

Transiente Wärmeentwicklung und Wärmeabfuhr an supraleitenden Strombegrenzern in Flüssigstickstoff

Stefan Fischer

Berichter: Prof. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer

Berichter: Prof. Dr.-Ing. Werner Klenke

Gegenstand der Arbeit sind experimentelle und numerische Untersuchungen zur transienten Wärmeentwicklung und Wärmeabfuhr an supraleitenden, mit Flüssigstickstoff gekühlten Strombegrenzern. Der transiente Vorgang gliedert sich in eine Ansprech-, Begrenzungs- und Rückkühlphase, wobei thermische und elektrische Größen miteinander gekoppelt sind.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß für Hochtemperatursupraleiter mit einer kritischen Stromdichte unter 10^5 A/cm^2 der durch einen ansteigenden Kurzschlußstrom erzwungene Übergang vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand auf der Basis von Joulescher Wärmeentwicklung, Wärmeleitung und Temperaturanstieg erklärt werden kann. Bei Kenntnis der Widerstand-Strom-Kennlinie des supraleitenden Materials lassen sich in diesem Fall die Ansprechzeiten numerisch bestimmen. Die während der Begrenzungsphase im Strombegrenzer freigesetzte Energie führt zu einer raschen Erwärmung des Supraleiters und wird durch einen transienten Siedevorgang an das Kühlmedium Flüssigstickstoff wieder abgegeben. Bei Supraleiter-Dünnschichten wirkt das zugrundeliegende (Keramik-)Substrat als kurzzeitiger Wärmespeicher. Die an plattenförmigen Proben ermittelte transienten Wärme-stromdichten liegen dabei deutlich über den Werten der stationären Siedekennlinie für Flüssigstickstoff. Bild 1 zeigt typische transiente Verläufe. Durch eine spezielle Oberflächen-beschichtung läßt sich der Wärmeübergang steigern und damit die Rück-kühl-dauer eines Begrenzer-elementes zusätzlich verringern.

Die transiente kritische Wärmestromdichte in Flüssigstickstoff ist stark von den thermischen Eigenschaften des den Supraleiter umgebenden Materials abhängig und kann daher nicht pauschal sondern nur situationsabhängig angegeben und mit dem stationären Wert verglichen werden. Entgegen sonstiger Supraleiteranwendungen ist beim Strombegrenzer wegen der starken thermischen Belastung der kurzzeitige Übergang zum Filmsieden ein zu berücksichtigender Vorgang, führt jedoch durch rechtzeitige Stromabschaltung nicht zu einem Burn-out.

Die Resultate dieser Arbeit wurden im Hinblick auf supraleitende Strombegrenzer sowohl an metallbeschichteten Keramikplatten als auch an Supraleiter-Dünnschichtproben ($\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ auf Keramiksubstrat) gewonnen. Einige Erkenntnisse sind aber durchaus auf andere supraleitende Betriebsmittel, die mit Flüssigstickstoff gekühlt werden, übertragbar und können für deren thermische Auslegung von Nutzen sein.

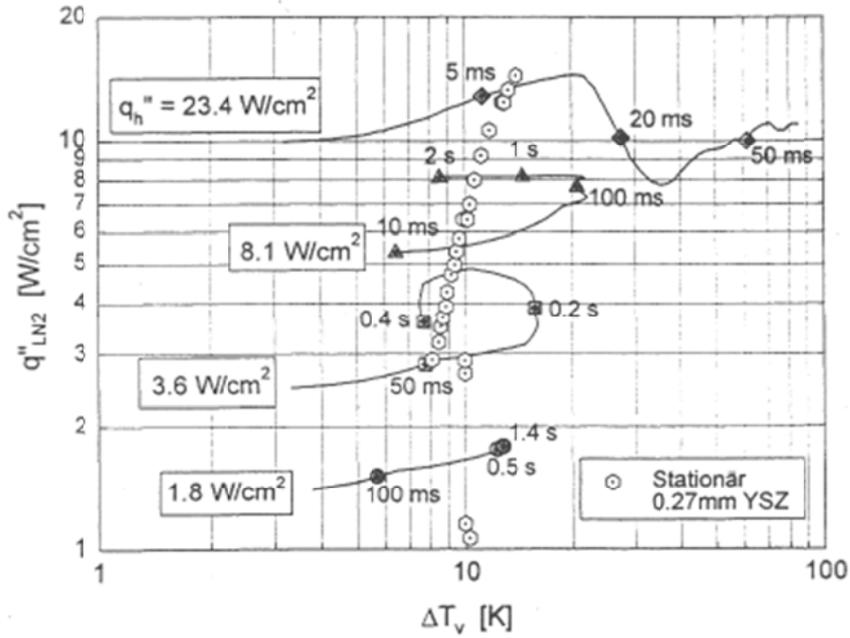


Bild 1: Wärmeübergangstrajektorien von Heizpulsen konstanter Leistung an einem 0,1 mm dicken YSZ-Streifen. Zum Vergleich ist auch das Ergebnis einer stationären Wärmeübergangsmessung an einem 0,27 mm dicken YSZ-Streifen aufgetragen.