

PERFORMANCE EVALUATION for EME- SYSTEMS

Rainer Bertelsmeier, DJ9BV & Patrick Magnin, F6HYE
Reprint from 'Reunion V/U/SHF' de Seigy, France 11 et 12 Avril 1992

1. Introduction

A good receiving performance is one of the most important features of an EME-station. A simple method to check this performance and which would give a consistent and reliable quality measure should be valuable because:

1. Any modification of the receiving system (Preamp, cable etc.) requires a method to evaluate the expected change in performance
2. Regular checks of the receiving performance indicate possible problems
3. Many EME'ers want to compare their relative performance

The following describes a simple method of evaluating EME receiving performance in a rather accurate and reliable way.

1. Einführung

Da die Empfangsleistung einer EME-Anlage besonders wichtig für eine erfolgreiche EME-Betätigung ist, sind einfache Verfahren, um diese Leistung zu bestimmen, besonders nützlich für:

1. Die Beurteilung von Modifikationen (Vorverstärker, Kabel, Antennen)
2. Regelmäßige Überprüfung der Anlage
3. Vergleich zwischen verschiedenen EME-Stationen

Es wird eine einfache Methode beschrieben, um die Empfangsleistung einer EME-Anlage zu bestimmen.

2. Measuring technique

The basic idea is to measure a signal source with known intensity and to compare it to a constant reference signal. As signal sources we use noise sources with a constant power density in the measuring bandwidth. This is what is done with PANFI's for preamplifiers noise figure measurements: we use a cold source and a hot source, the cold source being the reference. So we have to introduce the concept of cold source and hot source for the whole receiving system: antenna, preamplifier, cables and transceiver. In this concept, hot and cold characterizes the noise power of the two sources according to the Nyquist equation $P = kTB$. Hot is related to a high noise power (high value for T) and cold to a low power one. The power ratio of the receiver output when switched from the cold to the hot source is called the Y-factor. The absolute value of this Y-factor is a quality measure for whole receiving system. The Y-factor measured can be transformed into a G/T measure which is more adequate to characterize the receiving performance.

2. Meßverfahren

Das Meßverfahren besteht darin, mit der Antenne zwei Signale bekannter Intensität zu messen und miteinander zu vergleichen. Als Signale benutzt man Rauschquellen in der Galaxis, die innerhalb der Meßbandbreite eine konstante Leistungsdichte haben. Das Meßverfahren ähnelt dem Verfahren, das bei Rauschzahl-Meßgeräten angewendet wird. Man verwendet analog dazu eine "kalte" Referenzquelle (niedrige Rauschleistung) und mißt die Leistungserhöhung am Empfängerausgang (Y Faktor), wenn die Antenne auf eine "heiße" Quelle gerichtet wird. Die Größe dieses Y-Faktors ist ein Maß für die Güte der Empfangsanlage und berücksichtigt alle internen Rauschbeiträge des gesamten Empfangssystems (Antenne, Kabel und Vorverstärker). Der gemessene Y-Faktor kann in das G/T-Maß umgerechnet werden. Das G/T-Maß beschreibt exakt die Leistung des Empfangssystems.

2.1 Noise Sources

2.1.1 Cold (Reference) sources:

The following cold sources are in common use:

1. A 50Ω load switched by a coaxial relay to the system. Its noise power is given by the Nyquist equation ($P = kTB$, which gives -174dBm/Hz at room temperature (290K)).
2. Look for the weakest signal in the Galaxy by rotating the antenna. The known cold spots are close to the galactic poles. These spots are the **Leo** and **Aquarius** constellations. They give a noise power which can be characterized by an equivalent temperature of 180K on 2m and 15K on 70cm.

