

Durchgehende Schirmung vom Messwiderstand zum Messgerät

Planar-Shunt mit hoher Bandbreite

Herkömmliche Shunts können Hochstrommessungen induktiv verfälschen und erzeugen Verlustwärme, die oft schwer abzuleiten ist. Der vorliegende Artikel stellt den ‚Planar-Shunt‘ vor, der sich auch bei höheren Frequenzen für Hochstrommessungen eignet. Dieser neue Triaxial-Shunt ermöglicht eine durchgehende Schirmung vom Messwiderstand bis zum Messgerät.

Für die Messung von Strömen gibt es verschiedene Verfahren. Bewegt man sich dabei im Bereich von Frequenzen oberhalb der typischen, für Energieverteilungsnetze üblichen Werte, und bei für Leistungselektronik typischen Stromstärken, so sind eine Reihe von physikalisch bedingten Problemen zu lösen. Bei Stromwandlern und kompensierenden Stromsensoren verursachen die unvermeidlichen Wicklungskapazitäten der Sekundärwicklungen Fehler. Nebenwiderstände (so genannte Shunts) sind verlustbehaftet. Ihre Ausgangsspannungen besitzen z. B. bei einem Strom von 30 A und einer Frequenz von 50 kHz nennenswerte induktive Anteile. Mit steigenden Strom- und Frequenzwerten nehmen Messfehler und andere Probleme zu.

Zur Verringerung von Störeffekten entwickelte man die Nebenwiderstände zu koaxialen Shunts weiter. LEM Instruments hat einen Triaxial-Shunt entwickelt, der eine durchgehende Schirmung vom Messwiderstand bis zum Messgerät ermöglicht. Dieser Präzision fördernde Aufwand hat seinen Preis: Die Shunts müssen von Hand aus Drehteilen und Widerstandsfolie montiert, in einem zweistufigen Prozess vergossen und schließlich mechanisch bearbeitet werden.

Planar-Shunt – das Konzept

Um ein besseres Preis/Leistungsverhältnis zu erreichen, trotzdem aber die schlechteren technischen Daten einfacherer Konstruktionen wie z. B. der ‚Falt-Shunts‘ zu vermeiden, entwickelte man den Planar-Shunt (Anfang 2001 zum Patent angemeldet). Wie sein technischer Vorläufer ist auch dieser Shunt koaxial aufgebaut, wobei allerdings die zylindrische Form in die Ebene ausgebreitet wurde. Dadurch ergibt sich eine Art Scheibenwiderstand mit konstanter Stromdichte, der sich in einem nahezu konventionellen Leiterplattenprozess herstellen lässt.

Die technischen Merkmale, die bei Triaxial-Shunts hohe Präzision ermöglichen, kommen auch beim Planar-Shunt zum Einsatz:

- ▶ Das Widerstandselement besteht aus einer einzigen Folie. Der Strompfad, der den Messspannungsabfall erzeugt, enthält keinerlei Kontaktierungen, die den Temperaturkoeffizienten des Shunts beeinträchtigen könnten.
- ▶ Der Shunt besitzt eine nach außen geführte Schirmfläche, über die sich die bei Messungen an Stromrichtern auftretenden kapazitiven Stromimpulse gegen Masse ableiten und so vom Messabgriff abkoppeln lassen.
- ▶ Das Magnetfeld des Strompfades, über den der Messspannungsabfall erzeugt wird, ist auf ein fast geschlossenes Volumen reduziert. Es ist somit praktisch vom Stromkreis des Messabgriffs entkoppelt.

