

Januar 1977.

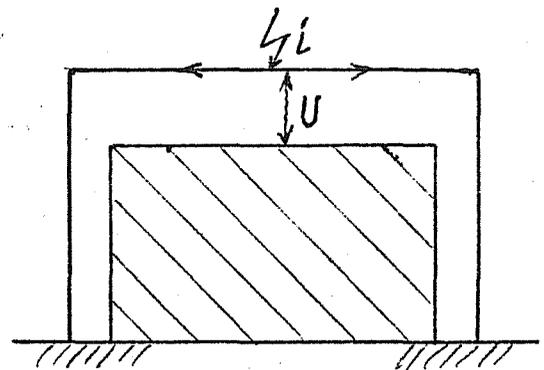
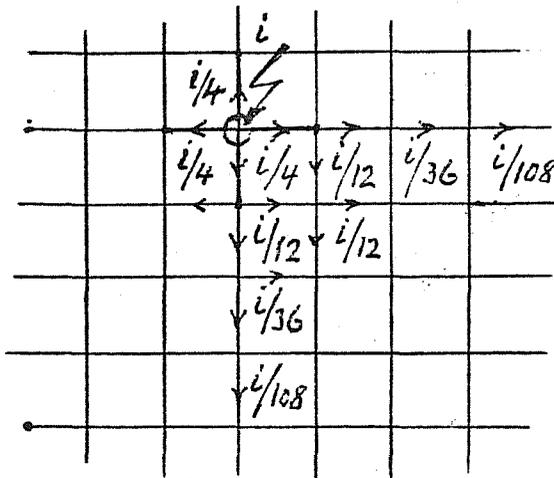
Blitz- und NEMP - Schutz von
Munitions-Depots A...D, TLM 75.

A) Blitzschutz.

Zweck : Verhinderung jeglicher Funken zwischen Metallmassen im Depot, beim Blitzeinschlag in das Depot oder in seine Erd- oder Felsüberdeckung.

Gegeben : Wahrscheinlichkeitskurven des Blitzstromes.

Voraussetzung : Gitter mit quadratischen Maschen, Blitzstrom-Eintritt in Knotenpunkt.



Spannung U ohmisch (Näherung) :

$$U = i \cdot R = i \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + \dots) = \frac{R_M}{4} (1 + 1/3 + 1/5 + 1/7 + \dots) \cdot i$$

$$= \frac{R_M}{4} \cdot (2,22 \dots 2,75) i \quad \text{für } n=10 \dots 30$$

$$= 0,555 \cdot R_M \cdot i \dots 0,69 \cdot R_M \cdot i \quad \approx 0,62 \cdot R_M \cdot i$$

R_M = Drahtwiderstand einer Maschenweite, i = Blitzstrom

R'_M pro Meter Fe-Draht 4 mm \varnothing = $7/50 \cdot 1/12,5 = 11,2 \text{ m}\Omega$

R_M für 15 cm Draht = $9,15 \cdot 11,2 = 1,7 \text{ m}\Omega$ (Beispiel)

$U \approx 0,62 \cdot 1,7 \cdot i(\text{kA}) \approx 1,05 \cdot i(\text{kA})$, (15 cm-Netz 4 mm \varnothing Fe)

Für $i=100 \text{ kA}$: $U \approx 105 \text{ Volt}$. (Wegen Skineffekt ca. 10 x mehr!)

Spannung U induktiv (Näherung) :

$$U = di/dt \cdot L_M \cdot 1/4 \cdot (1 + 1/3 + 1/5 + \dots) = (0,555 \dots 0,69) \cdot L_M \cdot di/dt$$

$$L'_M = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}, \quad L_M = 0,15 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} = 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ H für 15cm.}$$

$$U \approx 0,075 \cdot 10^{-6} \cdot di/dt \approx 75 \cdot 10^{-9} \cdot (10^{10} \dots 10^{11}) \approx 0,75 \dots 7,5 \text{ kV}$$

