UHF 30kW 放送機用 3dB カップラー

東京芝浦電気株式会社

黒木 聖司・若杉 誠

現在までのところ、UHF 放送機の出力回路については、10kW 放送機までは同軸給電線のみで構成されているが、30kW 放送機については、主給電線は WX-152D であるとはいうものの、電力合成器と映像音声共用装置 (CIN) については、主に温度上昇の点から WR-1500 の導波管で構成している。筆者らは WX-152D 形の 3dB カップラーを製作実験し、その結果から、30kW 放送機の出力を同軸給電線のみで構成することを提案する。

1. ま え が き

目下、日本で運用されている UHF 大電力放送局としては、30kW 局が最大であり、10kW 局がこれについている。30kW 局では、信頼性、経済性の点から図 1 に示すような共通予備管方式が普通であり、映像信号については並列運転を行なっている。

放送機出力からアンテナまでのいわゆる出力回路につ

いてみると、10kW 局では WX-120D を中心とした同軸給電線で全部構成されている。しかし、30kW 局については、主給電線は WX-152D であるが、放送機の並列運転を可能にする電力合成器、および映像音声共用装置 (以下 CIN とよぶ) は、WR-1500 の導波管で構成されている¹⁾。導波管系を使用する理由は、UHF 帯では回路の熱損失が大きいと、国内で望ましいとされている同軸給電線の内導体の最大温度上昇 25°C という条件²⁾

に合わず導波管になったのである。しかし諸外国、とくに米国では UHF 50kW 局の出力を WX-152D のみで実施しているといわれる³⁾。実際、UHF 30kW に対しては導波管は余裕がありすぎるくらいがあるし、同軸給電線の内導体温度上昇 25°C の規定も再検討する必要がある。

電力合成器としては、ハイブリッド回路 (たとえば 3dB カップラー、ラットレース、マジック T、ショートスロット) が使用され、CIN としては 2 つのハイブリッド回路と帯域阻止フィルターが使用されている。図 2 には電力合成器または電力分配器として使用された場合の 3dB カップラーを示し、図 3 には 3dB カップラーを使用した CIN の構成図を示す。写真 1 は 10kW 用 CIN の外観図である。筆者らは、30kW 用出力回路を同軸系のみで実施しようとの目的で、今回 WX-152D 形の 3dB カップラーを製作し検討したので、その結果につき報告したい。

図 1 共通予備管方式出力回路系統図 (一例)

“3dB Coupler for UHF 30 kW Transmitter” by Seiji Kuroki and Makoto Wakasugi
(Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd., Kawasaki)

図 2 3dB カップラーによる電力合成と電力分配

図 3 CIN 構成図

写真 1 10kW CIN 外観

2. 構 造

ストリップラインを用いたカップラーの設計法については、従来からさまざまな論文^{4)~9)}が発表されているので、ここでは述べない。本論文の 3dB カップラーは図 4 のような構造であり、この場合、

偶モードインピーダンス $z_{0e}=121\ \Omega$

奇モードインピーダンス $z_{0o}=20.7\ \Omega$

に選定されている。

したがって、結合係数 k は、

$$k = \frac{z_{0e} - z_{0o}}{z_{0e} + z_{0o}} = 0.707 \quad (1)$$

となり、各入出力端子から見た特性インピーダンス z_0

(b : 外導体間の距離, s : 結合導体間の距離, t : 結合導体の厚さ, w : 結合導体の幅)

図 4 ストリップラインの結合法

写真 2 UHF 30kW 用 WX-152D 形 3dB カップラー

は、

$$z_0 = \sqrt{z_{0e} \cdot z_{0o}} = 50\ \Omega \quad (2)$$

となり、給電線特性インピーダンスと整合されている。

各端子の入出力関係は、図 2 (b) についていえば、①端子に V_1 の入力を与えれば、出力端子②、④には、以下の式に従って出力が現われる。

$$\frac{V_4}{V_1} = \frac{jk \sin \theta}{\sqrt{1 - k^2} \cos \theta + j \sin \theta} \quad (3)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\sqrt{1 - k^2}}{\sqrt{1 - k^2} \cos \theta + j \sin \theta} \quad (4)$$

