Statistische unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen

Autor(en): **Donati, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **73 (1982)**

Heft 13

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-904987

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Statische unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen

F. Donati

621.191:621.311.4;

I gruppi di continuità statici hanno una grande importanza nel concetto di sicurezza sviluppato per la galleria del Gottardo. Vengono analizzate le cause dell'impiego sempre maggiore di gruppi di continuità statici e vengono indicate le principali caratteristiche di questi impianti. Un'analisi delle disfunzioni e degli errori di nove gruppi di continuità statici installati nella galleria del Gottardo durante ventisei mesi di servizio ininterrotto, testimoniano la grande affidabilità dei gruppi di continuità statici.

Les groupes d'alimentation continue statiques ont une très grande importance dans le concept de sûreté developpé pour le tunnel du Gothard. Nous analysons les causes de l'emploi toujours plus important des groupes de continuité statiques et les principales caractéristiques de ces systèmes. Une analyse des interruptions et fautes techniques des 9 groupes de continuité statiques installés et en service depuis 26 mois, sont témoins de la grande fiabilité des groupes de continuité utilisés.

Statische unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen sind im Sicherheitskonzept des Gotthardtunnels von grosser Bedeutung. Die Gründe der stetig zunehmenden Verwendung derartiger Anlagen werden untersucht und die wichtigsten Eigenschaften aufgezeigt. Die Analyse der Ausfälle der 9 seit 26 Monaten in Dauerbetrieb stehenden Anlagen bestätigen deren hohe Zuverlässigkeit.

1. Einleitung

Am 5. September 1980 ist eine der wichtigsten europäischen Verbindungen zwischen Nord und Süd offiziell eingeweiht worden. Der langjährige Einsatz von Ingenieuren, Technikern und Arbeitern hat an diesem Tag seine Krönung erhalten. Der Kanton Tessin ist damit der deutschen Schweiz sehr nahe gerückt; eine seit langem bestehende Forderung des Süd-Kantons ist erfüllt worden.

Seither sind mehr als 4 Mio Fahrzeuge durch den Gotthardtunnel gefahren. Der rege Verkehr zeichnet sich durch eine sehr hohe Sicherheit aus; nur wenige Unfälle sind erfolgt. Das Sicherheitswesen des Tunnels hat die harte Bewährungsprobe bestanden.

Auch die 9 unterbrechungsfreien Stromversorgungen, die eine Gesamtleistung von rund 620 kVA aufweisen und für die ununterbrochene Speisung eines Teils der Beleuchtung, des CO-Meßsystems und des Prozesscomputers für die automatische Steuerung der Ventilatoren im Einsatz sind, haben in diesen über zwei Jahren kontinuierlichen Betriebs sehr gute Dienste geleistet. Sie spielen im Gesamtkonzept der Sicherheit des Gotthardtunnels eine entscheidende Rolle.

2. Bedeutung der unterbrechungsfreien Stromversorgung

Durch die grosse Verbreitung von elektronischen Datenverarbeitungssystemen und anderen empfindlichen Lasten und durch die enorme Steigerung in der Anwendung der «intelligenten» Elektronik (Mikroprozessoren) ist eine «saubere» Speisung derselben mit elektrischer Energie immer wichtiger geworden. In vielen Messungen in amerikanischen und europäischen öffentlichen Stromversorgungsnetzen sind Netzstörungen untersucht worden. Dabei konnten folgende, verschiedenartige Erscheinungen festgestellt werden:

- Hochfrequenzüberlagerung
- Spannungsimpulse durch Ein- und Ausschaltung von induktiven Lasten, die zwischen Phase und Erde oder zwischen Phase und Phase entstehen
- Unterspannungen, d. h. eine reelle Reduktion der effektiven Spannung während $^1/_2$ bis mehreren Perioden, verursacht durch die Einschaltung von sehr grossen Lasten
- Sehr kurze Abschaltung von einigen bis 25 Perioden Dauer (kleiner als 0,5 s)
- Hohe Überspannungen kurzer Dauer bis 1000 V mit ns-Anstiegszeit; Spitzen sehr kurzer Dauer, verursacht durch Blitzeinschläge
- Überspannungen langer Dauer, die mehrere Perioden dauern können, z. B. beim Abschalten grosser Lasten
- Stark verzerrte Spannungsbilder, verursacht durch den Einsatz von grossen nichtlinearen Lasten und insbesondere durch den immer häufiger werdenden Einsatz von Thyristorschaltungen
- Black-out, d. h. Totalausfall des öffentlichen Netzes

Alle diese Erscheinungen können bedeutende Einflüsse auf das gute Funktionieren des Computers oder anderer wichtiger Lasten haben, die auf der Anwendung von Mikroprozessoren beruhen. Es können Fehler in der Verarbeitung von Daten entstehen, es kann zu Schäden oder sogar Ausfällen der Elektronik kommen.

