

Januar 2016

Scriptum – Publikation des Historischen Archivs der Infineon Technologies AG

„Er läuft und läuft und läuft ...“

Warum Infineon einen Transistor seit 50 Jahren produziert

von Jörg Berkner und Jakob Huber

... der Käfer. Den Werbespruch aus den 60er Jahren werden nur noch wenige Mitarbeiter kennen. Das Auto dagegen viele. Die Produktion dieser Legende wurde erst im Jahr 2003 nach rund 60 Jahren und 22 Millionen Exemplaren eingestellt.

Was kaum jemand vermuten würde – auch bei Infineon gibt es das eine oder andere Produkt von dem man sagen kann: „Es läuft und läuft und läuft“. Ein hervorragendes Beispiel ist der diskrete Planartransistor TV34, der seit 50 Jahren produziert wird. Verändert haben sich in dieser Zeit lediglich die verwendeten Gehäuse, die Vertriebsbezeichnungen und natürlich auch die Anwendungsgebiete.

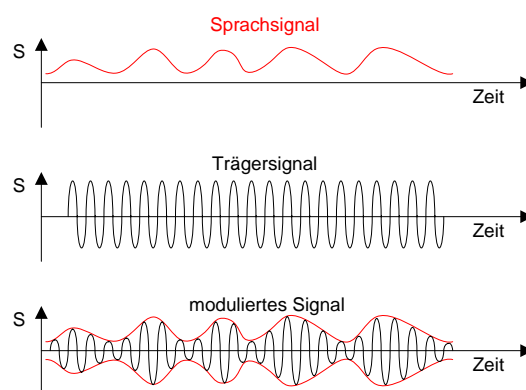


1966 war dieser Transistor für den Aufbau sogenannter Telefon-Weitverkehrsverbindungen entwickelt worden. Das zugrunde liegende Prinzip funktionierte rein analog und nannte sich Trägerfrequenzverfahren.

Was ist ein Trägerfrequenzverfahren?

Mit diesem Verfahren können mehrere Telefonsignale gleichzeitig über ein einziges Koaxialkabel übertragen werden. Dabei wird jedes Telefon-Sprachsignal auf je eine Trägerfrequenz im Bereich bis 4 bzw. bis 12 MHz moduliert. Auf der Empfängerseite werden die Signale dann wieder demoduliert und so die Sprachsignale zurückgewonnen. Um mit diesem

Prinzip Entfernungen von einigen hundert Kilometern zu überwinden brauchte man allerdings Zwischenverstärker, welche die Signalverluste über den gesamten verwendeten Frequenzbereich ausgleichen konnten. Für diese Breitbandverstärker wurden auf Forderung des Wernerwerkes für Weitverkehrs- und Kabeltechnik in der Siemens-Halbleiterfabrik zwischen 1964 und 1966 verschiedene Hochfrequenz-Transistoren entwickelt, darunter die Typen TV33, TV34 und TV87.¹ Diese Transistoren wurden vom Auftraggeber als Schlüsselkomponente für die zu entwickelnden Systeme angesehen. Deshalb legte man großen Wert auf eine Eigenentwicklung, statt solche Transistoren einzukaufen.



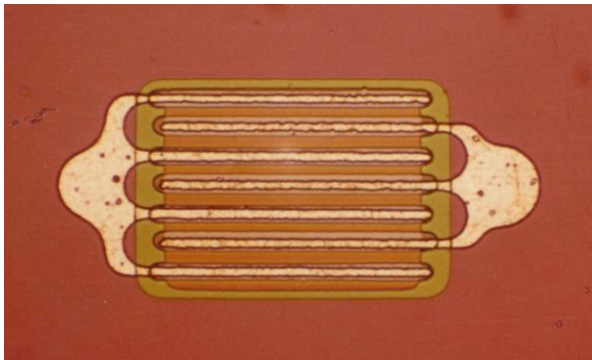
Das Prinzip des Trägerfrequenzverfahrens: Das Sprachsignal moduliert die Amplitude eines Trägerfrequenzsignals. Dabei wird für jedes Sprachsignal eine eigene Trägerfrequenz verwendet. Alle Trägerfrequenzen und damit alle Sprachsignale werden gleichzeitig über die Leitung übertragen.