ここで、 θ は結合線路の電気角である。

製作した 3dB カップラーの構造外観を写真 2 に示す。

3. 3dB カップラーの特性測定結果

- (1) 入力 VSWR 特性
- (2) 平衡度特性
- (3) 漏洩度特性

以上の電気特性を図 5 に示す。これらの特性は、先に発表されている 10kW 用 3dB カップラー¹⁰⁾(入出力端子 WX-120D) および 30kW 用導波管形 3 素子ハイブリッドリング¹¹⁾に比して充分に比較できるものであり、広帯域かつ良好なる特性を示している。なお、各端子から観測される電気特性は、4 端子ともほぼ同一の特性を得ることができた。

4. 電力通過試験および温度上昇

電力通過試験は図 6 のような系統で実施した。すなわち①を入力端子とし、②、④は短絡して③に抵抗をつけた。入力端および出力端から 2m の素管を用いているのは、各端末からの熱の逆流を防ぐためである。温度上昇

図5 WX-152D 形 3dB カップラーの特性測定結果

図6 電力通過試験回路

図7 WX-152D 形 3dB カップラー温度上昇実測値
(測定回路は図6による)

測定点は外導体5ヵ所(×印)および内導体2ヵ所(Δ印)を、サーミスタ自動温度記録計を用いて測定した。内導体については内導体の内部にサーミスタを挿入して測定した。通過電力は、無変調信号(CW)にて、8kW, 11.7kW, 18.7kW の3回にわたって行ない、温度上昇が充

分に平衡に達していると思われるまで連続通電を行なった。

外導体温度上昇測定点1~5, 内導体温度上昇測定点6~7 のそれぞれの測定値については、ほとんどばらつきは見られなかった。それらの測定結果を図7に示す。なお放電または局所的な異常発熱などは一切認められなかった。

5. 温度上昇最小の条件

文献¹⁰⁾には、図6のように4端子中2端子を短絡した場合の内導体温度上昇の最小になる条件が述べられている。それによれば、内導体の温度上昇を最小にするためには、結合ストリップ線路から先端短絡までの距離 L を次のように選定すればよい。

$$L = 0.192\lambda + n \frac{\lambda}{2} \quad (n=0, 1, 2) \quad (5)$$

本論文の場合には、 $L=3\lambda/4$ となるようにしたので、 $\lambda=500\text{ mm}$ ($f=600\text{ MHz}$) であるから、

$$L = \frac{3}{4}\lambda = 375\text{ mm}$$

に選定してある。

これらの場合の内導体 A, B の電流の自乗平均は下式より求められる。

$$\overline{I_A^2} = \overline{I_B^2} = 1 + \frac{1}{2} \cos \phi - \frac{\sqrt{2}}{\pi} \sin \phi \quad (6)$$

ここに、

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2L \quad (7)$$

であるから、 $L=3\lambda/4$ の場合には(6)式から、

$$\overline{I_A^2} = \overline{I_B^2} = 0.5 \quad (8)$$

となる。また、(5)式において、 $n=1, \lambda=500\text{ mm}$ として求まる L を(6)式に代入すれば、600MHz のときに温度上昇が最小になる電流の自乗平均は、

$$\overline{I_A^2}_{\min} = \overline{I_B^2}_{\min} = 0.331 \quad (9)$$

である。温度上昇は、電流の2乗にほぼ比例するから、(8)、(9)の両者の比をとれば、

$$\frac{\overline{I_A^2}_{\min}}{\overline{I_A^2}} = \frac{0.331}{0.5} = 0.67 \quad (10)$$

となり、これより温度上昇が最小になるような L を使用すれば、本論文の内導体温度上昇値図7の70%程度の温度上昇におさえられることがわかる。

6. 検 討

6.1 30kW 映像電力合成器としての3dBカップラー
電力合成器としての使用法は図2(a)のようであるから、この場合の温度上昇を文献¹²⁾による方法で計算した

図 8 WX-152D 形 3dB カップラー温度上昇検討値

温度上昇値の結果を図 8 に点線で示す。また、文献¹⁰⁾によれば WX-120D, WX-77D の 3dB カップラーのときに図 7 の系統の場合と図 8 の系統の場合の温度上昇の実測データがあって、WX-120D のときも WX-77D のときも図 8 の系統のときには図 7 の系統のときにくらべて A 導体で 1/1.6, B 導体で 1/2.4, 外導体で 1/2 に近い値になっているので、図 7 の温度上昇値にこれらの定数を掛けた値を図 8 に実線で示す。計算値と図 7 より割り出した値とはよく合っている。