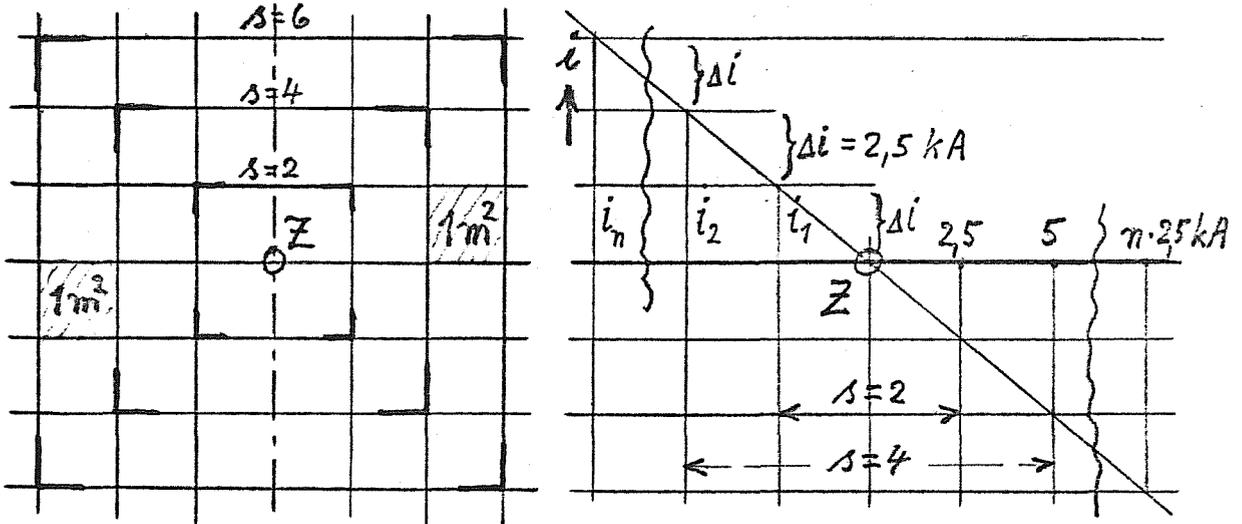
Der induktive Spannungsabfall in den Gitterdrähten ist somit entscheidend.

B) NEMP-Schutz.

Zweck : Wie bei A), genauer : Begrenzung der Induktionsspannung im Käfigraum auf zulässige Werte von z.B. 100... 1000 V/m².

Gegeben : H-Feld in der Nahzone, gemäss FMB H bis 8000 A/m oder B ca. 0,01 Tesla, Anstieg in 0,1...1µs.

Voraussetzung : Gitter mit quadratischen Maschen (kein Blech-Käfig), mit Zentrum Z der quadratischen Gitterfläche.



Die gesamte Gitterfläche wird in Quadrate mit 1 m Seitenlänge unterteilt. Wir betrachten konzentrische Quadrate mit den Seitenlängen $s = 2 \quad 4 \quad 6 \quad 8 \quad 2n$ Meter
 Quadratfläche $q = 4 \quad 16 \quad 36 \quad 64 \quad s^2$ Quadratmeter
 Quadratumfang $u = 8 \quad 16 \quad 24 \quad 32 \quad 4s$ Meter

In jedem konzentrischen Quadrat der Seitenlänge s gilt

$$\oint E \cdot ds = R_s \cdot i_s = \oint_s / T_F = l / T_F \cdot (s^2 B - 4 \cdot s \cdot L' \cdot i_s)$$

Für den widerstandslosen Käfig gilt $R_s = 0$ und $\oint E \cdot ds = 0$.

Somit wird $(s^2 B - 4sL'i_s) = 0$ und $i_s = s \cdot B / 4 \cdot L'$

oder mit $L' = 1 \mu H/m$
 $B = 0,01$ Tesla } $i_s = 2,5 \cdot s$ (in kA)

d.h. es wird für $s = 2 \quad 4 \quad 6 \quad 8 \quad 10$ m Käfigseite
 $i_s = 5 \quad 10 \quad 15 \quad 20 \quad 25$ kA Induzierter Strom

Der induzierte, zur Kompensation des B-Feldes nötige Strom nimmt mit jedem Meter vom Zentrum aus um 5 kA zu.