Die Trägerfrequenztechnik war schon in den 1930er Jahren entwickelt worden, damals natürlich noch unter Verwendung von Elektronenröhren für die Verstärker. 1936 konnte

¹ Albus, Laborbericht [1], TV steht für Transistor-Versuch

Siemens & Halske zur Olympiade in Berlin weltweit als erste Firma 200 Gespräche und ein Fernsehprogramm gleichzeitig über eine Koaxialleitung übertragen.²

Mit dem Transistor wurde diese Übertragungstechnologie Anfang in den 60er Jahren auf eine neue Grundlage gestellt. Jahrzehntlang blieb sie das wichtigste Verfahren zur Nachrichtenübermittlung über weite Strecken. Das ist einer der Gründe für die langandauernde Nachfrage nach dem TV34.



Erste Layoutvariante des TV34 aus dem Jahr 1966. Die drei Emitter haben laut Laborbericht³ Abmessungen von $5 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$.

Die damit aufgebauten Verstärker konnten bei einem 4-MHz-Trägerfrequenzsystem bis zu 960 und bei einem 12-MHz-System bis zu 2700 Gespräche gleichzeitig übertragen. Allerdings war der technische Aufwand hoch, denn nach wenigen Kilometern musste ein Verstärker in die Leitung eingefügt werden. Die Verwendung von Silizium-Planartransistoren aus der Siemens-Halbleiterfabrik hatte enorme Vorteile gegenüber den früheren Röhrenverstärkern, ihr Leistungsverbrauch war sehr viel kleiner und das bei sehr viel größerer Zuverlässigkeit. Die Transistorverstärker konnten nun über die Leitung selbst mit Strom versorgt werden. Da die Transistoren, anders als Röhren, nicht regelmäßig ausgetauscht werden mussten, konnten die Verstärker in Behältern zusammen mit dem Kabel geschützt in der Erde verlegt werden.

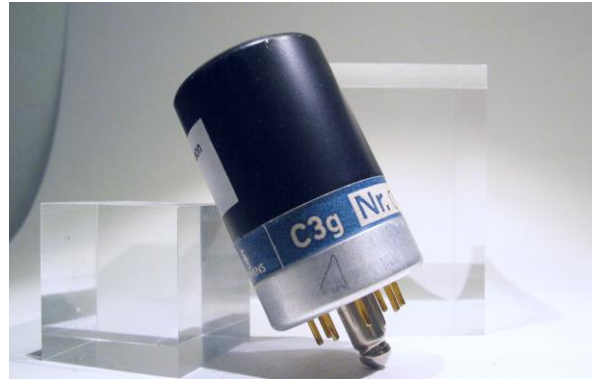
Solche transistorisierten Koaxialkabel-Systeme verlegte Siemens in den 60er Jahren zum Beispiel in Italien, Argentinien, Schweden und auch in Australien. Kombiniert mit Richtfunkstrecken ermöglichten sie es, den australischen Kontinent nachrichtentechnisch zu erschließen.⁴ Für die 1969 an der australischen Ostküste gebaute Leitung zwischen Carnarvon und Perth waren zum Beispiel 203 Verstärker im Abstand von jeweils 4,5 km nötig, um das

² 150 Jahre Siemens [4], S.53

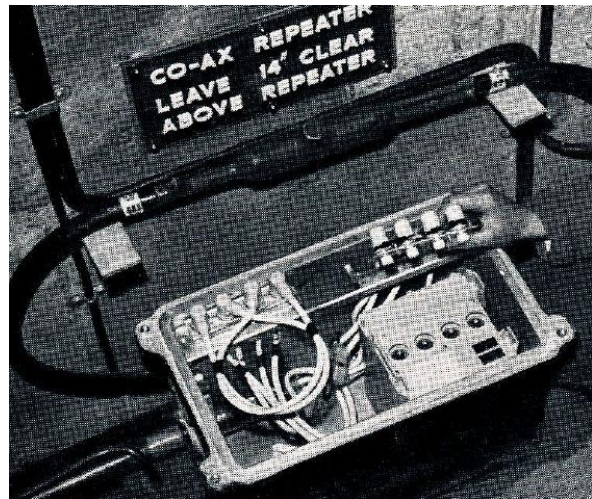
³ Albus, Laborbericht [1]

⁴ Klink, Weitverkehrsverbindungen [2]

abgeschwächte Telefonsignal wieder anzuheben.