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten, die empfindlichen Lasten von den genannten Einwirkungen zu schützen, z. B. mittels

- Trenntransformatoren, besonders abgeschirmt zur Unterdrückung von Hochfrequenzüberlagerungen,
- Ferroresonanztransformatoren zur Stabilisierung der Spannung und Unterdrückung von Hochfrequenzschwingungen,
- einer Umformergruppe Motor/Generator mit oder ohne Schwungrad.

Die wirksamste Methode aber, welche eine 100%ige Unterdrückung aller möglichen Einflüsse des Netzes auf empfindliche Lasten bewirkt, ist die Verwendung einer *unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV)*.

3. Eigenschaften der unterbrechungsfreien Stromversorgung

Eine USV-Anlage besteht üblicherweise insbesondere aus (Fig. 1, 2):

- einem *Gleichrichter* zur Ladung der Batterie und zur Speisung des Wechselrichters,
- einem *statischen Wechselrichter* zur Umwandlung der Gleich- in Wechselspannung,
- einem *elektronischen Schalter* zur Erhöhung der Lebensdauer bzw. des MTBF (Mean Time Between Failure = mittlere Zeit zwischen auftretenden Störungen) und zur Entlastung des Wechselrichters bei plötzlicher Erhöhung der Stromentnahme (Kurzschlüsse an der Ausgangssammelschiene),
- einer *Batterie* als Energiespeicher, die so dimensioniert ist, dass sie bei einem Netzausfall während einer vorbestimmten Zeit von z. B. 15 oder 30 min oder sogar einer oder mehreren Stunden die volle Energie zur Lastspeisung abgeben kann.

Durch die Verwendung von immer schnelleren Thyristoren mit sehr hohen Strom- und Spannungsanstiegswerten und durch den Einsatz von Transistoren grosser Leistung hat man in der Entwicklung und Konstruktion der unterbrechungsfreien Stromsysteme in den letzten Jahren wesentliche Fortschritte erzielt. Als bisher letzte Stufe dieses technischen Fortschrittes können unterbrechungsfreie Stromversorgungen, die auf dem PWM-Prinzip (Pulse Width Modulation = pulsbreite Modulation) beruhen, bezeichnet werden. Diese weisen folgende Eigenschaften auf:

- hoher Wirkungsgrad,
- minimaler Platzbedarf durch minimales Volumen des Ausgangsfilters, da Oberwellen bis zur 11. Harmonischen unterdrückt werden können,
- kostengünstige technische Lösung,
- hervorragende dynamische Eigenschaften.

Die ständige Überbearbeitung und Optimierung der Elektronik und der Leistungskreise hat dazu geführt, dass die USV-Anlage ein Produkt geworden ist, das durch grösste Zuverlässigkeit, Wartungsfreiheit und Servicefreundlichkeit gekennzeichnet ist.

Da eine USV-Anlage für erhöhte Sicherheit sorgen soll, gelten für sie um so höhere Anforderungen:

1. Sehr zuverlässige Dimensionierung aller Komponenten des Systems.
2. Optimale Wahl der Elemente.
3. Optimaler Schutz aller aktiven und passiven Elemente.

