**Unfälle durch gefährliche Restspannungen in Maschinen und deren Ausrüstung**

Trotz Einhaltung der „5 Sicherheitsregeln“ nach DIN VDE 0105-100, kommt es immer wieder zu Unfällen an elektrischen Maschinen, aufgrund von gefährlichen (gespeicherte Ladungen) Restspannungen. Ein sogenannter Unfall passiert meist, wenn die Spannungsfreiheit zwar an der Freischaltstelle (z. B. nach dem Hauptschalter), aber nicht an der eigentlichen Arbeitsstelle (z. B. beim Wechsel eines Frequenzumrichters oder Leistungskondensators) nachgewiesen wurde und Hinweise auf Restladungen/Entladezeiten/Spannungen fehlen oder missachtet werden!

**Mögliche Gründe für gefährlichen Restspannungen (gespeicherte Ladungen)**

Durch den vermehrten Einsatz von Umrichtern für geregelte Drehstromantriebe werden immer mehr Leistungskondensatoren in die elektrische Ausrüstung für eine Maschine eingebaut.

Kapazitäten von Leistungskondensatoren können eine elektrische Gefahr darstellen, da bei Leitungskondensatoren mit einer hohen elektrischen Ladekapazität an aktiven Teilen auch nach einer Abschaltung noch eine lange Zeit eine gefährlich hohe Berührungsspannung anstehen kann. Als gefährlich wird in diesem Zusammenhang eine Restspannung von mehr als 60 V angesehen.

**Reduzierung der Restspannung innerhalb von 5 Sekunden bei Festanschluss**

Als ungefährlich wird in der DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1) eine Restspannung angesehen, wenn Sie spätestens nach **5 s** bei Festanschluss auf **unter 60 V** abgesunken ist. Dies kann durch natürliche Verluste erreicht werden oder durch eine automatische Kurzschließeinrichtung, die beim Abschalten der elektrischen Ausrüstung gleichzeitig die Kapazitäten kurzschließt. Eine Kurzschließmethode darf jedoch die ordnungsgemäße Funktion der elektrischen Maschine/Anlage nicht stören, ggf. muss der Kurzschlussstrom zusätzlich über Widerstände begrenzt werden.

**Stecker und abnehmbare Stromabnehmer**

Besondere Situationen können bei Stecker-/Steckdosenkombinationen oder bei abklappbaren Stromabnehmern von Schleifleitungen auftreten, die nach Betätigung noch eine Restspannung aufweisen können. Hier rechnet man bereits nach **1 s** mit einer möglichen Berührung, also praktisch noch während des Ziehens des Steckers, beziehungsweise dem abklappen des Stromabnehmers.

**Maßnahmen zum Schutz gegen Restspannung bei nichterreichen der Grenzwerte**

„Prüfung auf Grenzwert ≤ 60 V“

Falls weder eine Entladezeit von **1 s** bei ziehen von Steckern oder **5 s** nach dem Ausschalten der Netztrenneinrichtung (Hauptschalter) bei Festanschluss, noch ein Schutz von mindestens IP2X oder IPXXB (Fingersicherheit) erreicht werden kann, müssen zusätzliche Schalteinrichtungen oder eine angemessene Warneinrichtungen (z. B. ein Warnhinweis) vorgesehen werden. Des Weiteren sollte die Entladezeit, sowie erforderliche Schutzmaßnahmen gegen einen elektrischen Schlag (gefährliche Berührungsspannungen), in der Bedienungsanleitung der elektrischen Maschine bzw. Anlage vermerkt und zusätzlich außen auf dem Schaltschrank sichtbar angebracht werden, siehe Abbildung 1 und 2.

Beispiele für Schilder mit Warnsymbol für gefährliche Spannung und Hinweis auf Restspannung.

 

Abbildung 1 Abbildung 2

**Türschlossverriegelung**

Für eine elektrische Ausrüstung mit Restspannung bietet sich auch eine Blockade des Türöffnungsmechanismus an, der ein Öffnen so lange verhindert, bis die Restspannung unter 60 V abgesunken ist. Eine solche Verriegelung kann entweder zeitgesteuert oder restspannungsabhängig wirken.

**Messung der Restspannung**

Für eine Messung müssen geeignete Messgeräte mit einem sehr hohen Innenwiderstand verwendet werden, da insbesondere bei kleinen Kondensatoren schon ein normaler Spannungsmesser mit einem Innenwiderstand von 1 MΩ/V den Entladevorgang so beschleunigt, dass keine vernünftige Aussage über den eigentlichen Wert nach 5 s gemacht werden kann. Eine andere, bessere Methode wäre die oszilloskopische Aufzeichnung der Entladespannungskurve oder spezielle Messgeräte für die messtechnische Maschinenprüfung.

**Auszug aus der Norm DIN EN 60204-1** (VDE 0113-1): 2019-06

Abschnitt 18.5 „Schutz gegen Restspannungen“

Wenn angebracht, müssen Prüfungen durchgeführt werden, um die Anforderungen entsprechend 6.2.4 „**Schutz gegen Restspannung**“ sicherzustellen.

**Prüfbedingungen:**

Prüfung, ob die Spannung an aktiven Teilen nach dem Ausschalten der Versorgungsspannung innerhalb von **5 s** oder bei Ziehen von Steckern oder ähnlichen Geräten mit gleichzeitigem Freilegen von Leitern (z. B. Steckerstifte) innerhalb von **1 s** auf 60 V oder weniger abfällt.   
Die Messung wird an allen Bauteilen durchgeführt, die eine gespeicherte Ladung von mehr als 60 µC haben.

Beispiel einer Tabelle für Prüfergebnisse:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nr. | Beschreibung der Bauteile (ggf. Betriebsmittelkennzeichnung) | Versorgungsspannung bzw. Klemmspannung (V) | Frequenz (Hz) | Entladezeit bis U< 60V (s) | Grenzwert (s) | Anforderung erfüllt**\***  *JA*  *NEIN* | |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |

**\***) Die Anforderungen gelten als Erfüllt, wenn die Entladezeit kleiner als der Grenzwerte ist. Ansonsten müssen angemessene Warnhinweise vorgesehen werden.

**Fazit:**

Der Maschinenhersteller oder Errichter elektrischer Anlagen hat anhand einer **Risikobeurteilung** (zur Integration der Sicherheit in der Planungsphase) die Gefährdungen zu betrachten und wenn sie technisch nicht in einem wirtschaftlichen Rahmen zu lösen sind, darauf hinzuweisen. Der Hinweis geschieht in der Bedienungsanleitung und an den Maschinen und direkt auf den Betriebsmitteln z. B. Frequenzumformer, siehe Abbildung 1 und 2.

Auch bei anderen elektrischen Betriebsmittel muss das Thema **„Restspannung“,** gemäß Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU durch den Hersteller in den technischen Unterlagen, mittels geeigneter Analyse und Bewertung des Risikos/der Risiken, beachtet werden.