The resistor method should be discarded for the following reasons:

1. The resistor is not really cold (290K). The power ratio to a hot source will be lower and the necessity to use a second coaxial relay will introduce additional losses.
2. The necessity to switch from the antenna to the reference resistor changes the impedance the preamplifier 'sees'. This in turn changes its transducer gain and its noise figure which will prevent correct evaluation of the power ratio of the two sources.¹

2.1.2 Hot sources:

1. There exist several alternatives for the hot source: Earth (290K²), sun and some constellations like Cassiopea, Cygnus, etc...
2. Ground offers a quite constant and not frequency dependant noise power. The problem is to point the antenna fully to the earth (-90 elevation). Furthermore in city areas man made noise leads to a considerable and not well defined increase of the earth's noise power. We cannot use the earth on 144MHz because the difference between cold sky (200K) and earth (290K) is too low to be usable. But in quiet locations its an excellent hot source to determine the noise temperature of the

¹ The same problem occurs when different stacking distances or phasing lines are tried in an antenna system and the performance difference should be figured out. A solution to this mismatch problem is the insertion of an isolator in front of the preamp. But its loss of 0.3 dB prohibits its permanent use except for this evaluation problem.

² In fact temperature of the earth is a function of the reflectivity (depends on conductivity) of the ground on the band of interest. 290 K is only valid for a black body with an absorption factor of 1. Practical temperatures may range from 100 K to 290 K (See Water versus ploughed land) on 144 MHz and 150k to 290 K on 432 MHz.

- system especially on 70cm and higher, because the resulting Y-factor is not dependent on antenna gain as the source illuminates the full frontal hemisphere of the antenna system.
3. Sun gives a high noise power, it produces even a deflection on S-meters of small EME systems and it's easy to find. The main drawback is that the noise power generated is not constant over time. We can find a day to day fluctuation and this fluctuation follows also the 11 years solar cycle. Total fluctuation of intensity can reach up to 5dB.
 4. Other galactic sources are quite stable, but their main drawback is that small systems cannot hear them because of the low noise power generated.

What can we do?!

All is not lost because solar flux is measured in numerous observatories throughout the world and it is possible to correlate this solar flux to the noise power on the frequency of interest. This must be done on each band because solar flux is measured for 2800MHz (10cm radiation intensity). Günter, DL6WU, has already described a graphical method ([2]) to obtain this correlation. In fact his diagrams give only a value of I for three different solar flux levels.

The idea of the following is to provide mathematical equations allowing us to compute the sun intensity I on each EME-band dependent on the 2800MHz measurements. This could be done with a small handheld computer. First we introduce the concept of G/T:

$$[1] \quad \frac{G}{T_{sys}} = \frac{(Y-1)}{I}$$

G is the isotropic antenna gain

T_{sys} is the total system noise (antenna + phasing losses + preamp + receiver)

Y is the ratio of receiver output when antenna pointing to the sun and a cold spot

I is the solar intensity level depending on solar flux and frequency

Measuring Y factor and knowing the solar intensity I will allow to compute the system G/T. This G/T measure exactly describes the system performance. If this measure increases by 1dB, S/N ratio of any station heard will increase exactly by one dB.

2.1 Rauschquellen

2.1.1 Kalte Quellen

Folgende Quellen sind als Referenzquelle gebräuchlich:

1. 50Ω Widerstand: Wird mit einem Koaxial-Relais auf den Empfängereingang geschaltet. Die Rauschleistung ist gegeben durch die Nyquist Gleichung $P = kTB$. Bei Raumtemperatur (290K) hat dieser Widerstand eine Rauschleistung von -174dBm/Hz.
2. Radioquellen in der Galaxis mit niedriger Rauschtemperatur: LEO und AQUARIUS. Sie geben eine Rauschleistung, die durch eine äquivalente Temperatur von 180K auf 144MHz, 15K auf 432MHz und 5K auf 1296MHz gekennzeichnet ist.

Die Schaltung auf einen Referenzwiderstand sollte nicht benutzt werden. Erstens ist der Widerstand warm (290K). Damit verringert seine Benutzung den möglichen Y-Faktor. Zweitens ändert sich beim Umschalten die Quellimpedanz des Vorverstärkers. Deswegen ändert dieser seine Verstärkung, wodurch Meßfehler entstehen.

