

Precise temperature control for
liquid chromatography

Laird
THERMAL SYSTEMS

Heizung und Kühlung für Flüssigchromatographie- systeme

Laird Thermal Systems Anwendungsbericht

Laird
THERMAL SYSTEMS

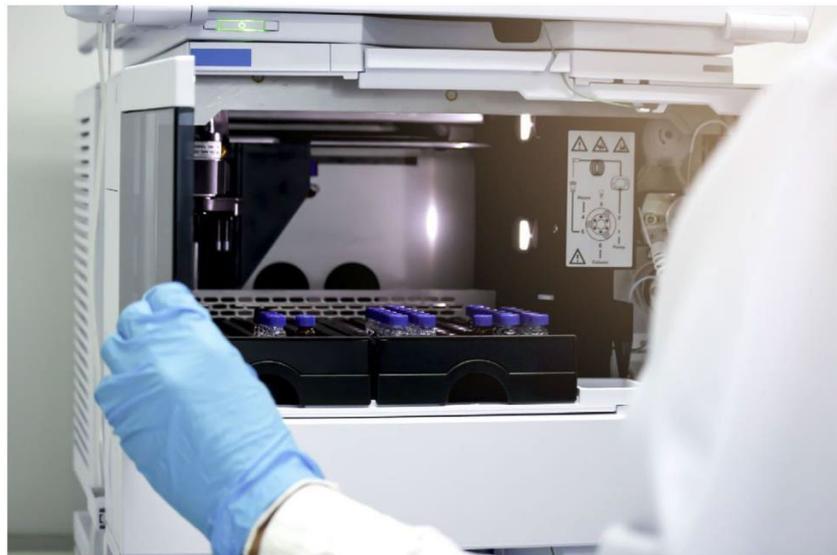
Inhalt

Einleitung	3
Herausforderungen beim thermischen Design	3
Leistung	4
Luftstrom	4
Abdichtung	5
Temperaturregelung	5
Thermoelektrische Kühlung	6
Thermoelektrische Lösungen von Laird Thermal Systems	7
Fazit	9
Über Laird Thermal Systems	10
Laird Thermal Systems kontaktieren	10

Einleitung

Die Hochleistungs-Flüssigchromatographie (HPLC) ist eine Technik zur Analyse von Flüssigkeitsgemischen durch Trennung, Identifizierung und Quantifizierung der einzelnen Bestandteile. Die Flüssigchromatographie arbeitet in der Regel mit kleinen Materialmengen und versucht, die relativen Anteile der Analyten in einem Gemisch zu messen. F&E-Labors in der Pharma-, Lebensmittel- und Ölindustrie verwenden diese Instrumente zur Produktentwicklung oder für Reverse Engineering.

Die Temperaturregelung spielt in der Flüssigkeitschromatographie eine wichtige Rolle, da sie die Wechselwirkungen zwischen den Probenbestandteilen und dem Adsorbens beeinflusst. Moderne HPLC-Geräte verwenden die thermoelektrische Peltier-Technologie zum Kühlen oder Heizen des Probenellers und der Trennsäule. Die kompletten Wärmemanagementsysteme von Laird Thermal Systems optimieren die Leistung von Flüssigchromatographie-Geräten. Abhängig von den Anforderungen an die thermische Belastbarkeit des HPLC-Systems können dies entweder thermoelektrische Kühler oder thermoelektrische Baugruppen in Kombination mit unseren Temperaturreglern der Serie SR-54 sein.



Einsatz von Thermoelektrik zur Temperaturregelung bei der Hochleistungs-Flüssigchromatographie

Herausforderungen beim thermischen Design

HPLC-Hersteller müssen bei der Entwicklung des Wärmemanagements mehrere Herausforderungen berücksichtigen, darunter kompakte Formfaktoren gegenüber der verfügbaren Kapazität, Effizienz, Kosten und Zuverlässigkeit. Weitere Konstruktionsfaktoren für ein Peltier-Kühlsystem sind die Anstiegsrate, die Temperaturstabilität und die Widerstandsfähigkeit gegen das Eindringen von Feuchtigkeit, die die Kühleinheit beschädigen kann.

