



Thema: Die Querfeldspule, Wirkungsweise und Anwendung
Subject:

Datum: 26.02.2016
Date:

1. Allgemeines

Der innere Aufbau einer Synchronmaschine besteht immer aus einer Wechselstromkomponente, überwiegend als Drehstromwicklung ausgeführt und einer Erregerkomponente, aus statisch ausgebildeten Magnetpolen beliebiger Anzahl.

Bei kleineren Maschinen kann die Erregerkomponente mit Permanent- Magnetpolen realisiert werden. Bei Maschinen mit größeren Leistungen, wie z.B. Kraftwerksgeneratoren besteht die Erregerkomponente aus einer Erregerwicklung zur Ausbildung der statischen Magnetpole.

Die dafür benötigte Erregerleistung wird durch eine, an die Synchronmaschine angeflanschte Erregermaschine erzeugt. Abgesehen von den statisch erregten Synchronmaschinen hat sich die Notwendigkeit zum Vorhandensein einer Erregermaschine bis heute nicht geändert.

Überwiegend als so genannte Außenpolmaschinen ausgeführt, wird die benötigte Erregerleistung in der Ankerwicklung, d.h. im Läufer der Erregermaschine erzeugt.

*Um spätere Missverständnisse zu vermeiden, möchte ich an dieser Stelle eine kurze Begriffsdefinition geben. Im Elektromaschinenbau wird die Komponente in der eine elektrische Größe erzeugt wird, grundsätzlich als **Anker** bezeichnet. Dabei ist es unerheblich ob diese Komponente als Läufer rotiert oder als Stator auf dem Grundrahmen steht. Beispielsweise wäre der Anker eines Kraftwerksgenerators, der eine Innenpolmaschine ist, der Stator usw.*

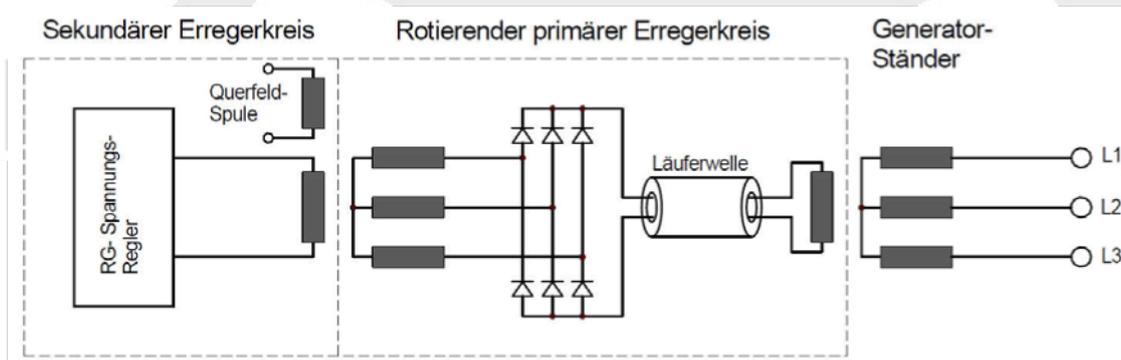
In der früheren Ausführungsform einer Gleichstrommaschine wurde die Ankerwicklung mit dem so genannten Kommutator verbunden, auf dessen Oberfläche der Erregerstrom als Gleichstrom mittels Kohlebürsten abgeführt werden konnte. Der Kommutator erfüllte dabei die Funktion eines mechanischen Gleichrichters, der allerdings einen hohen Wartungsaufwand hinsichtlich der Oberflächenpflege und des Bürstenverschleißes erforderte.

Mit der Verfügbarkeit leistungselektronischer Bauteile wurde lediglich der Kommutator durch eine, aus Dioden bestehende Drehstrom- Brückenschaltung ersetzt wodurch der Wartungsaufwand für den Kommutator und Kohlebürsten zur Stromabnahme entfiel. Die Funktion der Energieerzeugung durch die Wechselwirkung der elektrischen und magnetischen Felder, blieb dadurch unverändert.

Da die Brückenschaltung am Läufer der Erregermaschine montiert ist, also mit rotiert und dieser wiederum mit dem Generatorläufer verbunden ist, war es nur konsequent, die Gleichstromseite der Diodenbrücke direkt mit der Erregerwicklung des Generators zu verbinden.

Dazu ist die erregerseitige Generatorwelle als Hohlwelle ausgeführt, so dass der Erregerstrom quasi durch das erregerseitige Generator- Lager hindurch, direkt zur Erregerwicklung des Generators gelangt.

Dadurch benötigt ein Turbosatz, der über rotierende Gleichrichter erregt wird, keinerlei Schleifringe oder Kohlebürsten mehr, so dass dieser als wartungsfrei bezeichnet werden kann. Die nachfolgende Skizze zeigt das Erregungsprinzip.