Die ersten Verstärker für Trägerfrequenzsysteme wurden noch mit speziellen Röhren wie der Siemens C3g bestückt. Sie hatten aber den Nachteil einer begrenzten Lebensdauer (20.000h waren garantiert) und mussten also von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden. Daher musste man für die Verstärker kleine Häuschen errichten. Die Transistorverstärker hingegen konnten mit dem Kabel in der Erde verlegt werden.



Ein transistorisierter Zwischenverstärker für das 12-MHz-Koaxialkabel-System [2]. Die Transistorverstärker waren kleiner und zuverlässiger, als ihre Röhren-Vorgänger.

1971 führte Siemens ein verbessertes 60-MHz-Trägerfrequenzsystem mit der Bezeichnung V10800 ein, mit dem nun 10800 Gespräche statt der bisherigen 2700 gleichzeitig übertragen werden konnten. Schon 1972 wurde die erste 60-MHz-Strecke der Welt in Schweden von Västerås nach Orebo in Betrieb genommen.⁵

Lichtwellenleiter – eine disruptive Innovation

Etwa zur gleichen Zeit, Anfang der 1970er-Jahre, erreichte aber auch ein anderes, völlig neues Prinzip der Nachrichtenübertragung die Anwendungsreife – die Lichtwellenleitung über

⁵ Buchmann, Nachrichtenentz [7], S.30

Glasfaserkabel, ein Beispiel für eine sogenannte *disruptive* Innovation.⁶ Das Prinzip der Trägerfrequenzübertragung war über gut drei Jahrzehnte kontinuierlich weiterentwickelt und in seiner Leistung verbessert worden, nun erfolgte der Sprung auf ein völlig neues Übertragungsprinzip.⁷



Datalink-Module der 1. Generation von Siemens HL für die optische Datenübertragung.

Ein Patent für ein optisches Telefonsystem hatte der Amerikaner Norman R. French schon 1934 erhalten.⁸ Damals fehlten aber noch die technischen Voraussetzungen, um es zu realisieren. Zum einen fehlte eine Lichtquelle, die als Sender geeignet war und zum anderen brauchte man Glasfasern mit geringer Signaldämpfung. Mit den Fortschritten der Halbleitertechnologie wurden in den 1960er-Jahren geeignete Sender (Laserdiode) und Empfänger (Fotodiode) gefunden. Auch beim Übertragungsmedium, der Glasfaser, gab es Fortschritte. In Deutschland errichtete Siemens 1976 eine erste LWL-Erprobungsstrecke und im Jahr darauf wurde die erste LWL-Strecke der Bundespost gebaut.⁹ Von 1981 bis 1988 führte die Deutsche Post unter dem Namen BIGFON¹⁰ einen Großversuch durch, mit dem sie die neue Technik in mehreren Großstädten erprobte. Die Ergebnisse waren vielversprechend. Die Lichtwellenleitertechnik war in fast allen technischen Parametern (Übertragungsrate, Signaldämpfung und Störfestigkeit) der herkömmlichen Kupferdrahtleitung weit überlegen.

Der TV34 – eine „Cashcow“

Während also die Technologie der Nachrichtenübertragung über die Jahrzehnte sowohl kontinuierlich als auch disruptiv weiterentwickelt wurde, konnte unser Transistor TV34 fast unverändert produziert und verkauft

⁶ to disrupt (engl.): etwas unterbrechen, zerreißen

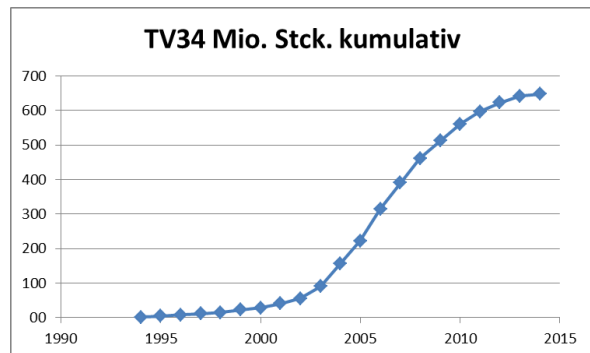
⁷ Auch der Übergang von der einfachen Zweidraht-Telefonleitung zum Trägerfrequenzverfahren in den 30er Jahren war in diesem Sinne disruptiv.