Leistung

Obwohl thermoelektrische Komponenten in HPLC-Geräten sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen verwendet werden, ist die Kühlung weitaus schwieriger zu erreichen. Wenn die Stromzufuhr zu einem thermoelektrischen Element umgekehrt wird, kehrt sich die Richtung der Wärmeübertragung um, so dass Wärme aus der Umgebung absorbiert und der vom thermoelektrischen Kühler erzeugten Widerstandswärme hinzugefügt wird. Dies führt dazu, dass der Wirkungsgrad beim Heizen um ein Vielfaches höher ist als im Kühlbetrieb.

Um die maximale Leistung bei der Verwendung von Thermoelektrik zu erreichen, muss die Temperaturdifferenz genau berechnet werden, um zu bestimmen, wie viel Wärme

übertragen werden muss. Thermoelektrische Kühleinheiten haben in der Regel eine maximale Wärmepumpleistung, die mit zunehmender Temperaturdifferenz abnimmt. Dieser Wert ist mit der Luft- oder Flüssigkeitsdurchflussleistung von Lüftern oder Pumpen vergleichbar, kann aber nur erreicht werden, wenn keine Systemimpedanz vorliegt.

Bei einer thermoelektrischen Luft-Luft-Einheit wird die Temperatur auf der heißen Seite in der Regel als die Luft definiert, in die die Wärme geleitet wird, was bedeutet, dass die Pumpleistung für eine thermoelektrische Standard-Kühlereinheit anhand eines veröffentlichten Leistungsdiagramms relativ einfach zu berechnen ist. Bei einem einzelnen thermoelektrischen Element ist die tatsächliche Temperatur der heißen Seite jedoch nicht so leicht zu ermitteln, da sie sowohl von der übertragenen Wärmemenge als auch vom Wärmewiderstand zwischen der heißen Seite des thermoelektrischen Elements und der Umgebungsluft abhängt. Aus diesem Grund ist der Kühlkörper auf der heißen Seite hinsichtlich der Leistung die kritischste Komponente einer thermoelektrischen Kühlereinheit. Aufgrund des zusätzlichen Wärmestroms durch die im thermoelektrischen Element erzeugte Widerstandswärme wird über diesen Kühlkörper mehr Wärme übertragen als über den Kühlkörper auf der Kaltseite. Ein Leistungsunterschied des Kühlkörpers von 2-3 °C entspricht einer Leistungsänderung der Wärmepumpe von ca. 5 %.

Der thermoelektrische Kühler selbst sollte den höchsten Wert (in Bezug auf die Kühlleistung) haben, den das Leistungsbudget und der Kühlkörper zulassen. Entwickler können keinen thermoelektrischen Kühler auswählen, der mehr Strom verbraucht, als dem System zur Verfügung steht, aber der wirklich begrenzende Faktor für die thermoelektrische Leistung ist oft der Kühlkörper. Ein stärkerer thermoelektrischer Kühler erzeugt mehr Wärme im Kühlkörper, was zu einer höheren Temperatur auf der heißen Seite des Kühlkörpers führt. Bei geringerer Leistung reicht dieser Anstieg der Kühlkörpertemperatur möglicherweise nicht aus, um zu bewirken, dass ein thermoelektrischer Kühler höherer Leistung weniger Wärme pumpt als ein Kühler niedrigerer Leistung. Mit zunehmender Leistung führt der Anstieg der Kühlkörpertemperatur jedoch zu einer größeren Temperaturdifferenz über dem thermoelektrischen Kühler, wodurch dessen Wärmepumpleistung verringert wird. Die Faustregel lautet: Je besser die Wärmeableitung ist, desto weiter entfernt liegt dieser Übergang und desto mehr Kühlleistung kann der Entwickler aus dem System herausholen.

