword

This British Standard reproduces verbatim ISO 9334:1995 and implements it as the UK national standard.

This British Standard is published under the direction of the Consumer Products and Services Sector Board whose Technical Committee CPW/172 has the responsibility to:

- aid enquirers to understand the text;
- present to the responsible international committee any enquiries on interpretation, or proposals for change, and keep UK interests informed;
- monitor related international and European developments and promulgate them in the UK.

NOTE International and European Standards, as well as overseas standards, are available from Customer Services, BSI, 389 Chiswick High Road, London W4 4AL.

A British Standard does not purport to include all the necessary provisions of a contract. Users of British Standards are responsible for their correct application.

Compliance with a British Standard does not of itself confer immunity from legal obligations.

Summary of pages

This document comprises a front cover, an inside front cover, pages i and ii, the ISO title page, pages ii to iv, pages 1 to 33 and a back cover.

This standard has been updated (see copyright date) and may have had amendments incorporated. This will be indicated in the amendment table on the inside front cover.

INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
9334

NORME
INTERNATIONALE

First edition
Première édition
Первое издание
1995-11-01

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
СТАНДАРТ

**Optics and optical instruments — Optical
transfer function — Definitions and
mathematical relationships**

**Optique et instruments d'optique —
Fonction de transfert optique — Définitions
et relations mathématiques**

**Оптика и оптические приборы —
Оптическая передаточная функция —
Определения и математические
соотношения**



Reference number
Numéro de référence
Номер ссылки
ISO 9334:1995(E/F/R)

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

International Standard ISO 9334 was prepared by Technical Committee ISO/TC 172, *Optics and optical instruments*, Subcommittee SC 1, *Fundamental standards*.

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

Le Norme internationale ISO 9334 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 172, *Optique et instruments d'optique*, sous-comité SC 1, *Normes fondamentales*.

Предисловие

ИСО (Международная Организация по Стандартизации) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (комитетов-членов ИСО). Разработка Международных Стандартов осуществляется техническими комитетами ИСО. Каждый комитет-член, заинтересованный в деятельности, для которой был создан технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные правительственные и неправительственные организации, имеющие связи с ИСО, также принимают участие в работах. Что касается стандартизации в области электротехники, ИСО работает в тесном сотрудничестве с Международной Электротехнической Комиссией (МЭК).

Проекты Международных Стандартов, принятые техническими комитетами, рассылаются комитетам-членам на голосование. Их опубликование в качестве Международных Стандартов требует одобрения по меньшей мере 75 % комитетов-членов, принимающих участие в голосовании.

Международный Стандарт ИСО 9334 был разработан Техническим Комитетом ИСО/ТК 172, *Оптика и оптические инструменты*, подкомитет ПК 1, *Основополагающие стандарты*.

Introduction

The optical transfer function (OTF) is an important aid to objective evaluation of the image-forming capability of optical, electrooptical and other imaging systems.

To allow comparison of optical transfer function measurements achieved using different measuring principles and instruments, or obtained from measuring instruments in different laboratories, it is necessary to ensure equivalence of measurement parameters such as focus setting and spatial frequency range. For this reason, an agreed terminology must be defined so that the measurement parameters called upon in a standard may be understood by all users. Definitions of the terms used in optical transfer function measurement are listed in this International Standard.

The specifications in this International Standard form the basic requirements of measurement instrumentation and procedures for guaranteeing a defined accuracy of measurement of the optical transfer function.

The optical transfer function provides a means of expressing the image-forming quality of imaging systems objectively. Subjective measures of optical performance, such as limiting resolution, give less information about the imaging performance of the system under test and are susceptible to the variability of human observers.

It is important to note that the optical transfer function is only one of a number of objective parameters, such as noise, veiling glare, image structure (sampling) etc., which may affect image quality and all such parameters should be included in a comprehensive description of the performance of an imaging system.

The optical transfer function concept originated in the field of optical systems, comprising lenses and mirrors, which closely satisfy the conditions of (radiometric) linearity and isoplanatism in their image-forming process. It allowed optical and systems designers to predict, with high reliability, the performance of optical systems of this type from the basic design data.

When the requirements for isoplanatism and linearity are exactly satisfied, the optical transfer function can be regarded as expressing the way in which each sinusoidal spatial frequency component in the Fourier spectrum of an incoherently radiating object is transferred to the image as a sinusoidal pattern with reduced modulation and (frequently) a shift of phase.