2.1.2 Heiße Quellen

Als heiße Quellen können dienen:

1. Die warme Erde (290K) ist als heiße Quelle auf 432 und 1296MHz geeignet, da die Systemtemperatur einer guten Anlage unter 80K liegt. Das Signal ist unabhängig vom Gewinn der Antenne, da das gesamte vordere Richtdiagramm von der Quelle ausgeleuchtet wird. Man muß allerdings die Antenne auf mindestens -30° Elevation richten können. In Städten ist das elektronische Rauschen durch Störungen so hoch, daß die Ergebnisse nicht mehr voraussagbar sind.
2. Galaktische Quellen wie Cassiopea, Cygnus, $\Omega M17$ usw. sind sehr zeitstabil, haben aber zuwenig Intensität, um bei kleinen Anlagen einen genügend großen Y-Faktor zu erzeugen.
3. Die Sonne ist eine Rauschquelle sehr hoher Intensität. Leider ist die Intensität sehr schwankend, die sich sowohl von Tag zu Tag als auch in einem 11-jährigen Zyklus ändert. Die Fluktuation kann bis zu 5dB betragen.

Um die Sonne als Rauschquelle für Messungen benutzen zu können, braucht man einen täglichen Meßwert für deren Intensität in dem interessierenden Frequenzbereich. Der solare Flux wird täglich nur auf einer Standardfrequenz (2800MHz) gemessen. DL6WU hat eine Korrelationstabelle für drei verschiedene Fluxwerte und Frequenzen veröffentlicht [2]. Durch einen Polynom-Fit wurde diese Tabelle für beliebige Fluxwerte erweitert. Die resultierenden Funktionen gestatten die Berechnung des Fluxwertes der Sonne auf drei Bändern in Abhängigkeit vom Fluxwert auf 2800MHz. Damit kann man jeden Tag einen zuverlässigen Meßwert für das G/T-Maß der Anlage ermitteln, wenn man den Fluxwert für 2800MHz kennt. Das G/T-Maß ist folgendermaßen mit dem Fluxwert der Sonne verknüpft:

$$[1] \quad \frac{G}{T_{sys}} = \frac{(Y-1)}{I}$$

G ist der Gewinn der Antenne über Isotrop

T_{sys} ist die gesamte Rauschtemperatur der Empfangsanlage (Antenne, Kabel und Preamp)

Y ist das Leistungsverhältnis am RX-Ausgang, wenn man die Antenne vom kalten Punkt des Himmels auf die Sonne richtet

I ist der Flux der Sonne in Abhängigkeit von der Frequenz

Wenn man den Y-Faktor mißt und den Flux I kennt, kann man das G/T-Maß bestimmen. Jedes dB Änderung im G/T ändert das Signal/Rauschverhältnis im gleichen Maße.

2.2 Y-factor measurement

The most accurate and simple measurement method for the Y-factor is the RF-substitution method. First we record the reference level on the receiver's S-meter¹ when the antenna is pointed to the cold sky. Then we have to rotate the antenna toward sun and insert a calibrated step attenuator in the receive string at a place where the cascaded gain from the antenna connector is at least 40dB. In transverter receive systems the best place is in the IF-link to the HF-receiver (28MHz for example). Now we have to increase the magnitude of attenuation until we get the recorded reference value. The value read on the attenuator is exactly the Y-factor value needed. In fact the Y-factor corresponds to the ratio of T_{sys} when pointing to the

¹ Remark: AGC is on and we have to provide enough gain (cascaded preamps for example) to obtain a sufficient S-meter deflection.

sun and T_{sys} when pointing to the cold spot ($Y = \frac{(T_{hot} + T_{cold})}{T_{cold}}$). T_{sys} is made up from the effective antenna temperature, the loss temperature (cable, relay etc.) and the receiver temperature.

This method easily provides an accuracy of 0,5dB with a 1dB step attenuator, which is mandatory for this measurement. All methods based on the audio level measurement have to be discarded because they are influenced by the linearity of the whole receive string even if AGC is off.

2.2 Messung des Y-Faktors

Eine genaue Methode zur Bestimmung des Y-Faktors ist die Substitutionsmethode. Man richtet die Antenne zuerst auf den kalten Punkt des Himmels (LEO oder AQUARIUS) und notiert den S-Meter Ausschlag¹. Nachdem die Antenne auf die Sonne gerichtet ist, fügt man einen kalibrierten Abschwächer im System ein² und stellt soviel Dämpfung ein, daß wieder der gleiche S-Meter Ausschlag beobachtet wird. Die eingestellte Zusatzdämpfung entspricht exakt dem Y-Faktor. Diese Methode verbürgt eine Genauigkeit von +-0.5dB, wenn man einen Stufenabschwächer mit 1dB Stufen benutzt. Audio-Messungen sind ungeeignet, da sie wegen der Nichtlinearitäten im Empfangssystem, selbst wenn die AGC ausgeschaltet ist, falsche Werte liefern.