Luftstrom

Da der zur Verfügung stehende Platz in der Regel sehr begrenzt ist, müssen Wege für die Zu- und Abluft berücksichtigt werden. Für die Kühlung von Kühlkörpern wird im Allgemeinen ein Aufprallluftstrom empfohlen. Dabei leiten die Lüfter die Luft senkrecht zur Grundplatte auf den Kühlkörper. Dies erfordert jedoch mehrere Luftstrompfade, die bei engen Platzverhältnissen möglicherweise nicht zur Verfügung stehen. Eine alternative Möglichkeit besteht darin, die Luft in Richtung der Rippen zu drücken, also parallel zum Sockel des Kühlkörpers. Dies führt jedoch zu einer geringeren Leistung aufgrund der kontinuierlichen laminaren Strömung mit geringen Turbulenzen an Stellen mit niedriger Geschwindigkeit. Eine dritte Möglichkeit besteht darin, den Luftstrom senkrecht zur Grundplatte zu führen, ähnlich wie beim Aufprallluftstrom, wobei aber der Lüfter die Luft von der Sockelplatte wegzieht. Dies ist nicht so wünschenswert wie ein direkter Luftstrom in den Sockel, da direkt unter dem Lüfter eine ständige „tote Zone“ mit geringer Luftbewegung entstehen kann. Allerdings können Systemerwägungen, wie z. B. die Notwendigkeit, die erwärmte Abluft des Kühlkörpers vom Tablett oder der Elektronik wegzuleiten, eine solche Ausrichtung erfordern.

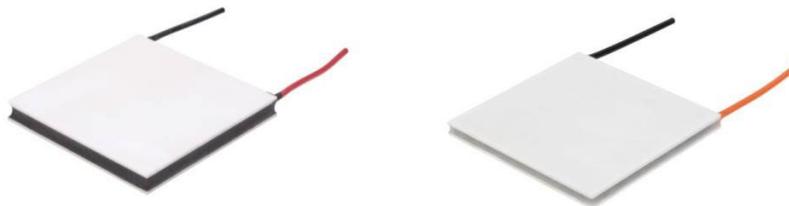
Um die Reaktionszeit zu verkürzen, kann der Lüfter auch zwischen den Zeiten, in denen das thermoelektrische Element nicht in Betrieb



ist, kontinuierlich mit Nennspannung versorgt werden. Wenn das thermoelektrische Element eine beträchtliche Überkapazität aufweist und einen großen Teil seines Arbeitszyklus ohne Stromzufuhr verbringt, kann es von Vorteil sein, den Lüfter in diesen Momenten abzuschalten, um die Betriebsdauer des Systems zu verlängern. Der Lüfter ist in der Regel das Bauteil mit der geringsten Gesamtlebensdauer in einer thermoelektrischen Kühlereinheit.

Abdichtung

In modernen HPLC-Geräten werden Wärmemanagementsysteme eingesetzt, um Temperaturstabilität und Kondensationsschutz zu gewährleisten. Das Eindringen von Feuchtigkeit in den thermoelektrischen Hohlraum kann zu einem vorzeitigen Ausfall des thermoelektrischen Kühlers führen und einen Systemausfall verursachen. Thermoelektrische Kühler, die in diesen Anwendungen zum Einsatz kommen, sind üblicherweise entweder mit einer Epoxid- oder einer Silikondichtung gegen Feuchtigkeit abgedichtet. Eine gute Designpraxis ist eine zusätzliche Barrierestufe mit isolierendem Dichtungsmaterial zum Schutz des thermoelektrischen Hohlraums, in dem sich die Thermoelektrik befindet. Hierfür wird in der Regel eine Dichtung aus geschlossenzelligem Schaumstoff verwendet, wobei eine weitere Barrierestufe durch die Verwendung von Flüssigschaum erreicht werden kann. Dies macht es für die Feuchtigkeit äußerst schwierig, mehrere Barrieren zu überwinden, um in den thermoelektrischen Kühlern zu kondensieren und Zuverlässigkeitsprobleme zu



verursachen.

Thermoelektrische Kühler, die in HPLC-Geräten verwendet werden, sind in der Regel mit Epoxy (linkes Bild) oder RTV (rechtes Bild) versiegelt, um das Eindringen von Feuchtigkeit zu verhindern.

Die Abdichtung der Durchführungen für die Strom- und Sensorkabel ist ebenfalls wichtig. Dabei kann es sich entweder um Löcher in der Dichtung oder im Schaumstoff handeln oder um Löcher im massiven Kühlkörper oder Kühlblock. In beiden Fällen wird üblicherweise ein silikonartiges Dichtungsmittel verwendet, wobei bei der Durchführung durch Metall eine geeignete Kabeldichtungsstülle vorzuziehen ist.

