Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 51 (1960)

Heft: 23

Rubrik: Mitteilungen SEV

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

7. Besondere Anforderungen an Fehlerstromschutzschalter in genullten Netzen
(Fig. 8)

Jeder satte Masseschluss (d. h. Schluss zwischen einem Phasenleiter und einem berührbaren, mit dem Schutzleiter verbundenen Anlageteil) bedeutet in einem genullten Netz einen Kurzschluss, weil der Schutzleiter mit dem Nulleiter verbunden ist. Von einem Fehlerstromschutzschalter, der in genullten Netzen verwendet werden soll, muss deshalb gefordert werden, dass er mit den sowieso vorhandenen Überstromunterbrechern (z. B. Hausanschlußsicherungen) selektiv arbeitet, d. h. Kurzschlüsse, die über der Schaltleistungsgrenze des Fehlerstromschutzschalters liegen, sollen durch die Überstromunterbrecher abgeschaltet werden, bevor die Kontakte des Fehlerstromschutzschalters öffnen. Die geschlossenen Kontakte der Fehlerstromschutzschalter müssen in der Lage sein, den Kurzschlußstrom zu führen, ohne z. B. zusammenzuschweissen. Bei den Fehlerstromschutzschaltern mit Impulsauslösung kann die gewünschte Selektivität mit Überstromunterbrechern bis zu einem bestimmten Nennstrom leicht erreicht werden, indem durch Verwendung von geeigneten Bauelementen (grosser Speicherkondensator) eine entsprechend grosse Auslöseverzögerung bewirkt wird.

8. Fehlerstromschutzschalter mit zusätzlicher Überwachung der Nulleiterspannung
(Fig. 9)

Am Ende einer langen Stichleitung mit schlechter Erdung, wenn eventuell sogar die Nullungsbedingungen nicht mehr eingehalten werden können, kann es vorkommen, dass bei einem Kurzschluss zwischen Phasenleiter und Nulleiter der Nulleiter eine erhebliche Spannung gegen Erde annimmt, ohne dass ein Fehlerstrom im Schutzleiter fliesst und ein vorhandener Fehlerstromschutzschalter anspricht. Durch Verbinden des Nulleiters *nach* dem Fehlerstromschutzschalter mit einer Hilfserdung verursacht eine allfällige Nulleiterspannung einen Stromfluss über diese Erdverbindung und bringt somit den Fehlerstromschutzschalter zum Auslösen.

Auch im normalen Betriebszustand entsteht jedoch im Nulleiter ein kleiner Spannungsabfall und es fliesst dementsprechend ein kleiner Strom durch die Hilfserdung. Durch einen Begrenzungswiderstand wird dieser Strom unterhalb der Auslösegrenze des Fehlerstromschutzschalters gehalten. Bei jeder Überlastung des Nulleiters steigt dieser Strom und überschreitet die Auslösegrenze des Schalters. Die Auslöseverzögerung des Fehlerstromschutzschalters mit Impulsauslösung sorgt dafür, dass bei Überlastungen von kurzer Dauer (z. B. Anlauf von Motoren oder rasch abgeschaltete Kurzschlüsse) der Schalter nicht unnötigerweise ausgelöst wird.

Der 3polige Fehlerstromschutzschalter mit zusätzlicher Überwachung der Nulleiterspannung schützt also bei Fehlern hinter dem Fehlerstromschutzschalter sowie auch bei Unterbruch des Nulleiters in der Zuleitung. Um gegen Einschleppen von Fehlerspannungen über den Nulleiter von aussen (vom Netz her), zu schützen, müsste der Fehlerstromschutzschalter auch den Nulleiter abschalten (4poliger Schalter). Da jedoch nach den Hausinstallationsvorschriften des SEV das Schalten des geerdeten Nulleiters nur in ganz bestimmten Ausnahmefällen gestattet ist, muss in genullten Netzen im allgemeinen darauf verzichtet werden, den Nulleiter durch den Fehlerstromschutzschalter abzuschalten.

