Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 51 (1960)

Heft: 9

Artikel: Graphische Symbole für Mikrowellenröhren

Autor: Epprecht, G.W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-917031

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

GEMEINSAMES PUBLIKATIONSORGAN
DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS (SEV) UND
DES VERBANDES SCHWEIZERISCHER ELEKTRIZITÄTSWERKE (VSE)

Graphische Symbole für Mikrowellenröhren

Von *G. W. Epprecht*, Baden

003.62 : 621.385.1.029.6

Es wird versucht, die Symbole für Mikrowellen-Elektronenröhren auf eine einheitliche Grundlage zu stellen, indem eine Anzahl von elementaren Teilsymbolen vorgeschlagen wird, aus denen sich die Gesamtsymbole aufbauen lassen und zwar je nach Bedarf mit verschiedener Ausführlichkeit. Neben schon bekannten Elementarsymbolen werden nur wenige neue benötigt, um ein System von leicht zu zeichnenden, anschaulichen Darstellungen zu gewinnen.

L'auteur tente d'unifier les symboles pour tubes électroniques à ondes centimétriques, en proposant un certain nombre de symboles élémentaires, à l'aide desquels les symboles globaux peuvent être établis de différentes manières, selon les besoins. Outre les symboles élémentaires connus, il suffit de quelques symboles nouveaux pour obtenir un système de représentations compréhensibles et d'un dessin simple.

1. Einleitung

Es gibt heute mehr als zwanzig grundsätzlich verschiedene Mikrowellen-Elektronenröhren. Für die meisten existieren mehrere Arten der graphischen Darstellung. Leider fehlt auf diesem Gebiete eine gewisse Systematik, was nicht verwunderlich ist, wenn man bedenkt, dass manche dieser Röhren erst in den letzten Jahren entwickelt wurden. Es wird deshalb hier der Versuch gemacht, die Symbole für diese Röhren auf eine einheitliche Grundlage zu stellen, die auch Raum lässt für Weiterentwicklungen. Dies sei nicht unternommen, um den schon im Gange befindlichen Diskussionen über diese Angelegenheit vorzugreifen, sondern eher um in Form eines Diskussionsbeitrages die verschiedenen Aspekte zu beleuchten.

Man trifft immer wieder auf Versuche, die Mikrowellenröhren-Symbole aus den gleichen Elementen aufzubauen wie die Symbole für die konventionellen Vakuumröhren. Meistens ergeben sich nicht sehr glückliche Lösungen; sie sind entweder zu kompliziert oder zu wenig «sprechend». Dies hängt damit zusammen, dass bei den Mikrowellenröhren grundsätzlich neue Prinzipien vorkommen, die in der konventionellen Art, eine Röhre einzig durch ihre Elektroden zu charakterisieren, nicht leicht und anschaulich erfasst werden können.

2. Ausführlichkeit der Symbole

Mikrowellenröhren sind im allgemeinen komplizierte Systeme mit etlichen Elektroden, oft noch mit äusserlich angelegten statischen Feldern, so dass ein vollständiges Schema entsprechend unübersichtlich werden muss. In Übersichtsschaltbildern sind solche vollständige Symbole unbrauchbar. Man kommt kaum darum herum, dass man für dieselbe Röhre verschiedene Symbole verwendet, die sich durch den Grad ihrer Ausführlichkeit unterscheiden. In einem Verdrahtungsschema muss ein Symbol verwendet werden, das alle Elektrodenanschlüsse enthält, in einem Blockschema dagegen wünscht man ein einfaches Symbol, das in keiner Weise überbestimmt ist. Dazwischen sind viele Abstufungen möglich. Oft ist es beim Zeichnen eines Schemas zu Beginn noch nicht klar, welcher Grad von Ausführlichkeit notwendig sein wird. Man braucht also etwas elastische Symbole, was bei den konventionellen Röhren weniger notwendig ist, weil sie einfacher sind. Selbstverständlich ist es erwünscht, dass das einfachste, das «Grundsymbol», und das ausführlichste Symbol der gleichen Röhre sich sehr ähnlich sehen. Am besten ist es, wenn die ausführliche Darstellung auf dem Grundsymbol aufbaut und daraus einfach durch Zufügen weiterer Details abgeleitet werden kann.

3. Besonderheiten der Mikrowellenröhren

Neben den klassischen Symbolelementen für die Elektroden wie Kathode, Gitter usw. benötigt man zur Charakterisierung der Mikrowellenröhren Zeichen für einige zusätzliche Begriffe oder Schaltelemente. Es sind dies

a) der Elektronenstrahl in Wechselwirkung mit Hochfrequenzfeldern;
b) äussere oder innere statische, magnetische oder elektrische Felder;
c) Resonatoren und Verzögerungsleitungen;
d) Ankopplungen.