Temperaturregelung

Abhängig von den Anforderungen an die Temperaturregelung können unterschiedliche Konstruktionsmerkmale erforderlich sein. In der Regel ist eine präzise Temperaturregelung im Bereich von 4 bis 40 °C erforderlich, wobei der Wärmebedarf zwischen 25 und ~100 Watt liegt. Einige neue Geräte benötigen bis zu 200 W, um einen hohen Probendurchsatz zu ermöglichen. Darüber hinaus verfügen viele neue HPLC-Geräte über mehrere Probenaufbewahrungskammern, die unterschiedliche Kühl- oder Heizanforderungen haben, was die Wärmebelastung des Gesamtsystems erhöht.

Der Temperaturfühler kann in der Kühlplatte des thermoelektrischen Kühlers oder in deren Nähe installiert werden. Sofern möglich, sollte der Messort in der Nähe der Proben liegen. Wenn die Anwendung eine Temperaturstabilität von mehr als 1 °C erfordert, ist ein

Temperaturregler sinnvoll. Wenn jedoch nur gekühlt werden soll und das System eine Hysterese von einigen Grad zulässt, ist eine thermostatische Regelung ausreichend. Wenn sowohl Heizung als auch Kühlung benötigt werden, sind bessere Temperaturfühler und eine grundlegende PID-Regelungslogik erforderlich.

Falls der Benutzer einen Alarm auslösen muss, falls die thermoelektrische Kühleinheit einen thermisches Durchgehen verursacht, kann ein Thermostat am Kühlblock und am Kühlkörper angebracht werden, um die thermoelektrische Leistung zu unterbrechen. Die Ursache des Durchgehens ist höchstwahrscheinlich der Ausfall eines Lüfters, der zur Kühlung des thermoelektrischen Kühlkörpers verwendet wird.

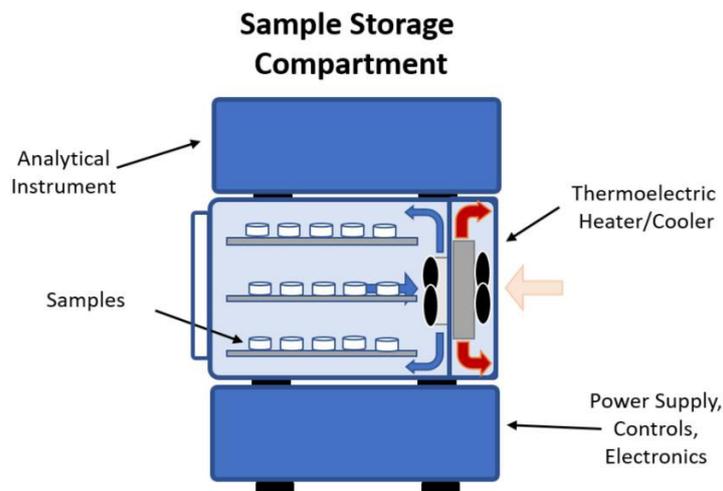


Thermoelektrische Kühler, die von programmierbaren Reglern gesteuert werden, bieten eine komplette Wärmemanagementlösung für Flüssigchromatographiesysteme. Ein Temperaturregler bietet Überwachungs- und Alarmfunktionen, einschließlich der Erkennung eines problematischen Lüfters, eines thermoelektrischen Kühlers, eines Übertemperatur-Thermostats und des Ausfalls eines Temperatursensors – alles entscheidende Faktoren für die Maximierung der Betriebszeit von Messgeräten. Gebrauchsfertige Steuerungen erfordern nur einen minimalen Programmieraufwand und können einfach mit einer thermoelektrischen Kühleinheit oder einem Systemgehäuse verbunden werden. Die Steuerung verringert zudem die Betriebsgeräusche, da die Lüfter abgeschaltet werden, sobald die festgelegte Temperatur im jeweiligen HPLC-Probenblett und der Trennsäule erreicht ist.

