

Schlussbericht

BMBF-Verbundprojekt
Förderkennzeichen: 16SV839 /7
April 1998 bis Oktober 2001

MikroRel

Integrierte Mikrorelais für Anwendungen im Automobil

Teilvorhaben

Entwurf und Realisierung eines Mikro-Hochstrom-Relais

Bearbeiter

Dipl.-Ing. Mike Becker

Institut für Mikrosensoren, -aktuatoren und -systeme
Universität Bremen

Kufsteiner Strasse 28359 Bremen
Postfach 330440 28334 Bremen

Tel.: 0421 218 4725
FAX 0421 218 4774

Prof. Dr.-Ing. W. Benecke
Tel.: 0421 218 4698
email: wbenecke@imsas.uni-bremen.de

Inhaltsverzeichnis

1	Vorstellung des Projektes	2
1.1	Hintergrund und Inhalte des Projektes	2
1.2	Motivation für ein Mikrorelais	3
1.3	Vorgaben für das Projekt MikroRel.....	5
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens	6
1.4.1	Technische und wissenschaftliche Ausgangslage für das Projekt	6
1.4.2	Mechanische Schalter und Halbleiterschalter	6
1.4.3	Realisierbarkeit eines Mikrorelais unter Einhaltung der Spezifikationen	7
1.4.4	Stand der Mikrogalvanik als Herstellungstechnologie	7
1.5	Konsortium.....	8
1.6	Schwerpunkte des Projektes	9
1.7	Beiträge der Partner im Konsortium	9
2	Ergebnisse des Teilvorhabens.....	11
2.1	Auswahl zur Untersuchung von Kontaktmaterialien	11
2.1.1	Konzept zur Charakterisierung.....	12
2.1.2	Bewertung der Ergebnisse zur Untersuchung von Kontaktmaterialien.....	14
2.2	Umsetzungskonzepte für Mikrorelais	15
2.2.1	Hybridrelais	15
2.2.1.1	Konzept.....	15
2.2.1.2	Technologie zur Herstellung der Mikrokontakte	17
2.2.1.3	Schaltversuche	18
	Ausfallerscheinungen	21
2.2.1.5	Simulationen zum Hybridaufbau.....	22
2.2.1.6	Optimierungen	23
2.2.1.7	Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse	25
2.2.2	Integriertes Mikrorelais.....	26
2.2.2.1	Konzept zum integrierten Mikrorelais	26
2.2.2.2	Auswahl eines Aktuatorprinzips.....	27
2.2.2.3	Elektrostatischer Abrollaktuator - Funktionsprinzip	28
2.2.2.4	Erstes Design zum elektrostatischen Mikrorelais mit Abrollaktuator.....	30
2.2.2.4.1	Basis des ersten Designs	30
2.2.2.4.2	Dimensionierung des ersten Designs	31
2.2.2.4.3	Muster zum ersten Design	33
2.2.2.4.4	Bewertung des ersten Designs	33
2.2.2.5	Technologische Weiterentwicklungen zum Abrollaktuator	34
2.2.2.5.1	Beeinflussung von Stress in Nickelschichten während des Prozesses	34
2.2.2.5.2	Aktuatorbalken aus einer Nickelschicht	35
2.2.2.5.3	Beeinflussung von Streß in Nickelschichten durch Temperung	35
2.2.2.5.4	Diskussion des Konzeptes zu Aktuatorbalken aus einer Nickelschicht	37
2.2.2.6	Simulation und Redesign für integriertes Mikrorelais	39
2.2.2.6.1	Redesign.....	39
2.2.2.6.2	Simulationsergebnisse zum Redesign des Abrollaktuators.....	40
2.2.2.7	Technologie und Umsetzung.....	42
2.2.2.8	Muster.....	46
2.2.2.9	Diskussion der dargestellten Prozessfolge.....	47
2.2.2.10	Zusammenfassung von Daten zum Ansatz des integrierten Mikrorelais	48
2.2.2.11	Zusammenfassung und Bewertung zum integrierten Mikrorelais	49
2.3	Technologieentwicklungen	50
2.3.1	Galvanik	50
2.3.2	Strömungszelle	51
2.3.3	Benetzungsverhalten	51
2.3.4	Elektrochemische Untersuchungen an Elektrolyten	51
3	Zusammenfassung	52
4	Verwertbarkeit und Nutzen der Ergebnisse	54
5	Veröffentlichungen	56
6	Arbeitsgruppen.....	57
7	Literaturverzeichnis	59

1 Vorstellung des Projektes

Im diesem Abschnitt sollen zunächst die Hintergründe und Ziele des Projektes sowie das Zusammenwirken der Partner im Konsortium als Überblick dargestellt werden.

