

التوصية ITU-R BT.2100-3

(2025/02)

السلسلة BT: الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)

قيم معلمات الصور لأنظمة التلفزيون ذات المدى
الدينامي الواسع من أجل الاستعمال في إنتاج
البرامج وتبادلها دولياً

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد المدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <https://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <https://www.itu.int/publ/R-REC/ar>)

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بُعد	RS
الخدمة الثابتة الساتلية	S
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM
التجميع الساتلي للأخبار	SNG
إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت	TF
المفردات والمواضيع ذات الصلة	V

ملاحظة: تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.

النشر الإلكتروني
جنيف، 2025

© ITU 2025

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU)

التوصية ITU-R BT.2100-3

قيم معلمات الصور لأنظمة التلفزيون ذات المدى الدينامي الواسع من أجل الاستعمال في إنتاج البرامج وتبادلها دولياً

المسألة ITU-R 142-3/6

(2025-2018-2017-2016)

جدول المحتويات

الصفحة

10 الملحق 1 (إعلامي) - العلاقة بين الوظائف OETF و EOTF و OOTF
13 الملحق 2 (إعلامي) - تمثيل معلمات وظيفتي التحويل الإلكتروني-البصري والإلكتروني

مجال التطبيق

يوفر التلفزيون ذو المدى الدينامي الواسع (HDR-TV) للمشاهدين تجربة مرئية محسنة من خلال توفير الصور التي أنتجت لتبدو صحيحة على شاشات أنصع، تبرز المعالم بقدر أكبر من الوضوح، وتوفر تفاصيل محسنة في المناطق المظلمة. وتحدد هذه التوصية معلمات صور التلفزيون ذي المدى الدينامي الواسع لاستخدامها في عمليات الإنتاج وتبادل البرامج الدولية باستخدام طريقة التكميم الإدراكي (PQ) وطريقة لوغاريتم غاما المهجين (HLG).

مصطلحات أساسية

المدى الدينامي الواسع، HDR، التلفزيون، HDR-TV، معلمات نظام الصور، الإنتاج التلفزيوني، تبادل البرامج الدولي، التدرج اللوني الواسع، التكميم الإدراكي، PQ، لوغاريتم غاما المهجين، HLG

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أن قطاع الاتصالات الراديوية قد حدد أنساق صور التلفزيون الرقمي من أجل التلفزيون عالي الوضوح (HDTV) والتلفزيون فائق الوضوح (UHDTV) في التوصيتين ITU-R BT.709 و ITU-R BT.2020؛

(ب) أن أنساق الصور التلفزيونية هذه كانت محدودة في المدى الدينامي للصور التي يمكن أن توفرها بحكم اعتمادها على خصائص أنبوب الأشعة الكاثودية (CRT) التقليدية التي تحد من نصوع الصورة والتفاصيل في المناطق المظلمة؛

(ج) أن شاشات التلفزيون الحديثة قادرة على عرض الصور بدرجة نصوع أعلى ونسبة تباين أكبر وتدرج ألوان أوسع مما توفره أساليب إنتاج البرامج التقليدية؛

(د) أن المشاهدين يتوقعون أنظمة تلفزيونية مستقبلية توفر خصائص محسنة مقارنةً بأنظمة التلفزيون عالي الوضوح (HDTV) وفائق الوضوح (UHDTV) المتاحة حالياً، من حيث تعزيز الإحساس بالواقعية وزيادة الشفافية للعالم الحقيقي وتوفير معلومات مرئية أكثر دقة؛

- (هـ) أن التلفزيون ذا المدى الدينامي الواسع (HDR-TV) أثبت أنه قادر على زيادة استمتاع المشاهد بالصور التلفزيونية؛
- (و) أن التلفزيون HDR-TV يوفر "خطوة" تحسن في تجربة المشاهد من خلال زيادة النصوص إلى حد كبير والتفصيل في إبراز الملامح وانتشار الأجسام العاكسة، بينما يوفر المزيد من التفصيل في المناطق المظلمة؛
- (ز) أن الجمع بين المدى الدينامي الموسع والتدرج اللوني الموسع يعطي التلفزيون HDR-TV قدراً أكبر بكثير من عمق الألوان؛
- (ح) أن أنساق صور التلفزيون HDR-TV ينبغي أن تتمتع، حسب الاقتضاء، بدرجة من التوافق مع أساليب سير العمل والبني التحتية الراهنة؛

(ط) أنه ينبغي تحديد بيئة مشاهدة مرجعية تشتمل على معلمات الشاشة لأنساق صور التلفزيون HDR-TV،

وإذ تضع في اعتبارها أيضاً

أنه نظراً للتطورات السريعة في تكنولوجيا المدى الدينامي الواسع (HDR)، قد يرغب الاتحاد في أن يستعجل النظر في إجراء تحديثات وتحسينات في هذه التوصية،

وإذ تلاحظ

أن التقرير ITU-R BT.2390 يحتوي على معلومات كثيرة عن طريقتين لتحقيق مواصفات التلفزيون HDR-TV،

توصي

باستعمال المواصفات الواردة في هذه التوصية من أجل إنتاج برامج التلفزيون ذي المدى الدينامي الواسع (HDR-TV) أو التكميم الإدراكي (PQ) أو لوغاريتم غاما الهجين (HLG) وتبادلها دولياً.

ملاحظة - تسمح مواصفة التكميم الإدراكي (PQ) بتحقيق مستويات نصوص واسعة المدى من أجل عمق معين للبتات باستعمال وظيفة التحويل اللاخطي التي يتم ضبطها بدقة من أجل مواءمتها مع الجهاز البصري البشري. وتوفر مواصفة لوغاريتم غاما الهجين (HLG) درجة من التوافق مع شاشات العرض التقليدية من خلال مواءمة أدق مع منحنيات التحويل التلفزيوني المعدة سابقاً. ويتضمن التقرير ITU-R BT.2390 معلومات إضافية عن التكميم الإدراكي (PQ) ولوغاريتم غاما الهجين (HLG)، والتحويل بينهما، والتوافق مع الأنظمة السابقة.