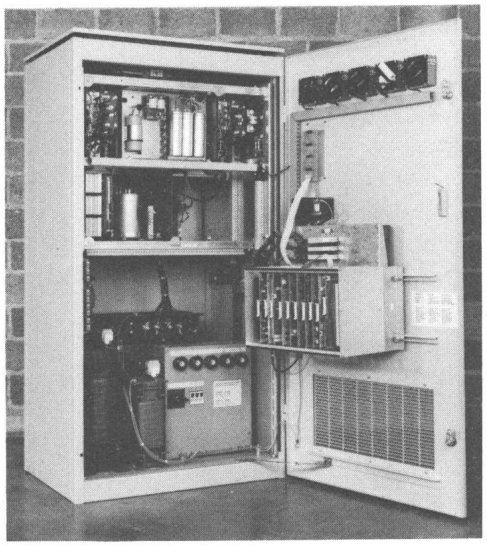

Fig. 1 USV-Anlage AGIETRONIC kleiner Leistung: 10 kVA

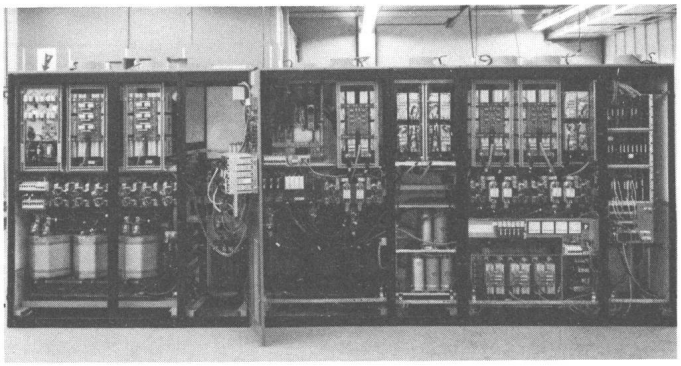

Fig. 2 USV-Anlage AGIETRONIC grosser Leistung: 250 kVA

4. Grosse Erfahrung im Umgang von Wechselrichtern im Zusammenhang mit stark nichtlinearen Lasten (z.B. Computer). Dies ist ein Punkt, welcher von vielen Herstellern unterschätzt wird, mit entsprechend unangenehmen Auswirkungen für den Benützer.
5. Konstruktion des Systems, basierend auf einer ausgewogenen inneren Redundanz der verschiedenen lebenswichtigen Kreise wie Speisungen, Kontakte usw.
6. Genaue Qualitätskontrolle in allen Fabrikationsphasen.
7. Motivation der Mitarbeiter für den Qualitätssinn und für die Zuverlässigkeit der USV-Anlagen von der Entwicklung bis zum Endtest.
8. Erfahrener, prompter und zuverlässiger Kundendienst, um den kleinstmöglichen MTTR (Mean Time To Repair = mittlere Zeit zur Instandstellung) zu gewährleisten.

Man findet die USV-Anlage als Verbindungsglied zwischen dem öffentlichen Netz und folgenden Installationen:

- EDV-Systeme in Banken, Versicherungsgesellschaften, Industrien, öffentlichen Unternehmungen.
- Telekommunikationssysteme, z.B. Satellitenstationen, wichtige Übermittlungseinrichtungen.
- Prozesscomputer, z.B. Computer, die einen chemischen oder industriellen Prozess steuern.
- Sicherheitssysteme in Raffinerien, Pipelines oder Zugsicherungsanlagen.
- Anlagen für die Flugsicherung.
- Entwicklungslaboratorien für die Speisung von wichtigen Messeinrichtungen.
- Warnanlagen aller Art, wie für Feuer, Einbruch usw.
- Computergesteuerte Hochspannungsschaltstationen.
- Operationssäle und lebenswichtige medizinische Apparaturen.
- Tunnelbeleuchtungen, Strassenverkehrsüberwachungseinrichtungen usw.

Da das Sicherheitsdenken der Menschen, verstärkt durch eine fortschreitende Mechanisierung und Automatisierung und durch die wachsende Eindringung der «intelligenten» Elektronik ständig an Bedeutung zunimmt, ist anzunehmen, dass in Zukunft der Einsatz der USV-Anlagen noch weiter an Bedeutung gewinnen wird.

4. Die USV-Anlagen im Gotthardtunnel

Wie erwähnt sind im Gotthardtunnel 9 USV-Anlagen im sog. Geradeaussystem Tag und Nacht im Einsatz. Der Tunnel ist in 7 Sektoren unterteilt. In jedem Sektor ist eine 60-kVA-Geradeausanlage im Einsatz, deren Prinzipschema in Figur 3 dargestellt ist. Diese Anlagen gewährleisten in jedem Sektor eine unterbrechungsfreie Energieversorgung für:

- jede zehnte Lampe für die Beleuchtung,
- die SOS-Notrufe,
- die gesamten Signalanlagen,
- die Steuerung der Ventilation,
- die Datenerfassung und die Datenübermittlungsgeräte,
- die gesamte Fernsehüberwachung,
- die Feuermelder,
- die CO-Messgeräte.