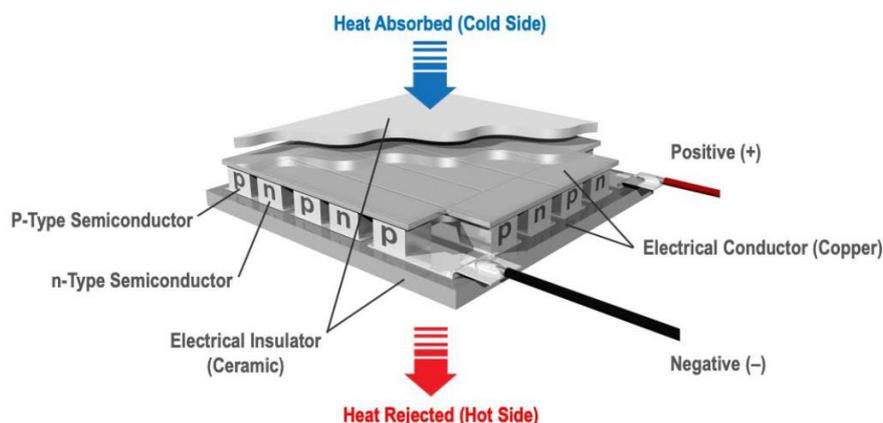
Thermoelektrische Kühlung

Der Einsatz von Thermoelektrik in HPLC-Systemen hat viele Vorteile, darunter die Fähigkeit, sowohl heizen als auch kühlen zu können, und dies mit schnellen Änderungsraten. Darüber hinaus bieten thermoelektrische Elemente eine präzise Temperaturregelung und sind umweltfreundlich, da sie keine schädlichen Kältemittel verwenden.

Die nachstehende Abbildung zeigt, wie eine typische thermoelektrische Heiz-/Kühleinheit zum Kühlen oder Heizen eines Flüssigchromatographiegeräts verwendet wird. Die thermoelektrische Einheit ist zwischen zwei Luftwärmetauschern montiert. Im Kühlbetrieb zirkuliert die Luft im Inneren der Kammer über den Kühlkörper auf der kalten Seite und kühlt sich ab. Die Wärme wird von den thermoelektrischen Kühlern aufgenommen und an den Kühlkörper auf der heißen Seite abgegeben. Der Wärmetauscher auf der heißen Seite gibt diese Wärme anschließend an die Umgebungsluft ab. Im Heizbetrieb ist es umgekehrt. Im Heizbetrieb ist der Lüfter auf der heißen Seite normalerweise ausgeschaltet, um die Wärmeübertragung aus der Umgebung zu begrenzen.



Thermoelektrische Kühler sind Halbleiter-Wärmepumpen, die Wärme über den Peltier-Effekt transportieren. Während des Betriebs fließt Gleichstrom durch den thermoelektrischen Kühler, wodurch eine Temperaturdifferenz über dem Modul entsteht. Während die eine Seite des thermoelektrischen Kühlers kalt wird (Wärmeaufnahme), erwärmt sich die andere Seite (Wärmeabgabe). Thermoelektrische Kühler werden in der Regel an Kühlkörper mit erzwungener Konvektion auf der kalten Seite angeschlossen, um Wärme aus dem Inneren der Kammer aufzunehmen, während der Kühlkörper auf der heißen Seite die Wärme an die Umgebung abgibt. Durch Umkehrung der Polarität des thermoelektrischen Kühlers kann dieser auch das Innere der Kammer heizen. Die Fähigkeit, sowohl heizen als auch kühlen zu können, ermöglicht eine präzise Temperaturkontrolle in HPLC-Geräten. Thermoelektrische Kühler werden unter Berücksichtigung von Größe, Effizienz, Kosten und kontinuierlichem, zuverlässigem Betrieb entwickelt, um OEMs die Möglichkeit zu geben, thermische Herausforderungen zu erfüllen.



Thermoelektrische Kühler nutzen den Peltier-Effekt, um eine präzise Temperaturregelung für HPLC-Geräte zu ermöglichen.