الجدول 1

الخصائص المكانية والزمانية للصورة

المعلمة	القيم
شكل حاوية الصورة ^{1a}	16:9
عدد بيكسلات الحاوية ^{1b} أفقي × رأسي	7 680 × 4 320 3 840 × 2 160 1 920 × 1 080
شبكة أخذ العينات	متعامد
النسبة الباعية للبيكسلات	1:1 (بيكسلات مربعة)
ترتيب البيكسلات	ترتيب البيكسلات في كل صف من اليسار إلى اليمين، ويكون ترتيب الصفوف من أعلى إلى أسفل.
تردد الرتل (Hz)	24/1,001، 24، 25، 30/1,001، 30، 50، 60/1,001، 60، 100، 120/1,001، 120
نسق الصورة	تدرجي

الملاحظة 1a - تستخدم الحاوية لتحديد القيود الأفقية والرأسية لنسق الصورة.

الملاحظة 1b - ينبغي أن تستخدم عمليات الإنتاج نسق الصورة الأعلى استبانة إلى أقصى حد ممكن عملياً. ومن المسلم به أن العينات في كثير من الحالات تنحدر من المنتجات عالية الاستبانة إلى أنساق أقل استبانة للتوزيع. ومن المعروف أن الإنتاج في نسق استبانة أعلى، ثم النحدر العينات إلكترونياً للتوزيع، يفضي إلى نوعية متفوقة من الإنتاج في الاستبانة المستخدمة للتوزيع.

الجدول 2

القياس اللوني للنظام

القيم		المعلمة
إحداثيات اللونية (CIE, 1931)	الطيف البصري (للعلم)	
y	x	
0,292	0,708	وحيد اللون nm 630 أحمر أساسي (R)
0,797	0,170	وحيد اللون nm 532 أخضر أساسي (G)
0,046	0,131	وحيد اللون nm 467 أزرق أساسي (B)
0,3290	0,3127	D65 بحسب المعيار ISO 11664-2:2007 أبيض مرجعي
CIE 1931		وظائف مواءمة الألوان

يحدد الجدول 3 المعلمات لاستحداث بيئة مشاهدة مرجعية من أجل المشاهدة الناقدة لمواد برامج المدى الدينامي الواسع (HDR) أو البرامج الكاملة التي يمكنها توفير نتائج قابلة للتكرار من مرفق لآخر عند مشاهدة نفس المواد. ومن الممكن إنشاء مرافق المشاهدة بأساليب عديدة، بل سوف يستمر ذلك، من جانب الكيانات المعنية بالمونتاج وتصحيح الألوان وعرض الأفلام وما شابه ذلك، ولا يقصد من المواصفات الواردة في هذا الجدول الإيحاء بالحاجة إلى التوحيد المطلق في هذه المرافق.

الجدول 3

بيئة المشاهدة المرجعية من أجل المشاهدة الناقدة لمواد برامج المدى الدينامي الواسع (HDR)

القيم	المعلمة
رمادي محايد عند D65	الحولية والمحيطية ^{3a}
5 cd/m^2	نصوع الحولية
$5 \geq \text{cd/m}^2$	نصوع المحيطية
تجنب سقوط النور على الشاشة	الإضاءة المحيطة
لنسق 1 920 x 1 080: ارتفاع الصورة 3,2 لنسق 3 840 x 2 160: ارتفاعات الصور 1,6 إلى 3,2 لنسق 7 680 x 4 320: ارتفاعات الصور 0,8 إلى 3,2	مسافة المشاهدة ^{3b}
$1 000 \leq \text{cd/m}^2$	ذروة نصوع الشاشة ^{3c}
$0,005 \geq \text{cd/m}^2$	نصوع الشاشة الأدنى (سوية السواد) ^{3d}

الملاحظة 3a - "الحولية" هي المنطقة المحيطة بشاشة العرض والتي يمكن أن تؤثر في تكيف العين، وتمثل عادة في الحائط أو الستار الواقع خلف شاشة العرض؛ أما "المحيطية" فهي بقية البيئة الواقعة خارج الحولية.

الملاحظة 3b - عندما يتناول تقييم الصورة مسألة الاستبانة، ينبغي استخدام القيمة الأدنى لمسافة المشاهدة. وعندما لا يتناول مسألة الاستبانة، يمكن استخدام أي مسافة مشاهدة في المدى المبين.

الملاحظة 3c - هذا لا يعني ضرورة تحقيق مستوى النصوع لكامل بياض الصورة وإنما إبراز معالم مناطق صغيرة.

الملاحظة 3d - بالنسبة إلى التكيم الإدراكي (PQ) في بيئة مشاهدة غير مرجعية أو لوغاريتم غاما الهجين (HLG) (في أي بيئة مشاهدة)، ينبغي ضبط مستوى السواد باستخدام إشارة اختبار تجهيزات توليد ضبط الصورة (PLUGE) والإجراء المحدد في التوصية ITU R BT.814.

يصف الجدولان 4 و5 وظائف التحويل من أجل نسق التكيم الإدراكي (PQ) ونسق لوغاريتم غاما الهجين (HLG)، على التوالي. وينبغي أن يؤدي إنتاج التلفزيون ذي المدى الدينامي الواسع وشاشة عرضه إلى الاستخدام المتسق لوظائف التحويل لأحد النظامين

ولكن لا يجوز الجمع بين الاثنين. ويوضح الملحق 1 الإعلامي معاني مختلف وظائف التحويل وأين تستخدم في سلسلة نقل الإشارة. ويوفر الملحق 2 الإعلامي معلومات عن المعادلات البديلة التي من شأنها أن تيسر تنفيذ وظائف التحويل هذه.