Die Symbole der gewöhnlichen Elektronenröhren ergaben sich aus der Vorstellungswelt der konzentrierten Schaltelemente, also dem Bereich jener Frequenzen, bei denen die Elektronenlaufzeiten klein sind im Vergleich zur Schwingungsperiode. Der in Mikrowellenröhren verwendete Strahl muss dagegen eher wie eine Leitung behandelt werden, auf der sich Wellen ausbreiten, die von ähnlicher Grösse oder kürzer sind als seine Gesamtlänge. Anderseits

ist es für die Wechselwirkung zwischen Strahl und Welle zunächst gleichgültig (abgesehen vom Rauschen), wie und wo der Strahl erzeugt wurde; die Kathode spielt im hochfrequenten Stromkreis gar keine Rolle. Die spezielle Konstruktion der Elektronenkanone anzugeben, z. B. eine besonders rauscharme Ausführung, führt zu weit, wenn es sich um ein Symbol handeln soll; solche Angaben werden auch bei den Symbolen für konventionelle Röhren nicht gemacht. Führt man also ein Symbol ein für den Strahl, so erübrigt es sich in den meisten Fällen, die Kathode einzuzeichnen. Dies ist eine wesentliche Vereinfachung, weil die Kathode oder Elektronenkanone meist schon an sich ein ziemlich kompliziertes Elektrodensystem darstellt. Ist es dagegen erwünscht, im Symbol einen Hinweis auf die Art der Strahlerzeugung einzuschliessen — gerader Strahl, abgewinkelter Strahl oder auf der ganzen Länge kontinuierlich erzeugter Strahl — so kann dies durch besondere Formen des Strahlsymboles erfolgen (Symbole 1...3 der in der Tabelle zusammengestellten Symbole). Ferner kann es für den Röhrentyp von Bedeutung sein, welchen Querschnitt der Elektronenstrahl hat — rund, flach, hohl oder andere Formen —; deshalb muss die Möglichkeit bestehen, dies im Symbol anzugeben (Symbole 4...6). Kreisförmigen Elektronenbahnen entsprechen die Symbole 7 und 8.

Normalerweise besteht Wechselwirkung zwischen einem Feldvektor in Strahlrichtung und der Geschwindigkeit der Elektronen in eben dieser Richtung. Es kommt aber auch vor, dass der Elektronenstrahl quer moduliert ist und dass die Querbewegung wesentlich für die Wechselwirkung verantwortlich ist; dann wäre das Symbol 9 zu verwenden. Neuerdings werden auch (Hohl-)Elektronenstrahlen mit schraubenförmigen Bahnen benützt, was im Symbol 10 zum Ausdruck kommt. Für die Art der Wechselwirkung ist ferner wichtig, ob die Elektronen grundsätzlich im Strahl zusammenbleiben oder ob eine Phasenaussortierung (Bremsfeldröhren, rollkreiserregtes Magnetron) wesentlich ist für das Funktionieren der Anordnung (Symbol 11). Ferner wird noch ein Symbol für den reflektierten Strahl (12) benötigt, wobei es sich wie bei der Kathode meist erübrigen wird, den Reflektor als Elektrode noch besonders anzugeben. Schliesslich gibt es noch den Fall der Röhren mit zwei in Wechselwirkung stehenden Elektronenstrahlen (Symbol 13).

4. Statische Felder

Statische elektrische oder magnetische Felder werden einerseits verwendet zur Fokussierung des Strahles, anderseits bestimmen sie wesentlich die Art der Wechselwirkung zwischen Strahl und Welle. Die meisten Wanderfeldröhren und auch einige Klystrons verwenden ein Längs-Magnetfeld zur Fokussierung des Strahles (Symbol 22), während neuere Typen aus Gründen der Gewichts-, Raum- und Leistungseinsparung die Fokussierung durch räumlich periodische Felder erreichen (Symbole 25 und 26). Was den Einfluss statischer Querfelder auf die Wechselwirkung zwischen Strahl und Welle betrifft, so unterscheidet man heute drei Klassen von Elektronenstrahlröhren, nämlich den O-, den M- und den E-Typ. Beim O-Typ ist der Strahl gerade und es ist kein Querfeld vorhanden, es sei denn eines, das nur mit der Fokussierung zu tun hat. Dieser Klasse gehören heute noch die meisten handelsüblichen Klystrons und Wanderfeldröhren an. Es steht dabei nur die Längskomponente des elektrischen Feldes der Welle in Wechselwirkung mit dem Elektronenstrahl. Die gesamte Energie, die ein Elektron an die Welle abgeben kann, berechnet sich aus der Differenz seiner kinetischen Energien zwischen Eintritt und Austritt. Wegen des Synchronismus zwischen Strahl und Welle kann diese Differenz immer nur gering sein im Vergleich zur Gesamtenergie, es sei denn, dass Verzögerungsleitungen ganz besonderer Art verwendet würden. Deshalb ist der Wirkungsgrad der O-Röhren immer bescheiden.

