

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	93/94 (1929)
Heft:	20
Artikel:	Simultanbetrieb von Dreiphasen- und Einphasen-Anlagen durch Stromüberlagerung (Doppelfrequenzbetrieb) auf gemeinschaftlichen Linien
Autor:	Jacob, Ernst
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-43460

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: 17.02.2026

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

Rechnen wir zu allen diesen Beleuchtungsanlagen die gesamte Beleuchtung der Ausstellung und das strahlende Diadem, das 8 grosse Scheinwerfer hinter dem Nationalpalast bilden, so versteht man, dass die Schau auf weite Entfernung — etwa 100 km — sichtbar ist, und der Leser mag sich einen ungefähren Begriff machen von dem Riesenauflauf an Elektrizität, womit die neue Stadt des Lichtes ihre Besucher von Nah und Fern empfängt.

Alfredo Bäschlin.

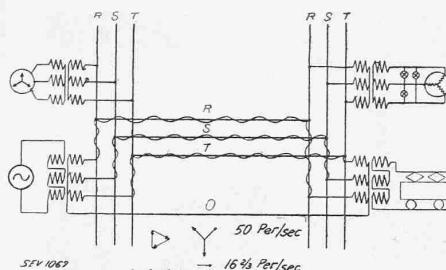


Abb. 3. Prinzip der Vierleiter-Schaltung.

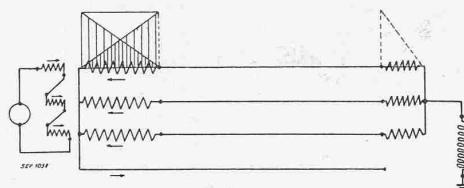


Abb. 4. Teilspannungen bei Doppelfrequenzbetrieb.

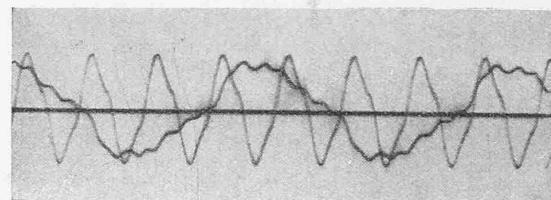


Abb. 1. Einphasen- und Dreiphasenschwingung.

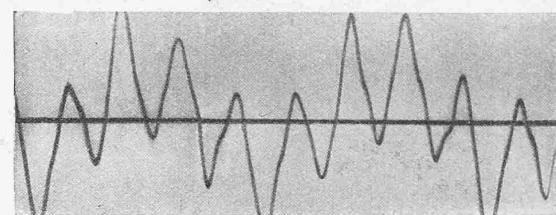


Abb. 2. Resultierende Schwingung der Komponenten der Abb. 1.
(Abb. 1 und 2 Bildstücke des Verfassers.)

Simultanbetrieb von Dreiphasen- u. Einphasen-Anlagen durch Stromüberlagerung (Doppel-frequenzbetrieb) auf gemeinschaftlichen Linien.

Von Baurat Dr. Ing. ERNST JACOB, Stuttgart.¹⁾

In allen Ländern, die für das Bahnstromsystem den Einphasen-Wechselstrom von 16 2/3 Per/sec gewählt haben, wird es immer als ein fühlbarer Nachteil empfunden, dass die von der normalen Periodenzahl 50 abweichende Bahnfrequenz die Erstellung gemeinsamer Kraftwerke, Leitungen und Unterwerke für Landes- und Bahnversorgung zusammen zunächst unmöglich macht. Es wurden vielmehr in der Schweiz, in Deutschland und auch in den nordischen Ländern völlig getrennte Stromversorgungsnetze für Bahn- und Allgemeinbedarf entwickelt, die entsprechend hohe Sonderkosten insbesondere für die Bahnnetze mit sich bringen. Bestrebungen, die Bahnversorgung in geeigneter Weise in die allgemeine Landesversorgung einzugliedern mit dem Zweck der Ersparnis eines besonderen Bahn-Primärnetzes sind daher schon frühzeitig aufgetreten, und zwar versuchte man zunächst das Problem durch rotierende Perioden-Umformer zu lösen. Die praktische Durchführung dieses Gedankens im grossen ist aber unterblieben, weil die Lösung einen sehr hohen Kostenaufwand für die rotierenden Umformer und vor allem viel zu hohe Jahresverluste für die Energieumformung mit sich bringt. Um diese Nachteile zu vermeiden, habe ich versucht, an die Stelle der Frequenzumformung die *Frequenzüberlagerung* treten zu lassen und habe auf diesem Gedanken folgendes Uebertragungssystem aufgebaut:

