

Spooky Blue Laserprojektor bis 10mW Grün

Konzept und Verifikation März 2002

Der Spooky Blue Laserprojektor ist ein Stand-Alone Laserdisplay. Alle Spooky Blue Laserprojektoren genügen den europäischen Bestimmungen, der DIN EN 60875 und VDE 0837 Unfallverhütungsvorschrift in der Fassung vom 01.01 1997, wenn die folgenden grundlegenden Bedienungsvorschriften eingehalten werden.

Beschreibung der Lasereinheit

Die Laserquelle ist in einem blauen, geschlossenen Metallgehäuse montiert. Das Gehäuse verhindert, dass ausgenommen durch das rechteckige Austrittsfenster der Größe 40mm x 40mm, kein unbeabsichtigt reflektierter oder gestreuter Strahl die Einheit verlassen kann. Der Spooky Blue Laserprojektor benötigt ein externes Netzteile. 255 vorprogrammierte Animationen stehen dem Anwender über 2 DMX Kanäle zur Verfügung. Die Effekte sind in einer 16x16 Matrix aufgeteilt. (16 Effektgruppen mit je 16 Effekten). Wenn kein DMX Signal am Gerät anliegt, ist die Laserquelle ausgeschaltet.

Der Laserprojektor ist mit einem frequenzverdoppelten Nd:YAG Laser ausgestattet, der eine Wellenlänge von 532nm emittiert. Die Laserquelle wird durch eine aktive Temperaturschaltung gekühlt, so dass Fluktuationen in der Laserleistungsstabilität vermindert werden und somit einen Wert von weniger als 15% innerhalb eines Zeitraums von 6 Stunden Dauerbetrieb erreichen. Die verwendete Laserquelle ist mit einer maximalen Leistung von 10mW im CW „Continuous Wave“ Betrieb klassifiziert.

Neben der Laserquelle enthält der Laserprojektor zwei Linearmotoren (Galvanometer Scanner) um den Laserstrahl in zwei Richtungen abzulenken. Im folgenden werden diese Richtung als X- und Y- Achse bezeichnet.

Die integrierte Galvanometer Kontrollschaltung besitzt eine unabhängig laufende Sicherheitsfunktion. Diese Sicherheitsfunktion kontrolliert permanent die Funktionalität der Galvanometer und schaltet den Laserstrahl aus, wenn

- 1) mindestens eine Galvanometer eine Fehlfunktion aufweist.
- 2) die tatsächliche Auslenkwinkel einen vordefinierten Mindest-Auslenk-winkel unterschreitet.
- 3) die durchschnittliche Laserleistung aufgrund eines zu kleinen Auslenkwinkels oder stehenden Strahls den vorgeschriebenen Sicherheitslevel überschreitet.

In jedem Fall wird die Laserleistung innerhalb einiger Millisekunden ausgeschaltet. Um diese Schutzfunktion zu gewährleisten, prüft die unabhängig laufende Sicherheitsschaltung die folgenden Eingänge auf deren Signalzustand:

- Galvo-Feedback Signale X und Y
- X und Y vom Computer

Dazu werden die Signale in 8 Bit Auflösung gemessen (max. Scanbereich 256) und mittels Mikroprozessor ausgewertet.

Die Signale müssen in einem festgesetzten sicherheitsrelevanten Zeitfenster einen bestimmten Weg zurücklegen, damit der Laser aktiviert bleibt. Dieser Weg ist voreingestellt und kann seitens des Anwenders nicht verändert werden. Als Zeitfenster T wurde 50ms gewählt.

Die Lasersicherheitsexperten empfehlen in diesem Zusammenhang eine minimale Detektionszeit von 100ms. Die Reaktionszeit der Spooky Blue wurde auf 50ms erhöht, um allen Möglichkeiten eines unsicheren Betriebs vorzubeugen.

Die Schaltkriterien sind.

- Bewegung X Input UND Feedback X erfüllt ODER Bewegung Y Input UND Feedback Y erfüllt
- Alle anderen Zustände: Laser Aus.
- Wenigstens eine Achse muss die Sicherheitsbedingungen erfüllen.