Bei den M-Röhren sind sowohl ein elektrisches wie ein magnetisches Querfeld vorhanden, die aufeinander und auf dem Strahl senkrecht stehen. Die mittlere Strahlgeschwindigkeit ist dabei gleich der sogenannten Leitbahngeschwindigkeit. An der Wechselwirkung sind sowohl das Längs- als auch das Querfeld der Wanderwelle beteiligt, und der modulierte Strahl hat eine Querwelligkeit. In diesem Falle kann fast die ganze potentielle Energie des Elektrons im angelegten elektrischen Feld ausgenützt werden. Dabei bleibt die Leitbahngeschwindigkeit konstant, der Synchronismus längs des ganzen Strahles ist also leichter aufrecht zu erhalten. Bei der Energieabgabe bewegt sich das Elektron quer zur Strahlrichtung, gegen das angelegte elektrische Feld. Diese Magnetron-Typ-Röhren können sehr gute Wirkungsgrade erreichen. Es gibt lineare und zirkulare M-Röhren.

Die E-Röhren haben immer eine kreis- oder helixförmige Elektronenbahn mit einem radialen elektrischen Feld (kein Magnetfeld). Ihre Wirkungsweise ist jener der M-Röhren ähnlich; an Stelle der durch das Magnetfeld ausgeübten Lorentzkraft tritt die Zentrifugalkraft. Die tangentiale Geschwindigkeit des Elektrons bleibt konstant, während es im E-Feld «fällt», d. h. potentielle Energie abgibt. Diese Röhren werden auch als «magnetlose Magnetrons» bezeichnet.

Man kann zeigen, dass bei der M- und E-Klasse die Verzögerungsleitung immer die Elektrode mit dem höheren Potential sein muss (Anode), wenn eine Verstärkung oder Schwingungsanfachung erwünscht ist. Daraus ergibt sich, dass bei E-Röhren die Verzögerungsleitung immer innerhalb des Strahles liegt, während sie sich bei der Klasse M normalerweise ausserhalb befindet (M-Röhren mit innen liegender Verzögerungsleitung sind denkbar, bis heute ist jedoch keine solche Konstruktion bekannt geworden). Es ist also bei kreisförmigen Elektronenstrahlen normalerweise aus der Anordnung von Strahl und Leitung sofort ersichtlich, um welchen Röhrentyp es sich handelt. Einzig beim linearen Magnetron kann im Symbol die Angabe der gekreuzten Felder nicht weggelassen werden.

5. Elektroden

Als spezifische Mikrowellenbauteile oder Elektroden sind die Verzögerungsleitungen und die Resonatoren zu nennen. Dafür werden die Symbole 30... 32 vorgeschlagen. Da zwischen Vorwärtswellen- und

Geometrie des Strahles, Art der Emission und Wechselwirkung

Nr.	Symbol	Bedeutung
1		Allgemeiner gerader Elektronenstrahl in Wechselwirkung mit elektromagnetischen Feldern
2		Elektronenstrahl mit Ablenkung nach der Emission
3		Elektronenstrahl mit einer emittierenden Kathode längs des ganzen Strahles
4		Elektronenstrahl mit rundem Querschnitt
5		Elektronenstrahl mit flachem Querschnitt
6		Elektronen-Hohlstrahl
7		Kreisförmiger, geschlossener Elektronenstrahl
8		Kreisförmiger, offener Elektronenstrahl
9		Elektronenstrahl, bei dem die Wechselwirkung mit dem elektromagnetischen Feld im wesentlichen durch die Querbewegung der Elektronen bestimmt wird
10		Elektronenstrahl mit schraubenförmigen Bahnen der Elektronen
11		Elektronenstrahl mit Phasenaussortierung
12		Elektronenstrahl in reflektierendem Feld
13		Zwei Elektronenstrahlen in Wechselwirkung
14		Angabe von Phasenbeziehungen der Wechselgrössen im Strahl (siehe die Beispiele Nr. 53 und 54)