Der Drehstromschwingung von 50 Per/sec, die auf unseren normalen Drehstromleitungen besteht, wird die Bahnstromschwingung von 16 2/3 Per/sec elektrisch „unterlagert“. Es ergeben sich dabei auf der Leitung selbst resultierende Schwingungszustände, wie sie durch die Abb. 1 und 2 in ihrem praktischen Verlauf anhand von Oszillogrammen zu sehen sind. Das wesentliche Kennzeichen des Ueberlagerungsvorganges ist dabei: die Scheitelwerte addieren sich arithmetisch ($E_{res} = E_I + E_{III}$), die Effektivwerte dagegen nach Pythagoras ($I_{res} = \sqrt{I_I^2 + I_{III}^2}$). In Bezug auf Spannungs- und Leistungsverluste sind beide Stromsysteme voneinander völlig unabhängig.

Technisch wird die Ueberlagerung der beiden Schwingungen auf folgendem Weg erreicht: Man denke sich in Abb. 3 die Drehstromsammelschiene des Unterwerkes links über eine normale Drehstromleitung mit der Drehstrom-

sammelschiene des Unterwerkes rechts verbunden. Die Uebertragung des Drehstroms geht in bekannter Weise von dem Generator links über die Leitung zum sekundären Netz rechts vor sich. An das gleiche Drehstromsystem wird nun links und rechts an der Sammelschiene je eine als Nullpunkt wirkende dreiphasige Wicklung angeschlossen, die auf einen Eisenkern mit magnetischem Rückschluss aufgebracht ist. Die Sekundärwicklung auf diesem Eisenkern besteht ebenfalls aus drei Wicklungen, die aber hintereinander, also in Reihe geschaltet sind. Die Nullpunkte der Hochvoltwicklung sind durch einen vierten Leiter, der für die volle Betriebsspannung isoliert wird, über das Leitungsgestänge miteinander verbunden. Diese Anordnung wirkt nun folgendermassen: Für den Drehstrom bildet die Dreiphasenwicklung einen künstlichen Nullpunkt, sodass im normalen Betrieb der vierte Leiter O frei von Drehstromspannung bleibt. Die drei Komponenten des Dreiphasenflusses im Eisenkern des Transformators sind gegenseitig um 120° verschoben; die drei sekundär erzeugten 50 periodigen Teilspannungen bilden daher ein in sich geschlossenes gleichseitiges Dreieck, d. h. sie heben sich durch die Reihenschaltung der Niedervoltwicklungen auf. Der vom Einphasen-Generator links erzeugte Einphasenstrom magnetisiert dagegen jede der drei Transformatorwicklungen gleichphasig und transformiert daher seine Einphasen-EMK gleichsinnig auf alle Schenkel der Hochvoltseite; unter der Einwirkung dieser Einphasen-EMK kommt hochvoltseitig eine über- oder besser unterlagerte Einphasenschwingung zustande, die den vierten Leiter O als Hinweg und die Drehstromleitung RST als Rückweg benutzt. Auf die Sekundärseite der normalen Drehstromtransformatoren kann die unterlagerte Einphasenspannung nicht gelangen, da alle drei Phasenleiter unter sich gleiches Potential haben und der Nullpunkt entweder isoliert oder über eine Petersen-Spule an Erde gelegt ist.

Das Charakteristische dieser Schaltung, wegen des hierzu nötigen vierten Leiters Vierleiterschaltung genannt, ist nun die Spannungsverteilung, die sich bei dieser Anordnung einstellt. Setzen wir zunächst voraus, wir hätten ein Netz mit völlig isoliertem Nullpunkt, also ohne Erdchluss-Spulen, dann verteilen sich die Spannungen auf den vier Leitern nach dem Verhältnis der Teilkapazitäten dieser Leiter. Die drei Drehstromphasen werden also zunächst einmal ihre gleichhohe Phasenspannung gegen Erde haben (z. B. 64 kV beim 110 kV-System) und der vierte Leiter wird keinerlei 50periodige Spannung führen, weil der Nullpunkt symmetrisch zum Drehstromsystem liegt. Die Einphasenspannung dagegen wird sich entsprechend dem Verhältnis der Teilkapazitäten der drei Drehstromleiter einerseits zum vierten Leiter, andererseits zu $3/4$ auf den

¹⁾ Gekürzte Wiedergabe eines an der Generalversammlung des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke in St. Moritz am 6. Juli 1929 gehaltenen und im „Bulletin des S. E. V.“ vom 5. Oktober 1929 veröffentlichten Vortrags.