الجدول 4

وظائف النقل اللا خطي المرجعية لنظام التكميم الإدراكي (PQ)

المعلمة	القيم
إشارة الدخل إلى وظيفة التحويل الإلكتروني-البصري (EOTF) للتكميم الإدراكي	القيمة المشفرة PQ اللا خطية. الوظيفة EOTF تنقل الإشارة PQ اللا خطية إلى ضوء الشاشة.
^{4a} PQ المرجعية EOTF	$F_D = \text{EOTF}[E'] = 10000 Y$ $Y = \left(\frac{\max\left[E'^{1/m_2} - c_1, 0\right]}{c_2 - c_3 E'^{1/m_2}} \right)^{1/m_1}$ <p>حيث:</p> <p>E' تشير إلى قيمة اللون اللا خطية $\{R', G', B'\}$ أو $\{L', M', S'\}$ في حيز PQ في المدى [0:1]</p> <p>F_D هي نصوع مكونة خطية معروضة $\{R_D, G_D, B_D\}$ أو Y_D أو I_D بوحدة cd/m^2.^{4b}</p> <p>Y تشير إلى قيمة لون خطية معيارية، في المدى [0:1]</p> <p>$m_1 = 2610/16384 = 0,1593017578125$</p> <p>$m_2 = 2523/4096 \times 128 = 78,84375$</p> <p>$c_1 = 3424/4096 = 0,8359375 = c_3 - c_2 + 1$</p> <p>$c_2 = 2413/4096 \times 32 = 18,8515625$</p> <p>$c_3 = 2392/4096 \times 32 = 18,6875$</p>
إشارة دخل إلى وظيفة التحويل البصري-البصري (OOTF) للتكميم الإدراكي	الضوء الخطي المشهدي. الوظيفة OOTF تنقل الضوء الخطي المشهدي إلى الضوء الخطي على الشاشة.
PQ المرجعية OOTF	$F_D = \text{OOTF}[E] = G_{1886} [G_{709}[E]]$ <p>حيث</p> <p>$\{R_S \text{ أو } G_S \text{ أو } B_S \text{ أو } Y_S \text{ أو } I_S\} = E$ هي الإشارة التي تتحدد بضوء المشهد ومقياس تعرض الكاميرا</p> <p>القيم $E, R_S, G_S, B_S, Y_S, I_S$ تقع في المدى [0:1]^{4c}</p> <p>E' هي التمثيل اللا خطي للإشارة E</p> <p>F_D هي نصوع مكونة خطية معروضة $\{R_D \text{ أو } G_D \text{ أو } B_D \text{ أو } Y_D \text{ أو } I_D\}$</p> <p>$F_D = G_{1886} [G_{709}[E]] = G_{1886} E'$</p> <p>$E' = G_{709}[E] = 1,099 (59,5208 E)^{0,45} - 0,099$ for $1 \geq E > 0,0003024$</p> <p>$= 267,84 E$ for $0,0003024 \geq E \geq 0$</p> <p>$F_D = G_{1886}[E'] = 100 E'^{2,4}$</p>
إشارة الدخل إلى وظيفة التحويل البصري-الإلكتروني (OETF)	الضوء الخطي المشهدي. الوظيفة OETF تنقل الضوء الخطي المشهدي النسبي إلى قيمة إشارة PQ لا خطية.

الجدول 4 (تتمة)

المعلمة	القيم
OETF المرجعية PQ يفرض استخدام هذه الوظيفة OETF إلى الوظيفة OOTF المرجعية عندما تعرض على شاشة عرض مرجعية تستخدم EOTF المرجعية.	$E' = \text{OETF}[E] = \text{EOTF}^{-1}[\text{OOTF}[E]] = \text{EOTF}^{-1}[F_D]$ <p>حيث:</p> $\text{EOTF}^{-1}[F_D] = \left(\frac{c_1 + c_2 Y^{m_1}}{1 + c_3 Y^{m_1}} \right)^{m_2}$ $Y = F_D / 10000$ <p>E' هي الإشارة اللا خطية الناتجة (B', G', R') في المدى [0:1] E, F_D محددتان في وظيفة التحويل البصري-البصري c_3, c_2, c_1, m_2, m_1 محددة في وظيفة التحويل الإلكتروني-البصري</p>

الملاحظة 4a - ينبغي أن تستخدم هذه اللا خطية (وعكسها) بالذات عندما يكون من الضروري التحويل بين التمثيل اللا خطي والتمثيل الخطي.
 الملاحظة 4b - في هذه التوصية، عند الإشارة إلى نصوص مكونة لون واحدة (R_D , G_D , B_D)، يعني ذلك نصوص إشارة عديمة اللون مكافئة يكون فيها لمكونات اللون الثلاث نفس القيمة.

الملاحظة 4c - يمكن اختبار التقابل بين خرج إشارة مستشعر الكاميرا والإشارة E لتحقيق السطوع المرغوب للمشاهد.

الجدول 5

وظائف التحويل اللا خطي المرجعي لنظام لوغاريتم غاما الهجين (HLG)

المعلمة	القيم
إشارة الدخل إلى HLG OETF	الضوء الخطي للمشاهد. الوظيفة OETF تنقل الضوء الخطي للمشاهد نسبةً إلى قيمة إشارة لا خطية.
الوظيفة المرجعية OETF لنظام HLG ^{5a}	$E' = \text{OETF}[E] = \begin{cases} \sqrt{3E} & 0 \leq E \leq \frac{1}{2} \\ a \cdot \ln(12E - b) + c & \frac{1}{2} < E \leq 1 \end{cases}$ <p>حيث:</p> <p>E هي الإشارة لكل مكونة لون $\{B_S, G_S, R_S\}$ نسبة إلى الضوء الخطي للمشاهد المقيس على المدى [0:1].^{5b}</p> <p>E' هي الإشارة الناتجة اللا خطية $\{B', G', R'\}$ في المدى [0:1].</p> <p>^{5c} $a \ln(4a) - 0,5 = c$, $4a - 1 = b$, $0,17883277 = a$</p>
إشارة دخل HLG إلى الوظيفة OETF	الضوء الخطي للمشاهد. الوظيفة OETF تقيم التقابل بين الضوء الخطي للمشاهد النسبي والضوء الخطي للعرض.

