

Leistungshalbleiter – Elektronische Ventilbauelemente

1. Einleitung

- erste Stromrichterventile Quecksilberdampfventile
- bis 1960 zur Gleichstromerzeugung hoher Spannungen (Straßen- und S-Bahn, Röhren-Endstufen)
- Nachteile: hohe mechanische Empfindlichkeit, für kleine Leistungen unwirtschaftlich
- Ab 1960 Einführung der Halbleiterbauelemente → Leistungshalbleiter für hohe Spannungen und Ströme

2. Grundlagen

- Halbleiter: Festkörper mit stark temperaturabhängiger Leitfähigkeit
- Durch Dotierung mit Fremdatomen lässt sich die Leitfähigkeit steuern
- Bei spezifischem Aufbau lässt sich durch Anlegen einer Steuerspannung/-strom die Leitfähigkeit ad hock ändern (→ PN-Übergang)

3. Arten elektronischer Ventile

3.1. Nichtsteuerbare Bauelemente

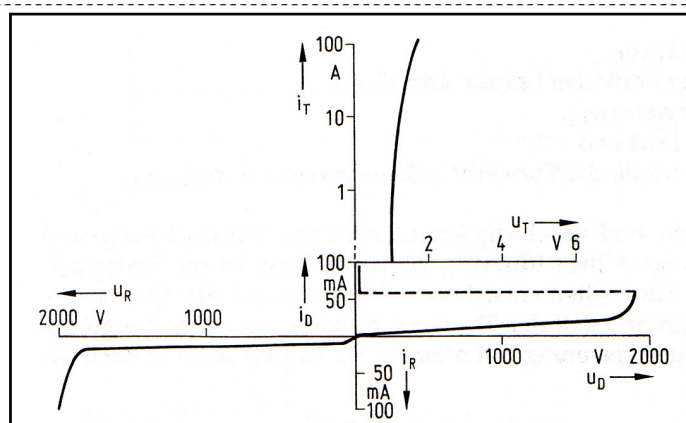
3.1.1. Leistungs-Halbleiterdiode

- Leistungsbaulement durch größere Bauweise
- In Durchlassrichtung Begrenzung durch maximalen Durchlassstrom (max. Sperrschichttemperatur bei 150°C bis 180°C)
- Kühlbedingungen und Kurvenform des Durchlassstroms bedingen den Maximalstrom
- Schaltverhalten → Durchlassverzug:
 - Durch schnelle Frequenzen
 - Verzögerungen beim Übergang vom Sperr- in den Durchlasszustand
 - Durchlassverzug i.d.R. trotzdem unter 2 μ s

3.2. Steuerbare Bauelemente

3.2.1. Thyristor

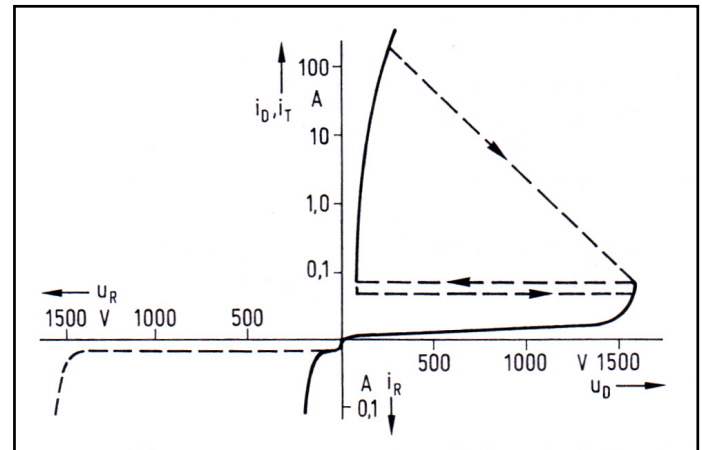
- Name aus Thyatron und Transistor
- Steuerbare Diode; im Grundzustand sperrend in beide Richtungen
- Leitend in Durchlassrichtung durch Steuerstrom („Zündimpuls“)
- Einschaltung auch durch Überschreiten der Nullkippspannung (nicht betriebsmäßig)
- Bleibt solange im leitenden Zustand bis Haltestrom zu klein wird
- Einschaltzeit (aus Zündverzugszeit ($\sim 2 \mu$ s), Durchschaltzeit ($\sim 2 \mu$ s) und Zündausbreitungszeit) je nach Größe des Thyristors etwa 100 μ s