⁸ Patent US1981999 vom 27.11.1934

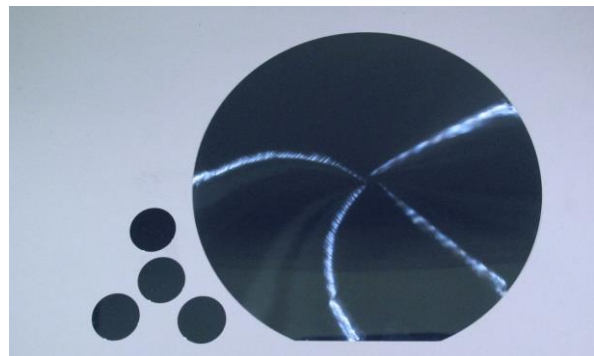
⁹ Mahlke, Lichtwellenleiterkabel [6], S.11-12

¹⁰ Bigfon = Breitbandiges Integriertes Glasfaser-Fernmeldeortsnetz

werden. Natürlich passten die Ingenieure den Transistorchip immer wieder an effektivere Herstellungsverfahren an, optimierten das Layout und verwendeten andere Gehäuse.

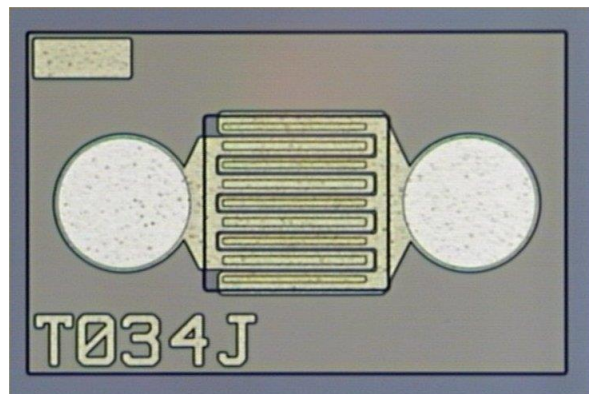


Allein in den letzten zwanzig Jahren wurden rund 650 Millionen Stück TV34 hergestellt und unter dem Vertriebsnamen BF799 verkauft.



In den 1960er-Jahren wurde der TV34 auf winzigen 1/2"-Wafern produziert, jeder dieser Wafer enthielt etwa 700 Chips. Ein heute verwendeter 6"-Wafer hat dagegen rund 180.000 Transistorchips.

Die Produktivität wurde durch den Übergang zu größeren Wafer-Durchmessern und durch Steigerung der Ausbeute kontinuierlich erhöht. Während die Produktion 1966 auf 1/2"-Wafern begann, werden heute 6"-Wafer verwendet. Die Ausbeute erreichte damals nur 30 bis 40%, heute liegt sie nahe 100%.



Verbessertes Layout des TV34 mit der Chipbezeichnung T034J.

Anfangs wurde der TV34 in ein TO72-Gehäuse eingebaut und erhielt den Vertriebsnamen BFX60. Zu Beginn der 80er Jahre erfolgte der Übergang zu kleineren SOT-Plastgehäusen¹¹ und die Bezeichnung des Transistors änderte sich in BF799 für das Gehäuse SOT23 bzw. BF799W für das Gehäuse SOT323.

Die universellen Eigenschaften machten diesen diskreten Transistor auch für andere Anwendungen interessant, zum Beispiel als Treibertransistor für Oberflächenwellenfilter oder als lokaler Oszillator in Fernsehgeräten. Die heute noch verfügbaren Verkaufszahlen weisen über die vergangenen 20 Jahre 650 Millionen verkaufte Transistoren aus. In letzter Zeit ging der Bedarf allerdings zurück, da die mit diesem Transistor realisierten Funktionen zunehmend integriert werden.

Die Entwicklung des TV34 markiert den Beginn der erfolgreichen Entwicklung von inzwischen acht Hochfrequenz-Transistor-Generationen bei Siemens-Halbleiter und Infineon.