Die Ablenkspiegel der Galvanometer sind mit zwei, AlO₂ beschichteten, Spiegeln ausgestattet. Durch die Beschichtung wird eine Reflektion von bis zu 94% erreicht. Zudem besitzt das Austrittsfenster, welches speziell für Licht des sichtbaren Wellenlängenspektrums antireflex- beschichtet ist, eine Reflektion von maximal 5%.

Ausgehend von einer angenommenen Laserleistung von 10mW der Laserquelle, sollte bedingt durch Reflektionverluste die aus dem Gerät austretende Laserleistung einen Wert von 8.3 mW nicht überschreiten.

Sicherheitsrelevante Berechnungen

Bestimmung der maximal zulässigen Bestrahlung des Spooky Blue Laserprojektors.

Angenommen, die Laserquelle, Wellenlänge 523nm, Strahldurchmesser $d_0 = 10\text{mm}$, scannt einen Tunnel mit Durchmesser 3.5m (Tunnelradius $r = 1,75\text{m}$) in einer Entfernung von 4m. Die Strahldivergenz der Laserquelle würde in 4 Meter Entfernung in einen Strahldurchmesser von ca. $d = 15\text{mm}$ resultieren. Die Scanimpulsfrequenz wird mit $F = 130\text{Hz}$ angenommen. Der Pupillendurchmesser des menschlichen Auges wird mit $d' = 7\text{mm}$ angenommen. (worst case, maximal geöffnete Pupille in Dunkelheit)

Es wird angenommen, dass die emittierende Fläche der Laserquelle ein rundes Profil besitzt:

$$A_{\text{Laser}} = \pi \cdot \frac{d_0^2}{4} = 78,53 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Die Strecke des gescannten Tunnels berechnet sich zu:

$$S_{\text{tunnel}} = 2 \cdot \pi \cdot r = 10,996\text{m}$$

Somit beträgt die Impulsgeschwindigkeit auf dem Tunnel:

$$V_{\text{tunnel}} = S_{\text{tunnel}} \cdot F = 10,996\text{m} \cdot 130\text{Hz} = 1429,48 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Wird sowohl der Strahldurchmesser als auch der Pupillendurchmesser des menschlichen Auges berücksichtigt, so ergibt sich eine Impulsdauer für die Bestrahlung im Auge von:

$$t_{\text{impuls}} = \frac{d + d'}{V_{\text{tunnel}}} = \frac{15\text{mm} + 7\text{mm}}{1429,48 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 15,39 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

Da der Laser im sichtbaren Teil des Spektrums emittiert, wird die Einwirkdauer durch den Lidschlussreflex auf $T = 0,25\text{s}$ begrenzt. Für diese Dauer ist die Gesamtanzahl der Impulse:

$$N = T \times F = 130\text{Hz} \times 0,25 \text{ s} = 32,5$$

Die folgenden 3 Kriterien müssen betrachtet werden und das am meisten Einschränkungende wird bei der Berechnung des MZB Werts angewandt. Der Wert von C_6 ist in diesen Berechnungen 1, da der Strahl von einer Punktquelle ausgeht.

- a) Die Bestrahlung jedes einzelnen Impulses darf den MZB-Wert für einen Einzelimpuls nicht übersteigen. Deshalb ergibt sich für die Bestrahlung während der Einwirkdauer von $t = 15,39 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ ein Wert von:

$$H_{\text{Einzelimpuls}} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \cdot C_6 = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

Die Bestrahlungsstärke ergibt sich aus dem Quotienten aus Bestrahlung und Einwirkdauer. Somit berechnet sich die Bestrahlungsstärke eines Einzelimpulses zu:

$$E_{\text{Einzelimpuls}} = \frac{H_{\text{Einzelimpuls}}}{t_{\text{impuls}}} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^2}}{15,39 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 324,89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Unter Berücksichtigung der Struktur und Größe der emittierenden Laserfläche wird die maximal zulässige Laserleistung für dieses Kriterium:

$$P_{\text{Laser}} = E \cdot A_{\text{Laser}} = 324,89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 78,53 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 25,51 \text{ mW}$$