図 8 の系統は分配に使用した場合だが、相反の定理により合成のときも同様の電流分布になるはずで、これから温度上昇も同一となるはずである。

さて、映像尖頭値 30kW は真黒信号のときの実効値に換算すると 17.9kW である。この電力のときには図 8 より A 導体 22°C, B 導体 15°C の温度上昇であり、まず問題なく使用できる。152D 形 3dB カップラーの大きさは、650×650×210(mm) であるが、従来使用していたショートスロットでは 800×450×1350(mm) であり、約半分以下の大きさになる。

6.2 CIN

CIN の構成は図 3 に示すとおりであり、3dB カップラー No.1 については、映像尖頭値 30kW の電力が分配されるから、図 8 から A 導体 22°C, B 導体 15°C の温度上昇で熱的な問題はない。3dB カップラー No.2 については、映像尖頭値 30kW が合成されるから、この分の温度上昇についていえば、3dB カップラー No.1 と同じである。しかし、この他に音声信号が 2 分配されて反射し再度合成されるから、図 7 の系統と同一になり、音声電力 7.5kW として A, B 両導体とも 13.5°C の温度上昇となる。映像信号と音声信号を同時に加えたときの温度上昇は代数和をとって、

$$A \text{ 導体温度上昇値} = 22^{\circ}\text{C} + 13.5^{\circ}\text{C} = 35.5^{\circ}\text{C}$$

$$B \text{ 導体温度上昇値} = 15^{\circ}\text{C} + 13.5^{\circ}\text{C} = 28.5^{\circ}\text{C}$$

となる。

2つの 3dB カップラーを結ぶ伝送線については、映像は半分 (8.9kW) が通過し、音声は半分の電力が往復するから、音声については全電力 (7.5kW) が通過して全体としては単純にその代数和 16.4kW が通過すると考えよう。600MHz で VSWR=1 のときに WX-120D の通過電力は内導体を 25°C におさえたときに 16kW, WX-152D では 25kW であるから、WX-152D を使用すれば充分である。なお、WX-120D を 3dB カップラーの端子につけると、3dB カップラーの熱放散が WX-152D にくらべて悪くなるので、さけたほうが良いし、図 7 の実験結果も使用できなくなる。

音声ノッチについては Q_0 は 40,000 以上でなければならぬから¹¹⁾、同軸共振器では無理で、導波管形方形共振器を使用することになる。音声出力 7.5kW に対して、方形共振器 TE₁₀₂, TE₁₀₃ の温度上昇は 26.3°C, 7.5°C である¹⁰⁾。導波管形 CIN では TE₁₀₃ を使用している。共振器自身の温度上昇は共振周波数の変動につながるのので特に注意が必要である。

152D 形 3dB カップラー, WX-152D 伝送線, TE₁₀₃ 共振器で CIN を構成すれば 3dB 温度上昇の最も高い所は、本論文によれば 3dB カップラー No.2 の A 導体で、35.5°C である。放熱器または送風機をつければ、これより下がることも期待でき、また共振器を TE₁₀₂ とすることも考えられる。表 1 には従来の CIN と本文で扱った CIN の大きさを参考のため記した。これによれば、従来の 30kW CIN にくらべ著しく小さく、10kW CIN と大差のないことがわかる。

表 1 各 CIN の大きさの比較

各種 CIN	縦×横×高さ (mm)
従来の 10kW CIN (WX-120D, 3dB カップラー, TE ₁₀₂)	1500×1350×1500
従来の 30kW CIN (WR-1500, ブランチ回路, TE ₁₀₃)	3670×1170×1630
本論文で提案した 30kW CIN (WX-152D, 3dB カップラー, TE ₁₀₃)	1700×1500×1500

7. む す び

以上、UHF 30kW 放送機に使用される電力合成器および CIN を WX-152D 形 3dB カップラーを使用して同軸形式にすることにつき述べた。現在のところ内導体の温度上昇を 25°C 以内にするのが望ましいとされているが、電力合成器は、その制限で問題なく、CIN では出力側 3dB カップラーの内導体が最大 35.5°C になることがわかった。他の出力回路が十分に考慮されていれば、

この部分だけ 35.5°C になっても問題は少ないと思われる。大きさおよび価格の面ではきわめて有利である。本論文では映像の実効値は真黒信号と考えて計算したが、実際の放送中には平均電力はかなり低いので、そのことも考慮すればさらに有利である。