الجدول 5 (تتمة)

القيم	المعلمة
$F_D = \text{OOTF}[E] = \alpha Y_S^{\gamma-1} E$ $R_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} R_S$ $G_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} G_S$ $B_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} B_S$ $Y_S = 0.2627 R_S + 0.6780 G_S + 0.0593 B_S$ <p>حيث:</p> <p>F_D هي نصوع المكونة الخطية المعروضة $\{R_D$ أو G_D أو $B_D\}$، بوحدة cd/m^2.^{5d}</p> <p>E هي إشارة لكل مكون لوني $\{R_S, G_S, B_S\}$ وتناسب مع ضوء خطي للمشاهد مقيس على المدى $[0:1]$.</p> <p>Y_S هو نصوع المشاهد الخطي المقيس.</p> <p>α هو متغير كسب المستخدم بوحدة cd/m^2 وهو يمثل ذروة النصوع الاسمي، L_W، لشاشة في بكسلات عديمة اللون.</p> <p>γ هي غاما النظام. $\gamma = 1,2$ عند نصوع ذروة العرض الاسمي بمقدار $1\ 000\ \text{cd/m}^2$. وبالنسبة لعروض ذروة النصوع الاسمية بخلاف $1\ 000\ \text{cd/m}^2$، ينبغي تعديل غاما النظام وفقاً لصيغ غاما الواردة في الملاحظة 5f، 5e، 5g.</p>	<p>HLG لدالة OOTF⁵ⁱ المرجعية</p>
<p>قيمة مشفرة HLG لا خطية الوظيفة EOTF تحول الإشارة HLG اللا خطية إلى ضوء شاشة العرض.</p>	<p>إشارة الدخل إلى HLG EOTF</p>
$F_D = \text{EOTF}[\max(0, (1 - \beta)E' + \beta)]$ $= \text{OOTF}[\text{OOTF}^{-1}[\max(0, (1 - \beta)E' + \beta)]]$ <p>حيث:</p> <p>F_D هي نصوع المكونة الخطية المعروضة $\{R_D$ أو G_D أو $B_D\}$، بوحدة cd/m^2.</p> <p>E' هي الإشارة اللا خطية $\{R', G', B'\}$ حسبها هي محددة من أجل الوظيفة المرجعية OETF لنظام HLG.^{5h}</p> <p>β هو المتغير لرفع مستوى السواد لدى المستخدم.</p> <p>وتعرف دالة OOTF $[\]$ وفق الوظيفة المرجعية OOTF لنظام HLG.</p> $\text{OOTF}^{-1}[x] = \begin{cases} x^2/3 & 0 \leq x \leq 1/2 \\ \{\exp((x - c)/a) + b\}/12 & 1/2 < x \leq 1 \end{cases}$ <p>وقيم المعلمات a و b و c حسبها هي محددة من أجل الوظيفة المرجعية OETF لنظام HLG.</p> <p>و:</p> $\beta = \sqrt{3(L_B/L_W)^{1/\gamma}}$ <p>L_W هي ذروة نصوع العرض الاسمية بوحدة cd/m^2 من أجل بكسلات عديمة اللون.</p> <p>L_B هي نصوع العرض للون الأسود بوحدة cd/m^2.</p>	<p>الوظيفة المرجعية EOTF لنظام HLG</p>

ملاحظات على الجدول 5

الملاحظة 5a - ينبغي استخدام عكس اللا خطية هذه عندما يكون من الضروري التحويل بين التمثيل اللا خطي والتمثيل الخطي لضوء المشاهد.

الملاحظة 5b - يمكن اختيار التقابل بين خرج إشارة مستشعر الكاميرا والإشارة E لتحقيق النصوص المرغوب للمشاهد.

الملاحظة 5c - تُحسب قيمة كل من b و c بحيث $0,28466892 = b$ و $0,55991073 = c$.

الملاحظة 5d - عندما يشار في هذه التوصية إلى مكونة لونية واحدة (BD, GD, RD)، يعني ذلك نصوص إشارة عديمة اللون مكافئة يكون فيها لمكونات اللون الثلاث نفس القيمة.

الملاحظة 5e - هذه الوظيفة EOTF تطبق غاما على مكونة النصوص في الإشارة، بينما قد تطبق بعض العروض التقليدية غاما بشكل منفصل عن مكونات اللون. وتقترب بعض العروض التقليدية من الوظيفة OOTF المرجعية هذه.

الملاحظة 5f - أما بالنسبة للشاشات ذات ذروة النصوص الاسمية (L_W) المختلفة عن 1000 cd/m^2 ، أو التي تعدل فيها ذروة النصوص الاسمية الفعال باستعمال عنصر التحكم في التباين، فينبغي تعديل قيمة غاما للنظام وفقاً للصيغة الواردة أدناه، ويمكن تقريبها إلى ثلاثة أرقام ذات دلالة:

$$\gamma = 1,2 + 0,42 \text{ Log}_{10}(L_W/1000)$$

بالنسبة للتطبيقات التي يكون فيها L_W خارج المدى المتراوح بين 400 cd/m^2 و 2000 cd/m^2 ، يمكن استخدام الصيغة التالية:

$$1,111 = \kappa \text{ حيث } \gamma = 1,2 \times \kappa^{\log_2(L_W/1000)}$$

الملاحظة 5g - يمكن تخفيض قيمة غاما للنظام من أجل ظروف خلفية وحولية أنصع.

الملاحظة 5h - يتوقع، أثناء الإنتاج، أن تتجاوز قيم الإشارة النطاق $E' = [0,0 : 1,0]$. وهذا يوفر فسحة للمعالجة ويتجنب الخطأ الإشارة أثناء المعالجة المتسلسلة. وينبغي ألا تقتطع قيم E' هذه، التي تقل عن 0,0 أو تتجاوز 1,0، أثناء الإنتاج والتبادل. وينبغي ألا تكون القيم الأقل من 0,0 مقتطعة في شاشات العرض المرجعية (حتى لو كانت تمثل ضوءاً "سلبياً") للسماح بتحديد المستوى الأسود للإشارة (L_B) بشكل صحيح باستخدام إشارات الاختبار المعروفة باسم توليد ضبط الصورة "PLUGE".