Gen.	HL Material	Typ (Beispiel)	fT GHz
1	Si	BFX55, 59, 60	0,5 bis 2
2	Si	BF775, BFR14A	5
3	Si	BFR193	8
4	Si	BFP420/450	25
5	Si	BFP520	45
6	SiGe	BFP620	65
7	SiGe:C	BFP740/760	45
8	SiGe:C	BFP840ESD	80



Der Transistor BFP740 gehört zu 7. Generation der Hochfrequenztransistoren von Infineon, die in einer modernen Silizium-Germanium-Carbon-Technologie (SiGe:C) hergestellt werden.

„Cashcows“ wie der TV34 sind für ein Halbleiterunternehmen besonders wichtig, weil der mit ihnen realisierte Gewinn es ermöglicht, weitere innovative Produkte zu entwickeln. Bei

¹¹ SOT – Small Outline Transistor

den diskreten Hochfrequenztransistoren von Infineon kann man diese kontinuierliche Innovation über mehrere Jahrzehnte vom TV34 bis zu den heutigen SiGe:C-Transistoren der achten Generation nachverfolgen.

Quellen

- [1] Albus, Henning, Hargasser: „Laborbericht über die Entwicklung von Si-Planartransistoren für Breitbandverstärker“, WWB Werk für Halbleiter, Bericht 297, 14.01.1966
- [2] Klink, Theodor; Martin, Wolfgang: „Nachrichten-Weitverkehrsverbindungen in Australien“, Siemens-Zeitschrift 42 (1968) Heft 11, S.900
- [3] Martin, Wolfgang: „Verstärker für 1000 km Koaxialkabel in Australien“, Siemens-Zeitschrift 41 (1967) Heft 7, S.609
- [4] Feldenkirchen, Wilfried (Hrsg.): „150 Jahre Siemens“, Siemens Forum, 1997
- [5] Braun, Ewald; Koppehele, Frithjof: „Ein Verstärker für 10800 Gespräche“, Siemens-Zeitschrift 44 (1970) Heft 4, S.167
- [6] Mahlke, Günther; Gössing, Peter: „Lichtwellenleiterkabel“, Siemens AG, 1986
- [7] Buchmann, Ewald; Etzel, Franz; Panzerbieter, Hans: „Ein dichtes Nachrichtennetz wird um den Erdball gespannt“, in: „Aus der Geschichte der Elektrotechnik im Hause Siemens nach 1945“, Bd.1, 1977
- [8] Siemens & Halske AG (Hrsg.): „Elektronenröhren. Grundlegende Forschung, zukunftsweisende Entwicklung, neuzeitliche Fertigung“, Broschüre, Wernerwerk für Bauelemente, 1961
- [9] Henning, Wolfgang; Kranwetvogel, Walter: „BFR14A – ein Silizium-Planartransistor für Frequenzen bis 5 GHz“, Siemens Bauteile Information 10 (1972) Heft 5, S.126
- [10] Lohninger, Gerhard: „Der neue SIEGET 45-Transistor BFP520“, SC 6/98, S.10
- [11] Infineon Technologies AG: Data Sheet NPN Silicon RF Transistor BF799, Oct.26,1999
- [12] Infineon Technologies AG: Data Sheet Low Noise Silicon Bipolar RF Transistor BFR193, Apr.04,2014

Impressum

Scriptum ist eine Veröffentlichung des Historischen Archivs der Infineon AG am Standort München Campeon
Redaktion: Jörg Berkner
Bilder: Berkner (2) Historisches Archiv (4), Infineon (1)

Ausgabe: Januar 2016, Version: d 2016-01-15

Copyright: Alle Rechte bei der Infineon Technologies AG. Die Rechte des Autors auf weitere Verwertung bleiben unberührt. Der Leser ist berechtigt, persönliche Kopien für wissenschaftliche und nicht-kommerzielle Zwecke anzufertigen. Jede darüber hinausgehende Nutzung bedarf der ausdrücklichen schriftlichen Zustimmung der Infineon Technologies AG.

Infineon Technologies AG

Vorsitzender des Aufsichtsrats: Wolfgang Mayrhuber
Vorstand: Dr. Reinhard Ploss (Vorsitzender), Dominik Asam, Arunjai Mittal, Sitz der Gesellschaft: Neubiberg
Registergericht: München HRB 126492

Bei Anmerkungen und Ergänzungen schreiben Sie bitte an j.berkner@infineon.com.