However, for some imaging devices the linearity and isoplanatism conditions are met only within certain limits. In order to adopt the optical transfer function approach, even under these conditions, two key concepts will be introduced. First, it will be assumed that it is possible to identify a certain range over which a system behaves in a linear manner.

Second, there will be an area of the object/image field over which the system is isoplanatic such that the measured optical transfer function can be assumed to be accurate within a specified tolerance.

The basic measurement technique also becomes significant in this situation and must be specified as part of the measurement conditions relating to that device. This information is contained in the appropriate sections of ISO 9336.

A very useful and important aspect of the optical transfer function concept is the multiplicative property of incoherently coupled system component OTFs. This property permits the overall OTF of a composite imaging system to be obtained as the product of the separately measured OTFs of its incoherently coupled components. Strictly speaking, this "product rule" applies only when the complete system, and its individual components, obey the conditions of linearity and isoplanatism, but the product rule remains useful even when the linear radiometric range and isoplanatic area are of limited extent.

For cascaded optical systems, such as telescopic sights, in which the components are coherently coupled, the "product rule" cannot be applied. It is only possible to determine the optical transfer function of these optical systems by a test of the complete instrument.

To summarize, this International Standard describes the optical transfer function as a tool which can be applied within well-defined limits to a large class of imaging systems in order to assess their image-forming capabilities.

Since the problems of measurement vary considerably from one class of imaging device to another, the following format is used for International Standards on the optical transfer function.

This International Standard contains the introduction and a set of definitions upon which optical transfer function theory is built. These definitions are part of a vocabulary in which all terms in general use throughout this International Standard are defined. It also contains a list of basic relationships of the optical transfer function to other image-describing parameters and a summary of concepts and symbols which are useful in optical transfer function work.

ISO 9335 contains statements of the principles and rules of measurement and presentation of results which apply in general to all imaging devices for which the optical transfer function is a valid concept.

It is essential that these rules be followed in order to ensure that accurate results are obtained. No attempt is made to prescribe a particular measuring technique, since a variety of methods may be applicable, depending on the characteristics of the device under test and the equipment available.

ISO 9336 is subdivided into several parts each devoted to a different class of imaging device or to a special application.

It describes, for each class, the limitations and precautions associated with making valid optical transfer function measurements and provides an imaging state ("I-state") specification, which is a list of all those parameters which affect the point spread function and consequently the measured optical transfer function.

This framework will allow for future expansion to include new classes of imaging device.

Introduction

La fonction de transfert optique est un atout précieux pour évaluer de façon objective l'aptitude à former une image de tout système optique, électro-optique et de façon générale de tout dispositif de formation d'images.

Pour permettre une comparaison entre les mesures de fonction de transfert optique faites à partir de principes de mesure et d'instruments différents, ou obtenues à partir d'instruments de mesure de différents laboratoires, il est nécessaire de spécifier les paramètres de mesure tels que le réglage de focalisation et le domaine de fréquence spatiale. De ce fait, on doit définir une terminologie telle que les paramètres de mesure utilisés dans une norme soient correctement compris et acceptés par tous les utilisateurs. Les définitions des termes employés pour la mesure de la fonction de transfert optique sont données dans la présente Norme internationale.

Les spécifications de la présente Norme internationale constituent des exigences fondamentales concernant l'instrumentation et les méthodes de mesure pour garantir avec une exactitude donnée les mesures de fonction de transfert optique.

La fonction de transfert optique est un moyen quantitatif pour exprimer de façon objective la qualité d'image des systèmes optiques. Les mesures subjectives de qualité telles que celles de limite de résolution fournissent moins d'informations sur les possibilités du système examiné et sont susceptibles d'être influencées par des facteurs propres à chaque observateur humain.

On doit souligner que la fonction de transfert optique n'est que l'un des éléments concourant à la qualité de l'image: la diffusion, les voiles et images parasites, la structure de l'image, etc. sont autant de paramètres à considérer lorsqu'on veut décrire complètement les performances d'un système de formation d'images.