Aus dem Prinzipschema (Fig. 3) sieht man den Aufbau einer Anlage. Die Autonomie der Batterien beträgt 3 h. Diese sehr hohe Autonomie ist festgelegt worden, um einen Sektor von den anderen komplett isolieren zu können und einen schnellen Einsatz der Helfer zu ermöglichen.

Bei den beiden Kommandoräumen Portal Göschenen und Airolo sind ausserdem zwei 100-kVA-USV-Anlagen mit demselben Prinzipschema wie Figur 3 installiert. Sie dienen hauptsächlich zur Speisung von zwei Prozesscomputern, deren Hauptaufgabe darin besteht, aufgrund der Daten, die von den 7 Sektoren des Tunnels übermittelt werden, die automatische Steuerung der Ventilatoren zu koordinieren.

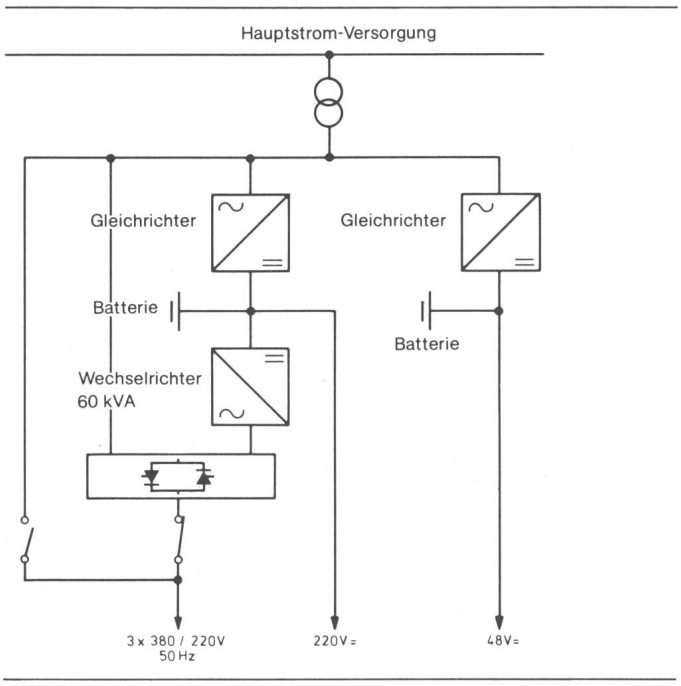

Fig. 3 Blockschema der unterbrechungsfreien Stromversorgungen im Gotthardtunnel

5. Erfahrung aus dem Betrieb

Die 9 Anlagen sind seit Januar 1980 im Betrieb. Sie wurden einige Monate vor der Eröffnung des Tunnels in Betrieb genommen, um die Sicherheit der Stromversorgung gerade in der wichtigen Phase der Inbetriebnahme sämtlicher technischer Einrichtungen des Tunnels zu gewährleisten.

Die wichtigsten aktiven und passiven Komponenten, die in den USV-Anlagen dauernd im Einsatz stehen, sind:

Integrierte Schaltungen (IC):	4500 Stück
Dioden aller Art:	2700 Stück
Transistoren:	1000 Stück
Thyristoren:	450 Stück
Elektrolytkondensatoren:	2700 Stück
Metallpapierkondensatoren:	700 Stück
Widerstände:	15000 Stück
Transformatoren und Drosseln:	450 Stück
Relais und Schütze:	1000 Stück

Die 9 Anlagen haben bis zum 28. Februar 1982 je 18800 Betriebsstunden, gesamthaft für alle 9 Anlagen also 169200 Betriebsstunden, hinter sich.

Laut den Statistiken, die vom technischen Dienst der Werkhöfe gemeldet wurden, sind während dieser ersten 26 Monate Betriebszeit 3 Totalausfälle des öffentlichen Netzes entstanden. Ausserdem musste man in den installierten USV-Anlagen gesamthaft nur 4 Komponentenausfälle feststellen. In allen vier Fällen haben die vorgesehenen Umschalteinrichtungen und/oder die intern eingebauten Redundanzschaltungen dafür gesorgt, dass lastseitig absolut kein Schaden auftrat.