Ergebnis a): $P_{\text{laser, max}} = 25,51 \text{ mW}$

- b) Die Mittlere Bestrahlung einer Impulsfolge der Länge T nicht den MZB-Wert für einen Einzelimpuls der Dauer T nicht übersteigen. Für die Einwirkzeit von 0,25s (Lidschlussreflex) wird die Bestrahlung nach Tabelle 6¹ begrenzt auf:

$$H_T = 18 \cdot T^{0,75} \cdot C_6 \frac{\text{J}}{\text{m}^2} = 6,36 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

Da $N = 32,5$ Pulse in die Bestrahlungsdauer von 0,25s fallen, führt das Kriterium für die gemittelte Bestrahlung eines Einzelimpulses zu:

$$H_{\text{Einzelimpuls, gemittelt}} = \frac{H_T}{N} = \frac{6,36 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}}{32,5} = 195,69 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

Die entsprechende Bestrahlungsstärke berechnet sich zu:

$$E_{\text{Einzelimpuls, gemittelt}} = \frac{H_{\text{Einzelimpuls, gemittelt}}}{t_{\text{impuls}}} = \frac{195,69 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^2}}{15,39 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 12,72 \cdot 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Somit ist die für dieses Kriterium maximal erlaubte Laserleistung:

$$P_{\text{Laser}} = E_{\text{Einzelimpuls, gemittelt}} \cdot A_{\text{tunnel}} = 12,72 \cdot 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 78,53 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 998,55 \text{ mW}$$

Ergebnis b): $P_{\text{laser, max}} = 998,55 \text{ mW}$

- c) Das dritte Kriterium legt für eine Impulsfolge fest, dass die Bestrahlung eines Einzelimpulses um den Faktor $N^{-0,25}$ verringert werden muss.

Für $N = 32,5$ Pulse in der Einwirkdauer von $0,25\text{s}$ (Lidschlussreflex) würde sich die Bestrahlung nach diesem Kriterium ergeben als:

$$H_{\text{Impulsfolge}} = H_{\text{Einzelimpuls}} \cdot N^{-0,25} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \cdot 32,5^{-0,25} = 2,094 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

Die Bestrahlungsstärke ergibt sich aus dem Quotienten aus Bestrahlung und Einwirkdauer. Somit berechnet sich die Bestrahlungsstärke der Impulsfolge zu:

$$E_{\text{Impulsfolge}} = \frac{H_{\text{Impulsfolge}}}{t_{\text{impuls}}} = \frac{2,094 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^2}}{15,39 \cdot 10^{-6} \text{s}} = 136,06 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Unter Berücksichtigung der Struktur und Größe der emittierenden Laserfläche wird die maximal zulässige Laserleistung für dieses Kriterium:

$$P_{\text{laser}} = E \cdot A_{\text{Laser}} = 136,06 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 78,53 \cdot 10^{-6} \text{m}^2 = 10,68 \text{mW}$$

Ergebnis c): $P_{\text{laser, max}} = 10,68 \text{mW}$

Da der Grenzwert für das dritte Kriterium der am meisten einschränkende ist, ergibt sich für die Bestrahlungsstärke des MZB-Werts für einen Einzelimpuls in diesem System $136,06 \text{W/m}^2$. Die maximal zulässige Laserleistung beträgt somit $10,68\text{mW}$.

Wird berücksichtigt, dass einzelne Effekte des Laserprojektors in permanenter Bewegung sind, muss die Einwirkzeit um einen weiteren Faktor, abhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit des Effekts, verringert werden. In jedem Fall wird somit der maximale MZB Wert erhöht, da die Impulsdauer durch die Effektbewegung verringert wird. Alle obigen Berechnungen entsprechen daher dem theoretischen „Worst Case“.

Die Mindestentfernung vom SpookyBlue Projektor zum Betrachter ist mit 4m kalkuliert. Die Divergenz des Laserstrahls in Verbindung mit einer zusätzlichen Raumhelligkeit durch Umgebungslicht, Effektbeleuchtung oder Notausgangsbeleuchtung tragen dazu bei, dass ein Maximaldurchmesser der Retina in Höhe von 7mm während der Bestrahlung eher unwahrscheinlich ist.

Die Verwendung von Nebel während der Laseremission sollte zu einer deutlichen Reduktion der Bestrahlungsstärke führen, während gleichzeitig der visuelle Effekt der Projektion um ein Vielfaches erhöht wird. Zusätzlich wird der Einsatz von Dunst-Maschinen für eine effektive Performance empfohlen.