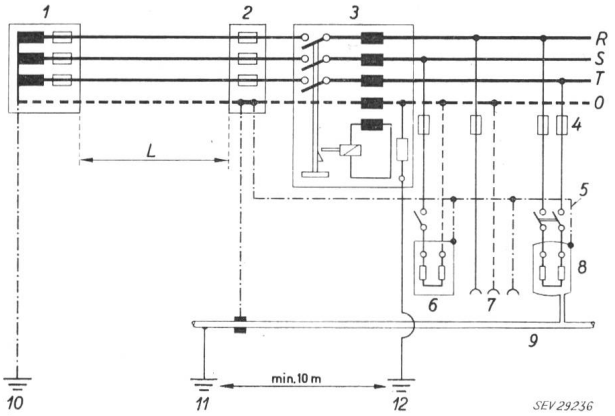

Fig. 9

Fehlerstromschutzschalter mit zusätzlicher Überwachung der Spannung des Nulleiters

1 Transformatorenstation; *2* Hausanschlußsicherungen; *3* Fehlerstromschutzschalter; *4* Sicherungen; *5* Schutzleiter; *6* Energieverbraucher; *7* Steckdose; *8* Heisswasserspeicher; *9* Wasserleitung; *10* Stationserdung; *11* schlechte Erdung; *12* Hilfserdung; *L* lange Stichleitung

Literatur

[1] *Schwenkhagen, H. F.* und *P. Schnell:* Gefahrenschutz in elektrischen Anlagen. Essen: Girardet 1957.

[2] *Schrank, W.:* Schutz gegen Berührungsspannungen. Schutzmassnahmen gegen elektrische Unfälle durch Berührungsspannungen in Niederspannungsanlagen. Berlin u. a.: Springer 1958.

[3] *Biegelmeier, G.:* Moderner Fehlerstromschutz. E und M Bd. 75(1958), Nr. 8, S. 157...164.

[4] *Weber, H. F.:* Wie hoch muss eine Spannung sein, um dem Menschen gefährlich zu werden? Bull. SEV Bd. 19(1928), Nr. 21, S. 703...706.

[5] *Elektrizitätswerke des Kantons Zürich:* Beitrag zur Kenntnis der Vorgänge beim Stromdurchgang durch den menschlichen Körper. Bull. SEV Bd. 20(1929), Nr. 13, S. 428...441.

[6] *Ferris, L. P., B. G. King, P. W. Spence* und *H. B. Williams:* Effect of Electric Shock on the Heart. Electr. Engng. 55 (1936), Nr. 5, S. 498...515.

[7] *Kouwenhoven, W. B., G. G. Knickerbocker, R. W. Chesnut, W. R. Milnor* und *D. J. Sass:* A-C Shocks of Varying Parameters Affecting the Heart. Trans. AIEE Bd. 78(1959), Part I, Commun. & Electronics, Nr. 42, S. 163...169.

[8] *Dalziel, C. F.:* Threshold 60-Cycle Fibrillating Currents. AIEE Conference 1960, Paper 60-40.

Adressen der Autoren:

Dr. *G. Biegelmeier,* Heiligenstädterstrasse 187, Wien XIX, und *E. Maier,* Carl Maier & Cie., Schaffhausen.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Tagung des Comité d'Etudes 23, Kleinmaterial, vom 13. bis 16. Juli 1960 in Brüssel

Unter dem Vorsitz von Prof. *J. C. van Staveren,* Niederlande, trat das CE 23 zu einer viertägigen Sitzung in Brüssel zusammen, an der Vertreter der Nationalkomitees von Belgien, Westdeutschland, Frankreich, Grossbritannien, Niederlande, Israel, Italien, Japan, Norwegen, Schweden und der Schweiz vertreten waren.

Nach Genehmigung des Protokolls der vorangegangenen Sitzung vom 8. Juli 1958 in Stockholm wurde als wichtigstes Traktandum zuerst das Dokument 23(Secrétariat)44, Entwurf zu Empfehlungen für Vorschriften für Lampenfassungen mit Edison-Gewinde, durchberaten. Von den durch die einzelnen Nationalkomitees beantragten Änderungen wurde ein verhältnismässig kleiner Teil angenommen. Der Geltungsbereich wurde auf Fassungen für alle Arten von Lampen ausgedehnt, blieb aber auf Schraubfassungen mit Edison-Gewinde beschränkt; ferner wurde die Strassenbeleuchtung ausdrücklich ausgeschlossen. Die Leistungsgrenze für die mit den Fassungen verwendbaren Lampen wurde durch Erwärmungsgrenzen an den Lampensockeln ersetzt und für E 14, E 27 und E 40 mit 90, 140 und 200 °C festgelegt. Es soll insbesondere zur Präzisierung des Geltungsbereiches ein Abschnitt über Definitionen in den Entwurf aufgenommen werden. Die normalen Nennspannungen 500 V und 750 V wurden nur für Serieschaltung von Fassungen in Betracht gezogen. Für 125 V Nennspannung kann die Nennstromstärke grösser als die genormten Werte sein, sofern entsprechend grössere