1.1 Hintergrund und Inhalte des Projektes

Das Projekt beschäftigte sich mit der Entwicklung eines integrierten Mikrorelais für Hochstromanwendungen mit Lasten von einigen Ampere mit schwerpunktmäßigem Blick auf die Anwendung im Automobil einerseits, und allgemeiner auf Anwendungen unter dem Begriff „Weiße Ware“ andererseits.

Die damalige Situation für ein solches Vorhaben war von anspruchsvollen Vorgaben und Rahmenbedingungen bestimmt. Zwei Aspekte waren von wesentlicher Bedeutung.

1. Der Relaismarkt ist auf der Kostenseite durch harte Konkurrenz umkämpft, so dass sich die Herstellungskosten von üblicherweise eingesetzten Relais prägend für Neuentwicklung darstellten.
2. Mechanische Schalter müssen sich im Zuge neuester Entwicklungen mit intelligenten Halbleiterleistungsschaltern vergleichen, so dass eine Trendvorhersage für den zukünftigen Einsatz von mechanischen Relais ambivalent diskutiert wird.

Mit diesem Hintergrund wurde deutlich, dass aus Anwendersicht die Entwicklung eines mikromechanischen Schalters nur attraktiv ist, wenn sich mit dem neuen System wesentliche Vorteile gegenüber der Konkurrenz von Seiten der traditionellen Relais und der Konkurrenz von Seiten der Halbleiterleistungsschalter erzielen lassen im Sinne eines Generationssprunges. Die Mikrosystemtechnik versprach aus bisherigen Anwendungserfahrungen, einen solchen Generationssprung durch neue Wirkprinzipien und Technologien zu ermöglichen. Für die Projektbearbeitung entwickelte sich aus dieser Situation die Aufgabe, sich begleitend mit der Hinterfragung der Motivation für die Entwicklung eines Mikrorelais kritisch auseinander zu setzen und die Anwendungsgebiete von schaltenden Elementen differenzierter zu betrachten.

1.2 Motivation für ein Mikrorelais

Im folgenden wird eine kurze Diskussion von Eigenschaften mechanischer Schalter und Halbleiterschalter dargestellt, um Motivationen für die Entwicklung eines Mikrorelais abzuleiten. Die Darstellung erfolgt dabei hinsichtlich Vor- und Nachteile von mechanischen Schaltern aus der Sicht des Relais.

Mechanisches Relais

- + Potentialtrennung
- + galvanische Trennung
- + Störungssicherheit (EMV)
- + Stromrichtung
- + Temperaturverhalten
- + Linearität
- + Spannungsfestigkeit

Halbleiterschalter

- Bauvolumen
- Steuerleistung
- Lebensdauer (Schaltspiele)
- Schaltfrequenz
- Kontaktprellen
- Stoßempfindlichkeit
- Kosten/Stück



Mikrorelais

- ⇒ Kombination von Schlüsseigenschaften
- ⇒ elektromechanischer Schalter in Mikroelektronikumgebung (SM_D)
- ⇒ Optimierung von Stromtragfähigkeit und Bauvolumen

Abbildung 1.1: Gegenüberstellung von Eigenschaften mechanischer Relais und Halbleiterschalter

Beim mechanischen Relais besteht im Gegensatz zu Halbleiterschaltern eine Trennung der Potentiale im Steuer- und Lastkreis sowie eine galvanische Trennung im Lastkreis. Dies kann für technische Anwendungen gefordert sein z.B. unter Zuverlässigkeitskriterien oder bei Netzen unterschiedlicher Versorgungsspannung. Das Relais ist als mechanisches System robust gegen elektromagnetische Störungen und wird gemeinhin unter EMV-Aspekten eingesetzt.