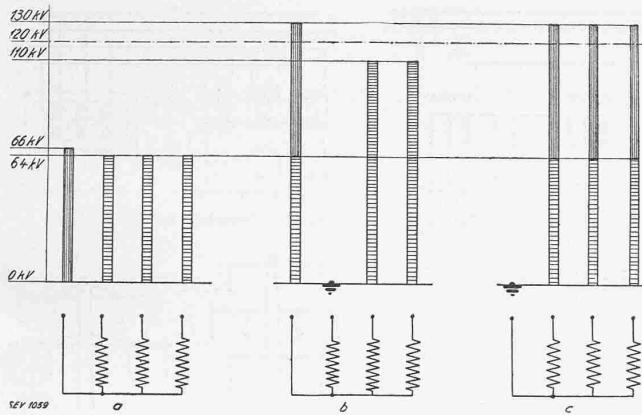


Abb. 5. Potentialverteilung bei Doppelfrequenzbetrieb.

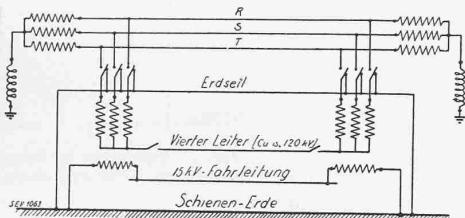


Abb. 6. Prinzipschema der Mitübertragung von Bahnstrom beliebiger Spannung über Drehstromleitungen ohne dessen Transformation an beiden Leitungsenden.

vierten Leiter legen und nur zu $\frac{1}{4}$ auf die Drehstromleiter, d. h. also: bei einer Bahnspannung von 60 kV überlagern sich im Drehstromsystem nur 15 kV, im vierten Leiter dagegen 45 kV. Das ist schon recht günstig, weil die Isolationsbeanspruchung des Drehstromsystems durch die zusätzliche Bahnspannung dadurch in sehr geringen Grenzen bleibt. Hat das Drehstromsystem nun Erdschluss-Spulen, so wird die Spannungsverteilung noch günstiger, denn durch die Erdung des Drehstrom-Nullpunkts über die für $16\frac{2}{3}$ Per/sec eine nur sehr geringe Reaktanz bildende Spule wird die Einphasenspannung völlig auf den vierten Leiter hinübergeschoben, während die drei Drehstromleiter von zusätzlicher Einphasenspannung praktisch so gut wie frei bleiben. Diese Spannungsverteilung ist in den Abb. 4 bis 6 graphisch aufgetragen. In Abb. 4 sieht man, wie vom Nullpunkt aus die 50periodige Drehstromspannung bis zu den Wicklungsenden des Transfornators ansteigt, in Höhe der Phasenspannung auf der Leitung liegen bleibt und in der Wicklung des Bahntransfornators bis zu dessen Nullpunkt wieder den Wert 0 annimmt. Umgekehrt ist es mit der $16\frac{2}{3}$ -periodigen Einphasenspannung. Diese ist durch die Erdschluss-Spule innerhalb der Drehstromleitung auf dem Wert 0 festgehalten und steigt dann in der Wicklung des Bahntransfornators bis auf den vollen Wert der verketteten Betriebsspannung (z. B. 60 kV) an, die dann auf dem vierten Leiter liegen bleibt. Wählt man also beispielsweise die verkettete Bahnspannung gleich der Drehstrom-Phasenspannung, so haben im normalen Betrieb alle vier Leiter genau gleiches Potential gegenüber Erde. Man ersieht dies auch sehr deutlich aus Abb. 5a, in der die Potentialverteilung bei 110 kV Drehstrom- und 66 kV Bahnstromspannung eingetragen ist.

Die gleiche Abb. veranschaulicht auch die Verhältnisse bei Erdschluss auf den einzelnen Leitern. Durch diesen wird die bei normalem Betrieb bestehende Symmetrie der Spannungsverteilung empfindlich gestört. Das ist schon bei der gewöhnlichen Drehstromübertragung so, und naturgemäß erst recht bei Doppelfrequenzbetrieb. Wir unterscheiden zwei Fälle: Erdschluss auf einem Leiter des Drehstromsystems und Erdschluss des vierten Leiters. Im ersten Falle schwingt die Spannung der beiden gesunden Drehstromphasen wie üblich auf den verketteten Wert, die Spannung der erdgeschlossenen Phase geht auf Null herunter. Dagegen erhält jetzt der Nullpunkt der Dreiphasenwicklungen und