Thermoelektrische Lösungen von Laird Thermal Systems

Die HiTemp ETX-Serie von Laird Thermal Systems umfasst thermoelektrische Hochleistungskühler, die eine hervorragende Leistung bieten, wenn sowohl Heizen als auch Kühlen erforderlich ist. Bei dieser Produktlinie kommen eine verbesserte thermoelektrische Modulkonstruktion sowie fortschrittliche thermoelektrische Materialien zum Einsatz, die eine Leistungsverschlechterung verhindern und die Kühlkapazität um bis zu 10 % erhöhen. Durch

die Verwendung einer verbesserten thermischen Isolationsbarriere im Vergleich zu herkömmlichen thermoelektrischen Kühlern erreicht die HiTemp ETX-Serie eine maximale Temperaturdifferenz (ΔT) von 83 °C.

Die HiTemp ETX-Serie bietet eine breites Spektrum an Wärmepumpleistungen und Formfaktoren und umfasst über 50 Modelle, die eine Vielzahl von Anwendungen unterstützen. Die robuste thermoelektrische Kühlerkonstruktion von Laird Thermal Systems bietet überlegenen Schutz bei hohen Temperaturen, bei denen thermoelektrische Kühler der Standardklasse versagen.



Die HiTemp ETX-Serie von Laird Thermal Systems

Thermoelektrische Kühleinheiten verwenden thermoelektrische Kühler, um je nach Platzierung der Probe entweder zu kühlen oder zu heizen. Wenn Gleichstrom durch den thermoelektrischen Kühler fließt, wird eine Seite heiß, während die gegenüberliegende Seite kalt wird. Wird die Stromrichtung umgekehrt, tauschen die beiden Seiten ihre Funktion.

Die thermoelektrischen Luft-Luft- und Luft-Direkt-Kühlgeräte der Tunnel-Serie und der PowerCool-Serie von Laird Thermal Systems wurden im Hinblick auf Effizienz, Kosten und kontinuierlichen, zuverlässigen Betrieb entwickelt. Weitere Designfaktoren sind die Geschwindigkeit der Kühlung, die Temperaturstabilität, die Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturschwankungen sowie die Beständigkeit gegen das Eindringen von Feuchtigkeit.

In modernen HPLC-Geräten werden Wärmemanagementsysteme eingesetzt, um Temperaturstabilität und Kondensationsschutz zu gewährleisten. In Abhängigkeit von der Mischung ist eine genaue Temperaturkontrolle im Bereich von 4 °C bis 40 °C erforderlich. Die Wärmelastanforderungen liegen in der Regel zwischen 25 und 100 W, wobei einige neue Geräte bis zu 200 W benötigen, um den Probendurchsatz zu erhöhen. Darüber hinaus verfügen viele neue HPLC-Geräte über mehrere Probenaufbewahrungskammern, die unterschiedliche Kühl- oder Heizanforderungen haben, was die Wärmebelastung des Gesamtsystems erhöht.

Die thermoelektrischen Kühler der Tunnel-Serie bieten die kompaktesten Formfaktoren mit einer minimalen Anzahl von Luftstrompfaden, die für einen effizienten Betrieb im Vergleich zu herkömmlichen thermoelektrischen Kühlern mit Aufprallluftstrom erforderlich sind.



Die thermoelektrischen Kühler der Tunnel-Serie bieten Kühlleistungen von 10 bis 100 Watt.

Mit einer maximalen Kühlleistung von 280 Watt sind die thermoelektrischen Kühler der PowerCool-Serie für HPLC-Geräte mit hohen Anforderungen an die Wärmelast ausgelegt. Sowohl die Tunnel- als auch die PowerCool-Serie kühlen durch Konvektion oder Konduktion und nutzen speziell entwickelte thermoelektrische Kühler, um eine Wärmepumpe zu erzeugen, die eine hohe Leistungszahl (COP) erreicht, um den Stromverbrauch zu minimieren. Darüber hinaus ermöglicht die Halbleiterkonstruktion einen geräuscharmen Betrieb, eine lange Betriebsdauer von 40.000 Stunden MTBF sowie einen geringen Wartungsaufwand.



Die thermoelektrischen Kühler der PowerCool-Serie sind mit Kühlleistungen von 20 bis 280 W erhältlich.