Bedingungen für einen sicheren Betrieb.

Ausgehend von den Europäischen Richtlinien nach DIN EN 60875 und ergänzenden Unfallverhütungsvorschriften müssen die folgenden Bedingungen für einen sicheren Betrieb des SpookyBlue Laserprojektors eingehalten werden. Dies vorgeschriebenen Richtlinien könnten je nach den lokalen Bestimmungen im Einsatzland variieren.

Der Anwender sollte sich daher vor Inbetriebnahme vergewissern, dass alle jeweils gültigen lokalen Bestimmungen eingehalten werden. Falls einer oder mehrere der folgenden Auflagen nicht erfüllt werden, muss ein Sicherheitsbeauftragter hinzugezogen werden, der den ordnungsmäßigen Betrieb der Laserprojektion bestätigt und zusätzlich das System einem Sicherheits-Check unterzieht.

Die Mindestentfernung vom SpookyBlue Projektor zum Betrachter muss 4m betragen. Dabei ist der Abstand zwischen Laseraustritt und Augenhöhe des Betrachters in kürzester erreichbarer Entfernung zum Projektor ausschlaggebend. Der Anwender hat sicherzustellen, dass keine Person den Sicherheitsbereich zwischen Projektor und Betrachter betreten kann. Der Projektor muss in einer Mindesthöhe von 2.80m montiert werden. Zugrundegelegt ist der Höhenunterschied zwischen höchster Erhebung von dem Boden, auf dem der Betrachter stehen kann, und dem tiefsten Strahlaustritt der Laserprojektion. Eine Installation des Projektors in einer Höhe von 3m oder mehr wird empfohlen, zumal mit größerer Entfernung zwischen Projektor und Betrachter ein umso beindruckenderer Lasereffekt erzielt werden kann.

Während des Betriebs der Laserprojektion muss der Anwender in ständigem Sichtkontakt zum Laser stehen, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Es wird empfohlen, die Stromzufuhr zum Projektor über einen Notaus- und Schlüsselschalter System zu leiten, um einen nicht-autorisierten Systemzugriff durch unbefugtes Personal zu unterbinden. Das Notaus- und Schlüsselschalter System kann zusätzlich eingesetzt werden, um im Falle eines Systemausfalls, den Laser sofort abzuschalten.

Der Laserprojektor muss vorschriftsmäßig mit ausreichendem Befestigungsmaterial fest montiert und gesichert werden. Die Verwendung eines Fangseils ist vorgeschrieben. Der Laserprojektor sollte sich unter keinen Umständen während des Betriebs aus seiner Verankerung lösen können.

Für den Hersteller:

Dipl. Ing. Opto-Elektronik Oliver Stolz

EG-Konformitätserklärung



Für das nachfolgend bezeichnete Erzeugnis

Spooky Blue Laserprojektor

wird hiermit bestätigt, dass es den wesentlichen Schutzanforderungen entspricht, die in der Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (89/446/EWG) festgelegt sind.

Zur Beurteilung des Erzeugnisses hinsichtlich elektromagnetischer Verträglichkeit wurden folgende Normen herangezogen:

IEC 801 Teil 3; VDE 0843 Teil 3
IEC 801 Teil 4; VDE 0843 Teil 4
IEC 801 Teil 2; VDE 0843 Teil 2
DIN EN 55011B; VDE 0875 Teil 11
DIN EN 60555-2: 1987
DIN EN 60555-3: 1987

Weiterhin wurde das Gerät entsprechend der Richtlinien der VDE 0837 Laserschutzklassen geprüft. Nach erfolgter Installation ist eine weitere Prüfung des gesamten Aufbaus unerlässlich und muss nach den Richtlinien der VDE 0837 und korrespondierender Unfallverhütungsvorschrift VBG 93 vorgenommen werden.

Diese Erklärung wird abgegeben für den Hersteller

MediaLas Laserproducts GmbH
Neue Rottenburger Str. 37
D-72379 Hechingen

durch

Dirk Baur
Geschäftsführer

Hechingen, 01.03.2002