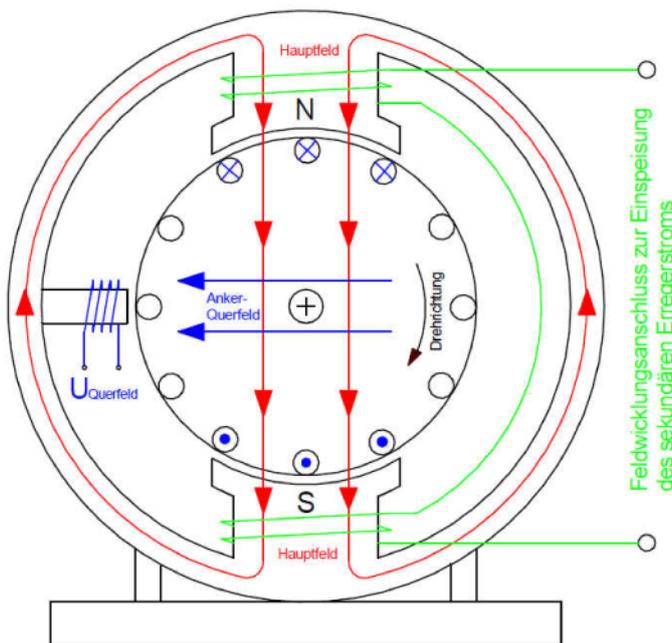
Da der sogenannte primäre Erregerkreis im rotierenden Teil des Turbosatzes liegt, besteht zunächst keine Möglichkeit, den Erregerstrom des Generators, also den primären Erregerstrom auf einfache Art messen zu können. Was bei den Kommutator- Erregermaschinen durch Einbau eines Mess- Shunts in die Erregerstromzuleitung möglich war, geht nun bei den RG- erregten Maschinen nicht mehr.

Zur Vollständigkeit der in einer Schaltwarte angezeigten Betriebsdaten einer Kraftwerksturbosatzes gehören außer den Wechselstromgrößen des Generator- Ständers, eben auch die Erregerdaten dazu, mindestens aber der Erregerstrom.

Aber auch in diesem Fall bringt uns die Kenntnis über die untrennbare physikalische Wechselwirkung zwischen einem fließenden elektrischen Strom und des diesen umgebenden Magnetfeldes weiter.

Dazu betrachten wir zunächst die elektrischen und magnetischen Größen in einer mit Last beaufschlagten Außenpolmaschine.

Feldverteilung in einer Erregermaschine



Die nebenstehende Grafik zeigt den typischen Aufbau einer Außenpolmaschine.

Der Ständer der Maschine besteht aus ausgeprägten Magnetpolen, die mit der Feldwicklung der Maschine versehen sind.

Der darin fließende sekundäre Erregerstrom erzeugt den rot dargestellten Verlauf des magnetischen Hauptfeldes.

Zwischen den beiden Hauptpolen befindet sich der Läufer, der in diesem Fall den Anker der Maschine darstellt. In den Nuten des Läuferblechpaketes befindet sich nun die Läuferwicklung, die meistens in Stern geschaltet, die Wechselstromseite der Diodenbrücke speist.

Wird nun der Läufer in der markierten Uhrzeiger-Richtung gedreht, schneiden die unter den Polflächen befindlichen Wicklungsteile die Linien des magnetischen Hauptfeldes. Nach den Kirchhoffschen Gesetzen wird dabei unter dem Nordpol ein so genannter „Kreuzstrom“ und unter dem Südpol ein „Punktstrom“ erzeugt, wenn auf der Gleichstromseite der Diodenbrücke ein Lastwiderstand angeschlossen ist.

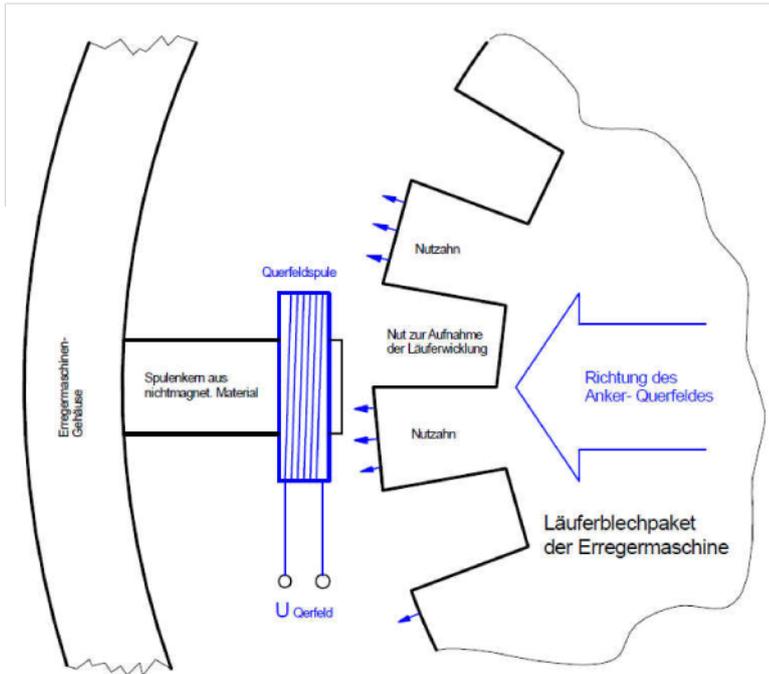
In der Grafik sind die fließenden Stromrichtungen in blau markiert.