Statische Fokussierfelder

Nr.	Symbol	Bedeutung
20	a b c	Elektrisches statisches Feld (Darstellungsart bei horizontalem, in der Zeichenebene liegendem Strahl) *a*) in der Zeichenebene liegendes Querfeld *b*) senkrecht zur Zeichenebene liegendes Querfeld *c*) Längsfeld

Graphische Symbole für Mikrowellenröhren

Nr.	Symbol	Bedeutung
21	a b c	Magnetisches statisches Feld (Darstellungsart bei horizontalem, in der Zeichenebene liegendem Strahl) *a*) In der Zeichenebene liegendes Querfeld *b*) senkrecht zur Zeichenebene liegendes Querfeld *c*) Längsfeld
22		Fokussierung mit magnetischem statischem Längsfeld
23		Tangential gespeister, ringförmiger Elektronenstrahl mit elektrischem (radialem) Querfeld
24		Elektronenstrahl in gekreuzten elektrischen und magnetischen statischen Querfeldern (Typ Magnetron)
25		Räumlich periodisches magnetisches Fokussierfeld
26		Räumlich periodisches elektrisches Fokussierfeld

Elektroden

Nr.	Symbol	Bedeutung
30		Verzögerungsleitung mit Angabe der Richtung des Energietransportes im benützten Modus
31		Kreisförmig geschlossene Verzögerungsstruktur
32		Resonator
32 a		Koaxialer Resonator
33		Elektronenkanone (Kathodenstrahlerzeuger), Beispiel mit Kathode und verschiedenen Beschleunigungselektroden
33 a		Elektronenkanone (Kathodenstrahlerzeuger), vereinfacht
34		Reflektor

Auskopplung

Nr.	Symbol	Bedeutung
40		Auskopplung, allgemein; nicht näher spezifizierte Art
41	a b	Auskopplung *a*) durch Sonde *b*) durch Schleife
42		Auskopplung durch Kopplungsloch (mit metallischer Vakuumdurchführung)
43	a b	Auskopplung mit Resonator und Hohlleiterankopplung *a*) galvanisch nicht verbunden *b*) galvanisch verbunden
44		Auskopplung mit Richtkoppler
45	a b	Vakuumdichte Leitungsdurchführung *a*) koaxial *b*) Hohlleiter

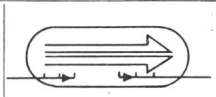
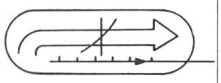
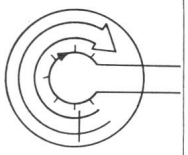
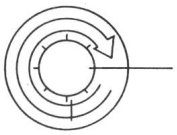
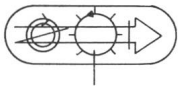
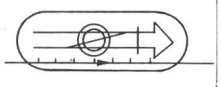
Beispiele von Mikrowellenröhren

50		Reflexklystron mit internem Resonator
50 a		Reflexklystron mit internem Resonator, ausführlicher dargestellt
51		Zweikreisklystron mit externen Resonatoren und externer Rückkopplung
52		Monotron

Graphische Symbole für Mikrowellenröhren

Nr.	Symbol	Bedeutung
53		Heilsche Röhre (Coaxial line tube)
54		Generator mit gleichphasigen Feldern
55		Bremsfeldröhre (mit Phasenaussortierung)
56		Magnetron mit einem einzigen Resonator, mit Phasenaussortierung (Rollkreiserregung)
57		Wanderfeldmagnetron (Traveling-Wave-Magnetron)
57 a		Wanderfeldmagnetron (Traveling-Wave-Magnetron) mit Hohlleiterauskopplung (ausführlichere Darstellung)
58		«Voltage tunable Magnetron»
59		Rückwärtswellen-Magnetronverstärker («Amplitron», «Stabilotron», Raytheon)
60		Gewöhnliche Wanderfeldröhre (Typ O). Ausführlichere und einfachere Darstellung
61		Wanderfeldröhre mit periodischer elektrostatischer Fokussierung («Estiatron», R. C. A.)
62		Wanderfeldröhre mit periodischer magnetischer Fokussierung
63		Rückwärtswellen-Oszillator

Graphische Symbole für Mikrowellenröhren

Nr.	Symbol	Bedeutung
64		Elektronenwellenröhre (Vorwärtswelle)
65		Lineares Wanderfeld-magnetron (Typ-M-Wanderfeldröhre)
66		Typ-E-Verstärker (Huber, C. S. F.)
67		Typ-E-Oszillator, «magnetloses Magnetron» (Versnel und Jonker, Philips)
68		Wanderfeldröhre (Typ E) mit Harris-Strahl, «Spiratron» (Tschernov-Röhre)
69		«Helitron» (Typ-E-Röhre, Watkins-Röhre)