Klemmen verwendet werden. Die Mindestdurchmesser für die Stellschraube im Nippelgewinde wurde für Gewinde mit über 1 mm Ganghöhe auf 3 bzw. 4 mm für Schrauben mit bzw. ohne Kopf herabgesetzt. Der Berührungsschutz während des Einschraubens der Lampe wird für Fassungen E 40 nicht mehr verlangt, für Fassungen E 14 und E 27 bleibt er auf eine Anzahl Länder beschränkt. Die Bedingungen zur Vermeidung zu hoher Berührungsspannungen bei gelockertem Leiteranschluss wurden präzisiert und damit zugleich annehmbar gemacht. Aus der Durchmesserreihe für die Eintrittsöffnungen für die Leitungen in Wand- und Deckenfassungen wurden die Werte 16,2 und 19,6 gestrichen, womit diese Bedingung wesentlich erleichtert ist. Für die Beurteilung der mechanischen Widerstandsfähigkeit wurden entgegen verschiedenen Anträgen nur geringfügige Erleichterungen beschlossen. Die Temperaturen für die Prüfung der Spannungsabfallmessungen wurden für die Fassungen E 14, E 27 und E 40 provisorisch auf 125, 200 und 240 °C erhöht. Die Kriechwegfestigkeitsprüfung wurde auf Lampenfassungen für nicht trockene Räume, bei denen die kritischen Kriechstrecken auf nicht keramischem Material verlaufen, beschränkt. Der Entwurf soll nach Berücksichtigung der beschlossenen Änderungen unter die 6-Monate-Regel gestellt werden.

Der sehr ausführliche Rapport der Arbeitsgruppe Miniature Fuses über ihre bisherige Tätigkeit, den Stand der Arbeiten zur Aufstellung von Anforderungen, Prüfbestimmungen und Dimensionsblättern und über die Vorschläge für die zukünftige Arbeit wurde genehmigt. Es zeichnet sich das Bedürfnis ab, ausser den bisher behandelten Schmelzeinsätzen 20 × 5 mm für Niederspannung mit kleinem und grossem Abschaltvermögen und für zweierlei Trägheitsgrade sowie der dazu gehörenden Sicherungshalter auch Schmelzeinsätze mit weiteren Trägheitsgraden, mit grösseren Dimensionen und Spannungen bis 10 kV zu behandeln. Der unter anderem durch diese Entwicklung entstandene Vorschlag zur Umorganisierung des Arbeitsgremiums, der in einem Zusatz zum Rapport erst an der Sitzung verteilt wurde, führte zum Beschluss, dem Comité d'Action zu beantragen, die Arbeitsgruppe auf das Comité d'Etudes 40 auszudehnen, damit die Hauptbenützer dieser Sicherungsart zur Mitarbeit beigezogen werden hönnen.

Auf einen Wunsch des CE 18, Elektrische Installationen auf Schiffen, hin und nach Überwindung einiger Bedenken hinsichtlich der Zuständigkeit des CE 23 für solche Fragen, wurden die auf Grund der CEE-Entwürfe vom Sekretariat aufgestellten Dimensionsblätter betreffend Netz- und Apparatesteckvorrichtungen 2 P + E, 3 P + E und 3 P + N + E für 16 A, 380 V, sowie 3 P + E und 3 P + N + E für 32 A, 380 V für industrielle Zwecke beraten. Das betreffende Dokument 23(Secrétariat)46 wurde mit geringfügigen Änderungen genehmigt. Ein Antrag, dass sich das CE 23 auch mit der Aufstellung von Anforderungen und Prüfbestimmungen für Steckvorrichtungen befassen soll, wurde gutgeheissen, und das Sekretariat wurde mit der Aufstellung eines ersten Entwurfes beauftragt.