Die thermoelektrischen Kühler von Laird Thermal Systems werden über den programmierbaren Regler SR-54 gesteuert und bieten so eine komplette Wärmemanagementlösung. Der Temperaturregler SR-54 bietet Überwachungs- und Alarmfunktionen, einschließlich der Erkennung eines problematischen Lüfters, eines thermoelektrischen Kühlers, eines Übertemperatur-Thermostats und des Ausfalls eines Temperatursensors— alles entscheidende Faktoren für die Maximierung der Betriebszeit von Messgeräten. Gebrauchsfertige Steuerungen erfordern nur einen minimalen Programmieraufwand und können einfach mit einer thermoelektrische Kühlereinheit oder einem Systemgehäuse verbunden werden. Die Steuerung verringert zudem die Betriebsgeräusche, da die Lüfter abgeschaltet werden, sobald die festgelegte Temperatur im jeweiligen HPLC-Probentablett und der Trennsäule erreicht ist.

Die Vorteile der Thermoelektrik gegenüber anderen herkömmlichen Technologien liegen in der präzisen Temperaturregelung, der Kompaktheit, den schnelleren Temperaturänderungsraten sowie der Effizienz. Laird Thermal Systems verfügt über umfassende Erfahrung in der Temperaturregelung von Analysegeräten, ein breites Produktportfolio und eine weltweite Präsenz und erfüllt mit seinen kompakten thermoelektrischen Kühlern die strengen Anforderungen an die Temperaturregelung und die mittlere Betriebsdauer bis zum Ausfall von Analyseinstrumenten, einschließlich Flüssigchromatographiegeräten.



Der programmierbare Temperaturregler SR-54 stellt in Kombination mit einer thermoelektrischen Kühlerbaugruppe eine komplette Wärmemanagementlösung dar.

Fazit

Die Regelung der Temperatur spielt eine wichtige Rolle bei der Flüssigchromatographie, da sie die Wechselwirkungen zwischen den Probenbestandteilen und dem Adsorptionsmittel beeinflusst. Flüssigchromatographiegeräte erfordern Wärmemanagementlösungen, die eine genaue Temperaturregelung zur Optimierung der Leistung ermöglichen. Die Vorteile der Thermoelektrik gegenüber anderen herkömmlichen Technologien liegen in der präzisen Temperaturregelung, der Kompaktheit, den schnelleren Temperaturänderungsraten sowie

der Effizienz. Laird Thermal Systems verfügt über umfangreiche Erfahrungen mit Analyseinstrumenten und bietet thermoelektrische Kühlgeräte an, die die strengen Anforderungen an die Temperaturkontrolle und die mittlere Zeit bis zum Ausfall von Flüssigchromatographie-Geräten erfüllen.

Über Laird Thermal Systems

Laird Thermal Systems entwickelt Wärmemanagementlösungen für anspruchsvolle Anwendungen in den Bereichen Medizin, Industrie, Transport und Telekommunikation. Wir produzieren eine der vielfältigsten Produktpaletten der Branche die von aktiven thermoelektrischen Kühlern und Baugruppen bis hin zu Temperaturreglern und Flüssigkeitskühlsystemen reicht. Unsere Ingenieure und Techniker setzen fortschrittliche thermische Modellierungs- und Managementtechniken ein, um komplexe Wärme- und Temperatursteuerungsprobleme zu lösen. Wir bieten ein breites Spektrum an Design Prototyping- und in-House-Testmöglichkeiten an und arbeiten während des gesamten Produktentwicklungszyklus eng mit unseren Kunden zusammen, um Risiken zu reduzieren und die Markteinführung zu beschleunigen. Unsere weltweiten Fertigungs- und Supportressourcen unterstützen unsere Kunden bei der Maximierung von Produktivität, Betriebszeit, Leistung und Produktqualität. Laird Thermal Systems ist die optimale Wahl für Standard- oder kundenspezifische thermische Lösungen. Erfahren Sie mehr unter www.lairdthermal.com.

Laird Thermal Systems kontaktieren

Sie haben eine Frage oder benötigen weitere Informationen über Laird Thermal Systems? Bitte kontaktieren Sie uns über unsere Website www.lairdthermal.com.