2.3 Computing Sun-Intensity I

Sun-Intensity I on the band of interest changes a lot with respect to solar activity. In the past, EME operators could only record different Y-factor values changing from day to day. There was in fact no possibility to compare the receiving performance of different stations and worse no real possibility to say if the last modification of the station lead to an increase or a decrease of the receiving performance. As stated earlier, it is possible to compute I, depending on the frequency with respect to the 10cm solar flux. With a polynomial curve fit on experimental data we got the following equations:

$$[2] \quad I_{144} = -0.00037689 \cdot F^2 + 0.162242 \cdot F - 6.02015 \quad (50 < F < 200)$$

$$[3] \quad I_{432} = 0.0324167 \cdot F + 0.790833 \quad (50 < F < 220)$$

$$[4] \quad I_{1296} = 0.010417 \cdot F - 0.04916 \quad (50 < F < 200)$$

It is possible to get a value for F (10cm flux value) which is measured daily by listening to WWV every hour plus 18 minutes or on your local Packet Cluster (command SHow/Wwv) or, for the guys who can understand german language, by calling the following answering machine (004948631096).

Now we can accurately determine our system performance in a way not dependant on the solar activity. The only limitation of this method is that you will not be able to make those measurements when the sun is highly disturbed. The reason is that 10cm solar flux measured value is in fact a mean value integrated over a whole day.

In order to avoid tedious computing we constructed two nomograms (see appendix) from the equations above showing G/T versus 10cm flux with the measured Y-factor as a parameter.

1 *Bemerkung: Die AGC ist eingeschaltet und es muß genug Verstärkung im System vorhanden sein (evtl. 2 Preamps), um einen S-Meter Ausschlag zu erzielen.*

2 *Die Gesamtverstärkung an diesem Punkt muß mindesten 40dB betragen. Geeignet sind die 28MHz ZF-Leitung bei Transvertern oder der Punkt nach einem zweiten Preamp.*

We propose that in the future the measure to compare different EME- systems should be G/T instead of Y (excess solar noise) which is obsolete for all reasons stated above. If for some obscure reason somebody needs to compare his Y factor to yours, it is still possible to get the Y-factor corresponding to another flux level. In other words this is equal to normalize Y-factor to the solar flux by using the nomograms given in the appendix.

2.3 Berechnung der Sonnenintensität I

Die Gleichungen, um den Fluxwert I auf dem zu messenden Band in Abhängigkeit vom 2800MHz Flux und der Frequenz zu berechnen, sind wie folgt:

$$[2] \quad I_{144} = -0.00037689 \cdot F^2 + 0.162242 \cdot F - 6.02015 \quad (50 < F < 200)$$

$$[3] \quad I_{432} = 0.0324167 \cdot F + 0.790833 \quad (50 < F < 220)$$

$$[4] \quad I_{1296} = 0.010417 \cdot F - 0.04916 \quad (50 < F < 200)$$

Der tägliche Wert für den 2800 MHz Flux kann vom lokalen Packet-Cluster abgerufen werden (SHow/WvV), durch Abhören von WWV in der 18-ten Minute oder durch den Ansagedienst der Post erhalten werden.

Bei Rauschausbrüchen der Sonne (Eruptionen, Flares usw.) sollten die Gleichungen nicht angewendet werden.

Um die Anwendung zu vereinfachen, sind im Anhang Nomogramme zu finden, welche die Ablesung des G/T-Maßes in Abhängigkeit vom 2800MHz Flux und dem gemessenen Y-Faktor erlauben. In Zukunft sollte nur der G/T-Wert gemessen und zum Vergleich verschiedener Stationen benutzt werden, da der gemessenen Y-Faktor eine Abhängigkeit vom Flux der Sonne hat und damit allein keinen Vergleich von Stationen erlaubt, es sei denn, der Fluxwert wird mitangegeben.