A. Tschalär

Kathodischer Korrosionsschutz

620.197.5

[Nach *H. Kammpermann:* Kathodischer Korrosionsschutz. Elektrotechnik, Bd. 42(1960), Nr. 39/40, S. 18...19]

Mit der immer grösseren Verbreitung der Ölheizungen werden im Erdreich mehr und mehr Heizölbehälter aus Eisen eingegraben. Leider muss man oft feststellen, dass solche Behälter durch Korrosion beschädigt werden, worauf das Heizöl in den Boden und somit in das Grundwasser gelangt. Da nun 1 l Öl 1 Million l Grundwasser als Trinkwasser ungeniessbar machen kann, liegt es auf der Hand, dass man das Auftreten solcher Korrosionen auf ein Minimum reduzieren muss.

1. Elementbildung im Erdreich

Wie entstehen nun elektrolytische Korrosionen? Es sei vorweggenommen, dass elektrolytische Korrosionen nur infolge der Einwirkung von Gleichstrom auftreten. Wenn zwischen zwei verschiedenen Metallen ein Elektrolyt vorhanden ist, so bildet sich ein elektrisches Element, in welchem der Strom vom unedleren Material zum edleren strömt, um dann ausserhalb des Elementes vom edleren zum unedleren zurückzufliessen. Infolge des entstehenden Stromes vom unedleren zum edleren Metall wird das unedle abgetragen und dadurch korrodiert.

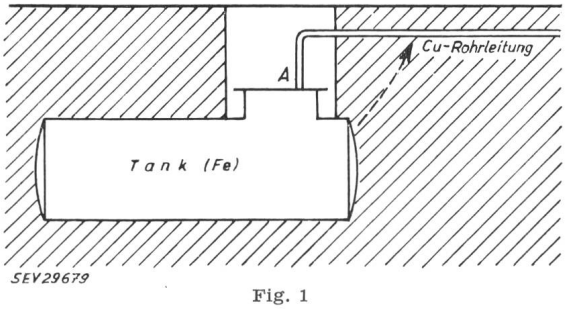

Fig. 1
Beispiel für Elementbildung
Stromweg in der Erde

Als Beispiel diene ein Heizöltank aus Eisen, der mit einer kupfernen Rohrleitung versehen ist (Fig. 1). Die Cu-Rohrleitung bildet mit dem Heizöltank (aus Eisen) und der Bodenfeuchtigkeit (als Elektrolyt) ein Element, welches am Verbindungspunkt *A* zwischen Tank und Rohr kurzgeschlossen ist. Der Strom des Elementes fliesst durch die Erde vom Eisentank zur Kupferleitung, wobei das Eisen abgetragen wird. Ist der Tank isoliert, so konzentriert sich der gesamte Stromaustritt auf wenige, unvermeidliche Rißstellen in der Isolation, so dass es an diesen Stellen zum Lochfrass kommt. Der Abtragungsprozess kann relativ schnell vor sich gehen, da bekanntlich ein Strom von 10 mA etwa 100 g Eisen pro Jahr abträgt.

Auf die Elementbildung, die bei gleichen Metallen, aber bei verschiedenen Elektrolyten entstehen, sei hier nicht näher eingegangen.

Korrosionsströme infolge Elementbildung weisen folgende Eigenschaften auf:

a) die Stromstärke ist über längere Zeit hinweg konstant,
b) sie beträgt in der Regel nur wenige mA,
c) die Stromrichtung bleibt die gleiche.

2. Streuströme von elektrischen Bahnen

Eine weitere Korrosionsursache bilden die Streuströme von elektrischen Gleichstrombahnen. Fig. 2 zeigt die Rückleitung des Fahrstromes zum Unterwerk. Liegt eine Rohrleitung, Kabelmantel, Ölbehälter usw. parallel zu den Schienen, die u. U. einen kürzeren Rückweg für den Strom ermöglichen als die Schienen, so teilt sich der Rückstrom zwischen Schienen und anderen metallischen Einrichtungen (Rohre, Kabel usw.). Der eine Teil fliesst weiterhin durch die Schienen, der andere aber tritt in die Rohrleitung usw. ein, um an einer anderen Stelle wieder auszutreten. Beim Stromaustritt wird das unedlere Metall abgetragen und es treten auch hier Korrosionsschäden auf.

Der Einfluss von Streuströmen kann sich u. U. bis zu 100 km Entfernung von der Bahnstrecke bemerkbar machen.