In der Vergangenheit waren hohe Spannungsfestigkeiten bis in den kV-Bereich nur mit mechanischen Relais zu erzielen. Dies beginnt sich gegenwärtig zu verändern mit den Fortschritten in der Halbleitertechnik. Das Relais zeichnet sich aufgrund der metallischen Übergänge durch niedrige und weniger temperaturabhängige lineare Kontaktwiderstände aus. Das Schaltverhalten ist unabhängig von der Stromrichtung. Die maximale Schaltleistung ist nicht durch Dimensionierungsbedingungen begrenzt.

Halbleiterschalter weisen ein geringes Bauvolumen im Vergleich zum Relais auf. Sie benötigen weniger Steuerleistung. Halbleiterschalter sind prädestiniert für hohe Schaltfrequenzen und weisen eine hohe Lebensdauer im Hinblick auf die Schaltzyklen auf. Da es sich nicht um ein mechanisches System handelt, sind Halbleiterschalter nicht stoßempfindlich und es tritt kein Kontaktprellen auf. Dafür besteht die Anfälligkeit für elektromagnetische Störungen. Die Kosten pro Schaltereinheit sind durch Relais nicht zu unterbieten.

Die Gegenüberstellung der Schalterarten macht deutlich, dass Relais und Halbleiterschalter spezialisierte Bauelemente sind und für unterschiedliche Anforderungen eingesetzt werden. Trotz der Entwicklungen in der Halbleitertechnik wird aus Sicht der Anwender die Technik nicht ohne mechanische Relais auskommen [Ehn96][Gra96][Sie96][Ulbr96][5]. Relais werden dabei im wesentlichen aus Gründen der Zuverlässigkeit bei sicherheitsrelevanten Aufgaben eingesetzt. Halbleiterschalter können bevorzugt werden aus Gründen der elektronischen Steuerbarkeit und Integrationsfähigkeit. Im Einsatz der Relais spiegelt sich das traditionelle Vertrauen in eine etablierte Technik des mechanischen Schaltens wieder. Diese Vertrauenswürdigkeit bieten Halbleiterschalter bislang trotz etablierter Technologie gegenüber Relais nicht, vergleicht man Lebenszeit und Anfälligkeit für mögliche Störfälle. Die Entscheidung, welches Bauelement in welcher Dimensionierung für eine Anwendung eingesetzt werden soll, ist letztlich abhängig von den Eigenschaften die vom Anwender in den Vordergrund gerückt werden.

Die Entwicklung eines Mikrorelais kann dazu dienen, Schlüsseleigenschaften aus den beiden unterschiedlichen Technologien zu kombinieren, um die Entscheidungslücke für den Anwender zu schließen. Ein Mikrorelais verspricht die genannten Vorzüge von mechanischen Relais in Dimensionen der Mikroelektronik zu bringen. Die Reduzierung der beweglichen Massen und Geometrien lassen eine hohe Schaltdynamik und ein geringes Bauvolumen erwarten. Aufgrund des hohen technologischen Aufwandes, der oft mit den Technologien der Mikrosystemtechnik verbunden ist, müssen diese Vorzüge aus Anwendersicht dem Kostendruck standhalten, was in der Mikrosystemtechnik ähnlich wie in der Halbleitertechnik nur mit hohen Stückzahlen zu erzielen ist.

Der Anspruch im Projekt MikroRel war es, einen mechanischen Mikroschalter für Lasten von einigen Ampere zu entwickeln und der baulichen Umgebung und Ansteuerung der Mikroelektronik näher zu bringen. In der Hauptsache bedeutete dies eine Optimierung der Stromtragfähigkeit in Bezug auf eine mikroelektronische Baugröße durchzuführen.

Die Ausrichtung der Zielanwendung fiel aufgrund der attraktiven Stückzahlen auf den Automobilbereich mit allerdings anspruchsvollen Spezifikationen.