Lüftungszentrale Motto di Dentro: 1. Ausfall: Defekt einer Leistungsdiode in einer Leistungsbrücke WR. 2. Ausfall: Defekt von 3 IC auf einer Printkarte.

Lüftungszentrale Bäzberg: Ausfall von einem IC auf einer Printkarte.

Lüftungszentrale Hospental: Durch Vibrationen beschädigtes Kabel (Zündimpulkabel der Thyristoren GR).

Die Zuverlässigkeit der ausgefallenen Elemente während obiger Betriebszeit kann wie folgt bestimmt werden. Dabei ist λ die Ausfallrate pro 1000 h (in %) definiert als

$$\lambda = \frac{\text{Ausgefallene Elemente}}{\text{Totalzahl} \times \text{Anzahl Betriebsstunden}/1000}$$

Aus den erwähnten Daten folgt für die
IC: $\lambda = 0{,}0005\,\%$ (entspricht MIL-STD-883, Kl. B)
Dioden: $\lambda = 0{,}0002\,\%$

Bei allen anderen Komponenten ist bisher kein Ausfall zu verzeichnen ($\lambda = 0$).

Zum Vergleich sei erwähnt, dass bei Verbrauchsgütern λ für IC im Durchschnitt auf 1,0 % pro 1000 h liegt.

Zu erwähnen ist, dass zur Erzielung einer derartigen Zuverlässigkeit sämtliche Elektronik-Steuerungssätze in der Fabrik neben dem üblichen mechanischen Test nach der Montage einer sehr strengen Prüfung auf einem Computer unterzogen worden sind. Ausserdem wurde die Elektronik während 100 h mit erhöhter Temperatur einem Stresstest unterzogen. Ein besonderer Simulator wiederholte sämtliche Funktionen zyklisch, wobei alle elektronischen Kreise wie im Betriebsfall durchgestestet wurden.

Mit diesen Massnahmen sind praktisch alle Frühausfälle der Elektronik in der Fabrik erfasst worden. Darüber hinaus sind sämtliche Anlagen in der Prüfhalle im Werk weitere 250 h mit zyklischen Zu- und Abschaltungen gelaufen. Damit wurde ein ähnlicher Test bei den Leistungskomponenten durchgeführt.

Gerade bei komplizierten Anlagen ist es absolut notwendig, die grösste Zuverlässigkeit anzustreben. Dies ist bei USV-Anlagen des Gotthardtunnels offensichtlich gelungen. Dazu haben speziell folgende Gründe beigetragen:

1. Sehr sorgfältige Dimensionierung der Anlagen (Schwerpunkt in der Berücksichtigung des Störniveaus in der Elektronik und auf die richtige Beschaltung sämtlicher Leistungsdioden und Leistungsthyristoren).
2. Intensiv durchgeführte Qualitätskontrolle für Halb- und Fertigfabrikate im Werk.
3. Die Tatsache, dass die Anlagen nie ausgeschaltet werden und deswegen keine Beanspruchung der Komponenten durch Ein- und Abschaltung verursacht wird.
4. Konstante Beharrungstemperatur sämtlicher Komponenten gegeben durch die Tatsache, dass die Anlagen Tag und Nacht laufen und sehr gut belüftet sind.

Da die Herstellerfirma ihren Sitz in Locarno hat, ist im Falle Gotthard die MTTR, d.h. die Zeit zwischen dem Ausfall und der Instandstellung, sehr kurz. Sie lag in allen vier Fällen in der Grössenordnung von 4 bis 6 h. Die modulare Konstruktion erlaubt ein sehr schnelles Einwirken der Servicetechniker.

Durch ihre hervorragenden Eigenschaften und ihre Zuverlässigkeit haben sich die USV-Anlagen im Gotthardtunnel im Rahmen des Sicherheitskonzeptes bestens bewährt.

Adresse des Autors

F. Donati, dipl. El.-Ing. ETH, Delegierter des VR und Präsident der Geschäftsleitung, INVERTOMATIC AG für Energieumwandlung, Via S. Balestra 22, 6600 Locarno.