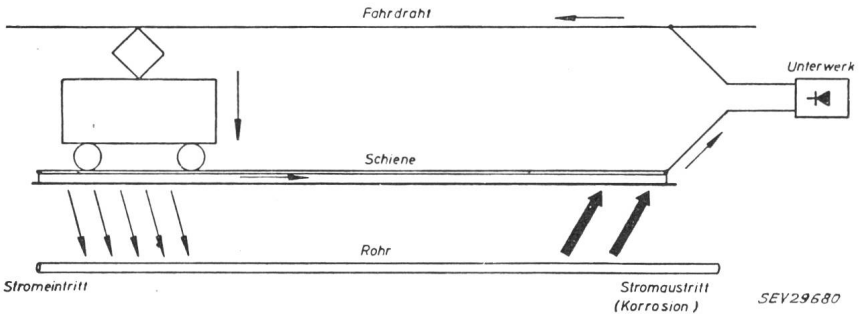

Fig. 2
Streuströme durch Gleichstrom-Bahnen

3. Schutzverfahren

Bei den Schutzverfahren unterscheidet man zwischen a) Drainage und b) Soutirage.

Die *Drainage* beruht auf Ableitung des Streustromes. Sie wird angewendet bei von elektrischen Gleichstrombahnen herrührenden Streuströmen. In diesem Fall wird das zu schützende Objekt mit dem Gleis verbunden, damit Stromaustritt und Rückfluss aus dem Gleis unterbunden werden können. Die Verbindung muss hochohmig sein, damit bei Umkehr der Polarität nicht unzulässig hohe Ströme durch die Verbindungsleitung fliessen und an anderer Stelle unkontrolliert austreten.

Die *Soutirage* oder Stromabsaugung besteht darin, dass man über eine Anode einen Gleichstrom in das zu schützende Objekt einspeist, der dem Korrosionsstrom entgegengerichtet ist. Der benötigte Gleichstrom wird durch einen kleinen Gleichrichter erzeugt, welcher entweder konstant eingestellt ist (bei konstanten Korrosionsströmen) oder mittels einer eingegrabenen Sonde durch einen Magnetverstärker den jeweiligen Korrosionsstromstärken entsprechend gesteuert wird. Die zweite Lösung benützt man vorwiegend bei Streuströmen elektrischer Bahnen, die nach Betriebsschluss der Bahnen verschwinden und damit während dieser Zeit auch keine Stromabgabe des Gleichrichters nötig ist.

Bemerkung des Referenten

Der Ermittlung von Korrosionsströmen kommt eine ganz grosse Bedeutung zu. Insbesondere sind grosse Tankanlagen gefährdet, bei welchen ein Ausfluss des Öls, Benzins usw. ins Erdreich durch Korrosion verursachte Löcher nicht sofort wahrgenommen werden kann. Die Gefährdung des Bodens, des Grundwassers, aber auch der Verlust des Einfüllgutes und Reparaturen des Behälters können viel grössere Schäden anrichten und damit auch bedeutend grössere Kosten verursachen, als die Kosten einer Messung allfälliger Korrosionsströme durch einen Fachmann betragen. Auf Grund der Messung können die auszuführenden Schutzmassnahmen bestimmt werden.

E. Schiessl

Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

Ein transistorisierter Niederspannungsregler

621.311.6 : 621.382.3.004

[Nach *J. H. Deichen:* Ein transistorisierter Niederspannungsregler. Electronic Engng. Bd. 31(1959), Nr. 381, S. 688..689]

Ein einfaches stabilisiertes Netzgerät mit Transistoren stellt die günstigste Lösung dar für die Speisung von Röhren-Heizungen mit stabilisierter Gleichspannung. Im folgenden wird ein derartiges Netzgerät beschrieben. Es handelt sich um eine Längsschaltung, deren Referenzspannung mit Zener-Dioden hergestellt wird. Zur Verbesserung der Eigenschaften werden dabei 2 Zenerdioden in Kaskade geschaltet. Der Gewinn beträgt ca. einen Faktor 3 in der Stabilisierung gegenüber der Schaltung mit nur einer Zener-Diode als Referenz-Element.