Der in der Ankerwicklung fließende Strom erzeugt nun seinerseits wieder ein Magnetfeld, welches senkrecht auf dem des Hauptfeldes steht. Dieses blau dargestellte, vom Ankerstrom erzeugte Feld wird als Anker- Querfeld bezeichnet und befindet sich in der magnetisch neutralen Zone des Hauptfeldes. Wenn man nun in dieser neutralen Zone eine Spule anordnet, wird diese nach der magnetischen Achse benannt in der sie sich befindet und als Querfeld- Spule bezeichnet.

Da das Ankerquerfeld vom Ankerstrom erzeugt wird, entspricht dessen Intensität in ziemlicher Näherung dem Erregerstrom des Synchron- Generators. Allerdings ist dieses Ankerquerfeld ein Gleichfeld, da die Ankerströme unter den Polen auch immer in die gleiche Richtung fließen.

Wie wir alle wissen, kann aber ein Gleichfeld in einer Spule keine Spannung induzieren. Wie ist es dann also möglich, dass in dieser Spule eine dem Erregerstrom proportionale Spannung entstehen kann?

Auf den nachfolgenden Seiten möchte ich diese scheinbare Unmöglichkeit auflösen. Dazu ist es erforderlich, die Verhältnisse in der Spulennähe etwas genauer zu betrachten.



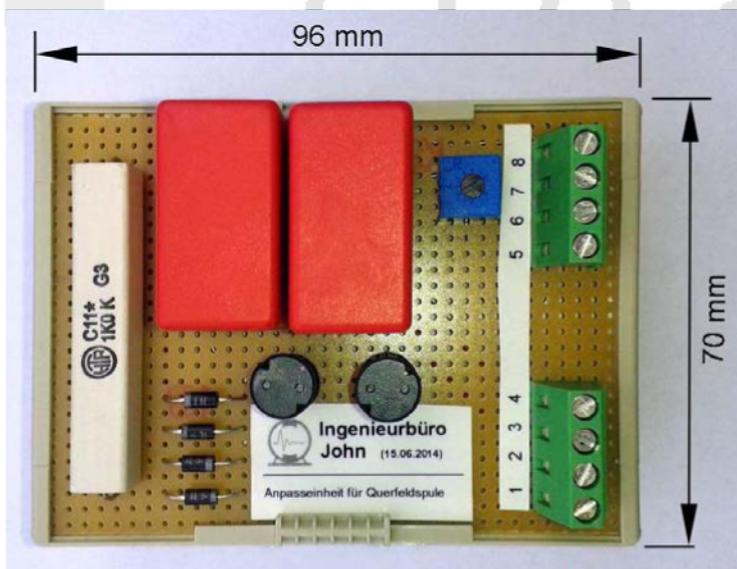
Wie nebenstehend zu erkennen ist, enthält das Blechpaket des Läufers an seinem Außendurchmesser so genannte Nuten in denen die einzelnen Windungen der Läuferwicklung untergebracht sind.

Wenn nun die Querfeldspule sehr nah an der Oberfläche des Läuferblechpaketes angebracht wird und die vertikale Abmessung des Spulenkerns nicht wesentlich größer ist als die Nutzahnbreite, wird durch die vorbeistreichenden Nut-Zähne eine pulsierende Intensität des Ankerquerfeldes erzeugt, obwohl dieses ein Gleichfeld ist. Damit wird in der Querfeldspule eine Wechselspannung mit der Frequenz $f = n \times \text{Anzahl der Läufernuten} / 60$ erzeugt.

Da der Spulenkern absichtlich aus nicht magnetischem Material besteht und somit kein Sättigungseinfluss entstehen kann, entspricht die in der Querfeldspule induzierte Spannung in ziemlicher Näherung dem primären Erregerstrom des Generators, mit linearem Verlauf. Belastet man diese Spule mit einem definierten ohmschen Widerstand, kann der Spannungsabfall

an diesem Widerstand direkt mit einem Dreheisen-Spannungsmesser, dessen Skala in Ampere skaliert ist, messen bzw. als primären Erregerstrom darstellen.

In den modernisierten Schaltwarten sind jedoch kaum noch elektromechanische Messgeräte vorhanden da alle relevanten Generator-Betriebswerte per SPS erfasst und auf leitechnischen Bildschirmen dargestellt werden.



Um dennoch die Spannung einer Querfeldspule abzufragen und diese auf den Bildschirmen darzustellen, habe ich bereits vor zwei Jahren eine Koppler-Baugruppe entwickelt, die das Format der Querfeldspulen-Spannung an die analogen Eingänge der Leittechnik 0 – 10 V oder 0/4 – 20 mA anpassen kann.

Nebenstehendes Foto zeigt die im Jahr 2014 im Kraftwerk Walsum eingebaute und bis heute fehlerfrei arbeitende Adapter-Baugruppe. Die Baugruppe ist für Hutschienenmontage vorgesehen.

Fall bei Ihnen dazu ein Interesse besteht, kontaktieren Sie mich bitte.