In jedem m² des Gitters wird vom H-Feld eine Spannung induziert
 $u_i' = B / T_F = 0,01 / 10^{-6} = 10$ kV/m² mit $T_F = 1 \mu s$.

Der entsprechende induktive Scheinwiderstand ist $R(\text{Sch})$:

$s = 2 \quad 4 \quad 6 \quad 8 \quad 10$ Meter
 $R(\text{Sch}) = 8 \quad 16 \quad 24 \quad 32 \quad 40$ Ohm

Für einen Gitterkäfig mit Ohmschem Widerstand (R' pro Meter Maschendraht) gilt :

$$\oint E \cdot ds = R_S \cdot i_S = 1/T_F \cdot (s^2 B - L_S \cdot i_S) = 1/F \cdot 1/T_F \cdot s^2 B$$

wobei $1/F$ dem Reduktionsfaktor des Käfigs bedeutet :

$F = 100$ heisst, dass 1% des äusseren Flusses in den Käfig tritt,
 $F = 1000$ " " 1 %o " " " " " " " "

Somit wird $R_S = s^2 B / F \cdot T_F$ und $R' = R_S / 4s = L' / F \cdot T_F$

Für eine Reduktion $F=100$ wird	$R' = 10 \text{ m}\Omega$	für $T_F = 1 \mu\text{s}$
	$R' = 100 \text{ m}\Omega$	" " $T_F = 0,1 \mu\text{s}$
" " " $F=1000$ "	$R' = 1 \text{ m}\Omega$	" $T_F = 1 \mu\text{s}$
	$R' = 10 \text{ m}\Omega$	" $T_F = 0,1 \mu\text{s}$

Für eine Reduktion des eindringenden Feldes werden Drahtwiderstände einiger $\text{m}\Omega$ benötigt. Dies wäre bei Gleichstrom mit Eisendraht von ca. 6 mm ϕ möglich. Für Blitzstrom-Impulse kommt jedoch die Eindringtiefe des Stroms in den Draht in Betracht. Diese Eindringtiefe lässt sich bei bekannter Impulsform berechnen. Sie beträgt z.B.

bei einer Stossform $1/10 \mu\text{s}$ in Eisendraht ca. 0,04 mm,
 " " " $10/100 \mu\text{s}$ " " 0,12 mm.

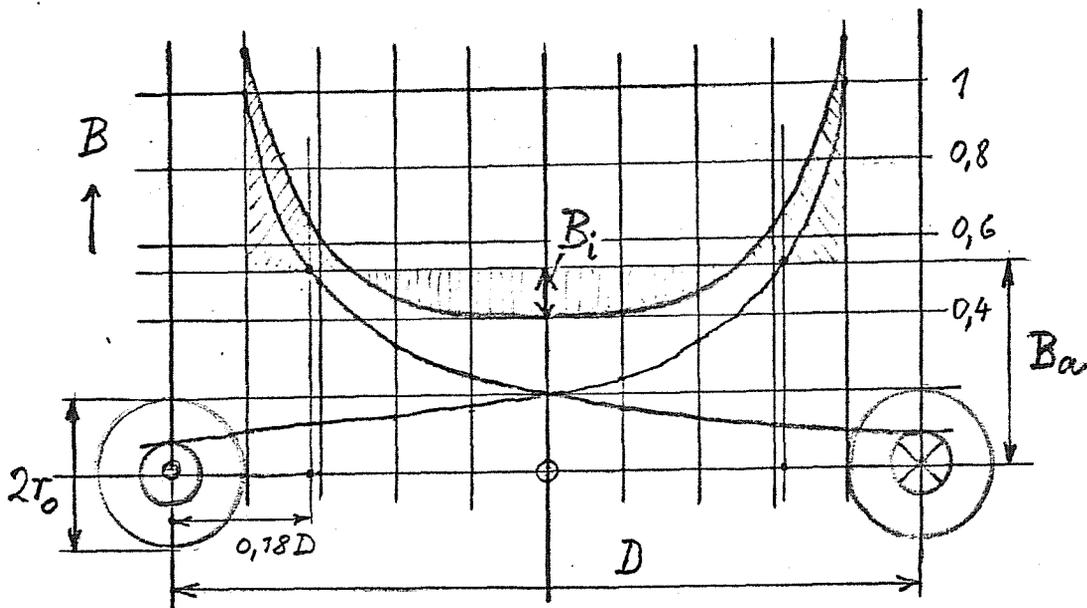
Der wirksame Widerstand eines Eisendrahts mit 13 mm ϕ beträgt daher :
 $R' = 1 / 7.2 \pi \cdot 6,5 \cdot 0,04 = 87 \text{ m}\Omega$ beim Stoss $1/10 \mu\text{s}$
 $R' = 1 / 7.2 \pi \cdot 6,5 \cdot 0,12 = 29 \text{ m}\Omega$ " " $10/100 \mu\text{s}$.