Daten der angegebenen Schaltung:

Maximaler Laststrom: 600 mA

Innenwiderstand: ca. 0,25 Ω

Stabilisierungsfaktor:

$$\eta = \frac{\text{relative Schwankungen der Eingangsspannung}}{\text{relative Schwankungen der Ausgangsspannung}} \approx 30$$

Temperatur-Koeffizient der Ausgangsspannung:

+ 0,15 %/°C.

Der Temperaturkoeffizient kann durch Verwendung geeigneter Zenerdioden durch Kompensation weiter reduziert werden. Zu bemerken ist schliesslich, dass die Toleranz der Ausgangsspannung innerhalb brauchbarer Grenzen bleibt,

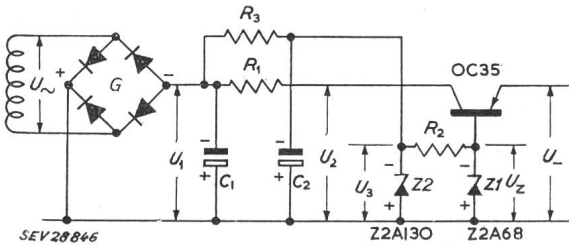

Fig. 1

Schaltschema des Niederspannungsreglers

$U_\sim$ = 15 V; U_1 = 16,5 V; U_2 = 11,5 V; U_3 = 13 V ± 5 %; U_R = 6,8 V ± 5 %; U_- = 6,5 V ± 5 %; R_1 = 8,5 Ω; R_2 = 150 Ω; R_3 = 33 Ω; C_1 = 1000 μF; C_2 = 500 μF

wenn man als zweite Zenerdiode Z_2 eine Diode von 6,8 V Zener-Spannung mit 5 % Toleranz verwendet. Eine Justierung der Schaltung kann so vermieden werden.

W. Czaja

Ein einfaches Ersatzschaltbild für Flächentransistoren, unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit

621.311.6 : 621.382.3.004

[Nach *J. Winter:* Über ein einfaches Ersatzschaltbild der Flächentransistoren, unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit. Frequenz Bd. 13(1959), Nr. 11, S. 351...359]

Für den Entwurf von Transistorschaltungen genügt es, das Verhalten der Transistoren einerseits durch Kennlinienfelder und anderseits bei kleinen Aussteuerungen durch Ersatzschaltbilder bestehend aus linearen Elementen zu beschreiben. Es wird deshalb versucht, das von *Giacoletto* angegebene Ersatzschaltbild für einen Diffusionstransistor und für einen Drifttransistor zu verwenden. Bekanntlich ist der Diffusionstransistor feldfrei; der Drifttransistor weist im Basisraum eine konstante Feldstärke auf, die die Ladungsträger auf ihrem Weg zum Kollektor beschleunigt.

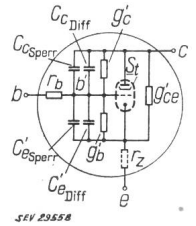

Fig. 1

Allgemeines Ersatzschaltbild

Erläuterungen siehe Text

Die Basis-, Emitter- und Kollektorschaltung sind die drei Grundschaltungen eines Transistors. Bekanntlich besteht zwischen dem Stromverstärkungsfaktor β in Emitterschaltung und α in Basisschaltung folgende Beziehung:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

Fügt man in dem von *Giacoletto* angegebenen Ersatzschaltbild alle Sperrschichtkapazitäten bei, so erhält man das in Fig. 1 gezeigte allgemeine Bild, das gleichzeitig noch die Verwandtschaft zur Pentode betont.

Aus der Schaltung entnimmt man folgende Einzelelemente:

r_b der zwischen innerem und äusserem Basisanschluss liegende Zuleitungswiderstand;

C_c' Diff, C_e' Diff die an den p-n und n-p-Strecken befindlichen, den Gleichströmen proportionalen Diffusionskapazitäten;

C_e' Sperr, C_c' Sperr die Sperrschichtkapazitäten, umgekehrt proportional der Quadratwurzel der an den Schichten liegenden Gleichspannungen.