Aufbau und Funktion

Die Anschlüsse ‚K‘, ‚L‘ und ‚k‘, ‚l‘ sind auf der Shunt-Leiterplatte (siehe Abb. 2) in unmittelbarer Nähe zueinander angeordnet, um induktive Einstrahlungen vom Strompfad auf den Messkreis zu minimieren. Der Messabgriff ist für einen kleinen Koaxialsteckverbinder ausgelegt. Der Schirmungsanschluss ist parallel zum unteren Messabgriff an der Widerstandsschicht angeordnet. Die Leiterplatte besteht aus drei Kupfer-Layers und einer Widerstandsschicht (in Abb. 3 dunkelgrau dargestellt). Ein Kühlkörper kann an der Unterseite nahe beim Widerstandselement ‚R‘ angebracht werden.

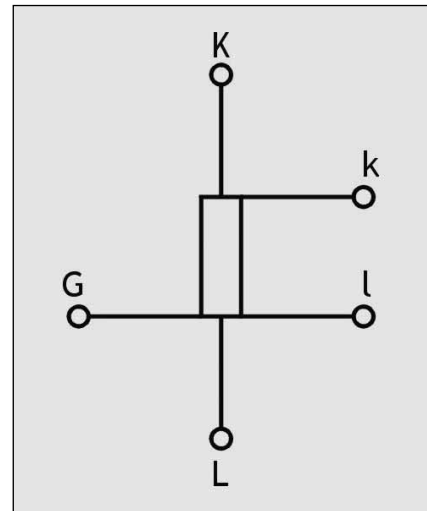


Abb. 1: Das Schaltzeichen für den Planar-Shunt entspricht dem eines Vierleiterwiderstands mit Anschlüssen für den Messstrom (K, L) und den Messabgriff (k, l) sowie einem zusätzlichen Schirmungsanschluss (G - Guard)

Über die durchkontaktierte Anschlussbohrung K gelangt der Strom in den Shunt. Zusätzlich verteilt er sich im inneren kreisförmigen Bereich des Layers Cu_2 auf die Durchkontaktierungen V_K und erreicht das Widerstands-Layer R. Entlang der spiralförmigen Arme gelangt er dann nach außen und kommt über die äußeren Durchkontaktierungen V_L in das unterste Layer Cu_3 , wo er entlang der unteren Spiralen nach innen fließt und die Leiterplatte über die Anschlussbohrung L verlässt.

Mittels der Durchkontaktierungen V_K und V_L wird die Messspannung am Widerstands-

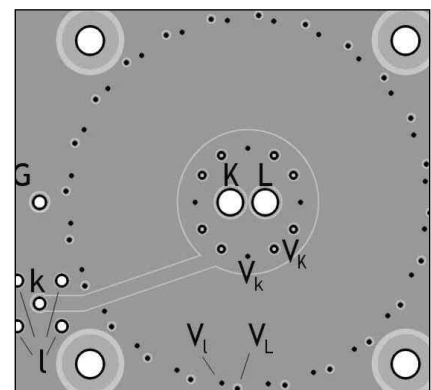


Abb. 2: Anschlüsse der Shunt-Leiterplatte

▶ Autor

WOLFRAM TEPPAN ist Entwicklungsingenieur bei LEM SA
Case Postale 785
CH-1212 Grand-Lancy 1
Geneva
Fon: +41/22706-1273, Fax +41/22794-9478
E-Mail: WTe@lem.com

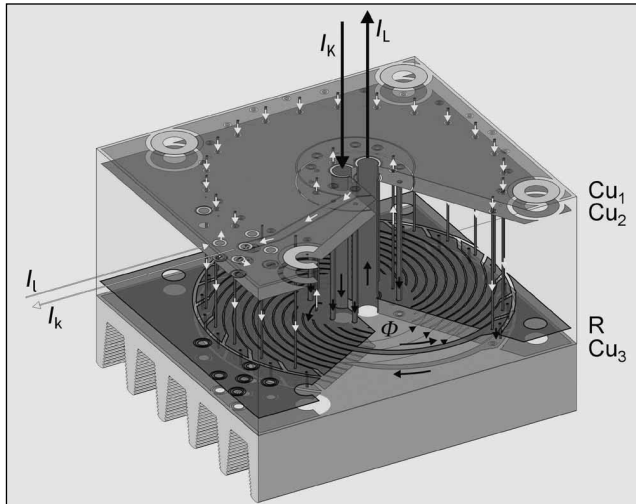


Abb. 3: Aufgeschnittener Schrägriss des Planar-Shunts mit übertrieben dick dargestellten Isolierschichten