damit auch der vierte Leiter eine 50periodige Vorspannung in Höhe der Drehstrom-Phasenspannung und darauf setzt sich die vorher schon bestehende Einphasen-Betriebspotential, sodass die aus Abb. 5b ersichtlichen Spannungswerte resultierend zustande kommen. Im zweiten Fall geht die Spannung des erdgeschlossenen vierten Leiters auf Null herunter, die drei Drehstromleiter werden dadurch auf ihrer Drehstrom-Phasenspannung festgehalten, und hierauf setzt sich gleichphasig in allen drei Leitern die Einphasen-Betriebspotential; Endwert siehe Abb. 5c. In beiden Fällen überschreiten die höchsten auftretenden Spannungsbeanspruchungen nur um weniges die betriebsmässigen, sodass in Anbetracht des Sicherheitsgrades der Isolation unserer Leitungen auch bei Erdschluss die resultierende Spannungsbeanspruchung ausgehalten werden kann. Für schweizerische Verhältnisse mit 60 bis 66 kV Bahnspannung und 110 bis 120 kV Drehstromspannung kann die Isolation der Drehstromseite jedenfalls unverändert bleiben, während die Isolation der an die Simultanstrecke angeschlossenen Bahnunterwerke auf 120 kV bemessen werden muss.

Für deutsche Verhältnisse liegt die Sache etwas schwieriger, soweit die Bahnspannung von 110 kV beibehalten werden soll. Hierfür habe ich in jüngster Zeit folgende Variante entwickelt: In Abb. 6 ist eine Drehstromübertragung zwischen zwei mit Petersen-Spule versehenen Unterwerken dargestellt. Gleichzeitig wird auf der Drehstromleitung und über den hinzugefügten vierten Leiter Bahnstrom in der bisher geschilderten Weise übertragen. Die neuartige Ergänzung besteht darin, dass die drei Kesselölschalter der Bahntransformatoren beim Abschalten die drei freien Wicklungsenden der Bahntransformatoren an Erde, d. h. an das Erdseil der Leitung und möglichst zugleich auch an die Schienenerde des ganzen Bahnnetzes legen. Im normalen Betrieb sind die Bahntransformatoren also über die drei starken Kupferleiter der Drehstromleitung rückgeschlossen. Sobald jedoch im Drehstromnetz ein Erdschluss auftritt, spricht ein Erdschlussrelais an und wirkt augenblicklich auf die drei Kesselölschalter der Bahntransformatoren dahin ein, dass diese jeden Bahntransformator vom Drehstromnetz trennen und einseitig an Erde legen. Solange die Drehstromphase an Erde liegt, wird automatisch auch das Bahnstromsystem einpolig an Erde gelegt, aber in einer Weise, die für diese Zeit eine Ueberlagerung des vierten Leiters mit der Drehstrom-Phasenspannung ausschliesst, indem für die Dauer der Störung eine Abtrennung der beiden Netze voneinander stattfindet. Nach Beseitigung des Erdschlusses werden die Bahnstrom-Transformatoren wieder über die Drehstromleitung rückgeschlossen und die Erdseilverbindung aufgehoben. Erfolgt umgekehrt auf dem vierten Leiter ein Erdschluss, so wirken auch hier die dafür vorgesehenen Erdschlussrelais (abhängig von der $16\frac{2}{3}$ periodigen Spannung auf der Drehstromseite) auf die drei Kesselölschalter der Bahntransformatoren ein und legen die Bahntransformatoren auch auf der andern Seite an Erde unter Abtrennung vom Drehstromnetz. Hierdurch wird auf der erdschlussbehafteten Teilstrecke der Erdschluss zum Kurzschluss, und die betreffende Teilstrecke wird durch den normalen Ueberstromschutz selektiv abgeschaltet; auf den gesunden Leitungsteilen geht der Bahnstrombetrieb zunächst unter Rückschluss auf das Erdseil, dann wieder unter Rückschluss über die Drehstromleitung ungestört weiter.

Diese Anordnung gestattet vor allem die unmittelbare Mitübertragung von Bahnstrom beliebiger Spannung über Drehstromleitungen ohne Transformation des Bahnstroms am Anfang und Ende der mitbenutzten Leitung. Während des normalen Betriebes bieten sich dem Bahnstrom die grossen Kupferquerschnitte der Drehstromleitung, sodass wesentlich niedrigere Uebertragungsverluste entstehen; ferner werden bei Störungen durch Erdschluss die unangenehmen Spannungserhöhungen einzelner Leiter auf die normalen verketteten Betriebsspannungen der einzelnen Systeme beschränkt, sodass keinerlei Ueberbeanspruchung der Isolation stattfindet, bzw. keine höhere als die normale Isolation der Einzelsysteme nötig ist.