الملاحظة 5i - يُشتق مقلوب HLG OOTF كما يلي:

$$R_S = \left(\frac{Y_D}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{R_D}{\alpha}$$

$$G_S = \left(\frac{Y_D}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{G_D}{\alpha}$$

$$B_S = \left(\frac{Y_D}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{B_D}{\alpha}$$

$$Y_D = 0,2627 R_D + 0,6780 G_D + 0,0593 B_D$$

لأغراض المعالجة، عندما يُجهل العرض الفعلي، يمكن إسناد قيمة 1,0 cd/m^2 إلى α .

ويصف الجدولان 6 و 7 مختلف تمثيلات إشارة تباين النصوص واللون، المناسبة لأخذ العينات الفرعية للون، و/أو تشفير المصدر. ويستخدم نسق النصوص غير الثابت (NCL) على نطاق واسع ويعتبر النسق بالتغيب. وقد أدرج نسق الكثافة الثابتة (CI) مؤخراً في هذه التوصية وينبغي ألا يستخدم في تبادل البرامج ما لم تتفق جميع الأطراف على ذلك.

الجدول 6

نسق إشارة النصوص غير الثابت ${}^{6a} Y' C' B' C' R$

المعلمة	قيم PQ	قيم HLG
اشتقاق من R', G', B'	$\{R', G', B'\} = \text{EOTF}^{-1}(F_D)$ حيث $F_D = \{R_D, G_D, B_D\}$	$\{R', G', B'\} = \text{OETF}(E)$ حيث $E = \{R_S, G_S, B_S\}$
اشتقاق من Y'		$Y' = 0,2627R' + 0,6780G' + 0,0593B'$

الجدول 6 (تتمة)

المعلمة	قيم PQ	قيم HLG
اشتقاق إشارات اختلاف اللون		$C'_B = \frac{B' - Y'}{1.8814}$ $C'_R = \frac{R' - Y'}{1.4746}$

الملاحظة 6a - لغرض الاتساق مع الاستخدام السابق للمصطلحات، تستخدم الفتحة في الرموز Y' و C'_B و C'_R للإشارة إلى أنها مشتقة من Y و B و R اللا خطية.

الجدول 7

نسق إشارة $IC_T C_P$ ذات الكثافة الثابتة 7a، 7b

المعلمة	قيم PQ	قيم HLG
فضاء اللون L, M, S		$L = (1688 R + 2146 G + 262 B) / 4096$ $M = (683 R + 2951 G + 462 B) / 4096$ $S = (99 R + 309 G + 3688 B) / 4096$
اشتقاق من L', M', S'^c	$\{L', M', S'\} = EOTF^{-1}(F_D)$ <p>حيث $F_D = \{L_D, M_D, S_D\}$</p>	$\{L', M', S'\} = OETF(E)$ <p>حيث $E = \{L_S, M_S, S_S\}$</p>
اشتقاق من I		$I = 0,5L' + 0,5M'$
اشتقاق إشارات اختلاف اللون	$C_T = (6610 L' - 13613 M' + 7003 S') / 4096$ $C_P = (17933 L' - 17390 M' - 543 S') / 4096$	$C_T = (3625 L' - 7465 M' + 3840 S') / 4096$ $C_P = (9500 L' - 9212 M' - 288 S') / 4096$

الملاحظة 7a - لا تُستخدم الرموز I و C_T و C_P المدخلة حديثاً الفتحة وذلك لتبسيط الترميز.

الملاحظة 7b - ينبغي حصر الألوان ضمن المثلث المحدد بالألوان الأساسية RGB في الجدول 2.

الملاحظة 7c - يشير الديلان D و S إلى ضوء الشاشة وضوء المشهد، على التوالي.

الجدول 8

أخذ العينات الفرعية للألوان

المعلمة	القيم
إشارة مشفرة	I, C_T, C_P أو Y', C'_B, C'_R أو R', G', B'
شبكة أخذ العينات $- R', G', B', Y', I$	متعامدة ومتكررة في الخط والصورة ومشاركة في الموقع
شبكة أخذ العينات $- C'_B, C'_R, C_T, C_P$	متعامدة ومتكررة في الخط والصورة ومشاركة في الموقع. العينة الأولى (أعلى اليسار) مشاركة في الموقع مع العينة الأولى Y' أو I .
	النظام 4:2:0
	النظام 4:2:2
	النظام 4:4:4
	يُقسم إلى عينات فرعية أفقياً ورأسياً بمعامل 2 فيما يتعلق بالمكونة I أو Y'
	يُقسم إلى عينات فرعية أفقياً بمعامل 2 فيما يتعلق بالمكونة Y' أو I
	لكل مكونة نفس عدد العينات الأفقية كما هو الحال بالنسبة للمكونة Y' أو I

ويصف الجدول 9 تمثيلين مختلفين للإشارات هما "ضيق" و"كامل". وتمثيل المدى الضيق مستخدم على نطاق واسع وهو يعتبر التمثيل بالغييب. وقد أدرج التمثيل الكامل في هذه التوصية حديثاً وينبغي ألا يستخدم في تبادل البرامج ما لم تتفق جميع الأطراف على ذلك.