Typische G/T-Werte sind auf 144MHz -2,8dB (4x4λ YAGI mit 22dBi Gewinn und 0,5dB NF), auf 432 MHz 7,5dB (4x11λ YAGI mit 26dBi Gewinn und 0,3dB NF) und auf 1296MHz 11dB (8m Spiegel mit 0,3 dB NF)

3. Antenna pattern measurements with the aid of solar noise

Thanks to the high sun noise intensity it is possible to get a S-meter deflection even on the parasitic sidelobes of the antenna. By recording the Y-factor difference of these lobes with respect to the main lobe, it is possible to compute the relative level of these parasitic lobes with respect to the main lobe.

Because Y is (Sun + Cold)/Cold we have to use the ratio $Y-1 = \text{Sun}/\text{Cold}$ in order to compare different sidelobe levels. Let's give an example of antenna pattern measurement. During the expedition to San-Marino (T70A), we made some performance measurements of the 8 Yagi array (8xBV70-11λ). Measurements on the main lobe and on the first three parasitic lobes are shown in the following table:

Lobe	Sunnoise Y [dB]	Y-Factor (Y _{abs})	Y _{abs} - 1	Normalized Level [dB]
Main	19.5	89.125	88.125	0
1. Sidelobe	7.0	5.01	4.01	-13.4
2. Sidelobe	5.5	3.55	2.55	-15.4
3. Sidelobe	3.5	2.24	1.24	-18.5

Remarks:

- Y_{abs} is the absolute ratio of sunnoise to cold sky ($Y_{abs} = 10^{\frac{Y[dB]}{10}}$)
- Normalized level is: $10 \cdot \text{LOG}\left(\frac{Y_{abs}(\text{sidelobe}) - 1}{Y_{abs}(\text{main}) - 1}\right) = 10 \cdot \text{LOG}\left(\frac{\text{SUN}(\text{sidelobe})}{\text{SUN}(\text{main})}\right)$

These measurements above were done at a flux level of 180. Therefore the G/T is about 11.3 dB. At a flux level of 100 this would mean an expected Y-factor of only 17.5dB. This can be easily seen from the nomogram in the appendix by drawing a vertical line at your current flux level up the measured Y-factor and drawing a horizontal line from this point to the Y-axis, where you read the G/T. All expected Y-factors for different flux levels can be read from the crossings of the horizontal line with Y-factor curves. Several measurements at different flux levels should give a consistent and invariant G/T.

3. Antennenmessungen mit Sonnenrauschen

Wegen der hohen Intensität der Sonne ergeben sich auf 432MHz Y-Faktoren von 12-20dB und auf 1296MHz von 14-24dB. Damit kann man dann auch die Nebenzipfel der Antenne mittels Sonnen-Rauschmessungen bestimmen. Da der Y-Faktor dem Verhältnis $\frac{T_{hot} + T_{cold}}{T_{cold}}$ entspricht muß man erst auf $Y-1 = \left(\frac{T_{hot}}{T_{cold}}\right)$ denormalisieren, um die relative Absenkung der Nebenzipfel im Verhältnis zur Hauptkeule zu bestimmen. Das folgende Beispiel zeigt eine Messung einer 8-Yagi-Antenne (Expedition in T70A):

Nebenzipfel	Y [dB]	Y-Factor (Y_{abs})	$Y_{abs} - 1$	Relativer Pegel [dB]
Hauptkeule	19.5	89.125	88.125	0
1. Zipfel	7.0	5.01	4.01	-13.4
2. Zipfel	5.5	3.55	2.55	-15.4
3. Zipfel	3.5	2.24	1.24	-18.5