Selbst mit 13 mm-Eisendraht lässt sich höchstens eine 100-fache Feldreduktion erreichen. Grund ist die kleine Eindringtiefe des Feldes. Sie wirkt sich beim Blechkäfig sehr günstig aus, aber nicht beim Gitterkäfig. Für den NEMP-Schutz sind nicht-metallische Leiter ($\mu=1$) besser geeignet, z.B. Cu oder Al. Damit lassen sich wirksame Widerstände weniger $\text{m}\Omega$ mit üblichen Drahtstärken erreichen.

Maschenweite beim NEMP-Schutz.

Die Umfahrung der gesamten Gitterfläche durch einen genügend bemessenen Leiter (wie vorstehend berechnet) genügt, um den durch die Gesamtfläche eintretenden Fluss auf den Bruchteil $1/F$ zu reduzieren. Die Feldverteilung innerhalb der ungeschlossenen Fläche ist jedoch sehr ungleichförmig. Sie lässt sich leicht berechnen (Figur). Die Unterteilung der Gesamtfläche in Maschen bezweckt die Homogenisierung des Feldes, derart, dass in jeder Masche nur ein Bruchteil $1/F$ des äusseren Flusses in den Käfig eintreten kann. Innerhalb einer jeden Masche besteht wieder eine ähnliche Ungleichförmigkeit des Feldes, die durch die Feldkonzentration um die Gitterdrähte bestimmt ist. Diese Ungleichförmigkeit ist in der Ebene der Gitterdrähte am grössten. Sie nimmt innerhalb des Käfiggitters rasch ab, sodass in einer Entfernung von der Grösse der Maschenweite bereits ein annähernd homogenes Feld vorhanden ist.

Die erforderliche Maschenweite hängt somit von der Entfernung des gegen Induktion zu schützenden Materials vom Gitter ab : Der freie Raum zwischen dem Käfig und dem eingelagerten Material sollte mindestens etwa die halbe Maschenweite betragen, oder umgekehrt, die Maschenweite höchstens etwa das Doppelte der Sicherheitsentfernung des Materials von der Gitterfläche, bezw. von der armierten Decke oder Wand.



Eintretendes B-Feld im Drahtkäfig.

Für die Ungleichförmigkeit des B-Feldes innerhalb einer Masche gibt die Figur ein Beispiel. Selbst für den Fall der vollen Kompensation des äusseren Flusses Φ_a durch den induzierten Strom i in der widerstandslosen Schleife (Masche) dringt auch bei sehr engen Maschen (Maschenweite $D=10 \cdot r_0$) in der Mitte der Masche immer noch rund $1/4$ des äusseren Feldes B_a als Feld B_i in den Käfig ein.

Die allgemeine Berechnung des Zusammenhangs von B_a und B_i für beliebige Maschenweiten D und Drahtstrahlen r_0 zeigt, dass trotz der vollen Kompensation des Flusses Φ die Reduktion des B-Feldes im Drahtkäfig zu klein ist, um einen wesentlichen Schutz gegen den NEMP zu gewähren. Der NEMP-Schutz elektrisch empfindlicher Geräte (elektrische Zünder, elektronische Einrichtungen usw.) kann nur durch Blech-Käfige realisiert werden.

K. Berger