الجدول 9

التمثيل الرقمي لأعداد صحيحة من 10 و 12 بتة

القيم				المعلومات
I, C_T, C_P أو Y', C'_B, C'_R , أو R', G', B'				إشارة مشفرة
$n = 10, 12$ لكل مكونة				نسق التشفير
مدى كامل		مدى ضيق		تكميم المشتقات R', G', B', Y', I (القيم الناتجة التي تتجاوز مدى البيانات الفيديوية ينبغي أن تختزل بما يناسب مدى البيانات الفيديوية)
$D = \text{Round} [(2^n - 1) \times E']$		$D = \text{Round} [(219 \times E' + 16) \times 2^{n-8}]$		
$D = \text{Round} [(2^n - 1) \times E' + 2^{n-1}]$		$D = \text{Round} [(224 \times E' + 128) \times 2^{n-8}]$		تكميم المشتقات C'_B, C'_R, C_T, C_P (القيم الناتجة التي تتجاوز مدى البيانات الفيديوية ينبغي أن تختزل بما يناسب مدى البيانات الفيديوية)
تشفير بـ 12 بتة	تشفير بـ 10 بتات	تشفير بـ 12 بتة	تشفير بـ 10 بتات	سويات التكميم
0	0	256	64	أسود $(R' = G' = B' = Y' = I = 0)$ DR', DG', DB', DY', DI
4095	1023	3760	940	ذروة اسمية $(R' = G' = B' = Y' = I = 1)$ DR', DG', DB', DY', DI
2048	512	2048	512	عديم اللون $(C'_B = C'_R = 0)$ DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P
4095	1023	3840	960	ذروة اسمية $(C'_B = C'_R = +0.5)$ DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P
1	1	256	64	ذروة اسمية $(C'_B = C'_R = -0.5)$ DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P
0 إلى 4095	0 إلى 1023	16 إلى 4079	4 إلى 1019	مدى بيانات فيديوية 9a، 9b

حيث:

$$\text{Round}(x) = \text{Sign}(x) * \text{Floor}(|x| + 0,5)$$

$\text{Floor}(x)$ يمثل أكبر عدد صحيح يقل عن x أو يساويها

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1 & ; x > 0 \\ 0 & ; x = 0 \\ -1 & ; x < 0 \end{cases}$$

الملاحظة 9a - يمكن أن تمتد الإشارات أسفل اللون الأسود (دون الأسود) وأن تتجاوز قيم الذروة الاسمية (فوق الأبيض)، ولكن ليس لها أن تتجاوز مدى البيانات الفيديوية.

الملاحظة 9b - بعض واجهات الصور الرقمية تحتفظ بقيم رقمية، من أجل معلومات التوقيت مثلاً، بحيث يكون المدى الفيديوي المسموح به لهذه الواجهات أضيّق من المدى الفيديوي لإشارة المدى الكامل. والتقابل بين صور المدى الكامل والواجهات المقابلة يتوقف على التطبيق المعني.

يقدم الجدول 10 تمثيل إشارة النقطة العائمة بطول 16 بته للتطبيق في تبادل البرامج الدولية ذات المدى الدينامي الواسع (HDR). ويمكن تمثيل قيم ألوان R و G و B التي تتناسب خطياً مع ضوء المشهد (المشهد المشار إليه) أو التي تمثل ضوء العرض المطلق على الشاشة المرجعية (العرض المشار إليه) بقيم النقطة العائمة كما هو موضح في الجدول أدناه؛ علماً بأن هذا التمثيل مستقل عن المدى الدينامي الواسع (HDR) أو المدى الدينامي العادي (SDR)، لكن إشارات المدى الدينامي الواسع قادرة على استخدام المزيد من المدى الدينامي المتاح في تمثيل النقطة العائمة. ولا يوجد حالياً واجهات في الوقت الفعلي لهذا النسق. ومن المتوقع أن يبدأ استخدام هذا النسق في سير العمل القائم على الملفات وتبادل البرامج.

الجدول 10

تمثيل إشارة النقطة العائمة (FP)

المعلمة	القيم
تمثيل الإشارة	الخطية B, G, R
تشفير الإشارة	نسق التبادل البيني الاثنيني لنقطة عائمة بطول 16 بته لكل معيار IEEE 754-2019
المعايرة	$1,0 = B = G = R$ تمثل المرجع الأبيض للمدى الدينامي الواسع ^{10a} ، ^{10b}

ملاحظات على الجدول 10:

الملاحظة 10a - الأبيض المرجعي ذو المدى الدينامي الواسع (HDR) هو مستوى الإشارة الاسمي الذي يتم الحصول عليه من كاميرا ذات مدى دينامي واسع وبطاقة بيضاء انعكاسية بنسبة 100% مما يؤدي إلى نصوع اسمي قدره 203 cd/m^2 على شاشة PQ أو على شاشة HLG ذات قدرة نصوع ذروة اسمية تبلغ 1000 cd/m^2 .

الملاحظة 10b - من أجل تحسين الدقة بالقرب من اللون الأسود، قد تستخدم بعض الإنتاجات معايرة بحيث $R = G = B = 1,0$ تمثل اللون الأبيض عند نصوع $1,0 \text{ cd/m}^2$ على الشاشة المرجعية.

الملحق 1

(إعلامي)

العلاقة بين الوظائف OETF و EOTF و OOTF

تستخدم هذه التوصية بإسهاب المصطلحات التالية:

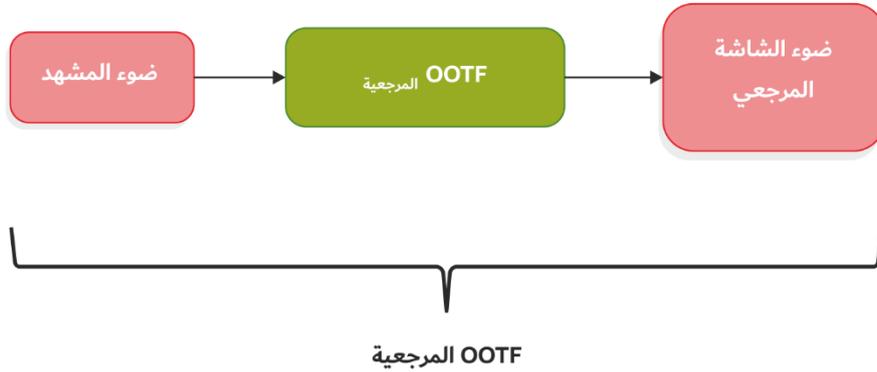
OETF: وظيفة التحويل البصري-الإلكتروني، تحول ضوء المشهد الخطي إلى إشارة فيديوية، داخل الكاميرا عادة.