Rückwärtswellenröhren unterschieden werden muss, ist es notwendig, auf der Verzögerungsleitung die Richtung des Energietransportes anzugeben. Diese Angabe bezieht sich natürlich nur auf die zur Verstärkung benützte Welle. Die Grenze zwischen Mehrkreisklystron und Wanderfeldröhre ist nicht sehr scharf definierbar, praktisch unterscheiden sich aber diese zwei Fälle immer dadurch, dass auf jeder Verzögerungsleitung, auch wenn sie aus einer Kette von Hohlräumen besteht, die einzelnen Teilstücke elektromagnetisch gekoppelt sind, während beim Mehrkreisklystron die Resonatoren nur durch den Elektronenstrahl gekoppelt werden (abgesehen von externen Rückkopplungen).

Grosse Unterschiede findet man bei diesen Röhren in der Art der Auskopplung der hochfrequenten Energie. Sehr oft ist dies in der Schaltung aber ein belangloser Punkt, so dass man das einfachste Symbol 40 wählen kann. Muss die Kopplung näher definiert werden, so sind dafür die schon aus der allgemeinen Mikrowellentechnik bekannten Symbole zu verwenden. Es lässt sich auch ohne weiteres angeben, an welcher Stelle die Vakuumdurchführung erfolgt, wie dies aus den Beispielen ersichtlich ist.

6. Synthese der Symbole

Es ist nun ein Leichtes, aus diesen Symbolelementen für die bekannten Varianten von Mikrowellenröhren die entsprechenden Symbole zusammenzustellen. Die angegebenen Beispiele sprechen für sich und bedürfen kaum einer eingehenden Erläuterung. Es ist ein weiter Spielraum für zukünftige Neuentwicklungen vorhanden, was in diesem Gebiete von grosser Wichtigkeit ist. In den Beispielen wurde durchwegs die einpolige Darstellung gewählt. Werden die Ankopplungen zweipolig gezeichnet, so entsteht sofort das entsprechende Symbol für zweipolige Schaltbilder. In der Mikrowellentechnik gewinnt man dadurch nichts Wesentliches; es wäre zu begrüssen, wenn überhaupt die Schaltbilder in der Leitungstechnik nur einpolig gezeichnet würden.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. G. W. *Epprecht*, Schartenstr. 11 a, Baden (AG).

Les machines analogiques et leurs emplois dans l'industrie

Conférence donnée à la 18e Journée Suisse de la technique des télécommunications le 17 septembre 1959 à Aarau,

par *P. Coroller*, Baden

681.142.001.57

On définit dans l'article ce que l'on entend par calcul analogique. En prenant un exemple simple on montre qu'il repose sur une identité de forme entre les équations décrivant le fonctionnement de deux systèmes de natures physiques différentes. On donne ensuite information sur l'ordre de grandeur de la précision d'un calcul ou d'une simulation effectués avec une telle machine. Elle correspond bien aux besoins courants de l'industrie d'après l'expérience de l'auteur. Pour terminer on donne quelques exemples d'applications.

Im Artikel wird definiert, was unter Analogierechnung zu verstehen ist. An Hand eines einfachen Beispiels wird gezeigt, wie die Analogrechnung auf der Identität der Form der Betriebsgleichungen zweier Systeme verschiedener physikalischer Natur beruht. Anschliessend wird Auskunft gegeben über die Grössenordnung der Genauigkeit, die bei einer Rechnung oder einer Nachahmung mit einer solchen Maschine zu erwarten ist. Diese Genauigkeit reicht nach eigener Erfahrung des Autors für die allgemeinen Bedürfnisse der Industrie aus. Zum Schluss werden einige Anwendungsbeispiele erläutert.

Nous nous proposons dans cet exposé de dégager les caractères particuliers du calcul analogique. Nous nous appuyons sur l'expérience que nous avons acquise lors des essais effectués avec la machine à calculer analogique installée aux établissements de la S. A. Brown, Boveri et Cie. Nous donnerons aussi en exemple d'autres types de machines à calculer relevant également du principe de l'analogie.

Il y a déjà longtemps que l'on utilise le calcul analogique dans l'industrie, mais depuis peu d'années seulement on a à disposition des machines à calculer analogiques pouvant effectuer d'une manière presque parfaite les opérations mathématiques élémentaires. Les progrès dans la technique électronique en général et dans les amplificateurs à courant continu en particulier ont permis cette évolution.

Avant d'aller plus loin il me semble nécessaire de définir ce qu'on entend par analogie: Nous dirons que deux systèmes physiques sont analogues lorsque les lois qui les régissent ont la même expression