本論文が UHF テレビ局の合理化にいささかでも寄与するところがあれば、筆者ら望外の喜びとするところである。なお、東芝 倉石副技師長および東芝放送機部の皆様にご援助いただいたことを記して深く感謝いたします。

(昭和 45 年 6 月 13 日受付, 昭和 45 年 8 月 17 日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 倉石はか: UHF 大電力 TV 放送装置, 東芝レビュー, 24, 8 (1969) 957-963

- 2) 同軸銅管給電線仕様書, BSS 11-2401 (1967)
- 3) 倉石: アメリカの UHF・TV 放送機, 放送技術, 12 (1969) 100-105
- 4) E. M. T. Jones, J. T. Bolljahn: Coupled-Strip-Transmission-Line Filters and Directional Couplers, IRE Trans., MTT, Apr. (1956) 75-81
- 5) James K. Shimizu: Strip-Line 3dB Directional Couplers, IRE Wescon Convention Rec., Pt., 1 (1957) 4-15
- 6) H. R. Kaupp: Characteristics of Microstrip Transmission Lines, IEEE Trans., EC-16, 2, Apr. (1967) 185-193
- 7) 王丸はか: ストリップラインを用いた小形 UHF アンテナ共用回路, NHK 技術研究, 11 (1968)
- 8) 浜崎: マイクロ波ストリップ線路(その 1), 信学誌, 52, 9 (1969) 1144-1153
- 9) 浜崎: マイクロ波ストリップ線路(その 2), 信学誌, 52, 10 (1969) 1249-1156
- 10) 石川はか: UHF 大電力テレビジョン放送用 ノッチダイプレクサ-の諸特性, テレビ誌, 23, 12 (1969) 956-967
- 11) 近藤はか: UHF 大電力テレビのアンテナ給電線および共用回路, 放送技術, 3 (1967) 54-66
- 12) 八田はか: UHF 3dB 方向性結合器の電力容量の検討, 信学会アンテナ・伝搬研究会資料, A-P69-4 (1969.5)

昭和 45 年度テレビジョン学会編集委員会

編集長	石橋 俊夫	N H K	委員	北沢 誠	東 芝	幹 事	今堀 豊	N H K
編集理事	青木 昌治	東 大	"	倉橋浩一郎	三 菱	委員	北 靖洋	日 立
編集理事	加納 顕一	日 電	"	栗田 正一	慶 大	"	塩谷 雄一	T B S
論文部門委員会			"	神瀬 昭	読売テレビ	"	嶋 忠雄	日 電
幹 事	稲津 稔	N H K	"	斎藤 幸平	日 電	"	鈴木 弘史	コロムビア
"	長谷川 伸	電 通 大	"	佐藤 俊夫	フジテレビ	"	高木 規成	東 芝
委員	大石 巖	N H K	"	島田 聰	ソ ニ ー	"	高木 幹雄	東 大
"	坂田 晴夫	N H K	"	高梨 実	東京12ch	"	辻 重夫	東 芝
"	竹下 彊一	NETテレビ	"	高野 正雄	富士フィルム	"	箱石千代彦	電 監
"	二宮 輝雄	N H K	"	武田 昭六	芝 電	"	藤田 光男	ビクター
"	林 義昭	電電公社	"	時田 元昭	日 電	"	山本 平一	電電公社
"	村田 重元	N H K	"	中沢 康克	早 大	ニュース・特許部門委員会		
"	大和 淳二	電電公社	"	中村 康平	日 大	幹 事	芦川 幹雄	日 立
"	渡部 勲	N H K	"	羽鳥 孝三	北 大	"	宮崎 栄一	松下東研
"	青木 俊男	日立電子	"	藤尾 孝	N H K	委員	大滝 泰郎	電 監
"	安達 三郎	東 北 大	"	宮崎源太郎	日 立	"	金子 正広	T B S
"	生垣 展	東 芝	"	室谷 正芳	電電公社	"	柴崎 英輔	民 放 連
"	稲田 謙三	三 洋	"	山田 祥二	静 大	"	関 邦秀	国際電電
"	岩淵 三郎	N H K	"	山本 元種	電 機 大	"	戸田 菊雄	NETテレビ
"	宇田 宏	宇宙開発事業団	海外文献部門委員会			"	古川 英夫	日本テレビ
"	王丸 謙治	N H K	幹 事	深津 忠泰	ゼネラル	"	山根 三郎	N H K