EOTF: وظيفة التحويل الإلكتروني-البصري، تحول الإشارة الفيديوية إلى خرج الضوء الخطي في الشاشة.

OOTF: وظيفة التحويل البصري-البصري، لها دور تطبيق "التمثيل المتوخى".

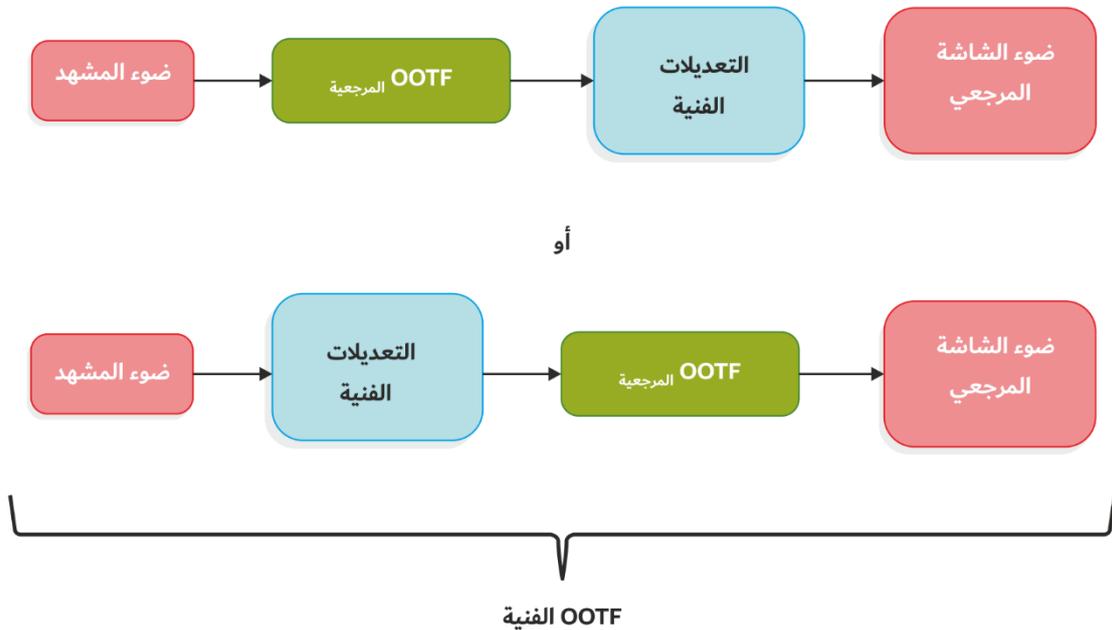
وهذه الوظائف مترابطة، ولذلك فإن اثنتين فقط من ثلاثة مستقلتان. ولدى معرفة أي اثنتين منها يمكن حساب الوظيفة الثالثة. ويشرح هذا القسم كيف تظهر هذه الوظائف في أنظمة التلفزيون وكيفية ارتباطها.

وفي أنظمة التلفزيون، لا يرتبط الضوء المعروض خطأً بالضوء الذي تلتقطه الكاميرا. وتطبق بدلاً من ذلك الوظيفة اللا خطية الإجمالية، OOTF. وهذه الوظيفة OOTF "المرجعية" تعوض عن التفاوت في إدراك درجة اللون بين بيئة الكاميرا وبيئة الشاشة. ويمكن مواصفة واستخدام الوظيفة "المرجعية" OOTF الاستنساخ المتسق للصورة من طرف إلى طرف، وهو عنصر هام في الإنتاج التلفزيوني.



BT.2100-Ann1-01

ويمكن إجراء تعديل فني لتعزيز الصورة. ومن شأن ذلك أن يغير الوظيفة OOTF، التي يمكن عندئذ أن تسمى "الوظيفة الفنية". ويمكن تطبيق التعديل الفني إما قبل OOTF المرجعية أو بعدها.



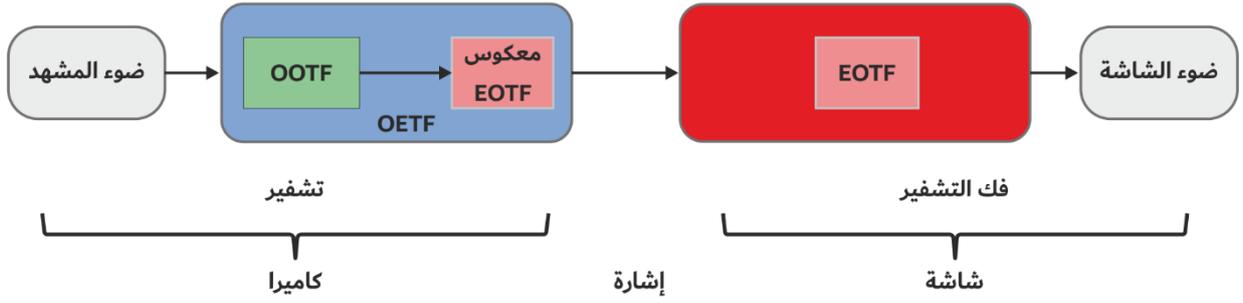
BT.2100-Ann1-02

وعموماً فإن الوظيفة OOTF هي تسلسل لوظيفة OETF، التعديلات الفنية، ووظيفة EOTF.