Der aktive Teil des Transistors wird durch eine, von einer Spannung gesteuerten Stromquelle mit unendlich hohem Innenwiderstand dargestellt. Dieses Ersatzbild gibt auch Auf-

schluss über das Frequenzverhalten. Die Grenzfrequenz $f_\beta = \omega_\beta/2\pi$ (Abfall von β um 3 db) wird ausgedrückt:

$$\omega_\beta = \frac{g'_b}{C_e'{}_{\text{Sperr}} + C_e'{}_{\text{Diff}}}$$

Für die Steilheit S_t und den Eingangsleitwert g_b' gelten folgende Beziehungen:

$$S_t = \alpha\, I_e\, \frac{e}{kT}\,; \qquad g_b' = \frac{S_t}{\beta}$$

Die theoretische Steilheit S_t kann nicht gemessen werden, wohl aber die Klemmensteilheit S_k. $\left(\text{Es gilt } S_k = \frac{i_2}{U_1}\ (U_2 = 0)\right)$ Für S_k (Fig. 2) erhält man:

$$S_k = \frac{S_t}{1 + r_b\, S_t/\beta}$$

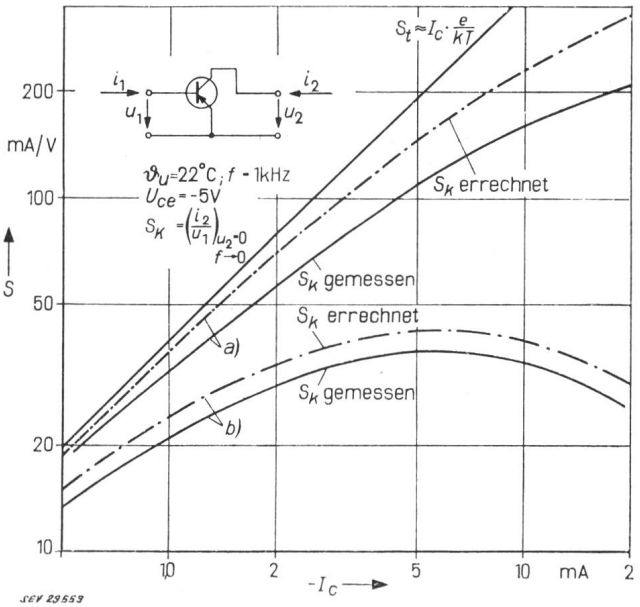

Fig. 2
Vergleich der gemessenen und der gerechneten Klemmensteilheit S_k

a Germanium-Flächentransistor T 65
b Silizium-Flächentransistor OC 470

Bei bekanntem r_b und β kann S_t bestimmt werden. Die Abweichung vom theoretischen Wert ist beträchtlich, die Einführung eines physikalisch nachweisbaren Widerstandes r_z in der Emitterzuleitung wirkt gegenkoppelnd, reduziert sowohl die Steilheit als auch die Leitwerte und bringt bessere Übereinstimmung.

Die Steilheit ist somit:

$$S = \frac{S_t}{\gamma}$$

worin $\qquad \gamma = 1 + r_z \cdot S_t\,(I_c)$

Der Faktor γ gibt nun an, um wieviel die tatsächliche Steilheit unter der theoretisch möglichen liegt. Entscheidet man sich nun noch für einen festen Arbeitspunkt, so können

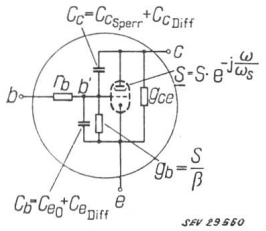

Fig. 3
Ersatzschaltbild mit zusammengefassten Kapazitäten
Erläuterungen siehe Text

die Diffusions- und Sperrschichtkapazitäten zusammengefasst werden, und man erhält das in Fig. 3 dargestellte Ersatzschaltbild.

Der Einfluss der Temperatur soll nun kurz berücksichtigt werden. Die Temperatur bewirkt Verschiebungen der Kennlinienfelder sowie Änderungen einzelner Elemente des Ersatzschaltbildes. Für die Nullströme gilt einerseits bekanntlich:

$$T_{cs} = I_{sc0}\, e^{c_1\,(\vartheta - \vartheta_0)}$$

anderseits verschiebt sich das I_c-U_{be}-Kennlinienfeld. Mit der Einführung des Temperaturdurchgriffes D_ϑ ergibt sich folgende Beziehung:

$$D_\vartheta = \frac{\Delta\, U_{be}}{\Delta\vartheta}$$

D_ϑ ist bei Germanium und Silizium ungefähr gleich gross.