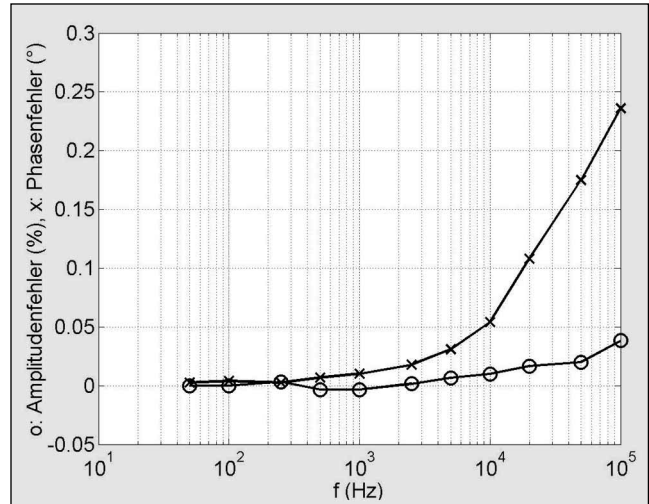


Abb. 4: Amplituden- und Phasengang des Planar-Shunts

element abgegriffen und über die Anschlüsse k und l zu Messgerät geführt.

Zusätzlich ist der äußere Bereich des Layers Cu_2 mit den Durchkontaktierungen V_L verbunden. Er dient als Abschirmung für die darunter liegenden Layers und ist mit der Anschlussbohrung G verschaltet. Wenn die Abstände zwischen den spiralförmigen Widerstandsleitern sehr klein und die Effekte an den Enden der Leiterbahnen vernachlässigbar sind, bleibt das Magnetfeld des Messstroms eingeschlossen im Bereich zwischen den beiden spiralförmig zerteilten Ebenen. Damit ist

der magnetische Fluss nicht mit dem Strompfad des Messabgriffs verkettenet. In Wirklichkeit sind jedoch kleine Teile dieses Flusses sowie Teile des Flusses an den Zuleitungen mit dem Messstromkreis verknüpft, was zu einem leicht induktiven Verhalten bei höheren Frequenzen führt.

Herstellungsprozess

Zur Herstellung des Shunts nutzt man einen leicht modifizierten Leiterplattenprozess:

- ▶ An Stelle des normalen Laminats mit zwei Kupferfolien für die Innenlayer nutzt man ein einseitiges Laminat, auf das die Widerstandsfolie (Zeranin vom Hersteller Isabellenhütte) aufgebracht wird.
- ▶ Für den Ätzzvorgang am Widerstandsmaterial kommt Eisen-III-Chlorid an Stelle eines normalen Ätzmittels zum Einsatz, was die Ätzeit erheblich verkürzt.

Als erstes bringt man die Zeraninfolie auf ein einseitiges Leiterplattenlaminat auf und beschichtet diese Platte dann auf beiden Seiten

LESETIPP

? **Sie möchten sich an der kommenden Jahressausgabe 2005 des TEST KOMPENDIUMs mit einem Fachbeitrag beteiligen?**

Rufen Sie uns an: +49/89/500 383-21!

Wir freuen uns auf Ihren Beitragsvorschlag und senden Ihnen gerne die Call-for-Papers Formulare zu!