Le concept de la fonction de transfert optique concerne les systèmes optiques comportant des lentilles et des miroirs devant strictement satisfaire lors du processus de formation d'image à la double condition de linéarité (radiométrique) et d'isoplanétisme. La fonction de transfert permet aux opticiens et aux «concepteurs» de systèmes de prévoir avec sûreté les performances des systèmes optiques, à partir de leurs caractéristiques.

Quand les conditions de linéarité et d'isoplanétisme sont parfaitement satisfaites, on peut considérer que la fonction de transfert optique exprime la façon dont chaque composante sinusoïdale du spectre de fréquences spatiales (spectre de Fourier) de l'objet est transmise par le système optique formant l'image selon un schéma sinusoïdal avec modulation réduite et (souvent) avec décalage de phase.

Toutefois, dans le cas de certains dispositifs de formation d'image, les conditions de linéarité et d'isoplanétisme ne sont remplies que dans certaines limites. Il est alors nécessaire, pour utiliser dans ces conditions le concept de fonction de transfert optique, d'introduire deux notions essentielles. On suppose tout d'abord qu'il est possible de déterminer un certain domaine dans lequel le système se comporte de manière linéaire. On suppose ensuite qu'il existe une zone du champ objet/image pour laquelle le système optique est isoplanétique, de sorte que la fonction de transfert optique mesurée pourra être validée à l'intérieur d'un domaine spécifié.

Dans ces conditions, la méthode et la procédure de mesure adoptées prennent une importance particulière, et doivent être spécifiées dans les conditions de mesure relatives au dispositif en cause. Cette remarque sera développée dans les chapitres appropriés de l'ISO 9336.

Un aspect important et très utile du concept de fonction de transfert optique est la propriété multiplicative des fonctions de transfert des éléments couplés les uns aux autres en rupture totale de cohérence spatiale. Cette propriété permet de déterminer la fonction de transfert globale d'un ensemble complexe de formation d'image comme étant le produit des fonctions de transfert mesurées séparément de chacun des éléments, associés de façon à maintenir un éclairage spatialement incohérent entre chacun d'eux. Bien que cette «règle du produit» ne s'applique strictement que lorsque le système complet et ses composants individuels obéissent aux conditions de linéarité et d'isoplanétisme, cette règle reste utile même lorsque l'intervalle radiométrique linéaire et le domaine isoplanétique sont limités.

Dans le cas de systèmes en cascade, comme des jumelles, dans lesquels les composants sont à «couplage cohérent», la «règle du produit» ne peut s'appliquer. Il n'est possible de déterminer la fonction de transfert de ces systèmes optiques que de façon globale sur l'instrument complet.

En résumé, la présente Norme internationale décrit la fonction de transfert optique comme un outil pouvant être appliqué, dans des limites bien définies, à une large catégorie d'instruments, pour préciser leur rôle dans un processus de formation d'image.

Comme les problèmes de mesure varient considérablement d'un type d'instrument à un autre, on a utilisé, pour les normes internationales traitant de la fonction de transfert optique, la disposition suivante.

La présente Norme internationale contient l'introduction et un ensemble de définitions sur lesquelles repose la théorie de la fonction de transfert optique. Les définitions font partie d'un vocabulaire où sont définis tous les termes généralement utilisés dans la norme. Elle contient également une liste des relations fondamentales entre la fonction de transfert optique et les autres paramètres caractérisant l'image, ainsi qu'un résumé des concepts et symboles utiles à l'étude de la fonction de transfert optique.

L'ISO 9335 porte sur les principes et procédures de mesure ainsi que sur la présentation des résultats, concernant de façon générale tous les dispositifs de formation d'image pour lesquels la fonction de transfert optique est un concept valable.

Pour obtenir des résultats précis, il est essentiel que ces règles soient observées. On ne prescrit aucune technique particulière de mesure, car une grande variété de méthodes peut être mise en œuvre en fonction des caractéristiques du dispositif examiné et de l'équipement disponible.

L'ISO 9336 est subdivisée en différentes parties dont chacune est consacrée à une catégorie différente de dispositifs de formation d'image, ou à une application particulière.

Pour chaque catégorie, on décrit les limitations et les précautions à prendre pour exécuter des mesures correctes de spécifications («état d'imagerie»), ce qui regroupe tous les paramètres affectant la réponse percussionnelle et donc la fonction de transfert mesurée.

Cette disposition permettra ultérieurement d'inclure de nouvelles catégories de dispositifs de formation d'image.