Die durch das Ansteigen von I_{cs} und die Änderung von I_c/I_b hervorgerufene Verringerung des Basisstromes um $\Delta\, I_b$ bei konstantem I_c lässt sich somit folgendermassen ausdrücken:

Die im Ersatzschaltbild aufgeführten Elemente zeigen folgende Temperaturabhängigkeit: Die Änderung der Steilheit S_t folgt ziemlich genau der früher angegebenen Gesetzmässigkeit $S_t = \alpha\, I_e \cdot \frac{e}{kT}$; analog ändern sich die Diffusionskapazitäten.

Der Stromverstärkungsfaktor β kann sich merklich ändern. Die anderen Grössen zeigen eine kleine Temperaturabhängigkeit. Es ist somit klar, dass eine zweckmässige Transistorschaltung temperaturstabilisiert werden muss, d. h. dass ΔI_b möglichst klein bleiben soll.

Es sei nun die Arbeitspunktverschiebung einer nicht stabilisierten Schaltung kurz berechnet. Man fügt im Basiskreis eine fiktive Temperaturspannung $\Delta U_{b\,e\,\vartheta}$ bei (Fig. 4).

$$\text{Es gilt: } \Delta\, U_{b\,e\,\vartheta} = D_\vartheta \cdot \Delta\vartheta + R_b\, \Delta I_b\,(I_c, \Delta\vartheta)$$

Vernachlässigt man den Einfluss von R_L (d. h. $S_A = S_k$), sowie den Emitterzuleitungswiderstand r_z, so ergibt sich mit den angenäherten Beziehungen $I_c = S_t\, U_T$ und $\Delta I_c = S_k \cdot \Delta U_{be\vartheta}$ folgende Gleichung:

$$\frac{\Delta I_c}{I_c} = \frac{1}{1 + r_b\, S_t/\beta} \cdot \frac{D_\vartheta\, \Delta\vartheta + R_b\, \Delta I_b}{U_T}; \qquad U_T = \frac{kT}{e}$$

Man sieht sofort, dass mit kleinem R_b das Verhältnis $\Delta I_c/I_c$ klein ist, hingegen wird mit r_b gegen Null $\Delta I_c/I_c$ grösser. (Die theoretische Steilheit ist dann gleich der Klemmensteilheit.)

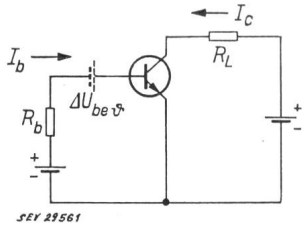

Fig. 4
Unstabilisierte Transistorschaltung
Erläuterungen siehe Text

Setzt man $R_b \to 0$ und $r_b \to 0$ sowie für $U_T \approx 25$ mV und $D_\vartheta = 2$ mV/°C, so ergibt sich:

$$\frac{\Delta I_c/I_c}{\Delta\vartheta} = \frac{D\vartheta}{U_T} = 8\ \%/°\text{C}$$

Es ist klar ersichtlich, dass eine Stabilisierung von I_c notwendig ist. Man setzt nun entweder temperaturabhängige Elemente in den Basiskreis ein, die eine der fiktiven Temperaturspannung entgegengesetzte Spannung verursachen, oder man verwendet die Strom- oder Spannungsgegenkopplung. Die Grösse des notwendigen Gleichstromgegenkopplungsfaktors ergibt sich aus der im gegebenen Temperaturintervall zulässigen Kollektorstromänderung. Soll sich z. B. der Gleichstrom I_c weniger als 1% in einem Temperaturintervall $\Delta\vartheta$ von 10 °C ändern, so müsste der Gegenkopplungsfaktor 100 betragen. Eine übliche Gegenkopplungsmassnahme besteht darin, einen Widerstand R_e in den Emitterkreis zu legen; dadurch erhöht sich einerseits R_b (unerwünscht), doch anderseits wird die Störung $\Delta I_c/I_c$ um den Faktor $1/(1 - V')$ reduziert. (V' ist die sich mit Gegenkopplung ergebende Gesamtverstärkung.)

Zusammenfassend lässt sich folgendes feststellen: Das einfache Ersatzschaltbild beschreibt in einem weiten Frequenzgebiet das Verhalten des Transistors hinreichend genau. In der Nähe der oberen Grenzfrequenz ist der zwischen dem inneren Basispunkt und dem Emitter liegende Leitwert nicht mehr unbedingt rein kapazitiv. *B. Kurz*