Messen • Prüfen • Verifizieren

publish industry
TECHNIK KOMMUNIZIEREN

Gollierstraße 23 · 80339 München, Germany · Fon +49/89/500383-0 · Fax +49/89/500383-10 · info@publish-industry.net · www.publish-industry.net

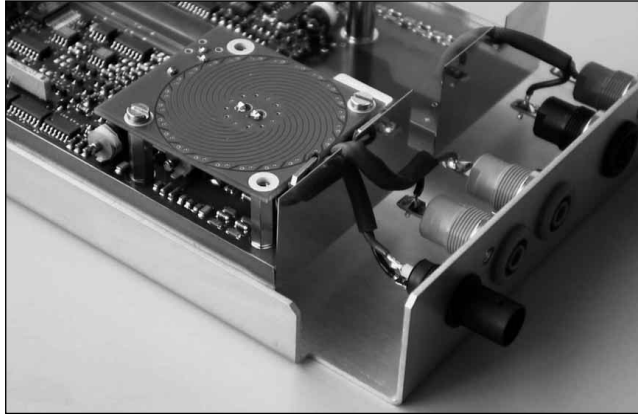


Abb. 5:
Planar-Shunt im Einsatz
in einem Leistungskanal
eines ‚Norma 4000/5000
Power Analysers‘ von
LEM Instruments

mit Fotolack. Dann werden die Leiterbahnbilder der Layer Cu₂ und R auf der Kupfer- bzw. Zeranin Seite belichtet und entwickelt, sodass nur noch die gewünschten Leiterbahnbilder vom Fotolack bedeckt sind. Nach dem ersten Ätzprozess mit Eisen-III-Chlorid hat man eine ungebohrte Leiterplatte mit dem Layer Cu₂, der mittleren Isolierschicht und den Widerstandsspiralen auf Layer R.

Weiter geht es wie bei der Herstellung einer normalen, vierlagigen Leiterplatte. Nun werden die Außen-Layer auflaminiert: An der Ober- und Unterseite der Leiterplatte werden Prepregs (dünne, mit Epoxidharz getränkte und teilweise ausgehärtete Glasfasermatten) und jeweils darüber die Kupferfolien für die Außen-Layer aufgelegt und unter Vakuum und Hitze miteinander verpresst. Als Nächstes folgt das Auftragen von Fotolack, die Belichtung, Entwicklung und der Ätzprozess. Das Ergebnis sieht dann schon aus wie in Abb. 3, nur die Bohrungen und das Oberflächenfinish fehlen noch.

Nach dem Bohren der Leiterplatte werden die Durchkontaktierungen angebracht: In einem galvanisch/elektrolytischen Verfahren erzeugt man Kupferschichten an den Innenflächen der Bohrungen, welche die nötigen Verbindungen zwischen den Layers herstellen und die elektrische Funktion des Planar-Shunts gewährleisten.

In den letzten Fertigungsschritten werden die Oberflächen der Leiterplatte geschützt. An der Ober- und Unterseite wird eine Lötstopplack angebracht, sodass nur noch die Kupferoberflächen rund um die Anschlussbohrungen zugänglich bleiben. Diese Oberflächen werden anschließend chemisch verzinkt, um bessere Lötbarkeit zu gewährleisten.

Die Planar-Shunts werden in einem Mehrfach-Nutzen gefertigt, geritzt und in die einzelnen Leiterplatten aufgetrennt. Die nominelle Dicke der fertigen Leiterplatte beträgt 1,6 mm.

Messtechnische Validierung

Da die Bandbreite das wichtigste Merkmal des Planar-Shunts ist, wurden zur Ermittlung der Shunt-Kennwerte vergleichende Messungen mit einem ‚Norma D 6000‘ Triaxial-Shunt durchgeführt. Dieser besitzt bei Frequenzen bis 100 kHz einen Phasenfehler von nachweislich kleiner als 0,1°. Die Messungen wurden mit einem Norma D 6000 Power Analyser mit 10-A-Shunt durchgeführt, die beide regelmäßig mit nationalen Normalen kalibriert werden. Die Frequenzgangunterschiede der beiden verwendeten Messkanäle wurden vor der eigentlichen Messung erfasst und später korrigiert. Die Signallaufzeit am Kabel vom Planar-Shunt zum Messkanal wurde mit 2,5 ns berücksichtigt. Ein Transconductance Amplifier von Clarke Hess diente als Stromquelle; der Referenzstrom betrug 10 A.