3.2.2. GTO-Thyristor (Gate Turn-Off Thyristor)

- Einschalten wie beim Thyristor; jedoch dauerhafter Steuerstrom notwendig
- Abschalten durch negativen Steuerstrom mit 0,2 bis 0,5facher Stromstärke des abzuschaltenden Stromes (Laststrom)
- Bauweise symmetrisch [gestrichelte Kennlinie] (für negative und positive Sperrspannung) oder unsymmetrisch [durchgezogene Kennlinie] (als negativ nicht sperrend)

- Kathode nicht als Fläche sondern in Segmenten (Streifenbreiten von 0,1 mm)
- Zusätzliche Beschaltungselemente notwendig (Leistungsabgabe beim Abschalten)
- Weiterentwicklung → **IGCT** (Integrated Gate-Commutated Thyristor)
 - Verbesserte Halbleiterstruktur → Verminderung von Durchlass- und Schaltverlusten
 - Induktivitätsarme Zusammenschaltung von Thyristor und Ansteuerung → homogener Abschaltvorgang macht eine zusätzliche Abschaltbeschaltung überflüssig

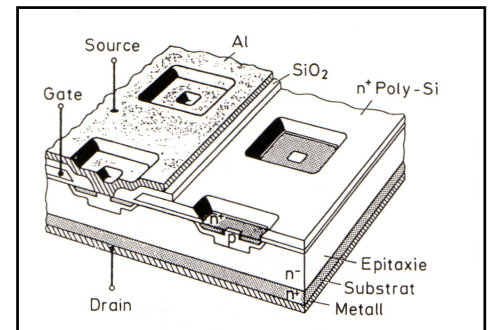


3.2.3. Triac (Triode Alternating Current Switch)

- Aufbau durch gegenparallele pnpn-Schichtfolgen, quasi Antiparallelschaltung zweier Thyristoren → Entwicklung eines neuen Bauelements mit nur einem Gate
- Steuerung zweier Halbwellen einer Wechselspannung möglich
- Einschalten und Abschalten wie Thyristor
- Verformung von Strom- und Spannungssignalen → Oberwellen; Frequenzen bis Megahertzbereich, Entstörung durch Kondensatoren und Spulen notwendig
- Vor allem für kleine bis mittlere Leistungen, nahezu leistungslose Steuerung von Wechselstromleistung (Lichtsteuerungen, Dimmer, Drehzahlsteuerung)

3.2.4. Leistungs-MOS-FET

- Funktionsweise wie MOS-FET, hohe Leistung durch Parallelschaltung mehrerer Transistorzellen
- Nutzung meist von selbstsperrenden FET
- Aufbau von Leistungs-MOS-FET → sehr viele parasitäre Schaltelemente (Widerstände, Kapazitäten, Dioden)
- Kapazitäten müssen bei jedem Schaltvorgang umgeladen werden, gerade bei hohen Schaltfrequenzen ergeben sich erhebliche Schaltverluste
- Für hohe Sperrspannungen schlechtes Durchlassverhalten, Anwendung vor allem bei kleinen Leistungen



3.2.5. IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

- Aufbau im Gegensatz zum MOS-FET auf einem P-Substrat (anstatt N-Substrat)
- Durch Aufbau ergibt sich ein weitere PN-Übergang → im eingeschalteten Zustand werden zusätzlich Löcher injiziert dadurch viel kleinerer Durchlasswiderstand als MOS-FET
- Ansteuerung wie beim MOS-FET
- Vereinigung vom Bipolartransistor (geringer Durchlasswiderstand, hohe Sperrspannung) und MOS-FET (leistungslose Ansteuerung)
- Hohe Schaltverluste → Begrenzung der Schaltfrequenz

4. Quellen

- Manfred Michel, „Leistungselektronik“, Springer-Verlag, Berlin 2003
- Brockhaus „Die Enzyklopädie“, F.A. Brockhaus, Leipzig – Mannheim, 1998
- <http://de.wikipedia.org/>
- <http://www.technodoctor.de/transistor.htm>
- <http://www.elektronik-kompodium.de/>