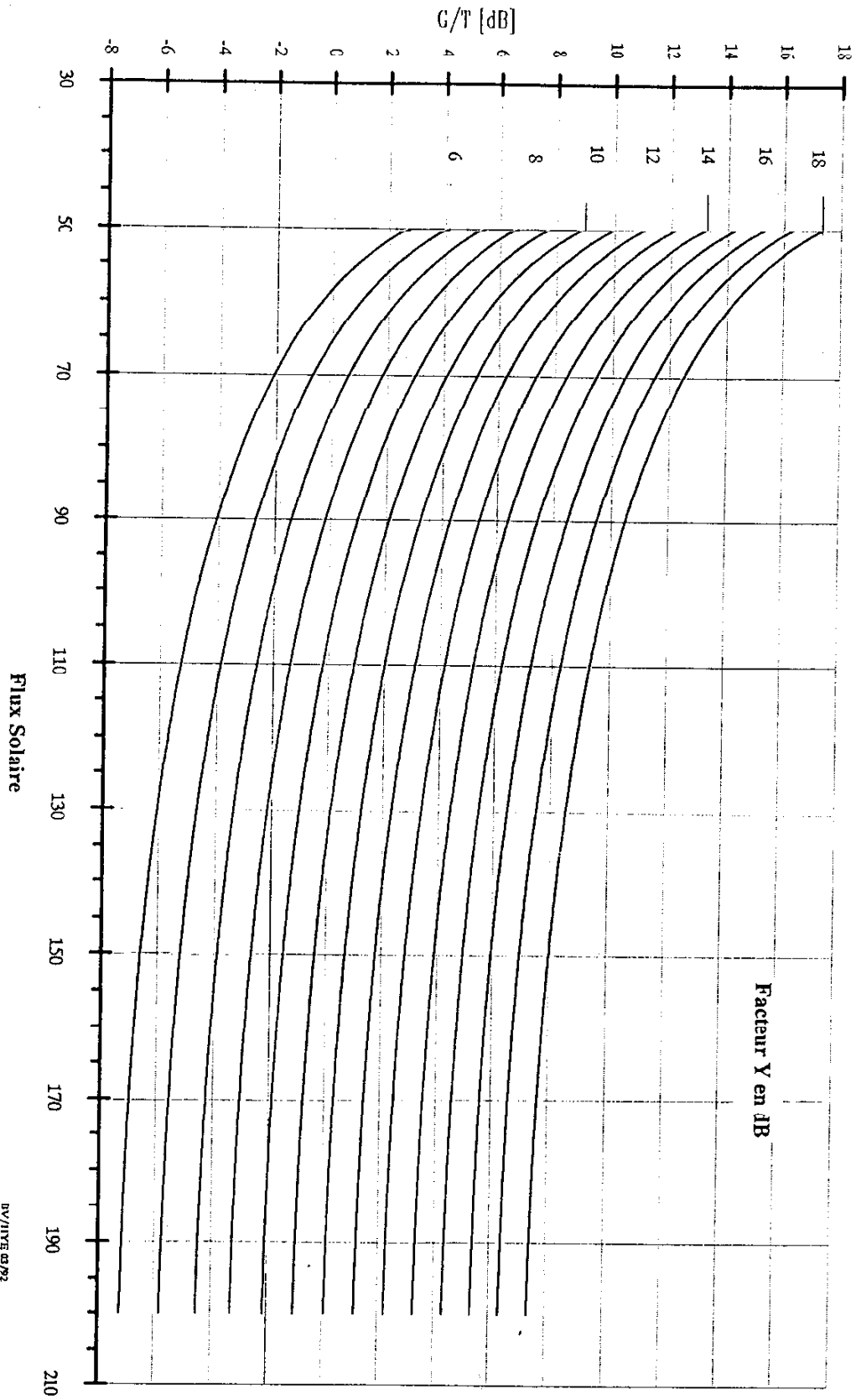
Bemerkung:

- Y_{abs} ist der Absolutwert des Y-Faktors ($Y_{abs} = 10^{\frac{Y[dB]}{10}}$)
- Relativer Pegel: $10 \cdot \text{LOG}\left(\frac{Y_{abs}(\text{Zipfel}) - 1}{Y_{abs}(\text{Hauptkeule}) - 1}\right) = 10 \cdot \text{LOG}\left(\frac{\text{SUN}(\text{Zipfel})}{\text{SUN}(\text{Hauptkeule})}\right)$