Das Referenzmuster des Planar-Shunts besitzt einen Gleichstromwiderstand von 12,28 mΩ an den Messanschlüssen und einen Gesamtwiderstand von ca. 15 mΩ. Damit sind die zusätzlichen Verluste kleiner als 23 %. Bei 46 gemessenen Exemplaren betrug der Widerstandsmittelwert 12,206 mΩ; die Streuung betrug ±2,5%.

Für thermische Messungen wurde der Planar-Shunt auf einem Kühlkörper mit einem Wärmeleitwiderstand von 3,1 K/W

montiert. Der Temperaturunterschied einer Basis des Kühlkörpers erreichte bei einem Strom von 30 A etwa 42 K; Berechnungen ergaben, dass die Temperatur des Widerstandselements nur 6 K höher lag.

Weil die Isolierschicht zwischen Widerstandselement und Kühlkörper relativ dünn ist, beträgt der entsprechende Wärmeleitwiderstand nur 0,51 K/W, sodass der Planar-Shunt während 1 s auch Überströme von 100 A verträgt. Dabei ergibt sich eine Temperaturdifferenz von weniger als 90 K in der Widerstandsschicht. Auf Grund der Wärmekapazität des Kühlkörpers und der eingesetzten Energie ist die Temperaturdifferenz an der Kühlkörperbasis am Ende dieser Periode kleiner als 10 K. Selbst wenn die Temperatur des Kühlkörpers vor Beginn des Überstromimpulses schon 100 °C betrage, bliebe die Maximaltemperatur der Widerstandsschicht noch immer unter 200 °C. Weil das FR4-Laminatmaterial für 10 s einer Temperatur von 260 °C standhalten kann, ist diese Überstrombelastung unbedenklich.

Einsatzgebiete des Planar-Shunts

Der Shunt kommt in der neuen ‚Norma Power Analyser Gerätegeneration‘ zum Einsatz. Weil die Komponente im Inneren eines Leistungskanalmoduls (siehe Abb. 5) mit kleinerem Kühlkörper und bei höherer Umgebungstemperatur eingesetzt wird, wurde sie für einen Nennstrom von 10 A spezifiziert. Der Planar-Shunt ist auch als Baustein für den Einsatz in anderen Messgeräten erhältlich. Diese Ausführung besitzt einen größeren Kühlkörper und ist für 32 A spezifiziert.

Literatur

- [1] Möller, K.: Eine einfache Anordnung zum Messen der Rechteckwiedergabe von Strommesswiderständen kurzer Anstiegszeit. ETZ-A 1968, S. 414 – 415
- [2] Pfeiffer, W.: Messung von Impulsströmen extrem kurzer Anstiegszeit in koaxialen Rohrsystemen. ETZ-A 1974, S. 297 – 302
- [3] Schwab, A.: Die Berechnung der Bandbreite und der Anstiegszeit rohrförmiger koaxialer Messwiderstände unter Berücksichtigung der Stromverdrängung. ETZ-A 1968, S. 604 – 606

Beitrag als PDF im Internet:

www.duv24.net

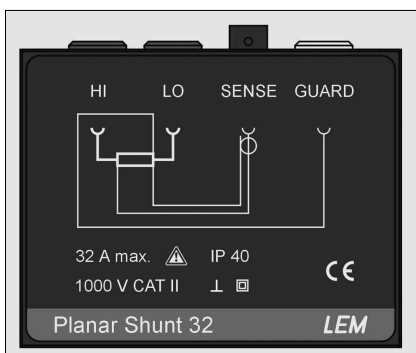


Abb. 6: Der Planar-Shunt ist auch als eigenständiges Gerät im separaten Gehäuse lieferbar