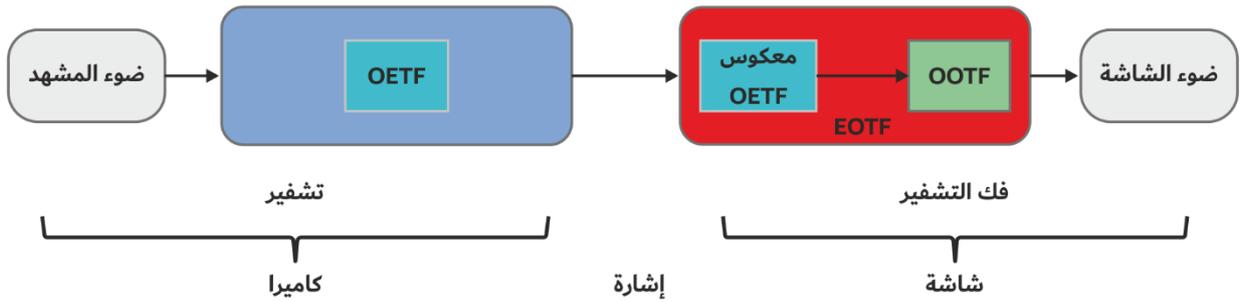
BT.2100-Ann1-03

وقد صمم نظام PQ بموجب النموذج المبين أدناه، حيث يعتبر أن الوظيفة OOTF داخل الكاميرا (أو مفروضة في عملية الإنتاج).



BT.2100-Ann1-04

وقد صمم نظام HLG بموجب النموذج المبين أدناه، حيث يعتبر أن الوظيفة OOTF في الشاشة.



BT.2100-Ann1-05

وظيفتان فقط من الوظائف الثلاث اللا خطية، OETF و EOTF و OOTF، مستقلة. وفي الترميز الوظيفي (حيث تشير الرموز الدلالية إلى مكونة اللون) تكون:

$$\begin{aligned} OOTF_R(R, G, B) &= EOTF_R(OETF_R(R, G, B)) \\ OOTF_G(R, G, B) &= EOTF_G(OETF_G(R, G, B)) \\ OOTF_B(R, G, B) &= EOTF_B(OETF_B(R, G, B)) \end{aligned}$$

وهذا أوضح إذا كان التسلسل ممثلاً بالرمز \otimes . وبموجب هذا الترميز، تكون العلاقات الثلاث التالية بين هذه الوظائف اللا خطية الثلاث:

$$\begin{aligned} OOTF &= OETF \otimes EOTF \\ EOTF &= OETF^{-1} \otimes OOTF \\ OETF &= OOTF \otimes EOTF^{-1} \\ OOTF^{-1} &= EOTF^{-1} \otimes OETF^{-1} \\ EOTF^{-1} &= OOTF^{-1} \otimes OETF \\ OETF^{-1} &= EOTF \otimes OOTF^{-1} \end{aligned}$$

ويعرّف نخب التكميم PQ بواسطة وظيفته EOTF. وبالنسبة إلى PQ، يمكن اشتقاق OETF من OOTF باستخدام السطر الثالث من المعادلات الواردة أعلاه. وعلى نحو تكميلي، يعرّف نخب اللوغاريتم HLG بواسطة وظيفته OETF. وبالنسبة إلى HLG، يمكن اشتقاق EOTF من OOTF باستخدام السطر الثاني من المعادلات الواردة أعلاه.

الملحق 2 (إعلامي)

تمثيل معلمات وظيفتي التحويل الإلكتروني-البصري والبصري-الإلكتروني

الغرض من هذا الملحق، فيما يتعلق بمجموعات المعلمات المناسبة، هو تسهيل تنفيذ وظائف التحويل البصري-الإلكتروني المرجعية (OETF) وكذلك وظائف التحويل الإلكتروني-البصري المرجعية (EOTF) لهذه التوصية.

ويمكن تمثيل الوظيفة EOTF بالمعادلة (1):

$$(1) \quad L(V) = \left(\frac{c - (V - m)st}{V - m - s} \right)^{1/n}$$

حيث:

V : قيمة لون لا خطية

L : قيمة اللون الخطية المقابلة.

ويمكن تحديد مجموعة المعلمات $\{s, t, c, n, m\}$ وفقاً للتطبيق المرغوب.

ويمكن تمثيل الوظيفة OETF بالمعادلة (2):

$$(2) \quad V(L) = \frac{sL^n + c}{L^n + st} + m$$

وجدير بالملاحظة أنه إذا أعطيت المعلمات s و t و c و n و m قيمةً متماثلة في المعادلتين (1) و (2)، عندئذ يكون كل من $L(V)$ و $V(L)$ المعكوس الرياضي للآخر.

ومن المفيد، في بعض التطبيقات، معايرة V في المعادلتين (1) و (2) وفقاً للمعادلة (3):

$$(3) \quad \hat{V} = \frac{V - p}{k} + m$$

حيث:

V : قيمة لون لا خطية

\hat{V} : قيمة لون لا خطية معايرة تحل محل V في المعادلتين (1) و (2).

ويمكن تحديد المعلمتين k و p وفقاً للتطبيق المرغوب.

ومن المفيد، في بعض التطبيقات، معايرة L في المعادلتين (1) و (2) وفقاً للمعادلة (4):

$$(4) \quad \hat{L} = \frac{L - b}{a}$$

حيث:

L : قيمة لون خطية

\hat{L} : قيمة لون خطية معايرة تحل محل L في المعادلتين (1) و (2).

ويمكن تحديد المعلمتين a و b وفقاً للتطبيق المرغوب.

وباستعمال هذه المعادلات، يمكن تحقيق تنفيذ فعلي من خلال تحديد قيم لكل معلمة من المعلمات. وعلى سبيل المثال، قد يلزم إعادة إنتاج إشارة مقيَّسة خطية، وفي هذه الحالة تكون المعلمات للمعادلة (3) كما يلي: $0 = m = p$ و $1 = k$. ومن ثم تكون المعلمتان في المعادلة (4) كما يلي: $1 = a$ و $0 = b$. ويمكن تنفيذ زوج عينات للوظيفتين OETF و EOTF مع قيمة غاما للنظام تبلغ 1,0 بمثابة نقطة انطلاق، وذلك باستعمال المعادلتين (1) و (2)، بالمعلمات $1 = s$ ، و $0,2701 = m = t$ ، و $0,0729 = c$ ، و $0,4623 = n$.