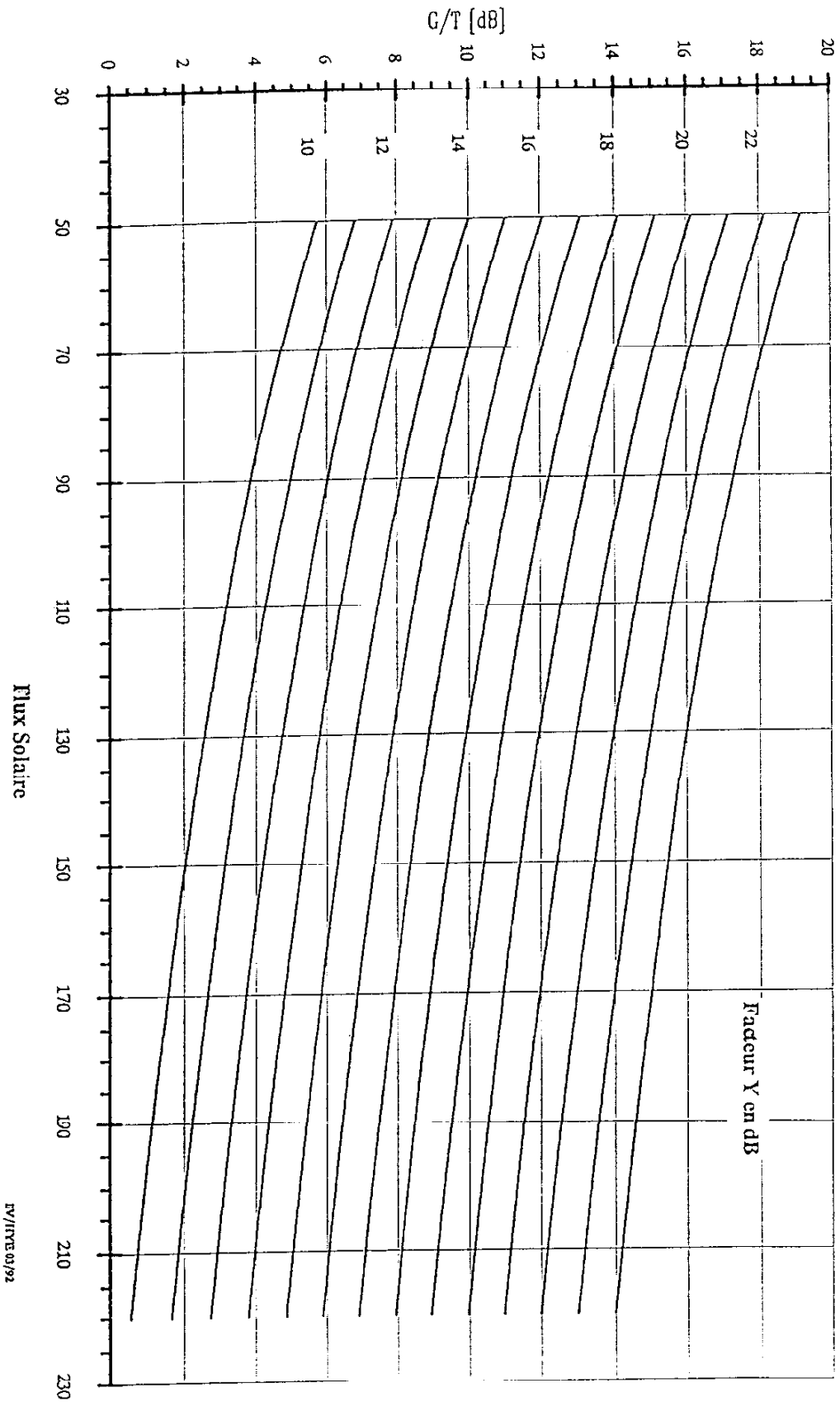
References:

- [1] R. Lenz, DL3WR, "Noise in Receive Systems", VHF Communications 4/1975, pp 203-208
- [2] G. Hoch, DL6WU, "Determining the Sensitivity of Receive Systems with the Aid of Solar Noise", VHF Communications 2/1980, pp 66-72

Appendix A: Sun intensity I on 144 MHz versus 2.8GHz flux level F



Appendix B: Sun intensity I on 432 MHz versus 2.8GHz flux level F



FV/IEYE 03/92